

Zərif Kainat: Supersimlər Nəzəriyyəsi

Brian Greene

Mündəricat

Ön söz

I Hissə: Biliklərin Sərhədi

1. İplə Bağlanmış Dünya

II Hissə: Məkan, Zaman və Kvantlar Problemi

2. Məkan, Zaman və Gözləyənin Baxışı
3. Əyilmələr və Dalğalanmalar
4. Mikroskopik Qəribəliklər
5. Yeni Nəzəriyyəyə Ehtiyac: Ümumi Nisbilikə qarşı Kvant Mexanikası

III Hissə: Kosmik Simfoniya

6. Yalnız Musiqi: Supersip Nəzəriyyəsinin Əsasları
7. “Super” Superssimlərdə
8. Gözə Görünməyən Daha Çox Ölçü
9. Dəlil Silahı: Eksperimental İzlər

IV Hissə: Sim Nəzəriyyəsi və Məkan-Zamanın Quruluşu

10. Kvant Geometriyası
11. Məkanın Quruluşunun Cırılması
12. Simlərdən Kənarda: M-Nəzəriyyənin Axtarışı
13. Qara Dəlirlər: Sim/M-Nəzəriyyə Baxışı
14. Kosmologiya Haqqında Düşüncələr

V Hissə: XXI Əsrdə Birləşmə

15. Perspektivlər

Elmi Terminlərin İzahı (Lüğət)

İstinadlar və Əlavə Oxu Təvsiyələri

Elektron kitab qeydləri

Ön söz

Albert Eynşteyn ömrünün son otuz ili boyunca "birləşmiş sahə nəzəriyyəsi" adlandırılan bir nəzəriyyəni tapmağa çalışdı. Bu nəzəriyyə, təbiətdəki bütün qüvvələri (məsələn, cazibə, elektromaqnit və s.) tək bir ümumi və uyğun şəkildə izah etməyi bacarmalı idi. Eynşteyni bu axtarışda irəli aparan şey, bizim elm adamları ilə adətən əlaqələndirdiyimiz səbəblər deyildi. Yəni, o sadəcə hansısa təcrübənin nəticəsini izah etməyə çalışmırdı. Onu irəli aparan əsas səbəb, kainatın ən dərin səviyyədə başa düşülməsinin özündə böyük bir gözəllik və sadəlik daşdığına olan güclü inancı idi. Eynşteyn inanırdı ki, əgər biz kainatın necə işlədiyini tam başa düşsək, bu anlayış bizə kainatın həm nə qədər sadə, həm də nə qədər güclü prinsimlərlə işlədiyini göstərəcək. O, kainatın quruluşunu elə bir aydınlıqla ortaya qoymaq istəyirdi ki, hər bir insan bu möhtəşəm quruluşa heyranlıqla baxa bilsin. Eynşteyn bu arzusunu heç vaxt gerçəkləşdirə bilmədi. Bunun əsas səbəbi isə onun dövründə qarşısında çox çətinliklərin olması idi. O dövrdə maddənin və təbiət qüvvələrinin bir çox əsas xüsusiyyətləri ya ümumiyyətlə bilinmirdi, ya da çox zəif şəkildə başa düşülürdü. Amma son 50 il ərzində, fiziklərin hər yeni nəsli – bəzən səhv yollara saparaq, bəzən də çətinliklərlə qarşılaşaraq – əvvəlki alimlərin kəşfləri üzərində işləyərək, kainatın necə işlədiyini daha dolğun şəkildə anlamağa çalışıblar. İndi isə, Eynşteynin birləşmiş nəzəriyyə axtarışından uzun müddət sonra, alimlər düşünürlər ki, nəhayət bütün bu anlayışları bir yerə toplaya biləcək bir nəzəriyyə tapılıb. Bu nəzəriyyə, supersim nəzəriyyəsi adlanır və bu kitabın əsas mövzusuudur. Mən “Zərif Kainat” kitabını yazmaqda məqsədim, fizika sahəsindəki bu möhtəşəm və yeni elmi fikirləri daha geniş oxucu kütləsinə – xüsusilə də riyaziyyat və fizika üzrə heç bir təhsili olmayan insanlara – başa salmaqdır. Son bir neçə il ərzində verdim supersim nəzəriyyəsi haqqında ictimai mühazirələrdə, mən insanların kainatın əsas qanunlarını, bu qanunların kainat anlayışımızı necə tamamilə dəyişdirdiyini və bu sahədə qarşıda hansı çətinliklərin olduğunu öyrənməyə böyük maraq göstərdiyinin şahidi olmuşam. Ümid edirəm ki, bu kitabda Eynşteyndən və Heyzenberqdən başlayaraq fizikanın əsas uğurlarını izah etməklə və onların kəşflərinin bugünkü dövrümüzdə necə böyük nailiyyətlərə çevrildiyini göstərməklə, mən bu marağı həm artıracaq, həm də qane edəcəyəm.

Ümid edirəm ki, “Zərif Kainat” elmi bilikləri olan oxucular üçün də maraqlı olacaq. Elm tələbələri və müəllimləri üçün bu kitabın müasir fizikanın əsas mövzularını – məsələn, xüsusi nisbilik, ümumi nisbilik və kvant mexanikası kimi anlayışları – aydın və konkret şəkildə başa salacağını düşünürəm. Eyni zamanda, alimlərin uzun müddətdir axtardığı

birləşmiş nəzəriyyəyə yaxınlaşarkən hiss etdikləri həyəcanı da oxucuya çatdırmağa çalışıram.

Elmə marağı olan, populyar elmi kitablar oxumağı sevən oxucular üçün isə, son on ildə kainat haqqında anlayışımızda baş verən həyəcanverici inkişafı mümkün qədər sadə şəkildə izah etməyə çalışmışam.

Və nəhayət, digər elmi sahələrdə çalışan həmkarlarım üçün bu kitabın, sim nəzəriyyəsi ilə məşğul olan fiziklərin niyə bu qədər həyəcanlı olduğunu dürüst və balanslı şəkildə göstərməsini istəyirəm.

Supersim nəzəriyyəsi çox geniş bir sahəni əhatə edir. Bu, fizikanın əsas kəşflərinə əsaslanan geniş və dərin bir mövzudur. Bu nəzəriyyə böyük və kiçik miqyaslı təbiət qanunlarını birləşdirdiyi üçün – yəni həm kainatın ən uzaq yerlərindəki fiziki hadisələri, həm də maddənin ən kiçik hissəciklərini izah etdiyi üçün – bu mövzuya çox fərqli tərəflərdən yanaşmaq mümkündür.

Mən isə diqqətimi məkan və zaman haqqında dəyişən anlayışımıza yönəltməyi seçdim. Çünki bu, məncə, çox maraqlı və heyrtəmiz bir inkişaf yoludur və bu yolla gedərkən ən mühüm yeni fikirlərlə qarşılaşırıq.

Eynşteyn göstərdi ki, məkan və zaman düşündüyümüzdən çox fərqli şəkildə davranır. İndi isə müasir tədqiqatlar onun bu kəşflərini kvant kainatına inteqrasiya edib. Bu kainatda gizli ölçülər mövcuddur – yəni, bizim görə bilmədiyimiz əlavə fəzalar kainatın "toxuması"na bükülmüş şəkildə yerləşib. Bu çox mürəkkəb və dolaşlıq ölçülərin quruluşu bəlkə də bəşəriyyətin verdiyi ən dərin sualların cavabını içində saxlayır.

Baxmayaraq ki, bu fikirlər bəzən çətin görünə bilər, yerli-dibli və sadə bənzətmələrlə onların nə demək olduğunu başa düşmək mümkündür. Və bu fikirləri anlayanda, kainata tamamilə yeni və heyrtləndirici bir baxış bucağı qazanırıq.

Bu kitab boyunca çalışmışam ki, elmə sadıq qalım, eyni zamanda oxucuya intuitiv bir anlayış verim – yəni, bənzətmələr və metaforalar vasitəsilə alimlərin kainatla bağlı bu günkü anlayışa necə gəldiklərini sadə dillə izah edirəm.

Texniki terminlərdən və riyazi düsturlardan əsasən uzaq durmuşam, amma kitabda bəhs edilən yeni və qeyri-adi anlayışlara görə, oxucu bəzən oxuduğunu bir az düşünmək, bir hissəni təkrar nəzərdən keçirmək ehtiyacı hiss edə bilər ki, fikir axarını tam başa düşsün.

Kitabın IV hissəsindəki bəzi bölmələr (ən yeni elmi inkişaflarla bağlı olanlar) bir qədər daha abstrakt – yəni çətin ola bilər. Ona görə də oxucunu əvvəlcədən xəbərdar etmişəm və bu bölmələri elə qurmuşam ki, səthi oxumaqla və ya keçmək kitabın ümumi məntiqinə çox da təsir etməsin.

Əsas mətnin içində keçən elmi anlayışları xatırlamaq və asan başa düşmək üçün elmi terminlər lüğəti əlavə etmişəm. Əgər oxucu sadəcə maraq üçün kitabı oxuyursa, qeydləri (endnotes) tamamilə ötür keçə bilər. Amma daha dərinə getmək istəyən və diqqətli oxucular bu qeydlərdə mətn içində sadələşdirilmiş fikirlərin daha geniş izahlarını, daha ətraflı açıqlamaları və hətta riyazi bilikləri olanlar üçün texniki əlavələri tapa bilərlər.

Bu kitabı yazarkən mənə kömək edən bir çox insana təşəkkür edirəm. David Steinhardt əlyazmanı diqqətlə oxudu və mənim üçün kəskin redaktə fikirləri və dəyərli təşviqlər verdi. David Morrison, Ken Vineberg, Raphael Kasper, Nicholas Boles, Steven Carlip, Arthur Greenspoon, David Mermin, Michael Popowits və Shani Offen əlyazmanı diqqətlə oxuyub, ətraflı rəy və təkliflər təqdim etdilər ki, bu da təqdimatı əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırdı. Paul Aspinwall, Persis Drell, Michael Duff, Kurt Gottfried, Joshua Greene, Teddy Jefferson, Marc Kam'ionkowskil, Yakov Kanter, Andras Kovacs, David Lee, Megan McEwen, Nari Mistry, Hasan Padamsee, Ronen Plessner, Massimo Poratti, Fred Sherry, Lars Straeter, Steven Strogatz, Andrew Strominger, Henry Tye, Cumrun Vafa və Gabriele Veneziano əlyazmanın hamısını və ya bir hissəsini oxuyub, məsləhətlər və təşviqlər verdilər. Mən Raphael Gunnerə xüsusi təşəkkür edirəm, çünki yazının ilkin mərhələlərində verdiyi dərin tənqidi fikirlər kitabın ümumi formasını formalaşdırmağa kömək etdi. Robert Malley-ə də təşəkkür edirəm ki, o, kitabı sadəcə düşünməkdən daha irəli gedib, "qələmi kağıza qoymağa" təşviq etdi. Steven Weinberg və Sidney Coleman dəyərli məsləhətlər və kömək təklif etdilər, həmçinin Carol Archer, Vicky Carstens, David Cassel, Anne Coyle, Michael Duncan, Jane Forman, Erik Jendresen, Gary Kass, Shiva Kumar, Robert Mawhinney, Pam Morehouse, Pierre Ramond, Amanda Salles və Eero Simoncelli ilə çox faydalı qarşılıqlı əlaqələri qeyd etmək mənim üçün şərəfdir. Costas Efthimiou-ya fakt yoxlama və istinad tapmaqda kömək etdiyi və ilkin eskizlərimi Tom Rockwell-ə təqdim edib mükəmməl rəssamlıq bacarığı ilə mətni izah edən şəkilləri yaratmağa kömək etdiyi üçün minnətdaram. Andrew Hanson və Jim Sethna-ya da bəzi xüsusi şəkilləri hazırlamaqda göstərdikləri kömək üçün təşəkkür edirəm.

Müsaibə verməyə razı olub, əhatə olunan müxtəlif mövzularda şəxsi baxışlarını paylaşıqları üçün Howard Georgi, Sheldon Glashow, Michael Green, John Schwarz, John Wheeler, Edward Witten, həmçinin Andrew Strominger, Cumrun Vafa və Gabriele Veneziano-ya təşəkkür edirəm.

Angela Von der Lippe-nin dərin anlayışlarına və Traci Nagle-nin detala diqqətinə xüsusi təşəkkürümü bildirirəm. Onlar W. W. Norton-da redaktorlarım olaraq təqdimatın aydınlığını əhəmiyyətli dərəcədə artırdılar. Həmçinin, kitabın başlanğıcdan nəşrə qədər aparılmasında mütəxəssis rəhbərliyi göstərən John Brockman və Katinka Matson-a da təşəkkür edirəm.

Təqribən on beş il ərzində nəzəri fizika sahəsində araşdırmalarımı səxavətlə dəstəklədikləri üçün Milli Elm Fonduna, Alfred P. Sloan Fonduna və ABŞ Energetika Departamentinə minnətdarlığımı bildirirəm. Bəlkə də təəccüblü deyil ki, öz araşdırmalarımnda supersim nəzəriyyəsinin məkan və zaman anlayışımıza təsirinə diqqət yetirmişəm və sonrakı bəzi fəsillərdə bu sahədə iştirak etmək şansım olan kəşfləri təsvir edirəm. Ümid edirəm ki, oxucu bu "daxili" məlumatları oxumaqdan zövq alacaq, amma başa düşürəm ki, bu, supersim nəzəriyyəsinin inkişafında mənim rolumu olduğundan daha çox göstərən bir təsir bağışlaya bilər. Buna görə də, bütün dünyada kainatın ən son nəzəriyyəsini yaratmağa çalışan minlərlə fizikaçının işini qeyd etmək istəyirəm. Bu hesabda işləri yer almayan hər kəsdən üzr istəyirəm; bu sadəcə olaraq seçdiyim tematik baxış bucağını və ümumi təqdimatın məhdudluqlarını əks etdirir.

Nəhayət, Ellen Archer-ə öz dərin təşəkkürlərimi bildirirəm, çünki onun sarsılmaz sevgisi və dəstəyi olmadan bu kitab yazılmazdı.

Hissə I: Bilik Hüdudları

İp ilə Bağlanmış

Bunu ört-basdır etmək demək çox dramatik olardı. Lakin yarım əsrdən çox müddət ərzində—tarixin ən böyük elmi nailiyyətləri arasında belə—fiziklər uzaqda, çox uzaq bir

üfüqdə qara bir buludun pərdə arxasında olduğunu səssizcə hiss edirdilər. Problem budur: Müasir fizikanın dayandığı iki əsas sütun var. Birincisi, Albert Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsidir ki, bu nəzəri çərçivə kainatı ən böyük miqyaslarda başa düşmək üçün hazırlanıb: ulduzlar, qalaktikalar, qalaktikalar klasterləri və daha geniş kainatın özü. Digəri isə, kvant mexanikasıdır ki, bu da kainatı ən kiçik miqyaslarda başa düşmək üçün nəzəri bir çərçivə təqdim edir: molekullar, atomlar və subatomik hissəciklər, məsələn, elektronlar və kuarklar. İllərlə davam edən tədqiqatlar nəticəsində fiziklər hər iki nəzəriyyənin irəli sürdüyü proqnozların demək olar ki, təsəvvür edilə bilməyəcək dəqiqliklə düzgün olduğunu eksperimental olaraq təsdiqləyiblər. Lakin eyni nəzəri alətlər eyni zamanda narahatedici bir nəticəyə gətirib çıxarır: Hazırkı formulalarına görə, ümumi nisbilik və kvant mexanikası eyni anda doğru ola bilməz. Son bir əsrdə fizikanın böyük irəliləyişinə əsaslanan bu iki nəzəriyyə—ki, bunlar həm kainatın genişlənməsini, həm də maddənin əsas strukturunu izah etmişdir—bir-biri ilə uyğunsuzdur.

Əgər bu şiddətli qarşıdurmadan əvvəllər xəbəriniz olmayıbsa, niyə olduğunu düşünürsünüzsə, cavab tapmaq çətin deyil.

Ən ekstremal hallar xaricində, fiziklər ya çox kiçik və yüngül şeyləri (məsələn, atomlar və onların tərkib hissələri), ya da çox böyük və ağır şeyləri (məsələn, ulduzlar və qalaktikalar) öyrənirlər, amma ikisini eyni anda deyil. Bu da deməkdir ki, onlar yalnız kvant mexanikasından və ya yalnız ümumi nisbilikdən istifadə etməli və digərinin həyəcanlı xəbərdarlığını bir baxışla görməzlikdən gələ bilirlər. Əlli il ərzində bu yanaşma, biliksizlik qədər xoş olmasa da, çox yaxın olub.

Amma kainat çox ekstremal ola bilər. Bir qara dəlikdə, onun mərkəzi dərinliklərində, nəhəng bir kütlə çox kiçik bir ölçüyə sıxılır. Böyük partlayış anında bütün kainat, qum dənəsinin nəhəng görünməsini belə mümkün edən mikroskopik bir ölçüdə partlayaraq yayılmışdır. Bunlar çox kiçik və eyni zamanda inanılmaz dərəcədə böyük olan sahələrdir, buna görə də həm kvant mexanikası, həm də ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin eyni anda tətbiq olunması lazımdır. Biz irəlilədikcə getdikcə daha aydın olacaq səbəblərə görə, ümumi nisbilik və kvant mexanikasının tənlikləri birləşdirildikdə, qırmızı xətti keçmiş bir avtomobil kimi sarsılmağa, titrəməyə və buxar buraxmağa başlayır. Başqa sözlə desək, yaxşı formalaşmış fiziki suallar bu iki nəzəriyyənin xoşbəxt olmayan qarışığından mənasız cavablar alır. Hətta bir qara dəliyin dərin daxili və kainatın başlanğıcını sirr kimi saxlamağa razı olsanız da, kvant mexanikası ilə ümumi nisbilik arasında yaranan qarşıdurmanın daha dərin bir anlayış tələb etdiyini hiss etməmək mümkün deyil. Həqiqətənmi kainatın ən fundamental səviyyəsində hər şey böyük olduqda bir qanunlar toplusuna, kiçik olduqda isə başqa, bir-birinə uyğun gəlməyən bir qanunlar toplusuna ehtiyac duyur?

Supersim nəzəriyyəsi, kvant mexanikası və ümumi nisbilik nəzəriyyələrinin hörmətli strukturları ilə müqayisədə gənc bir yenilikdir və bu suala yüksək səslə "yox" cavabı verir. Son onillikdə dünyanın müxtəlif yerlərindən olan fiziklər və riyaziyyatçılar tərəfindən aparılan intensiv tədqiqatlar göstərmiş ki, maddəni ən fundamental səviyyədə təsvir etməyə yönəlmiş bu yeni yanaşma ümumi nisbilik və kvant mexanikası arasındakı qarşıdurmanı həll edir. Əslində, supersim nəzəriyyəsi daha çox şey göstərir: Bu yeni çərçivə daxilində, ümumi nisbilik və kvant mexanikası bir-birinə ehtiyac duyur ki, nəzəriyyə məntiqli olsun. Supersim nəzəriyyəsinə görə, böyük və kiçik ölçülərin qanunlarının birləşməsi yalnız xoşbəxt deyil, həm də qaçınılmazdır. Bu, yaxşı xəbərlərin bir hissəsidir. Lakin supersim nəzəriyyəsi—qısa desək, ip nəzəriyyəsi—bu birləşməni bir addım daha irəli aparır. Üç onillik ərzində, Eynşteyn fizikanın birləşdirilmiş bir nəzəriyyəsini tapmağa çalışdı, bir nəzəri çərçivə ki, bütün təbiət qüvvələrini və maddə tərkiblərini bir yerdə birləşdirsin. O, müvəffəq olmadı. İndi, yeni minilliyin başlanğıcında, ip nəzəriyyəsinin tərəfdarları iddia edirlər ki, bu əfsanəvi birləşdirilmiş nəzəri çərçivənin simləri nəhayət ki, açılıb. İp nəzəriyyəsi kainatda baş verən bütün möcüzəli hadisələri—subatomik kuarkların həyəcanlı rəqsindən tutmuş, orbitdəki binar ulduzların əzəmətli valsına, böyük partlayışın ilkin atəşi ilə göylərdəki qalaktikaların möhtəşəm fırlıqına qədər—bir böyük fiziki prinsipin, bir ustad tənliyinin əks olunması olaraq göstərmə potensialına malikdir. Çünki ip nəzəriyyəsinin bu xüsusiyyətləri, məkan, zaman və maddə anlayışımızı kəskin şəkildə dəyişdirməyimizi tələb edir, buna görə də onlara öyrəşmək, rahat bir səviyyədə mənimsəmək vaxt alacaq. Lakin, görəcəyimiz kimi, doğru kontekstdə baxıldığında, ip nəzəriyyəsi, son bir əsrdə fizikanın inqilabi kəşflərinin təbii və dramatik bir inkişafı kimi meydana çıxır. Əslində, görəcəyik ki, ümumi nisbilik və kvant mexanikası arasındakı qarşıdurma əslində ilk deyil, sonuncudur. Bu, keçən əsr ərzində qarşılaşılan mühüm qarşıdurmaların üçüncüsüdür və hər birinin həlli, kainat haqqında anlayışımızda heyrətamiz bir dəyişikliklə nəticələnmişdir.

Üç Qarşıdurma

İlk qarşıdurma, 1800-cü illərin sonlarına qədər tanınan və işığın hərəkətinin düşündürücü xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır. Qısa şəkildə desək, İsaak Nyutonun hərəkət qanunlarına görə,

əgər kifayət qədər sürətlə qaçırsan, ayrılan işıq şüasına çatmaq mümkündür, amma Ceyms Klark Maksvelin elektromaqnetizm qanunlarına görə, bu mümkün deyil. 2-ci fəsildə müzakirə edəcəyimiz kimi, Eynşteyn bu qarşıdurmanı öz xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi ilə həll etdi və bu yolla məkan və zaman anlayışımızı tamamilə alt-üst etdi. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinə görə, artıq məkan və zaman hər kəsin eyni şəkildə yaşadığı, daimi və ümumi anlayışlar kimi düşünülə bilməz. Əksinə, məkan və zaman Eynşteynin təkrar işlənmiş nəzəriyyəsində hərəkət vəziyyətinə görə formalaşan və dəyişə bilən quruluşlar kimi ortaya çıxdı.

Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin inkişafı dərhal ikinci qarşıdurmanın əsasını qoydu. Eynşteynin işlərinin bir nəticəsi olaraq heç bir obyekt—əslində, heç bir təsir və ya pozuntu—ışığın sürətindən daha sürətli hərəkət edə bilməz. Amma 3-cü fəsildə müzakirə edəcəyimiz kimi, Nyutonun eksperimental olaraq uğurlu və intuisiya ilə qəbul edilən ümumi cazibə nəzəriyyəsi, təsirlərin çox böyük məsafələri dərhal keçməsi ilə əlaqədardır. Yinə Eynşteyn bu qarşıdurmaya müdaxilə edərək 1915-ci ildə ümumi nisbilik nəzəriyyəsini təqdim edərək problemi həll etdi. Xüsusi nisbilik necə əvvəlki məkan və zaman anlayışlarını alt-üst etmişdirsə, ümumi nisbilik də eyni şəkildə etdi. Artıq məkan və zaman yalnız hərəkət vəziyyətindən təsirlənmir, həm də maddə və ya enerjinin mövcudluğuna cavab olaraq əyilə və təkələ bilər. Məkan və zamanın belə deformasiyaları, bizim görəcəyimiz kimi, cazibə qüvvəsini bir yerdən digərinə ötürür. Buna görə də, məkan və zaman artıq kainatın hadisələrinin həyata keçdiyi cansız bir arxa fon kimi düşünülə bilməz; əksinə, həm xüsusi, həm də ümumi nisbilik vasitəsilə, onlar hadisələrin özlərində sıx iştirakçılardır.

Yenə də eyni naxış təkrarlanır: Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin kəşfi, bir qarşıdurmanı həll edərkən başqa birini ortaya çıxardı. 1900-cü ildən başlayaraq üç onillik ərzində fiziklər, XIX əsr fizika anlayışlarının mikroskopik dünyaya tətbiq edildikdə ortaya çıxan bir sıra diqqətəlayiq problemlərə cavab olaraq kvant mexanikasını inkişaf etdirdilər (4-cü fəsildə müzakirə olunacaq). Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, üçüncü və ən dərin qarşıdurma kvant mexanikası ilə ümumi nisbilik arasındakı uyğunluqsuzluqdan yaranır. 5-ci fəsildə görəcəyimiz kimi, ümumi nisbilikdən yaranan məkanın yumşaq əyilmiş geometrik forması, kvant mexanikası ilə təyin olunan kainatın mikroskopik, çırpınan hərəkətləri ilə ziddiyyət təşkil edir. İp nəzəriyyəsi yalnız 1980-ci illərin ortalarında bu qarşıdurmanın həllini təklif etdiyinə görə, bu qarşıdurma müasir fizikanın mərkəzi problemi olaraq düzgün adlandırılır. Bundan əlavə, xüsusi və ümumi nisbilik nəzəriyyələrinə əsaslanaraq, ip nəzəriyyəsi məkan və zaman anlayışlarımızı ciddi şəkildə yenidən düzəltməyi tələb edir. Məsələn, əksərimiz kainatımızın üç ölçülü məkan olduğunu qəbul edirik. Lakin ip nəzəriyyəsinə görə, kainatımız gözlə görülənlərdən çox daha çox ölçüyə malikdir—bu ölçülər kainatın qatlanmış parçasına sıxılmışdır. Bu inanılmaz anlayışlar məkan və

zamanın təbiətinə o qədər mərkəzi rol oynayır ki, biz bunları irəlidəki bütün müzakirələrdə əsas mövzu olaraq istifadə edəcəyik. İp nəzəriyyəsi, əslində, Eynşteyndən sonra məkan və zamanın hekayəsidir.

İp nəzəriyyəsinin nə olduğunu anlamaq üçün bir addım geri atmalı və keçən əsr ərzində kainatın mikroskopik strukturunu nə qədər öyrəndiyimizi qısa şəkildə təsvir etməliyik.

Kainatın Ən Kiçik Ölçüdə Görünüşü: Maddə Barədə Bildiklərimiz

Qədim yunanlar kainatın quruluşunun çox kiçik və "kəsilə bilməyən" hissəciklərdən ibarət olduğunu düşündülər və bu hissəciklərə atom adını vermişdilər. Onların fikrincə, necə ki bir dildə çox sayda söz azsaylı hərflərin müxtəlif birləşmələrindən yaranır, eynilə də maddi əşyaların müxtəlifliyi bir neçə fərqli və əsas qurucu hissənin birləşməsindən meydana gəlmiş ola bilərdi. Bu fikir olduqca qabaqcadan deyilmiş düzgün bir fərziyyə idi.

2000 ildən çox keçməsinə baxmayaraq, biz hələ də bu fikri doğru hesab edirik, baxmayaraq ki, bu əsas hissəciklərin kimliyi zamanla bir neçə dəfə dəyişib. XIX əsrdə alimlər göstərdilər ki, oksigen və karbon kimi tanış maddələrin daha artıq parçalanmayan ən kiçik hissəsi var. Qədim yunanların ənənəsinə sadıq qalaraq, bu hissəciklərə atom adı verildi. Bu ad qaldı, lakin sonradan məlum oldu ki, əslində "atom" adlandırılan bu hissəciklər kəsilə biləndirlər, yəni daha kiçik hissələrə bölünə bilirlər.

1930-cu illərin əvvəllərində J. J. Thomson, Ernest Rutherford, Niels Bohr və James Chadwick-in birlikdə apardığı tədqiqatlar nəticəsində bizə tanış olan günəş sisteminə bənzər atom modeli ortaya çıxdı. Atomlar əvvəllər düşünülməyən kimi ən sadə maddi hissəciklər deyil, əslində proton və neytronlardan ibarət nüvəyə sahibdirlər və bu nüvəni elektronların fırlanaraq dövrə vurduğu bir sistem əhatə edir.

Bir müddət fizikaçıların çoxu proton, neytron və elektronları qədim yunanların "atom" adlandırdığı əsas bölünməz hissəciklər hesab edirdi. Lakin 1968-ci ildə Stanford Xətti Sürətləndirici Mərkəzində aparılan təcrübələr bu fikrin yanlış olduğunu göstərdi. Alimlər texnologiyanın mikroskopik səviyyələrə qədər araşdırma qabiliyyətindən istifadə edərək proton və neytronların da əsas, bölünməz hissəciklər olmadığını ortaya çıxardılar.

Əvəzində, bu hissəciklərin hər birinin üç daha kiçik hissəcikdən – kvarklardan ibarət olduğunu aşkar etdilər. “Kvark” sözü isə bir az zarafatlı şəkildə, yazıçı James Joyceun *Finnegan's Wake* adlı əsərindəki bir hissədən götürülmüş və bu hissəciklərin mövcudluğunu əvvəlcədən təxmin edən nəzəri fizik Murray Gell-Mann tərəfindən adlandırılmışdı.

Təcrübələr həmçinin göstərdi ki, kvarkların iki növü var və onlar daha sadə adlarla “up” (yuxarı) və “down” (aşağı) kvarklar adlandırıldı.

- Proton iki *up-kvark* və bir *down-kvarkdan*,
- Neytron isə iki *down-kvark* və bir *up-kvarkdan* ibarətdir.

Yerdə gördüyümüz hər şey və göydəki səma cisimləri – hamısı elektron, up-kvark və down-kvarkların birləşmələrindən yaranmış kimi görünür. Bu üç hissəciyin hər hansı birinin daha da kiçik hissələrdən ibarət olduğunu göstərən heç bir eksperimental sübut yoxdur. Lakin kainatda başqa fundamental hissəciklərin də olduğunu göstərən çox sayda dəlil mövcuddur.

1950-ci illərin ortalarında Frederick Reines və Clyde Cowan “neytrino” adlı dördüncü bir əsas hissəciyin mövcudluğunu sübut edən eksperimental nəticələr əldə etdilər. Neytrinonun varlığı isə hələ 1930-cu illərin əvvəllərində Wolfgang Pauli tərəfindən nəzəri olaraq irəli sürülmüşdü.

Neytrinoları aşkar etmək çox çətinidir, çünki onlar “xəyalvari” hissəciklərdir və digər maddələrlə çox nadir hallarda qarşılıqlı təsirə girirlər. Məsələn, orta enerjili bir neytrino trilyonlarla mil uzunluğundakı qurğusun təbəqəsini problemsiz keçib keçə bilər və bu zaman onun hərəkətinə heç nə təsir etməz.

Bu fakt sizi bir az rahatladacaq: hazırda bu məqaləni oxuyarkən, Günəşdən kosmosa atılmış milyardlarla neytrino bədəninizdən və Yer kürəsindən keçərək, kainat boyunca təkbəşinə səfərlərini davam etdirirlər.

1930-cu illərin sonlarında isə başqa bir hissəcik – myuon (muon) aşkar olundu. Myuon, elektrona çox bənzəyir, lakin ondan təxminən 200 dəfə ağırdır. Bu hissəcik, kosmik şüaları – yəni kosmosdan Yərə gələn hissəciq yağışlarını öyrənən fiziklər tərəfindən tapılmışdı.

Kosmosun nizamında myuona ehtiyac yaranacaq heç bir bilinməyən problem yox idi, yəni onun mövcudluğu heç nə ilə izah olunmurdu. Bu səbəbdən Nobel mükafatlı hissəcik fizikçisi Isidor Isaac Rabi onun tapılmasına soyuqqanlı və bir az təəccüblü şəkildə belə reaksiya vermişdi: “*Bunu kim sifariş edib?*”

Ancaq o hissəciyin orada olduğu artıq faktdır. Və görünən odur ki, bu hələ başlanğıc idi – daha çox hissəciklər kəşf olunacaqdı.

Fizikaçılar daim daha güclü texnologiyalardan istifadə edərək maddənin hissəciklərini bir-biri ilə çox yüksək enerjili toqquşmalara məruz qoymağa davam edirlər. Bu toqquşmalar nəticəsində, sanki Böyük Partlayışdan (Big Bang) bəri görünməmiş şərtlər bir anlıq yenidən yaradılır. Bu dağıntılar arasında alimlər yeni fundamental hissəciklər axtarır tapmağa çalışırlar ki, artıq mövcud olan zəngin hissəciklər siyahısına əlavə etsinlər.

Budur, indiyə qədər tapdıqları yeni hissəciklər:

Dörd əlavə kvark: charm (cəzb), strange (qəribə), bottom (aşağı), top (yuxarı)

- Elektronun daha ağır bir "qohumu" olan tau hissəciyi
- Neytrinoya bənzər daha iki hissəcik: myuon-neutrino və tau-neutrino (bunlar ilkin neytrinodan fərqləndirilməsi üçün bu adlarla adlandırılır; ilkin neutrino indi elektron-neutrino adlanır)

Bu hissəciklər çox yüksək enerjili toqquşmalar nəticəsində qısa müddətli olaraq yaranır və onlar normalda qarşılaşdığımız maddələrin tərkibinə daxil deyillər.

Amma hekayə bununla bitmir.

Bu hissəciklərin hər birinin bir "anti-hissəcik" tərəfdaşı da var – bu anti-hissəciklər eyni kütləyə malikdirlər, lakin bəzən elektrik yükü və başqa qüvvələrlə bağlı xüsusiyyətlər baxımından fərqlidirlər.

Məsələn, elektronun anti-hissəciyi pozitron adlanır – kütləsi tam eynidir, lakin:

- Elektronun yükü -1-dir
- Pozitronun yükü isə +1-dir

Əgər maddə və anti-maddə bir-biri ilə təmas edərsə, bir-birini məhv edirlər və nəticədə saf enerji yaranır. Məhz bu səbəbdən ətrafımızda təbii olaraq çox az miqdarda antimaddə mövcuddur.

Fizikaçılar bu hissəciklər arasında müəyyən bir qayda və uyğunluq aşkar ediblər. Bu uyğunluq 1.1-ci Cədvəldə göstərilir. Maddəni təşkil edən hissəciklər aydın şəkildə üç qrupa – yəni üç ailəyə bölünür.

Hər bir ailənin tərkibində:

- İki kvark,
- Bir elektron və ya onun daha ağır "qohumları" (məsələn, myuon və tau),
- Bir neytrino növü (elektron-neytrino, myuon-neytrino və ya tau-neytrino)

mövcuddur.

Bu ailələr arasındakı eyni növ hissəciklər, bütün xüsusiyyətlərinə görə eynidir, yalnız kütlələri fərqlidir – və bu kütlə hər növbəti ailədə artır.

Nəticə olaraq, fizikaçılar maddənin strukturunu bir metrin milyardda birinin də milyardda birinə qədər incələyə biliblər. Aparılan təcrübələr və müşahidələr sübut edib ki, indiyə qədər təbiətdə və ya süni şəkildə yaradılmış bütün maddələr, bu üç ailənin hissəciklərinin və onların antimaddə tərəfdaşlarının müxtəlif birləşmələrindən ibarətdir.

1.1-ci Cədvələ nəzər saldıqda, Rabi'nin myuonun kəşfi zamanı keçirdiyi təəccüb hissi sizə daha da yaxın və anlaşılar görünəcək. Bu hissəciklərin ailələrə bölünməsi müəyyən bir nizam və ardıcılıq təəssüratı yaratsa da, bir çox cavabsız “niyə?” sualları ortaya çıxır.

Məsələn:

Niyə bu qədər çox fundamental hissəcik var?

Halbuki, ətrafımızdakı maddələrin böyük əksəriyyəti yalnız elektron, up-kvark və down-kvarkdan ibarətdir.

- Niyə üç ailə var?
- Niyə bir yox, ya dörd, ya da başqa sayda ailə yoxdur?
- Niyə bu hissəciklərin kütlələri bu qədər qarışıq və qeyri-adi şəkildə fərqlənir?

Məsələn:

- Tau hissəciyi elektrondan təxminən 3520 dəfə ağırdır.
- Top kvark isə up-kvarkdan təxminən 40,200 dəfə ağırdır.

Bu rəqəmlər çox qərribə və təsadüfi görünür.

Bəs bu belə təsadüfən meydana gəlib?

Yoxsa bu ilahi bir seçimdir?

Yaxud bunların elmi, məntiqli və izaholunan səbəbləri varmı?

Bunlar bu gün də elm adamlarının cavab axtardığı ən böyük suallardandır – və kainatın dərinliklərini anlamağa doğru aparan əsas məsələlərdən biridir.

Qüvvələr, yaxud Foton haradadır?

Təbiətdəki qüvvələri nəzərə aldıqda hər şey daha da mürəkkəbləşir. Ətraf aləmimiz təsir göstərməyin saysız-hesabsız yolları ilə doludur: topları dəyənəklə vura bilərik, bantik tullanışçılar özlərini hündür platformalardan yerə atırlar, maqnitlər super sürətli qatarları metal relslər üzərində havada saxlaya bilir, Geyger sayğacları radioaktiv materiala reaksiya verərək “tıqqıltı” səsləri çıxarır, nüvə bombaları isə partlaya bilər. Biz əşyaları itələyərək, çəkərək və ya silkələyərək, onlara başqa əşyələr ataraq və ya onlara atəş açaraq, onları dartaraq, bükərək və ya əzərək, həmçinin donduraraq, qızdıraraq və ya yandıraraq təsir edə bilərik. Son yüz ildə fiziklər bu və gündəlik həyatda qarşılaşdığımız milyonlarla başqa qarşılıqlı təsirin əslində dörd əsas qüvvənin birləşməsi ilə izah oluna biləcəyinə dair güclü sübutlar toplamışlar. Bu əsas qüvvələrdən biri cazibə qüvvəsidir. Digərləri isə elektromaqnit qüvvəsi, zəif nüvə qüvvəsi və güclü nüvə qüvvəsidir.

Cazibə qüvvəsi qüvvələr arasında bizə ən tanış olanıdır. O, bizi Günəşin ətrafında orbitdə saxlayır və ayaqlarımızı yerə möhkəm şəkildə yapışdırır. Bir cismin kütləsi onun nə qədər cazibə qüvvəsi tətbiq edə və eyni zamanda hiss edə biləcəyini göstərir. Elektromaqnit qüvvəsi isə bu dörd qüvvədən ikinci ən tanış olanıdır. Müasir həyatın bütün rahatlıqlarını – işıqları, kompüterləri, televizorları, telefonları – məhz bu qüvvə təmin edir. Həmçinin ildırımın gücü və insan əlindəki incə toxunuş da elektromaqnit qüvvəsinin təsiridir. Mikroskopik səviyyədə, bir hissəciyin elektrik yüklü olması elektromaqnit qüvvəsinin təsiri üçün eyni rolu oynayır ki, kütlə cazibə qüvvəsi üçün oynayır: yəni hissəciyin elektromaqnit baxımından nə qədər təsir göstərə və hiss edə biləcəyini müəyyənləşdirir.

Cədvəl 1.2: Təbiətin dörd qüvvəsi və onların aid olduğu qüvvə daşıyıcı hissəciklər, həmçinin bu hissəciklərin kütləsi (protonun kütləsinə nisbətə):

- Cazibə: Graviton (kütləsiz)
- Elektromaqnit: Foton (kütləsiz)
- Zəif qüvvə: Zəif gauge bozonları (kütləsi: 86 və 97 dəfə protonun kütləsi)

- Güclü qüvvə: Qlūon (kütləsiz)

(Tədqiqatlar göstərir ki, gravitonun da kütləsi yoxdur. Zəif qüvvənin hissəcikləri iki müxtəlif kütləyə malik formalar şəklində mövcuddur.)

Güclü və zəif qüvvələr isə bizə o qədər də tanış deyil, çünki onların təsiri yalnız subatomik məsafələrdə hiss olunur; buna görə də onlara nüvə qüvvələri deyilir. Bu iki qüvvə nisbətən daha yaxın dövrlərdə kəşf edilmişdir.

Güclü qüvvə, kvarkların proton və neytronlar daxilində “birləşmiş” halda qalmasına və bu proton və neytronların da atom nüvəsində sıx şəkildə bir yerdə qalmasına cavabdehdir. Zəif qüvvə isə əsasən uran və kobalt kimi maddələrin radioaktiv parçalanmasına səbəb olan qüvvə kimi tanınır.

Son yüz il ərzində fiziklər bu qüvvələrin hamısında ortaq olan iki xüsusiyyət aşkar ediblər. Birincisi – bunu 5-ci fəsildə ətraflı müzakirə edəcəyik – mikroskopik səviyyədə bütün qüvvələrin onlara aid bir hissəciyi (zərrəciyi) var. Bu hissəcikləri həmin qüvvənin ən kiçik "paketini" və ya "dolu"su kimi təsəvvür edə bilərsiniz.

Məsələn, əgər siz lazer şüası – yəni "elektromaqnit silahı" – işə salırsınızsa, siz əslində elektromaqnit qüvvəsinin ən kiçik paketləri olan fotonları atırsınız. Eyni şəkildə, zəif və güclü qüvvə sahələrinin ən kiçik hissəcikləri zəif gauge bozonları və qluonlar adlanır.

(Qluon adı xüsusilə uyğun seçilib: onu atom nüvələrini bir yerdə saxlayan "mikroskopik yapışqan" kimi düşünə bilərsiniz.)

1984-cü ilə qədər aparılan təcrübələr nəticəsində bu üç qüvvəyə aid hissəciklərin mövcudluğu və xüsusiyyətləri dəqiq şəkildə təsdiqlənmiş və 1.2-ci cədvəldə qeyd olunmuşdur.

Fiziklər hesab edirlər ki, cazibə qüvvəsinin də özünə məxsus hissəciyi var – bu, graviton adlanır – lakin onun mövcudluğu hələ ki təcrübə ilə təsdiqlənməyib.

Qüvvələrin ikinci ümumi xüsusiyyəti budur: necə ki kütlə bir hissəciyin cazibə qüvvəsindən necə təsirləndiyini müəyyən edir, və ya elektrik yükləri elektromaqnit qüvvənin ona necə təsir etdiyini göstərir, eləcə də hissəciklər “güclü yük” və “zəif yük” adlanan müəyyən xüsusiyyətlərə malikdirlər. Bu yüklər həmin hissəciklərin güclü və zəif qüvvələrdən necə təsirləndiyini müəyyənləşdirir. (Bu xüsusiyyətlər bu fəsilin sonundakı qeydlərdəki cədvəldə daha ətraflı izah olunur.)

Ancaq hissəciklərin kütlələrində olduğu kimi, burada da sual açıq qalır: təcrübəçilər bu xüsusiyyətləri dəqiqliklə ölçsələr də, niyə kainatımız məhz bu cür hissəciklərdən ibarətdir,

niyə bu hissəciklər bu cür kütlələrə və qüvvə yüklərinə malikdirlər – bunun heç bir izahı yoxdur.

Bu ümumi xüsusiyyətlərə baxmayaraq, əsas qüvvələri araşdırmaq sadəcə sualları daha da artırır.

Məsələn:

- Niyə dörd əsas qüvvə var? Niyə beş deyil, ya da üç? Bəlkə də yalnız bir dənə olmalı idi?
- Niyə bu qüvvələrin xassələri bir-birindən bu qədər fərqlidir?
- Niyə güclü və zəif qüvvələr yalnız mikroskopik səviyyədə işləyir, halbuki cazibə və elektromaqnit qüvvəsi məhdudiyyətsiz təsir sahəsinə malikdir?
- Və ən əsası, bu qüvvələrin gücü niyə bir-birindən bu qədər fərqlidir?

Bu sonuncu sualı daha yaxşı başa düşmək üçün təsəvvür edin ki, sol əlinizdə bir elektron, sağ əlinizdə isə başqa bir elektron tutursunuz və bu iki eyni elektrik yüklü hissəciyi bir-birinə yaxınlaşdırırsınız. Onların qarşılıqlı cazibə qüvvəsi onları bir-birinə yaxınlaşdırmağa çalışacaq, amma elektromaqnit itələmə qüvvəsi onları bir-birindən uzaqlaşdırmağa çalışacaq. Hansı qüvvə daha güclüdür? Burada heç bir mübahisə yoxdur: Elektromaqnit itələmə qüvvəsi təxminən bir milyon milyard milyard milyard (10-un 42-ci qüvvəti) dəfə güclüdür! Əgər sağ çiyin sizin cazibə qüvvənizin gücünü təmsil edirsə, sol çiyininiz elektromaqnit qüvvəsinin gücünü təmsil etmək üçün bilinən kainatın kənarından o tərəfə qədər uzanmalı olardı.

Elektromaqnit qüvvəsi cazibə qüvvəsini tamamilə üstələmədiyi yeganə səbəb odur ki, əksər şeylər bərabər miqdarda müsbət və mənfi elektrik yükündən ibarətdir və bu yüklərin qüvvələri bir-birini ləğv edir. Digər tərəfdən, cazibə hər zaman cəlbedici olduğuna görə, burada bənzər ləğv etmələr yoxdur – daha çox maddə, daha güclü cazibə qüvvəsi deməkdir. Lakin əsasən, cazibə son dərəcə zəif bir qüvvədir. (Bu fakt, gravitonun mövcudluğunu təcrübə ilə təsdiqləməkdə çətinlik çəkməyimizin səbəbidir. Ən zəif qüvvənin ən kiçik paketini axtarmaq olduqca çətinidir.) Təcrübələr həmçinin göstərib ki, güclü qüvvə elektromaqnit qüvvəsindən təxminən yüz dəfə güclüdür və zəif qüvvədən isə təxminən yüz min dəfə güclüdür.

Amma bizim kainatımızın bu xüsusiyyətlərə sahib olmasının məqsədi və ya mənası nədir?

Bu, sadəcə niyə bəzi detallarda bir şeyin başqa cür deyil, belə olduğunu düşünməkdən yaranan bir sual deyil; əgər maddə və qüvvə hissəciklərinin xüsusiyyətləri bir qədər də olsa dəyişsəydi, kainat çox fərqli olardı. Məsələn, periodik cədvəlin təxminən yüzə yaxın elementini təşkil edən sabit nüvələrin mövcudluğu, güclü və elektromaqnit qüvvələrinin gücləri arasındakı nisbətə diqqətlə bağlıdır. Atom nüvələrində sıxışmış protonlar bir-birini

elektromaqnit olaraq itələyirlər; amma onların tərkibindəki kvarklar arasında təsir edən güclü qüvvə şüklər olsun ki, bu itələməni aşır və protonları möhkəm birləşdirir. Lakin bu iki qüvvənin güclərinin nisbətindəki kiçik bir dəyişiklik asanlıqla balansı pozar və əksər atom nüvələrinin dağılmasına səbəb olar.

Həmçinin, əgər elektronun kütləsi indiki qədərdən bir neçə dəfə daha böyük olsaydı, elektronlar və protonlar birləşib neytronlar yaradardı, bu da hidrogen nüvələrinin (kosmosdakı ən sadə element, bir protondan ibarət olan nüvəsi olan) dağılmasına səbəb olardı və bu, daha mürəkkəb elementlərin yaranmasını pozardı. Ulduzlar sabit nüvələr arasında füzyon prosesinə əsaslanır və belə fundamental fizika dəyişiklikləri ilə yaranmazdılar.

Cazibə qüvvəsinin gücü də formalaşdırıcı bir rol oynayır. Ulduzun mərkəzi nüvəsində maddənin sıxlığı onun nüvə sobasını işlədərək ulduz işığının parıltısını təmin edir. Əgər cazibə qüvvəsinin gücü artırılsaydı, ulduz daha güclü bağlanar, bu da nüvə reaksiyalarının sürətində əhəmiyyətli artıma səbəb olardı. Lakin tıraşlanmış şamın tez tükənməsi kimi, nüvə reaksiyalarının sürətinin artması ulduzların, məsələn, Günəşin, daha sürətli yanıb tükənməsinə səbəb olardı və bu da həyatın yaranmasına mənfi təsir göstərirdi. Digər tərəfdən, əgər cazibə qüvvəsinin gücü əhəmiyyətli dərəcədə azaldılsa, maddə heç bir şəkildə sıxılmayacaq və bu, ulduzlar və qalaktikaların yaranmasına mane olar.

Davam edə bilərik, amma ideya aydındır: kainat belədir, çünki maddə və qüvvə hissəcikləri belə xüsusiyyətlərə malikdir. Bəs, bu hissəciklərin bu xüsusiyyətlərə malik olmasının elmi bir izahı varmı?

Sim Nəzəriyyəsi: Əsas Fikir

Sim nəzəriyyəsi bu suallara cavab tapmaq üçün güclü və yeni bir anlayış çərçivəsi təqdim edir. İlk dəfə olaraq, bu sualları cavablandırma biləcək bir model meydana çıxmışdır. Gəlin əvvəlcə əsas fikri anlayaq.

Cədvəl 1.1-dəki hissəciklər bütün maddələrin “hərfləri” kimidir. Dilimizdəki hərflər kimi, bu hissəciklərin də iç quruluşu olmadığı düşünülür. Amma sim nəzəriyyəsi fərqli deyir. Bu nəzəriyyəyə görə, əgər bu hissəcikləri daha da dəqiqliklə – yəni bu günkü texnologiyamızın çox-çox qabağında olan bir dəqiqliklə – müşahidə edə bilsəydik, görərdik ki, onlar nöqtə şəklində deyillər. Onlar əslində çox kiçik, birölçülü halqa formasında olan quruluşlardır.

Hər hissəcik, sonsuz incə bir rezin halqasını xatırladan, titrəyən, hərəkət edən və rəqs edən bir ipcikdən ibarətdir. Fiziklər buna sadəcə “sim” deyirlər. Şəkil 1.1-də bu əsas fikri göstərmək üçün adi bir maddədən – məsələn, bir almadan – başlayıb onun quruluşunu ard-arda böyüdərək kiçik hissəciklərinə qədər endiririk. Sim nəzəriyyəsi artıq bildiyimiz atomlar, protonlar, neytronlar, elektronlar və kvarklardan ibarət olan bu zəncirə yeni bir qat əlavə edir: titrəyən bir halqa – yəni sim.

Baxmayaraq ki, bu dərhal aydın olmaya bilər, 6-cı fəsildə görəcəyik ki, maddənin nöqtə şəklində olan hissəciklərini simlərlə əvəz etmək — yəni sadəcə bu dəyişiklik — kvant mexanikası ilə ümumi nisbilik nəzəriyyəsi arasındakı uyğunsuzluğu həll edir. Sim nəzəriyyəsi bununla müasir nəzəri fizikanın əsas və ən çətin problemini – sanki bir “Qordi düyünü”nü – açır.

Bu böyük bir nailiyyətdir. Amma sim nəzəriyyəsinin bu qədər həyəcan yaratmasının səbəbi təkə bu deyil.

Hər Şeyin Birləşmiş Nəzəriyyəsi kimi Sim Nəzəriyyəsi

Eynşteynin dövründə güclü və zəif nüvə qüvvələri hələ kəşf olunmamışdı. Amma o, sadəcə iki ayrı qüvvənin – cazibə (qravitasiya) və elektromaqnetizmin – varlığını belə narahatedici hesab edirdi. Eynşteyn təbiətin bu qədər “israfçı” bir dizayna malik olduğunu qəbul etmirdi. Bu düşüncə onu təxminən otuz illik bir axtarışa – yəni “birləşmiş sahə nəzəriyyəsi” adlandırdığı nəzəriyyəni tapmaq söylərinə – sövq etdi. O, bu nəzəriyyənin göstərməsini istəyirdi ki, əslində bu iki qüvvə bir böyük əsas prinsipin fərqli görünüşləridir.

Amma bu, bir qədər xəyalpərəst bir axtarış idi və nəticədə Eynşteyn dövrünün əsas fizika cərəyanlarından uzaqlaşdı. Çünki həmin vaxt fiziklər yeni meydana çıxmaqda olan kvant mexanikasını öyrənməyə daha çox maraq göstərirdilər – bu da tamamilə başa düşüləndir.

Eynşteyn 1940-cı illərin əvvəllərində bir dostuna yazdığı məktubda belə demişdi: *“Mən artıq corab geyinməyən, əsasən bu cəhəti ilə tanınan və bəzən maraqlı bir obyekt kimi göstərilən tənha bir qocaya çevrilmişəm.”*

Eynşteyn sadəcə öz dövrünü qabaqlamışdı. Onun “birləşmiş nəzəriyyə” arzusu, yarım əsrdən çox vaxt keçdikdən sonra, müasir fizikanın sanki “müqəddəs qabı”na – yəni ən böyük və arzulanan məqsədinə çevrilib. Və fizika ilə riyaziyyat sahəsində çalışanların

əhəmiyyətli bir hissəsi getdikcə daha çox inanmağa başlayır ki, bu suala cavabı sim nəzəriyyəsi verə bilər.

Bu nəzəriyyə tək bir prinsip üzərində qurulub: *hər şey – maddə və qüvvələr – ən kiçik səviyyədə titrəyən simlərin kombinasiyalarından ibarətdir*. Bu fikrə əsaslanaraq sim nəzəriyyəsi bütün qüvvələri və maddələri izah edə biləcək vahid və geniş bir çərçivə təqdim edir.

Məsələn, sim nəzəriyyəsi bildirir ki, müşahidə edilən hissəciklərin xüsusiyyətləri – Cədvəl 1.1 və 1.2-də göstərilən məlumatlar – simlərin müxtəlif yollarla titrəməsinin əksidir. Necə ki, skripka və ya piano simlərinin müəyyən rezonans tezlikləri var və onlar bu tezliklərdə titrəməyi "sevirlər" – bizim qulaqlarımız da bu titrəyişləri müxtəlif musiqi notları kimi eşidir – eyni şey sim nəzəriyyəsindəki halqalar üçün də keçərlidir.

Lakin burada musiqi notları əvəzinə, hər bir titrəmə forması bizə müəyyən bir hissəcik kimi görünür. Bu hissəciyin kütləsi və daşdığı qüvvə yükləri həmin titrəmə formasına görə müəyyənləşir. Məsələn, elektron – simin müəyyən bir şəkildə titrəməsidir, "up kvark" isə simin başqa bir şəkildə titrəməsidir və sair.

Yəni hissəciklərin müxtəlifliyi sadəcə təsadüfi və qarışıq elmi məlumatlar yığını deyil. Əksinə, sim nəzəriyyəsinə görə, onların hamısı eyni fiziki mənbədən – əsas simlərin rezonanslı titrəmə formalarından – yaranır. Sanki hər bir hissəciyin "səsi" var və bu səs simin titrəyişindən gəlir.

Bu fikir təbiətdəki qüvvələrə də aiddir. Göstəriləcək ki, qüvvələri daşıyan hissəciklər də müəyyən titrəmə formaları ilə əlaqəlidir. Yəni bütün maddə və bütün qüvvələr eyni prinsiplə – mikroskopik səviyyədəki simlərin "oynaya bildiyi notlar", yəni titrəmə formaları ilə – izah olunur və birləşdirilir.

Fizika tarixində ilk dəfə olaraq bizim kainatın quruluşuna aid bütün əsas xüsusiyyətləri izah edə biləcək bir nəzəri çərçivəmiz var. Məhz buna görə də, sim nəzəriyyəsi bəzən "hər şeyin nəzəriyyəsi" (T.O.E. – *Theory of Everything*), "son nəzəriyyə" və ya "əsl nəzəriyyə" kimi adlandırılır. Bu cür iddialı adlar onu deməyə çalışır ki, bu nəzəriyyə fizikanın mümkün olan ən dərin səviyyədəki izahıdır – yəni bütün digər nəzəriyyələrin əsasında duran və daha dərin izaha ehtiyac olmayan bir nəzəriyyə.

Lakin reallıqda, sim nəzəriyyəsi ilə məşğul olan alimlərin əksəriyyəti bu məsələyə daha pragmatik yanaşır. Onlar "hər şeyin nəzəriyyəsini" daha sadə şəkildə – yəni fundamental hissəciklərin xüsusiyyətlərini və bu hissəciklərin bir-biri ilə necə qarşılıqlı əlaqədə olduğunu izah edə bilən bir nəzəriyyə kimi düşünürlər.

Qəti bir reduksionist (yəni hər şeyi ən kiçik hissələrə qədər izah etməyə çalışan biri) isə deyirdi ki, bu heç də bir məhdudiyyət deyil. Çünki onun fikrincə, prinsipə hər şey – böyük partlayışdan tutmuş insan xəyallarına qədər – maddənin əsas hissəcikləri və onların fiziki qarşılıqlı təsirləri ilə izah oluna bilər.

Reduksionist belə deyirdi: əgər sən bütün “tərkib hissələrini” tam başa düşürsənsə, deməli hər şeyi başa düşürsən.

Reduksionist fəlsəfə (yəni hər şeyi ən kiçik hissəciklərə qədər izah etməyə çalışan baxış) tez-tez mübahisələrə səbəb olur. Bir çox insanlar üçün bu yanaşma mənasız və hətta iyrənc görünür. Onlar düşünür ki, həyatın və kainatın bütün möcüzələrinin sadəcə mikroskopik hissəciklərin fizika qanunlarına tam uyğun şəkildə “məqsədsiz rəqsi” kimi izah olunması, bu gözəllikləri kiçiltməkdir.

Həqiqətənmi sevinc, kədər və ya darıxmaq kimi hisslər sadəcə beynimizdəki kimyəvi reaksiyalardır? Yəni molekullar və atomlar arasında baş verən reaksiyalar – və daha dərinə getsək – əslində Cədvəl 1.1-dəki hissəciklər arasında baş verən qarşılıqlı təsirlərdir və onlar da sadəcə titrəyən simlərdən ibarətdirlər?

Bu tənqidlərə cavab olaraq, Nobel mükafatı laureatı Stiven Vaynberq (Steven Weinberg) "Son Nəzəriyyə Yuxuları" (*Dreams of a Final Theory*) adlı kitabında belə deyir:

“Reduksionizmin əleyhdarları — yəni hər şeyin hissəciklərə və sahələrə endirilməsinə qarşı çıxanlar — müasir elmin onlara çox soyuq və mənasız gəldiyini deyirlər. Onlar özlərini və yaşadıkları dünyanı belə bir səviyyəyə endirilmiş halda görməkdən narahat olurlar... Mən bu insanlara müasir elmin gözəllikləri barədə motivasiyaedici nitqlərlə cavab verməyə çalışmazdım. Reduksionist dünyagörüşü doğrudan da soyuq və şəxssizdir. Onu qəbul etmək məcburiyyətindəyik – sevdiyimiz üçün yox, sadəcə bu dünyanın işləmə prinsipi belə olduğu üçün.”

Bəziləri bu sərt baxışla razılaşır, bəziləri isə razılaşmır.

Bəzi alimlər isə iddia edirlər ki, xaos nəzəriyyəsi kimi yeni elmi yanaşmalar göstərir ki, bir sistemin mürəkkəbliyi artdıqca, yeni növ qanunlar işə düşür. Məsələn, bir elektronun və ya kvarkın davranışını anlamaq bir şeydir, amma bu biliklə tornadonun necə hərəkət etdiyini izah etmək tamamilə başqa bir məsələdir. Bu fikirdə əksər alimlər razıdır.

Lakin fikir ayrılığı buradadır: Bəziləri deyir ki, mürəkkəb sistemlərdə ortaya çıxan müxtəlif və gözlənilməz hadisələr həqiqətən də yeni fiziki qanunların mövcudluğunu göstərir. Digərləri isə düşünür ki, bu hadisələr yeni qanunlar deyil, sadəcə mövcud fiziki

prinssimlərin çox mürəkkəb tətbiqləridir – yəni çox sayda hissəciyin qarşılıqlı təsirindən ibarətdir.

Müəllif (yəni bu hissəni yazan alim) isə düşünür ki, bu cür mürəkkəb hadisələr yeni və müstəqil fiziki qanunlar deyil. Tornadonun xüsusiyyətlərini elektronlar və kvarkların fizikasına əsaslanaraq izah etmək çətin olsa da, bu çətinlik yeni qanunlara ehtiyac olduğunu göstərmir – sadəcə hesablamalar həddindən artıq mürəkkəbdir.

Amma, əlbəttə ki, bu baxışla razılaşmayanlar da var.

Əsas məsələ və bu kitabda təsvir olunan elmi səyahət üçün vacib olan nöqtə budur: Hətta kiminsə dediyi kimi, hər şey ən kiçik hissəciklər səviyyəsində izah olunsaydı, nəzəri imkan başqa şeydir, praktik tətbiq isə tamamilə başqa.

Demək olar ki, hər kəs razıdır ki, "Hər Şeyin Nəzəriyyəsini" (T.O.E.) tapmaq, psixologiya, biologiya, geologiya, kimya və ya hətta fizikanın tam şəkildə "həll olunduğu" mənasına gəlməyəcək. Kainat o qədər zəngin və mürəkkəbdir ki, bu nəzəriyyənin tapılması elmin sonu deyil – əksinə, yeni başlanğıcı olacaq.

Belə bir nəzəriyyə – yəni kainatın ən kiçik səviyyədə necə işlədiyini izah edən, özü daha dərin heç bir izaha ehtiyac duymayan bir nəzəriyyə – bizim dünya anlayışımız üçün möhkəm bir təməl yaradacaq.

Bu nəzəriyyə elmin zirvəsi yox, yeni elmi dövrün başlanğıcı olacaq. Və onun kəşfi bizə əbədi olaraq göstərəcək ki, kainat başa düşülə bilən bir yerdir.

Sim Nəzəriyyəsinin Mövcud Vəziyyəti

Bu kitabın əsas məqsədi – sim nəzəriyyəsinə əsaslanaraq kainatın necə işlədiyini izah etməkdir. Əsas diqqət isə bu nəzəriyyənin məkan və zaman anlayışımıza necə təsir etdiyinə yönəlib.

Digər bir çox elmi izahlardan fərqli olaraq, burada danışılan mövzu – yəni sim nəzəriyyəsi – hələ tam şəkildə işlənib başa çatdırılmıy, ciddi təcrübələrlə sübut olunmuş və bütün elmi cəmiyyət tərəfindən qəbul olunmuş bir nəzəriyyə deyil.

Bunun səbəbini isə növbəti fəsillərdə daha ətraflı izah edəcəyik. Qısa desək, sim nəzəriyyəsi o qədər dərin və mürəkkəb bir nəzəriyyədir ki, son 20 il ərzində böyük nailiyyətlər əldə olunsada, hələ də tam şəkildə bu nəzəriyyəyə bələd olduğumuzu demək tezdir. Qarşımızda hələ uzun bir yol var.

Sim nəzəriyyəsi hələ tam olaraq tamamlanmamış bir iş olaraq görülməlidir, amma onun qismən tamamlanması artıq məkan, zaman və maddənin təbiəti haqqında heyrləndirici anlayışlar ortaya qoyub. Ümumi nisbilik və kvant mexanikasının harmonik birləşməsi böyük bir uğurdur.

Daha da əhəmiyyətli odur ki, əvvəlki nəzəriyyələrdən fərqli olaraq, sim nəzəriyyəsi təbiətin ən əsas hissəcikləri və qüvvələri ilə bağlı ilk suallara cavab vermək potensialına malikdir. Eyni dərəcədə vacib olan isə, baxmayaraq ki, bunu izah etmək bir az çətindir, sim nəzəriyyəsinin təklif etdiyi cavabların və cavablara çatmaq üçün istifadə edilən çərçivənin heyrlətamiz zərifliyidir.

Məsələn, sim nəzəriyyəsində təbiətin bir çox aspekti, hansı ki, əvvəlcə sadəcə təsadüfi texniki detallar kimi görünə bilər (məsələn, müxtəlif fundamental hissəciklərin sayı və onların müvafiq xüsusiyyətləri), əslində kainatın coğrafiyasının əsas və konkret aspektlərindən qaynaqlanır.

Əgər sim nəzəriyyəsi doğru olsa, bizim kainatımızın mikroskopik toxuması, sonsuz sayda qatlanıb titrəyən simlərin kainatın qanunlarını ritmik olaraq çaldığı, zəngin şəkildə birləşmiş çoxölçülü bir labirintdən ibarət olacaq. Təbiətin əsas tərkib hissələrinin xüsusiyyətləri, təsadüfi detallar olmaqdan çox, məkan və zamanın toxuması ilə dərin bir şəkildə əlaqəlidir.

Son nəticədə, heç nə, sim nəzəriyyəsinin kainatımızın ən dərin həqiqətlərini gizlədən sirri həqiqətən açıb-açmadığını müəyyən edə biləcək dəqiq və test edilə bilən proqnozlar qədər əhəmiyyətli deyil. Bizim anlayış səviyyəmiz bu məqsədə çatmaq üçün kifayət qədər dərinliyə çatana qədər bir az zaman keçə bilər. Lakin, 9-cu fəsildə müzakirə edəcəyimiz kimi, eksperimental testlər növbəti 10 il ərzində sim nəzəriyyəsinə güclü dolaylı dəstək verə bilər.

Bundan əlavə, 13-cü fəsildə görəcəyik ki, sim nəzəriyyəsi yaxınlarda "Bekenstein-Hawking entropiyası" ilə əlaqəli, qara dəliklərə dair mərkəzi bir müəmmayı həll edib. Bu müəmma 25 ildən çoxdur ki, daha ənənəvi üsullarla həll oluna bilmirdi. Bu uğur, bir çoxlarını sim nəzəriyyəsinin kainatın necə işlədiyinə dair ən dərin anlayışımızı təqdim etməkdə olduğunu düşündürüb.

Sim nəzəriyyəsinin aparıcı mütəxəssislərindən və öncüllərindən biri olan Edward Witten, vəziyyəti belə xülasə edir: "Sim nəzəriyyəsi, təsadüfən XX əsrə düşən, XXI əsrin fizikasının bir hissəsidir," - bu qiymətləndirməni məşhur italyan fiziki Danielle Amati ilk dəfə ifadə edib. Bir mənada, bu o deməkdir ki, XIX əsrin sonlarında babalarımıza müasir bir superkompüter təqdim edilsəydi, amma onun işləmə təlimatları verilməsəydi, onlar yalnız sınaqdan keçirməklə bu superkompüterin gücünün bəzi işarələrini görərdilər, amma onu tam mənimsəmək üçün güclü və uzun müddətli bir zəhmət tələb olunardı. Kompüterin potensialının işarələri, sim nəzəriyyəsinin izah gücünə baxdığımız kimi, tam mənimsəməyi əldə etmək üçün çox güclü bir motivasiya olardı. Bu gün də, sim nəzəriyyəsinə tam və dəqiq şəkildə anlamaq üçün nəzəriyyəçi fizika mütəxəssisləri nəslə bu cür bir motivasiya ilə fəaliyyət göstərir.

Witten-in və sahədəki digər mütəxəssislərin sözləri, sim nəzəriyyəsinin tam inkişaf edib başa düşülməsinin onilliklər və ya hətta əsrlər çəkə biləcəyini göstərir. Bu, həqiqətən də belə ola bilər. Əslində, sim nəzəriyyəsinin riyaziyyəti o qədər mürəkkəbdir ki, indiyə qədər heç kim bu nəzəriyyənin dəqiq tənliliklərini bilmir. Fiziklər yalnız bu tənliliklərin yaxınlaşmalarını bilirlər və hətta bu yaxınlaşmalar o qədər mürəkkəbdir ki, hələ yalnız qismən həll olunub. Bununla belə, 1990-cı illərin sonlarında baş verən ilhamverici irəliləyişlər—indiyə qədər düşünülə bilməyən çətinlikdəki nəzəri suallara cavab verən irəliləyişlər—sim nəzəriyyəsinin tam kvantitativ başa düşülməsinin əvvəlcə düşünüldəndən çox daha yaxın ola biləcəyini göstərir. Dünyada fiziklər, indiyə qədər istifadə olunan çoxsaylı yaxınlaşdırma üsullarını aşmaq üçün güclü yeni texnikalar inkişaf etdirirlər və sim nəzəriyyəsinin tapmacasının müxtəlif elementlərini sürətlə birləşdirirlər.

Təəccüblü bir şəkildə, bu inkişaf, nəzəriyyənin bəzi əsas aspektlərini yenidən şərh etməyə yeni baxış bucaqları təqdim edir. Məsələn, 1.1-ci Şəkilə baxarkən ağılınıza gələn təbii bir sual ola bilər: Niyə simlər? Niyə kiçik frisbi diskləri? Ya da mikroskopik baloncuk şəkilli hissəciklər? Yaxud bunların hamısının birləşməsi? 12-ci fəsildə görəcəyimiz kimi, sonrakı anlayışlar, bu digər növ tərkib hissələrinin sim nəzəriyyəsində mühüm bir rol olduğunu və sim nəzəriyyəsinin əslində daha böyük bir sintez, hal-hazırda (və sirli şəkildə) M-nəzəriyyəsi adlanan bir hissəsi olduğunu göstərir. Bu son inkişaf, bu kitabın son fəsillərində müzakirə olunacaq.

Elm, fasilələrlə irəliləyir. Bəzi dövrlər böyük irəliləyişlərlə doludur; digər vaxtlarda isə tədqiqatçılar "quru dövrlər" yaşayır. Alimlər həm nəzəri, həm də eksperimental nəticələr irəli sürürlər. Nəticələr cəmiyyət tərəfindən müzakirə olunur, bəzən onlar rədd edilir, bəzən dəyişdirilir, bəzən isə onlar fiziki kainatı daha dəqiq başa düşmək üçün ilham verici başlanğıc nöqtələri təmin edirlər. Başqa sözlə, elm, ümid etdiyimiz ən böyük həqiqətə doğru bir zigzag yolu ilə irəliləyir, bu yol, insanlığın kainatı dərk etmək üçün ilk

cəhdlərindən başlayıb və sonunu proqnozlaşdırı bilmirik. Sim nəzəriyyəsi bu yolda təsadüfi bir dayanacaqımı, bir dönüş nöqtəsi, ya da əslində son məqsəd olub-olmadığını bilmirik. Lakin son 20 ildə, müxtəlif ölkələrdən yüzlərlə fəal fizika və riyaziyyatçının apardığı tədqiqatlar, doğru və mümkün olan son yolun üzərində olduğumuza dair yaxşı əsaslanmış bir ümid verib.

Sim nəzəriyyəsinin zəngin və geniş əhatəli təbiətinin əlamətidir ki, bu günkü anlayış səviyyəimiz bizə kainatın iş prinsimləri haqqında təəccüblü yeni anlayışlar qazandırmaya imkan verib. Növbəti hissələrdə, Eynşteyn'in xüsusi və ümumi nisbilik nəzəriyyələri ilə başlanan zaman və məkan anlayışımızdakı inqilabı davam etdirən inkişafı əsas mövzu olacaq.

Görəcəyik ki, əgər sim nəzəriyyəsi doğrudursa, kainatımızın strukturu o cür xüsusiyyətlərə malikdir ki, bu, hətta Eynşteyn'i belə təəccübləndirə bilərdi.

Hissə II:

Məkan, Zaman və Kvantların Qarışıqlığı

Fəsil 2

Məkan, Zaman və Baxışın Gözəlliyi

1905-ci ilin iyununda, 26 yaşlı Albert Eynşteyn, fizika jurnalında işıqla bağlı gənclik illərində, təxminən on il əvvəl onu narahat edən bir paradoksu həll edən texniki məqaləsini təqdim etdi. Eynşteynin əlyazmasının sonuncu səhifəsini çevirən jurnalın redaktoru, Maks Plank, qəbul edilən elmi nizamın alt-üst olunduğunu anladı. Heç bir şov və ya təntənə olmadan, İsveçrənin Bern şəhərindən olan bir patent işçisi, ənənəvi məkan və zaman anlayışlarını tamamilə inkar edərək, ümumiyyətlə tanıdığımız təcrübələrə zidd olan yeni bir anlayışla əvəz etdi.

Eynşteyni on il boyunca narahat edən paradoks bu idi. 1800-cü illərin ortalarında, İngilis fiziki Maykl Faradey-in eksperimental işlərinin dərin araşdırılmasından sonra, Şotlandiyalı fiziki Ceyms Klark Maksvel elektromaqnit sahəsi çərçivəsində elektrik və maqnetizmi

birdləşdirməyi bacardı. Əgər siz heç vaxt böyük bir fırtına başlamazdan əvvəl dağın zirvəsində olmamısınızsa və ya Van de Graaf generatorunun yaxınlığında durmamısınızsa, elektromaqnit sahəsinin nə olduğunu hiss etməmişiniz. Lakin bunu etməmişinizsə, elektromaqnit sahəsi bir növ elektrik və maqnetik qüvvə xətləri tərkibində bir bölgəyə nüfuz edən bir dalğa kimidir. Məsələn, bir maqnitin yaxınlığında dəmir tozlarını səpəndə, onların təşkil etdiyi nizami naxış maqnetik qüvvə xətlərinin bir hissəsini izah edir. Üzərindəki yun sviterini xüsusilə quru bir gündə çıxardığınızda, çaxnaşma səsi eşidirsiniz və bəlkə də bir neçə anlıq şok hiss edirsinizsə, bu, sviterinizdəki liflər tərəfindən yığılmış elektrik yükləri ilə yaranan elektrik qüvvə xətlərinin sübutudur. Maksvelin nəzəriyyəsi, bütün elektromaqnit fenomenlərini bir riyazi çərçivədə birdləşdirməklə yanaşı, gözlənilməz bir şəkildə göstərdi ki, elektromaqnit pozulmaları müəyyən və heç dəyişməyən bir sürətlə hərəkət edir, bu sürət isə işığın sürətinə bərabərdir. Bununla, Maksvel başa düşdü ki, görünən işıq özü sadəcə bir elektromaqnit dalğasının xüsusi bir növüdür, hansı ki, bu gün retinada olan kimyəvi maddələrlə qarşılıqlı təsirə girərək görmə hissini yaradır. Daha da əhəmiyyətli (və bu vacibdir), Maksvelin nəzəriyyəsi həmçinin göstərdi ki, bütün elektromaqnit dalğaları – görünən işıq da daxil olmaqla – hərəkət edən səyyahın epitomasıdır. Onlar heç vaxt dayanmazlar. Onlar heç vaxt yavaşlamazlar. Işıq həmişə işıq sürətində hərəkət edir.

Hər şey yaxşıdır və doğrudur, ta ki, on altı yaşlı Eynşteynin sual verdiyi kimi, biz işıq şüasını işıq sürətində təqib etsək nə olacaq? Nyutonun hərəkət qanunlarına əsaslanan intuitiv düşüncə bizə bildirir ki, biz işıq dalğalarına çatıb onları dayandıracaq və işıq hərəkətsiz olacaq. Ancaq Maksvelin nəzəriyyəsinə və bütün etibarlı müşahidələrə görə, sadəcə olaraq hərəkətsiz işıq yoxdur: heç kim heç vaxt işığın dayandığı bir kütləni əlinin içinə alıb saxlaya bilməyib. Bu səbəbdən problem yaranır.

Xoşbəxtlikdən, Eynşteyn bu suala cavab axtaran dünyanın aparıcı fiziki alimlərinin çoxunun bu məsələdə çətinlik çəkdiyini bilmirdi (və onlar bir çox yanlış yol tuturdular) və Maksvelin və Nyutonun paradoksunu əsasən öz düşüncələrində həll etməyə çalışırdı. Bu fəsildə biz Eynşteynin bu qarşıdurmanı necə həll etdiyini və bu zaman necə ki, o, zaman və məkan anlayışlarımızı əbədi olaraq dəyişdirdi. Bəlkə də təəccüblüdür ki, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin əsas məqsədi, bir-birinə nisbətdə hərəkət edən "müşahidəçilər" olaraq adlandırılan fərdlərə dünyanın necə göründüyünü tam anlamağa çalışmaqdır. Başlanğıcda bu, əhəmiyyətsiz bir intellektual məşq kimi görsənə bilər. Tam əksinə: Eynşteynin işıq şüalarını təqib edən müşahidəçiləri xəyallara qapılaraq, hətta ən sadə vəziyyətlərin belə, nisbətdə hərəkət edən fərdlərə necə göründüyünü tam anlamağın dərinədən mənası var.

İntuisiyanın və onun çatışmazlıqları

Adi təcrübə, belə fərdlərin müşahidələrinin necə fərqləndiyini vurğulayan müəyyən yolları göstərir. Məsələn, yol kənarındakı ağaclar sürücünün nöqteyi-nəzərindən hərəkət edir, amma bir yolçu guardrail-də oturarkən ağaclar dayanıqlı görünür. Eynilə, avtomobilin bortu sürücünün nöqteyi-nəzərindən hərəkət etmir (umid edirik ki, etmir!), amma yolçuya baxıldıqda, o da avtomobilin qalan hissəsi kimi hərəkət edir. Bunlar dünyanın necə işləyişi ilə bağlı o qədər əsas və intuisiv xüsusiyyətlərdir ki, biz onları demək olar ki, heç vaxt qeyd etmirik.

Lakin, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi, iki belə fərd arasında müşahidə fərqlərinin daha incə və dərinlən olduğunu bəyan edir. Bu, müşahidəçilərin nisbətdə hərəkət etdiyi zaman onların məsafə və zaman anlayışlarının fərqli olacağını iddia edən qəribə bir bəyanatdır. Bu, deməkdir ki, biz görəcəyik ki, nisbətdə hərəkət edən iki fərdin eyni qol saatları fərqli sürətlə işləyi və buna görə də seçilən hadisələr arasındakı zamanın nə qədər keçdiyinə dair razılaşmayacaqlar. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi, bu bəyanatın əlaqədar qol saatlarının dəqiqliyinə xələl gətirmədiyini göstərir; əslində bu, zamanın özü barədə doğru bir bəyanatdır.

Eyni şəkildə, nisbətdə hərəkət edən müşahidəçilər eyni ölçü lentlərini daşısalar da, ölçülən məsafələrin uzunluqları barədə razılaşmayacaqlar. Yenə də bu, ölçmə cihazlarının səhvlərindən və ya onların necə istifadə olunduğundan qaynaqlanmır. Dünyadakı ən dəqiq ölçmə cihazları təsdiq edir ki, məkan və zaman—məsafələr və müddətlər vasitəsilə ölçülən—hamı tərəfindən eyni şəkildə təcrübə edilmir. Eynşteynin dəqiq şəkildə açıqladığı şəkildə, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi, hərəkət haqqındakı intuisiyamızla işığın xüsusiyyətləri arasındakı münaqişəni həll edir, amma bunun bir qiyməti var: bir-birinə nisbətdə hərəkət edən fərdlər, nə məkanın, nə də zamanın müşahidələri barədə razılaşmayacaqlar.

Eynşteyn dünyaya öz dramatik kəşfini bildirdikdən demək olar ki, bir əsr keçib, amma hələ də əksəriyyətimiz məkanı və zamanı mütləq anlayışlarla görürük. Xüsusi nisbilik bizim hərəkətimizdə deyil—biz bunu hiss etmirik. Onun nəticələri bizim intuisiyamızın mərkəzi bir hissəsi deyil. Bunun səbəbi çox sadədir: Xüsusi nisbiliyin təsirləri, nə qədər sürətlə hərəkət etdiyimizə bağlıdır və maşınlar, təyyarələr və ya hətta kosmik gəmilər kimi sürətlərdə bu təsirlər çox kiçikdir. Yerin üzərində dayanan fərdlərlə avtomobillərdə və ya təyyarələrdə hərəkət edənlər arasında məkan və zamanla bağlı fərqlər baş verir, amma onlar o qədər kiçikdir ki, heç bir fərq görmürük. Lakin, işıq sürətinin əhəmiyyətli bir hissəsində hərəkət edən gələcəkdəki bir kosmik gəmiyə səyahət etsək, nisbilik təsirləri aydın şəkildə

görünərdi. Bu, əlbəttə, hələ də elmi fantastika sahəsindədir. Ancaq, sonrakı hissələrdə müzakirə edəcəyimiz kimi, zəka ilə aparılan təcrübələr Eynşteynin nəzəriyyəsi tərəfindən proqnozlaşdırılan məkan və zamanın nisbət xüsusiyyətlərinin dəqiq və aydın müşahidəsini təmin edir.

Bu nümunə xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin gündəlik həyatımıza necə təsir etmədiyini, amma böyük sürətlərə yaxın hərəkət edildikdə necə diqqətə cərpacaq bir fərq ortaya qoyduğunu göstərir. Burada, Slim və Jim arasındakı vaxt fərqi çox kiçikdir və bu cür fərqləri müşahidə etmək üçün son dərəcə dəqiq ölçmə cihazları tələb olunur. Lakin xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi belə kiçik fərqlərin belə fizikanın əsaslarını dəyişdiyini göstərir. Hərəkət sürəti nə qədər yüksək olarsa, zamanın keçışı arasındakı fərq də o qədər artar.

Bu cür nümunələr, nəzəriyyənin bizim adi həyat təcrübəmizdən nə qədər uzaq olduğunu, lakin yüksək sürətlərdə bu təsirlərin nəzərə cərpdiyini çox yaxşı izah edir. İndiki gündə həyatımızda bu cür fərqlər, bizim sürətimiz çox aşağı olduğu üçün müəyyən edilə bilməz, amma nəzəri olaraq, daha sürətli bir nəqliyyat vasitəsi ilə səyahət etsək, zamanın necə fərqli axacağına dair daha aydın bir təsəvvür əldə edə bilərik.

Eyni cür bir fərq uzunluq ölçmələrində də olacaq. Məsələn, başqa bir testdə Jim, Slim-in yeni avtomobilinin uzunluğunu ölçmək üçün ağıllı bir hiylə istifadə edir: O, saatını avtomobilin ön hissəsi ona çatdığı anda işə salır və saatını avtomobilin arxa hissəsi keçən anda dayandırır. Jim, Slim-in saatda 120 mil/saat sürətlə hərəkət etdiyini bildiyi üçün, bu sürəti saatının keçən vaxtı ilə vuraraq avtomobilin uzunluğunu hesablaya bilər. Yenə də, Eynşteyn-dən əvvəl, heç kim bu dolaylı yolla ölçülən uzunluğun, Slim-in avtomobilini satış salonunda hərəkətsiz vəziyyətdə ölçdüyü uzunluqla tamamilə uyğun olacağını şübhə altına almazdı. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi isə əksini bildirir: əgər Slim və Jim bu şəkildə dəqiq ölçmələr aparırlarsa və Slim avtomobilin məsələn, tam olaraq 16 fut uzunluğunda olduğunu tapırsa, Jim-in ölçməsində avtomobilin uzunluğu 15.99999999999974 fut olacaq - bir az daha az. Vaxtın ölçülməsi ilə olduğu kimi, bu qədər kiçik fərkdir ki, adi alətlər bunu aşkar edəcək qədər dəqiq deyil.

Hərçənd fərqlər çox kiçikdir, bunlar ümumiyyətlə qəbul edilən ümumi və dəyişməz məkan və zaman anlayışında fatal bir səhvi göstərir. Slim və Jim kimi şəxslərin nisbət sürəti artdıqca, bu səhv daha da aydınlaşır. Diqqətləyiqli fərqlər əldə etmək üçün, istifadə olunan sürətlər maksimum mümkün sürətin—yəni işıq sürətinin—xeyli bir hissəsi olmalıdır ki, Maxwell-in nəzəriyyəsi və eksperimental ölçmələr bu sürətin təxminən saniyədə 186,000 mil və ya saatda təxminən 670 milyon mil olduğunu göstərir. Bu sürət, bir saniyədə yer kürəsini yeddi dəfədən çox dövr etməyə yetər. Məsələn, əgər Slim 120 mil/saatla deyil, 580 milyon mil/saatla (ışıq sürətinin təxminən 87 faizi) hərəkət etsə, xüsusi nisbilik

nəzəriyyəsinin riyaziyyatı göstərir ki, Jim avtomobilin uzunluğunu təxminən səkkiz fut olaraq ölçəcək, bu isə Slim-in ölçüsündən (eləcə də sahibinin təlimat kitabçasındakı spesifikasiyalardan) xeyli fərqlidir. Eyni şəkildə, drag şeridini keçmək üçün Jim-in ölçdüyü zaman, Slim-in ölçdüyü zamandan təxminən iki dəfə daha uzun olacaq.

Belə böyük sürətlər hal-hazırda əldə edilə bilən hər hansı bir şeydən çox uzaqda olduğundan, "zamanın genişlənməsi" və "Lorentz müqaviləsi" kimi texniki adlarla bilinən bu fenomenlərin təsirləri gündəlik həyatda çox kiçikdir. Əgər biz işıq sürətinə yaxın sürətlə hərəkət edən obyektlərin olduğu bir dünyada yaşasaydıq, məkan və zamanın bu xüsusiyyətləri tamamilə intuisiya ilə başa düşülərdi—çünki biz onları daima təcrübə edərdik—beləliklə, onlar haqqında müzakirə etmək, bu fəslin əvvəllərində qeyd edilən yolda ağacların görsəl hərəkəti qədər adi olardı. Lakin biz belə bir dünyada yaşamırıq, buna görə də bu xüsusiyyətlər tanış deyil. Göstərdiyimiz kimi, onları anlamaq və qəbul etmək, dünya görüşümüzü tamamilə yenidən nəzərdən keçirməyi tələb edir.

Relativlik Prinsipi

Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin təməlini təşkil edən iki sadə, lakin dərin köklərə malik struktur vardır. Daha əvvəl qeyd edildiyi kimi, bunlardan biri işığın xüsusiyyətləri ilə bağlıdır; biz bunu növbəti hissədə daha ətraflı müzakirə edəcəyik. Digəri isə daha abstraktdır. Bu, müəyyən bir fiziki qanunla deyil, bütün fiziki qanunlarla əlaqəlidir və "relativlik prinsipi" adlanır. Relativlik prinsipi sadə bir faktdan irəli gəlir: sürət və ya sürətliliyi (obyektin sürəti və onun hərəkət istiqamətini) müzakirə edərkən, mütləq olaraq kim və ya nəyin ölçdüyünü müəyyən etmək lazımdır. Bu bəyanatın mənasını və əhəmiyyətini başa düşmək, aşağıdakı vəziyyəti düşünməklə asanlıqla başa düşülə bilər.

Təsəvvür edin ki, Corc, kiçik qırmızı işıq saçan bir işıqla təchiz olunmuş kosmik geyim geyinərək, tamamilə boş kosmosda, heç bir planet, ulduz və ya qalaktikadan çox uzaqda üzür. Corcun baxışından, o, tamamilə hərəkətsizdir və kainatın sabit, qaralığı içindədir. Uzaqda, Corc, yavaşca yaxınlaşan kiçik yaşıl işığı görür. Nəhayət, işıq o qədər yaxınlaşır ki, Corc görür ki, işıq başqa bir kosmonavtın, Qreysin kosmik geyiminə bağlıdır, o, yavaş-yavaş üzərək keçir. O, keçərkən əlini yelləyir, Corc da əlini yelləyir və Qreys uzaqlarda itir. Bu hekayə, eyni şəkildə, Qreysin perspektivindən də danışılaraq düzgün şəkildə anlatıla bilər. Hekayə eyni şəkildə başlayır: Qreys, sonsuz tünd qaranlıqda, yalnız qalaraq, heç bir şeyin olmadığı bir kosmosda üzür. Uzaqda, Qreys, qırmızı işıq saçan bir işıq görür, bu işıq

yavaş-yavaş yaxınlaşır. Nəhayət, o qədər yaxınlaşır ki, Qreys görür ki, işıq başqa bir varlığın, Corcun kosmik geyiminə bağlıdır, o da yavaş-yavaş üzərək keçir. O, keçərkən əlini yelləyir, Corc da əlini yelləyir və o da uzaqlarda itir.

Bu iki hekayə eyni vəziyyəti iki fərqli, amma bərabər dərəcədə doğru olan baxış bucağından təsvir edir. Hər bir müşahidəçi özünü hərəkətsiz hiss edir və digərini hərəkət edirmiş kimi qəbul edir. Hər bir perspektiv başa düşüləndir və haqlı olaraq müdafiə oluna bilər. İki kosmik sakin arasında simmetriya olduğu üçün, hər hansı birinin perspektivinin "doğru" və ya digərinin "yanlış" olduğunu demək üçün çox fundamental əsaslar yoxdur. Hər bir perspektiv həqiqətə bərabər bir haqqı özündə daşıyır.

Bu nümunə relativlik prinsipinin mənasını göstərir: Hərəkət anlayışı nisbidir. Biz bir obyektin hərəkətindən danışa bilərik, amma yalnız başqa bir obyektə nisbətən və ya müqayisə ilə. Buna görə də "Corc 10 mil saatla hərəkət edir" cümləsinin heç bir mənası yoxdur, çünki biz heç bir digər obyekt müəyyən etməmişik. Amma "Corc Qreysin yanından 10 mil saatla hərəkət edir" cümləsi mənalıdır, çünki biz artıq Qreysi müqayisə nöqtəsi kimi müəyyən etmişik. Nümunəmiz göstərir ki, bu sonuncu cümlə "Qreys Corcun yanından 10 mil saatla hərəkət edir (əks istiqamətdə)" cümləsi ilə tam bərabərdir. Başqa sözlə, hərəkətin "mütləq" bir anlayışı yoxdur. Hərəkət nisbidir.

Bu hekayənin əsas elementlərindən biri budur ki, nə Corc, nə də Qreys heç bir qüvvə və ya təsir tərəfindən hərəkət etdirmir, çəkinmir və ya hər hansı bir şəkildə təsirə məruz qalmır, bu da onların qüvvəsiz, sabit sürətlə hərəkət etmə vəziyyətini pozacaq bir şey deyil. Buna görə də, daha dəqiq bir bəyanat belədir ki, qüvvəsiz hərəkət yalnız digər obyektlərə nisbətən mənalıdır. Bu, vacib bir izahdır, çünki əgər qüvvələr varsa, onlar müşahidəçilərin sürətini və ya hərəkət istiqamətini dəyişdirir və bu dəyişikliklər hiss edilə bilər. Məsələn, əgər Corc arxasından atəş açan bir raket çantasını geyinsə, o, mütləq olaraq hərəkət etdiyini hiss edərdi. Bu hiss, daxili bir hissiyyatdır. Əgər raket çantası işə düşərsə, Corc hərəkət etdiyini bilir, hətta gözləri bağlansa və buna görə digər obyektlərlə müqayisə edə bilməsə belə. Belə müqayisələr olmadan belə, o, artıq özünü hərəkətsiz və "qalan dünya onun yanından keçərkən" iddia etməzdi. Sabit sürətli hərəkət nisbidir; amma qeyri-sabit sürətli hərəkət və ya, digər sözlə, sürətlənmiş hərəkət üçün belə deyil. (Bu bəyanatı növbəti fəsildə sürətlənmiş hərəkəti və Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsini müzakirə etdikdə yenidən araşdıracağıq.)

Bizim ümumiyyətlə, haqlı olaraq, amma əsassız olaraq "hərəkətsiz" statusu verdiyimiz vəziyyətlərə gəldikdə, eyni prinsip yer üzündə də tətbiq olunur və faktiki olaraq tez-tez təcrübə olunur. Məsələn, təsəvvür edin ki, bir vaqonun içində yuxuya gedirsiniz və oyandığınızda, treniniz digər paralel yolda hərəkət edən bir başqa treni ötür. Pəncərədən

baxışınız tamamilə başqa trenlə bloklanır, buna görə də heç bir başqa obyektı görə bilmirsiniz. Bu vəziyyətdə, treninizin hərəkət edib-etmədiyinə, digər trenin hərəkət edib-etmədiyinə və ya hər ikisinin də hərəkət edib-etmədiyinə dair müvəqqəti olaraq qeyri-müəyyən ola bilərsiniz. Əlbəttə ki, əgər treniniz sarsılır və ya döngə edərsə, özünüzü hərəkət etdiyinizi hiss edərsiniz. Lakin əgər səyahət tamamilə hamar keçirsə — yəni trenin sürəti sabit qalırsa — trenlər arasındakı nisbi hərəkəti müşahidə edərkən hansının hərəkət etdiyini dəqiq müəyyən etmək mümkün olmayacaq.

Bir addım daha irəliləyək. Təsəvvür edin ki, belə bir trende minmisiniz və pəncərələri tamamilə bağlayırsınız. Öz kompartımanınızdakı heç bir şeyi görmək imkanı olmayan və trenin sürətinin mütləq sabit olduğunu fərz etsək, hərəkət vəziyyətinizi müəyyən etmək üçün heç bir yol olmayacaq. Tren yerində dayansa da, yüksək sürətlə hərəkət etsə də, kompartımanınızdakı vəziyyət tamamilə eyni olacaq. Eynşteyn bu fikri rəsmləşdirdi, bu ideya, əslində, Qalileyin fikirlərinə dayanır və bəyan etdi ki, siz və ya hər hansı bir digər sərnişin, bağlı kompartımanda bir eksperiment apararaq trenin hərəkət edib-etmədiyini müəyyən edə bilməzsiniz. Bu yenə də relativlik prinsipini əks etdirir: çünki bütün qüvvəsiz hərəkət nisbidir, yalnız digər obyektlər və ya fərdlərlə müqayisə edildikdə mənası vardır. Öz hərəkət vəziyyətinizi müəyyən etmək üçün heç bir "yaxın" obyektə müqayisə etmədən heç bir şey müəyyən etmək mümkün deyil. "Mütləq" sabit sürətli hərəkət anlayışı yoxdur; yalnız müqayisələr fiziki mənaə malikdir.

Əslində, Eynşteyn anladı ki, relativlik prinsipi daha böyük bir iddia irəli sürür: fizikanın qanunları — hansı ki, onlar nə olursa olsun — bütün sabit sürətli hərəkət edən müşahidəçilər üçün mütləq eyni olmalıdır. Əgər Corc və Qresi yalnız kosmosda tək-tək üzməsələr, əksinə, hər biri öz müvafiq üzən kosmik stansiyalarında eyni təcrübələri aparırlarsa, tapdıqları nəticələr eyni olacaq. Bir daha, hər biri öz stansiyasının istirahətdə olduğunu tamamilə haqlı şəkildə düşünə bilər, baxmayaraq ki, iki stansiya bir-birinə nisbətən hərəkət edir. Əgər onların bütün avadanlıqları eynidirsə, iki eksperiment qurğusu arasında heç bir fərq yoxdur — onlar tamamilə simmetrikdir. Hər biri təcrübələrdən çıxardığı fizika qanunlarını da eyni şəkildə əldə edəcək. Nə onlar, nə də onların təcrübələri sabit sürətli hərəkəti hiss edə bilər — yəni, bu hərəkət hər hansı bir şəkildə onlara təsir etməz. Bu sadə anlayış belə müşahidəçilər arasında tam simmetriya yaradır; və bu anlayış relativlik prinsipində əks olunub. Biz bu prinsipi tezliklə dərin təsirə malik şəkildə istifadə edəcəyik.

İşığın Sürəti

Xüsusi relativlikdə ikinci əsas amil işıq və onun hərəkətinin xüsusiyyətləri ilə bağlıdır. Bizim "Corc 10 mil/saat sürətlə hərəkət edir" cümləsinin mənasız olduğunu, çünki müqayisə üçün heç bir göstərici müəyyən edilməyib, söyləməyimizə qarşı olaraq, yüzilliklər boyu bir sıra həsr olunmuş eksperimental fiziklər tərəfindən aparılan araşdırmalar göstərmişdir ki, hər bir müşahidəçi işığın sürətinin 670 milyon mil/saat olduğunu qəbul edəcək, müqayisə üçün heç bir göstərici olmadan belə.

Bu fakt, kainata dair baxışımızda inqilab etməyə səbəb olub. Gəlin bunun mənasını daha ümumi obyektlərə tətbiq edilmiş oxşar ifadələrlə müqayisə edərək başa düşək. Təsəvvür edin, gözəl, günəşli bir gündür və siz xaricə çıxıb dostunuzla tutma oyunu oynayırırsınız. Bir müddət hər ikiniz topu rahatca bir-birinizə 20 fut/saniyə sürətlə atırsınız, birdən gözlənilmədən göydə elektrikli bir fırtına başlayır və siz ikiniz də sığınacaq tapmaq üçün qaçırsınız. Fırtına keçdikdən sonra yenidən bir araya gəlirsiniz və oyunu davam etdirmək istəyirsiniz, amma bir şeyin dəyişdiyini görürsünüz. Dostunuzun saçı qeyri-adi şəkildə düyünlənmiş və uclu, gözləri isə ciddi və dəli görünür. Onun əlinə baxdığınızda isə sizi tutma oyunu oynamağa deyil, əlinə əl bombası tutduğunu görməkdən şok olursunuz. Təbiətinizdən ötəri, top atma həvəsiniz əhəmiyyətli dərəcədə azalıb; qaçmağa başlayırsınız. Dostunuz bombanı atdığında, hələ də sizin tərəfinizə doğru uçaq, amma siz qaçdığınız üçün, bombanın sizə doğru sürəti 20 fut/saniyədən az olacaq. Həqiqətən də, adi təcrübə bizə deyir ki, əgər siz 12 fut/saniyə sürətlə qaçsanız, əl bombası sizin tərəfə ($20 - 12 = 8$) fut/saniyədə yaxınlaşacaq. Başqa bir misal olaraq, dağlarda qar fırtınası sizə doğru sürüklənirsə, qaçmağa meyilli olarsınız, çünki bu, qarın sizin tərəfə yaxınlaşma sürətini azaldacaq və ümumiyyətlə bu, yaxşı bir şeydir. Yine, dayanan bir şəxs qarın yaxınlaşma sürətini geri çəkilen birinə nisbətən daha yüksək qəbul edir.

İndi gəlin bu əsas müşahidələri beysbol topları, əl bombaları və qar fırtınaları ilə bağlı işıq haqqında edilən müşahidələrlə müqayisə edək. Müqayisələri daha da dəqiqləşdirmək üçün, işıq şüasının kiçik "paketlər" və ya "düyünlər"dən ibarət olduğunu düşünün, bunlara fotonlar deyilir (ışığın bu xüsusiyyətini 4-cü fəsildə daha geniş müzakirə edəcəyik). Biz əl fənəri və ya lazer işığı açanda, əslində, fotonların axınını hər hansı bir istiqamətə atırıq. Əl bombaları və qar fırtınaları üçün etdiyimiz kimi, gəlin bir fotonun hərəkətinin hərəkət edən birinə necə göründüyünü düşünək. Təsəvvür edin ki, dostunuz bombanı güclü bir lazerlə əvəz edib. Əgər o, lazeri sizin tərəfə atarsa və sizdə uyğun ölçmə avadanlığı olsa, fotonların yaxınlaşma sürətini 670 milyon mil/saat olaraq ölçərsiniz. Amma ya qaçsanız, əl bombası ilə oynamaqla üzləşdiyiniz kimi? İndi yaxınlaşan fotonların sürətini nə ölçəcəksiniz? Daha

da inandırıcı etmək üçün, təsəvvür edin ki, siz Enterprise kosmik gəmisində dostunuzdan 100 milyon mil/saat sürətlə uzaqlaşa bilərsiniz. Əgər ənənəvi Nyutonçu dünyagörüşü əsasında düşünsək, indi qaçdığınız üçün, yaxınlaşan fotonların daha yavaş bir sürətlə yaxınlaşacağını gözləyərsiniz. Xüsusilə, onların sizə yaxınlaşdığını (670 milyon mil/saat - 100 milyon mil/saat =) 570 milyon mil/saat sürətlə görəcəyinizi gözləyərsiniz.

1880-ci illərə qədər gedib çıxan müxtəlif təcrübələrdən və Maksvelin işıqla bağlı elektromaqnit nəzəriyyəsinin diqqətlə təhlilindən və şərhindən gələn artan sübutlar, elmi icmanı yavaş-yavaş inandırdı ki, əslində, bu, sizin gördüyünüz şey olmayacaq. Hətta geriye qaçsanız belə, yaxınlaşan fotonların sürətini 670 milyon mil/saat olaraq ölçəcəksiniz, heç bir halda daha az deyil. İlk növbədə tamamilə gülünc səslənsə də, beysbol topu, əl bombası və ya qar fırtınası ilə qaçarkən baş verənlərdən fərqli olaraq, yaxınlaşan fotonların sürəti həmişə 670 milyon mil/saat olacaq. Eyni şey odur ki, siz gələn fotonlara doğru qaçsanız və ya onları izləsəniz, onların yaxınlaşma və ya uzaqlaşma sürəti tamamilə dəyişməz; onlar hələ də 670 milyon mil/saat sürətlə hərəkət edirlər. Fotonların mənbəyi ilə müşahidəçi arasında nisbi hərəkətdən asılı olmayaraq, işığın sürəti hər zaman eyni olacaq.

Texnoloji məhdudiyyətlər o qədərdir ki, işıqla bağlı təsvir olunan "təcrübələr" həqiqətən yerinə yetirilə bilməz. Lakin, buna bənzər təcrübələr aparıla bilər. Məsələn, 1913-cü ildə hollandiyalı fizik Willem de Sitter sürətlə hərəkət edən ikili ulduzları (bir-birinə orbit edən iki ulduz) işıq sürətinə hərəkət edən mənbəyin təsirini ölçmək üçün istifadə etməyi təklif etdi. Son 80 ildə bu cür müxtəlif təcrübələr aparılıb və hərəkət edən ulduzdan alınan işığın sürətinin dayanan ulduzdan alınan işıq sürəti ilə eyni olduğunu—670 milyon mil/saat—sübut edən daha dəqiq ölçmə cihazları ilə təsdiqlənib. Bundan əlavə, keçən əsr ərzində işığın sürətini müxtəlif şəraitdə birbaşa ölçən və bu xüsusiyyətindən yaranan bir çox nəticəni test edən çoxsaylı təcrübələr aparılıb və onların hamısı işığın sürətinin sabit olduğunu təsdiqləyib.

Əgər işığın bu xüsusiyyətini qəbul etməkdə çətinlik çəkirsinizsə, tək deyilsiniz. Əsrin əvvəllərində fiziklər bunu rədd etmək üçün böyük səylər göstərdilər. Lakin bunu edə bilmədilər. Tərsinə, Eynşteyn işığın sürətinin sabitliyini qəbul etdi, çünki bu, gənclik illərindən bəri onu narahat edən paradoksun cavabını təqdim edirdi: Nə qədər çox işıq şüasını izləsəniz də, o, hələ də sizdən işıq sürəti ilə qaçır. Siz işığın ayrılma sürətini heç bir halda 670 milyon mil/saatdan az etmək, hətta onu hərəkətsiz kimi görmək qədər yavaşlatmaq mümkün deyil. Məsələ bağlandı. Lakin bu paradoksun öhdəsindən gəlmək kiçik bir zəfər deyildi. Eynşteyn başa düşdü ki, işığın sürətinin sabitliyi, Nyuton fizikasının məğlubiyyətini və onun yerini xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin alacağını bildirir.

Həqiqət və Nəticələr

Sürət, bir obyektin müəyyən bir vaxt ərzində nə qədər məsafə qət edə biləcəyini ölçən bir anlayışdır. Məsələn, əgər biz 65 mil/saat sürətlə avtomobildə gediriksə, bu, bir saat bu vəziyyətdə hərəkət etsək, 65 mil yol gedəcəyimiz anlamına gəlir. Bu cür ifadə edildikdə, sürət olduqca adi bir anlayışdır və bəlkə də beysbol, qar topu və fotonların sürəti haqqında etdiyimiz müzakirələrə niyə bu qədər diqqət yetirdiyimizi düşünə bilərsiniz. Lakin gəlin qeyd edək ki, məsafə bir məkan anlayışdır—xüsusən də iki nöqtə arasındakı nə qədər məkan olduğunu ölçən bir anlayışdır. Eyni zamanda, müddət zaman haqqında bir anlayışdır—iki hadisə arasındakı nə qədər zaman keçdiyini ölçən bir anlayışdır. Buna görə də sürət, məkan və zaman anlayışlarımızla sıx bağlıdır. Bu şəkildə ifadə etdikdə, işığın sürətinin sabitliyi kimi sürətlə bağlı hər hansı bir eksperimental faktın, məkan və zaman anlayışlarımızı belə aşma potensialı olduğunu görürük. Buna görə də işığın sürəti ilə bağlı qərribə fakt, detallı araşdırmaya layiqdir—Eynşteyn tərəfindən verilən və onu möhtəşəm nəticələrə gətirib çıxaran araşdırma.

Zamanın Təsiri: I Hissə

Minimal səylə, işığın sürətinin sabitliyindən istifadə edərək, hər gün tanıdığımız zaman anlayışının sadəcə olaraq səhv olduğunu göstərə bilərik. Təsəvvür edin ki, iki müharibə edən ölkənin liderləri uzun bir danışıqlar stolunun qarşı-qarşıya olan ucunda oturub, atəşkəs haqqında razılaşma imzalamağa yaxınlaşırlar, lakin heç biri digərinin əvvəlcə imzalamasını istəmir. Birləşmiş Millətlər Təşkilatının baş katibi möhtəşəm bir təklif irəli sürür. Bir işıq lampası, başlanğıcda söndürüldü, iki prezidentin arasında mərkəzdə yerləşdiriləcək. Lampanın işə salınması ilə yaydığı işıq hər iki prezidentə eyni vaxtda çatacaq, çünki onlar lampadan bərabər məsafədədirlər. Hər bir prezident işığı gördükdə, razılaşmanın bir nüsxəsini imzalayacağını razılaşdırır. Plan həyata keçirilir və razılaşma hər iki tərəf üçün məmnuniyyətlə imzalanır.

Uğurla tamamlanan bu işdən sonra, baş katib eyni yanaşmanı iki başqa müharibə edən ölkə ilə də tətbiq edir ki, onlar da sülh sazişi əldə edəblər. Yəganə fərq odur ki, bu danışıqlarda iştirak edən prezidentlər təyyarənin içində qarşı-qarşıya otururlar və təyyarə sabit sürətlə hərəkət edir. Mükəmməl uyğun olaraq, Forwardland prezidentinin təyyarənin hərəkət

istiqamətinə baxdığı, Backwardland prezidentinin isə tərs istiqamətə baxdığı nəzərə alınır. Fizika qanunlarının hər hansı bir hərəkət vəziyyətindən asılı olmayaraq eyni şəkildə tətbiq olunduğunu bildiyindən baş katib bu fərqi nəzərə almaz və əvvəlki kimi işıq lampası ilə başlanan imza mərasimini keçirir. Hər iki prezident razılaşmanı imzalayır və müşavirlərindən ibarət heyətlə birlikdə müharibənin bitməsini qeyd edirlər.

Elə bu vaxt, təyyarənin hərəkətindən kənarda imza mərasimini izləyən hər iki ölkənin insanlarından xəbər gəlir ki, yenidən müharibə başlayıb. Onlar bildirirlər ki, Forwardland xalqı, prezidentlərinin Backwardland prezidentindən əvvəl müqaviləni imzaladığını iddia edərək aldadıldığını düşünürlər. Təyyarədə olan hər kəs—həm Forwardland, həm də Backwardland tərəfdən—razılaşmanın eyni anda imzalandığını qəbul etsə də, necə olur ki, mərasimi izləyən insanlar fərqli düşünürlər?

Gəlin, platformada dayanan müşahidəçinin perspektivinə daha yaxından baxaq. İlk başda, təyyarədəki işıq lampası qaranlıqdır və müəyyən bir an gəldikdə, o, işıq saçmağa başlayır, işıq şüaları hər iki prezidentə doğru sürətlə irəliləyir. Platformada olan bir şəxs üçün, Forwardland prezidentinin işığa doğru getdiyini, Backwardland prezidentinin isə ondan uzaqlaşdığını görür. Bu, deməkdir ki, platforma müşahidəçiləri üçün işıq şüasının Forwardland prezidentinə çatması üçün daha qısa bir məsafə qət edilməlidir, çünki o, gələn işığa doğru hərəkət edir, amma Backwardland prezidenti ondan uzaqlaşır. Bu, işığın sürətinin hər iki prezidentə doğru hərəkət edərkən necə olduğunu deyil—biz artıq qeyd etmişik ki, mənbənin və ya müşahidəçinin hərəkət vəziyyətindən asılı olmayaraq işığın sürəti həmişə eynidir. Bunun əvəzinə, biz yalnız platforma müşahidəçilərinin baxış bucağından hər iki prezidentə çatmaq üçün işığın ilk parıltısının nə qədər məsafə qət etməli olduğunu təsvir edirik. Çünki bu məsafə Forwardland prezidenti üçün Backwardland prezidentindən daha azdır və işığın sürəti hər ikisinə eynidir, buna görə işıq əvvəl Forwardland prezidentinə çatacaq. Buna görə də, Forwardland vətəndaşları aldadıldığını iddia edirlər.

CNN hadisə haqqında şahidlərin hesabatını yayımladıqda, baş katib, iki prezident və onların bütün müşavirləri qulaqlarına inana bilmirlər. Onlar hamısı razıdırlar ki, işıq lampası hər iki prezident arasında düz ortada möhkəm yerləşdirilib və buna görə də, işıq lampasının yaydığı işıq hər ikisinə eyni məsafəni qət edərək çatmalıdır. Çünki işığın hər iki tərəfə doğru sürəti eyni olduğu üçün, onlar işığın hər iki prezidentə eyni anda çatdığını düşünürlər və həqiqətən də bunu müşahidə edirlər.

Kim haqlıdır, qatarın içində olanlar, yoxsa xaricdə olanlar? Hər iki qrupun müşahidələri və onlara dəstək olan izahlar tamamilə düzgün və əskiksizdir. Cavab budur ki, hər iki tərəf haqlıdır. Bizim iki kosmik sakinimiz George və Gracie kimi, hər bir perspektiv həqiqətə

bərabər iddia edir. Buradakı incəlik ondadır ki, müvafiq həqiqətlər bir-birinə zidd görünür. Vacib siyasi bir məsələ var: Prezidentlər razılaşmanı eyni anda imzaladılar mı? Yuxarıdakı müşahidələr və məntiq, qaçılmaz olaraq, bizə belə bir nəticəyə gətirir ki, qatarda olanların fikrincə onlar imzaladılar, amma platformada olanlara görə isə imzalamadılar. Başqa sözlə, bəzi müşahidəçilərin nəzər nöqtəsindən eyni anda baş verən hadisələr, başqa müşahidəçilərin nəzər nöqtəsindən eyni anda baş verməyəcəkdir, əgər iki qrup bir-birinə nisbətən hərəkətdədirsə.

Bu, təəccüblü bir nəticədir. Bu, reallığın təbiəti haqqında tapılmış ən dərin anlayışlardan biridir. Lakin, çox sonra bu kitabı qoyduğunuzda, bu fəslə yalnız uğursuz sülh təşəbbüsü ilə xatırlasanız, o zaman Eynşteyn'in kəşfinin mahiyyətini qavramış olacaqsınız. Yüksək səviyyəli riyaziyyat və ya qarışıq məntiq zənciri olmadan, zamanın bu tamamilə gözlənilməz xüsusiyyəti, işıq sürətinin sabitliyindən birbaşa gəlir, bu ssenari bunu aydın şəkildə göstərir. Diqqət yetirin ki, əgər işıq sürəti sabit olmasaydı və yavaş hərəkət edən beysbol topları və qar topçalarına əsaslanan intuisiyamızla hərəkət etsəydi, platforma müşahidəçiləri qatarda olanlarla razılaşardılar. Platforma müşahidəçisi hələ də iddia edirdi ki, fotonların geriye gedən Backwardland prezidenti ilə irəliləyən Forwardland prezidentinə çatmaq üçün keçməsi lazım olan məsafə fərqlidir. Lakin, adi intuisiyaya görə, işıq geriye doğru gedən Backwardland prezidentinə daha sürətlə yaxınlaşmalıydı, çünki irəliləyən qatar onu "itələyirdi". Eyni şəkildə, bu müşahidəçilər görərdilər ki, Forwardland prezidentinə yaxınlaşan işıq daha yavaş hərəkət edir, çünki qatarın hərəkəti ilə "geriyə çəkilir". Bu (yanlış) təsirlər nəzərə alınsaydı, platformadakı müşahidəçilər işıq şüalarının hər iki prezidenti eyni anda çatdığını görərdilər. Lakin gerçək dünyada işıq sürətini artırmaq və ya yavaşlatmaq mümkün deyil, o, yüksək sürətə "itələne" və ya daha yavaş sürətə "çəkilsə" bilməz. Buna görə də, platforma müşahidəçiləri haqlı olaraq, işığın əvvəlcə Forwardland prezidentinə çatdığını iddia edəcəklər.

İşıq sürətinin sabitliyi, hər kəsin, hər hansı bir hərəkət vəziyyətinə baxmayaraq, eyni vaxtda baş verən hadisələr barədə razılaşacağı universal bir anlayışdan imtina etməyimizi tələb edir. Əvvəlki dövrlərdə, hərəkət etməyimizdən asılı olmayaraq, Yer üzündə, Marsda, Yupiterdə, Andromeda qalaksisində və kainatın hər bir küncündə eyni saniyələri ölçən universal bir saat təsəvvür edilirdi. Lakin belə bir saat mövcud deyil. Əksinə, nisbi hərəkətdə olan müşahidəçilər hansı hadisələrin eyni vaxtda baş verdiyi barədə razılaşmayacaqlar. Yenə də bu nəticənin—yaşadığımız dünyaya aid olan tamamilə real bir xüsusiyyətin—niyə bu qədər tanış olmadığı səbəbi, bu təsirlərin gündəlik təcrübədə qarşılaşılan sürətlərdə olduqca kiçik olmasıdır. Əgər müzakirə masası 100 fut uzunluğunda olsaydı və qatar saatda 10 mil sürətlə hərəkət etsəydi, platformadakı müşahidəçilər "görərdilər" ki, işıq Forwardland prezidentinə Backwardland prezidentinə çatandan

təxminən bir milyonuncu milyardıncı saniyə əvvəl çatırdı. Bu, həqiqətən də bir fərqi təmsil etsə də, o qədər kiçikdir ki, insan hissləri ilə birbaşa aşkar edilə bilməz. Əgər qatar çox daha sürətli hərəkət etsəydi, məsələn, saatda 600 milyon mil sürətində, platformadakı bir müşahidəçiyə görə işıq, Forwardland prezidentinə çatmaq üçün sərf etdiyi vaxtdan təxminən 20 dəfə daha uzun müddətə Backwardland prezidentinə çatar. Yüksək sürətlərdə, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin təəccüblü təsirləri daha da açıq şəkildə özünü göstərir.

Zamanın Təsiri: II Hissə

Zamanı abstrakt şəkildə tərif etmək çətindir—buna cəhdlər çox vaxt "zaman" sözünü özü ilə əlaqələndirir və ya sadəcə bunun qarşısını almaq üçün dilin manipulyasiyalarına yol açır. Belə bir yol izləmək əvəzinə, biz daha praktik bir baxış bucağından yanaşaraq zamanı saatlar tərəfindən ölçülən şey kimi tərif edə bilərik. Təbii ki, bu, "saat" sözünün tərifini üzərinə götürür; burada saati müntəzəm hərəkət dövrləri keçirən bir cihaz kimi müəyyən edə bilərik. Zamanı, saatımızın keçirdiyi dövr sayı ilə ölçəcəyik. Tanış bir saat, məsələn, qol saati, bu tərifə uyğundur; onun əlləri müntəzəm hərəkət dövrlərində hərəkət edir və biz həqiqətən də zaman keçidini, bu əllərin seçilən hadisələr arasında keçirdiyi dövr sayı (və ya onun fraksiyalarını) saymaqla ölçürük.

Təbii ki, "müntəzəm hərəkət dövrləri"nin mənası şüuraltı olaraq zaman anlayışını daxil edir, çünki "müntəzəm" hər dövr üçün eyni zaman müddətinin keçməsi deməkdir. Praktiki baxışdan biz bunu, sadə fiziki komponentlərdən istifadə edərək saatlar quraraq həll edirik ki, bunlar əsasən hər dövr arasında heç bir şəkildə dəyişməyən təkrarlanan dövrü hərəkətlər keçirir. Nənə saatları ilə pendulumların irəliləyib geri swing etməsi və atomik proseslərə əsaslanan atom saatları sadə nümunələr təqdim edir.

Bizim məqsədimiz hərəkətin zamanın keçməsinə necə təsir etdiyini anlamaqdır və biz zamanın ölçülməsini saatlarla təyin etdiyimizdən, sualımızı hərəkətin "saatların tikməsi"nə necə təsir etdiyini öyrənməyə çevirə bilərik. Əvvəlcə vurğulamaq vacibdir ki, müzakirəmiz konkret bir saatin mexaniki elementlərinin titrəmə və ya çırpılmalarla necə reaksiya verdiyinə aid deyil. Əslində, biz yalnız ən sadə və ən sakit hərəkət növünü — tamamilə sabit sürətlə hərəkəti nəzərdən keçirəcəyik və buna görə də heç bir titrəmə və ya çırpılma olmayacaq. Bunun əvəzinə, biz ümumi sualı öyrənirik: Hərəkət zamanın keçməsinə necə təsir edir və buna görə də hər bir və ya bütün saatların tikməsinə necə əsaslı şəkildə dəyişir, onların xüsusi dizaynından və ya quruluşundan asılı olmayaraq.

Bu məqsəd üçün biz dünyanın nəzəri cəhətdən ən sadə (amma ən praktik olmayan) saatını təqdim edirik. Buna "ışığı saatı" deyilir və iki kiçik güzgüdən ibarətdir, bunlar bir-birinə qarşı yerləşdirilib və bir tək işıq fotonu onlardan arasında geriye və irəliyə sıçrayır (Şəkil 2.1-ə baxın). Güzgülər təxminən altı düym məsafədə olduqda, fotonun bir tam tur səyahətini başa vurməsi təxminən bir milyardda bir saniyə çəkir. Işıq saatında "tiklər" fotonun bir tam tur səyahətini tamamladığı hər dəfə baş verə bilər — bir milyard tik hərəkət etdikdə bir saniyə keçmiş olur.

Biz işıq saatını dayanaqsız vaxt ölçmək üçün istifadə edə bilərik: Sadəcə olaraq, maraqlı doğuran dövr ərzində neçə tikin baş verdiyini sayırıq və bir tək tikin vaxtı ilə çarpırıq. Məsələn, əgər biz bir at yarışını vaxtlayırıq və start ilə finiş arasındakı müddətdə 55 milyard round-trip foton səyahətini sayırıqsa, deməli, yarış 55 saniyə çəkib. Biz işıq saatını müzakirəmizdə istifadə edirik, çünki onun mexaniki sadəliyi əlavə detalları kəsərək, hərəkətin zamanın keçməsinə necə təsir etdiyini anlamağımıza ən aydın baxış təmin edir. Bunu başa düşmək üçün, təsəvvür edin ki, biz yaxınlıqdakı masada qoyulmuş dayanan işıq saatını izləyərək zamanın keçməsinə sadəcə olaraq müşahidə edirik. Sonra birdən-birə, ikinci bir işıq saatı masada sürətlə hərəkət edərək yanımızdan keçir. Bizim sualımız isə budur: Hərəkət edən işıq saatı dayanan işıq saatı ilə eyni sürətlə tikəcəkmik?

Sualı cavablandırmaq üçün gəlin, sürüşən saatdakı fotonun bizim baxış bucağımızdan hansı yolu getməli olduğunu nəzərdən keçirək ki, bu da bir "tik"ə səbəb olsun. Foton sürüşən saatın alt hissəsindən başlayır, şəkil 2.2-də olduğu kimi, və əvvəlcə yuxarı aynaya gedir. Bizim baxışımıza görə, saat hərəkət edir, buna görə də foton bucaq altında hərəkət etməli olur, şəkil 2.3-də göstəriləyi kimi. Əgər foton bu yolu getməsəydi, o, yuxarı aynanı qaçırar və kosmosa uçardı. Sürüşən saatın hər şeyə hərəkət etdiyini və özünün dayandığını iddia etmək haqqı var, buna görə də biz bilirik ki, foton yuxarı aynaya çırpılacaq və buna görə də çəkdiyimiz yol doğrudur. Foton yuxarı aynadan sıçrayır və yenidən diaqonal bir yol alaraq aşağı aynaya çırpılır və sürüşən saat bir "tik" edir. Sadə, amma əsas məqam odur ki, bizə görünən, fotonun keçdiyi ikiqat diaqonal yol, dayanan saatda fotonun getdiyi düz yuxarı-aşağı yoldan daha uzundur; bununla yanaşı, sürüşən saatdakı foton həm də sağa doğru, bizim baxışımıza görə, hərəkət etməlidir. Əlavə olaraq, işıq sürətinin sabitliyi bizə deyir ki, sürüşən saatın fotonu dayanan saatın fotonu ilə eyni sürətlə hərəkət edir. Amma bir "tik" etmək üçün daha uzağa getməli olduğu üçün, o, daha az tezliklə tiklayacaq. Bu sadə arqument göstərir ki, bizim baxış bucağımızdan sürüşən işıq saatı dayanan işıq saatından daha yavaş tikləyir. Və biz razılaşırdıq ki, "tik"lərin sayı birbaşa keçən zamanın miqdarını əks etdirir, buna görə də görürük ki, hərəkət edən saatın zaman keçidi yavaşlamışdır. Bəlkə də siz düşünə bilərsiniz ki, bu yalnız işıq saatlarına xas bir xüsusiyyətdir və nənə saatları və ya Rolex saatlarına tətbiq olunmur. Bu tip daha tanış

saatlarla ölçülən zaman da yavaşlayırmı? Cavab qəti şəkildə bəli, bu, nisbilik prinsipi tətbiq edildikdə görünür. Gəlin hər bir işıq saatının üstünə bir Rolex saati qoşaq və əvvəlki təcrübəni yenidən həyata keçirək. Müzakirə edildiyi kimi, dayanan işıq saati və ona qoşulmuş Rolex eyni zaman müddətlərini ölçür, işıq saatında bir milyard "tik" hər bir saniyə üçün keçir, Rolex-də isə eyni zamanın keçdiyi qeyd olunur. Amma hərəkət edən işıq saati və ona qoşulmuş Rolex nə olacaq? Hərəkət edən Rolex-dəki "tik"lərin sürəti o qədər azalmır ki, o, qoşulmuş olduğu işıq saati ilə sinxronlaşsın? Bu məsələyə ən qəti şəkildə yanaşmaq üçün təsəvvür edək ki, işıq saati-Rolex saat kombinasiyası hərəkət edir, çünki o, daimi sürətlə düz və hamar dəmiryolu yolları üzərində hərəkət edən pəncərəsiz bir qatarın yerində möhkəm bağlanıb. Nisbilik prinsipinə əsasən, bu qatarda olan bir müşahidəçi qatarın hərəkətinin təsirini hiss etməməlidir. Amma əgər işıq saati və Rolex sinxronlaşmasaydı, bu, əslində nəzərə çarpacaq bir təsir olardı. Buna görə də, hərəkət edən işıq saati və ona qoşulmuş Rolex hələ də eyni zaman müddətlərini ölçməlidir; Rolex, işıq saati ilə eyni şəkildə yavaşlamalıdır. Marka, növ və ya quruluşdan asılı olmayaraq, bir-birinə nisbətən hərəkət edən saatlar zamanın keçidini fərqli sürətlə qeyd edirlər. Işıq saati müzakirəsi həm də göstərir ki, dayanan və hərəkət edən saatlar arasındakı dəqiq zaman fərqi, sürüşən saatın fotonunun hər bir tam səyahətini tamamlaması üçün nə qədər daha uzağa getməsi lazım olduğuna bağlıdır. Bu isə sürüşən saatın nə qədər sürətlə hərəkət etməsindən asılıdır—dayanmış müşahidəçiyə görə, saat nə qədər sürətlə hərəkət edirsə, foton sağa doğru o qədər çox məsafə qət etməlidir. Nəticədə, dayanan bir saatla müqayisədə, sürüşən saatın "tik"ləmə sürəti, saat daha sürətli hərəkət etdikcə yavaşlayır. Ölçü hissi əldə etmək üçün qeyd edək ki, foton bir tam səyahətini təxminən bir milyardinci saniyədə keçir. Bir "tik" zamanı ərzində saatın müəyyən məsafə qət etməsi üçün onun çox sürətli hərəkət etməsi lazımdır—yəni, işıq sürətinin əhəmiyyətli bir hissəsi ilə hərəkət etməlidir. Əgər o, daha adi sürətlərlə, məsələn, saatda 10 mil/saata hərəkət edirsə, bir "tik" tamamlanmadan sağa doğru keçə biləcəyi məsafə çox kiçik olacaq—təxminən 15 milyardinci fut. Sürüşən fotonun getməsi lazım olan əlavə məsafə çox kiçikdir və bunun nəticəsində hərəkət edən saatın "tik"ləmə sürətinə təsir də çox kiçik olur. Və yenə də nisbilik prinsipinə görə, bu, bütün saatlar—yəni, zamanın özü üçün doğrudur. Buna görə də bizlər kimi bir-birimizə nisbətən çox kiçik sürətlə hərəkət edən varlıqlar zamanın keçməsinin təhriflərini ümumiyyətlə hiss etmirik. Təsirlər, əlbəttə ki, mövcuddur, amma inanılmaz dərəcədə kiçikdir. Digər tərəfdən, əgər biz sürüşən saati tuta bilsəydik və məsələn, işıq sürətinin üçdə biri qədər sürətlə onunla hərəkət etsəydik, xüsusi nisbilik tənliklərindən istifadə edərək göstərmək olar ki, dayanmış müşahidəçilər bizim hərəkət edən saatımızın onların saatlarından təxminən üçdə bir daha yavaş işlədiyini görəcəklər. Bu, əhəmiyyətli bir təsirdir, həqiqətən.

Qaçışda Həyat

İşıq saatlarının hərəkət etdikdə daha yavaş işləməsinin, statik saatlara nisbətən yavaşlamasının və nisbilik prinsipinə görə bunun yalnız işıq saatları üçün deyil, hər hansı bir saat və hətta zamanın özü üçün də keçərli olması, zamanın hərəkətdə olan bir fərd üçün daha yavaş keçdiyini göstərir. Hərəkətdə olan bir fərd üçün zaman daha yavaş keçir. Əgər bu sadə məntiq düzgün bir şəkildə bizi bu nəticəyə gətiribsə, məsələn, bir insan hərəkət edərkən daha uzun yaşamağı deyilmi, statik qalmaq əvəzinə hərəkət etsə? Nəhayət, əgər zaman hərəkətdə olan bir fərd üçün daha yavaş keçir, deməli, bu fərqlilik yalnız saatlarla ölçülən zamanla deyil, həm də ürək döyüntüləri və bədən hissələrinin çürüməsi kimi digər zaman ölçmə metodlarına da şamil olunmalıdır. Bu, birbaşa təsdiq edilmiş bir haldır—ancaq insan ömrü ilə deyil, mikroskopik dünyadan bəzi partiküllərlə: müonlarla. Lakin, bununla bağlı bir mühüm məqam var ki, bu, gənclik mənbəyini elan etməyimizin qarşısını alır. Laboratoriyada istirahət edərkən, muonlar radiasiya çürüməsinə bənzər bir proseslə, orta hesabla təxminən iki milyonuncu saniyədə çürüyür. Bu çürümə, böyük miqdarda sübutla dəstəklənən bir eksperimental faktdır. Sanki muon öz həyatını başına silah tutaraq yaşayır; iki milyonuncu saniyə yaşa çatdıqda, tətiyi çəkir və elektronlar və neytrinolar şəklində partlayır. Ancaq bu muonlar laboratoriyada istirahət etməyib, əksinə, işıq sürətinə yaxın sürətlə onları sürətləndirən bir cihazdan, yəni hissəcik sürətləndiricisindən keçir və burada onların orta həyat gözləntisi laboratoriyada alimlər tərəfindən əhəmiyyətli dərəcədə artır. Bu, həqiqətən baş verir. 667 milyon mil/saat (ışıq sürətinin təxminən 99.5 faizi) sürətində, muonun həyat müddəti təxminən on dəfə uzanır. Bu izah, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinə əsaslanır. Muonlar "qol saatları" çox yavaş işləyir, buna görə laboratoriya saatları muonların artıq öz tətiklərini çəkməli olduqlarını söylədikdə, sürətlə hərəkət edən muonların saatlarında bu zaman hələ gəlib çatmamışdır. Bu, hərəkətin zamanın keçişinə necə təsir etdiyini birbaşa və dramatik şəkildə nümayiş etdirən bir nümunədir. Əgər insanlar bu muonlar kimi sürətlə hərəkət etsəydilər, onların həyat gözləntisi də eyni faktorla artardı. Yəni, 70 il yaşamaqdansa, insanlar 700 il yaşaya bilərdi.

İndi isə çətin məsələ. Laboratoriya müşahidəçiləri sürətlə hərəkət edən muonların, dayanan muonlara nisbətən daha uzun yaşadığını görsələr də, bu, hərəkətdə olan muonlar üçün zamanın daha yavaş keçməsi ilə bağlıdır. Bu zamanın yavaşlaması yalnız muonların taxdığı saatlara deyil, həm də onların yerinə yetirə biləcəyi bütün fəaliyyətlərə şamil olur. Məsələn, əgər dayanan bir muon qısa ömrü ərzində 100 kitab oxuya bilirsə, sürətlə hərəkət edən muon da eyni 100 kitabı oxuya biləcək, çünki o, dayanan muona nisbətən daha uzun yaşasa

da, oxuma sürəti - və həyatının digər bütün fəaliyyətləri də yavaşlamışdır. Laboratoriya baxımından, sanki hərəkət edən muon öz həyatını yavaş hərəkət edərək yaşayır; bu baxış bucağından, hərəkət edən muon dayanan muondan daha uzun yaşayacaq, amma "həyatın miqdarı" tam olaraq eynidir. Əlbəttə ki, eyni nəticə sürətlə hərəkət edən insanlar üçün də doğrudur, kimin həyat gözləntisi əsrlərlə ölçülür. Onlar öz perspektivlərindən baxanda, həyatları olduğu kimi keçir. Amma bizim perspektivimizdən, onlar həyatlarını çox yavaş hərəkətdə yaşayırlar və buna görə də onların normal həyat dövrlərindən biri bizim üçün çox uzun bir zaman alır.

Axı Kim Hərəkət Edir?

Hərəkətin nisbiliyi həm Aynşteynin nəzəriyyəsini başa düşməyin açarındır, həm də çəşqınlıq yarada biləcək bir mövzudur. Siz də artıq fərqlənməmiş ola bilərsiniz ki, baxış bucağını dəyişdikdə, “hərəkətdə olan” və saatlarının yavaş getdiyini söylədiyimiz müonlarla “sabit” vəziyyətdə olan müonların rolları dəyişir. Necə ki, həm Corc, həm də Qreysi özlərini sabit hesab edib, digərinin hərəkətdə olduğunu iddia etməkdə haqlı idilərsə, bizim hərəkətdə hesab etdiyimiz müonlar da tam haqlı olaraq deyə bilərlər ki, əslində onlar sabitdirlər, və “sabit” adlandırdığımız digər müonlar əks istiqamətdə hərəkət edirlər. Əvvəlki arqumentləri bu yeni baxış bucağına da tətbiq etmək olar və bu zaman qərıbə şəkildə əks nəticəyə gəlinir: guya bu dəfə sabit hesab etdiyimiz müonların saatları, hərəkətdə olduğunu düşündüyümüz müonların saatları ilə müqayisədə yavaş işləyir. Biz artıq belə bir vəziyyətlə qarşılaşmışdıq — məsələn, lampanın yandığı imzalanma mərasimində. Orada müxtəlif müşahidəçilərin fərqli baxış bucaqları tamamilə zidd nəticələrə gətirib çıxarırdı. Həmin nümunədə biz xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin əsas prinsiplərinə görə artıq öyrəşdiyimiz fikirdən – yəni “hər kəs, hərəkət vəziyyətindən asılı olmayaraq, hansı hadisələrin eyni anda baş verdiyi ilə bağlı razıdır” – əl çəkməli olduq. Amma indiki uyğunsuzluq bir qədər daha ciddi görünür. Axı necə ola bilər ki, iki müşahidəçi də qarşı tərəfin saatının daha yavaş getdiyini iddia etsin? Daha da qərıbəsi odur ki, hər iki müon qrupu – hər biri öz baxış bucağından tam haqlı olaraq – digərinin daha tez öldüyünü iddia edə bilər. Görürük ki, dünya bəzən gözlənilməz və qərıbə xüsusiyyətlərə malik ola bilər. Amma ümid edirik ki, bu qərıbəliklər məntiqi absurdluğa çevrilməz. Bəs onda burada nə baş verir? Xüsusi nisbilikdən qaynaqlanan bütün bu görünən paradokslar kimi, bu məntiqi dilemmalar da diqqətlə araşdırıldıqda çözümlər və kainatın iş prinsipləri haqqında yeni anlayışlar ortaya çıxır. Həddindən artıq insani xüsusiyyətlər yükləməmək üçün (yəni antropomorfizmdən uzaq durmaq üçün), gəlin müonlardan yenidən Corc və

Qreysiyə qayıdaq. İndi onların yanib-sönən işıqlarına əlavə olaraq, skafandrlarının üzərində parlaq rəqəmsal saatlar da var. Corcun baxış bucağından, o özü sabitdir, Qreysi isə yaşıl işığı yanib-sönərək və iri rəqəmsal saati ilə birlikdə uzaqdan görünür və sonra boş kosmosun qaranlığında onun yanından keçir. Corc müşahidə edir ki, Qreysin saati onun saati ilə müqayisədə daha yavaş işləyir (bu yavaşlamanın dərəcəsi onların bir-birinin yanından hansı sürətlə keçdiyindən asılıdır). Əgər Corc bir qədər diqqətli olsaydı, yalnız saatin getmə sürətinin deyil, Qreysiyə aid hər şeyin – məsələn, onun keçərkən əl eləməsi, gözlərini qırpma sürəti və sair – hamısının yavaş hərəkətdə baş verdiyini də fərq edərdi.

Qreysin baxış bucağından isə tam olaraq eyni müşahidələr Corc üçün keçərlidir. Baxmayaraq ki, bu vəziyyət paradoksal görünür, gəlin məntiqi absurdluğu üzə çıxara biləcək konkret bir təcrübə düşünək. Ən sadə ehtimal odur ki, Corc və Qreysi bir-birinin yanından keçərkən saatlarını eyni vaxta – məsələn, 12:00-a qursunlar. Onlar bir-birindən uzaqlaşdıqca, hər biri iddia edir ki, qarşı tərəfin saati daha yavaş işləyir. Bu fikir ayrılığını açıq şəkildə üz-üzə gətirmək üçün, Corc və Qreysi yenidən görüşməli və saatlarında keçmiş vaxtı birbaşa müqayisə etməlidirlər. Bəs bunu necə edə bilərlər? Məsələn, Corcun reaktiv çantası (jetpack) var və o, öz baxış bucağından Qreysiyə çatmaq üçün ondan istifadə edə bilər. Ancaq əgər bunu etsə, o zaman onların baxış bucaqları arasındakı simmetriya – yəni paradoksun yaranma səbəbi – pozular. Çünki Corc bu zaman sürətlənmiş və artıq qüvvəsiz olmayan bir hərəkət etmiş olur. Onlar bu şəkildə yenidən görüşəndə, həqiqətən də Corcun saatinə daha az vaxt keçmiş olacaq. Bu zaman o, artıq açıq şəkildə deyə bilər ki, hərəkətdə olan özü idi – çünki bunu hiss etmişdi. Beləliklə, artıq Corc və Qreysin baxış bucaqları eyni statusda deyil. Corc reaktiv çantanı işə salmaqla, “sabit vəziyyətdə olmaq” iddiasından imtina etmiş olur. Əgər Corc bu şəkildə Qreysin arxasınca getsə, onların saatlarının göstərəcəyi vaxt fərqi onların nisbi sürətindən və Corcun reaktiv çantasından necə istifadə etməsindən asılı olacaq. Artıq bizə tanış olduğu kimi, əgər hərəkət sürətləri çox kiçikdirsə, o zaman vaxt fərqi də çox az – demək olar ki, nəzərəcarpmaz olacaq. Amma əgər işıq sürətinə yaxın böyük sürətlərdən söhbət gedirsə, bu fərqlər artıq dəqiqələrlə, günlərlə, illərlə, əsrlərlə, hətta daha çox ola bilər. Konkret bir nümunəyə baxaq: Tutaq ki, Corc və Qreysi bir-birinin yanından keçərkən onların nisbi sürəti işıq sürətinin 99.5%-i qədərdir. Və əlavə olaraq, deyək ki, Corc öz saatına görə 3 il gözləyir, sonra reaktiv çantasını qısa müddətlik işə salır və eyni sürətlə – yəni 99.5% işıq sürəti ilə – Qreysiyə doğru hərəkət edir. Corc Qreysiyə çatana qədər onun saatinə cəmi 6 il keçəcək (3 il uzaqlaşma, 3 il yaxınlaşma). Amma xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin riyaziyyatı göstərir ki, Qreysin saatinə bu müddətdə 60 il keçəcək. Bu heç bir illüziya və ya hiylə deyil. Qreysi Corcu kosmosda gördüyünü 60 il əvvəlki uzaq xatirələrindən axtarıb tapmalı olacaq. Amma Corc üçün bu hadisə cəmi 6 il əvvəl baş verir.

Bu mənada, Corcun bu hərəkəti onu bir növ zaman səyahətçisi edir — əlbəttə, tam konkret və elmi mənada: O, Qreysinin gələcəyinə səyahət edib. İki saati yenidən bir araya gətirib birbaşa müqayisə etmək sadəcə bir logistika problemi kimi görünə bilər, amma əslində bu məsələni mahiyyəti üzrə anlamaq üçün əsas nöqtə məhz budur. Bu paradoksun "zəif nöqtəsindən" yan keçmək üçün müxtəlif "hiylələr" düşünə bilərik, amma onların hamısı sonda uğursuzluqla nəticələnir. Məsələn, saatları bir yerə gətirmək əvəzinə, Corc və Qreysi mobil telefonla bir-birinə zəng edib saatlarını müqayisə etsələr necə olar? Əgər bu ünsiyyət ani şəkildə baş versəydi (yəni siqnallar dərhal ötürülsəydi), onda çözülməsi mümkün olmayan bir uyğunsuzluqla üzləşərdik: Qreysinin baxış bucağından, Corcun saati yavaşıdır və deməli, Corc daha az vaxt keçdiyini bildirməlidir. Corcun baxış bucağından isə, Qreysinin saati yavaşıdır və bu halda o, daha az vaxt keçdiyini deməlidir. İkisi də haqlı ola bilməz, və bu vəziyyət bizi tam bir məntiq böhranına sürükləyirdi. Amma əsas məqam budur: mobil telefonlar və bütün digər rabitə vasitələri siqnalları ani olaraq ötürürlər. Mobil telefonlar radiodalğalarla işləyir və radiodalğalar da işıq dalğalarının bir növüdür. Yəni, bu siqnallar işıq sürəti ilə hərəkət edirlər. Bu isə o deməkdir ki, siqnalın qarşı tərəfə çatması üçün müəyyən vaxt keçir — və bu kiçik gecikmə kifayət edir ki, hər iki baxış bucağı bir-biri ilə uyğunlaşsın və paradoksdan qaçmaq mümkün olsun. Gəlin bu vəziyyətə əvvəlcə Corcun baxış bucağından nəzər salaq. Təsəvvür et ki, Corc hər saat başı mobil telefonuna belə deyir: — “Saat on ikidir, hər şey qaydasındadır.” — “Saat birdir, hər şey qaydasındadır.” və bu cür davam edir. Corcun baxış bucağına görə, Qreysinin saati yavaş işləyir, ona görə də ilk baxışda o belə düşünür: “Deməli, mənim göndərdiyim bu mesajlar Qreysiye onun saatında həmin vaxt çatmazdan əvvəl gedib çatacaq. Bu da sübut edir ki, Qreysinin saati daha yavaşıdır.” Amma sonra Corc fikrini gözədən keçirir və deyir: “Bir dəqiqə... Qreysi məndən uzaqlaşır. Mənim göndərdiyim siqnallar ona çatmaq üçün getdikcə daha uzun məsafə qət etməlidir. Bəlkə də, bu əlavə gedilən yolun yaratdığı gözləmə müddəti onun saatının yavaşlığı ilə kompensasiya olunur.”

Corc anlayır ki, burada iki fərqli təsir var:

1. Qreysinin saatının yavaş işləməsi.
2. Siqnalın ona çatması üçün lazım olan əlavə vaxt.

Bu iki təsirin birlikdə necə nəticə verdiyini öyrənmək üçün rəqəmlərlə hesablamağa başlayır. Nəticədə o belə qərara gəlir ki, siqnalın yolda keçirdiyi vaxt Qreysinin saatının yavaşlığını üstələyir. Yəni, Corc təəccüblü nəticəyə gəlir: Qreysi onun “bir saat keçdi” mesajını öz saatında həmin saat keçdikdən sonra alacaq. Daha maraqlısı odur ki, Corc Qreysinin fizika biliyindən xəbərdardır. Ona görə də o bilir ki, Qreysi bu siqnallara əsasən onun saati haqqında fikir yürüdərkən siqnalın səfər vaxtını da nəzərə alacaq.

Daha dəqiq hesablamalar göstərir ki, bütün bu faktları nəzərə alsaq belə, Qreysinın nəticəsi bu olacaq: Corcun saati onunkundan daha yavaş işləyir. Eyni məntiq Qreysinın baxış bucağına da tam şəkildə tətbiq olunur. Bu dəfə, Qreysi hər saat başı Corca siqnallar göndərir. Əvvəlcə o düşünür ki, Corcun saati yavaş işlədiyi üçün, onun göndərdiyi saatlıq mesajlar Corca onun öz mesajlarını göndərməsindən əvvəl çatacaq. Amma sonra o da anlayır ki, Corc ondan uzaqlaşır, yəni onun siqnalları da getdikcə daha uzun məsafə qət etməlidir ki, Corca çatsın. Bu gerçəyi nəzərə aldıqda, Qreysi başa düşür ki, Corc əslində onun mesajlarını öz mesajını göndərdikdən sonra alacaq. Və Qreysi də anlayır ki, Corc bu siqnalların yolda keçirdiyi vaxtı hesaba qatsa belə, onun nəticəsi bu olacaq: Qreysinın saati Corcun saatından yavaş işləyir. Nəticə: Corc və Qreysi hər ikisi sabit sürətlə hərəkət etdikləri, yəni heç biri sürətlənmədiyi müddətcə, onların baxış bucaqları bərabər hüquqludur. Bu vəziyyət paradoksal kimi görünə də, hər iki tərəf başqa tərəfin saatinin daha yavaş işlədiyini düşünməkdə haqlıdır — və bu, tam məntiqə uyğundur.

Məkanın Hərəkətdən Təsiri

Əvvəlki müzakirə göstərdi ki, müşahidəçilər hərəkətdə olan saatların öz saatlarına nisbətən daha yavaş işlədiyini görürlər — yəni, zaman hərəkətdən təsirlənir. Məntiqi olaraq buradan çıxan növbəti addım isə budur: hərəkət məkan üzərində də eyni dərəcədə güclü təsir göstərir. Gəlin bir daha sürət zolağındakı Slim və Cim nümunəsinə qayıdaq. Əvvəl qeyd etdiyimiz kimi, Slim avtomobilini mağazada olarkən lent ölçü aləti ilə diqqətlə ölçmüşdü. Slim yarış zolağında yüksək sürətlə hərəkət edərkən, Cim bu ölçmə metodunu istifadə edə bilməz, ona görə də dolayı yolla ölçməyə çalışır. Belə dolayı üsullardan biri də budur: Cim saatını o anda işə salır ki, avtomobilin ön bəmperi onun yanından keçir, və o anda dayandırır ki, arxa bəmper yanından keçir. Daha sonra Cim keçən vaxtı avtomobilin sürətinə vuraraq avtomobilin uzunluğunu təyin edir. Zamanla bağlı yeni qazandığımız anlayışlardan istifadə edərək başa düşürük ki, Slimin baxış bucağından o, sabitdir, Cim isə hərəkət edir, buna görə də Slim Cimin saatinin yavaş işlədiyini görür. Nəticədə Slim anlayır ki, Cimin avtomobilin uzunluğunu dolayı yolla ölçməsi, mağazada ölçdüyündən daha qısa nəticə verəcək. Çünki Cimin hesablamasında ($\text{uzunluq} = \text{sürət} \times \text{keçən vaxt}$) Cimin istifadə etdiyi vaxt, yavaş işləyən saatla ölçülüb. Əgər saat yavaş işləyirsə, Cim daha az vaxt ölçəcək və nəticədə daha qısa uzunluq hesablayacaq.

Beləliklə, Cim Slimin avtomobilinin uzunluğunu, o hərəkətdə olarkən, sabit vəziyyətdə ölçülən uzunluğundan daha qısa kimi qəbul edəcək. Bu, ümumi bir hadisənin — müşahidəçilərin hərəkətdə olan obyektləri hərəkət istiqamətində daha qısa görməsi fenomeninin nümunəsidir.

Məsələn, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin tənlikləri göstərir ki, əgər bir obyekt işıq sürətinin təxminən 98 faizilə hərəkət edirsə, onu sabit vəziyyətdə izləyən müşahidəçi bu obyekti, sanki dayanıqlı vəziyyətdə olduğundakı uzunluğunun 80 faizi qədər qısa görəcək.

Hərəkət və Zaman-Köynək

İşığın sürətinin sabitliyi, məkan və zamanın əənəvi anlayışının — sərt və obyektiv strukturlar kimi qəbul edilməsinin yerinə, müşahidəçi və müşahidə olunan arasındakı nisbi hərəkətdən asılı olan yeni bir anlayışın yaranmasına səbəb olub. Biz müzakirəmizi burada dayandıra bilərik, çünki artıq hərəkətdə olan obyektlərin yavaş hərəkət etdiyini və qısaldığını başa düşmüşük. Lakin xüsusi nisbilik bu fenomenləri əhatə edən daha dərinədən birləşdirilmiş bir baxış açısı təqdim edir.

Bu baxış açısını başa düşmək üçün gəlin çox praktiki olmayan bir avtomobili təsəvvür edək. Bu avtomobil sürətini sürətlə əldə edir və 100 mil/saat sürətini qoruyub saxlayır, nə artar, nə də azalır, və yalnız dayandırılana qədər bu sürətdə hərəkət edir.

Gəlin təsəvvür edək ki, Slim, ustalığına görə, uzun, düz və geniş bir yol boyunca bu avtomobili sınamaq üçün dəvət olunur. Yolu başdan sona qədər olan məsafə 10 mil olduğu üçün, avtomobil bu məsafəni bir saatin onuncu hissəsində, yəni altı dəqiqə ərzində qət etməlidir. Jim, avtomobil mühəndisi olaraq, bir neçə test sürüşündən əldə edilən məlumatları yoxlayır və görür ki, əksər sürüşlər altı dəqiqəyə uyğun olsa da, son üç sürüşün müddəti çox uzanıb: 6.5, 7 və hətta 7.5 dəqiqə. Əvvəlcə o, mexaniki bir problem olduğunu düşünür, çünki bu zamanlar, son üç sürüşdə avtomobilin 100 mil/saat sürəti ilə hərəkət etmədiyini göstərir. Lakin avtomobili geniş şəkildə yoxladıqdan sonra, onun mükəmməl vəziyyətdə olduğunu başa düşür. Uzun müddət davam edən zamanları izah edə bilmədiyini üçün, Slimə müraciət edir və son sürüşlər haqqında ona sual verir.

Slim sadə bir izah verir. O, Ciminə deyir ki, yolun istiqaməti şərqdən qərbə doğru olduğuna görə, günün sonlarına yaxın günəş gözlərini qamaşdırıb. Son üç sürüşdə, o qədər pis olub ki, yolda bir az əyilmiş şəkildə hərəkət edib. O, son üç sürüşdə keçdiyi yolun təxmini sxemini çəkir və bu, Şəkil 2.5-də göstərilir. İndi, üç uzun zamanın izahı tam aydın olur:

yolun başlanğıcından sonuna qədər olan məsafə, əyilmiş şəkildə getdikdə daha uzun olur, buna görə də eyni 100 mil/saat sürətlə gedərkən daha çox zaman tələb edir. Başqa sözlə, əyilmiş şəkildə gedərkən, 100 mil/saat sürətin bir hissəsi cənubdan şimala doğru gedir, buna görə də şərqdən qərbə gedən məsafə üçün bir az daha az sürət qalır. Bu, deməkdir ki, zolağı keçmək bir az daha çox vaxt alacaq.

Bildirildiyi kimi, Slimin izahı asanlıqla başa düşüləndir; lakin, hazırda edəcəyimiz konseptual sıçrayış üçün bunu bir qədər fərqli şəkildə ifadə etmək faydalı olacaq. Şimal-cənub və şərq-qərb istiqamətləri, avtomobilin hərəkət edə biləcəyi iki müstəqil məkan ölçüsüdür. (Məsələn, dağ keçidi keçərkən avtomobilin şaquli hərəkət etməsi də mümkündür, amma burada bu xüsusiyyətə ehtiyacımız yoxdur.) Slimin izahı göstərir ki, hər bir sürüşdə avtomobil 100 mil/saat sürətində hərəkət etsə də, son üç sürüşdə bu sürət hər iki müstəvidə bölünmüş və buna görə də şərq-qərb istiqamətində 100 mil/saatdan daha yavaş görünmüşdür. Əvvəlki sürüşlərdə bütün 100 mil/saat sürət yalnız şərq-qərb hərəkətinə sərf olunmuşdu; son üç sürüşdə isə bu sürətin bir hissəsi həm şimal-cənub hərəkətinə də sərf olunmuşdu.

Eynşteyn məhz bu fikri - hərəkətin müxtəlif ölçülər arasında bölüşdürülməsini - xüsusi nisbilik fizikasının bütün möhtəşəm xüsusiyyətlərinin əsasını təşkil etdiyini tapdı, yalnız biz bunu başa düşməliyik ki, təkcə məkan ölçüləri deyil, zaman ölçüsü də obyektin hərəkətini paylaşa bilər. Əslində, çox vaxt obyektin hərəkətinin əksəriyyəti məkan deyil, zamandır. Gəlin, bunun nə demək olduğunu görək.

Məkanla hərəkət, həyatın erkən dövrlərində öyrəndiyimiz bir anlayışdır. Çox vaxt bunu belə düşünməsək də, biz həm də öyrənirik ki, biz, dostlarımız, əşyalarımız və s. həm də zamanla hərəkət edirik. Biz bir saat və ya qol saatına baxdıqda, hətta boş-boş televizora baxarkən belə, saatın göstəricisi daima dəyişir, daima "zamanla irəliləyir". Biz və ətrafımızdakı hər şey yaşlanır, qaçılmaz olaraq bir anı digərinə keçir. Əslində, riyaziyyatçı Hermann Minkowski və nəhayət Eynşteyn də, zamanı kainatın başqa bir ölçüsü—dördüncü ölçü kimi düşünməyi təklif etmişdilər, hansı ki, bəzi cəhətlərdən biz özümüzün daxil olduğumuz üç məkan ölçüsünə çox bənzəyir. Bu fikir abstrakt görünsə də, zamanın ölçü olaraq nəzərdən keçirilməsi əslində konkret bir anlayışdır. Birisi ilə görüşmək istədikdə, biz onlara "məkanın hansı yerində" görüşəcəyimizi deyirik—məsələn, 53-cü küçə və 7-ci prospektin küncündəki binanın 9-cu mərtəbəsi. Burada üç məlumat parçası var (9-cu mərtəbə, 53-cü küçə, 7-ci prospekt), hansı ki, kainatın üç məkan ölçüsündə müəyyən bir yeri əks etdirir. Eyni dərəcədə vacib olan isə bizim görüşəcəyimiz zamanı müəyyən etməyimizdir—məsələn, saat 3-də. Bu məlumat parçası isə görüşümüzün "zaman"da harada baş tutacağını bildirir. Hadisələr buna görə də dörd məlumat parçası ilə təyin edilir: üçü məkanla bağlı, biri isə zamanla bağlı. Beləliklə, bu məlumatlar hadisənin

məkan və zaman, yaxud daha qısa desək, məkan-zaman daxilindəki yerini müəyyən edir. Bu mənada, zaman da başqa bir ölçüdür.

Bu baxış məkan və zamanın sadəcə fərqli ölçü nümunələri olduğunu bildirdiyi üçün, bir obyektin zamanla hərəkət sürətindən məkanla hərəkət sürəti anlayışı kimi danışmaq mümkündürmü? Bəli, mümkündür.

Bunu necə etmək barədə böyük bir ipucu artıq qarşılaşdığımız mərkəzi məlumat parçasından gəlir. Bir obyekt bizimlə müqayisədə məkanla hərəkət edərkən, onun saati bizim saatımıza nisbətən yavaş işləyir. Yəni, onun zamanla hərəkətinin sürəti yavaşlayır. İndi isə bu fikri aydınlaşdırmaq: Eynşteyn bütün obyektlərin kainatdakı hərəkətinin daim eyni sürətlə, yəni işıq sürəti ilə həyata keçdiyini elan etdi. Bu qəribə bir fikirdir; biz obyektlərin işıq sürətindən xeyli aşağı sürətlə hərəkət etdiklərini görməyə öyrəşmişik. Biz bunu relativistik təsirlərin gündəlik dünyada niyə o qədər qeyri-adi olduğunu başa düşmək üçün dəfələrlə vurğulamışıq. Bütün bunlar doğrudur. Hal-hazırda biz obyektin bütün dörd ölçü üzərində - üç məkan və bir zaman ölçüsündə - birləşdirilmiş sürətindən danışırıq və məhz obyektin bu ümumiləşdirilmiş sürəti işıq sürəti ilə eynidir. Bunu daha tam başa düşmək və əhəmiyyətini ortaya qoymaq üçün qeyd edirik ki, yuxarıda müzakirə edilən qeyri-praktik tək sürətli maşın kimi, bu bir sabit sürət fərqli ölçülər arasında – məkan və zaman ölçüləri arasında – bölünə bilər. Əgər bir obyekt bizimlə nisbətən sakitdirsə və buna görə də məkanla heç bir hərəkət etmirsə, onda ilk avtomobilin ilk hərəkətləri ilə analogi olaraq, bütün obyektin hərəkəti bir ölçüdə - bu halda, zaman ölçüsündə - hərəkət etmək üçün istifadə olunur. Bundan əlavə, bizə və bir-birimizə nisbətən sakit olan bütün obyektlər zamanla eyni sürətlə hərəkət edir – yəni eyni sürətlə yaşlanır. Lakin bir obyekt məkanla hərəkət edərsə, bu o deməkdir ki, əvvəlki zamanla hərəkətinin bir hissəsi başqa yerə yönləndirilməlidir. Maşının bucaqlı hərəkəti kimi, bu hərəkətin bölünməsi o deməkdir ki, obyekt zamanla əvvəlki sürətində hərəkət etməyəcək və daha yavaş hərəkət edəcək, çünki indi onun hərəkətinin bir hissəsi məkanla hərəkət etməyə sərf olunur. Yəni, o, məkanla hərəkət edərsə, saati daha yavaş gedəcək. Bu, əvvəlki tapıntılarımızla tamamilə uyğun gəlir. İndi görürük ki, zaman yavaşlayır, çünki obyekt bizimlə nisbətdə hərəkət edərkən bu, onun zamanla hərəkətinin bir hissəsini məkanla hərəkətə yönləndirir. Bir obyektin məkanla hərəkət sürəti sadəcə olaraq zamanla hərəkətinin nə qədərini yönləndirildiyinin bir əksidir.

Bu çərçivənin dərhal daxil etdiyi bir fakt da budur ki, obyektin məkan sürətinin bir həddi var: məkanla ən yüksək sürət, obyektin zamanla hərəkətinin bütün hissəsinin məkanla hərəkətə yönləndirildiyi halda baş verir. Bu, obyektin zamanla keçirdiyi bütün işıq sürətindəki hərəkətini məkanla işıq sürətində hərəkətə yönləndirdiyi zaman baş verir. Amma zamanla olan bütün hərəkətini istifadə etdiyinə görə, bu obyektin – hər hansı bir

obyektin – məkanla əldə edə biləcəyi ən yüksək sürətidir. Bu, maşınımızın yalnız şimal-cənub istiqamətində test sürüşü edildiyi hal ilə analojidir: necə ki, maşının şərq-qərb ölçüsündə heç bir sürəti qalmır, işıq sürətində məkanla hərəkət edən bir şey də zamanla hərəkət üçün heç bir sürətə sahib olmur. Beləliklə, işıq yaşlanmaz; böyük partlayışdan çıxan bir foton bu gün də eyni yaşa malikdir, necə ki, o zaman idi. Işıq sürətində zaman keçməz.

$E = mc^2$ nədir?

Hərçənd Eynşteyn öz nəzəriyyəsini "relativlik" adlandırmağı tövsiyə etmədi (əksinə, işıq sürətinin dəyişməzliyi kimi xüsusiyyətləri əks etdirmək üçün "invariantlıq" nəzəriyyəsi adını təklif etdi), bu termin artıq aydındır. Eynşteyn-in işləri göstərdi ki, əvvəlcə ayrı və mütləq hesab olunan məkan və zaman kimi anlayışlar əslində bir-biri ilə əlaqəlidir və nisbidir. Eynşteyn həmçinin dünyamızın digər fiziki xüsusiyyətlərinin də gözlənilməz şəkildə birləşdiyini göstərdi. Onun ən məşhur tənliyi bu əlaqələrdən ən mühüm nümunələrdən birini təqdim edir. Bu tənlikdə Eynşteyn, bir obyektin enerjisinin (E) və kütləsinin (m) müstəqil anlayışlar olmadığını irəli sürüb; biz kütləni bilməkdən enerjini müəyyən edə bilərik (kütləni işıq sürətinin kvadratı c^2 ilə iki dəfə vuraraq) və ya enerjini bilməkdən kütləni müəyyən edə bilərik (enerjini işıq sürətinin kvadratı ilə iki dəfə bölərək). Başqa sözlə, enerji və kütlə - dollarlara və franslara bənzər şəkildə - dəyişdirilə bilən valyutalardır. Ancaq puldan fərqli olaraq, işıq sürətinin iki faktoru ilə verilən mübadilə kursu hər zaman və həmişə sabitdir. Bu mübadilə kursu çox böyük olduğuna görə (c^2 böyük bir rəqəmdir), bir az kütlə enerji istehsalında olduqca uzağa gedə bilər. Dünya, Hiroşimadakı iki funt uraninin enerjiyə çevrilməsindən yaranan dağıdıcı gücü başa düşdü; bir gün, nüvə birləşməsi gücü ilə, biz Eynşteyn-in tənliyindən istifadə edərək sonsuz dəniz suyu təchizatımızla bütün dünya üçün enerji tələbatını qarşılacaq şəkildə məhsuldar şəkildə istifadə edə bilərik.

Bizim bu fəsildə vurğuladığımız anlayışlar nöqtəyi-nəzərindən, Eynşteyn-in tənliyi bizə ən konkret izahı verir ki, heç bir şey işıq sürətindən daha sürətli hərəkət edə bilməz. Məsələn, siz bəlkə də düşünmüsünüz ki, niyə biz bir obyekti, məsələn, bir muonu, bir sürətləndirici ilə 667 milyon mil/saat (ışıq sürətinin 99.5 faizi) sürətinə çatdırıb, onu "bir az daha itələsək", onu 99.9 faiz işıq sürətinə gətirə bilərik və sonra "həqiqətən daha çox itələyərək" işıq sürətini keçməyə nail ola bilərik? Eynşteyn-in tənliyi bu cür cəhdlərin niyə heç vaxt uğur qazanmayacağını izah edir. Bir şey nə qədər sürətli hərəkət edirsə, o qədər çox enerjiyə sahib olur və Eynşteyn-in tənliyindən görürük ki, bir şey nə qədər çox enerji daşıyarsa, o qədər daha massiv olur. Məsələn, işıq sürətinin 99.9 faizində hərəkət edən

muonlar, dayanmış muonlardan çox daha ağırdır. Hətta onlar təxminən 22 dəfə ağırdır - həqiqətən. (Cədvəl 1.1-də qeyd olunan kütlələr dayanan hissəciklər üçündür.) Amma bir obyekt nə qədər daha massivdirsə, onun sürətini artırmaq bir o qədər çətinləşir. Bir uşağı velosipedlə itələmək başqa, bir Mack yük maşını itələmək tamamilə başqa bir şeydir. Buna görə də, muon daha sürətli hərəkət etdikcə, onun sürətini daha da artırmaq getdikcə daha çətin olur. 99.999 faiz işıq sürətində muonun kütləsi 224 dəfə artır; 99.99999999 faiz işıq sürətində isə bu, 70,000-dən çox artım göstərir. Çünki muonun kütləsi işıq sürətinə yaxınlaşdıqca sonsuz dərəcədə artır, onun sürətini işıq sürətinə çatdırmaq və ya keçmək üçün sonsuz miqdarda enerji tələb olardı. Bu, əlbəttə ki, mümkün deyil və buna görə də heç bir şey işıq sürətindən daha sürətli hərəkət edə bilməz.

Gələn fəsildə görəcəyimiz kimi, bu nəticə sonrakı əsr ərzində fizikanın qarşılaşdığı ikinci böyük münaqişənin təməlini qoyur və nəticədə başqa bir əzəmətli və dəyərli nəzəriyyənin – Nyutonun ümumi cazibə nəzəriyyəsinin sonunu xəbər verir.

Fəsil 3

Qırılmalar və Dalğalar

Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi vasitəsilə, Eynşteyn "hərəkət haqqında qədim intuisiyanı" və işıq sürətinin dəyişməzliyini bir-birinə zidd olan məsələlər arasında bir münaqişəni həll etdi. Qısa desək, həll budur ki, bizim intuisiya səhvdir – bu, adətən işıq sürəti ilə müqayisədə çox yavaş olan hərəkət tərəfindən formalaşır və belə aşağı sürətlər, məkan və zamanın həqiqi xarakterini gizlədir. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi onların təbiətini aşkar edir və əvvəlki anlayışlardan köklü şəkildə fərqləndiyini göstərir. Amma məkan və zamanın əsaslarına dair anlayışımızı dəyişdirmək asan bir iş deyildi. Eynşteyn tezliklə başa düşdü ki, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin gətirdiyi çoxsaylı nəticələrdən biri xüsusilə dərin idi: Heç bir şey işığı qabaqlaya bilməz aksioması, XVII əsrin ikinci yarısında təklif edilmiş Nyutonun hörmətli ümumi cazibə nəzəriyyəsi ilə uyğunsuz çıxır. Beləliklə, bir münaqişəni həll edərkən, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi başqa bir münaqişənin yaranmasına səbəb oldu. On illik intensiv, bəzən iztirablı araşdırmalardan sonra, Eynşteyn bu dilemmayı ümumi

nisbilik nəzəriyyəsi ilə həll etdi. Bu nəzəriyyədə, Eynşteyn bir daha məkan və zaman haqqında anlayışımızı inqilab etdi və göstərdi ki, onlar cazibə qüvvəsini ötürmək üçün əyilir və deformasiya olunur.

Nyutonun Cazibə Baxışı

İsaak Nyuton, 1642-ci ildə İngiltərənin Linkolnşir şəhərində anadan olmuş və fiziki tədqiqatlara riyaziyyatın tam gücünü gətirərək elmi araşdırmaların şəklini dəyişdirmişdir. Nyutonun zəka dərəcəsi o qədər böyük idi ki, məsələn, öz araşdırmalarından bəziləri üçün tələb olunan riyaziyyat mövcud olmadığını gördükdə, onu özü icad etdi. Təxminən üç əsr keçəcəkdi ki, dünya bununla müqayisə oluna biləcək bir elmi dahini qəbul etsin. Nyutonun kainatın işləməsi haqqında bir çox dərin fikirlərindən bizi burada ən çox maraqlandıran, onun ümumi cazibə nəzəriyyəsidir.

Cazibə qüvvəsi gündəlik həyatımızın hər yerinə təsir edir. O, bizi və ətrafımızdakı bütün obyektləri yerin səthində saxlayır; nəfəs aldığımız havanı xarici kosmosa qaçmaqdan qoruyur; ayı yerin ətrafında dövr etməyə məcbur edir və yerin Günəşin ətrafında dövr etməsini təmin edir. Cazibə, asteroidləri, planetləri, ulduzları və qalaksiyaları əhatə edən milyardlarla kosmik varlığın yorulmaz və dəqiq şəkildə yerinə yetirdiyi kosmik rəqsin ritmini diktə edir. Nyutonun üç əsrlik təsiri bizi o qədər alışıdırıb ki, bir tək qüvvənin—cazibənin—bu yerli və xarici hadisələrin hamısına səbəb olduğunu düşünürük. Lakin Nyutondan əvvəl heç kəs, bir alma ağacdən yerə düşərkən, bu fiziki prinsipin eyni prinsipi təmsil etdiyini başa düşmürdü, hansı ki, bu prinsip planetlərin Günəşin ətrafında dönməsini təmin edir. Elmi hakimiyyətin xidmətində, Nyuton cəmiyyəti səma və yerin hər birində hökmran olan fizika qanunlarını birləşdirdi və cazibə qüvvəsini hər iki sahədə işləyən görünməyən əl olaraq elan etdi.

Nyutondan Cazibə Baxışı

Nyutonun cazibə qüvvəsinin böyük bərabərləşdiricisi adlandırmaq olar. O, hər bir cismin digəri üzərində cazibə qüvvəsi tətbiq etdiyini və bu qüvvəni hiss etdiyini elan etdi. Fiziki tərkibindən asılı olmayaraq, hər şey cazibə qüvvəsini həm tətbiq edir, həm də hiss edir. Yohan Keplerin planetar hərəkətə dair təhlilinə yaxın bir araşdırma apararaq, Nyuton

nəticəyə gəldi ki, iki cisim arasındakı cazibə cazibəsi gücü iki şeydən asılıdır: hər bir cismin tərkibindəki maddənin miqdarı və onların arasındakı məsafə. "Məhsul" maddə deməkdir — bu, protonların, neytronların və elektronların ümumi sayını əhatə edir ki, bu da cismin kütləsini müəyyən edir. Nyutonun ümumi cazibə nəzəriyyəsi, iki obyekt arasındakı cazibə gücünün böyük kütləli obyektlər üçün daha güclü, kiçik kütləli obyektlər üçün isə daha zəif olduğunu iddia edir; həmçinin, cazibə gücünün daha kiçik məsafələrdə daha böyük, daha böyük məsafələrdə isə daha kiçik olduğunu bildirir.

Nyuton yalnız bu keyfiyyətli təsvirlə kifayətlənmədi və iki obyekt arasındakı cazibə qüvvəsinin gücünü kəmiyyət olaraq təsvir edən tənliklər yazdı. Bu tənliklər belə deyir: iki cismin arasındakı cazibə qüvvəsi onların kütlələrinin hasilinə bərabərdir və aralarındakı məsafənin kvadratına tərs mütənasibdir. Bu "cazibə qanunu" planetlərin və kometlərin Günəş ətrafında hərəkətini, Ayın Yerin ətrafında dövr etməsini, planet tədqiqatları üçün kosmosa göndərilən raketlərin hərəkətini, həmçinin yer üzündəki tətbiqləri — məsələn, beysbol topalarının havada uçması və dalışçıların süngərlərdən hovuzun tərəfinə doğru fırlanmasını — proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilə bilər. Bu proqnozların real müşahidələr ilə qarşılaşdırılması möhtəşəmdir. Bu uğur Nyutonu nəzəriyyəsini 20-ci əsrin əvvəlindəki dövrə qədər açıq dəstəklə təmin etdi. Lakin Eynşteynin xüsusi nisbilik kəşfi Nyutonun nəzəriyyəsi üçün keçilməz bir maneə yaratdı.

Nyuton cazibə qüvvəsi ilə xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin uyğunsuzluğu

Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin əsas xüsusiyyətlərindən biri işığın müəyyən etdiyi mütləq sürət həddidir. Bu məhdudiyyətin tək-cə maddi obyektlərə deyil, həm də istənilən siqnala və təsirə aid olduğunu başa düşmək vacibdir. Heç bir məlumat və ya təsiri bir nöqtədən başqa bir nöqtəyə işıq sürətindən daha tez ötürmək mümkün deyil. Təbii ki, işıq sürətindən daha yavaş yayılma üsulları mövcuddur. Məsələn, sizin danışığınız və digər səslər hava vasitəsilə təxminən saatda 700 mil sürətlə yayılan vibrasiyalarla ötürülür – bu isə işığın saatda 670 milyon mil sürəti ilə müqayisədə çox zəifdir. Bu sürət fərqi, məsələn, uzaqdan bir beysbol oyununa baxarkən aydın hiss olunur. Oyuncu topa vuranda, siz əvvəlcə onun topa vurduğunu görürsünüz, səsi isə bir neçə saniyə sonra eşidirsiniz. Bənzər hal ildırım və göy gurultusunda da baş verir – hər ikisi eyni anda baş versə də, əvvəlcə ildırımını görürsünüz, gurultunu isə sonra eşidirsiniz. Bu, işıq və səs arasındakı ciddi sürət fərqi göstəricisidir. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin uğuru bizə göstərir ki, əks hal – yəni siqnalın

onu müşayiət edən işıqdan əvvəl bizə çatması – mümkün deyil. Heç nə fotonlardan sürətli deyil.

İndi isə problem ortaya çıxır. Nyutonun cazibə nəzəriyyəsinə görə, bir cisim digərinə yalnız kütlələrinin və aralarındakı məsafənin böyüklüyü ilə müəyyən olunan bir qüvvə ilə təsir edir. Bu qüvvə, cisimlərin bir-biri ilə nə qədər müddətdir qarşılıqlı təsirdə olması ilə əlaqəli deyil. Bu isə o deməkdir ki, əgər kütlə və ya məsafə dəyişərsə, Nyutona görə bu dəyişiklik cisimlər arasında dərhal cazibə qüvvəsində özünü göstərməlidir. Məsələn, əgər günəş qəfildən partlasa, Yer – ondan təxminən 93 milyon mil uzaqda – dərhal öz normal elliptik orbitindən çıxmalı olar. Halbuki partlayışdan yayılan işıq Yerə səkkiz dəqiqəyə çatacaq. Amma Nyutonun nəzəriyyəsinə görə, günəşin partladığı xəbəri Yerə dərhal cazibə qüvvəsindəki ani dəyişikliklə ötürüləcək.

Bu nəticə xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi ilə birbaşa ziddiyyət təşkil edir. Çünki xüsusi nisbilikə görə heç bir məlumat işıq sürətindən daha tez ötürülə bilməz – ani ötürülmə bu prinsipi tam şəkildə pozur.

XX əsrin əvvəllərində, buna görə də, Eynşteyn başa düşdü ki, çox uğurlu olan Nyuton cazibə nəzəriyyəsi onun xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi ilə ziddiyyət təşkil edir. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin doğruluğuna inanan və Nyuton nəzəriyyəsini dəstəkləyən saysız-hesabsız təcrübələrə baxmayaraq, Eynşteyn xüsusi nisbiliklə uyğun olan yeni bir cazibə nəzəriyyəsi axtarmağa başladı. Bu axtarış nəticədə onu ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin kəşfinə apardı və bu nəzəriyyədə məkan və zaman anlayışları bir daha heyvətamiz şəkildə dəyişdi.

Eynşteynin Ən XOŞBƏXT FİKRİ

Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi kəşf edilməzdən əvvəl belə, Nyutonun cazibə nəzəriyyəsi bir vacib cəhətdən natamam idi. Bu nəzəriyyə cisimlərin cazibə qüvvəsinin təsiri altında necə hərəkət edəcəyini çox dəqiq şəkildə proqnozlaşdırmağa imkan versə də, cazibənin nə olduğu barədə heç bir izahat vermir. Yəni, bir-birindən yüz milyonlarla mil uzaqda (və ya daha çox) yerləşən iki cismin bir-birinə necə təsir göstərdiyi anlaşılmır. Cazibə bu təsiri hansı vasitə ilə həyata keçirir? Bu, Nyutonun özünün də çox yaxşı bildiyi bir problemdi. O, bu haqda belə yazırdı:

“Ağlasığmazdır ki, cansız, kobud maddə başqa bir maddəyə birbaşa təmas olmadan və arada maddi olmayan bir vasitə olmadan təsir edə və onu hərəkətə gətirə bilsin. Cazibə

qüvvəsinin maddənin içində doğuşdan mövcud olub, bir cismin digərinə vakum (boşluq) içindən, heç bir vasitə olmadan təsir etməsi mənim üçün o qədər böyük bir absurdluqdur ki, fəlsəfi məsələlərdə düşünmək qabiliyyətinə malik olan heç bir insanın buna inana biləcəyini düşünmürəm. Cazibə qüvvəsi müəyyən qanunlara uyğun şəkildə daim fəaliyyət göstərən bir vasitə (agent) tərəfindən yaradılmalıdır; lakin bu vasitənin maddi və ya qeyri-maddi olub-olmaması məsələsini oxucularımın ixtiyarına buraxıram.”

Yəni, Nyuton cazibə qüvvəsinin mövcudluğunu qəbul etmiş və onun təsirlərini dəqiq şəkildə izah edən tənliklər yaratmışdı, lakin bu qüvvənin əslində necə işlədiyini heç vaxt izah etməmişdi. O, cazibə üçün bir növ “istifadəçi təlimatı” təqdim etmişdi – bu təlimatda onun necə istifadə olunacağı göstərilirdi. Fiziklər, astronomlar və mühəndislər bu təlimatlardan istifadə edərək Ay, Mars və digər planetlərə raketlərin trayektoriyalarını hesablamış, Günəş və Ay tutulmalarını, kometlərin hərəkətini və s. uğurla proqnozlaşdırmışlar. Ancaq cazibənin daxili mexanizmi – yəni cazibənin “qara qutusu” – tamamilə sirr olaraq qalırdı.

Bu vəziyyət, CD pleyerinizdən və ya şəxsi kompüterinizdən istifadə edərkən onun necə işlədiyini bilməməyinizə bənzəyir. Əgər cihazı istifadə etməyi bacarırsınızsa, onun daxilində nələr baş verdiyini sizin və ya başqa birinin bilməsinə ehtiyac yoxdur. Ancaq bu cihaz xarab olduqda, onu təmir etmək üçün onun daxili iş prinsimlərini bilmək vacib olur.

Eynilə, Eynşteyn də başa düşdü ki, yüzillik təcrübə ilə təsdiqlənməsinə baxmayaraq, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi Nyutonun cazibə nəzəriyyəsinin müəyyən incə məqamlarla “xarab” olduğunu göstərir və bu nəzəriyyəni “təmir etmək” üçün cazibənin əsl və tam mahiyyətini anlamaq zəruridir.

1907-ci ildə İsveçrənin Bern şəhərində patent ofisində masa arxasında bu məsələlər üzərində düşünərkən, Eynşteyn bir o qədər sadə, lakin dərin bir fikir irəli sürdü. Bu fikir, bir sıra çətinliklər və inkişaflarla onu tamamilə yeni bir cazibə nəzəriyyəsinə aparacaqdı — elə bir yanaşma ki, təkcə Nyutonun nəzəriyyəsindəki boşluğu doldurmayacaq, həm də cazibə haqqında düşüncə tərzini tamamilə yenidən formalaşdıracaq və ən vacibi, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi ilə tam uyumlu olacaq.

Eynşteynin bu fikri 2-ci fəsildə sizi düşündürə biləcək bir sualla birbaşa əlaqəlidir. Orada biz sabit sürətlə hərəkət edən müşahidəçilərin dünyanı necə gördüyünü başa düşməyə çalışırıq. Bu müşahidəçilərin müşahidələrini diqqətlə müqayisə edərək, məkan və zamanın təbiəti ilə bağlı olduqca dramatik nəticələr əldə etdik. Bəs sürətlənən (ivmələnən) müşahidəçilər necə? Onların müşahidələrini təhlil etmək sabit sürətli müşahidəçilərə nisbətən daha çətin və mürəkkəb olacaq, çünki bu hərəkət daha “qarışıq”dır. Amma biz

belə bir sual verə bilərik: bu mürəkkəbliyi idarə etməyin, sürətlənmiş hərəkəti də məkan və zaman anlayışımıza daxil etməyin yolu varmı?

Eynşteynin “ən xoşbəxt fikri” bu sualın cavabını verdi. Onun bu fikrini başa düşmək üçün gəlin belə bir səhnəni təsəvvür edək:

İl 2050-dir. Siz FBI-nin baş partlayıcı mütəxəssisisiniz və Vaşinqtonun mərkəzində yerləşdirilmiş yüksək texnologiyalı bir bombanın aşkarlanması ilə bağlı panik bir zəng alırsınız. Hadisə yerinə çatıb cihazı diqqətlə yoxlayırsınız və qorxularınız təsdiqlənir: bu nüvə bombasıdır və o qədər güclü şəkildə hazırlanıb ki, Yer qabığına dərinliyə basdırılsa və ya okeanın dibinə endirilsə belə, onun partlayışı fəlakətli nəticələr verəcək.

Bombanın işə düşmə mexanizmini diqqətlə araşdırdıqdan sonra anlayırsınız ki, onu zərərsizləşdirmək mümkün deyil. Üstəlik, onun yeni tip “tələ” funksiyası var: bomba bir tərəzi üzərində quraşdırılıb. Əgər tərəzidəki çəkiddə 50 faizdən çox dəyişiklik olarsa, bomba partlayacaq. Vaxt mexanizminə əsasən görürsünüz ki, cəmi bir həftəniz var. Milyonlarla insanın taleyi sizin əlinizdədir — nə edərdiniz?

Bəli, Yer kürəsində və ya onun dərinliklərində bu bombanı təhlükəsiz şəkildə partlatmaq mümkün olmadığını müəyyən etdikdən sonra sanki tək bir çıxış yolunuz qalır: bombanı kosmosa göndərmək. Onun partlayışı orada heç bir zərər verməz.

Bu ideyanı FBI komandasının iclasında təqdim edirsiniz, lakin dərhal gənc bir köməkçi planınızı pozur. “Bu planda ciddi bir problem var,” deyərək köməkçiniz İsaak başlayır. “Cihaz Yer kürəsindən uzaqlaşdıqca onun çəkisi azalacaq, çünki Yer ilə olan cazibə əlaqəsi zəifləyəcək. Bu isə cihazdakı tərəzinin göstəricisinin azalmasına səbəb olacaq və nəticədə, cihaz təhlükəsiz məsafəyə çatmazdan əvvəl partlayacaq.”

Siz hələ İsaakın iradəsi üzərində tam düşünməyə macal tapmamısınız ki, başqa bir gənc köməkçi söhbətə qoşulur: “Əslində, düşünəndə başqa bir problem də var,” deyərək köməkçiniz Albert əlavə edir. “Bu problem İsaakın dediyi qədər vacibdir, amma bir az daha incədir, ona görə izah etməyimə icazə verin.”

Siz İsaakın dediklərini düşünmək üçün Albertə “sakit ol” demək istəsəniz də, hər zamankı kimi o danışmağa başlayıbsa, onu saxlamaq mümkün olmur:

“Cihazı kosmosa çıxarmaq üçün onu raketə yerləşdirməliyik. Raket kosmosa çıxmaq üçün sürətləndikcə, tərəzidəki göstərici artacaq və bu da bombanın vaxtından əvvəl partlamasına səbəb olacaq. Cihazın alt hissəsi – tərəzi üzərində dayanan hissə – raket yuxarı sürətləndikcə tərəziyə daha çox güc tətbiq edəcək. Bu, avtomobil sürətləndikdə belinizin oturacağı sıxılması kimi bir effektdir. Bomba da eynilə tərəzini sıxacaq və bu da tərəzidəki

göstəricinin artmasına səbəb olacaq. Əgər bu artım 50 faizdən çox olarsa, bomba partlayacaq.”

Siz Albertə şərhinə görə təşəkkür edirsiniz, lakin fikrinizi İsaakın dediklərini zəhninizdə təsdiqləməyə yönəltdiyiniz üçün onun izahına tam diqqət yetirməmişiniz. Ümitsiz halda belə deyirsiniz: “Bir ideyanı öldürmək üçün bəzən tək bir ölümcül iradə kifayət edir və İsaakın açıq-aşkar düzgün müşahidəsi bu işi gördü.” Üzülərək yeni təkliflər istəyirsiniz. Elə həmin anda Albertin beynində qəfil bir işıq yanır: “Yaxşı baxanda,” deyə davam edir, “məncə sənin ideyan ölü deyil. İsaakın müşahidəsi – yəni cihaz kosmosa qalxdıqca cazibənin azalması və tərəzidəki göstəricinin azalması – doğrudur. Mənim müşahidəm – raketin yuxarı sürətlənməsi nəticəsində cihazın tərəziyə daha çox güc tətbiq etməsi və göstəricinin artması da doğrudur. Bu iki effekti birlikdə nəzərə alsaq, mümkündür ki, biz raketin hər anlıq sürətlənməsini dəqiq şəkildə tənzimləsək, bu iki təsir bir-birini kompensasiya edə bilər!”

**Yəni, qalxışın ilkin mərhələlərində, raket hələ Yer cazibəsinin tam təsirini hiss edərkən, onu sürətləndirə bilərik, sadəcə bu çox güclü olmamalıdır ki, 50 faiz sərhəddini keçməyək. Raket Yerdən uzaqlaşdıqca və cazibə tədricən zəiflədikcə, biz də yuxarıya doğru sürətlənməni artırmalıyıq ki, tərəzidəki göstərici sabit qalsın. Başqa sözlə, yuxarıya doğru sürətlənmədən yaranan artım, cazibənin azalmasından yaranan azalmaya bərabər ola bilər. Beləcə, tərəzidəki göstərici heç dəyişməyə bilər!”

Albertin təklifi yavaş-yavaş məntiqli gəlməyə başlayır. Siz cavab verirsiniz: “Başqa sözlə, yuxarıya doğru sürətlənmə cazibənin yerini tuta bilər. Biz uyğun şəkildə sürətlənməklə cazibə təsirini təqlid edə bilərik.” “Tam olaraq,” – deyərək Albert cavab verir.

“Deməli,” – deyərək davam edirsiniz, “biz bombanı kosmosa göndərə və raketin sürətlənməsini dəqiq şəkildə tənzimləməklə, tərəzidəki göstəricinin dəyişməməsini təmin edə bilərik. Beləliklə, bombanın partlamasının qarşısını alaraq onu Yerdən təhlükəsiz bir məsafəyə qədər çıxara bilərik.” Bu cür, cazibə qüvvəsi ilə sürətlənməni bir-birinə qarşı oynadaraq – və XXI əsrin dəqiq raket elminin imkanlarından istifadə edərək – fəlakətin qarşısını almaq mümkün olur.

Cazibə qüvvəsi ilə sürətlənmənin bir-biri ilə dərin şəkildə əlaqəli olduğunu anlamaq, bir vaxtlar Bern şəhərindəki patent ofisində işləyərkən Eynşteynin yaşadığı “ən xoşbəxt fikrin” əsasını təşkil edirdi. Bombalı ssenari bu ideyanın mahiyyətini vurğulasa da, bunu 2-ci fəsildəki kontekstə daha yaxın şəkildə ifadə etmək faydalı olar.

Bu məqsədlə, xatırlayaq: əgər sizi qapalı və pəncərəsiz bir otağa (bölməyə) yerləşdirsələr və bu otaq sabit hərəkətdə olsa, yəni sürətlənməsə, siz orada nə qədər sürətlə hərəkət

etdiyinizi müəyyən edə bilməzsınız. Otağın görünüşü dəyişməz qalacaq və orada aparacağınız hər bir təcrübə, necə hərəkət etdiyinizdən asılı olmayaraq eyni nəticəni verəcək. Daha fundamental olaraq desək, xarici istinad nöqtəsi olmadan, sizin hərəkət vəziyyətinizə bir sürət dəyəri təyin etmək belə mümkün deyil.

Amma əgər siz sürətlənirsinizsə, o zaman yalnız o otağın içində olmağınıza baxmayaraq bədəninizə təsir edən bir qüvvə hiss edəcəksiniz. Məsələn, əgər oturduğunuz stul önə baxan şəkildə yerə bərkidilibsə və bölmə önə doğru sürətlənsə, kürəyinizin stulun arxasına sıxıldığını hiss edəcəksiniz – eynilə Albertin avtomobil nümunəsində olduğu kimi. Eyni şəkildə, əgər bölmə yuxarıya doğru sürətlənsə, ayaqlarınızın altındakı döşəmənin sizə güc tətbiq etdiyini hiss edəcəksiniz. Eynşteynin dərk etdiyi əsas məqam isə bundan ibarət idi: belə qapalı bir bölmənin daxilində siz bu sürətlənməni, eyni gücdə olan cazibə qüvvəsindən fərqləndirə bilməyəcəksiniz. Yəni, sürətlənmədən və cazibə qüvvəsindən hiss etdiyiniz qüvvə, düzgün şəkildə uyğunlaşdırıldıqda, bir-birindən fərqlənməz olur.

Əgər sizin bölməniz Yer səthində sakitcə dik vəziyyətdə dayanırsa, ayaqlarınızın altındakı döşəmədən gələn tanış qüvvəni hiss edirsiniz – bu, yuxarı sürətlənmə ssenarisindəki ilə eyni hissdır. Bu, Albertin bombanı kosmosa partlamadan çıxarmaq üçün irəli sürdüyü həllin məntiqi əsası idi. Əgər sizin bölməniz arxası üstə yerə qoyulubsa, bu zaman oturduğunuz kreslonun arxası belinizə təzyiq edəcək və sizi “yıxılmaqdan” qoruyacaq – eynilə siz üfüqi şəkildə sürətlənəndə olduğu kimi. Eynşteyn bu iki vəziyyətin – sürətlənmə və cazibə qüvvəsi ilə yaranan hissin – fərqləndirilə bilməməsini ekvivalentlik prinsipi adlandırdı.

Bu izah göstərir ki, ümumi nisbilik nəzəriyyəsi, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi ilə başlanan işi tamamlayır. Xüsusi nisbilik, nisbilik prinsipi vasitəsilə, sabit sürətlə hərəkət edən müşahidəçilər üçün fizikanın qanunlarının eyni olduğunu bildirərək müşahidə nöqtələrinin demokratiyasını təsis edir. Lakin bu demokratiya yetərinə məhduddur – çünki sürətlənən müşahidəçiləri bu çərçivədən kənarda saxlayır. Halbuki belə müşahidəçilər — məsələn, avtomobilə, raketə, ya da elə Yerə minmiş insanlar — kainatda saysız-hesabsızdır.

Eynşteynin 1907-ci ildə gəldiyi ən xoşbəxt fikri, bu məhdudiyyətin aşılmasını mümkün etdi. Sürətlənmə və cazibə qüvvəsinin bir-birindən ayrılı bilməyəcəyi fikrindən çıxış edərək, Eynşteyn bu iki fərqli halı bircə ortaq çərçivədə birləşdirdi. Əgər sürətlənən bir sistemdə cazibə qüvvəsi yoxdursa, və ya sabit qalan bir sistemdə cazibə qüvvəsi varsa, bu iki vəziyyət fiziki olaraq bir-birindən fərqlənmir. Bu o deməkdir ki, hansı müşahidəçi olursan ol, hətta sürətlənirsənsə belə, özünü sabit qəbul edə bilərsən – sadəcə olaraq, təsvir etdiyin dünyada uyğun cazibə qüvvəsi olduğunu nəzərə almalısən. Bu ideya radikal dərəcədə bərabərlikçi yanaşmadır: artıq heç bir müşahidəçi “xüsusi” deyil, hər kəsin baxış

nöqtəsi eyni dərəcədə keçərlidir. Bu, xüsusi nisbilikdəki məhdud bərabərliyi həqiqi bir müşahidəçi demokratiyasına çevirir. (Sonralar görəcəyik ki, bu prinsip sayəsində 2-ci fəsildəki "George Gracie-ni reaktiv çanta ilə təqib edəndə az yaşlanır" kimi sürətlənməyə əsaslanan fərqlər, alternativ şəkildə – cazibə qüvvəsinin olduğu, amma sürətlənmənin olmadığı bir sistemlə – izah oluna bilər.) Əlbəttə, cazibə ilə sürətlənmə arasında bu qədər dərinlən bir əlaqənin qurulması son dərəcə qeyri-adi bir kəşf idi. Amma nə üçün Eynşteyn üçün bu "ən xoşbəxt fikir" oldu?

Səbəbi sadədir: Cazibə qüvvəsi müəmmalıdır. O, bütün kainatı əhatə edən, nəhəng, amma sanki "toxuna bilmədiyimiz" bir qüvvədir. Halbuki sürətlənmə – bəli, bir az daha mürəkkəb olsa da – çox daha maddi və hiss olunan bir şeydir. Eynşteyn dərk etdi ki, əgər bu iki anlayış arasında fundamental bir əlaqə varsa, o zaman sürətlənmə haqqında bildiklərimizi cazibə qüvvəsini anlamaq üçün güclü bir vasitəyə çevirə bilərik.

Bu ideyanı praktikaya keçirmək heç də asan olmadı. Amma sonunda bu yanaşma ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin yaranmasına səbəb oldu. Və bu nəzəriyyənin qurulması üçün Eynşteynin ikinci bir bağlantı qurması lazım gəldi: cazibə qüvvəsi və sürətlənmənin, məkan və zamanın ayrılığı ilə necə əlaqəli olduğunu göstərmək. İndi bu məsələyə nəzər salacağıq.

Eynşteyn, "sürətlənmə və cazibə qüvvəsinin təbiəti" üzərində işləməyə başladıqda, bu mövzunun mürəkkəbliyi və dərinliyi ilə üz-üzə gəldi. Bern patent ofisindəki o xoşbəxt düşüncədən sonra, bu ideyanı tam və tutarlı bir fiziki nəzəriyyəyə çevirmək illərlə intensiv zəhmət tələb etdi. O qədər ki, təxminən beş il sonra o, fizikaçı Arnold Sommerfeldə yazdığı məktubda belə deyirdi:

"Mən indi yalnız cazibə probleminin üzərində işləyirəm... Bir şey dəqiqdir — həyatım boyu heç vaxt özümü bu qədər əzablandırmamışam... Bu problemlə müqayisədə əvvəlki [yəni, xüsusi nisbilik] nəzəriyyəsi uşaq oyuncağıdır."

Bu ifadə Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin qurulmasının nə qədər çətin və intellektual baxımdan tələbkər bir proses olduğunu göstərir. Xüsusi nisbilik sürət və zamanın təbiətini izah edirdi, amma cazibə qüvvəsinin mənbəyini, onun digər qüvvələrdən fərqliliyini və necə işlədiyini aydınlaşdırmaq daha dərin düşüncə və tamamilə yeni bir nəzəri çərçivə tələb edirdi. Bu mərhələdə Eynşteynin qarşısında duran əsas sual bu idi: Əgər cazibə qüvvəsi sadəcə "görünməz bir qüvvə" deyilsə, bəs onun fiziki qarşılığı nədir? ► Sürətlənmə ilə cazibə qüvvəsi eyni fiziki təsiri doğura bilirsə, bu bənzərlik haradan gəlir?

Bu sualları cavablandırmaq üçün Eynşteyn məkan və zamanın özü haqqında radikal bir fikir ortaya atmalı oldu: cazibə qüvvəsi məkan-zamanın ayrılığının nəticəsidir.

Bu nöqtədən etibarən, biz artıq cazibə qüvvəsini bir "güc xətti" kimi yox, bəlkə də "dəyişmiş coğrafiya" kimi düşünməyə başlamalıyıq — yəni, cisimlər bir-birlərini çəkmirlər, sadəcə olaraq ayrılmış məkan-zamanda ən təbii yolu izləyirlər.

1912-ci ildə Eynşteyn, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin cazibə qüvvəsi və sürətlə hərəkət arasındakı əlaqəyə tətbiqinin sadə, lakin incə nəticəsi olan növbəti mühüm irəliləyişini etmiş kimi görünür. Eynşteynin düşüncəsini başa düşmək üçün ən asan yol, ehtimal ki, sürətlə hərəkətin müəyyən bir nümunəsinə diqqət yetirməkdir. Yadda saxlayın ki, bir obyekt sürətini və ya hərəkət istiqamətini dəyişirsə, o, sürətlənir. Sadələşdirmək üçün yalnız obyektin hərəkətinin istiqamətinin dəyişdiyi sürətlə hərəkətə fokuslanacağıq, sürəti sabit qalır. Xüsusilə, bir əyləncə parkındakı Tornado sürüşkənliyində olduğu kimi, dairəvi hərəkəti nəzərə alırıq. Əgər bu sürüşkənlikdə bədəninizin dayanıqlılığını heç vaxt yoxlamamısınızsa, yüksək sürətlə fırlanan dairəvi Plexiglas strukturu ilə arxanızda dayandığınızı təsəvvür edin. Bütün sürətlə hərəkətdə olduğu kimi, bu hərəkəti hiss edə bilərsiniz—bədəninizin sürüşkənliyin mərkəzindən radial olaraq çəkildiyini və Plexiglas divarının arxınıza təzyiq göstərərək sizi dairəvi hərəkətdə saxladığını hiss edirsiniz. (Əslində, bu müzakirə üçün əhəmiyyətli olmasa da, fırlanma hərəkəti bədəninizi Plexiglas-a o qədər güclü bir şəkildə sıxır ki, dayandığınız lövhə aşağıya düşdükdə, yuxarıya sürüşmərsünüz.) Əgər sürüşkənlik çox hamar olsa və gözlərinizi bağlasanız, arxanıza olan təzyiq—yataq dəstəyi kimi—sizi yatdığınızı demək olar ki, hiss etdirə bilər. "Demək olar ki," hissi, hələ də adi "şaquli" cazibə qüvvəsini hiss etdiyinizdən yaranır, buna görə beyniniz tamamilə aldanmaz. Lakin, əgər siz Tornado-da kosmosda sürüşsəniz və o, düzgün sürətə çatrsa, Yer üzündə dayanan bir yataqda yatmaqla eyni hissi keçirərsiniz. Bundan əlavə, əgər "yüksəlmək" və fırlanan Plexiglas strukturunun içərisində gəzmək istəsəniz, ayaqlarınız Yer üzündəki döşəməyə necə basırsa, buraya da eyni şəkildə basacaq. Əslində, kosmik stansiyalar bu cür fırlanmaqla kosmosda süni cazibə hissi yaratmaq üçün dizayn edilir.

Fırlanan Tornado-nun sürətli hərəkətini cazibə qüvvəsini təqlid etmək üçün istifadə etdikdən sonra, indi Eynşteynin izindən gedərək, həmin ride-də olan bir şəxs üçün zaman və məkanın necə göründüyünü araşdırı bilərik. Onun düşüncəsi, bu vəziyyətə uyğun olaraq belə idi: Biz stasionar müşahidəçilər, fırlanan sürüşkənliyin ətrafını və radiusunu asanlıqla ölçə bilərik. Məsələn, ətrafı ölçmək üçün biz diqqətlə bir qaydada rulon qoyub sürüşkənliyin fırlanan çevrəsini ölçə bilərik; radiusunu isə eyni şəkildə, mərkəzi oxdan xarici kənara doğru başdan-başa ölçərək tapırıq. Orta məktəb riyaziyyatından gözlədiyimiz kimi, biz onların nisbətinin iki dəfə pi ədədinə, yəni təxminən 6.28-ə bərabər olduğunu

görəcəyik—həmçinin, bu, düz bir kağız üzərində çəkilən hər hansı bir dairə üçün də doğrudur. Lakin ride-də olan birinin baxış bucağından şeylər necə görünür?

Bilmək üçün, Slim və Jimdən, hal-hazırda Tornado-da dövr edən şəxslərdən, bizə bir neçə ölçü götürmələrini istəyirik. Bir qaydanı Slimə atırıq, o da ride-in ətrafını ölçməyə başlayır, digərini isə Jimə atırıq, o da radiusu ölçməyə başlayır. Ən aydın perspektivi əldə etmək üçün ride-ə yuxarıdan baxış açısını qəbul edirik, 3.1-ci şəkil kimi. Biz bu fotosəkili ride-in hər nöqtəsindəki anlıq hərəkət istiqamətini göstərən bir oxla bəzədik. Slim ətrafı ölçməyə başladığı zaman, biz dərhal yuxarıdan baxışımızdan görürük ki, o, bizdən fərqli bir nəticə alacaq. O, qaydanı ətraf boyunca yerləşdirməyə başlayanda, biz görürük ki, qaydanın uzunluğu qısalar. Bu, yalnızca 2-ci fəsildə müzakirə olunan Lorentz sıxılmasının nəticəsidir, burada obyektin uzunluğu, hərəkət istiqamətində qısalar. Daha qısa bir qayda deməkdir ki, o, ətrafı tamamlamaq üçün—başdan-başa—daha çox dəfə qoymalı olacaq. Çünki o, hələ də qaydanı bir ayaq uzunluğunda hesab edir (çünki Slim və onun qaydası arasında heç bir nisbət hərəkəti yoxdur, o, qaydanın normal uzunluğunu bir ayaq kimi görür), bu da deməkdir ki, Slim bizim ölçdüyümüzdən daha uzun bir ətraf ölçəcək.

Bəs radius necədir? Jim də başdan-başa üsulunu istifadə edərək radial dəstəyin uzunluğunu tapır və yuxarıdan baxışımızdan görürük ki, o, bizim tapdığımız eyni nəticəni alacaq. Bunun səbəbi, qaydanın ride-in hərəkətinin anlıq istiqamətinə paralel olmamasıdır (bu, ətrafı ölçərkən olduğu kimi). Əksinə, o, hərəkətə 90 dərəcə bucaq altında yerləşir və buna görə də uzunluğu boyunca sıxılmaz. Beləliklə, Jim tam olaraq bizim tapdığımız eyni radial uzunluğu tapacaq. Lakin indi, Slim və Jim ətrafın radiusa olan nisbətini hesablayarkən, bizim iki dəfə π nəticəmizdən daha böyük bir rəqəm alacağıq, çünki ətraf daha uzundur, lakin radius eynidir. Bu qəribədir. Necə ola bilər ki, dairə şəklində bir şey qədim Yunanların hər hansı bir dairə üçün bu nisbətin məhz iki dəfə π olduğunu başa düşdüyü nəticəni pozur? Burada Eynşteynin izahı var. Qədim Yunan nəticəsi yalnız düz bir səthdə çəkilmiş dairələr üçün doğrudur. Lakin, tıxacı parkındakı əyləncə evlərindəki deformasiyalı və ya əyri güzgülər kimi, əgər bir dairə əyri və ya deformasiya olunmuş səthdə çəkilirsə, onun adi məkan münasibətləri də deformasiyaya uğrayacaq: ətrafın radiusa olan nisbəti ümumiyyətlə iki dəfə π olmayacaq.

Onların radiusları eynidir. Lakin diqqət yetirin ki, onların ətrafları eyni deyil. (b)-də, kürənin əyri səthində çəkilmiş dairənin ətrafı, (a)-da düz səthdə çəkilmiş dairənin ətrafından kiçikdir, halbuki onların radiusları eynidir. Kürənin səthinin əyri təbiəti, dairənin radial xətlərinin bir az bir-birinə yaxınlaşmasına səbəb olur və bu da dairənin ətrafında kiçik bir azalma ilə nəticələnir. (c)-də, yenə də əyri bir səthdə — bir oturacaq formasında — çəkilmiş dairənin ətrafı düz səthdə çəkilmişdən böyükdür; oturacağın səthinin əyri təbiəti, dairənin radial xətlərinin bir-birindən bir az yayılmasına səbəb olur və bu da

dairənin ətrafında kiçik bir artıma yol açır. Bu müşahidələr, (b)-dəki dairənin ətrafının radiusuna olan nisbətinin iki dəfə π -dən kiçik olacağını, (c)-də isə eyni nisbətini iki dəfə π -dən böyük olacağını göstərir. Lakin bu, xüsusilə (c)-də tapılan daha böyük dəyər, tam olaraq dönən Tornado gəzintisindəki tapıntıma uyğundur. Bu, Eynşteyni "adi", Yunan geometriyasının pozulması üçün bir izah təklifi olan "məkanın əyilməsi" ideyasını irəli sürməyə səbəb etdi. Yunanların düz geometriyası, min illər boyu uşaqlara öyrədilmiş, sadəcə dönən gəzintidə olan birinə tətbiq edilə bilməz. Bunun əvəzinə, Şəkil 3.2-də (c)-də sxematik olaraq çəkildiyi kimi, onun əyri məkan ümumiləşdirilməsi yerini tutur.

Beləliklə, Eynşteyn, Yunanlar tərəfindən kodlaşdırılmış tanış coğrafi məkan münasibətlərinin — düz bir masada olan dairə kimi "düz" məkan fiqurlarına aid olan — sürətləndirici müşahidəçinin perspektivindən tətbiq edilmədiyini başa düşdü. Əlbəttə, biz yalnız bir xüsusi sürətləndirilmiş hərəkət növünü müzakirə etdik, lakin Eynşteyn göstərdi ki, oxşar nəticə — məkanın əyilməsi — bütün sürətləndirilmiş hərəkət hallarına aiddir.

Əslində, sürətləndirilmiş hərəkət yalnız məkanın əyilməsinə səbəb olmur, həm də zamanın analoji şəkildə əyilməsinə səbəb olur. (Tarixi olaraq, Eynşteyn əvvəlcə zamanın əyilməsinə diqqət yetirmiş və sonradan məkanın əyilməsinin əhəmiyyətini başa düşmüşdür.) Bir səviyyədə, zamanın da təsirlənməsi çox təəccüblü olmamalıdır, çünki biz artıq 2-ci fəsilə xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin məkanla zaman arasındakı birliyi izah etdiyini görmüşük. Bu birləşmə, Minkowski'nin 1908-ci ildə xüsusi nisbilik haqqında etdiyi bir mühazirədə verdiyi poeziya dolu sözlərlə ümumiləşdirilmişdir: "Bundan sonra məkan özlüyündə və zaman özlüyündə yalnız kölgələrə çevriləcək və yalnız hər ikisinin birləşməsi onun müstəqilliyini qoruyacaq." Daha sadə, amma oxşar şəkildə qeyri-dəqiq bir dildə desək, məkanla zamanı birləşdirərək, xüsusi nisbilik deyir: "Məkan üçün doğru olan şey, zaman üçün də doğrudur." Lakin bu, bir sual doğurur: Məkanın əyilməsini onun əyri formasını təsəvvür edə bildiyimiz halda, zamanın əyilməsini nə ilə izah edirik?

Bu suala cavab tapmaq üçün, gəlin, bir daha Slim və Jim-i Tornado ride-dəki təcrübəyə cəlb edək və onlardan aşağıdakı eksperimentləri etmələrini xahiş edək. Slim, ride-in radial dayaqlarından birinin ucunda, ride-in mərkəzindən ən uzaqda dayanacaq, Jim isə yavaş-yavaş, mərkəzdən başlayaraq, radial dayağı boyunca ona doğru sürünəcək. Hər bir neçə futdan bir, Jim sürünməni dayandıracaq və hər iki qardaş öz saatlarının oxunuşlarını müqayisə edəcək. Nə tapacaqlar?

Bizim sabit müşahidəçi, quş baxışı bu vəziyyətdə cavabı əvvəlcədən təxmin edə bilərik: Onların saatları razılaşmayacaq. Bu nəticəyə gəlirik, çünki Slim və Jim müxtəlif sürətlərlə hərəkət edirlər—Tornado ride-də nə qədər uzaqda olsanız, bir dövrü tamamlamak üçün daha çox məsafə qət etməlisiniz və buna görə də daha sürətlə hərəkət etməlisiniz. Amma

xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinə görə, nə qədər sürətli getsəniz, saatınız bir o qədər yavaş gedəcək, buna görə də Slim-in saati Jim-in saatından daha yavaş işləəcək. Həmçinin, Jim Slim-ə yaxınlaşdıqca, Jim-in saatının getmə sürətinin yavaşladığını və Slim-in saatının sürətinə yaxınlaşdığını görəcəklər. Bu, o deməkdir ki, Jim radial dayağının ucuna doğru hərəkət etdikcə, onun dövrəvi sürəti Slim-inki ilə uyğunlaşır.

Beləliklə, biz nəticəyə gəlirik ki, dövr edən ride-dəki müşahidəçilər, məsələn Slim və Jim, zamanın keçiş sürətinin onların dəqiq mövqeyindən asılı olduğunu müşahidə edəcəklər—bu halda ride-in mərkəzindən olan məsafələrindən. Bu, vaxtın əyilməsinin nə demək olduğunu göstərən bir nümunədir: Zaman əyildikdə, onun keçmə sürəti bir yerdən başqa yerə fərqlənir. Və bu müzakirəyə xüsusi əhəmiyyət kəsb edən başqa bir məqam isə odur ki, Jim, radial dayağının ucuna doğru sürünərkən başqa bir şey də hiss edəcək. O, yavaş-yavaş artan bir xarici qüvvə hiss edəcək, çünki yalnız sürət artmır, həm də onun sürətlənməsi (akselerasiyası) ride-in mərkəzindən uzaqlaşdıqca artır. Tornado ride-də isə, biz görürük ki, daha yüksək sürətlənmə daha yavaş saatlarla əlaqələndirilir—yəni, daha yüksək sürətlənmə daha ciddi bir zaman əyilməsinə səbəb olur.

Bu müşahidələr Eynşteyn-i son addıma gətirdi. Çünki o, artıq göstərmişdi ki, cazibə və sürətlənmiş hərəkət praktik olaraq ayıra bilməz, və indi isə sürətlənmiş hərəkətin zaman və məkanın əyilməsi ilə əlaqəli olduğunu göstərmişdi, buna görə də o, cazibənin "qaranlıq qutusu"nun daxili mexanizmi—cazibənin necə işlədiyi barədə aşağıdakı təklifi irəli sürdü. Eynşteyn-ə görə, cazibə, məkan və zamanın əyilməsidir. Gəlin, bunun nə demək olduğunu araşdıraq.

Ümumi Nisbilik nəzəriyyəsinin Əsasları

Bu yeni cazibə anlayışını anlamaq üçün, gəlin, bir planetin, məsələn, Yer kürəsinin, bir ulduzun, məsələn, Günəşin ətrafında dövr etdiyi tipik vəziyyəti nəzərdən keçirək. Nyutonun cazibəsi ilə, Günəş Yeri orbitdə saxlayır və bunun üçün müəyyən edilməmiş cazibə "sim"i var ki, bu da necə isə dərhal kosmosun geniş məsafələri boyunca uzanır və Yeri tutur (və eyni şəkildə, Yer də Günəşi tutur). Eynşteyn, gerçəkdə nə baş verdiyini yeni bir tərzdə təqdim etdi. Eynşteyn-in yanaşmasını müzakirə etmək üçün bizə əlverişli bir şəkildə idarə edə biləcəyimiz məkan və zaman modelinə konkret bir vizual model lazımdır. Bunun üçün iki yolla sadələşdirmə edəcəyik. Birincisi, bu an üçün zamanı unudub yalnız məkanın vizual modelinə diqqət edəcəyik. Zamanı müzakirəmizə yaxın zamanda daxil edəcəyik. İkincisi, vizual şəkilləri bu kitabın səhifələrində çəkmək və idarə etmək üçün üç

ölçülü məkanı iki ölçülü bir analoga yönəldəcəyik. Bu daha aşağı ölçülü modeldə düşünməkdən əldə etdiyimiz əksər anlayışlar birbaşa fiziki üç ölçülü vəziyyətə tətbiq oluna bilər, buna görə də sadə model güclü pedaqoji vasitə təmin edir.

Şəkil 3.3-də bu sadələşdirmələrdən istifadə edərək, kainatımızın bir məkan bölgəsinin iki ölçülü modelini çəkirik. Qrilimsi struktur, şəhərdə yerləri müəyyən etmək üçün küçə şəbəkəsi necə istifadə olunursa, burada da yerləri müəyyən etmək üçün əlverişli bir üsul təqdim edir. Şəhərdə, əlbəttə, bir ünvan verərkən, iki ölçülü küçə şəbəkəsində bir yer göstərir və həmçinin üfüqi istiqamətdə bir yer təqdim edir, məsələn, bir mərtəbə nömrəsi. Bu, məkanın üçüncü ölçüsündəki məlumatdır ki, bizim iki ölçülü analoqumuz vizual aydınlıq üçün bunu gizlədir.

Ümumi Nisbilikdə Kütlə və Cazibə

Əgər heç bir maddə və ya enerji mövcud olmasa, Eynşteyn, məkanın düz olduğunu təsəvvür edirdi. Bizim iki ölçülü modelimizdə bu, məkanın "şəklinin" Şəkil 3.3-də olduğu kimi hamar bir masa səthinə bənzəməsi deməkdir. Bu, minlərlə il ərzində qəbul edilən məkanın təsviridir. Bəs əgər Günəş kimi bir böyük cisim varsa, məkan nə olur? Eynşteyn-dən əvvəl cavab heç nə idi; məkan (və zaman) sadəcə hadisələrin baş verdiyi səhnəni təmin edən inert bir teatr olaraq düşünülürdü. Lakin izlədiyimiz Eynşteyn-in düşüncə zənciri fərqli bir nəticəyə gətirib çıxarır.

Günəş kimi böyük bir cisim, həqiqətən də hər hansı bir cisim, digər obyektlərə cazibə qüvvəsi tətbiq edir. Terrorist bombasının nümunəsində biz öyrəndik ki, cazibə qüvvələri sürətlə hərəkət edən cisimlərlə ayırt edilə bilməz. Tornado gəzintisi nümunəsində isə biz öyrəndik ki, sürətlə hərəkət edən cisimlərin riyazi təsviri əyri məkanın əlaqələrini tələb edir. Bu cazibə, sürətli hərəkət və əyri məkan arasındakı əlaqələr Eynşteyn-1, kütlənin mövcudluğunun, məsələn, Günəşin, ətrafındakı məkanın parçasını əyilməsinə səbəb olduğunu irəli sürməyə yönəltdi, Şəkil 3.4-də göstərildiyi kimi. Faydalı və tez-tez sitat gətirilən bir analogi olaraq, elastik bir membranın üzərinə qoyulmuş bir topun təsirinə bənzər şəkildə, məkanın parçası da Günəş kimi böyük bir cisim tərəfindən əyilir.

Bu radikal təklifə görə, məkan sadəcə kainatın hadisələri üçün arenanı təmin edən passiv bir forum deyil; əksinə, məkanın şəkli ətrafdakı obyektlərə cavab verir.

Cazibə və Məkanın Əyilməsi

Bu əyilmə, öz növbəsində, Günəşin ətrafında hərəkət edən digər obyektləri təsir edir, çünki onlar artıq əyri məkan parçasını keçmək məcburiyyətindədirlər. Elastik membran və topun analoqunu istifadə edərək, kiçik bir dəmirdən topu membranın üzərinə qoyub müəyyən bir başlanğıc sürəti ilə hərəkətə gətirsək, onun izləyəcəyi yol, bowling topunun mərkəzdə olub-olmamasından asılıdır. Əgər bowling topu yoxdursa, elastik membran düz olacaq və dəmirdən topu düz xətt üzrə hərəkət edəcək. Amma bowling topu mövcud olduqda və membranı əydikdə, dəmirdən topu əyri bir yolda hərəkət edəcək. Əslində, sürtünməni nəzərə almasa, əgər dəmirdən topa düzgün sürət və düzgün istiqamət verilsə, o, təkrarlanan əyri bir yolda bowling topunun ətrafında hərəkət etməyə davam edəcək – təsadüfi olaraq orbitə daxil olacaq.

Bu dilin istifadəsi cazibənin tətbiqinə işarə edir. Günəş, bowling topu kimi, ətrafındakı məkanın parçasını ayır və Yer kürəsinin hərəkəti, dəmirdən topu kimi, bu əyilmənin forması tərəfindən müəyyən edilir. Yer kürəsi, dəmirdən topu kimi, sürəti və istiqaməti uyğun olan dəyərlərə malikdirsə, Günəş ətrafında orbitdə hərəkət edəcək. Bu, Yerin hərəkətinə təsir edən effekt, adətən Günəşin cazibə təsiri olaraq tanınır və Şəkil 3.5-də göstərilir. İndi isə fərq ondadır ki, Nyutondan fərqli olaraq, Eynşteyn cazibənin necə ötürüldüyünü müəyyənləşdirib: məkanın əyilməsi.

Eynşteyn-in baxışına görə, Yerin orbitdə qalmasını təmin edən cazibə teli Günəşin ani təsiri ilə deyil, Günəşin mövcudluğu nəticəsində məkanın parçasının əyilməsi ilə təmin edilir.

Eynşteyn və Cazibə: Məkanın Əyilməsi

Bu şəkil bizə cazibənin iki əsas xüsusiyyətini yeni bir şəkildə başa düşməyə imkan verir. Birincisi, nə qədər böyük bir kütləli olarsa, bowling topu elastik membranı o qədər çox əyər; buna bənzər olaraq, Eynşteyn-in cazibə təsvirində, bir obyekt nə qədər kütləli olarsa, ətrafdakı məkanın əyilməsini bir o qədər çox təsir edir. Bu, obyektin kütləsinin nə qədər böyük olduğunu düşündükdə, ona təsir edən cazibə qüvvəsinin də bir o qədər böyük olması anlamına gəlir ki, bu da bizim təcrübələrimizlə tam uyğun gəlir.

İkincisi, elastik membranın əyilməsinin bowling topundan uzaqlaşdıqca kiçildiyi kimi, Günəş kimi kütləli bir cismə görə məkanın əyilməsi də ondan uzaqlaşdıqca azalır. Bu da

cazibənin təbiətinə uyğun olaraq, obyektlər arasındakı məsafə böyüdükcə cazibə təsirinin zəifləməsidir.

Əhəmiyyətli bir məqam isə, dəmirdən topun özü elastik membranı az da olsa əyməsidir. Eynilə, Yer də öz kütləsi ilə məkanın strukturunu az da olsa əyir, lakin bu təsir Günəşin təsirindən çox daha azdır. Bu şəkildə, ümumi nisbilik nəzəriyyəsi dilində, Yer Ayı orbitdə saxlayır, eyni zamanda Yer bizi onun səthinə bağlı saxlayır. Bir paraşütçü Yerə doğru enərkən, o, Yer kürəsinin kütləsi tərəfindən yaranan məkan əyilməsində sürüşür. Həmçinin, hər birimiz – hər hansı bir kütləli obyekt kimi – öz bədənimizə yaxın olan məkan parçasını əyirik, amma insan bədəninin nisbətən kiçik kütləsi bu əyilməni çox kiçik edir.

Nəticə olaraq, Eynşteyn, Nyuton-un "Cazibə bir agent tərəfindən yaradılmalıdır" dediyi fikrinə tam razı oldu və Nyuton-un "bu agentin kimliyini oxucularımın düşünməsinə buraxıram" çağırışına cavab verdi. Cazibənin agent, Eynşteyn-a görə, kainatın toxumasıdır.

Bəzi Qeydlər

Rubber membran-bowling topu analoqu qiymətli bir vasitədir, çünki bu, kainatın məkan toxumasının necə əyildiyini başa düşməyə kömək edən vizual bir təsvir təqdim edir. Fiziklər tez-tez cazibə və əyilmə ilə bağlı öz intuisiyalarını inkişaf etdirmək üçün bu və buna bənzər analoqlardan istifadə edirlər. Bununla belə, analoqun faydalı olmasına baxmayaraq, mükəmməl deyil və aydınlıq üçün bəzi çatışmazlıqlarına diqqət yetirmək lazımdır.

Birincisi, Günəş ətrafındakı məkanın əyilməsinə səbəb olan şey onun "yuxarıya doğru çəkilməsidir" deyə düşünməməliyik, çünki bowling topu yerə çəkilən əşyadır və bu əyilməyə səbəb olur. Günəş halında isə başqa bir obyekt yoxdur ki, "çəkilsin." Əksinə, Eynşteyn bizə öyrədib ki, məkanın əyilməsi cazibədir. Bir kütləli obyektin mövcudluğu yalnız məkanın ona cavab olaraq əyilməsinə səbəb olur. Eynilə, Yer orbitdə qalmaq üçün başqa xarici obyektin cazibə qüvvəsi tərəfindən "yola yönləndirilməyib." Əksinə, Eynşteyn göstərdi ki, obyektlər məkan (dəqiq desək, zaman-məkan) içərisində ən qısa yol boyunca hərəkət edirlər – yəni "ən asan yol" və ya "ən az müqavimət göstərilən yol." Əgər məkan əyilmişdirsə, bu yollar əyri olacaq.

Beləliklə, rubber membran-bowling topu modelinin obyektlərin Günəşin ətrafında əyilmiş məkan içərisində hərəkət etməsini necə təsir etdiyini vizual şəkildə başa düşməyə kömək

etməsi doğru olsa da, bu əyilmələrin fiziki mexanizmi tamamilə fərqlidir. Birincisi, bu, ənənəvi Nyutonian çərçivəsində cazibə haqqındakı intuisiyamıza müraciət edir, ikincisi isə cazibəni əyilmiş məkanla yenidən ifadə edir.

Bu analoqun ikinci çatışmazlığı, rubber membranın iki ölçülü olmasıdır. Həqiqətdə isə, Günəş (və digər kütləvi obyektlər) ətrafındakı üç ölçülü məkanı əyir. Şəkil 3.6-da bu vəziyyətin təqribi bir təsviri verilmişdir; Günəşin ətrafındakı bütün məkan – "altında," "yanlarında," "yuxarıda" – eyni cür əyilməyə məruz qalır, və şəkil 3.6 yalnız bunun bir hissəsini göstərir. Yer kimi bir obyekt, Günəşin mövcudluğunun yaratdığı üç ölçülü əyilmiş məkan içərisində hərəkət edir. Bu şəkil sizi narahat edə bilər – niyə Yer, şəkildəki "şaqlı hissəyə" çırpılmır? Amma unutmayın ki, məkan, rubber membranının əksinə olaraq, bərk bir maneə deyil. Bunun əvəzinə, şəkildə göstərilən əyilmiş şəbəkələr yalnız üç ölçülü əyilmiş məkanın incə bir kəsiyidir və bu məkan, siz, Yer və hər şeylə birlikdə tamamilə içərisindədir və sərbəst hərəkət edə bilərsiniz. Bəlkə də bu, problemi daha da çətinləşdirir: Niyə biz məkanı hiss etmirik, əgər biz onun toxuması içərisindəyiksə? Amma biz hiss edirik. Biz cazibəni hiss edirik, və məkan, cazibə qüvvəsinin ötürülməsini təmin edən vasitədir. Məşhur fizikaçı John Wheeler'in cazibə ilə bağlı tez-tez dediyi kimi, "kütlə məkanla sıx əlaqə qurur, ona necə əyilməli olduğunu bildirir, məkan isə kütlə ilə sıx əlaqə qurur, ona necə hərəkət etməli olduğunu bildirir."

Üçüncü, əlaqəli çatışmazlıq, zaman ölçüsünü təcrid etməyimizdir. Biz bunu vizual aydınlıq üçün etdik, çünki, xüsusi nisbət nəzəriyyəsinin zaman ölçüsünü üç tanınmış məkan ölçüsü ilə bərabər düşünməyimiz barədəki bəyanatına baxmayaraq, zamanın "görülməsi" əhəmiyyətli dərəcədə çətindir. Lakin, Tornado sürüşü nümunəsi tərəfindən göstərildiyi kimi, sürətlənmə — və bununla da cazibə — həm məkanı, həm də zamanı əyir. (Əslində, ümumi nisbət nəzəriyyəsinin riyaziyyatı göstərir ki, Yer kimi nisbətən yavaş hərəkət edən bir cismin, Günəş kimi tipik bir ulduz ətrafında dövr etməsi halında zamanın əyilməsi, Yerin hərəkətinə məkanın əyilməsindən daha əhəmiyyətli təsir edir.) Zamanın əyilməsinə növbəti hissədən sonra qayıdacağıq.

Bu üç çatışmazlığın əhəmiyyətli olduğu halda, onları düşüncənizdə saxladığınız müddətcə, bowling topunun rubber membranı üzərindəki əyilmə obrazını Eynşteynin cazibə haqqında yeni baxışını intuitiv bir xülasə kimi istifadə etmək tamamilə qəbul ediləndir.

Münaqişənin Həlli

Eynşteyn zaman və məkanı dinamik amillər olaraq təqdim edərək, cazibənin necə işlədiyinə dair aydın bir konseptual təsvir verdi. Lakin əsas sual budur ki, cazibə qüvvəsinin

bu yeni formalaşması, Nyutonun cazibə nəzəriyyəsində mövcud olan xüsusi nisbiliklə bağlı münaqişəni həll edir? Cavab bəli, həll edir. Yenə də, kauçuk membranı analoqu əsas ideyanı verir. Təsəvvür edin ki, bizdə düz bir səth boyunca yuvarlanan bir top var və bu zaman böyük bir top yoxdur. Biz böyük topu səthə qoyduqda, kiçik topun hərəkəti təsirlənəcək, amma bu təsir anında baş verməyəcək. Əgər bu hadisəni kameraya çəkib yavaşlatılmış şəkildə izləsək, görərik ki, böyük topun meydana gətirdiyi pozuntu göldə dalğaların yayılması kimi yayılır və nəhayət kiçik topun olduğu yerə çatır. Qısa bir müddətdən sonra, kauçuk səthindəki müvəqqəti titrəyişlər düzələcək və nəticədə statik, əyilmiş bir səth qalacaq.

Eyni şey məkanın quruluşu üçün də doğrudur. Heç bir kütlə olmadıqda, məkan düz olar və kiçik bir obyekt sakit vəziyyətdə olacaq və ya sabit sürətlə hərəkət edəcək. Əgər böyük bir kütlə meydana gəlsə, məkan əyiləcək – amma kauçuk membranın vəziyyətində olduğu kimi, bu əyilmə dərhal baş verməyəcək. Əksinə, o, böyük kütlədən xaricə doğru yayılacaq və nəhayət yeni cisim tərəfindən yaradılan cazibə qüvvəsini göstərən əyilmiş bir şəkil alacaq. Bizim analoqumuzda, kauçuk membranına təsirlər, materialın tərkibinə görə müəyyən bir sürətlə yayılır. Ümumi nisbilik kontekstində isə Eynşteyn, kainatın quruluşunda baş verən pozuntuların nə qədər sürətlə yayıldığını hesabladı və onların işıq sürəti ilə yayıldığını müəyyən etdi. Bu, məsələn, günəşin yox olmasının yerə cazibə təsiri yaratdığını və bu təsirin dərhal yayıldığını deyil, əksinə, bir obyektin mövqeyini dəyişdirməsi və ya parçalanması halında, məkan-zaman quruluşunda dəyişiklik yaranır və bu dəyişiklik işıq sürəti ilə yayılır. Bu, xüsusi nisbiliyin kosmik sürət həddi ilə tam uyğundur. Beləliklə, yer üzündə biz günəşin məhvinə vizual olaraq öyrənəndə, cazibə təsirlərini də hiss edəcəyik – təxminən səkkiz dəqiqə sonra, yəni günəş partladıqdan sonra.

Eynşteyn-in bu forması münaqişəni həll edir; cazibə pozuntuları işıq fotonları ilə eyni sürətlə hərəkət edir, amma onlardan daha sürətli deyil.

Zamanın Əyilməsi, Yenidən Baxış

Şəkil 3.2, 3.4 və 3.6 kimi təsvirlər "əyilmiş məkan" nə demək olduğunu əsasən əks etdirir. Bir əyilmə məkanın formasını dəyişdirir. Fiziklər "əyilmiş zaman"ın mənasını izah etməyə çalışmaq üçün bənzər təsvirlər icad ediblər, amma onlar çox çətin başa düşülür, buna görə də biz burada onları təqdim etməyəcəyik. Bunun əvəzinə, gəlin Slim və Jim-in Tornado sürüşüşü nümunəsinə yenidən baxaq və qravitasiya ilə inducə edilmiş zamanın əyilməsi təcrübəsini hiss etməyə çalışaq.

Bunu etmək üçün, gəlin George və Gracie-ni yenidən düşünək, amma artıq boşluğun dərin qaranlığında deyil, Günəş sisteminin kənarlarına yaxın yerdə üzürlər. Hələ də hər biri kosmik geyimlərinə böyük rəqəmsal saatlar taxıb və bunlar ilkin olaraq sinxronlaşdırılıb. Sadəliyi qorumaq üçün planetlərin təsirini göz ardı edirik və yalnız Günəşin qravitasiya sahəsini nəzərə alırıq. Gəlin daha da təxəyyül edək ki, George və Gracie-yə yaxın bir kosmik gəmi uzun bir kabeli Günəşin səthinə qədər endirib. George bu kabeli istifadə edərək özünü yavaşca Günəşə yaxınlaşdırır. O, bunu edərkən, zamanın keçmə sürətini müqayisə etmək üçün müəyyən intervallarla dayanır ki, həm özü, həm də Gracie saatlarında zamanın necə keçdiyini müqayisə etsinlər. Eynşteyn-in ümumi nisbilik nəzəriyyəsi ilə proqnozlaşdırılan zamanın əyilməsi, George-un saatının Gracie-ninkindən yavaş-yavaş getdikcə daha yavaş işləyəcəyini bildirir, çünki onun təcrübə etdiyi qravitasiya sahəsi getdikcə güclənir. Yəni, Günəşə daha yaxın olduqca, onun saati daha yavaş gedəcək. Bu mənada, qravitasiya həm zamanı, həm də məkanı əyir.

Qravitasiya Sahəsində Zamanın Yavaşlaması

Qeyd etmək lazımdır ki, 2-ci Fəsildəki vəziyyətdən fərqli olaraq, burada George və Gracie boşluqda bir-birilərinə qarşı müntəzəm sürətlə hərəkət edirdilər, amma bu vəziyyətdə onların arasında heç bir simmetriya yoxdur. George, Gracie-dən fərqli olaraq, getdikcə güclənən qravitasiya qüvvəsini hiss edir – Günəşə daha yaxınlaşdıqca, onu cəlb etməmək üçün kabeli daha sıx tutmalıdır. Hər ikisi də George-un saatının yavaş getdiyinə razıdır. Bu vəziyyətdə heç bir "bərabər hüquqlu perspektiv" yoxdur ki, onların rollarını dəyişib bu nəticəni tərsinə çevirsin. Əslində, 2-ci Fəsildə George-un jetpakını işə salaraq Gracie-ni yaxalamağa çalışdığı zaman yaşadığı sürətlənmə vəziyyətində eyni şey baş vermişdi. George-un hiss etdiyi sürətlənmə, onun saatının Gracie-ninkindən yavaş getməsinə səbəb olmuşdu. İndi bilirik ki, sürətlənməyi hiss etmək, qravitasiya qüvvəsini hiss etmək ilə eynidir. Beləliklə, George-un kabeldəki mövqeyi də eyni prinsipi tətbiq edir və yenə də görürük ki, George-un saati və həyatının digər bütün aspektləri, Gracie-ninkindən daha yavaş keçir.

Adi bir ulduzun, məsələn, Günəşin səthindəki qravitasiya sahəsində, saatların yavaşlaması olduqca kiçikdir. Əgər Gracie Günəşdən milyardlarla mil uzaq durarsa, George Günəşin səthinə bir neçə mil yaxınlaşdıqda, onun saatının sürəti Gracie-ninkinin təxminən 99.9998 faizini təşkil edəcəkdir. Yavaş olsa da, çox deyil. Amma, əgər George kabeli endirərək neytron ulduzunun səthinə yaxın bir yerə dayansa və bu ulduzun kütləsi Günəşlə təxminən eyni olsa, amma sıxlığı Günəşin sıxlığından milyonlarca dəfə yüksək olsa, o zaman daha

güclü qravitasiya sahəsi onun saatını Gracie-ninkinin sürətinin təxminən 76 faizində işləyəcəkdir. Daha güclü qravitasiya sahələri, məsələn, qara dəliklərin xaricində (aşağıda müzakirə edildiyi kimi), zamanın daha da yavaş axmasına səbəb olur; güclü qravitasiya sahələri zamanın daha da ciddi əyilməsinə səbəb olur.

Ümumi Nisbilik Teoriyasının Eksperimental Yoxlanması

Ümumi nisbilik nəzəriyyəsini öyrənən insanların çoxu onun estetik incəliyindən təsirlənir. Nyutonçu, soyuq və mexaniki kosmos, zaman və qravitasiya anlayışlarını əyri zaman-məkanla əlaqələndirilmiş dinamik və coğrafi bir təsvirlə əvəz edərək, Eynşteyn qravitasiyanı kainatın əsas toxumasına hördü. Qravitasiya əlavə bir quruluş kimi tətbiq edilmək əvəzinə, kainatın ən fundamental səviyyəsində onun ayrılmaz bir hissəsi olur. Zaman və məkanı əyilməyə, pozulmağa və titrəməyə imkan verərək onlara həyat vermək, ümumiyyətlə "qravitasiya" adlandırdığımız nəticəni yaradır.

Estetik səbəblər bir kənara qoyularaq, fiziki nəzəriyyənin son nəticədəki sınağı, fiziki hadisələri dəqiq şəkildə izah etmək və proqnozlaşdırmaq qabiliyyətidir. 1600-cü illərin sonlarından bu əsrin əvvəlinə qədər, Nyuton'un qravitasiya nəzəriyyəsi bu sınaqdan müvəffəqiyyətlə keçdi. İstər havaya atılan toplara, istər əyilmiş qüllələrdən atılan obyektlərə, istərsə də Günəş ətrafında fırlanan kometlərə və ya planetlərin günəş ətrafında dövr etməsinə tətbiq edildikdə, Nyuton'un nəzəriyyəsi bütün müşahidələrə çox dəqiq izahlar və çoxsaylı hallarda təsdiqlənmiş proqnozlar təmin etdi. Bu eksperimental olaraq müvəffəqiyyətli nəzəriyyəyə sual vermək motivasiyası, bizim vurğuladığımız kimi, qravitasiya qüvvəsinin ani ötürülmə xüsusiyyəti ilə əlaqədar idi, bu da xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi ilə münaqişə təşkil edirdi.

Xüsusi Nisbilik və Ümumi Nisbilik Nəzəriyyələrinin Eksperimental Yoxlanması

Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin təsirləri, kosmos, zaman və hərəkət barədə fundamental bir anlayışın mərkəzində olsa da, biz adətən yaşadığımız yavaş sürətli dünyada çox kiçikdir. Eyni şəkildə, Eynşteyn-in ümumi nisbilik nəzəriyyəsi – xüsusi nisbiliklə uyğun gələn qravitasiya nəzəriyyəsi – və Nyuton-un qravitasiya nəzəriyyəsi arasındakı fərqlər də çox kiçikdir, əksər adi vəziyyətlərdə. Bu həm yaxşı, həm də pisdir. Yaxşıdır, çünki Nyuton-un qravitasiya nəzəriyyəsini əvəzləyən hər hansı bir nəzəriyyə, Nyuton-un nəzəriyyəsinin

eksperimental olaraq təsdiqləndiyi sahələrdə ona yaxın bir şəkildə razılaşmalıdır. Pisdir, çünki bu, iki nəzəriyyə arasında eksperimental olaraq fərq qoymağı çətinləşdirir. Nyuton və Eynşteyn nəzəriyyələri arasında fərqi ayırmaq, nəzəriyyələrin necə fərqləndiyini göstərən çox dəqiq ölçmələr və çox həssas eksperimentlər tələb edir. Əgər siz bir beysbol atsanız, Nyutonçu və Eynşteynçi qravitasiya, onun harada düşəcəyini proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilə bilər və cavablar fərqli olacaq, lakin fərqlər o qədər kiçik olacaq ki, bunlar adətən eksperimental olaraq aşkar edilmək qabiliyyətimizdən kənarda qalır. Daha ağıllı bir eksperiment lazım olacaq və Eynşteyn bunun üçün bir təklif etdi.

Biz gecə ulduzları görürük, amma təbii ki, onlar gündüz də oradadır. Onları adətən görə bilmirik, çünki onların uzaq, kiçik işığı Günəşin yaydığı işıqla üst-üstə düşür. Lakin Günəş tutulması zamanı Ay müvəqqəti olaraq Günəşin işığını bloklayır və uzaq ulduzlar görünməyə başlayır. Bununla belə, Günəşin mövcudluğu hələ də təsir göstərir. Bəzi uzaq ulduzlardan gələn işıq, Yerə istiqamətinə gedərkən Günəşə yaxın keçməlidir. Eynşteyn-in ümumi nisbilik nəzəriyyəsi proqnozlaşdırır ki, Günəş ətrafındakı zaman və məkan əyiləcək və bu əyilmə, ulduz işığının izini təsir edəcək. Nəhayət, uzaq mənşəli fotonlar kainatın toxuması boyunca hərəkət edirlər; əgər toxuma əyilmişsə, fotonların hərəkəti material cismi kimi təsirlənəcək. Işıq yolu ən çox, Günəşə yaxın keçən işıq siqnalları üçün əyiləcək. Günəş tutulması, bu cür Günəşə yaxın keçən ulduz işığını, Günəş işığı tərəfindən tamamilə örtülmədən görmək imkanını verir.

Işıq yolunun əyildiyi bu bucağı sadə bir şəkildə ölçmək mümkündür. Ulduz işığının yolunun əyilməsi, ulduzun görünən mövqeyində bir dəyişiklik yaradır. Bu dəyişiklik, ulduzun faktiki mövqeyi ilə müqayisə edərək dəqiq ölçülə bilər. Ulduzun faktiki mövqeyi, Yerə uyğun mövqedə olduğu zamanlarda, Günəşin təsiri olmadan, gecə vaxtı edilən müşahidələrdən məlumdur və bu, altı ay əvvəl və ya sonra əldə edilə bilər. 1915-ci ilin noyabrında Eynşteyn, yeni qravitasiya anlayışı ilə, Günəşə yaxın keçən ulduz işığı siqnallarının əyilməsi bucağını hesabladı və nəticəni təxminən 0.00049 dərəcə (1.75 arcsecond, burada arcsecond bir dərəcənin 1/3600-nü təşkil edir) olaraq tapdı. Bu kiçik bucaq, təxminən iki mil uzaqlıqdan dik şəkildə qoyulmuş bir dördübirin subtended etdiyi bucağa bərabərdir. Belə kiçik bir bucağı aşkar etmək, o dövrün texnologiyası ilə mümkündür. Sir Frank Dyson, Greenwich Rəsədxanasının direktoru, Sir Arthur Eddington, İngiltərənin Royal Astronomical Society-nin məşhur astronomu və katibi, Eynşteyn-in proqnozunu sınaq üçün 1919-cu ilin 29 may tarixində baş verən Günəş tutulması zamanı, Afrika sahilinin Principe adasında bir ekspedisiya təşkil etdi.

1919-cu ilin 6 noyabrında, Principe adasında tutulma zamanı çəkilmiş fotosəkillərin (və Charles Davidson və Andrew Crommelin tərəfindən Braziliyanın Sobral şəhərində çəkilən ikinci Britaniya komandasının fotosəkillərinin) təhlilindən beş ay sonra, Royal Society və

Royal Astronomical Society-nin birgə iclasında Eynşteyn-in ümumi nisbilik nəzəriyyəsinə əsaslanan proqnozunun təsdiqləndiyi elan edildi. Bu uğurun xəbəri—əvvəlki zaman və məkan anlayışlarının tamamilə dəyişdirilməsi—çox keçmədən fizika icmasının sərhədlərini aşaraq, Eynşteyn-i dünya miqyasında məşhur bir şəxsiyyətə çevirdi. 1919-cu ilin 7 noyabrında London Times qəzetinin başlığı belə idi: "ELMİ İNQİLAB—YENİ KAINAT NƏZƏRİYYƏSİ—NYUTON UNUTDULDU." Bu, Eynşteyn-in şanlı anı idi.

Bu təcrübədən sonrakı illərdə, Eddington-un ümumi nisbilik nəzəriyyəsini təsdiqləməsi bəzi tənqidi araşdırmalara məruz qaldı. Ölçmənin bir çox çətin və incə aspektləri nəticələrin təkrarlanmasını çətinləşdirdi və ilkin təcrübənin etibarlılığına dair bəzi suallar doğurdu. Buna baxmayaraq, son 40 il ərzində müxtəlif təcrübələr texnoloji irəliləyişlərdən istifadə edərək ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin bir çox aspektini yüksək dəqiqliklə sınaı. Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin proqnozları ümumiyyətlə təsdiqləndi. Artıq heç bir şübhə yoxdur ki, Eynşteyn-in qravitasiya təsviri yalnız xüsusi nisbiliklə uyğun deyil, həm də Nyuton-un nəzəriyyəsindən daha dəqiq eksperimental nəticələr verən proqnozlar təqdim edir.

Qaradellər, Böyük Partlayış və Məkanın Genişlənməsi

Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi ən çox sürətli hərəkət edən cisimlərdə özünü göstərir, ümumi nisbilik nəzəriyyəsi isə çox böyük kütləyə malik cisimlərdə və məkanın və zamanın müvafiq olaraq çox sərt şəkildə əyildiyi hallarda özünü göstərir. Gəlin iki nümunə üzərində izah edək.

Birincisi, Alman astronomu Karl Schwarzschild tərəfindən 1916-cı ildə I Dünya Müharibəsi zamanı Rusiya cəbhəsində artilleriya trajektoriyalarını hesablayarkən Eynşteyn-in qravitasiya ilə bağlı kəşflərini öyrənərkən edilən bir kəşfdir. Təəccüblüdür ki, Eynşteyn ümumi nisbilik nəzəriyyəsini sonlaşdıran aylar sonra, Schwarzschild bu nəzəriyyəni istifadə edərək mükəmməl sferik bir ulduz ətrafında məkanın və zamanın necə əyildiyini tam və dəqiq başa düşə bildi. Schwarzschild öz nəticələrini Rusiya cəbhəsindən Eynşteyn-ə göndərdi, o da bu nəticələri Prussiya Akademiyasına təqdim etdi.

Schwarzschild-in işi, şəkil 3.5-də sxematik şəkildə göstərilən əyilməni təsdiqləməklə yanaşı, ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin inanılmaz bir nəticəsini də ortaya qoydu. O, göstərdi ki, əgər bir ulduzun kütləsi çox kiçik bir sferik bölgədə cəmləşirsə və onun kütləsi radiusuna bölünəndə müəyyən bir kritik dəyəri keçirsə, bu zaman yaranan məkan-zaman əyilməsi o qədər radikal olur ki, ulduza çox yaxınlaşan hər şey, işıq daxil olmaqla, onun

qaradəliklər qavitasia təsirindən qaça bilməyəcək. Çünki işıq belə belə "sıxılmış ulduzlardan" qaça bilməz, bu səbəbdən onlar əvvəlcə qaralma və ya donmuş ulduzlar adlanırdılar. Bir neçə il sonra John Wheeler tərəfindən daha cəlbəedici bir ad tapıldı: qaradəliklər—qaranlıq, çünki işıq buraxmırlar, dəliklər, çünki onlara yaxınlaşan hər şey ora düşüb, heç vaxt geri qayıtmır. Bu ad sonradan yayılmağa başladı.

Hərçənd ki, qaradəliklər çox iştahalı olaraq tanınır, amma onlardan "təhlükəsiz" məsafədə keçən cisimlər, adi bir ulduz tərəfindən əyildikləri kimi, eyni şəkildə əyilirlər və öz yoluna davam edə bilirlər. Lakin, hər hansı bir maddədən olan obyektlər, qaradəliknin "hadisə ühüdü" adlandırılan nöqtəsindən daha yaxınlaşan zaman mütləq fəlakətlə üzləşirlər: onlar qaradəliknin mərkəzinə tərəf çəkiləcək və getdikcə artan və nəticədə dağıdıcı qavitasia təzyiqinə məruz qalacaqlar. Məsələn, əgər siz ayaqla hadisə ühüdünə düşsəniz, qaradəliknin mərkəzinə yaxınlaşdıqca özünüzü getdikcə narahat hiss edəcəksiniz. Qaradəliknin qavitasia qüvvəsi o qədər sürətlə artacaq ki, ayaqlarınıza olan çəkisi başınıza olan çəkidən daha çox olacaq (çünki ayaqlarınız həmişə başınızdan bir az daha yaxın olacaq); o qədər çox olacaq ki, bədəninizi tez bir zamanda parçalamağa başlayacaq.

Əgər, əksinə, qaradəlikyə yaxınlaşarkən daha ehtiyatlı olsaydınız və hadisə ühüdünü keçməmək üçün böyük diqqət göstərsəydiniz, qaradəlikdən istifadə edərək olduqca möcüzəvi bir əməliyyat edə bilərsiniz. Məsələn, bir qaradəlik tapdığınızı və onun kütləsi Günəşin kütləsinin təxminən 1,000 qat olduğunu düşündüyünüzü təsəvvür edin, sonra özünüzü bir kabelə bağlayaraq, George'un Günəş yaxınlığında etdiyi kimi, qaradəliknin hadisə ühüdünün təxminən bir düym üstündə aşağı saldıığınızı təsəvvür edin. Bizim müzakirə etdiyimiz kimi, qavitasia sahələri zamanın əyilməsinə səbəb olur və bu, zamanla hərəkətinizin yavaşlayacağı deməkdir. Əslində, qaradəliklər belə güclü qavitasia sahələrinə sahib olduğuna görə, zamanla hərəkətiniz çox yavaşlayacaq. Saatınız, dünyadakı dostlarınızın saatlarına nisbətən təxminən on min dəfə daha yavaş işləyəcək. Əgər hadisə ühüdünün bir düym üstündə bir il boyunca asılı qalmaqla qalarsa, sonra kabeli yuxarıya doğru dırmaşıb, qısa, amma rahat bir yolculuğa çıxaraq, Yerə geri qayıtsanız, gəldikdə tapdığınızda ilkin ayrılışıңызdan on min ildən çox vaxt keçmiş olduğunu görərsiniz. Beləliklə, qaradəlini zaman maşını kimi istifadə edərək, Yerin uzaq gələcəyinə səyahət etməyi bacarmış olarsınız.

Qarışıq miqyasları anlamaq üçün, Günəşin kütləsinə sahib bir ulduz, əgər onun radiusu öz həqiqi qiyməti olan təxminən 450,000 mil yerinə, sadəcə 2 milə qədər sıxılarsa, qaradəlik olardı. Təsəvvür edin: Günəşin bütün miqdarı yuxarı Manhattan ərazisinə rahatlıqla sıxılacaq. Belə sıxılmış bir Günəşin bir çay qaşığı qədər hissəsi təxminən Everest Dağının çəkisi qədər olar. Yerin qaradəlikyə çevrilməsi üçün, onu yarım düymdən az olan bir radiusa sıxmaq lazımdır. Fiziklər uzun müddət belə ekstremal maddə tənziqləmələrinin

gerçəkdə baş verib-verməyəcəyindən şübhə edirdilər və çoxları qaradəlikləri sadəcə həddindən artıq çalışmış bir nəzəriyyəçinin təxəyyülünün bir əksikliyi hesab edirdilər.

Lakin, son on ildə qaradəliklərin mövcudluğu ilə bağlı eksperimental sübutlar getdikcə daha inandırıcı hala gəldi. Əlbəttə ki, onlar qara olduqları üçün teleskoplarla göyü izləyərək birbaşa müşahidə edilə bilməzlər. Bunun əvəzinə, astronomlar qaradəlikləri axtararkən, onların hadisə ühudünün xaricində yerləşən digər daha adi işıq saçan ulduzların anormal davranışlarını araşdırırlar. Məsələn, yaxınlıqdakı adi ulduzların xarici qatlarından toz və qaz qaradəliknin hadisə ühudünə doğru düşərkən, onlar işıq sürətinə yaxın sürətlə sürətlənirlər. Bu cür sürətlərdə, aşağıya doğru fırlanan materialın içindəki sürtünmə böyük miqdarda istilik yaradır, nəticədə toz-qaz qarışığı "parlayır" və həm adi görünən işıq, həm də rentgen şüaları yayır. Çünki bu radiasiya hadisə ühudünün yaxınlığında yaranır, o zaman qaradəlikdən qaça bilər və kosmos boyunca yayılaraq birbaşa müşahidə edilə və tədqiq edilə bilər. Ümumi nisbilik bu cür rentgen şüalarının hansı xüsusiyyətlərə sahib olacağına dair ətraflı proqnozlar verir; bu proqnoz edilmiş xüsusiyyətlərin müşahidəsi, qaradəliklərin mövcudluğu ilə bağlı güclü, amma dolayı sübutlar təqdim edir. Məsələn, yığılan sübutlar göstərir ki, öz Milky Way qalaksamızın mərkəzində Günəşin kütləsinin təxminən iki buçuk milyon qatına bərabər olan çox kütləli bir qaradəlik mövcuddur. Və bu görünən dərəcədə nəhəng qaradəlik, astronomların kainatın hər yerində səpələnmiş inanılmaz dərəcədə işıqlı kvazarların mərkəzlərində mövcud olduğuna inandığı şeylərlə müqayisədə kiçik qalır: bu qaradəliklər Günəşin kütləsinin milyardlarla qatını təşkil edə bilər.

Schwarzschild, həllini tapdıqdan cəmi bir neçə ay sonra, Rusiyanın cəbhəsində tutduğu dəri xəstəliyindən vəfat etdi. O, 42 yaşında idi. Eynşteyn'in qravitasiya nəzəriyyəsi ilə qısa və faciəli görüşü təbiət aləminin ən gözəl və sirli tərəflərindən birini aşkara çıxardı.

Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin gücünü göstərən ikinci misal, bütöv kainatın mənşəyi və inkişafı ilə bağlıdır. Bildiyimiz kimi, Eynşteyn göstərmiş ki, məkan və zaman kütlə və enerjinin mövcudluğuna cavab olaraq dəyişir. Bu məkan-zamanın deformasiyası, nəticədə yaranan əyilmələrə yaxın hərəkət edən digər kosmik cisimlərin hərəkətinə təsir göstərir. Bu cisimlərin öz kütləsi və enerjisi sayəsində hərəkət etmə şəkli, məkan-zamanın əyilməsinə əlavə təsir edir, bu da cisimlərin hərəkətinə təsir göstərir və beləliklə, bir-birinə bağlı olan kosmik rəqs davam edir. Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin tənlikləri, XIX əsrin böyük riyaziyyatçısı Georg Bernhard Riemann tərəfindən irəli sürülən əyilmiş məkan haqqında riyazi anlayışlara əsaslanan tənliklər vasitəsilə Eynşteyn, məkan, zaman və maddənin qarşılıqlı inkişafını kəmiyyət baxımından təsvir edə bildi.

Onun böyük təəccübü ilə, bu tənliklər yalnız kainatın içindəki tək bir cisimlə, məsələn, bir planetin və ya kometin ulduzun ətrafında hərəkət etməsini izah etməkdən daha irəli

gedərək, bütün kainata tətbiq edildikdə təəccüblü bir nəticəyə gəlinir: kainatın ümumi ölçüsü zamanla dəyişir. Yəni, kainatın strukturu ya genişlənir, ya da kiçilir, amma sadəcə olduğu yerdə qalmır. Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin tənlilikləri bunu açıq şəkildə göstərir.

Bu nəticə, hətta Eynşteyn üçün çox oldu. O, minlərlə il ərzində gündəlik təcrübələr vasitəsilə yaradılmış məkan və zaman haqqında ümumi intuisiya düşüncəsini alt-üst etmişdi, amma həmişə mövcud olan, dəyişməyən kainat fikri o qədər dərinləşmişdi ki, hətta bu radikal düşüncə sahibi də ondan imtina edə bilmirdi. Bu səbəbdən, Eynşteyn öz tənliliklərini yenidən nəzərdən keçirdi və kosmoloji sabitlik adlanan bir əlavə termin daxil edərək onları dəyişdirdi. Bu dəyişiklik ona bu proqnozu qaçıрмаğa imkan verdi və yenidən statik bir kainatın rahatlığında yaşamağa davam etdi. Lakin, 12 il sonra, uzaq qalaktikaların ətraflı ölçmələri vasitəsilə, amerikalı astronom Edvin Həbl, kainatın genişlənməkdə olduğunu eksperimental olaraq təsdiqlədi. Elm tarixinin indi məşhur olan bir hadisəsində, Eynşteyn sonra tənliliklərinin ilkin formasına qayıtdı və onların müvəqqəti dəyişdirilməsini həyatının ən böyük səhvi olaraq qeyd etdi. Onun ilkin olaraq bu nəticəni qəbul etməməsinə baxmayaraq, Eynşteynin nəzəriyyəsi kainatın genişlənməsini proqnozlaşdırmışdı. Əslində, 1920-ci illərin əvvəllərində — Həblin ölçmələrindən illər əvvəl — rus meteoroloqu Aleksandr Fridmann Eynşteynin ilkin tənliliklərindən istifadə edərək ətraflı şəkildə göstərmişdi ki, bütün qalaktikalar uzanan məkanın substratında hərəkət edərək bir-birindən sürətlə uzaqlaşacaqlar. Həblin müşahidələri və sonrakı bir çox müşahidələr ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin bu heyvətamiz nəticəsini tam olaraq təsdiqlədi. Kainatın genişlənməsinin izahını təklif edərək, Eynşteyn zamanın ən böyük intellektual nailiyyətlərindən birini əldə etdi.

Əgər məkanın toxuması uzanırsa və buna görə qalaktikalar kosmik axınla birlikdə daha da uzaqlaşarsa, zamanın geriye doğru evrimini təsəvvür edərək kainatın yaranışı haqqında məlumat əldə edə bilərik. Geriyə doğru, məkanın toxuması kiçilir, bütün qalaktikaları bir-birinə daha da yaxınlaşdırır. Tıxanmış bir təzyiq qazanın içindəkiləri kimi, kiçilən kainat qalaktikaları bir-birinə sıxaraq, temperaturu kəskin şəkildə artırır, ulduzlar dağılır və maddənin əsas hissəciklərindən ibarət isti plazma yaranır. Məkanın toxuması davam edərək kiçildikcə, temperatur və ilkin plazmanın sıxlığı heç bir yavaşlama olmadan artır. Əgər biz hal-hazırda müşahidə edilən kainatın yaşını, yəni təxminən 15 milyard ili geriye doğru işlətsək, bildiyimiz kainat getdikcə daha kiçik bir ölçüyə sıxılır. Hər şeyin—hər bir avtomobilin, evin, binanın, yerin dağlarının; Yerin özünün; Ayın; Saturnun, Yupiterin və digər bütün planetlərin; Günəşin və Milky Way-dakı digər bütün ulduzların; 100 milyard ulduzu olan Andromeda qalaktikasının və 100 milyarddan çox qalaktikanın—maddəsi kosmik dırnaqlarla inanılmaz bir sıxlığa sıxılır. Və zaman geriye doğru getdikcə, bütün kainat portağalın, limonun, noxudun, qum dənəsinin ölçüsünə sıxılır və daha da kiçik

ölçülərə enir. Hər şeyin başlanğıcına qədər irəlilədikdə, kainat bir nöqtə olaraq başlamış kimi görünür—bu, növbəti fəsillərdə tənqiddə məruz qalacaq bir görüntüdür—burada bütün maddə və enerji, təsəvvür edilə bilməyən sıxlıq və temperaturda sıxılmışdır. Bu sıxılmış qarışıqdan, böyük partlayışdan (big bang) bir kosmik odun partlayışı kimi, kainatın bizim bildiyimiz formasının inkişaf etməsi üçün toxumların atıldığı düşünülür.

Böyük partlayışın, partlayan bir bombanın içindən maddələrin şrapnel kimi çıxarıldığı bir kosmik partlayış kimi təsəvvür edilməsi faydalıdır, amma bu bir qədər yanıltıcıdır. Bir bomba partlayanda, müəyyən bir məkan və zaman anında partlayır. Onun içindəkilər ətrafdakı məkanın içərisinə atılır. Böyük partlayışda isə ətrafda heç bir məkan yoxdur. Kainatı başlanğıca doğru geriye doğru çəkərkən, bütün maddi tərkibin sıxılmasının səbəbi bütün məkanın kiçilməsidir. Portağal böyüklüyündə, noxud böyüklüyündə, qum dənəsi böyüklüyündə olan geriye doğru sıxılma, kainatın tamamını təsvir edir—kainatın içindəki bir şeyi deyil. Başlanğıca doğru davam edərkən, sadəcə olaraq ilkin nöqtəvari partlayışın xaricində heç bir məkan yoxdur. Bunun əvəzinə, böyük partlayış sıxılmış məkanın partlamasıdır, və bunun açılması, bir dalğa kimi, maddə və enerjini hələ də bu günə qədər aparır.

Ümumi Nisbilik Doğrudurmu?

Hazırkı texnologiya səviyyəsində aparılan təcrübələrdə ümumi nisbiliyin proqnozlarına heç bir istisna tapılmayıb. Yalnız zaman göstərəcək ki, daha yüksək təcrübə dəqiqliyi sonunda bəzi uyğunsuzluqlar aşkar edəcəkmiz, buna görə də bu nəzəriyyə də təbiətin necə işlədiyini anlamaqda yalnız təxmini bir təsvir olacaq. Nəzəriyyələrin daha yüksək dəqiqliklə sınaqdan keçirilməsi, şübhəsiz ki, elm sahəsində irəliləyişin yollarından biridir, lakin bu, təkə yeganə yol deyil. Əslində, biz bunu artıq gördük: Yeni bir cazibə nəzəriyyəsinin axtarışı, Nyutonun nəzəriyyəsinin eksperimental təkzibi ilə deyil, daha çox Nyuton cazibəsi ilə başqa bir nəzəriyyə—xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi arasında olan qarşıdurma ilə başladı. Yalnız ümumi nisbiliyin, cazibə nəzəriyyəsi kimi rəqib bir nəzəriyyə kimi kəşf edildikdən sonra, bu iki nəzəriyyənin fərqli olduğu kiçik, lakin ölçülə bilən yollarla Nyutonun nəzəriyyəsinin eksperimental nöqsanları müəyyənləşdirildi. Beləliklə, daxili nəzəriyyə uyğunsuzluqları, irəliləyişə səbəb olan təcrübə məlumatları kimi həlledici rol oynaya bilər.

Son yarım əsrdə fizika daha bir nəzəri qarşıdurma ilə qarşılaşıb ki, bunun şiddəti, xüsusi nisbilik və Nyuton cazibəsi arasındakı qarşıdurma ilə eyni səviyyədədir. Ümumi nisbilik,

digər çox yaxşı test edilmiş nəzəriyyə olan kvant mexanikası ilə əsaslı şəkildə uyğun görünür. Bu fəsildə əhatə olunan materiala gəldikdə, qarşıdurma, fizikaçılara böyük partlayışın anında və ya bir qara dəlikdə maddə, məkan və zaman tamamilə sıxıldığında nə baş verdiyini anlamağa mane olur. Lakin daha ümumiyyətlə, bu qarşıdurma bizə təbiət haqqında anlayışımızda fundamental bir çatışmazlığa işarə edir. Bu qarşıdurmanın həlli, ən böyük nəzəri fizikaçılardan bəzilərinin cəhdlərinə baxmayaraq hələ də baş tutmayıb və buna görə də müasir nəzəri fizikanın mərkəzi problemi kimi layiqincə tanınır. Bu qarşıdurmanı başa düşmək, kvant nəzəriyyəsinin bəzi əsas xüsusiyyətləri ilə tanış olmağı tələb edir və indi biz bu mövzuda diqqətimizi cəmləyəcəyik.

Fəsil 4

Mikroskopik Qəribəliklər

Günəş sistemindən kənar səyahətdən bir qədər yorğun dönmən Corc və Qreysi Yerə qayıdır və kosmos macəralarından sonra bir az dincəlmək üçün H-Bara yollanırlar. Corc hər zamankı kimi sifariş verir—özünə buzlu papaya şirəsi, Qreysiyə isə votkalı tonik. O, rahat şəkildə arxasına söykənərək əllərini başının arxasında birləşdirir və yeni yandırılmış siqarından ləzzət almağa hazırlaşır. Amma dodaqlarına gətirmək istəyəndə birdən şoka düşür—siqar yoxa çıxıb! Corc siqarın ağzından düşdüyünü düşünərək irəli əyilir və onun köynəyini və ya şalvarını yandırıdığını zənn edir. Amma siqar heç yerdə yoxdur. Bu zaman Corcun ani hərəkətlərindən ayılan Qreysi başını çevirir və siqarı onun arxasındakı masanın üzərində görür.— "Qəribədir," — Corc deyir, — "Bu necə oldu ki, o bu tərəfə düşdü? Elə bil başımın içindən keçdi — amma nə dilim yanıb, nə də başımda dəlik var." Qreysi diqqətlə ona baxır və dilinin, başının tam normal göründüyünü təsdiqləyir. İçkilər yeni gəldiyindən, hər ikisi çiyinlərini çəkərək bu hadisəni həyatın kiçik sirrlərindən biri sayıb unudurlar. Amma H-Bar'dakı qəribəliklər bununla bitmir.

Corc papaya şirəsinə baxır və buzların daim tərpənib bir-birlərinə və stəkanın kənarlarına çırpıldığını görür — sanki qəzəbli toqquşan avtomobillər kimi hərəkət edirlər. Bu dəfə o tək deyil. Qreysi öz stəkanını qaldırır (onunki Corcun stəkanından yarı qədərdir) və onlar görürlər ki, Qreysin stəkanındakı buzlar daha da sürətlə və dəli kimi hərəkət edir. Buzları bir-birindən ayırmaq çətinləşir, çünki hamısı bir-birinə qarışaraq donmuş kütləyə çevrilir.

Amma baş verənlərin içində ən inanılmazı bundan sonra olur. Corc və Qreysi iri gözlərlə onun stəkanına baxarkən, bir buz parçasının stəkanın yan divarından keçərək bara düşdüyünü görürlər. Onlar stəkanı götürüb baxırlar və görürlər ki, stəkan tam sağlamdır — necə olubsa, buz parçası bərk şüşənin içindən zərərsiz şəkildə keçib.— "Yəqin ki, bu kosmosdan qayıtdıqdan sonra yaranan halüsinasiyalardır," — deyir Corc.

İkisi də bu çılğın buz parçalarının qarşısında tab gətirərək içkilərini birnəfəsə içib evə yollanırlar. Amma bilmirlər ki, tələsik gedərkən divara çəkilmiş dekorativ bir qapını əsl qapı zənn edib ordan çıxıblar. H-Barın müştəriləri isə artıq divarlardan keçən insanlara öyrəşiblər, buna görə də Corc və Qreysin qəfil yoxa çıxmasına fikir vermirlər.

Bir əsr əvvəl, Konrad və Freyd qaranlığın ürəyini və ruhunu işıqlandırarkən, alman fizik Maks Plank kvant mexanikası adlanan anlayış sisteminə ilk işığı tutdu. Bu nəzəriyyə, digər məsələlərlə yanaşı, Corc və Qreysin H-Bar'dakı yaşadıkları təəccüblü hadisələrin—mikroskopik ölçülərə endirildikdə—sadəcə zehni qarışıqlıqla izah edilməməli olduğunu deyir. Belə qəribə və anlaşılmaz hadisələr, əslində, kainatımızın çox kiçik miqyaslarda necə davrandığını göstərən tipik nümunələrdir.

Kvant Çərçivəsi

Kvant mexanikası kainatın mikroskopik xüsusiyyətlərini anlamaq üçün yaradılmış nəzəri bir çərçivədir. Necə ki, xüsusi və ümumi nisbilik nəzəriyyələri hərəkət çox sürətli olduqda və ya obyektlər çox kütləvi olduqda dünyagörüşümüzü kökündən dəyişdirməyi tələb edir, kvant mexanikası da atom və subatom miqyaslarda kainatın ən azı bir o qədər — hətta daha da heyrətamiz — xüsusiyyətlərə sahib olduğunu ortaya qoyur. 1965-ci ildə, kvant mexanikasının ən məşhur ustalarından biri olan Riçard Feynman belə yazmışdı: "Bir vaxtlar qəzetlər yazırdı ki, yalnız on iki nəfər nisbilik nəzəriyyəsini anlayır. Mən inanmıram ki, belə bir dövr olub. Ola bilər ki, əvvəllər yalnız bir nəfər anlayıb — çünki o, nəzəriyyəni anlayan ilk adam idi, daha məqaləsini yazmamışdan əvvəl. Amma o məqaləni oxuyandan sonra bir çox insanlar bu nəzəriyyəni bir şəkildə anladılar — əlbəttə ki, on ikidən çox. Digər tərəfdən isə, əminliklə deyə bilərəm ki, heç kim kvant mexanikasını tam olaraq anlamır."

Feynman bu fikri üç onillikdən çox əvvəl ifadə etsə də, bu gün də eyni dərəcədə keçərlidir. Onun demək istədiyi budur: xüsusi və ümumi nisbilik nəzəriyyələri əvvəlki dünyagörüşümüzü köklü şəkildə dəyişməyi tələb etsə də, əgər bu nəzəriyyələrin əsas

prinssimlərini tam qəbul etsək, onların məkan və zamanla bağlı qəribə nəticələri məntiqli düşüncə ilə açıq şəkildə ortaya çıxır. Əgər əvvəlki iki fəsildə Eynşteynin işlərini diqqətlə nəzərdən keçirənsiniz, bizim gəldiyimiz nəticələrin qaçılmaz olduğunu — heç olmasa bir anlıq — dərk edəcəksiniz.

Kvant mexanikası isə tamamilə fərqlidir. Təxminən 1928-ci ilə qədər kvant mexanikasının bir çox riyazi düsturları və qaydaları formalaşmışdı və o vaxtdan bəri bu nəzəriyyə elm tarixindəki ən dəqiq və uğurlu hesablamaların əsasını təşkil edib. Amma reallıqda kvant mexanikasını tətbiq edən alimlər, bu nəzəriyyənin “qurucu ataları” tərəfindən müəyyənləşdirilmiş qaydalara və düsturlara əsasən işləyirlər — yəni bu qaydaları tətbiq etmək texniki baxımdan asandır, amma onların niyə işlədiyini və əslində nə mənə verdiyini başa düşmək çox çətindir.

Nisbilik nəzəriyyəsindən fərqli olaraq, çox az adam — əgər ümumiyyətlə varsa — kvant mexanikasını "ruhdan anlayacaq" səviyyədə dərk edə bilər.

Bəs biz bütün bunlardan nə nəticə çıxarmalıyıq? Bu o deməkdir ki, mikroskopik səviyyədə kainat o qədər qəribə və bizə yad şəkildə işləyir ki, milyonlarla il ərzində gündəlik həyatdakı tanış hadisələrə uyğunlaşan insan beyni bu proseslərin "əslində necə baş verdiyini" tam qavraya bilmir? Yoxsa bu, sadəcə tarixi təsadüf nəticəsində fiziklərin kvant mexanikasını olduqca dolaşlıq və çətin bir formada qurduqları anlamına gəlirmi — elə bir forma ki, dəqiq nəticələr versə də, gerçəkliyin mahiyyətini dumanlı saxlayır? Bunu heç kim dəqiq bilmir. Bəlkə də gələcəkdə kimsə bu nəzəriyyəni daha aydın və mənalı şəkildə ifadə edə biləcək yeni bir yanaşma ortaya qoyacaq. Amma ola bilər ki, belə bir gün heç vaxt gəlməyəcək.

Yeganə qəti bildiyimiz budur: kvant mexanikası açıq və birmənalı şəkildə göstərir ki, gündəlik dünyanı anlamaqda bizə vacib olan bəzi əsas anlayışlar mikroskopik aləmdə artıq heç bir mənə kəsb etmir. Bu səbəbdən, atom və subatom miqyaslarında kainatı anlamağa və izah etməyə çalışarkən həm düşüncə tərzimizi, həm də istifadə etdiyimiz dili köklü şəkildə dəyişdirməliyik.

Növbəti bölmələrdə kvant mexanikasının bu "yeni dili"nin əsaslarını izah edəcəyik və onun ortaya çıxardığı bir sıra heyranəmiz sürprizləri araşdıracağıq. Əgər bu izahlar sənə çox qəribə, hətta gülünc gəlsə, iki şeyi yadda saxla:

Birincisi, bu nəzəriyyəyə inanmamızın yeganə səbəbi onun riyazi cəhətdən uyumlu olması deyil — kvant mexanikası indiyə qədər elmdə əldə edilmiş ən dəqiq nəticələri verir. Əgər biri sənənin uşaqlığıyla bağlı inanılmaz dərəcədə dəqiq detalları deyə bilirsə, onun sənənin uzun müddətdir itmiş bacın və ya qardaşın olduğunu inkar etmək çətin olar.

İkincisi, bu qəribəlik hissini yalnız sən yaşamırsan. Bu, tarix boyunca ən məşhur fiziklərin belə az ya da çox bölüşdüyü bir baxışdır. Eynşteyn kvant mexanikasını heç vaxt tam qəbul etməmişdi. Hətta bu nəzəriyyənin qurucularından və ən böyük tərəfdarlarından biri olan Nils Bor belə bir dəfə demişdi: "Əgər kvant mexanikası barədə düşünəndə bəzən başın fırlanırsa, deməli, onu hələ tam anlamamısan."

Mətbəxdə Həddindən Artıq İstidir

Kvant mexanikasına apan yol qəribə bir problemlə başladı. Təsəvvür et ki, evindəki soba mükəmməl izolyasiya olunub, sən onu müəyyən bir temperaturda, məsələn 400 dərəcə Farenhaytda (təxminən 200 dərəcə Selsi) qızdırırsan və yetərinə vaxt verirsən ki, tam isinsin. Hətta sobanın içindəki havanı tamamilə boşaltsan belə, divarlarını qızdırmaqla içəridə radiasiya dalğaları əmələ gələcək. Bu dalğalar — istilik və işıq şəklində yayılan elektromaqnit dalğaları — günəşin səthindən və ya qızmış dəmir çubuqdan yayılan radiasiya ilə eyni növdəndir.

Problem isə buradadır. Elektromaqnit dalğaları enerji daşıyır — məsələn, Yer üzündə həyatın mövcudluğu günəşdən Yərə elektromaqnit dalğaları vasitəsilə ötürülən enerjiden asılıdır. 20-ci əsrin əvvəllərində fiziklər müəyyən bir temperaturda sobanın içindəki bütün elektromaqnit radiasiyasının nə qədər enerji daşdığını hesablamaq istədilər. Onlar o dövrdə tanınmış və doğru sayılan riyazi üsullardan istifadə etdilər — və nəticə tamamilə absurd oldu: istənilən temperatur üçün hesablanan ümumi enerji sonsuz çıxdı. Hamıya aydın idi ki, bu nəticə tamamilə mənasızdır — isti soba böyük miqdarda enerji daşıya bilər, amma heç vaxt sonsuz qədər yox. Plankın təklif etdiyi həll yolunu başa düşmək üçün problemin bir qədər daha dərinliyinə varmaq faydalı olar.

Məlum oldu ki, Maksvelin elektromaqnit nəzəriyyəsi sobadakı radiasiyaya tətbiq olunanda belə bir nəticəyə gəlir: sobanın qızmış divarları tərəfindən yaranan dalğalar sobanın əks tərəfdəki divarları arasında tam yerləşməli, yəni onların uzunluğu elə olmalıdır ki, tam sayda “zirvə” və “çökək” (dalğanın yuxarı və aşağı hissələri) bu iki divarın arasına sığsın. Şəkil 4.1-də bunun bir neçə nümunəsi göstərilib. Fiziklər bu cür dalğaları təsvir etmək üçün üç əsas termini işlədirlər: Dalğa uzunluğu, tezlik və amplituda. Dalğa uzunluğu — ardıcıl iki zirvə və ya ardıcıl iki çökək arasındakı məsafədir. Bu, Şəkil 4.2-də göstərilib. Dalğa arasında daha çox zirvə və çökək yerləşirsə, deməli dalğanın uzunluğu daha qısadır, çünki hamısı sobanın iki divarı arasında sığmalıdır.

- Tezlik — bir dalğanın hər saniyədə neçə dəfə yuxarı-aşağı titrədiyini, yəni neçə dövr tamamladığını göstərir. Maraqlı olan odur ki, dalğanın tezliyi ilə onun uzunluğu bir-biri ilə sıx bağlıdır:
 - Uzun dalğalar → aşağı tezlik
 - Qısa dalğalar → yüksək tezlik Niyə belə olduğunu başa düşmək üçün, bir ucundan bağlanmış uzun bir ipi silkələdiyini düşün. Əgər ipdə uzun dalğalar yaratmaq istəyirsənsə, əlinlə ipi yavaş-yavaş yuxarı-aşağı tərpədirsən. Bu zaman dalğanın tezliyi — yəni bir saniyədə neçə dövr etdiyin — aşağı olur. Amma qısa dalğalar yaratmaq üçün ipi daha tez-tez, daha sürətlə silkələməlisən. Bu isə daha yüksək tezlikli dalğalar yaradır.
- Amplituda isə dalğanın maksimum hündürlüyünü və ya dərinliyini göstərir. Bu da Şəkil 4.2-də izah olunur.

Beləliklə, problemin məgzi bu dalğaların bu cür yerləşməsi və onların sayının sonsuz çox ola bilməsi ilə bağlı idi — bu da nəticədə sonsuz enerji hesablamasına gətirib çıxarırdı. Amma Plank bu problemi çox fərqli və inqilabi bir yanaşma ilə həll etdi.

Əgər elektromaqnit dalğaları sənə bir az abstrakt görünürsə, yadda saxlamaq üçün yaxşı bir başqa bənzətmə — violin (skripka) simindən çıxan dalğalardır. Skripkanın simini dartdıqda yaranan dalğalar, müxtəlif tezliklərə malik olur və bu da müxtəlif musiqi notlarına uyğun gəlir:

- Tezlik nə qədər yüksəkdirsə, not da bir o qədər yüksək (incə) olur.

Amplituda isə simi nə qədər güclə dartdığından asılıdır.

- Simi daha bərk dartdıqda, dalğaya daha çox enerji ötürmüş olursan → bu isə daha böyük amplituda və daha yüksək səs deməkdir.
- Daha zəif dartmaq isə → daha az enerji, kiçik amplituda və aşağı səs verir.

Sobanı düşünək: Fiziklər 19-cu əsrin termodinamika qanunlarından istifadə edərək hesablayıblar ki, sobanın qızmış divarları sobanın içindəki elektromaqnit dalğalarına nə qədər enerji ötürür — yəni divarlar bu “dalğaları nə qədər güclə dartır”.

Və nəticə budur:

Sobanın içində yaranmağa icazə verilmiş hər bir dalğa, dalğa uzunluğundan asılı

olmayaraq, eyni miqdarda enerji daşıyır (bu miqdar sobanın temperaturuna bağlıdır). Başqa sözlə, sobanın içindəki bütün mümkün dalğa naxışları (şəkilləri) — istər uzun, istər qısa olsun — enerji baxımından tamamilə bərabər vəziyyətdədir. Əvvəlcə bu nəticə maraqlı, amma zərərsiz bir fakt kimi görünə bilər. Amma əslində elə deyil. Bu, klassik fizikanın çöküşünün başlanğıcıdır. Səbəb nədir? Baxmayaraq ki, sobadakı dalğaların yalnız tam sayda təpə və çökəyə sahib olması tələb olunur (bu da bir çox mümkün dalğa naxışlarını istisna edir), yenə də sonsuz sayda uyğun gələn dalğa forması mövcuddur — yəni getdikcə daha çox təpə və çökəyə sahib olan dalğalar. Və hər bir bu cür dalğa eyni miqdarda enerji daşıyırsa, onda sonsuz sayda dalğa = sonsuz enerji deməkdir. Bu da o demək idi ki, keçmişin klassik fizika qaydaları ilə doğru cavab almaq mümkün deyil. XX əsrin başlanğıcında fizikanın nəzəri sistemində böyük bir boşluq (və ya problem) ortaya çıxmışdı — deyək ki, nəhəng bir milçək düşmüşdü nəzəriyyənin şorbasına.

Əsrin başlanğıcında lump məsələsi

1900-cü ildə Plank bir həll yolu təklif etdi ki, bu da ona 1918-ci ildə fizika üzrə Nobel mükafatı qazandırdı. Bu həll yolunu anlamaq üçün belə bir vəziyyəti təsəvvür et: Bir çox insanla — sayı "sonsuz" olan — böyük, soyuq bir anbarın içindəsiniz. Bu anbarın sahibi çox xəsis bir insandır və otağın temperaturunu idarə etmək üçün bir digital termostat var. Lakin termostatin iş prinsipini öyrənəndə, istilik üçün ödədiyiniz haqq sizi şoka salır. Məsələn:

- 50 dərəcə Fahrenheit-ə təyin edilən temperaturda hər kəs 50 dollar ödəməli olur.
- 55 dərəcə Fahrenheit-ə təyin edilən temperaturda isə hər kəs 55 dollar ödəyəcək və s.

Və bununla da, sonsuz sayda insanla bölüşdüyünüz üçün, istilik açıldıqda sahibin sonsuz məbləğdə pul qazanması qaçılmaz olur. Amma landlordun ödəmə qaydalarını daha yaxından oxuduqda bir sıçrayış tapırsınız. Çünki landlord çox məşğuldur və o, dəyişiklik vermək istəmir, xüsusən də sonsuz sayda kirayədara. Buna görə də o, şərəf sisteminə əsaslanır. Kim ki, məbləği dəqiq ödəyə bilər, edir; kim ki, edə bilməz, yalnız dəyişiklik tələb etmədən ödəyə biləcəyi qədərini verir.

İndi isə, bütün bu çox yüksək istilik haqlarından qaçmaq istədiyiniz üçün, komandalarınızı hər kəsi maliyyə təşkilatlandırmağa məcbur edirsiniz. Bütün pulları belə bölürsünüz:

- Bir nəfər yalnız penni daşır,

- Bir nəfər yalnız nikel daşır,
- Bir nəfər yalnız dime daşır,
- Bir nəfər yalnız 25 sentlik sikkələr daşır,
- Bir nəfər yalnız dollar pullarını daşır,
- Digər şəxslər isə 5 dollar, 10 dollar, 20 dollar, 50 dollar, 100 dollar, 1000 dollar və daha böyük təmiz pulları daşıyır.

Siz cəsarətlə termostatu 80 dərəcəyə təyin edirsiniz və landlordun gəlməsini gözləyirsiniz. O gələndə isə, penni daşıyan ilk olaraq 8,000 penni təqdim edir. Sonra, nikel daşıyan 1,600 nikel verir, dime daşıyan 800 dime, 25 sent daşıyan 320 25 sentlik sikkə təqdim edir, dollar daşıyan 80 dollar verir. 5 dollar, 10 dollar, 20 dollar, 50 dollar daşıyanlar isə sırasıyla 16, 8, 4 və 1 əskik pulla landlordu ödəyirlər. Amma, bütün bu pullardan sonra, digərləri yalnız öz minimum "lump" məbləğlərini ödəyə bilirlər ki, bu da tələb olunan məbləği keçər. Beləliklə, landlord öz gözlədiyi sonsuz miqdarda pulu ala bilmədiyi halda, yalnız 690 dollar ilə gedir.

Plank eyni üsuldən istifadə edərək, sobadakı sonsuz enerjinin gülünc nəticəsini müəyyən bir həddə salmağa müvəffəq oldu. İşləmə üsulu belədir: Plank cəsarətlə təxmin etdi ki, elektromaqnit dalğalarının sobadakı daşdığı enerji də, pul kimi, lumps şəklində gəlir. Yəni, enerji bir dəfə əsas "enerji valyutası"na bərabər ola bilər, ya iki dəfə, ya üç dəfə və s., amma başqa heç bir şey. Həmçinin, bir üçdə bir penni və ya iki və yarım kvater olmaq olmaz, dediyi kimi, Plank enerji ilə bağlı fraqmentlərə icazə verməyəcəyini açıqladı.

Bizim pul vahidlərimiz ABŞ Xəzinədarlığı tərəfindən müəyyən edilir. Plank daha fundamental bir açıqlama axtararaq təklif etdi ki, dalğanın enerji vahidi - onun minimal enerji lump-ı - dalğanın tezliyinə əsaslanır. Xüsusilə, o, dalğanın minimal enerjisinin tezliyinə nisbət olduğunu irəli sürdü: daha böyük tezlik (daha qısa dalğa uzunluğu) daha böyük minimal enerji deməkdir, daha kiçik tezlik (daha uzun dalğa uzunluğu) isə kiçik minimal enerji deməkdir. Təxmini olaraq desək, yumşaq okean dalğaları uzun və rahatdır, sərt dalğalar isə qısa və qırıqdır; buna görə də, uzun dalğa uzunluqlu radiasiya təbii olaraq qısa dalğa uzunluqlu radiasiyaya nisbətən daha az enerjilidir. Plankın hesablamaları göstərdi ki, hər bir dalğada icazə verilən enerjinin bu lumpiness xüsusiyyəti əvvəlki sonsuz ümumi enerji nəticəsini düzəltdi. Bunun səbəbini başa düşmək çətin deyil. Bir soba müəyyən bir temperaturda istiləndikdə, XIX əsrin termodinamika hesablamaları, hər bir dalğanın ümumi enerjiyə nə qədər töhfə verəcəyini göstərdi. Amma pul vahidi daşıyan insanlar kimi, müəyyən dalğa, məsələn, minimal enerji səviyyəsi ilə daha böyük bir enerji

daşımaq məcburiyyətində qaldıqda, o zaman müəyyən edilmiş enerji məbləğini verə bilməz. Bu dalğalar yerində qalıb "dormant" halda qalır.

Plank-ə görə, dalğanın minimal enerjisi onun tezliyi ilə mütənasibdir. Buna görə də, sobadakı daha yüksək tezlikli (qısa dalğa uzunluğuna sahib) dalğalarla qarşılaşdıqca, onların daşıya biləcəyi minimal enerji, gözlənilən enerji töhfəsini ötürür. Bu, pul vahidləri ilə bağlı vəziyyətə bənzəyir: fifty-dollar bills kimi çox böyük məbləğlərlə yük daşıyan şəxslər, tələb olunan pulu vermək üçün uyğun deyillər. Nəticə olaraq, bu dalğalar da enerji töhfəsi verə bilməzlər. Bu zaman yalnız bir neçə dalğa ümumi enerjiyə qatılır və nəticədə yalnız sonlu enerji əldə edilir.

Həm enerji, həm də pul fundamental vahidlər və bu vahidlərin getdikcə böyüyən ölçüləri — yüksək tezliklərdə və ya daha böyük pul vahidlərində — nəticədə sonsuz cavabı sonlu cavaba çevirir. Plank, sonsuz nəticənin açıq-aşkar mənasızlığını aradan qaldırmaqla mühüm bir addım atdı. Lakin, onun təxmininin doğru olduğunu insanların əslində necə inandığını müəyyən edən əsas səbəb, onun yeni yanaşmasının sobadakı enerjinin məhdud cavabını təcrübə ölçmələri ilə heyrətamiz şəkildə uyğunlaşdırması oldu. Xüsusilə, Plank tapdı ki, yeni hesablamalarına daxil olan bir parametri tənzimləyərək, istənilən temperatur üçün sobanın ölçülən enerjisini dəqiq proqnozlaşdırmağa bilər. Bu bir parametr, dalğanın tezliyi ilə onun daşıya biləcəyi ən kiçik enerji miqdarı arasındakı proporsionallıq amili idi. Plank tapdı ki, bu proporsionallıq amili—indi Plank sabiti kimi tanınır və h ilə işarələnir—hər gün istifadə olunan vahidlərdə təqribən bir milyardın bir milyardının bir milyardı qədər kiçikdir. Plank sabitinin kiçik dəyəri o deməkdir ki, enerji lump-larının ölçüsü adətən çox kiçik olur. Məsələn, bizə elə gəlir ki, bir violin sapı üzərində dalğanın enerjisini—və buna görə də onun istehsal etdiyi səsini həcmi—davamlı şəkildə dəyişə bilərik. Lakin, əslində, dalğanın enerjisi diskret addımlardan keçir, Plank-a görə, amma bu addımlar o qədər kiçikdir ki, bir həcmdən digərinə keçidlər hamarlanmış kimi görünür. Plankın iddiasına görə, bu enerji sıçrayışlarının ölçüsü dalğaların tezliyi artdıqca böyüyür (dalğa uzunluqları isə qısalır). Bu, sonsuz enerji paradoksunu həll edən vacib tərkib hissəsidir.

Görəcəyimiz kimi, Plankın kvant fərziyyəsi, sobanın enerji tərkibini başa düşməyimizə kömək etməkdən çox daha çoxunu edir. Bu, gündəlik həyatda öz-özlüyündə doğru olduğunu düşündüyümüz bir çox şeyi alt-üst edir. Plank sabitinin kiçikliyi, bu radikal dəyişikliklərin çoxunu mikroskopik aləmə məhdudlaşdırır, amma əgər Plank sabiti indiki dəyərindən çox daha böyük olsaydı, H-Bar-da baş verən qəribə hadisələr adi hal olardı. Görəcəyimiz kimi, onların mikroskopik ekvivalentləri əslində belədir.

Lump Nədir?

Plankın enerjinin "yığınlar" şəklində təqdim edilməsinə heç bir əsaslandırması yox idi. Bu yanaşma işləyirdisə də, nə o, nə də başqaları bunun niyə doğru olmalı olduğunu inandırıcı şəkildə izah edə bilmirdilər. Fizik Corc Qamovun dediyi kimi, bu, təbiətin bir pint pivə içməyə və ya heç pivə içməməyə icazə verdiyi, amma heç bir halda arada heç nə etməyin mümkün olmadığı bir şeyə bənzəyirdi. 1905-ci ildə Eynşteyn bu suala cavab tapdı və bu fikrinə görə 1921-ci ildə Fizika üzrə Nobel mükafatı qazandı.

Eynşteyn öz izahını fotoelektrik effekt adı verilən bir fenomeni düşünərək tapdı. Alman fizik Heinrich Hertz, 1887-ci ildə elektromaqnit şüaların – yəni, işığın – müəyyən metalların üzərinə düşdüyü zaman onların elektron buraxdığını ilk dəfə aşkar etdi. Özlüyündə bu çox da diqqətəlayiq deyil. Metalların xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onların bəzi elektronları atomlar içərisində yalnız zəif şəkildə bağlanmışdır (bu səbəbdən metallar elektrik cərəyanını çox yaxşı keçirir). Işıq metalın səthinə düşdükdə, o, öz enerjisini metal üzərinə ötürür, bu da sanki işıq dəriyə dəyəndə sizi isidir. Bu ötürülən enerji metalın elektronlarını həyəcanlandıra bilər və zəif bağlanmış bəzilərini metalın səthindən tamamilə qopara bilər.

Amma fotoelektrik effektin qəribə xüsusiyyətləri, atılan elektronların daha ətraflı xüsusiyyətlərini araşdırdıqda aydın olur. İlk baxışda, işığın intensivliyi—yəni parıltısı—artdıqca, atılan elektronların sürətinin də artacağını düşünərdiniz, çünki elektromaqnit dalğası daha çox enerji daşıyır. Lakin bu baş vermir. Əksinə, atılan elektronların sayı artır, amma onların sürəti sabit qalır. Digər tərəfdən, eksperimentlər göstərib ki, işığın tezliyi artırıldıqca, atılan elektronların sürəti də artır, eyni şəkildə, işığın tezliyi azaldıqca isə onların sürəti azalır. (Görünən işıq spektrindəki elektromaqnit dalğaları üçün, tezliyin artması rəngin dəyişməsi ilə bağlıdır: qırmızıdan narıncıya, sarıya, yaşıl, maviyə, indigo və nəhayət bənövşəyə doğru. Violetten daha yüksək tezliklər görünmür və ultrabənövşəyi və sonradan rentgen şüalarına uyğun gəlir; qırmızıdan daha aşağı tezliklər də görünmür və infraqırmızı şüalara uyğun gəlir.) Əslində, istifadə olunan işığın tezliyi azaldıqca, bir nöqtəyə gəlinir ki, atılan elektronların sürəti sıfıra enir və onlar səthdən atılmağa davam etmir, hətta işıq mənbəyinin intensivliyi çox yüksək olsa belə. Bəzi məlum olmayan səbəblərə görə, işıq şüasının rəngi—onun ümumi enerjisi deyil—elektronların atılmasının olub-olmamasını və əgər atılırsa, onların sahib olduğu enerjini idarə edir.

Eynşteyn'in bu qəribə faktları necə izah etdiyini anlamaq üçün gəlin yenidən anbarı düşünək, bu dəfə isə temperaturu rahat 80 dərəcə oldu. İndi təsəvvür edin ki, landlord, uşaqları heç bir halda sevməyən bir adam olaraq, 15 yaşdan kiçik hər kəsi anbarın alt

mərtəbəsində yaşamağa məcbur edir, böyüklər isə bu alt mərtəbəni böyük bir balkondan müşahidə edə bilirlər. Üstəlik, alt mərtəbədəki uşaqların anbarı tərk etmələrinin tək yolu, 85 sentlik çıxış haqqını qoruya ödəməkdir. (Bu landlord tam bir canavardır.) Böyüklər, yuxarıda izah etdiyimiz kimi, kollektiv sərvəti pul vahidləri ilə tənzimləyənlər, uşaqlara yalnız balkondan pul ataraq kömək edə bilirlər. İndi nələr baş verdiyini görəlim.

Penny daşıyan şəxs bir neçə qəpik atmağa başlayır, amma bu, heç bir uşağın çıxış haqqını ödəmək üçün kifayət qədər kiçikdir. Və çünki "sonsuz" sayda uşaq hər biri düşən pulu tutmağa cılığın şəkildə mübarizə aparır, hətta əgər penny daşıyan şəxs çox böyük məbləğdə pul atsalar belə, heç bir uşaq lazım olan 85 senti yığa bilmir. Eyni şey nickel, dime və ya quarter daşıyan böyüklər üçün də doğrudur. Hər biri inanılmaz dərəcədə böyük məbləğlərdə pul atsalar da, bir uşaq ən yaxşı halda bir sikkə tutacaq (çoxu heç nə də almır) və heç bir uşaq 85 senti toplayıb qapıçıya ödəyə bilməz. Amma sonra dollar daşıyan böyüklər pul atmağa başlayanda—hətta nisbətən kiçik məbləğlər, hər dollar bir-bir atılsa belə—şanslı uşaqlar bir dollar tutduqları təqdirdə dərhal anbarı tərk edə bilirlər. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, bu şəxs dollarları atarkən, tərk edə bilən uşaqların sayı böyük bir şəkildə artır, amma hər birinin qapıçıya 85 sent ödədikdən sonra qalan məbləği yalnız 15 sentdir. Bu, atılan dollarların ümumi sayından asılı olmayaraq belədir.

Bütün bunların fotoelektrik effektlə əlaqəsi budur. Yuxarıda nəzərdən keçirilən eksperimental məlumatlara əsaslanaraq, Eynşteyn Plank'ın dalğa enerjisinin “topaq” şəkli anlayışını işığa yeni bir təsvir vermək üçün istifadə etməyi təklif etdi. Eynşteyn'a görə, işıq şüası əslində kiçik paketlərdən—ışıq hissəciklərindən ibarət bir axın kimi düşünəlməlidir ki, bunlara sonradan "foton" adı verilmişdir (bu ideyadan biz 2-ci Fəsildə işıq saati nümunəmizdə istifadə etmişik). Miqyas barədə bir fikir əldə etmək üçün, bu hissəciyə əsaslanan işıq anlayışına görə, tipik 100 vatlq bir lampa saniyədə təxminən 100 milyard milyard (10^{20}) foton yayır. Eynşteyn bu yeni anlayışı istifadə edərək fotoelektrik effektin mikro-mexanizmini təklif etdi: Bir elektron, kifayət qədər enerjili bir fotonla vurulduğu təqdirdə, metal səthindən atılacaq. Və hər bir fotonun enerjisini nə müəyyən edir? Eksperimental məlumatları izah etmək üçün Eynşteyn Plank'ın izindən gedərək hər bir fotonun enerjisinin işıq dalğasının tezliyinə proporsional olduğunu təklif etdi (proporsionallıq faktoru isə Plank sabitidir).

İndi, uşağın minimum çıxış haqqı kimi, metalda olan elektronlar da fotonun müəyyən bir minimum enerjisi ilə itələnərək səthdən atılmalıdır. (Uşaqların pul üçün mübarizə aparması kimi, çox ehtimal ki, bir elektron bir fotondan artıq vurulmur—çoxu heç vurulmur). Lakin əgər işıq şüasının tezliyi çox aşağıdırsa, onun fərdi fotonları elektronları itələmək üçün lazım olan gücə malik olmayacaq. Məhz, böyüklərin uşaqlara çox sayda pul atmasına baxmayaraq heç bir uşaq çıxış haqqını ödəməyə qadir olmadığı kimi, işıq şüasının tezliyi

(və buna görə də fərdi fotonlarının enerjisi) çox aşağı olduqda, işıq şüasının ümumi enerjisinə baxmayaraq heç bir elektron səthdən atılmayacaq.

Amma uşaqların anbara atılmış pul miqdarı kifayət qədər böyük olduqda dərhal çıxış edə bildikləri kimi, elektronlar da işıq şüasının tezliyi—yəni, onun enerji vahidi—kifayət qədər yüksək olduqda dərhal səthdən atılacaq. Həmçinin, dollarla pul atan böyükələr hər bir dolları atma sayını artırmaqla ümumi atılmış pul miqdarını artırdığı kimi, işıq şüasının ümumi intensivliyi də tərkibindəki fotonların sayını artırmaqla artır. Və eynilə, daha çox dollar daha çox uşağın çıxmasına səbəb olduğu kimi, daha çox foton daha çox elektronun vurulmasına və səthdən atılmasına səbəb olur. Lakin diqqət yetirmək lazımdır ki, bu elektronların hər birinin səthdən çıxandan sonra qalan enerjisi yalnız ona dəyən fotonun enerjisindən asılıdır—bu da işıq şüasının tezliyi ilə müəyyən olunur, ümumi intensivliklə deyil. Həmçinin, uşaqlar neçə dollar atılmasından asılı olmayaraq, hər biri 15 sent ilə anbarı tərk edir, eynilə, hər bir elektron səthdən eyni enerji ilə—və buna görə də eyni sürətlə—çıxır, impingan işığın ümumi intensivliyindən asılı olmayaraq. Daha çox ümumi pul sadəcə daha çox uşağın çıxmasına səbəb olur; işıq şüasının ümumi enerjisi sadəcə daha çox elektronun səthdən atılmasına səbəb olur. Əgər uşaqların daha çox pul ilə anbarı tərk etmələrini istəyiriksə, atılmış pul vahidini artırmalıyıq; əgər elektronların daha yüksək sürətlə səthdən çıxmalarını istəyiriksə, impingan işıq şüasının tezliyini—yəni, metal səthinə vurduğumuz fotonların enerji vahidini artırmalıyıq.

Bu, eksperimental verilənlərlə tam uyğundur. Işığın tezliyi (rəngi) atılan elektronların sürətini müəyyən edir; işığın ümumi intensivliyi isə atılan elektronların sayını müəyyən edir. Beləliklə, Eynşteyn göstərdi ki, Plank'ın enerjinin parçalara ayrılması ilə bağlı fərziyyəsi əslində elektromagnit dalğalarının əsas xüsusiyyətini əks etdirir: Onlar işığın kiçik paketlərindən—fotonlardan—ibarətdir. Belə dalğaların enerji parçalılığı onların parçalarla tərkib olunmalarından irəli gəlir. Eynşteynin bu görkəmli kəşfi böyük irəliləyiş idi. Lakin indi görəcəyimiz kimi, hekayə düşündüyümüz qədər sadə deyil.

Dalğadır, yoxsa Zərrəcik?

Hər kəs bilir ki, su – və dolayısı ilə su dalğaları – çox sayda su molekulundan ibarətdir. Bəs işıq dalğalarının da çoxlu zərrəciklərdən, yəni fotonlardan ibarət olması doğrudanmı təəccüblüdür? Bəli, təəccüblüdür. Amma təəccüb doğuran məqamlar detallardadır. Baxın, üç yüz ildən çox əvvəl Nyuton bildirmişdi ki, işıq zərrəcik axınından ibarətdir, yəni bu fikir tamamilə yeni deyil. Lakin Nyutonun bəzi həmkarları, xüsusilə holland fizik

Kristian Huygens onunla razılaşmırdı və deyirdi ki, işıq bir dalğadır. Bu mövzu uzun müddət müzakirə olundu, amma sonda 1800-cü illərin əvvəlində ingilis fizik Tomas Yanqın apardığı təcrübələr Nyutonun səhv olduğunu göstərdi. Yanqın təcrübəsinin bir forması – “iki yarıq təcrübəsi” adlanan bu quruluş – Şəkil 4.3-də sxematik şəkildə göstərilmişdir. Feynman deyirdi ki, kvant mexanikasının bütün əsaslarını bu sadə təcrübəni dərindən düşünməklə başa düşmək olar, ona görə də bu barədə danışmağa dəyər. Şəkil 4.3-dən göründüyü kimi, işıq, iki yarıq olan nazik bərk bir səthə yönəldilir.

Şüaların keçdiyi yerləri isə fotoqrafik lövhə qeyd edir – şəkildə parlaq sahələr daha çox işıq düşdüyünü göstərir. Təcrübə ondan ibarətdir ki, lövhədə yaranan şəkillər müqayisə edilir – bu şəkillər isə ya bir, ya da hər iki yarığın açıq olduğu və işıq mənbəyinin işlədiyi hallarda alınır. Əgər sol yarıq bağlansa və sağ yarıq açıq qalsa, fotoşəkil Şəkil 4.4-dəki kimi görünəcək. Bu, məntiqlidir, çünki fotoqrafik lövhəyə çatan işıq yalnız açıq olan yarıqdan keçə bilər və buna görə də şəkilin sağ hissəsində cəmlənəcək.

Eyni şəkildə, əgər sağ yarıq bağlanıb sol yarıq açıqdırsa, fotoşəkil Şəkil 4.5-dəki kimi görünəcək. Əgər hər iki yarıq açıqdırsa, Nyutonun işığın zərrəcik modeli bu halda fotoşəkilin Şəkil 4.6-da göstərildiyi kimi olacağını proqnozlaşdırır – yəni Şəkil 4.4 və 4.5-in birləşmiş forması kimi. Əsas fikir ondan ibarətdir ki, əgər Nyutonun işıq zərrəciklərini (korpuskullarını) divara atılan kiçik hissəciklər kimi təsəvvür etsək, keçə bilənlər iki yarığa uyğun olan sahələrdə toplanacaq. Amma işığın dalğa modeli bu vəziyyət üçün – yəni hər iki yarıq açıq olanda – tamamilə fərqli nəticə proqnozlaşdırır.

Gəlin bu nəticəyə baxaq. Bir anlıq təsəvvür edin ki, işıq dalğaları əvəzinə su dalğalarından istifadə edirik. Öldə ediləcək nəticə eyni olacaq, amma su ilə düşünmək daha asandır. Su dalğaları maneəyə dəyəndə, hər yarıqdan çıxan dairəvi su dalğaları yaranır – sanki bir gölməçəyə çınqıl atmış kimi – bu da Şəkil 4.7-də göstərilir. (Bunu sadə şəkildə yoxlamaq olar: su ilə dolu bir qaba iki yarığı olan karton sədd qoymaq kifayətdir.) Hər yarıqdan çıxan dalğalar bir-biri ilə üst-üstə düşdükdə, olduqca maraqlı hadisə baş verir. Əgər iki dalğanın zirvələri üst-üstə düşürsə, həmin nöqtədə su dalğasının hündürlüyü artır – yəni bu, iki ayrı zirvənin hündürlüklərinin cəmidir. Əgər iki dalğanın çökəklikləri üst-üstə düşürsə, həmin nöqtədə dərinlik də eyni şəkildə artır. Və nəhayət, əgər bir yarıqdan çıxan dalğanın zirvəsi digər yarıqdan çıxan dalğanın çökəkliyinə düşürsə, onlar bir-birini ləğv edir. (Əslində, bu prinsip səs-küyü azaldan xüsusi qulaqlıqların iş prinsipidir – onlar gələn səs dalğasının formasını ölçür və ona əks olan başqa bir dalğa yaradır, nəticədə istənməyən səs ləğv olunur.) Bu tam üst-üstə düşmə halları – zirvə ilə zirvə, çökəklik ilə çökəklik və zirvə

ilə çökəklik – arasında isə qismən güclənmələr və ləğv olunmalar baş verir. Əgər siz və bir qrup dostunuz maneəyə paralel şəkildə kiçik qayıqlarda düz bir sıra düzülüb dalğanın keçidi zamanı qayıqlarınızın necə sarsıldığını desəniz, nəticə Şəkil 4.7-nin sağ tərəfindəki kimi görünəcək. Güclü sarsıntı olan yerlər o nöqtələrdir ki, hər iki yarıqdan gələn dalğaların zirvələri (və ya çökəklikləri) üst-üstə düşür. Çox az və ya heç bir sarsıntı olmayan yerlər isə o nöqtələrdir ki, bir yarıqdan gələn zirvə digərindən gələn çökəkliyə düşür və nəticədə bir-birini ləğv edirlər. Fotoqrafik lövhə ona çatan işıq tərəfindən nə qədər “sarsıldığını” qeyd etdiyi üçün, işıq şüasının dalğa modelinə tətbiq edilən eyni məntiq bizə göstərir ki, hər iki yarıq açıq olduqda fotosəkil Şəkil 4.8-dəki kimi olacaq. Şəkil 4.8-də ən parlaq sahələr, hər iki yarıqdan gələn işıq dalğalarının zirvələrinin (və ya çökəkliklərinin) üst-üstə düşdüyü nöqtələrdir. Qaranlıq sahələr isə bir yarıqdan gələn zirvə digər yarıqdan gələn çökəkliyə düşdükdə yaranır və bu, ləğv olunma ilə nəticələnir. İşıqlı və qaranlıq zolaqlardan ibarət bu ardıcılıq “interferensiya naxışı” adlanır. Bu fotosəkil Şəkil 4.6-dakından xeyli fərqlidir və buna görə də işığın zərrəcik modeli ilə dalğa modeli arasında konkret bir fərq yaradan təcrübə mövcuddur. Yanq bu təcrübənin bir formasını həyata keçirdi və nəticələri Şəkil 4.8-dəki ilə uyğun gəldi, bu da işığın dalğa modelini təsdiqlədi. Nyutonun zərrəcik modeli isə yanlış çıxmış oldu (baxmayaraq ki, fiziklərin bunu qəbul etməsi bir qədər zaman aldı). Daha sonra işığın dalğa modeli Maksvell tərəfindən riyazi cəhətdən möhkəm bir təmələ oturduldu.

Amma Nyutonun məşhur cazibə qanununu alt-üst edən Eynşteyn, foton anlayışını təqdim etməklə sanki Nyutonun işığın zərrəcik modelini yenidən canlandırdı. Təbii ki, qarşımızda hələ də eyni sual qalır: zərrəcik modeli necə izah edə bilər ki, Şəkil 4.8-dəki interferensiya naxışı necə yaranır? İlk baxışda belə bir təklif irəli sürmək olar: su H_2O molekullarından – yəni suyun “zərrəciklərindən” ibarətdir. Amma bu zərrəciklər çoxlu sayda birlikdə hərəkət etdikdə su dalğaları yarada bilərlər və bu zaman Şəkil 4.7-dəki kimi interferensiya xüsusiyyətləri ortaya çıxır. Bu baxımdan belə düşünmək məntiqli görünə bilər ki, işığın zərrəcik modeli də – əgər çoxlu sayda foton, yəni işıq zərrəcikləri iştirak edərsə – dalğa xüsusiyyətləri və interferensiya naxışı yarada bilər. Amma əslində mikroskopik dünya çox daha incə və qəribədir. Əgər Şəkil 4.8-dəki işıq mənbəyinin intensivliyi getdikcə azaldılsa və nəhayət elə bir səviyyəyə çatdırılsa ki, fotonlar baryerə bir-bir — məsələn, hər on saniyədə bir — göndərilsin, nəticədə alınan fotosəkil yenə də Şəkil 4.8-dəki kimi olacaq: Sadəcə kifayət qədər gözləmək lazımdır ki, bu ayrı-ayrı işıq zərrəciklərindən (fotonlardan) kifayət qədər çoxu yarıqlardan keçib fotosəkil lövhəsinə çatsın və orada bir nöqtə kimi qeydə alınsın. Bu nöqtələr zamanla toplanaraq interferensiya naxışını — yəni Şəkil 4.8-dəki şəkli — yaradır. Bu, inanılmaz bir haldır. Necə ola bilər ki, ardıcıl olaraq baryerdən keçən və lövhəyə tək-tək dəyən foton zərrəcikləri birgə şəkildə dalğavari işığın parlaq və qaranlıq zolaqlarını yaratsın? Adı məntiqlə düşünəndə, hər bir foton ya sol, ya da sağ yarıqdan

keçməlidir və bu halda nəticə Şəkil 4.6-dakı kimi olmalı idi. Amma belə olmur. Əgər bu fakt səni heyrləndirmirsə, deməli ya sən bunu artıq görmüsən və adıləşib, ya da bu təsvir kifayət qədər canlı olmayıb. Əgər ikinci haldadırsa, gəlın bunu bir az fərqli şəkildə yenidən izah edək. Sol yarığı bağlayırsan və fotonları bir-bir baryerə atırsan. Bəziləri keçir, bəziləri yox. Keçənlər fotoşəkil lövhəsində tək-tək nöqtələr yaradır və nəticə Şəkil 4.4-dəki kimidir. Sonra eyni təcrübəni yenidən, yeni bir lövhə ilə aparırsan, amma bu dəfə hər iki yarığı açırsan. Təbii ki, düşünürsən ki, sadəcə daha çox foton keçəcək və lövhəyə daha çox işıq düşəcək. Amma sonra şəkilə baxanda görürsən ki, birinci təcrübədə qaranlıq olan yerlər ndi parlaqdır — bu gözləniləndir — lakin elə yerlər də var ki, birinci təcrübədə parlaq idilər, indi isə qaranlıqdır — bu da Şəkil 4.8-dəki kimi. Yəni, daha çox foton lövhəyə düşsə də, bəzi sahələrdə işığın parlaqlığı azalıb. Necəsə, zamanla bir-bir ayrılıqda göndərilən bu zərrəcik fotonlar bir-birini ləğv edə bilər. Bunun nə qədər qərribə olduğunu düşün: Əgər yalnız sağ yarıq açıq olsaydı, oradan keçən fotonlar Şəkil 4.8-dəki qaranlıq zolaqlara düşəcəkdı.

Amma sol yarıq da açıq olanda, həmin fotonlar artıq o sahələri vurmur — yəni indi o zolaqlar qaranlıq qalır. Bəs necə ola bilər ki, bir yarıqdan keçən kiçik işıq zərrəciyi digər yarığın açıq olub-olmamasından təsirlənsin? Feynmanın dediyi kimi, bu sanki bir pulemyotla baryerə güllə atırsan və hər iki yarıq açıq olanda, bir-birindən asılı olmayan bu güllələr bir-birini ləğv edir və hədəfdə boş sahələr buraxır — halbuki tək yarıq açıq olanda həmin yerlər vurulurdu. Belə təcrübələr göstərir ki, Eynşteynin işıq zərrəcikləri Nyutonunkilərdən tamamilə fərqlidir. Nədənsə, fotonlar — zərrəcik olmalarına baxmayaraq — işığın dalğavari xüsusiyyətlərini də daşıyırlar. Bu zərrəciklərin enerjisinin dalğa ilə bağlı bir xüsusiyyət — tezlik (frekans) — tərəfindən müəyyən olunması, bu qərribə birləşmənin ilk işarəsidir. Amma fotoeffekt və iki yarıqlı təcrübə bu dərsi tam şəkildə başa salır. Fotoeffekt göstərir ki, işığın zərrəciyə xas xüsusiyyətləri var. İki yarıqlı təcrübə isə göstərir ki, işıq interferensiya — yəni dalğalara məxsus qarışma — xüsusiyyətlərinə malikdir. Bu iki təcrübə birlikdə sübut edir ki, işıq həm dalğa, həm də zərrəcik xüsusiyyətlərinə malikdir. Mikroskopik dünya bizdən tələb edir ki, gündəlik düşüncə tərzimizi — "ya dalğadır, ya da zərrəcik" fikrini — bir kənara qoyaq və onun hər ikisi ola biləcəyini qəbul edək. Feynmanın "kvant mexanikasını heç kim başa düşmür" fikri də məhz burada önə çıxır. Biz "dalğa-zərrəcik dualizmi" kimi sözlər işlədə bilərik. Bu özləri real təcrübələri inanılmaz dəqiqliklə izah edən riyazi formullara çevirə bilərik. Amma bu mikroskopik dünyanın parlaq və heyrtəamiz xüsusiyyətini dərinədən və intuitiv şəkildə anlamaq olduqca çətindir.

Maddə Zərrəcikləri də Dalğalardır

XX əsrin ilk onilliklərində, dövrün ən böyük nəzəri fizikləri bu vaxtadək gizli qalan mikroskopik reallıqları anlamaq üçün yorulmadan çalışdılar. Məsələn, Kopenhagen şəhərində Niels Bohr-un rəhbərliyi ilə parlaq şəkildə qızdırılmış hidrogen atomlarının yaydığı işığın xüsusiyyətlərini izah etməkdə böyük irəliləyiş əldə olundu. Lakin 1920-ci illərin ortalarına qədərki bu və digər işlər, əslində, XIX əsrə aid ideyaların yeni ortaya çıxan kvant anlayışları ilə müvəqqəti birləşdirilməsindən ibarət idi. Bu dövrdə fiziki aləmi izah etmək üçün ortada tam və dəqiq bir nəzəri çərçivə yox idi. Nyutonun hərəkət qanunları və ya Maksvelin elektromaqnit nəzəriyyəsinin aydın və məntiqli strukturu ilə müqayisədə, kvant nəzəriyyəsi hələ qarışıq və natamam idi. 1923-cü ildə gənc fransız zadəganı, Lui de Broyl, kvant sahəsinə yeni bir fikir əlavə etdi. Bu fikir, çox keçmədən müasir kvant mexanikasının riyazi əsaslarını qurmağa yardımçı oldu və ona 1929-cu ildə fizika üzrə Nobel mükafatını qazandırdı. De Broyl, əsasən Eynşteynin xüsusi nisbilik nəzəriyyəsindən qaynaqlanan bir düşüncə zənciri əsasında, dalğa-zərrəcik dualizminin təkcə işığa deyil, maddəyə də aid olduğunu irəli sürdü. O, təxmini olaraq belə düşünürdü:

- Eynşteynin məşhur $E = mc^2$ formulu kütlə ilə enerjini əlaqələndirir,
- Plank və Eynşteyn isə enerjini dalğaların tezliyi ilə əlaqələndirmişdilər,
- Elə isə, bu iki əlaqəni birləşdirsək, kütlə də dalğavari bir forma malik olmalıdır.

Bu fikirlərini ciddi şəkildə işləyib hazırladıqdan sonra, de Broyl irəli sürdü ki, necə ki, işıq dalğa kimi qəbul olunur, amma kvant nəzəriyyəsi onu zərrəcik kimi də izah edə bilər, eləcə də elektron — yəni biz onu adətən zərrəcik kimi tanıyıırıq — əslində dalğa kimi də təsvir edilə bilər. Eynşteyn bu ideyanı dərhal qəbul etdi, çünki bu, onun həm nisbilik, həm də foton nəzəriyyəsinə əsaslanaraq təbii şəkildə inkişaf etmiş bir nəticə idi. Lakin hər hansı bir nəzəriyyə üçün sonda təcrübə sübutu vacibdir.

Bu sübut çox da gözlətmədi — onu Klinton Dəvisson və Lester Gərmerin apardığı təcrübələr təqdim etdi. 1920-ci illərin ortalarında, Davisson və Germer adlı təcrübə fizikləri Bell telefon şirkətində elektron şüalarının nikel səthindən necə əks olunduğunu öyrənirdilər. Bizim üçün vacib olan tək detal budur: bu təcrübədəki nikel kristalları, əvvəlki hissədə izah edilən iki yarıqlı təcrübədəki yarıqlar kimi davranır. Əslində bu təcrübəni tamamilə o biri təcrübənin eyni forması kimi düşünmək olar, sadəcə bu dəfə işıq şüası əvəzinə elektron şüası istifadə olunur. Biz də bu baxış bucağını qəbul edəcəyik.

Davisson və Germer elektronları bu "iki yarıqdan" keçirdikdən sonra onların fosforlu bir ekrana dəyməsinə imkan verdilər. (Elektron ekrana dəyən kimi parlaq bir nöqtə əmələ

gətirirdi — bu, təxminən televizorlarda baş verən prosesə bənzəyir.) Və sonra inanılmaz bir şey müşahidə etdilər: Ortaya çıxan görüntü 4.8-ci şəkildəki kimi bir interferensiya (dalğa qarışması) naxışı idi. Bu təcrübə elektronların da dalğa kimi davrandığını göstərdi — dalğalara xas olan bu qarışma effekti, onların zərrəcik olmasından başqa bir xüsusiyyətə sahib olduqlarını sübut etdi. Fosforlu ekranda yaranan qaranlıq sahələrdə, elektronlar sanki bir-birlərini "ləğv edirdilər" — necə ki, su dalğalarının təpəsi və çökəyi birləşəndə bir-birini yox edir. Daha da inanılmazı budur: Hətta elektron şüasını elə zəiflətsəydilər ki, hər on saniyədə yalnız bir elektron göndərsin, yenə də bu interferensiya naxışı tədricən, nöqtə-nöqtə ekranda yaranacaqdı. Yəni hər bir elektron təkbəşinə ekrana dəyir, amma zaman keçdikcə birlikdə bir dalğa naxışı yaradırlar! Bu bizi qaçılmaz olaraq belə bir nəticəyə gətirir: Elektronlar, təkcə zərrəcik deyil, həm də dalğa xüsusiyyətinə malikdirlər.

Baxmayaraq ki, biz bu hadisəni elektronlar üzərində izah etdik, oxşar təcrübələr göstərir ki, bütün maddələr (yəni hər cür zərrəciklər) dalğa xüsusiyyətinə malikdirlər. Amma bəs bu necə olur? Axı gündəlik həyatımızda maddə bizə bərk və sabit görünür, heç bir dalğaya bənzəmir! Burada de Broyl adlı fizik tərəfindən irəli sürülən bir formül köməyə gəlir: O göstərdi ki, maddənin dalğa uzunluğu (yəni onun "dalğa kimi" hissəsi) Plank sabiti (h) ilə əlaqəlidir. Daha dəqiq desək: $\lambda = h / p$ (maddənin impulsu) Burada h (oxunur: "haş-bar") çox kiçik bir ədəddir (təxminən 1.05×10^{-34}), yəni həddindən artıq balacadır. Bu səbəbdən, gündəlik həyatımızda istifadə etdiyimiz əşyaların — məsələn, topun, stulun, telefonun — dalğa uzunluğu o qədər kiçik olur ki, onu müşahidə etmək mümkünsüzdür. Sadəcə mikroskopik ölçüdə, məsələn elektronlar, protonlar kimi zərrəciklər üçün bu dalğa təbiəti aşkar olur. Bu vəziyyət bir qədər işığın sürəti ilə bağlı olan vəziyyətə bənzəyir: c (ışığın sürəti) çox böyük olduğu üçün məkan və zamanla bağlı real effektlər (nisbilik effektləri) gündəlik həyatda hiss olunmur. Eynilə, h çox kiçik olduğu üçün də maddənin dalğa xüsusiyyətləri gündəlik həyatda hiss edilmir.

Dalğalar nəyin dalğasıdır?

Davisson və Germerin təcrübəsi elektronların dalğa təbiətini açıq şəkildə sübut etdi. Amma bu bizi çox maraqlı bir sualla qarşı-qarşıya qoyur: Əgər elektron bir dalğa kimi davranırsa, bu nə dalğasıdır? Başqa sözlə, "elektron dalğası" deyəndə nəyi nəzərdə tuturuq? Bu suala ilk cavab cəhdi Avstriyalı fizik Ervin Şrödinger tərəfindən irəli sürüldü. O dedi ki, elektron dalğası — elektronun "yayılmış", yəni "səpələnmiş" halıdır. Yəni elektronun enerjisi və mövqeyi fərqli yerlərə paylanmış vəziyyətdədir. Bu fikir bir qədər hiss etdiyimizə uyğundur: elektron bir nöqtədə deyil, sanki bir neçə yerdə "dalğalanır".

Ancaq bu fikir tam düzgün deyildi. Çünki:

- Biz heç vaxt elektronun bir hissəsini — məsələn, yarım elektron və ya üçdə bir elektron görmürük.
- Elektron ya tam olaraq buradadır, ya da tam olaraq başqa yerdə — yarısı burda, yarısı orda deyil.

Bu səbəbdən “yayılmış elektron” anlayışı çətin qəbul edilən və qeyri-dəqiq bir təsəvvür idi.

Max Born-un təklifi: ehtimal dalğası

1926-cı ildə alman fizik Max Born bu problemi daha dəqiq şəkildə izah etdi. O, Şrödingerin ideyasını götürüb, tamamilə yeni bir interpretasiya verdi — və bu günə qədər bütün kvant mexanikası onun bu izahı üzərində qurulub.

Born nə dedi?

Elektron dalğası — elektronun ehtimal dalğasıdır.

Yəni:

- Dalğanın böyük olduğu yerlər — elektronun orada tapılma ehtimalının yüksək olduğu yerlərdir.
- Dalğanın kiçik olduğu yerlər — elektronun orada tapılma ehtimalının az olduğu yerlərdir.

(Bu arada, fiziki olaraq bu ehtimal dalğanın modulunun kvadratı ilə verilir, amma bu texniki detaldır.)

Bu çox qəribə və qeyri-intuitiv bir fikirdir. Amma saysız-hesabsız təcrübə bunu tam təsdiqləyir.

Yəni: elektron (və digər zərrəciklər) əslində bir ehtimal dumanı kimidir – harada olacağını əvvəlcədən bilmərik, yalnız ehtimalını hesablaya bilərik.

Bu, həqiqətən qeyri-adi bir ideyadır. Əsas fizika formulalarında ehtimalın nə işi var? Biz ehtimalın at yarışı, sikkə atma və rulet masasında görməyə alışmışıq, amma bu hallarda

yalnız bizim natamam biliklərimizi əks etdirir. Əgər biz rulet çarxının sürətini, ağ mərmərin çəkisini və sərtliyini, mərmərin çarxa düşdüyü zaman yerləşməsinə və sürətini, kabinələrin və s. materiallarının dəqiq spesifikasiyalarını bilsəydik və hesablamalarımızı yerinə yetirmək üçün kifayət qədər güclü kompüterlərdən istifadə etsəydik, klassik fizika baxımından mərmərin harada dayanacağını dəqiq proqnozlaşdırırdıq. Qumar kazinoları, sizin bütün bu məlumatları əldə etməkdə və mərclərinizi yerləşdirmədən əvvəl lazımi hesablamaları aparmaqda bacarıqsızlığınıza əsaslanır. Amma biz görürük ki, rulet masasında qarşılaşılan ehtimal, dünyanın necə işlədiyinə dair heç bir əsaslı anlayışı əks etdirmir. Kvant mexanikası, əksinə, ehtimal anlayışını kainata daha dərin bir səviyyədə daxil edir. Born və yarım əsrdən çox davam edən təcrübələrə əsasən, maddənin dalğa təbiəti, maddənin özünün əsasən ehtimalı bir şəkildə təsvir edilməli olduğunu göstərir. Makroskopik obyektlər, məsələn, bir fincan kofe və ya rulet çarxı üçün, de Broglie qanunu göstərir ki, dalğa şəxsiyyəti demək olar ki, hiss olunmazdır və əksər adi məqsədlər üçün əlaqəli kvant-mexaniki ehtimal tamamilə nəzərə alınmaya bilər. Amma mikroskopik səviyyədə biz öyrənirik ki, ən yaxşı halda, bir elektrondan müəyyən bir yerdə tapılma ehtimalı olduğunu deməkdən başqa heç nə edə bilmərik.

Probabilistik şərhinin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, əgər bir elektron dalğası digər dalğaların edə biləcəyi şeyi edərsə — məsələn, bir maneəyə çırpılar və müxtəlif növ dalğalar əmələ gətirərsə — bu, elektronun özünün ayrı-ayrı parçalara ayrıldığı anlamına gəlmir. Əksinə, bu, indi elektronun müəyyən bir yerdə tapılma ehtimalı olan bir neçə yer olduğu deməkdir. Praktikada bu, elektronla bağlı müəyyən bir təcrübənin dəfələrlə, tamamilə eyni şəkildə təkrarlanması halında, məsələn, elektronun ölçülən mövqeyi üçün eyni cavabın dəfələrlə tapılmayacağı deməkdir. Əksinə, təcrübənin növbəti təkrarlamaları müxtəlif nəticələr verəcək, amma bu nəticələr elektronun ehtimal dalğasının formasına əsaslanaraq, elektronun hər hansı bir yerdə tapılma sayının necə olacağı ilə müəyyən ediləcək. Əgər ehtimal dalğası (daha dəqiq desək, ehtimal dalğasının kvadratı) A nöqtəsində B nöqtəsindən iki dəfə böyükdürsə, nəzəriyyə proqnozlaşdırır ki, təcrübənin çoxlu təkrarlamalarında elektron A nöqtəsində B nöqtəsindən iki dəfə daha çox tapılacaq. Təcrübələrin dəqiq nəticələri proqnozlaşdırıla bilməz; ən yaxşısı, hər hansı bir nəticənin meydana gəlmə ehtimalını proqnozlaşdırmaqdır.

Yenə də, biz ehtimal dalğalarının dəqiq formasını riyazi cəhətdən müəyyən edə bildiyimiz müddətcə, onların probabilistik proqnozlarını müəyyən bir təcrübəni dəfələrlə təkrarlayaraq sınaqdan keçirə bilərik və beləliklə, bir nəticənin və ya digərinin meydana gəlmə ehtimalını eksperimental olaraq ölçə bilərik. de Broglie'nin təklifindən yalnız bir neçə ay sonra, Schrödinger bu məqsədə doğru mühüm addımı ataraq ehtimal dalğalarının formasını və evrimini idarə edən bir tənlik tapdı, və ya sonradan bunlara dalğa funksiyaları

deyildi. Tezliklə, Schrödinger'in tənliyi və probabilistik şərh, möhtəşəm dərəcədə dəqiq proqnozlar vermək üçün istifadə edilməyə başlandı. Buna görə də, 1927-ci ilə qədər klassik saf baxış itirildi. Keçmişdə bir vaxtlar hərəkətə gətirilmiş və qaçılmaz, təkə müəyyən edilmiş taleyini yerinə yetirən fərdi tərkib hissələrinə sahib olan bir saatlı kainat dövrləri keçmişdə qalmışdı. Kvant mexanikasına görə, kainat sərt və dəqiq riyazi formalizmə görə evrilir, amma bu çərçivə yalnız hər hansı bir müəyyən gələcəyin baş vermə ehtimalını müəyyən edir — hansı gələcəyin gerçəkləşdiyini deyil.

Bir çoxu bu nəticəni narahat edici və ya hətta tamamilə qəbulolunmaz hesab edir. Eynşteyn də onlardan biri idi. Fizikanın ən hörmətli ifadələrindən birində, Eynşteyn kvant nəzəriyyəsi ilə mübarizə aparana belə dedi: "Tanrı kainatla zar atmaz." O, ehtimalın əsas fizika sahəsində görünməsinin, rulet çarxında görünməsinin incə bir versiyası ilə əlaqəli olduğunu düşündü: bizim anlayışımızda bəzi əsas natamamlıqlar. Eynşteyn'in baxışına görə, kainatın gələcəyi, şans amilini daxil edən bir formada mümkün deyildi. Fizika kainatın necə evrildiyini proqnozlaşdırmalıdır, yalnız müəyyən bir evrilişin baş vermə ehtimalını deyil. Amma təcrübə-təcrübə və bəzi ən inandırıcı olanlar, hətta onun ölümündən sonra aparılanlar, inandırıcı şəkildə təsdiq edir ki, Eynşteyn yanılmışdır. İngilis nəzəriyyəçi fiziki Stephen Hawking'in dediyi kimi, bu məsələdə "Eynşteyn qarışıq idi, kvant nəzəriyyəsi isə deyil."

Bununla belə, kvant mexanikasının nə demək olduğunu müzakirəsi dayanmadan davam edir. Hər kəs kvant nəzəriyyəsinin tənliklərini düzgün istifadə edərək dəqiq proqnozlar verməkdə razıdır. Amma ehtimal dalğalarının nə demək olduğu, bir hissəciyin özünün mümkün gələcəklərindən hansı birini "seçməsi" və ya hətta bunun "seçib" seçməməsi, əksinə, paralel kainatların hər zaman genişlənən sahəsində bütün mümkün gələcəkləri yaşamağa bölünməsi məsələsi barədə razılıq yoxdur. Bu şərh məsələləri özlüyündə bir kitab boyda müzakirə olmağa layiqdir və əslində, kvant nəzəriyyəsinə dair bir düşünmə tərzini və ya digərini müdafiə edən çoxsaylı mükəmməl kitablar mövcuddur. Amma görünən odur ki, kvant mexanikasını necə şərh etməyinizdən asılı olmayaraq, bu nəzəriyyə şübhəsiz göstərir ki, kainat bizim gündəlik təcrübələrimizdən baxıldığında çox qəribə prinsiplər üzərində qurulub.

Həm nisbilik, həm də kvant mexanikasının meta-dərsi odur ki, kainatın əsas fəaliyyətlərini dərinəndən araşdırdıqda, gözləmələrimizdən çox fərqli olan cəhətləri aşkara çıxara bilərik. Dərin suallar vermək cəsarəti, cavabları qəbul etmək üçün gözlənilməz çevikliyi tələb edə bilər.

Feynman'ın Perspektivi

Richard Feynman, Eynşteyndən sonra gələn ən böyük nəzəriyyəçi fizikalardan biri idi. O, kvant mexanikasının ehtimal əsasını tam qəbul edirdi, amma II Dünya Müharibəsindən sonra bu nəzəriyyəni düşünmək üçün güclü bir yeni yanaşma təqdim etdi. Rəqəmsal proqnozlar baxımından, Feynman'ın perspektivi əvvəlki ilə tamamilə uyğun gəlir. Lakin onun formulyasiyası olduqca fərqlidir. Gəlin bunu elektronun iki yırtıqla eksperimentinin kontekstində təsvir edək. Şəkil 4.8-də narahat edən şey, hər bir elektronun ya sol yırtıqdan, ya da sağ yırtıqdan keçdiyini təsəvvür etməyimizdir və buna görə də Şəkil 4.4 və 4.5-in birləşməsinin, Şəkil 4.6-da olduğu kimi, nəticə məlumatlarını düzgün təmsil etməsini gözləyirik. Sağ yırtıqdan keçən bir elektron, sol yırtığın da olduğunu bilməməlidir, və ya əksinə. Amma hər necə olur ki, bilir. Yaranan interferensiya nümunəsi, hər iki yırtıqdan da təsirlənən bir şeyin üst-üstə düşməsi və qarışması tələb edir, hətta elektronları bir-bir atsaq belə. Schrödinger, de Broglie və Born bu hadisəni hər bir elektrona ehtimal dalğası təyin edərək izah etdilər. Şəkil 4.7-dəki su dalğalarına bənzər olaraq, elektronun ehtimal dalğası "hər iki yırtığı görür" və qarışmadan yaranan eyni cür interferensiyaya məruz qalır. Ehtimal dalğasının qarışma ilə artırıldığı yerlər, məsələn, Şəkil 4.7-dəki böyük tərpənmə yerləri, elektronun tapılma ehtimalının yüksək olduğu yerlərdir; ehtimal dalğasının qarışma ilə azaldığı yerlər, məsələn, Şəkil 4.7-də minimal və ya heç bir tərpənmə olmayan yerlər, elektronun tapılma ehtimalının aşağı və ya heç olmasa heç vaxt tapılmayacağı yerlərdir. Elektronlar fosforesan ekranı bir-bir vurur və bu ehtimal profilinə uyğun olaraq paylanır və beləliklə, Şəkil 4.8-dəki kimi bir interferensiya nümunəsi qururlar.

Feynman fərqli bir yanaşma götürdü. O, hər bir elektronun ya sol yırtıqdan, ya da sağ yırtıqdan keçdiyi klassik əsas fərziyyəni təxirə saldı. Bunun, necə işlədiyini anlamağın bu qədər əsas bir xüsusiyyət olduğunu düşünə bilərsiniz ki, buna meydan oxumaq mənasızdır. Nəhayət, hər iki yırtıq arasında və fosforesan ekran arasında bölgəyə baxıb hər bir elektronun hansı yırtıqdan keçdiyini müəyyən etmək olmazmı? Ola bilər. Amma indi eksperimentinizi dəyişdirmisiniz. Elektronu görmək üçün ona nəşə etməlisiniz — məsələn, işıq şüası ilə ona işıq salmaq, yəni fotonları üzərindən sıçratmaq. Günlük ölçülərdə fotonlar, ağaclar, rəsmlər və insanlar üzərindən sıçrayaraq onların hərəkət vəziyyətinə əhəmiyyətli bir təsir göstərməyən kiçik tədqiqatçılar kimi davranırlar. Lakin elektronlar kiçik maddə parçalarıdır. Hər hansı bir şəkildə, hansı yırtıqdan keçdiyini müəyyənləşdirmək üçün təcrübənizi nə qədər diqqətlə aparsanız belə, fotonlar elektron üzərindən sıçrayarkən, onların sonrakı hərəkətini mütləq təsir edəcəkdir. Və bu hərəkət dəyişməsi, eksperimentimizin nəticələrini dəyişir. Əgər eksperimenti elə bir qədər pozsanız ki, hər bir elektronun hansı yırtıqdan keçdiyini müəyyən edə bilərsiniz, təcrübələr göstərir

ki, nəticələr Şəkil 4.8-dən Şəkil 4.6-ya dəyişir! Kvant dünyası təmin edir ki, bir dəfə hər bir elektronun ya sol yırtıqdan, ya da sağ yırtıqdan keçdiyi müəyyənləşdikdən sonra, hər iki yırtıq arasındakı interferensiya yox olur. Beləliklə, Feynman öz çağırışını etməkdə haqlıydı, çünki — baxmayaraq ki, dünyada hər bir elektronun bir yırtıqdan digərinə keçməsinə tələb edən təcrübəmiz olsa da — 1920-ci illərin sonlarına doğru fiziklər bu reallığın görünən əsas keyfiyyətini təsdiq etməyə çalışan hər hansı bir cəhdin eksperimentin nəticələrini pozacağını başa düşdülər.

Feynman elan etdi ki, fosforesan ekrana çatmaq üçün hər bir elektron həqiqətən hər iki yırtıqdan keçir. Bu, çılgın səslənsə də, gözləyin: İşlər daha da maraqlılaşır. Feynman, mənbədən fosforesan ekranda verilən bir nöqtəyə gedən hər bir elektronun əslində hər bir mümkün trajektoriyayı eyni anda keçdiyini iddia etdi; bəzi trajektoriyalar Şəkil 4.10-da göstərilmişdir. O, sol yırtıqdan nizamlı şəkildə keçir. Eyni zamanda, sağ yırtıqdan da nizamlı şəkildə keçir. Sol yırtığa doğru gedir, amma birdən kursunu dəyişir və sağ yırtıqdan keçir. Geri-gəlin, nəhayət sol yırtıqdan keçir. O, Andromeda qalaktikasına uzun bir səyahət edir, sonra geri dönüb sol yırtıqdan keçir və ekrana gedir. Və bu, davam edir — Feynman'a görə, elektron eyni zamanda hər mümkün yolu "hiss edir" və başlanğıc mövqeyindən son məqsədinə qədər gedən bütün yolları araşdırır.

Feynman göstərdi ki, o, bu yolların hər birinə bir rəqəm təyin edə bilər və onların birləşmiş ortalaması, dalğa-funksiyası yavaşması ilə hesablanmış ehtimalın eyni nəticəsini verir. Beləliklə, Feynman'ın perspektivindən elektronla əlaqəli heç bir ehtimal dalğası olması lazım deyil. Bunun əvəzinə, biz daha qərribə bir şey təsəvvür etməliyik. Elektronun — hər zaman bir hissəcik olaraq qəbul edilən — ekrandakı istənilən seçilmiş nöqtəyə çatma ehtimalı, ora çatmanın bütün mümkün yollarının birləşmiş təsirindən yaranır. Bu, Feynman'ın kvant mexanikasına "yol üzrə cəm" yanaşması kimi tanınır.

Bu nöqtədə klassik tərbiyəmiz etiraz edir: Necə ola bilər ki, bir elektron eyni anda fərqli yolları izləsin — və bunlardan heç olmasa sonsuz sayda olsun? Bu, müdafiə oluna biləcək bir etiraz kimi görünür, amma kvant mexanikası — bizim dünyamızın fiziki qanunları — belə gündəlik şikayətləri gözardı etməyinizi tələb edir. Feynman'ın yanaşmasını istifadə edərək edilən hesablamaların nəticələri, dalğa funksiyası üsulunun nəticələri ilə üst-üstə düşür və bu da eksperimentlərlə uyğundur. Təbiətin nə olduğunu və nə olmadığını müəyyən etməsinə icazə verməlisiniz. Feynman bir dəfə yazmışdı: "[Kvant mexanikası] təbiəti adi düşüncənin nöqtəyi-nəzərindən absurddur. Və bu, tamamilə eksperimentlərlə uyğundur. Buna görə də, ümid edirəm ki, təbiəti olduğu kimi qəbul edə bilərsiniz — absurd."

Amma təbiət mikroskopik ölçülərdə nə qədər absurd olsa da, şeylər bir şəkildə təşkil olunmalıdır ki, biz gündəlik ölçülərdə təcrübə etdiyimiz tanış, adi hadisələri bərpa edək.

Bu məqsədlə, Feynman göstərdi ki, əgər böyük obyektlərin hərəkətini — məsələn, beysbol topları, təyyarələr və ya planetlər — yoxlasanız, bunlar kiçik hissəciklərə nisbətən çox böyükdür, onun hər yol üçün rəqəm təyin etmə qaydası o qədər təsirlidir ki, bütün yollar yalnız birinin istisna olmaqla bir-birini ləğv edir. Əslində, obyektin hərəkəti baxımından yalnız bir yol vacibdir. Və bu, məhz Nyutonun hərəkət qanunlarından çıxan trajektoriya ilə eynidir. Buna görə də, gündəlik dünyada bizə belə görünür ki, obyektlər — məsələn, havaya atılan bir top — başlanğıc nöqtəsindən təyinat yerinə tək, unikalılıqla və proqnozlaşdırıla bilən bir trajektoriya izləyir. Amma mikroskopik obyektlər üçün Feynman'ın yollar üçün rəqəm təyin etmə qaydası göstərir ki, bir çox fərqli yol obyektin hərəkətinə töhfə verə bilər və tez-tez verir. Məsələn, iki yırtıqlı eksperimentdə bu yollardan bəziləri fərqli yırtıqlardan keçir, bu da müşahidə edilən interferensiya nümunəsini yaradır. Mikroskopik aləmdə buna görə də biz deyə bilərik ki, bir elektron yalnız bir yırtıqdan və ya digərindən keçir. İnterferensiya nümunəsi və Feynman'ın kvant mexanikasının alternativ tərtibatı tam əksini təsdiq edir. Bütün bir kitabın və ya filmin müxtəlif şərhələrinin əsərin müxtəlif tərəflərini başa düşməyimizə daha çox və ya az kömək edə biləcəyi kimi, kvant mexanikasının müxtəlif yanaşmaları da eyni şəkildədir. Onların proqnozları həmişə tamamilə uyğun olsa da, dalğa funksiyası yanaşması və Feynman'ın yol üzrə cəm yanaşması bizə baş verənləri anlamaq üçün fərqli düşüncə tərzləri təqdim edir. Sonradan görəcəyimiz kimi, bəzi tətbiqlər üçün bu yanaşmalardan biri və ya digəri çox dəyərli izah edici bir çərçivə təqdim edə bilər.

Kvant Qəribəliyi

İndi kvant mexanikasına görə kainatın necə işlədiyi barədə dramatik şəkildə yeni bir fikir əldə etməlisiniz. Əgər hələ Bohr'un başgicəlləndirici düsturuna qurban getməmişsinizsə, indi müzakirə edəcəyimiz kvant qəribəliyi ən azından sizi bir qədər başgicəlləndirəcək.

Ən azı nisbilik nəzəriyyələri ilə müqayisədə, kvant mexanikasını həqiqətən qəbul etmək çətinidir — mikroskopik aləmdə doğulub böyüyən kiçik bir insan kimi düşünmək. Lakin nəzəriyyənin bir aspekti var ki, bu, intuisiyanız üçün bir yol göstərən bir təlimat ola bilər, çünki bu, kvant və klassik düşüncəni əsaslı şəkildə fərqləndirən xüsusiyyətin özüdür. Bu, 1927-ci ildə alman fiziki Werner Heisenberq tərəfindən kəşf edilən qeyri-müəyyənlik prinsipidir.

Bu prinsip əvvəlcə sizə qaranlıq gələn bir etirazdan irəli gəlir. Daha əvvəl qeyd etdik ki, hər bir elektronun hansı yırtıqdan keçdiyini (onun mövqeyini) müəyyənləşdirmək, onun sonrakı hərəkətini (onun sürətini) mütləq şəkildə pozur. Amma elə ki, biz birinin varlığını

zəifcə toxunaraq və ya ona çox həvəsli şəkildə arxasından vuraraq təsdiqləyə bilərik, niyə elektronun mövqeyini onun hərəkətinə mümkün qədər az təsir göstərən "daha da yumşaq" bir işıq mənbəyi ilə müəyyənləşdirə bilmirik? XIX əsrin fizikası baxanda, biz bunu edə bilərik. Daha zəif bir lampa (və daha həssas bir işıq detektoru) istifadə edərək, elektronun hərəkətinə çox kiçik təsir göstərə bilərik. Lakin kvant mexanikası özü bu argumentdə bir çatışmazlığı ortaya qoyur. Işıq mənbəyinin intensivliyini azaldarkən, indi bilirik ki, biz onun yaydığı fotonların sayını azaldırıq. Fotonları tək-tək yaymağa başlayanda isə, işığı daha da zəifləndirmək mümkün olmur — onu tamamilə söndürməkdən başqa. Burada bizim "yumşaqlığımızın" kvant mexaniki baxımından bir əsas sərhədi var. Buna görə də, elektronun mövqeyini ölçməklə onun sürətində hər zaman minimum bir pozuntu meydana gətiririk.

Yaxşı, demək olar ki, doğrudur. Plank qanunu bizə bildirir ki, bir fotonun enerjisi onun tezliyinə mütənasibdir (dalğa uzunluğuna tərs mütənasibdir). Buna görə də, daha aşağı tezlikli (daha böyük dalğa uzunluqlu) işıqdan istifadə edərək, hər dəfə daha yumşaq fərdi fotonlar istehsal edə bilərik. Amma burada bir tələ var. Bir dalğanı bir obyektin üzərinə yansıtdıqda, aldığımız məlumat yalnız obyektin mövqeyini dalğanın dalğa uzunluğu ilə ölçülə biləcək bir səhv marjası ilə müəyyənləşdirməyə kifayət edir. Bu vacib faktı intuitiv olaraq başa düşmək üçün, sualtı qaya ilə keçən okean dalğalarının necə təsir etdiyini izləyərək böyük, bir az batmış bir qayanın yerini tapmağa çalışın. Dalğalar qayaya yaxınlaşarkən, bir neçə yuxarı-aşağı dalğa dövrü ardıcıl şəkildə meydana gəlir. Qaya keçdikdən sonra isə, fərdi dalğa dövrləri pozulur — bu, batmış qayanın mövcudluğunun əlamətidir. Lakin ən yaxşı qaydada olan ölçü işarələri kimi, fərdi yuxarı-aşağı dalğa dövrləri dalğa sırasının ən kiçik vahidləridir və buna görə də yalnız onların necə pozulduğuna baxaraq qayanın yerini yalnız dalğa dövrlərinin uzunluğuna bərabər olan səhv marjası ilə müəyyənləşdirə bilərik, yəni dalğanın dalğa uzunluğu ilə. Işıq halında isə, tərkibindəki fotonlar təqribən fərdi dalğa dövrləridir (dalğa dövrlərinin hündürlüyü fotonların sayı ilə müəyyənləşdirilir); buna görə də, bir foton bir obyektin yerini yalnız bir dalğa uzunluğu qədər dəqiqliklə müəyyən etmək üçün istifadə edilə bilər.

Beləliklə, biz kvant mexanikası ilə bağlı bir balans məsələsi ilə qarşı-qarşıyıq. Əgər yüksək tezlikli (qısa dalğa uzunluqlu) işıq istifadə edərixsə, elektronun yerini daha dəqiq müəyyən edə bilərik. Lakin yüksək tezlikli fotonlar çox enerjili olduğundan elektronun sürətini ciddi şəkildə pozur. Əgər aşağı tezlikli (uzun dalğa uzunluqlu) işıq istifadə edərixsə, elektronun hərəkətinə təsiri minimuma endiririk, çünki tərkibindəki fotonlar nisbətən az enerjili olur, lakin elektronun mövqeyini müəyyən etmədə dəqiqliyi itiririk. Heisenberg bu rəqabəti ölçdü və elektronun mövqeyini ölçmə dəqiqliyi ilə sürətini ölçmə dəqiqliyi arasında riyazi bir əlaqə tapdı. O tapdı ki—bizim müzakirəmizlə uyğun olaraq—

hər birinin dəqiqliyi bir-birinə tərs mütənasibdir: Mövqeyin ölçülməsində daha böyük dəqiqlik, mütləq olaraq sürətin ölçülməsində daha böyük qeyri-dəqiqlik tələb edir və əksinə. Ən önəmlisi isə, biz müzakirəmizi yalnız bir xüsusi üsul üçün elektronun yerini müəyyən etmək üzrə qurmuşuq, lakin Heisenberg göstərdi ki, mövqe və sürət ölçmələri arasındakı bu ticarət əsas bir faktdır və istifadə edilən avadanlıqdan və ya tətbiq olunan prosedurdan asılı olmayaraq həmişə doğrudur. Nyuton və ya hətta Eynşteynin çərçivəsində olduğu kimi, burada bir hissəciyin hərəkəti onun yerini və sürətini verərək təsvir olunur, kvant mexanikası isə göstərir ki, mikroskopik səviyyədə siz bu xüsusiyyətlərin hər ikisini tam dəqiqliklə müəyyən edə bilməzsiniz. Həm də, nə qədər dəqiq birini bilsəniz, o biri barədə o qədər az dəqiq bilirsiniz. Və biz bunu elektronlar üçün təsvir etmiş olsaq da, bu fikirlər təbiətin bütün tərkib hissələrinə birbaşa tətbiq olunur.

Eynşteyn, klassik fizika ilə bu fərqi azaldılması üçün iddia etdi ki, kvant nəzəriyyəsi həqiqətən də mövqeyin və sürətin biliklərini məhdudlaşdırma bilsə də, elektron hələ də dəqiq bir mövqeyə və sürətə sahibdir, necə ki, biz həmişə düşünmüşük. Lakin son bir neçə onillikdə, mərhum İrlandiyalı fizikaçı John Bell tərəfindən irəliləyən nəzəri inkişaf və Alain Aspect və onun əməkdaşlarının eksperimental nəticələri göstərdi ki, Eynşteyn səhv olub. Elektronlar və digər bütün maddələr, eyni anda müəyyən bir yerdə olduğunu və müəyyən sürətə sahib olduğunu təsvir etmək mümkün deyil. Kvant mexanikası göstərir ki, belə bir ifadə yalnız kiçik bir şəkildə təsdiqlənə bilməz — yuxarıda izah edildiyi kimi — və o, digər, daha yeni qurulmuş eksperimental nəticələrlə birbaşa ziddiyyət təşkil edir.

Əslində, əgər tək bir elektronu böyük və möhkəm bir qutuda tutub, sonra tərəflərini yavaş-yavaş sıxaraq mövqeyini daha dəqiq müəyyən etməyə çalışsanız, elektronun getdikcə daha da əsəbiləşdiyini görərsiniz. Sanki o, klaustrofobiya ilə boğulmuş kimi, elektron getdikcə daha qarışıq hərəkət edir — qutunun divarlarına qarşı getdikcə daha çılgın və qeyri-müəyyən sürətlə çırpınar. Təbiət öz hissələrini bu cür sıxışdırılmağa icazə vermir. H-Bar da, burada biz \hbar -nin reallıqda olduğundan çox daha böyük olduğunu təsəvvür edirik, buna görə də gündəlik obyektlər kvant təsirlərinə birbaşa məruz qalır; George və Gracie-nin içkilərindəki buz kubikləri də çılgın şəkildə tərpənir, çünki onlar da kvant klaustrofobiyasından əziyyət çəkirlər. H-Bar bir fantaziya dünyasıdır — əslində, \hbar çox kiçikdir — amma məhz bu cür kvant klaustrofobiyası mikroskopik aləmin geniş yayılmış xüsusiyyətidir. Mikroskopik hissəciklərin hərəkəti daha kiçik məkan bölgələrinə sıxıldıqca və araşdırıldıqca getdikcə daha da çılgın olur.

Kvant tunneling adı ilə tanınan diqqətəlayiq bir effekt də qeyri-müəyyənlik prinsipindən yaranır. Əgər plastik bir topu on fut qalınlığında beton divara atsanız, klassik fizika, instinktlərinizin sizə nə baş verəcəyini söylədiyi kimi, topun geri sıçrayacağını təsdiq edir. Bunun səbəbi, topun bu cür möhkəm maneəni keçmək üçün kifayət qədər enerjisinin

olmamasıdır. Lakin, əsas hissəciklər səviyyəsində, kvant mexanikası açıq şəkildə göstərir ki, topu təşkil edən hissəciklərin dalğa funksiyaları — yəni ehtimal dalğaları — divardan kiçik bir hissə ilə keçir. Bu, topun divarı keçib digər tərəfə keçməsinin kiçik — amma sıfır olmayan — ehtimalının olduğunu bildirir. Bu necə ola bilər? Səbəb bir daha Heisenberg-in qeyri-müəyyənlik prinsipinə bağlıdır.

Bunu başa düşmək üçün, təsəvvür edin ki, siz tamamilə kasıbınız və birdən uzaq bir qohumunuzun uzaq bir yerdə öldüyünü və sizə böyük bir var-dövlət buraxdığını öyrənirsiniz. Tək problem ondadır ki, ora getmək üçün təyyarə bileti ala biləcək pulunuz yoxdur. Vəziyyəti dostlarınıza izah edirsiniz: əgər onlar müvəqqəti olaraq bilet üçün pul borc verərsə, var-dövlətinizə çatdıqdan sonra onlara yaxşıca geri ödəyəcəyinizi söyləyirsiniz. Lakin heç kim sizə pul verə bilmir. Lakin, bir köhnə dostunuzun bir hava yolu şirkətində işlədiyini xatırlayırınsınız və eyni xahişi ona edirsiniz. Yenə də o, sizə pul verə bilmir, amma bir həll təklif edir. Hava yolu şirkətinin mühasibatlıq sistemi belədir ki, əgər siz təyinat yerinizə çatdıqdan sonra 24 saat ərzində biletin ödənişini göndərsəniz, heç kim əvvəlcə ödənilmədiyini bilməyəcək. Bu şəkildə siz mirası əldə edə bilərsiniz.

Kvant mexanikasının mühasibat prosedurları çox oxşardır. Necə ki, Heisenberg mövqe və sürət ölçmələrinin dəqiqliyi arasında bir ticarət müqabilinin olduğunu göstərdi, o, enerji ölçmələrinin dəqiqliyi ilə bu ölçməni həyata keçirmək üçün sərf olunan vaxt arasında da oxşar bir ticarət müqabilinin olduğunu göstərdi. Kvant mexanikası iddia edir ki, bir hissəciyin müəyyən bir enerji dəyərində sahib olduğunu və məhz müəyyən bir anın içində olduğunu deyə bilməzsiniz. Enerji ölçmələrinin artan dəqiqliyi, onları həyata keçirmək üçün daha uzun müddət tələb edir. Ümumiyyətlə desək, bu, deməkdir ki, bir hissəciyin sahib olduğu enerji çox böyük dalğalanmalar göstərə bilər, əgər bu dalğalanmalar kifayət qədər qısa bir zaman ölçüsündə baş verərsə. Beləliklə, hava yolu şirkətinin mühasibatlıq sistemi sizə təyyarə bileti üçün pul "borc verməyə icazə verir", əgər onu sürətlə geri ödəsəniz, kvant mexanikası da bir hissəciyə "enerji borc verməyə" icazə verir, əgər o, onu Heisenberg-in qeyri-müəyyənlik prinsipinə uyğun bir zaman çərçivəsində geri qaytara bilsə.

Kvant mexanikasının riyaziyyatı göstərir ki, enerji maneəsi nə qədər böyük olarsa, bu yaradıcı mikroskopik mühasibatlığın baş vermə ehtimalı bir o qədər aşağı olur. Lakin beton divarla qarşılaşan mikroskopik hissəciklər üçün, onlar bəzən və hətta edirlər ki, klassik fizikanın nöqtəyi-nəzərindən mümkün olmayan bir şeyi edirlər — bir anlıq olaraq, daxil olmaq üçün kifayət qədər enerjiləri olmayan bir sahəni keçmək və oradan tunel vasitəsilə keçmək. Araşdırdığımız obyektlər daha mürəkkəb olduqca, daha çox hissəcikdən ibarət olduqca, belə kvant tunneling hələ də baş verə bilər, amma çox ehtimal daxilində olur, çünki bütün fərdi hissəciklər bir yerdə tunel keçmək üçün kifayət qədər şanslı olmalıdırlar.

Lakin George-un itən siqarı, buz kubu birbaşa stəkanın divarını keçərək keçməsi və George və Gracie-nin barın divarından birbaşa keçməsi kimi təəccüblü hadisələr baş verə bilər. H-Bar kimi bir fantaziya dünyasında, burada biz \hbar -nın böyük olduğunu təsəvvür edirik, belə bir kvant tunneling adi haldır. Lakin kvant mexanikasının ehtimal qanunları — və xüsusilə real dünyada \hbar -nın kiçikliyi — göstərir ki, əgər hər saniyə möhkəm bir divara çırpırsınız, onun üzərindən keçmək üçün yaxşı şansınızın olacağı bir cəhdə çatmaq üçün kainatın indiki yaşından daha uzun gözləməlisiniz. Lakin əbədi səbir (və uzunömürlülük) ilə, nəhayət — bir gün — digər tərəfə keçə bilərsiniz.

Kvant mexanikasının riyaziyyatı göstərir ki, enerji maneəsi nə qədər böyük olarsa, bu yaradıcı mikroskopik mühasibatlığın baş vermə ehtimalı bir o qədər aşağı olur. Lakin beton divarla qarşılaşan mikroskopik hissəciklər üçün, onlar bəzən və hətta edirlər ki, klassik fizikanın nöqteyi-nəzərindən mümkün olmayan bir şeyi edirlər — bir anlıq olaraq, daxil olmaq üçün kifayət qədər enerjiləri olmayan bir sahəni keçmək və oradan tunel vasitəsilə keçmək. Araşdırdığımız obyektlər daha mürəkkəb olduqca, daha çox hissəcikdən ibarət olduqca, belə kvant tunneling hələ də baş verə bilər, amma çox ehtimal daxilində olur, çünki bütün fərdi hissəciklər bir yerdə tunel keçmək üçün kifayət qədər şanslı olmalıdırlar. Lakin George-un itən siqarı, buz kubu birbaşa stəkanın divarını keçərək keçməsi və George və Gracie-nin barın divarından birbaşa keçməsi kimi təəccüblü hadisələr baş verə bilər. H-Bar kimi bir fantaziya dünyasında, burada biz \hbar -nın böyük olduğunu təsəvvür edirik, belə bir kvant tunneling adi haldır. Lakin kvant mexanikasının ehtimal qanunları — və xüsusilə real dünyada \hbar -nın kiçikliyi — göstərir ki, əgər hər saniyə möhkəm bir divara çırpırsınız, onun üzərindən keçmək üçün yaxşı şansınızın olacağı bir cəhdə çatmaq üçün kainatın indiki yaşından daha uzun gözləməlisiniz. Lakin əbədi səbir (və uzunömürlülük) ilə, nəhayət — bir gün — digər tərəfə keçə bilərsiniz.

Qeyri-müəyyənlik prinsipi kvant mexanikasının əsasını tutur. Adətən, sual altına alınmayacaq qədər sadə olduğunu düşündüyümüz xüsusiyyətlər — obyektlərin müəyyən mövqelərə və sürətlərə sahib olması və onların müəyyən anlarda müəyyən enerjilərə malik olması — indi Plank sabitinin gündəlik dünya ölçülərində çox kiçik olmasının sadəcə bir nəticəsi kimi görülür. Ən əsas məsələ isə odur ki, bu kvant anlayışı zaman-məkanın strukturlarına tətbiq edildikdə, "cazibə tikişlərində" ölümcül nöqsanlar ortaya çıxarır və bu, bizə son bir əsrdə fizikanın qarşılaşdığı üçüncü və əsas münaqişəni göstərir.

Fəsil 5

Yeni Bir Nəzəriyyəyə Ehtiyac: Ümumi Nisbilik və Kvant Mexanikası

Son yüz ildə fiziki kainat haqqında anlayışımız çox dərindən artıb. Kvant mexanikası və ümumi nisbilik nəzəriyyələri bizə həm atom və atomaltı səviyyələrdə, həm də qalaktikalar, qalaktikalar qrupları və bütün kainatın quruluşu kimi nəhəng miqyaslarda baş verən hadisələri anlamağa və onların nəticələrini qabaqcadan deməyə imkan verir. Bu, çox böyük bir uğurdur. Adi bir qalaktikanın kənarlarında, orta səviyyəli bir ulduzun ətrafında fırlanan bir planetdə yaşayan canlıların yalnız düşüncə və təcrübə vasitəsilə fiziki kainatın ən sirli xüsusiyyətlərini anlamağı bacarması həqiqətən heyvətamizdir. Amma fiziklər təbiətə tam razı qalmırlar — onlar yalnız o zaman qane olurlar ki, kainatın ən dərin və ən əsas mahiyyətinin üzə çıxdığını hiss etsinlər. Məhz buna görə Stephen Hawking bu cür anlayışı "Tanrının zəhnini bilmək" yolunda ilk addım adlandırmışdı. Kvant mexanikası və ümumi nisbilik nəzəriyyələrinin kainatın ən dərin səviyyədə izahını verə bilmədiyinə dair çoxlu sübutlar var. Bu iki nəzəriyyənin işlədiyi sahələr çox fərqli olduğuna görə, adətən bir hadisəni izah etmək üçün ya kvant mexanikasına, ya da ümumi nisbiliyə ehtiyac olur — hər ikisinə eyni anda yox. Ancaq bəzən elə fəvqəladə hallarda — məsələn, qara dəliklərin mərkəz nöqtələrində və ya böyük partlayış (Big Bang) anında olduğu kimi — həm çox böyük kütlələr, həm də çox kiçik ölçülər mövcud olur. Belə hallarda, düzgün izah üçün həm kvant mexanikası, həm də ümumi nisbilik nəzəriyyələri birlikdə istifadə olunmalıdır.

Amma bu iki nəzəriyyəni birləşdirməyə çalışdıqda, sanki odla barıtı qarışdırırmışıq kimi, nəticə tam bir fəlakət olur. Ən dəqiq şəkildə qurulmuş fiziki problemlər belə, bu iki nəzəriyyənin tənlikləri birlikdə istifadə edildikdə mənasız cavablar verir. Bu mənasız cavablar çox vaxt belə olur: bir prosesin baş vermə ehtimalı 20 faiz, 73 faiz və ya 91 faiz deyil, **sonsuzluq** olur. Bəs ehtimalın 1-dən böyük olması nə deməkdir, sonsuz olması nədir?! Bu cür nəticələr bizə göstərir ki, burada ciddi bir problem var. Əgər ümumi nisbilik və kvant mexanikasının əsas xüsusiyyətlərinə yaxından baxsaq, bu problemin nədən qaynaqlandığını müəyyən edə bilərik.

Kvant Mexanikasının Ürəyi

Heisenberg qeyri-müəyyənlik prinsipini kəşf etdikdə, fizika tarixində kəskin bir dönüş baş verdi və bu dönüş bir daha geri qayıtmadı. Ehtimallar, dalğa funksiyaları, müdaxilələr (interferensiya) və kvantlar — bunların hamısı reallığı görmək üçün tamam fərqli bir yanaşmanı tələb edir. Yenə də "köhnə məktəb" klassik fiziklər içərisində bəziləri hələ də ümid edirdi ki, bu yeni yanaşmalar sonda çox da fərqli olmayan bir sistemə çevriləcək və klassik fikirlərlə uzlaşacaq. Amma Heisenbergin qeyri-müəyyənlik prinsipi bu ümidi tamamilə aradan qaldırdı — keçmişə bağlı qalmaq cəhdini qəti şəkildə kəsdi. Bu prinsip bizə deyir ki, kainatı çox kiçik məsafələrdə və çox qısa zaman miqyaslarında araşdırdıqda, hər şey çox qarışıq və hərəkətli görünür. Əvvəlki fəsildə elektron kimi elementar hissəciklərin yerini dəqiq müəyyənləşdirməyə çalışarkən bunun əlamətlərini görmüşdük.

Elektrona daha dəqiq baxmaq üçün ona getdikcə daha yüksək tezlikli işıq (yəni foton) göndəririk. Bu, yerini daha dəqiq göstərməyə imkan verir, amma bunun da bir əvəzini ödəyirik: müşahidəmiz hissəciyin hərəkətinə ciddi şəkildə təsir edir. Yüksək tezlikli fotonlar çox enerjilidir və buna görə də elektronlara "vuraraq" onların sürətini və istiqamətini dəyişirlər. Bu, sanki bir otaqda çoxlu uşaq var və onların hər birinin **yerini** çox dəqiq bilirsən, amma **hərəkət sürəti və istiqaməti** barədə heç bir məlumatın yoxdur — belə bir qarışıqlıq düşün. Elementar hissəciklərin həm yerini, həm də sürətini eyni anda dəqiq bilməyin mümkün olmaması, mikroskopik dünyanın təbii olaraq **qaydasız və dəyişkən** olduğunu göstərir. Bu nümunə qeyri-müəyyənlik və qarışıqlıq arasındakı əsas əlaqəni göstərsə də, əslində hekayənin yalnız bir hissəsini açıqlayır. Məsələn, bu, insanı düşündürə bilər ki, qeyri-müəyyənlik yalnız biz təbiəti qəflətən və təsadüfən müşahidə etdikdə yaranır. Amma bu, doğru deyil. Elektronun kiçik bir qutuda sıxılıb yüksək sürətlə hərəkət edərkən sərt şəkildə reaksiya verməsi nümunəsi bizi gerçəkliyə bir az daha yaxınlaşdırır. Hətta "birbaşa müdaxilə" etmədən, yəni eksperimentçidən gələn fotonun təsirindən belə, elektronun sürəti bir anda bir başqa ana çox ciddi və gözlənilməz şəkildə dəyişir. Amma bu nümunə də Heisenbergin kəşfi ilə bağlı təbiətin mikroskopik xüsusiyyətlərini tam olaraq açmır. Hətta ən sakit vəziyyətdə belə — məsələn, boş bir kosmos bölgəsində — qeyri-müəyyənlik prinsipi bizə deyir ki, mikroskopik baxış bucağından hər şey çox hərəkətli olur. Və bu hərəkət, məsafə və zaman miqyasları getdikcə kiçildikcə daha da qarışıq və həyəcanlı hala gəlir.

Kvant hesablaması bunu başa düşmək üçün vacibdir. Əvvəlki fəsildə gördük ki, necə ki, bir insan mühüm maliyyə maneəsini aşmaq üçün müvəqqəti olaraq pul borclana bilərsə, elektron kimi bir hissəciy də fiziki bir maneəni aşmaq üçün müvəqqəti olaraq enerji

borclarır. Bu doğrudur. Amma kvant mexanikası bizə bu bənzətməni bir mühüm addım daha irəlilətməyə məcbur edir. Təsəvvür edin ki, bir insan var və o, daim borc alır, hər yerdə dost-dost gəzir və onlardan pul istəyir. Neçə müddətə bir dost ona pul verə bilirsə, o qədər böyük borc istəyir. Borc alıb qaytarmaq, borc alıb qaytarmaq — davamlı olaraq, yorulmadan, hər dəfə pul alıb tezliklə geri verir. Bu, Wall Street-də çılgın bir günün sonunda, qiymətlərin dağa-dağa yuxarı və aşağı getdiyi bir vəziyyətə bənzəyir. Bu "daim borc alan" insanın hər an malik olduğu pulun miqdarı çox ciddi dalğalanmalar keçirir, amma sonunda onun maliyyə vəziyyəti, başladığı vəziyyətdən heç bir fərqli olmayacaq — yəni borc alıb qaytardığı qədər heç bir nəticə əldə etməmiş olur.

Heisenbergin qeyri-müəyyənlik prinsipi iddia edir ki, kainatda mikroskopik məsafələr və zaman intervalları üzərində enerji və impulsun daim dəyişib hərəkət etdiyi baş verir. Hətta boş bir kosmos bölgəsində — məsələn, boş bir qutunun içində — qeyri-müəyyənlik prinsipi deyir ki, enerji və impuls qeyri-müəyyəndir: onlar qutunun ölçüsü və zaman miqyası kiçildikcə daha da böyüyən ekstremumlar arasında dəyişir. Bu, sanki qutunun içindəki kosmos bölgəsi enerjini və impulsu daima "borc alan" bir varlıqdır, kainatdan "borc alır" və sonra onu geri qaytarır. Amma bu mübadilələrdə nə iştirak edir? Məsələn, boş bir kosmos bölgəsində? Hər şey. Həqiqətən hər şey. Enerji (və impuls da) ən üstün çevrilə bilən valyutadır. $E = mc^2$ bizə deyir ki, enerji maddəyə çevrilə bilər və əksinə, maddə enerji ola bilər. Beləliklə, əgər enerji dalğalanması kifayət qədər böyükdürsə, məsələn, bir elektron və onun antimaddə yoldaşı olan pozitronun yaranmasına səbəb ola bilər, hətta əgər həmin bölgə əvvəlcə boş idisə! Bu enerji sürətlə geri qaytarılmalı olduğundan, bu hissəciklər bir-birini yox edəcəklər, yaranma prosesində aldıkları enerjini geri verərək. Və bu, enerji və impulsun ala biləcəyi bütün digər formalar üçün də doğrudur — digər hissəciyin yaranması və yox olması, çılgın elektromaqnit sahə dalğalanmaları, zəif və güclü qüvvə sahəsi dalğalanmaları — kvant mexanikasının qeyri-müəyyənliyi bizə deyir ki, kainat mikroskopik miqyaslarda canlı, qarışıq və hərəkətli bir arenadır. Feynman bir dəfə zarafatla demişdi: "Yaradılır və yox edilir, yaradılır və yox edilir — nə qədər zaman israfıdır." Çünki ortalama olaraq borc alma və geri ödəmə bir-birini ləğv edir, bir boş kosmos bölgəsi mikroskopik dəqiqliklə müşahidə edilmədikdə sakit və təmkinli görünür.

Amma qeyri-müəyyənlik prinsipi göstərir ki, makroskopik orta qiymətləndirmə mikroskopik fəaliyyətin zənginliyini gizlədir. Görəcəyimiz kimi, bu qarışıqlıq ümumi nisbilik və kvant mexanikasını birləşdirməyin qarşısındakı maneədir.

Kvant Sahə Nəzəriyyəsi

1930-cu və 1940-cı illərdə nəzəri fiziklər, Paul Dirac, Wolfgang Pauli, Julian Schwinger, Freeman Dyson, Sin-Itiro Tomonaga və Feynman kimi alimlərin rəhbərliyi altında, bu mikroskopik qarışıqlığı idarə edə bilən riyazi formalizmi tapmaq üçün yorulmadan çalışdılar. Onlar aşkar etdilər ki, Schrödingerin kvant dalğa tənliyi (4-cü fəsildə qeyd olunmuş) əslində mikroskopik fizikanın yalnız təxmini təsviridir — bu, mikroskopik qarışıqlığa (həm eksperimental, həm də nəzəri cəhətdən) çox dərindən daxil olmadan çox yaxşı işləyən bir təxmindir, amma əgər daha dərinə getsək, bu, tamamilə yanlış olacaq.

Schrödingerin kvant mexanikasını formullaşdırarkən diqqət yetirmədiyi əsas fizika sahəsi xüsusi nisbilik nəzəriyyəsidir. Əslində, Schrödinger xüsusi nisbilik nəzəriyyəsini ilkin olaraq daxil etməyə çalışmışdı, amma bu onu kvant tənliyinə gətirib çıxardı ki, bu da hidrogenin eksperimental ölçmələri ilə uyğunsuz nəticələr verir. Bu, Schrödingeri fizika sahəsində klassik bir ənənəni, yəni "böl və fəth et" prinsipini tətbiq etməyə ilhamlandırdı: Yəni, bütün fiziki kainat haqqında bildiklərimizi bircə atılmaqla yeni bir nəzəriyyəyə daxil etməyə çalışmaq əvəzinə, ən yaxşısı yeni tədqiqatların önündəki ən son kəşfləri tədricən daxil edərək bir neçə kiçik addım atmaqdır. Schrödinger, eksperimental olaraq kəşf edilmiş dalğa-hissəcik ikiliyini əhatə edən riyazi bir çərçivə tapdı, amma o, həmin erkən anlayış dövründə xüsusi nisbilik nəzəriyyəsini daxil etmədi.

Amma fiziklər tezliklə başa düşdülər ki, xüsusi nisbilik düzgün bir kvant mexanikası çərçivəsi üçün mərkəzi rol oynayır. Bunun səbəbi odur ki, mikroskopik qarışıqlıq bizdən enerji və maddənin, habelə hərəkətin çox müxtəlif yollarla özünü göstərə biləcəyini qəbul etməyi tələb edir — bu fikir, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin $E = mc^2$ tənliyindən irəli gəlir. Xüsusi nisbiliyi gözdən keçirərək, Schrödingerin yanaşması maddənin, enerjinin və hərəkətin elastikliyini nəzərə almadı.

Fiziklər, xüsusi nisbiliyi kvant anlayışları ilə birləşdirmək üçün ilkin olaraq elektromaqnit qüvvəsi və onun maddə ilə qarşılıqlı təsirlərinə yönəldilər. Bir sıra ilham verici inkişafлар vasitəsilə kvant elektrodinamikası yaratdılar. Bu, nisbiliklə əlaqəli kvant sahə nəzəriyyəsi və ya qısa şəkildə kvant sahə nəzəriyyəsi adlanan bir nümunədir. Bu, kvantdır, çünki bütün ehtimal və qeyri-müəyyənlik məsələləri başlanğıcdan daxil edilib; bu, sahə nəzəriyyəsidir, çünki kvant prinsiplərini əvvəlki klassik qüvvə sahəsi anlayışı ilə birləşdirir — bu halda, Maxwell-in elektromaqnit sahəsi ilə. Və nəhayət, bu nisbiliklidir, çünki xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi də başlanğıcdan daxil edilir. (Əgər kvant sahəsi üçün vizual bir metafora istəyirsinizsə, klassik sahə obrazını çəkmə bilərsiniz — məsələn, kosmosu keçirən görünməz sahə xətləri ilə dolu bir okean kimi — amma bu şəkli iki şəkildə dəqiqləşdirməlisiniz.

Birincisi, kvant sahəsinə, məsələn, elektromaqnit sahəsi üçün fotonlar kimi hissəcik komponentlərindən ibarət olaraq təsəvvür etməlisiniz. İkincisi, enerjini, hissəciklərin kütlələri və onların hərəkətləri formasında, davamlı olaraq bir kvant sahəsindən digərinə keçib, məkanda və zamanla titrədiyini təsəvvür etməlisiniz.)

Kvant elektrodinamikası şübhəsiz ki, təbiət hadisələrinin ən dəqiq nəzəriyyəsidir. Onun dəqiqliyini təsvir edən bir nümunə, Cornell Universitetindən olan parça fizikası üzrə mütəxəssis Toichiro Kinoshitanın işlərində tapıla bilər. Kinoshita son 30 ildə kvant elektrodinamikasını istifadə edərək elektronların bəzi detallı xüsusiyyətlərini hesablamaq üçün çox çətin bir iş görüb. Kinoshitanın hesablamaları minlərlə səhifəni doldurur və nəticədə dünyanın ən güclü kompüterləri ilə tamamlanması lazım olub. Lakin bu səylər buna dəyərdi: hesablamalar elektronlar haqqında təcrübə ilə təsdiqlənmiş və bir milyardın bir hissəsindən daha yaxşı dəqiqliklə təxminlər verir. Bu, abstrakt nəzəri hesablamalarla real dünya arasında tamamilə heyrətamiz bir uyğunluqdur.

Kvant elektrodinamikası vasitəsilə fiziklər fotonların "ışığın mümkün olan ən kiçik paketləri" olaraq rolunu möhkəmləndirə biliblər və onların elektronlar kimi elektrik yüklü hissəciklərlə qarşılıqlı təsirlərini riyazi cəhətdən tamamlanmış, proqnozlaşdırıcı və inandırıcı bir çərçivədə açıqlaya biliblər.

Kvant elektrodinamikasının uğuru 1960-cı və 1970-ci illərdə digər fizikləri zəif, güclü və cazibə qüvvələrinin kvant mexaniki anlayışını inkişaf etdirmək üçün analoji bir yanaşma tətbiq etməyə ilhamlandırdı. Zəif və güclü qüvvələr üçün bu, son dərəcə faydalı bir hücum xətti oldu. Kvant elektrodinamikası ilə analoji olaraq, fiziklər güclü və zəif qüvvələr üçün kvant sahə nəzəriyyələri yaratdılar, bunlara kvant kromodinamikası və kvant elektro-zəif nəzəriyyəsi deyilir. "Kvant kromodinamikası" daha məntiqi "kvant güclü dinamikası"ndan daha rəngarəng bir addır, amma yalnız bir addır və daha dərin bir mənası yoxdur; digər tərəfdən, "elektro-zəif" adı təbiət qüvvələrinin anlaşılmasında mühüm bir mərhələni xülasə edir.

Onların Nobel mükafatı qazanan işləri ilə Sheldon Glashow, Abdus Salam və Steven Weinberg zəif və elektromaqnit qüvvələrinin, dünyamızda görünən təsirləri tamamilə fərqli olsa da, kvant sahə nəzəriyyəsi ilə təbii şəkildə birləşdiklərini göstərdilər. Nəhayət, zəif qüvvə sahələri bütün altatomik məsafələrdən başqa hər yerdə demək olar ki, sıfıra enir, halbuki elektromaqnit sahələri — görmə işığı, radio və televizya siqnalları, rentgen şüaları — aydın makroskopik mövcudiyyətə sahibdir. Lakin, Glashow, Salam və Weinberg öz əsərlərində göstərdilər ki, kifayət qədər yüksək enerji və temperaturda — məsələn, Böyük Partlayışdan bir neçə saniyə sonra baş verənlər kimi — elektromaqnit və zəif qüvvə sahələri bir-birinə qarışır, ayırd edilməz xüsusiyyətlər alır və buna görə də daha dəqiq

olaraq elektro-zəif sahələr adlanır. Temperatur düşdükcə, Böyük Partlayışdan bəri davam edən bu proseslə, elektromaqnit və zəif qüvvələr yüksək temperatur şəraitindəki ortaqlarından fərqli şəkildə bərkimiş olaraq — sonradan izah edəcəyimiz simmetriya qırılması prosesi vasitəsilə — müxtəlif görünüşlər alır və buna görə də hazırda yaşadığımız soyuq kainatda bir-birindən fərqli olaraq görünürlər.

Beləliklə, əgər siz hesablayırsınızsa, 1970-ci illərə qədər fizika alimləri dörd qüvvədən üçü (güclü, zəif, elektromaqnit) üçün məntiqli və uğurlu bir kvant-mexaniki təsvir hazırlamışdılar və üçündən ikisinin (zəif və elektromaqnit) həqiqətən birgə bir mənşəyə (elektro-zəif qüvvə) sahib olduğunu göstərmişdilər. Son iki onillikdə, fizika alimləri bu üç qeyri-cazibə qüvvəsinin kvant-mexaniki müalicəsini — onların bir-birləri və 1-ci fəsildə təqdim olunan maddə hissəcikləri arasında necə təsir etdiklərini — çoxsaylı eksperimentlərlə ciddi şəkildə yoxlamışlar. Nəzəriyyə bütün bu sınaqlarla mükəmməl şəkildə başa çıxmışdır. Bir dəfə eksperimentçilər təxminən 19 parametrlə (Cədvəl 1.1-dəki hissəciklərin kütlələri, Cədvəl 1.2-dəki üç qeyri-cazibə qüvvəsinin gücləri, eləcə də bəzi başqa rəqəmlər) ölçdükdən sonra, nəzəriyyəçilər bu rəqəmləri maddə hissəcikləri və güclü, zəif və elektromaqnit qüvvələrinin kvant sahə nəzəriyyələrinə daxil edirlər, nəticədə nəzəriyyənin mikrokosmosla bağlı verdiyi proqnozlar eksperimental nəticələrlə möhtəşəm şəkildə uyğunlaşır. Bu, maddəni bir milyardın bir milyardının bir metrində qədər parçalamağa imkan verən enerjilərə qədər doğrudur, bu da mövcud texnoloji həddir. Bu səbəbdən, fizika alimləri üç qeyri-cazibə qüvvəsi və üç maddə hissəcikləri ailəsi haqqında nəzəriyyəni standart nəzəriyyə və ya (daha çox) hissəcik fizikasının standart modeli adlandırırlar.

Məsajçı Hissəciklər

Standard modelə görə, necə ki foton elektromaqnit sahəsinin ən kiçik komponentidir, güclü və zəif qüvvə sahələrinin də ən kiçik komponentləri vardır. 1-ci fəsildə qısa şəkildə müzakirə etdiyimiz kimi, güclü qüvvənin ən kiçik paketləri qluonlar olaraq tanınır, zəif qüvvənin isə zəif qəza bozonları (ya da daha dəqiq desək, W və Z bozonları) olaraq bilinirlər. Standart model bizə bu qüvvə hissəciklərini daxili strukturu olmayan hissəciklər kimi düşünməyi tapşırır — bu çərçivədə onlar, maddə hissəciklərinin üç ailəsi qədər əsasdırlar.

Fotonlar, qluonlar və zəif qəza bozonları, onları təşkil edən qüvvələri ötürmək üçün mikroskopik mexanizm təmin edir. Məsələn, bir elektrikle yüklənmiş hissəciyin digərini

eyni elektrik yükü ilə itələməsi məsələsini götürək. Bunu təxmini olaraq belə düşünə bilərsiniz: Hər bir hissəciyin elektrik sahəsi ilə əhatə olunması — "elektrik-essensiya"-nın "buludu" və ya "mist"-i — və hər bir hissəciyin hiss etdiyi qüvvə onların müvafiq qüvvə sahələri arasında olan itələmə nəticəsində yaranır. Bunun daha dəqiq mikroskopik təsviri isə bir qədər fərqlidir. Elektromaqnit sahəsi bir foton dəstəsindən ibarətdir; iki yüklü hissəciyin qarşılıqlı təsiri əslində onların öz aralarında fotonları "göndərib" geri alması ilə meydana gəlir. Bu, həmçinin buzda kaykaya çıxan iki insanın bir-birinə necə təsir etdiklərini təsvir etmək üçün təxminən belə izah edilə bilər: Onlar hər biri bir-birinə bol bol bowling topu ataraq hərəkət edirlər. Eyni şəkildə, iki elektrikle yüklü hissəciyin bir-birini təsir etməsi bu ən kiçik işıq paketlərinin qarşılıqlı mübadiləsi vasitəsilə baş verir.

Buz sürüşkənliyi analoqunun vacib bir çatışmazlığı odur ki, top dəyişdirmə hər zaman "itələyici" olur — hər zaman sürüşkənləri bir-birindən uzaqlaşdırır. Əksinə, iki zidd yüklü hissəciklər də fotonlar dəyişdirərək qarşılıqlı təsir göstərir, baxmayaraq ki, nəticədə yaranan elektromaqnit qüvvə cəlbedicidir. Sanki foton, qüvvəni birbaşa ötürən deyil, daha çox alıcıya bu qüvvəyə necə cavab verməli olduğunu bildirən bir mesajın ötürücüsüdür. Eyni yüklü hissəciklər üçün foton "uzaqlaşın" mesajını, əks yüklü hissəciklər üçün isə "bir-birinizə yaxınlaşın" mesajını daşıyır. Buna görə də foton bəzən elektromaqnit qüvvəsinin mesajçı hissəciyi olaraq adlandırılır. Eynilə, qluonlar və zəif ölçü bosonları da güclü və zəif nüvə qüvvələrinin mesajçı hissəcikləridir. Güclü qüvvə, kvarkları protonlar və neytronlar içində saxlayan qüvvədir və bu, fərdi kvarkların qluon dəyişdirməsindən yaranır. Qluonlar, bir növ, bu subatomik hissəcikləri bir yerdə saxlayan "yapışqan" rolunu oynayır. Zəif qüvvə isə, radiasiya parçalanmasında iştirak edən bəzi hissəcik çevrilmələrinə cavabdehdir və bu qüvvə zəif ölçü bosonları tərəfindən ötürülür.

Ölçmə Simmetriyası

Yəqin ki, təbiət qüvvələrinin kvant nəzəriyyəsinin müzakirəsində qəribə olan bir şeyi fərqləndirmişsiniz - o da cazibə qüvvəsidir. Digər üç qüvvə ilə fizikaçılar tərəfindən istifadə olunan uğurlu yanaşmaya baxaraq, fizikaçılar cazibə qüvvəsinin kvant sahə nəzəriyyəsini tapmağa çalışa bilərlər — bir nəzəriyyə ki, burada cazibə qüvvə sahəsinin ən kiçik paketini, gravitonu, onun mesajçı hissəciyi olacaqdır. İlk baxışda, qeyd etdiyimiz kimi, bu təklif xüsusilə uyğun görünür, çünki üç qeyri-cazibə qüvvəsinin kvant sahə nəzəriyyəsi göstərir ki, bu qüvvələr ilə 3-cü fəsildə üzləşdiyimiz cazibə qüvvəsinin bir tərəfi arasında maraqlı bir bənzərlik vardır.

Xatırlayın ki, cazibə qüvvəsi bizə bütün müşahidəçilərin — hərəkət vəziyyətlərindən asılı olmayaraq — tamamilə bərabər olduğunu elan etməyə imkan verir. Normalda sürətlənməyi düşündüyümüz şəxslər belə, özlərini istirahət vəziyyətində olduğunu iddia edə bilərlər, çünki hiss etdikləri qüvvəni cazibə sahəsinə daxil olduqlarına görə izah edə bilərlər. Bu mənada, cazibə simmetriyayı təmin edir: bütün mümkün müşahidə nöqtələrinin və bütün mümkün istinad çərçivələrinin bərabər etibarlılığını təmin edir. Güclü, zəif və elektromaqnit qüvvələri ilə bənzərlik odur ki, onlar da simmetriyaların tətbiqi ilə əlaqəlidir, amma bu simmetriyalar cazibə ilə əlaqəli olandan daha əhəmiyyətli dərəcədə abstraktdır.

Bu incə simmetriya prinsiplərini başa düşmək üçün bir mühüm nümunəyə baxaq. 1-ci Fəsilin son qeydlərindən birində qeyd etdiyimiz kimi, hər bir kvark üç "rəngdə" (qırmızı, yaşıl və mavi adlandırılmışdır, baxmayaraq ki, bunlar sadəcə etiketlərdir və adətən vizual mənada rənglə heç bir əlaqəsi yoxdur) mövcuddur və bu rənglər, elektromaqnit qüvvəsinə necə reaksiya verdiyini müəyyənləşdirən elektrik yükü kimi, güclü qüvvəyə necə reaksiya verdiyini təyin edir. Toplanmış bütün məlumatlar, kvarklar arasında belə bir simmetriyanın olduğunu təsdiqləyir: Hər hansı iki eyni rəngli kvark arasında (qırmızı ilə qırmızı, yaşıl ilə yaşıl və ya mavi ilə mavi) olan qarşılıqlı əlaqələr eynidir, həmçinin hər hansı iki fərqli rəngli kvark (qırmızı ilə yaşıl, yaşıl ilə mavi və ya mavi ilə qırmızı) arasındakı qarşılıqlı əlaqələr də eynidir. Əslində, məlumatlar daha da diqqətəlayiq bir şeyi də dəstəkləyir. Əgər kvarkın daşdığı üç rəng — üç fərqli güclü yük — müəyyən bir şəkildə dəyişdirilsə (təxmini desək, bizim fantastik rəng dilimizdə, məsələn, qırmızı, yaşıl və mavi sarı, indigo və bənövşəyi rənglərinə dəyişdirilsə), hətta bu dəyişikliyin detalları zamanla və ya məkanda dəyişsə belə, kvarklar arasındakı qarşılıqlı əlaqələr yenə də tamamilə dəyişməz qalardı. Bu səbəbdən, necə ki, biz deyirik ki, bir kürə fırlanma simmetriyasını təmsil edir, çünki onu əlimizdə necə fırlatsaq və ya hansı bucaqdan baxsaq da eyni görünür, biz deyirik ki, kainat güclü qüvvə simmetriyasını təmsil edir: Fizika bu qüvvə-yük dəyişikliklərinə qarşı dəyişməzdir — bunlara tamamilə həssas deyil. Tarixi səbəblərdən, fizikaçılar həmçinin güclü qüvvə simmetriyasının "ölçü simmetriya"nın bir nümunəsi olduğunu da deyirlər.

Əsas məqam budur. Necə ki, ümumi nisbilikdə bütün mümkün müşahidə nöqtələri arasındakı simmetriya qravitasiya qüvvəsinin mövcudluğunu tələb edirsə, 1920-ci illərdə Hermann Weyl və 1950-ci illərdə Chen-Ning Yang və Robert Mills tərəfindən aparılan işlər göstərdi ki, gauge simmetriyaları daha digər qüvvələrin mövcudluğunu tələb edir. Ətraf mühitin temperaturunu, hava təzyiqini və rütubətini mükəmməl şəkildə sabit saxlayan və xarici təsirlərə mükəmməl şəkildə uyğunlaşan həssas bir ətraf mühitin idarəetmə sistemi kimi, Yang və Mills-ə görə bəzi növ qüvvə sahələri, qüvvə yüklərindən olan dəyişikliklərə mükəmməl uyğunlaşma təmin edərək, hissəciklər arasındakı fiziki qarşılıqlı əlaqələri

tamamilə dəyişməz saxlayacaq. Kvarq rəng yükünün dəyişməsi ilə əlaqəli gauge simmetriyası üçün tələb olunan qüvvə heç də başqa bir şey deyil, məhz güclü qüvvədir. Yəni, güclü qüvvə olmadan fizika yuxarıda göstərilən rəng yükünün dəyişmələri altında dəyişəcəkdi. Bu anlayış göstərir ki, baxmayaraq ki, qravitasiya qüvvəsi və güclü qüvvə çox fərqli xüsusiyyətlərə malikdir (məsələn, qravitasiya güclü qüvvədən çox zəifdir və son dərəcə böyük məsafələrdə təsir göstərir), onlar bir qədər oxşar bir irsə sahibdirlər: hər biri kainatın müəyyən simmetriyalara sahib olmasını təmin etmək üçün tələb olunur. Bundan əlavə, eyni müzakirə zəif və elektromaqnit qüvvələri üçün də tətbiq olunur və onların mövcudluğunun da digər gauge simmetriyaları ilə bağlı olduğunu göstərir — zəif və elektromaqnit gauge simmetriyalı adlandırılanlar. Beləliklə, bütün dörd qüvvə simmetriya prinsipləri ilə birbaşa əlaqəlidir.

Bu dörd qüvvənin ümumi xüsusiyyəti, bu bölmənin əvvəlində irəli sürülən təklif üçün yaxşı bir ümid doğurur. Yəni, ümumi nisbəliyi kvant mexanikası ilə birləşdirmək səylərimizdə, fizika alimlərinin digər üç qüvvə üçün müvəffəqiyyətlə kvant sahə nəzəriyyələri tapdığı kimi, biz də qravitasiya qüvvəsinin kvant sahə nəzəriyyəsini axtarmalıyıq. İllər ərzində bu cür düşüncə, böyük və nüfuzlu bir fizikaçılar qrupunu bu yolu şiddətlə izləməyə ilhamlandırır, lakin bu sahə təhlükələrlə dolu olub və hələ ki, heç kim onu tamamilə keçə bilməyib. Gəlin, buna nə səbəb olduğuna baxaq.

Ümumi Nisbəlik və Kvant Mexanikası

Ümumi nisbəliyin tətbiq sahəsi adətən böyük, astronomik məsafə ölçüləridir. Bu cür məsafələrdə Eynşteynin nəzəriyyəsi, kütlənin olmadığı halda, məkanın düz olduğunu bildirir, bu, Şəkil 3.3-də göstərildiyi kimi. Ümumi nisbəliyi kvant mexanikası ilə birləşdirməyə çalışarkən, fokusumuzu kəskin şəkildə dəyişməli və məkanın mikroskopik xüsusiyyətlərini araşdırmalıyıq. Bunu Şəkil 5.1-də məkan parçasının daha kiçik hissələrini ardıcıl olaraq böyüdüərək göstəririk. Əvvəlcə, böyüdükcə çox da dəyişiklik olmur; Şəkil 5.1-dəki ilk üç böyütmə səviyyəsində gördüyümüz kimi, məkanın quruluşu əsasən eyni formada qalır. Tamamilə klassik bir yanaşmadan, bu sakit və düz məkan şəklinin istənilən qədər kiçik uzunluq ölçülərinə qədər davam edəcəyini gözləyirik. Lakin kvant mexanikası bu nəticəni köklü şəkildə dəyişdirir. Hər şey, qeyri-müəyyənlik prinsipi ilə bağlı olan kvant dalğalanmalarına tabedir—hətta qravitasiya sahəsi də. Klassik yanaşma, boş məkanın sıfır

gravitasiya sahəsi olduğunu bildirərkən, kvant mexanikası göstərir ki, orta hesabla sıfırdır, lakin əsl dəyəri kvant dalğalanmaları səbəbindən yuxarı və aşağı hərəkət edir. Üstəlik, qeyri-müəyyənlik prinsipi bizə bildirir ki, qravitasiya sahəsinin dalğalanmalarının ölçüsü məkanın daha kiçik hissələrinə fokuslandıqca böyüyür. Kvant mexanikası göstərir ki, heç nə küncə sıxılmaq istəmir; məkanın fokuslanması daha böyük dalğalanmalara səbəb olur.

Qravitasiya sahələri ayrılıqla təzahür etdiyi kimi, bu kvant dalğalanmaları ətraf mühiti daha da şiddətli şəkildə ayır. Biz belə ayılmələrin dördüncü böyütmə səviyyəsində Şəkil 5.1-də əmələ gəldiyini görürük. Daha kiçik məsafə ölçülərinə nüfuz etdikcə, Şəkil 5.1-də beşinci səviyyədə olduğu kimi, qravitasiya sahəsindəki təsadüfi kvant mexanikası dalğalanmalarının, məkanı o qədər sərt şəkildə əyməsi nəticəsində, artıq yüngül əyri bir geometrik obyektə bənzəmədiyini görürük (məsələn, 3-cü fəsildə müzakirə etdiyimiz rezin-membran analoqu). Bunun yerinə, bu, şəkilin ən üst hissəsində göstərilən köpüklənmiş, dalğalı və burulmuş formada olur. John Wheeler bu ultramikroskopik məkan (və zaman) araşdırmasında aşkar olunan hiddətə "kvant köpüyü" adını vermişdir—bu, universumun ənənəvi sol və sağ, irəli və geriye, yuxarı və aşağı (hətta əvvəl və sonra) anlayışlarının mənasını itirdiyi qeyri-adi bir sahəni təsvir edir. Belə qısa məsafə ölçülərində ümumi nisbilik və kvant mexanikası arasında əsaslı ziddiyyətlə qarşılaşırıq. Yüngül bir məkan geometriyası anlayışı, ümumi nisbiliyin mərkəzi prinsipi, kvant dünyasının qısa məsafə ölçülərindəki şiddətli dalğalanmalar tərəfindən məhv edilir. Ultramikroskopik ölçülərdə kvant mexanikasının əsas xüsusiyyəti—qeyri-müəyyənlik prinsipi—ümumi nisbiliyin əsas xüsusiyyəti ilə—məsələn, məkanın (və zamanın) hamar geometrik modeli ilə birbaşa müxalifətdir.

Praktikada bu ziddiyyət çox konkret bir şəkildə özünü göstərir. Ümumi nisbiliyin və kvant mexanikasının tənliklərini birləşdirən hesablamalar adətən eyni qeyri-real cavabı verir: sonsuzluq. Köhnə zaman məktəb müəlliminin barmağından aldığı sərt zərbə kimi, sonsuz cavab təbiətin bizə düzgün olmayan bir şey etdiyimizi bildirməyin yoludur. Ümumi nisbiliyin tənlikləri kvant köpüyünün qızgın hiddətini idarə edə bilmir.

Lakin, nəzərə alın ki, daha adi məsafələrə çəkildikcə (Şəkil 5.1-dəki çəkilişlər ardıcılığını tərsinə izlədikdə), təsadüfi və şiddətli kiçik miqyaslı dalğalanmalar bir-birini ləğv edir—tam olaraq bizim compulsiv borcalanımızın bank hesabının ortalama olaraq heç bir kompulsivliyini göstərmədiyi kimi—və kainatın toxuması üçün hamar geometriya anlayışı yenidən düzgün olur. Bu, nöqtə-matrix şəkilinə baxanda yaşadığınız təcrübəyə bənzəyir: Uzaqdan baxanda şəkilin tərkibindəki nöqtələr birləşir və işıqlılıqda dəyişikliklərin hər hansı bir sahədən digərinə hamar və təbii bir şəkildə keçdiyi təsəvvürünü yaradır. Lakin, şəkili daha kiçik məsafə ölçülərində araşdırdığınızda, onun uzun məsafəli hamar görünüşündən açıq şəkildə fərqləndiyini anlayırsınız. Bu, heç nədir, sadəcə bir-birindən

xeyli ayrılmış ayrı-ayrı nöqtələr toplusudur. Lakin, şəkilin ayrılığını yalnız ən kiçik miqyaslarda araşdırarkən başa düşürsünüz; uzaqdan baxanda hamar görünür. Eynilə, zaman-məkanın toxuması da yalnız ultramikroskopik dəqiqliklə araşdırıldıqda qeyri-hamardır. Buna görə ümumi nisbilik geniş məsafə (və zaman) ölçülərində işləyir—bu ölçülər çoxsaylı astronomik tətbiqlər üçün uyğun ölçülərdir—lakin kiçik məsafə (və zaman) ölçülərində kvant dalğalanmaları səbəbindən uyğunsuz olur. Hamar və yüngül əyilən geometriyanın əsas prinsipi böyük ölçülərdə doğrulanır, amma kiçik ölçülərə çəkildikdə kvant dalğalanmaları səbəbindən pozulur.

Ümumi nisbilik və kvant mexanikasının əsas prinsipləri bizə təxmini məsafə ölçülərini hesablamağa imkan verir ki, bu ölçülərdə Figure 5.1-dəki zərərli fenomenin ortaya çıxması üçün nə qədər kiçilmək lazım olduğunu görək. Plank sabitliyinin kiçikliyi—bu, kvant effektlərinin gücünü idarə edən və qravitasiya qüvvəsinin daxili zəifliyi birləşərək Plank uzunluğu adlanan bir nəticə əldə etməyə səbəb olur ki, bu, təxminən təsəvvür etməkdən çətin olan bir ölçüdür: bir santimetrin milyonda birinin milyarda birinin milyardın birinin milyonda bir hissəsi (10^{-33} santimetr). Beləliklə, Şəkil 5.1-dəki beşinci səviyyə kosmosun ultramikroskopik, sub-Plank uzunluğunda olan mənzərəsini təsvir edir. Ölçü nisbətini anlamaq üçün desək, əgər bir atomu məlum kainatın ölçüsünə böyüdə bilsəydik, Plank uzunluğu ancaq orta ölçülü bir ağacın hündürlüyünə qədər böyüyərdi.

Beləliklə, görürük ki, ümumi nisbilik və kvant mexanikası arasındakı uyğunsuzluq yalnız kainatın olduqca xüsusi bir sahəsində açıq şəkildə görünür. Buna görə də soruşa bilərsiniz ki, bu, narahat olmağa dəyərmi? Həqiqətən də, fizika icması bu məsələyə yanaşarkən vahid bir səs ilə danışmır. Bəzi fizikaçılar bu problemi qeyd etməyə hazırdır, amma sevinclə kvant mexanikasını və ümumi nisbiliyi, tədqiqatlarının tələb etdiyi kimi, Plank uzunluğundan çox daha böyük olan tipik ölçülərdə istifadə etməyə davam edirlər. Lakin digər fizikaçılar var ki, iki əsas fizika prinsipinin—həm ümumi nisbiliyin, həm də kvant mexanikasının—kökündə fundamental olaraq uyğunsuz olmasından dərinlən narahatdırlar. Onlar iddia edirlər ki, bu uyğunsuzluq bizim fiziki kainatı anlamağımızda vacib bir qüsurə işarə edir. Bu fikir, sübutu mümkün olmayan, amma dərin bir şəkildə hiss edilən bir baxışa əsaslanır ki, kainatın ən dərin və ən elementar səviyyədə anlaşıldığında, hissələrinin harmoniya içində birləşdirildiyi məntiqi cəhətdən düzgün bir nəzəriyyə ilə təsvir edilə bilər. Və şübhəsiz ki, bu uyğunsuzluq onların öz tədqiqatlarına nə qədər mərkəzi olsa da, əksər fizikaçılar inanmaqda çətinlik çəkir ki, kainatın ən dərin nəzəri anlayışı iki güclü, amma bir-biri ilə ziddiyyət təşkil edən izah çərçivəsinin riyazi cəhətdən uyğunsuz bir yamaqla tərtib edilmiş olacaqdır.

Fizikaçılar, ümumi nisbiliyi və ya kvant mexanikasını hər hansı bir şəkildə dəyişdirərək bu

münaqişəni aradan qaldırmağa bir çox cəhdlər göstəriblər, amma bu cəhdlər, çox vaxt cəsur və zəka ilə dolu olsa da, ardıcıl olaraq uğursuz olub. Bu, supersim nəzəriyyəsinin kəşfinə qədər davam etdi.

III Hissə: Kosmik Simfoniya

6-cı Fəsil

Sadəcə Musiqi: Supersim Nəzəriyyəsinin Əsasları

Musiqi, kosmik əhəmiyyətli sualları dərk etməyə çalışanlar üçün uzun müddətdir ki, üstünlük verilən metaforalar mənbəyi olub. Qədim Pifaqorun "sferaların musiqisi"ndən tutmuş əsrlər boyunca elmi araşdırmaları istiqamətləndirən "təbiətin harmoniyası"na qədər biz birgə şəkildə təbiətin nəğməsinə göy cisimlərinin sakit hərəkətində və subatom hissəciklərinin coşğun partlayışlarında axtarmışıq. Supersim nəzəriyyəsinin kəşfi ilə bu musiqi metaforaları heyranəmiz şəkildə gerçəyə çevrilir, çünki bu nəzəriyyə göstərir ki, mikroskopik dünya miniatür simlərlə (simlərlə) doludur və bu simlərin titrəyiş naxışları kainatın təkamülünü idarə edir. Supersim nəzəriyyəsinə görə, dəyişikliklərin küləkləri, sanki bir eol (küləklə səslənən) aləti kimi, kainat boyunca əsməkdədir.

Bunun əksinə olaraq, standart model kainatın elementar tərkib hissələrini daxili quruluşu olmayan nöqtəvi hissəciklər kimi təsvir edir. Bu yanaşma nə qədər güclü olsa da (qeyd etdiyimiz kimi, mikrodünyaya dair standart modelin demək olar ki, bütün proqnozları texnologiyanın hazırkı həddi olan bir milyardda bir milyard metr ölçüsünə qədər təsdiqlənmişdir), o, nə tam, nə də yekun nəzəriyyə ola bilməz, çünki cazibə qüvvəsini özündə birləşdirmir. Daha da önəmlisi, cazibə qüvvəsini bu kvant mexanikası çərçivəsində cəhd edərək birləşdirmək uğursuzluqla nəticələnmişdir. Bu, fəzanın strukturu ultramikroskopik məsafələrdə — yəni Plank uzunluğundan da qısa məsafələrdə — güclü şəkildə dalğalanmağa başlayanda ortaya çıxan problemlə bağlıdır. Bu hələ də həll olunmamış ziddiyyət alimləri təbiətin daha dərin bir anlayışını tapmaq üçün araşdırmalara vadar edib. 1984-cü ildə Londonun Queen Mary Kollecinə Maykl Qrin və Kaliforniya Texnologiya İnstitutundan Con Şvarts supersim nəzəriyyəsinin (qısa şəkildə sim nəzəriyyəsi) bu anlayışı təmin edə biləcəyinə dair ilk inandırıcı sübutu təqdim etdilər.

Sim nəzəriyyəsi kainatın ultramikroskopik xüsusiyyətlərinə dair nəzəri təsvirimizi yeni və dərin bir şəkildə dəyişir — elə bir dəyişiklik ki, fiziklər zamanla bunun

Aynçataynın ümumi nisbilik nəzəriyyəsini elə bir şəkildə dəyişdirdiyini anladılar ki, bu dəyişiklik onu kvant mexanikasının qanunları ilə tam uyğun hala gətirir. Sim nəzəriyyəsinə görə, kainatın elementar tərkib hissələri nöqtəvi hissəciklər deyil. Əvəzində, onlar çox nazik rezin lentləri xatırladan, irəli-geri titrəyən, xırda, birölçülü lifciklərdir. Amma ad sizi aldatmasın: Adi bir ip parçasından fərqli olaraq — hansı ki molekulardan və atomlardan ibarətdir — sim nəzəriyyəsindəki simlər maddənin ən dərin qatında yerləşən əsas hissəciklər kimi təklif olunur. Bu nəzəriyyə irəli sürür ki, bu simlər atomları təşkil edən hissəcikləri yaradan ultramikroskopik maddə tərkibləridir. Bu simlər o qədər kiçikdir ki — orta hesabla Plank uzunluğu qədərdir — hətta ən güclü cihazlarla baxıldıqda belə onlar nöqtə şəklində görünürlər. Lak in nöqtəvi hissəcikləri fundamental element kimi simlərlə əvəz etmək sadə bir dəyişiklik kimi görünərsə də, bu dəyişiklik çox böyük nəticələr doğurur. İlk növbədə, sim nəzəriyyəsi ümumi nisbilik nəzəriyyəsi ilə kvant mexanikası arasındakı ziddiyyəti aradan qaldırır kimi görünür. Gördüyümüz kimi, simin fəzada genişlənmiş təbiəti hər iki nəzəriyyəni bir araya gətirə bilən uyumlu bir çərçivə yaratmaq üçün əsas və yeni bir elementdir. İkinci olaraq, sim nəzəriyyəsi əslində tam şəkildə birləşdirilmiş (unifikasiya olunmuş) bir nəzəriyyə təqdim edir, çünki bütün maddə və qüvvələrin eyni əsas tərkibdən — titrəyən simlərdən — meydana gəldiyini irəli sürür. Nəhayət, sonrakı fəsillərdə daha ətraflı müzakirə ediləcəyi kimi, bu təsirli nailiyyətlərdən əlavə, sim nəzəriyyəsi zaman və məkan barədə anlayışımızı bir daha kökündən dəyişir.

Sim Nəzəriyyəsinin Qısa Tarixi

1968-ci ildə, Gabriele Veneziano adlı gənc nəzəri fizik güclü nüvə qüvvəsinin müxtəlif eksperimental müşahidə olunmuş xüsusiyyətlərini anlamağa çalışırdı. O zamanlar İsveçrənin Cenevrə şəhərində yerləşən Avropa hissəcik sürətləndiricisi laboratoriyası olan CERN-də tədqiqatçı olaraq çalışan Veneziano bu problemlə bir neçə il məşğul olmuşdu. Nəhayət, bir gün o, təəccüblü bir nəticəyə gəldi: tamamilə riyazi məqsədlər üçün, təxminən iki yüz il əvvəl məşhur isveçrəli riyaziyyatçı Leonard Eyler tərəfindən yaradılmış mürəkkəb bir düstur — məşhur **Eyler beta-funksiyası** — çox sayda güclü qarşılıqlı təsirə malik hissəciklərin xüsusiyyətlərini eyni anda izah edirmiş kimi görünürdü.

Venezianonun bu müşahidəsi güclü nüvə qüvvəsinin bir çox cəhətlərini riyazi baxımdan ifadə edən güclü bir alət oldu və dünyanın müxtəlif atom toqquşdurucularında toplanan böyük miqdarda məlumatı izah etmək üçün Eylerin beta-funksiyasından və onun müxtəlif ümumiləşmələrindən istifadə etməyə yönəlmiş tədqiqatlara təkan verdi.

Lakin bu müşahidə müəyyən mənada natamam idi. Yəni, bu hal elə bil ki, hansısa bir tələbənin mənasını və əsasını anlamadan əzbərlədiyi formullardan istifadə etməsi kimiydi — Eylerin beta-funksiyası işləyirdi, amma **nəyə görə** işlədiyini heç kim bilmirdi. Bu sadəcə izah axtaran bir düstur idi. Bu vəziyyət 1970-ci ildə dəyişdi. Çikaqo Universitetindən Yoichiro Nambu, Niels Bohr İnstitutundan Holger Nielsen və Stanford Universitetindən Leonard Susskind-in işləri Eylerin düsturunun arxasında gizlənən — o zamana qədər məlum olmayan — fiziki mənanı üzə çıxardı. Bu fiziklər göstərdilər ki, əgər elementar hissəciklər xırda, titrəyən, birölçülü simlər kimi modelləşdirilsə, onların nüvə qarşılıqlı təsirləri Eylerin funksiyası ilə tam uyğun şəkildə təsvir edilə bilər. Onlar belə düşündülər ki, əgər bu simlər kifayət qədər kiçik olsa, xarici görünüşcə yenə də nöqtəvi hissəciklərə bənzəyəcək və beləliklə, eksperimental müşahidələrlə də ziddiyyət təşkil etməyəcəkdir. Bu nəzəriyyə intuitiv olaraq sadə və xoş bir izah təqdim etsə də, çox keçmədən sübut olundu ki, güclü nüvə qüvvəsini izah etmək üçün sim (sim) modeli uğursuzdur. 1970-ci illərin əvvəllərində aparılan və subatom dünyasını daha dərinədən tədqiq edə bilən yüksək enerjili eksperimentlər göstərdi ki, sim modeli bir sıra proqnozlar verir ki, bunlar müşahidələrlə birbaşa ziddiyyət təşkil edir. Eyni dövrdə isə kvant xromodinamikası (QCD) adlanan, nöqtəvi hissəciklər üzərində qurulmuş kvant sahə nəzəriyyəsi inkişaf etdirilirdi və güclü nüvə qüvvəsini izah etməkdə bu nəzəriyyənin böyük uğuru sim nəzəriyyəsinin kənara atılmasına səbəb oldu. Əksər hissəcik fizikləri düşündülər ki, sim nəzəriyyəsi artıq elm tarixinin "tozlu arxivlərinə" göndərilib. Amma bir neçə sədaqətli tədqiqatçı bu nəzəriyyə üzərində işlərini davam etdirdi. Məsələn, Con Şvarts hesab edirdi ki, "sim nəzəriyyəsinin riyazi quruluşu o qədər gözəl və qeyri-adi xüsusiyyətlərə malik idi ki, bu, mütləq hansısa fundamental bir həqiqətə işarə etməliydi".

Fiziklərin sim nəzəriyyəsi ilə bağlı rastlaşdıqları problemlərdən biri də onun "çoxluqdan yaranan çəşqinlik" vəziyyətində olması idi. Yəni nəzəriyyədə elə titrəmə konfigurasiyaları vardı ki, onların xüsusiyyətləri güclü qarşılıqlı təsirləri daşıyan qlyuonlara bənzəyirdi — bu da nəzəriyyənin əvvəlki "güclü qüvvə" iddiasını dəstəkləyirdi. Lakin bu titrəyişlərdən əlavə, nəzəriyyədə eksperimentlərdə müşahidə olunmayan başqa "mesajçı-partlayıcı" hissəciklər də var idi ki, onların nə üçün lazım olduğu məlum deyildi.

1974-cü ildə Şvarts və Fransadakı Ecole Normale Supérieure institutundan Joël Scherk bu ziddiyyətli vəziyyəti bir üstünlüyə çevirmək üçün cəsarətli bir addım atdılar. Onlar bu qəribə "mesajçı kimi" titrəyiş modellərini təhlil etdikdən sonra gördülər ki, bu titrəyişlərin xüsusiyyətləri nəzəri olaraq proqnozlaşdırılan, amma hələ ki müşahidə olunmamış cazibə qüvvəsinin daşıyıcısı olan hissəciyə — **gravitona** — tam uyğundur.

Bu cazibə qüvvəsinin "ən kiçik zərrəcikləri" (yəni gravitonlar) hələlik müşahidə edilməsə də, nəzəri fiziklər onların malik olması gərəkən bəzi əsas xüsusiyyətləri irəli sürə bilirlər

və Scherk ilə Şvartz aşkar etdilər ki, bu xüsusiyyətlər simlərin bəzi konkret titrəyiş formalarında tam şəkildə gerçəkləşir.

Bu nəticəyə əsaslanaraq, Scherk və Schwarz belə qənaətə gəldilər ki, sim nəzəriyyəsinin ilk mərhələdə uğursuz olması onun tətbiq sahəsinin süni şəkildə məhdudlaşdırılması ilə bağlı idi. Onlar belə elan etdilər: **sim nəzəriyyəsi yalnız güclü qüvvəyə aid bir model deyil; o, eyni zamanda cazibə qüvvəsini də özündə birləşdirən bir kvant nəzəriyyəsidir.**

Fizika cəmiyyəti bu təklifi böyük coşqu ilə qarşılamadı. Hətta Con Şvarts xatırlayırdı ki, “bizim işimiz ümumiyyətlə heç kim tərəfindən nəzərə alınmadı”. Artıq o dövrdə cazibə qüvvəsi ilə kvant mexanikasını birləşdirmək yönündə saysız-hesabsız uğursuz cəhdlər olmuşdu. Sim nəzəriyyəsinin güclü nüvə qüvvəsini izah etməkdə uğursuzluğu artıq sübut olunmuşdu və bir çoxları üçün bu nəzəriyyəni daha da iddialı — yəni kainatın tam izahını verə biləcək — bir məqsəd üçün istifadə etməyə çalışmaq mənasız görünürdü.

Daha da pisləşdirici hal isə o oldu ki, 1970-ci illərin sonları və 1980-ci illərin əvvəllərində aparılan tədqiqatlar göstərdi ki, sim nəzəriyyəsi ilə kvant mexanikasının özləri arasında da incə, lakin ciddi ziddiyyətlər var idi. Belə görünürdü ki, cazibə qüvvəsi bir daha mikroskopik səviyyədə kainatın təsvirinə daxil edilməyə müqavimət göstərirdi.

Bu vəziyyət 1984-cü ilə qədər davam etdi. O il, on ildən artıq davam etmiş, lakin əksər fiziklər tərəfindən ya görməzlikdən gəlinmiş, ya da açıq şəkildə rədd edilmiş dərin tədqiqatların zirvəsi olan mühüm bir elmi məqalədə Maykl Qrin və Con Şvarts sim nəzəriyyəsinin qarşılaşdığı bu incə kvant ziddiyyətlərini necə həll etmək mümkün olduğunu göstərdilər. Üstəlik, onlar sübut etdilər ki, nəticədə əldə olunan nəzəriyyə təkcə bir qüvvəni deyil, **bütün dörd təbii qüvvəni** və **bütün maddəni** əhatə edə biləcək qədər geniş və fundamental bir struktur təqdim edir.

Bu nəticənin xəbəri fizika dünyasında yayıldıqca, yüzlərlə hissəcik fizikləri öz mövcud tədqiqatlarını kənara qoyaraq, kainatın ən dərin işləmə prinsiplərini anlamaq yolunda ortaya çıxmış bu “son nəzəri mübarizə meydanı”na tam güclə daxil oldular.

1984-cü ilin oktyabrında Oksford Universitetində magistratura təhsilinə başladım. Kvant sahə nəzəriyyəsi, ölçü (gauge) nəzəriyyəsi və ümumi nisbilik kimi mövzuları öyrənmək məni çox həyəcanlandırırsa da, daha yaşlı magistr tələbələri arasında hiss olunan ümumi bir əhval-ruhiyyə vardı: hissəcik fizikası üçün gələcək ya çox az, ya da ümumiyyətlə yox idi. Standart model artıq qurulmuşdu və onun eksperimental nəticələri dəqiqliklə proqnozlaşdırmaqda göstərdiyi heyranəmiz uğur, sadəcə, onun təfərrüatlı şəkildə təsdiqlənməsinin zaman məsələsi olduğunu göstərirdi.

Bu modelin sərhədlərindən kənara çıxaraq onu cazibə qüvvəsi ilə birləşdirmək və eyni zamanda onun əsaslandığı eksperimental məlumatları — yəni **elementar hissəciklərin kütlələri, onların daşıdıqları qüvvə yükləri və qüvvələrin nisbi güclərini** əks etdirən 19 ədədi — nəzəri olaraq izah etmək, o qədər çətin və gözqorxuducu bir tapşırıq idi ki, ən cəsarətli fiziklər istisna olmaqla, demək olar ki, hər kəs bu çağırışdan uzaq dururdu. Amma altı ay sonra bu əhval-ruhiyyə tamamilə dəyişdi. Green və Schwarz-ın uğuru nəhayət ki, birinci kurs magistr tələbələrinə qədər çatdı və fizika tarixində dərin və əlamətdar bir məqamın içində olmaq hissi əvvəlki laqeydliyi tamamilə əvəzlədi. Bir çoxumuz hər gecə saatlarla işləyirdik ki, sim nəzəriyyəsini başa düşmək üçün tələb olunan geniş və dərin nəzəri fizika biliklərini və abstrakt riyaziyyatı mənimsəyək. 1984–1986-cı illər arasındakı dövr sonradan “birinci supersim inqilabı” (yaxud birinci supersətr inqilabı) kimi tanındı. Bu üç il ərzində dünyanın hər yerindən fiziklər tərəfindən sim nəzəriyyəsi ilə bağlı minə yaxın elmi məqalə yazıldı. Bu tədqiqatlar qəti şəkildə göstərdi ki, standart modelin onillərlə davam edən zəhmətli araşdırmalar nəticəsində kəşf edilmiş bir çox xüsusiyyətləri sim nəzəriyyəsinin geniş və möhtəşəm strukturundan **təbiətən və sadə şəkildə** meydana çıxır.

Maykl Qrin bu barədə belə demişdi:

“Sim nəzəriyyəsi ilə tanış olub, son yüz ildə fizika sahəsində baş vermiş demək olar ki, bütün əsas nailiyyətlərin bu qədər sadə başlanğıc nöqtəsindən — həm də belə zərifliklə — çıxarıldığını görəndə, anlayırsan ki, bu nəzəriyyə öz sinfində bənzərsiz və son dərəcə inandırıcı bir nəzəriyyədir.”

Üstəlik, bu xüsusiyyətlərin bir çoxu üçün — aşağıda daha ətraflı müzakirə ediləcəyi kimi — sim nəzəriyyəsi standart modelin təqdim etdiyindən **daha dolğun və daha qaneedici** izahlar verir. Bu inkişaf bir çox fizikləri inandırdı ki, sim nəzəriyyəsi doğrudan da “son vahid nəzəriyyə” olma vədini yerinə yetirməyə doğru inamla irəliləyir. Bununla belə, sim nəzəriyyəsi ilə məşğul olan alimlər təkrar-təkrar ciddi bir maneə ilə qarşılaşdılar. Teorik fizika tədqiqatlarında tez-tez o cür çətin tənliklərə rast gəlinir ki, onları başa düşmək və ya təhlil etmək olduqca çətinidir. Belə hallarda fiziklər adətən imtina etməz, əvəzinə tənlikləri **təqribi yollarla** həll etməyə çalışırlar. Sim nəzəriyyəsində isə vəziyyət daha da mürəkkəb idi. Burada **tənliklərin özünü müəyyənləşdirmək** belə o qədər çətin oldu ki, bu günə qədər yalnız onların təqribi formalarını tapmaq mümkün olmuşdur. Bu səbəbdən sim nəzəriyyəçiləri yalnız **təqribi tənliklərə təqribi həllər** axtarmaqla məhdudlaşmışdılar.

Birinci supersim inqilabından sonra gələn bir neçə illik sürətli inkişaf dövründən sonra fiziklər başa düşdülər ki, istifadə etdikləri bu təxmini üsullar artıq **vacib suallara cavab vermək üçün kifayət etmir** və bu da nəzəriyyənin daha da irəliləməsinə əngəl törədir.

Təqribi yanaşmaları aşmaq üçün konkret təkliflər olmadığı üçün, bir çox fiziklər məyus olaraq əvvəlki tədqiqat sahələrinə geri döndülər. Amma qalanlar üçün 1980-ci illərin sonları və 1990-cı illərin əvvəlləri **çətin və sınaqlı dövrlər** oldu. Sanki **qızıldan bir xəzinə** möhkəm bir seyfin içində gizlənmişdi və yalnız **balaca bir deşikdən** görsənirdi — sim nəzəriyyəsinin gözəlliyi və potensialı cəlbədicisi idi, lakin onun gücünü açmaq üçün **heç kimin əlində açar yox idi**. Arada mühüm kəşflər bu durğunluq dövrünü pozurdu, amma bu sahədə çalışan hər kəsə aydın idi ki, **əvvəlki təqribi yanaşmaları geridə qoyacaq yeni metodlara** ehtiyac var.

Daha sonra, 1995-ci ildə Cənubi Kaliforniya Universitetində keçirilən **Sims 1995** konfransında baş tutan **nəfəs kəsici bir mühazirədə**, dünyanın aparıcı fiziklərindən ibarət dolu zalı heyretə salaraq **Edward Witten** növbəti addımı atmaq üçün bir plan açıqladı və bununla da **"ikinci supersim inqilabı"** alovlandı. Bu yazı yazıldığı dövrdə, sim nəzəriyyəçiləri əvvəlki nəzəri maneələri dəf etməyə ümid verən **yeni metodlar toplusunu** inkişaf etdirmək üçün ciddi şəkildə çalışırlar. Qarşıda duran çətinliklər dünyanın aparıcı sim fiziklərinin texniki bacarığını ciddi şəkildə sınayacaq, amma **tunelin sonundakı işıq**, hələ uzaqda olsa da, nəhayət **görünməyə başlayır**.

Bu fəsildə və onu izləyən bir neçə fəsildə, biz **birinci supersim inqilabının** və **ikinci supersim inqilabına qədər olan dövrün** nəticəsində əldə edilən anlayışları izah edəcəyik. Zaman-zaman, həmin ikinci inqilabdan qaynaqlanan **yeni nəzəri baxışlara da toxunacağıq**; bu son nailiyyətləri isə daha geniş şəkildə **12-ci və 13-cü fəsillərdə** müzakirə edəcəyik.

Yunanların Atomları, Yenə?

Yuxarıda bu fəsilin əvvəlində qeyd etdiyimiz və **Şəkil 1.1**-də göstərildiyi kimi, sim nəzəriyyəsi iddia edir ki, əgər standart modelin nöqtə hissəcikləri indiki qabiliyyətlərimizdən xeyli dəqiq şəkildə araşdırılsa, hər biri **kiçik, titrəyən bir sim dövrəsindən** ibarət olduğu görünəcəkdir. Bu dövrənin uzunluğu **Plank uzunluğu** qədərdir və bu, **atom nüvəsindən** təxminən **yüz milyard milyard (10²⁰)** dəfə kiçikdir. Bu səbəbdən, indiki dövrümüzdəki təcrübələrin maddənin mikroskopik, sim təbiətini müəyyən edə bilməməsi heç də təəccüblü deyil: simlər, hətta **subatomik hissəciklərin ölçüləri** ilə

belə, çox kiçikdir. Maddəni bir-birinə çırpmaq üçün, əvvəlki hər hansı bir cihazdan **milyon milyard dəfə** daha güclü enerjiyə malik bir **sürətləndiriciyə** ehtiyacımız olacaq ki, bu, simin nöqtə-hissəcik olmadığını birbaşa göstərsin. Yaxın zamanda nöqtə-hissəcikləri simlərlə əvəz etməyin gətirdiyi **heyvətamiz nəticələri** izah edəcəyik, amma əvvəlcə daha əsas bir sualı cavablandırmaq: **Simlər nə ilə tərtib olunur?**

Bu suala iki mümkün cavab var. Birinci cavab budur: simlər **həqiqətən** əsasdır—onlar **atomlardır**, ən kiçik və bölünməz tərkib hissələri, qədim Yunanların dediyi kimi, ən doğru mənada. Hər şeyin və hər şeyin **əsas ən kiçik hissəcikləri** olaraq, onlar mikroskopik dünyanın çoxlu alt strukturlarında **son nöqtəni** təmsil edirlər—Rus matrioshka kuklalarının sonuncusu. Bu baxımdan, simlər **məkan ölçüsünə** malik olsalar da, onların tərkibi ilə bağlı sualın heç bir əhəmiyyəti yoxdur. Əgər simlər daha kiçik bir şeydən ibarət olsaydı, o zaman onlar artıq **əsas** olmazdılar. Bunun yerinə, simlərin tərkibində nə olursa, dərhal onları əvəz edər və kainatın daha da əsas bir tərkib hissəsi olduğunu iddia edərdi. Dil nümunəmizdən istifadə edərək, **paraqraflar cümlələrdən, cümlələr sözlərdən, sözlər isə hərflərdən** ibarətdir. Bəs hərfi nə təşkil edir? Dil baxımından bu, **son nöqtə**dir. Hərflər **hərfdir**—yazılı dilin əsas quruluş elementləridir; onlardan daha da alt bir struktur yoxdur. Onların tərkibini sorğulamaq mənasızdır. Eynilə, bir sim sadəcə **simdir**—çünki daha əsas bir şey yoxdur, o zaman başqa bir maddədən ibarət olmasını təsvir etmək olmaz. Bu, birinci cavabdır.

İkinci cavab isə sadə faktlara əsaslanır: hələlik bilmədiyimiz bir şey var, yəni sim nəzəriyyəsinin **doğru** və ya **son** nəzəriyyə olub-olmaması. Əgər sim nəzəriyyəsi həqiqətən yanlışsa, onda, belə deyək, **simləri** və onların tərkibinin əhəmiyyətsiz sualını unuda bilərik. Bu bir ehtimal olsa da, 1980-ci illərin ortalarından bəri aparılan araşdırmalar bunun **çox qeyri-mümkün** olduğunu göstərir. Lakin tarix bizə mütləq öyrədib ki, kainat haqda anlayışımız dərinlən artdıqca, daha da kiçik mikroskopik tərkib hissələrini tapırıq. Beləliklə, başqa bir ehtimal budur: əgər simlər son nəzəriyyə olmasa, o zaman onlar kosmik soğan kimi bir başqa qatdır, **Plank uzunluğunda** görünən, amma son qat olmayan bir qat. Bu halda, simlər daha da kiçik strukturlardan ibarət ola bilər. Sim nəzəriyyəçiləri bu ehtimalı qaldırıblar və bu fikri davam etdirirlər. Hal-hazırda nəzəri tədqiqatlarda simlərin daha da kiçik alt struktura sahib ola biləcəyinə dair maraqlı izlər var, lakin hələ də heç bir **müəyyən** dəlil yoxdur. Yalnız zaman və intensiv araşdırmalar bu suala **son söz**ü verəcəkdir.

Bundan başqa, 12-ci və 15-ci fəsillərdə bəzi təxminlərdən başqa, burada verdiyimiz müzakirədə simləri ilk cavabda təklif olunan şəkildə qəbul edirik—yəni, biz simləri təbiətin ən əsas tərkib hissəsi kimi qəbul edəcəyik.

Sim nəzəriyyəsi ilə birləşmə

Standart modelin qravitasiya qüvvəsini daxil etməkdə çətinlik çəkməsinin yanında, başqa bir çatışmazlığı daha var: Onun quruluşunun detalları ilə bağlı heç bir izahı yoxdur. Təbiət niyə əvvəlki fəsilərdə və Cədvəl 1.1 və 1.2-də qeyd olunan xüsusi hissəciklər və qüvvələr siyahısını seçdi? Bu tərkib hissələrinin 19 parametri niyə belə qiymətə malikdir? Bu say və onların detallı xüsusiyyətləri çox təsadüfi görünürmü? Bu təsadüfi kimi görünən tərkib hissələrinin arxasında daha dərin bir anlayış varmı, yoxsa kainatın detallı fiziki xüsusiyyətləri sadəcə olaraq təsadüfən “seçilib”?

Standart model özü heç bir izah verə bilməz, çünki o, hissəciklərin siyahısını və onların xüsusiyyətlərini eksperimentlərlə ölçülmüş giriş kimi qəbul edir. Səhmlər bazarının performansını istifadə edərək, portfelinizin dəyərini müəyyən edə bilməzsiz, əgər başlanğıc investisiyalarınızın məlumatı yoxdursa, standart model də əsas hissəciklərin xüsusiyyətlərinin giriş məlumatları olmadan heç bir proqnoz verə bilməz. Eksperimental hissəcik fizikləri bu məlumatları diqqətlə ölçəndən sonra, nəzəriyyəçilər standart modeli istifadə edərək test edilə bilən proqnozlar verə bilirlər, məsələn, müəyyən hissəciklər sürətləndiricidə birləşdirildikdə nə baş verəcəyi. Lakin standart model, Cədvəl 1.1 və 1.2-dəki əsas hissəciklərin xüsusiyyətlərini izah edə bilməz, elə bil ki, Dow Jones göstəricisi bu gün sizin on il əvvəlki səhmdəki ilkin investisiyanızı izah edə bilməz.

Əslində, əgər eksperimentlər mikroskopik dünyada bir qədər fərqli hissəcik məzmunu və bəlkə də bir qədər fərqli qüvvələrlə qarşılıqlı təsir göstərən hissəciklər aşkar etsəydi, bu dəyişikliklər çox asanlıqla standart modelə fərqli giriş parametrləri təqdim etməklə daxil edilə bilərdi. Bu mənada, standart modelin strukturu o qədər çevikdir ki, o, hissəciklərin xüsusiyyətlərini izah edə bilməz, çünki o, çoxsaylı mümkünlükləri özündə saxlaya bilərdi.

Sim nəzəriyyəsi dramatik şəkildə fərqlidir. Bu, unikaldır və çevik olmayan nəzəriyyəvi bir quruluşdur. Yalnız bir ədəd rəqəm tələb edir, aşağıda izah edilən, ölçmələr üçün meyar miqyasını təyin edən bu rəqəm. Mikroskopik dünyaya aid bütün xüsusiyyətlər onun izah etmə gücünün daxilindədir. Bunu başa düşmək üçün, əvvəlcə daha tanış olan tellər barədə düşünək, məsələn, skripkada olanlar. Hər bir belə tel çox müxtəlif (həqiqətən sonsuz sayda) fərqli titrəyiş nümunələrini dəstəkləyə bilər, bu nümunələr rezonans adlanır, məsələn, Şəkil 6.1-də göstərilənlər. Bu dalğa nümunələri, zirvələri və çökəkliyi bərabər şəkildə aralıqla yerləşir və telin iki sabit ucu arasında mükəmməl şəkildə yerləşir. Qulaqımız bu fərqli rezonans titrəyiş nümunələrini fərqli musiqi notları kimi hiss edir. Sim nəzəriyyəsindəki

tellər də oxşar xüsusiyyətlərə malikdir. Telin dəstəkləyə biləcəyi rezonans titrəyiş nümunələri vardır ki, bunlar zirvələri və çökəkliyi tam olaraq telin uzunluğu boyunca bərabər şəkildə yerləşir. Bəzi nümunələr Şəkil 6.2-də verilmişdir. Budur əsas fakt: Necə ki, skripka telinin fərqli titrəyiş nümunələri fərqli musiqi notlarına səbəb olursa, əsas telin fərqli titrəyiş nümunələri fərqli kütlələrə və qüvvə yükərinə səbəb olur. Bu çox vacib bir nöqtə olduğuna görə, bunu bir daha deyək. Sim nəzəriyyəsinə görə, bir əsas "hissəciyin" xüsusiyyətləri—onun kütləsi və müxtəlif qüvvə yükəri—onun daxili telinin icra etdiyi dəqiq rezonans titrəyiş nümunəsi tərəfindən müəyyən edilir.

Bu əlaqəni, bir hissəciyin kütləsi üçün ən asan başa düşmək olar. Məhz bir titrəyişli tel nümunəsinin enerjisi onun amplitudasına—zirvələr və çökəkliyin arasındakı maksimum yer dəyişməsi—və dalğa uzunluğuna—bir zirvə ilə növbəti zirvə arasındakı məsafəyə—bağlıdır. Amplituda nə qədər böyük və dalğa uzunluğu nə qədər qısa olsa, enerji də bir o qədər böyük olur. Bu, intuitiv olaraq gözlədiyiniz bir şeydir—daha həyəcanlı titrəyiş nümunələri daha çox enerji daşıyır, daha sakit olanlar isə daha az enerji daşıyır. Şəkil 6.3-də bir neçə nümunə veririk. Bu yenə də tanışdır, çünki skripka telləri daha güclü çırpıldığında daha çılgın titrəyir, daha diqqətlə çırpıldığında isə daha yavaş titrəyir. İndi xüsusi nisbilik nəzəriyyəsindən bilirik ki, enerji və kütlə eyni şeyin iki tərəfidir: Daha böyük enerji daha böyük kütlə deməkdir və əksinə. Buna görə də, sim nəzəriyyəsinə görə, bir əsas hissəciyin kütləsi onun daxili telinin titrəyiş nümunəsinin enerjisindən asılıdır. Ağır hissəciyələrin daxili telləri daha enerjili şəkildə titrəyir, yüngül hissəciyələrin isə daxili telləri daha az enerjili şəkildə titrəyir.

Bununla birlikdə, bir hissəciyin kütləsi onun cazibəvi xüsusiyyətlərini təyin etdiyi üçün, biz görürük ki, telin titrəyiş nümunəsi ilə hissəciyin cazibə qüvvəsinə reaksiyası arasında birbaşa bir əlaqə mövcuddur. İstifadə olunan arqumentlər bir qədər daha abstrakt olsa da, fiziklər tapıblar ki, telin titrəyiş nümunəsinin digər qüvvələrə qarşı olan xüsusiyyətləri ilə əlaqəli olan digər detallı aspektlər arasında da bənzər bir uyğunluq mövcuddur. Məsələn, bir xüsusi telin daşdığı elektrik yükü, zəif yük və güclü yük dəqiq olaraq onun necə titrədiyinə bağlıdır. Həmçinin, məhz eyni ideya özünü mesajverici hissəciyələr üçün də tətbiq edir. Fotonlar, zəif gauge bozonları və gluonlar kimi hissəciyələr, telin titrəyişinin başqa rezonanslı nümunələridir. Və xüsusilə əhəmiyyətli olan, titrəyişli tel nümunələri arasında bir nümunə tam olaraq qravitonun xüsusiyyətlərinə uyğundur, bu da sim nəzəriyyəsində cazibənin əsas bir hissə olduğunu təmin edir.

Beləliklə, biz görürük ki, sim nəzəriyyəsinə görə, hər bir əsas hissəciyin müşahidə olunan xüsusiyyətləri onun daxili telinin müəyyən bir rezonanslı titrəyiş nümunəsi keçirməsi nəticəsində yaranır. Bu baxış, sim nəzəriyyəsinin kəşfindən əvvəlki dövrdə fizikaçıların qəbul etdiyi baxışdan kəskin fərqlənir; əvvəlki baxışda, əsas hissəciyələr arasındakı fərqlər

belə izah olunurdu ki, faktiki olaraq, hər bir hissəciyə növü "fərqli bir parça parçasından kəsilmişdir." Hər bir hissəciyənin elementar olduğu qəbul edilsə də, hər birinin təmsil etdiyi "material" fərqli olduğu düşünülürdü. Məsələn, elektron "materialı" mənfi elektrik yükü daşıyarkən, neytrino "materialı" elektrik yükü daşıyırdı. Sim nəzəriyyəsi bu şəkli tamamilə dəyişdirir, çünki o, bütün maddənin və bütün qüvvələrin "material"ının eyni olduğunu elan edir. Hər bir əsas hissəciyə bir teldən ibarətdir – yəni, hər bir hissəciyə bir tel olaraq qəbul edilir – və bütün tellər tamamilə eynidir. Hissəciyələr arasındakı fərqlər, onların müvafiq tellərinin fərqli rezonanslı titrəyiş nümunələrini keçirməsindən yaranır. Fərqli əsas hissəciyələr kimi görünənlər, əslində, əsas teldəki fərqli "notlardır." Bütün bu titrəyən tellərdən ibarət olan kainat, kosmik bir simfoniya kimidir.

Bu ümumi baxış göstərir ki, sim nəzəriyyəsi (sim nəzəriyyəsi) həqiqətən də heyvətamiz birləşdirici çərçivə təqdim edir. Maddənin hər bir zərrəciyi və qüvvə daşıyan hər bir hissəcik bir iplə təmsil olunur və bu ipin titrəmə şəkli onun "barmaq izi" kimidir. Kainatda baş verən hər bir fiziki hadisə, proses və ya olay əslində bu ibtidai maddi hissəciklər arasında təsir edən qüvvələrlə izah olunduğuna görə, sim nəzəriyyəsi fiziki aləmi vahid, tam və ümumi şəkildə izah edə biləcək bir nəzəriyyə – hər şeyin nəzəriyyəsi (T.O.E.) olacağına ümid verir.

Sim Nəzəriyyəsinin Musiqisi

Sim nəzəriyyəsi əvvəlki anlayış olan quruluşsuz ibtidai zərrəciklər fikrini aradan qaldırırsa da, köhnə terminlərdən qurtulmaq asan deyil, xüsusilə də onlar gerçəkliyi ən kiçik məsafə ölçülərinə qədər dəqiq təsvir etdikdə. Bu sahədə qəbul olunmuş yanaşmaya uyğun olaraq, biz bundan sonra da "ibtidai zərrəciklər" ifadəsini işlədəcəyik, lakin həmişə bunu belə başa düşəcəyik: "ibtidai zərrəcik kimi görünən, əslində isə titrəyən çox kiçik ip parçaları."

Əvvəlki hissədə biz təklif etdik ki, bu cür ibtidai zərrəciklərin kütləsi və qüvvə yükləri onların simlərinin necə titrəməsindən asılıdır. Bu bizi belə bir nəticəyə gətirir: əgər biz bu əsas simlərin hansı rezonanslı titrəmə formalarında hərəkət edə biləcəyini – yəni onların "çalacaqları notları" – tam dəqiqliklə müəyyən edə bilsək, müşahidə olunan zərrəciklərin xüsusiyyətlərini izah edə bilərik. Beləliklə, sim nəzəriyyəsi ilk dəfə olaraq təbiətdə müşahidə olunan zərrəciklərin xüsusiyyətlərini izah edən bir çərçivə təqdim edir.

Bu mərhələdə biz, belə desək, bir simi (ipi) "əlimizdə tutmalı" və onu müxtəlif formalarda "çalmalıyıq" ki, onun mümkün rezonanslı titrəmə formalarını müəyyənləşdirək. Əgər sim nəzəriyyəsi doğru olsa, bu titrəmə formalarının nəticəsi olaraq maddə və qüvvə

zərrəciklərinin 1.1 və 1.2-ci cədvəllərdə göstərilən müşahidə olunan xüsusiyyətlərini izah edə bilməliyik. Əlbəttə, bir sim o qədər kiçikdir ki, bu təcrübəni sözün əsl mənasında aparmaq mümkün deyil. Bunun əvəzinə, riyazi təsvirlərdən istifadə etməklə biz nəzəri olaraq bir ipi "çalmaq" kimi düşünə bilərik. 1980-ci illərin ortalarında bir çox sim nəzəriyyəçiləri inanırdılar ki, bu prosesi həyata keçirmək üçün lazım olan riyazi analiz demək olar ki, kainatın ən xırda detallı xüsusiyyətlərini belə izah etmək ərəfəsindədir. Bəzi həvəsli fiziklər hətta "Hər şeyin nəzəriyyəsi"nin (T.O.E.) nəhayət tapıldığını elan etdilər.

Ancaq sonrakı on illik təcrübə göstərdi ki, bu inamdan doğan sevinc vaxtından əvvəlmiş. Sim nəzəriyyəsi T.O.E. olmaq potensialına malikdir, lakin hələ də bir sıra ciddi maneələr var. Bu maneələr bizə simin titrəmə spektrini lazımi dəqiqliklə hesablamağa və onu eksperimental nəticələrlə müqayisə etməyə imkan vermir. Hazırda biz hələ bilmirik ki, kainatımızın əsas xüsusiyyətləri – yəni 1.1 və 1.2-ci cədvəllərdə toplanmış məlumatlar – sim nəzəriyyəsi ilə izah oluna bilər ya yox. 9-cu fəsildə biz göstərəcəyik ki, müəyyən açıq şəkildə izah olunacaq fərziyyələr əsasında sim nəzəriyyəsi məlum zərrəcik və qüvvə məlumatları ilə keyfiyyətcə uyğun gələn bir kainat modeli təqdim edə bilər. Lakin bu nəzəriyyədən konkret və dəqiq ədədi proqnozlar çıxarmaq hazırda bizim imkanlarımız xaricindədir. Buna baxmayaraq, sim nəzəriyyəsi o qədər zəngin və geniş əhatəlidir ki, biz onun ən incə detalları haqqında dəqiq bilgilərə malik olmasaq belə, nəzəriyyənin ortaya çıxardığı bir çox yeni fiziki hadisələr barədə dəyərli anlayışlar əldə edə bilərik – bunu isə növbəti fəsillərdə daha ətraflı görəcəyik. **Növbəti fəsillərdə** bu maneələrin vəziyyəti haqqında ətraflı danışacağıq, lakin əvvəlcə onları ümumi şəkildə anlamaq faydalıdır.

Ətrafımızdakı dünyada olan simlər (simlər) müxtəlif gərginlik dərəcələrinə malikdir. Məsələn, ayaqqabının içindən keçirilmiş bir bağ ümumiyyətlə violində bir ucdan digər uca qədər çəkilmiş simdən daha boş olur. Hər iki halda isə bu simlər pianonun polad simləri ilə müqayisədə çox az gərgindir. Sim nəzəriyyəsinin miqyasını müəyyənləşdirmək üçün ehtiyac duyduğu yeganə əsas parametr – bu nəzəriyyədəki ip döngələrinin (looplarının) gərginliyidir. Bəs bu gərginlik necə müəyyən olunur? Əgər biz əsas simi çalmaq imkanı tapsaydıq, onun nə qədər "bərək" və "sərt" olduğunu öyrənə bilərdik və bu üsulla gündəlik həyatda istifadə olunan simlərin gərginliyini ölçdüyümüz kimi, bu simin də gərginliyini ölçmək olardı. Ancaq fundamental simlər o qədər kiçikdir ki, bu üsul mümkün deyil. Buna görə də daha dolaylı bir metoddan istifadə etmək lazımdır. 1974-cü ildə Şerk (Scherk) və Şvars (Schwarz) simin bir xüsusi titrəmə forması nəticəsində graviton adlı zərrəciyin yarana biləcəyini təklif etdilər. Onlar bu ideyadan istifadə edərək sim nəzəriyyəsidəki simlərin gərginliyini dolaylı yolla hesablamağı bacardılar. Onların hesablamaları göstərdi ki, təklif edilən gravitonun yaratdığı qüvvənin gücü, simin gərginliyi ilə tərs mütənəsbidir. Və çünki graviton cazibə qüvvəsini (gravitasiya) ötürən zərrəcik hesab olunur, bu qüvvə

isə öz təbiətinə görə çox zəifdir, nəticədə belə bir nəticəyə gəldilər: bu zəif qüvvəyə uyğun gələn simin gərginliyi son dərəcə böyük olmalıdır – təxminən **10³⁹ ton**. Bu isə Plank gərginliyi (Plank tension) adlanır. Bu o deməkdir ki, fundamental simlər bizim gündəlik həyatda rast gəldiyimiz simlərlə müqayisədə olduqca sərtidir. Bu isə üç mühüm nəticəyə səbəb olur.

Sərt Simlərin Üç Nəticəsi

Birinci olaraq, necə ki, violində və ya pianoda simin ucları bərkidilib və onların uzunluğu sabitdir, fundamental simlərdə belə bir bərkidici çərçivə yoxdur. Yəni bu simlərin ölçüsünü müəyyən bir çərçivə ilə məhdudlaşdıran heç nə yoxdur. Bunun əvəzinə, çox böyük gərginlik (Plank gərginliyi) sim nəzəriyyəsindəki ip döngələrinin son dərəcə kiçik ölçülərə qədər yığılmasına səbəb olur. Ətraflı riyazi hesablamalar göstərir ki, bu gərginlik nəticəsində simin uzunluğu adətən **Plank uzunluğuna** – yəni təxminən **10⁻³³ santimetrə** – bərabər olur (bu daha əvvəl də qeyd olunmuşdu). **İkinci olaraq**, bu böyük gərginlik səbəbindən sim nəzəriyyəsində titrəyən tipik bir döngənin enerjisi də son dərəcə yüksək olur. Bunu belə başa düşmək olar: bir sim nə qədər çox gərginlik altındadırsa, onu titrətmək bir o qədər çətinidir. Məsələn, violinin ipini çalmaq və titrətmək pianonun polad simlərini çalmaqdan daha asandır. Beləliklə, fərqli gərginlik altında olan iki sim tam eyni şəkildə titrəsə də, onların enerjisi eyni olmayacaq. Daha yüksək gərginlik altında olan simin enerjisi daha çox olacaq, çünki onu hərəkətə gətirmək üçün daha çox enerji sərf etmək lazımdır.

Bu bizə göstərir ki, titrəyən bir simin enerjisi iki əsas amildən asılıdır:

1. **Simin necə titrəməsi** – daha “həyəcanlı”, sürətli və mürəkkəb vibrasiya nümunələri daha yüksək enerji ilə əlaqələndirilir;
2. **Simin gərginliyi** – gərginlik nə qədər böyükdürsə, enerji də bir o qədər yüksək olur.

Əvvəlcə bu təsvir insana elə bir fikir verə bilər ki, əgər sim daha yavaş, sakit və sadə vibrasiya nümunələri qəbul etsə (daha az dalğa zirvələri və çökəkliklərlə), onun enerjisi azalar. Ancaq 4-cü fəsilə fərqli bir kontekstdə gördüyümüz kimi, **kvant mexanikası** bu düşüncənin doğru olmadığını deyir.

Vibrasiyalar və ya dalğavari dəyişikliklər kvant dünyasında yalnız **diskret (kəsik) vahidlərdə** mövcud ola bilər. Sadə dillə desək, necə ki, anbarda işləyən bir əməkdaş ona verilmiş pul vahidlərinin tam ədədlə çoxunu daşıyır (məsələn, 5 manatlıq əskinaslardan 3

dənə = 15 manat), eləcə də bir simin titrəmə enerjisi müəyyən minimum enerji vahidinin tam ədədlə çoxudur.

Bu minimal enerji vahidi:

- simin **gərginliyi ilə** düz mütənasibdir,
- və eyni zamanda titrəmə nümunəsindəki **dalğa sayına** – zirvə və çökəkliklərin sayına – da bağlıdır.
- Tam ədəd isə həmin vibrasiyanın **amplitudası** (dalğanın “gücü”) ilə təyin olunur.
-

Burada əsas fikir budur:

Minimal enerji vahidləri simin gərginliyi ilə düz mütənasib olduğu üçün, bu gərginlik çox böyük olduğuna görə, həmin enerji vahidləri də adi zərrəcik fizikası ölçüsündə **çox böyük** sayılır. Bunlar **Plank enerjisi** adlanan ölçü ilə ifadə olunur. Əgər Plank enerjisini məşhur $E = mc^2$ düsturu ilə kütləyə çevirsək, bu, **bir protonun kütləsindən 10 milyard milyard dəfə (10^{19} dəfə)** böyük olur. Bu nəhəng kütlə, zərrəcik fizikasında **Plank kütləsi** adlanır və bu təxminən:

- bir toz zərrəsinin,
- və ya milyonlarla bakteriyanın toplam kütləsinə bərabərdir.

Nəticə olaraq, sim nəzəriyyəsində titrəyən bir döngənin tipik kütləsi adətən Plank kütləsinin **1, 2, 3... və s.** qatıdır. Fiziklər buna belə deyirlər: Sim nəzəriyyəsinin “təbii” və ya “tipik” enerji və kütlə ölçüsü **Plank miqyasıdır**. Bu, çox vacib bir sualı gündəmə gətirir və bu sual birbaşa 1.1 və 1.2 cədvəllərindəki zərrəciklərin xüsusiyyətlərini təkrarlamaq məqsədi ilə əlaqəlidir: Əgər sim nəzəriyyəsinin “təbii” enerji miqyası protonun enerjisindən **10 milyard milyard dəfə** çoxdursa, onda necə ola bilər ki, bu nəzəriyyə ətrafımızdakı dünyanı təşkil edən **çox daha yüngül zərrəcikləri** – məsələn **elektronları, kvarkları, fotonları** və sairəni – izah edə bilsin? Başqa sözlə, əgər simlər öz təbii vəziyyətlərində bu qədər böyük enerji və kütləyə malikdirlərsə, necə olur ki, biz gündəlik həyatda bu qədər yüngül zərrəciklər müşahidə edirik? Bu sual sim nəzəriyyəsinin real fiziki dünyaya necə uyğunlaşdığını anlamaq baxımından **əsas məsələlərdən biridir**. Cavab, bir daha kvant mexanikasıdır. **Qeyri-müəyyənlik prinsipi** göstərir ki, heç bir şey tam sakit vəziyyətdə ola bilməz. Bütün obyektlər kvant səviyyəsində daim titrəyir, çünki əgər bu titrəmələr olmasaydı, biz onların **harada olduğunu və hansı sürətlə hərəkət etdiyini**

tam dəqiqliklə bilərdik ki, bu da **Heyzenberqin prinsipi** ilə ziddiyyət təşkil edərdi. Bu qayda **sim nəzəriyyəsidəki ilmlərə** də aiddir. İstər sakit görünsün, istərsə də hərəkətsiz olsun, hər bir sim mütləq müəyyən qədər **kvant titrəməsinə** məruz qalır. Marahlı məqam odur ki, 1970-ci illərdə aparılan araşdırmalarda göstərilmişdir ki, bu **kvant titrəmələri ilə** əvvəl müzakirə etdiyimiz **adi (intuitiv) vibrasiyalar** arasında **enerji ləğvləri** baş verə bilər. Başqa sözlə desək, **kvant titrəmələrinin enerjisi mənfi** olur və bu da ümumi enerji miqdarını azaldır — təqribən **Plank enerjisi qədər**. Bu isə o deməkdir ki, **ən aşağı enerjili vibrasiya formaları**, normalda **Plank enerjisinə bərabər** hesab edilə bilsə də, bu kvant effekti nəticəsində onların enerjisi **xeyli azalır** və **simin ümumi enerjisi** daha aşağı olur. Bu da həmin vibrasiya formalarının **kütləyə uyğun gələn enerjilərini**, **1.1 və 1.2 cədvəllərində göstərilən zərrəciklərin kütləsi səviyyəsinə** qədər salır. Yəni, **məhz bu aşağı enerjili vibrasiya formaları**, sim nəzəriyyəsi ilə **real zərrəciklərin** (məsələn, elektron, kvark, foton və s.) **əlaqəsini quran əsas nümunələrdir**. Mühüm bir nümunə kimi, **Scherk və Schwarz** göstərmişdi ki, **graviton** adlı zərrəciyə uyğun gələn xüsusi vibrasiya formasında bu enerji ləğvi **tam baş verir** və nəticədə **gravitonun kütləsi sıfır olur**. Bu isə **tam gözlənilən nəticədir**, çünki **gravitasiya qüvvəsi** işıq sürəti ilə yayılır və **yalnız kütləsiz zərrəciklər** bu maksimal sürətlə hərəkət edə bilirlər. Ancaq qeyd etmək lazımdır ki, bu **aşağı enerjili vibrasiyalar istisna təşkil edir**. Adi, daha çox rast gəlinən vibrasiya formaları, adətən, protondan **milyardlarla dəfə böyük kütləyə malik** olan zərrəciklərə uyğun gəlir. Bu hissə çox maraqlı bir analogiya üzərindən sim nəzəriyyəsinin nə qədər dəqiq və incə hesablamalar tələb etdiyini göstərir. Burada əsas fikir budur ki, **1.1 və 1.2 cədvəllərindəki yüngül fundamental zərrəciklər** (məsələn, elektron, kvark, foton) əslində, **Plank səviyyəsində enerji daşıyan** çox güclü titrəyən simlərdən **incə kvant tarazlığı** nəticəsində **yanır**. Məsələn, **top kvarkı** protondan **189 dəfə daha ağırdır**, amma bu da Plank kütləsiylə müqayisədə **son dərəcə kiçik bir miqdardır**. Belə bir zərrəciyi **yaratmaq üçün**, kvant qeyri-müəyyənliyindən qaynaqlanan **enerji ləğvi**, **Plank enerjisinin** yüz milyon milyardda bir dəqiqliklə **yerinə yetməlidir**. Burada verilən analogiya bunu aydın göstərir: Təsəvvür et, **Bob Barker** sənə **on milyard milyard dollar** verir və sən yalnız **189 dollar** xərclənməmiş qalsın deyə **tam dəqiq** alış-veriş etməlisən — nə bir dollar artıq, nə də əskik. Bu, **qeyri-mümkünə yaxın qədər dəqiq** bir uyğunluq tələb edir. Sim nəzəriyyəsində isə “valyuta” pul deyil, **enerjidir**. Hesablamalar göstərir ki, bu cür **nəhəng və eyni zamanda dəqiq enerji ləğvləri** həqiqətən **mümkündür**, lakin:

- Bu cür **dəqiq ləğvləri** hesablayıb sübut etmək bu günkü **nəzəri imkanlarımızın çox-çox xaricindədir**.

- Bununla belə, **sim nəzəriyyəsindəki bir çox digər xüsusiyyətlər**, bu qədər dəqiqlik tələb etmədiyi üçün **inamla araşdırıla və başa düşülə bilər**.

Yəni, hazırda biz simlərin titrəyişlərini **mikroskopik dəqiqliklə analiz edib, dəqiq zərrəcik kütlələrini** hesablayacaq səviyyədə deyilik, amma **nəzəri çərçivə** bu istiqamətdə **düzgün vəd verir**. Gələcəkdə daha güclü riyazi alətlər və kvant qravitasiyası anlayışı ilə bu detal da aydınlaşa bilər.

Bu, sim gərginliyinin nəhəng dəyərinin üçüncü nəticəsinə gətirib çıxarır. Simlər **sonsuz sayda** fərqli titrəyiş nümunələrini icra edə bilər. Məsələn, **Şəkil 6.2**-də göstərildiyi kimi, **yüksək sayda zirvələr və çökəkliklər** ilə xarakterizə olunan **sonsuz ardıcıl imkanların** başlanğıcını gördük. Bu, **eksperimental vəziyyətlə** (cədvəl 1.1 və 1.2) **ziddiyyət təşkil etmirmi?**

Cavab bəli: Əgər sim nəzəriyyəsi doğru olsa, hər bir **sonsuz sayda rezonans titrəyiş nümunəsi bir əsas zərrəciyə** uyğun olmalıdır. Lakin, burada vacib olan məqam odur ki, **yüksək sim gərginliyi** bununla əlaqədar olaraq, bu titrəyiş nümunələrinin çoxunun **son dərəcə ağır zərrəciklərə** uyğun olacağını təmin edir (yəni, yalnız ən aşağı enerjili titrəyişlər, kvant sim titrəyişləri ilə mükəmməl şəkildə ləğv olunmuşlar).

Ağır dedikdə isə burada **Plank kütləsindən** çox daha ağır zərrəciklər nəzərdə tutulur. **Ən güclü parçacıq sürətləndiricilərimiz**, yalnız **proton kütləsinin min dəfə** enerjisinə çatmağı bacarır ki, bu da **Plank enerjisinin** bir milyardın bir hissəsinə bərabərdir. Deməli, **sim nəzəriyyəsinin proqnozlaşdırdığı yeni zərrəcikləri** laboratoriyada axtarmağa hələ çox uzağıq.

Bununla yanaşı, onları tapmaq üçün daha dolaylı yanaşmalar da mövcuddur. Məsələn, kainatın yaranma anında cəlb olunan enerjilər **bu zərrəcikləri bolca istehsal etməyə** kifayət edərdi. Ümumiyyətlə, belə super-ağır zərrəciklərin bu günə qədər sağ qalması gözlənilməzdir, çünki bu cür super-ağır zərrəciklər adətən qeyri-sabit olur və özlərinin nəhəng kütləsini **yüngül zərrəciklərə** çökərək itirir, sonda isə bizə tanış, nisbətən yüngül zərrəciklərlə bitir. Lakin, mümkündür ki, belə bir **super-ağır titrəyiş sim vəziyyəti**—**böyük partlayışdan qalma bir miras**—bu günə qədər sağ qalmış olsun. Belə zərrəciklərin tapılması, **9-cu fəsildə** daha geniş müzakirə etdiyimiz kimi, ən azı **monumental bir kəşf** olardı.

Gravitasiya və Kvanq Fizikası Sim Nəzəriyyəsində

Sim nəzəriyyəsinin təqdim etdiyi birləşdirilmiş çərçivə çox cəlbedicidir. Lakin onun əsas cazibəsi **gravitasiyalı qüvvə ilə kvant mexanikası arasındakı qarşıdurmanı** yumuşaltma qabiliyyətidir. Yadda saxlayın ki, ümumi nisbilik nəzəriyyəsi ilə kvant mexanikasını birləşdirməkdəki problem, birincisinin əsas təməlində olan—**müxtəlif və zamanın hamar şəkildə əyilən geometriyası**—və ikincisinin əsas xüsusiyyətində olan—**kainatdakı hər şeyin, o cümlədən məkan və zamanın özünün kvant dalğalanmaları keçirməsi**—iləyir ki, bu dalğalanmalar kiçik məsafə miqyaslarında getdikcə daha da şiddətlənir. Plank miqyasından kiçik məsafələrdə kvant dalğalanmaları elə şiddətli olur ki, **hamar əyilən geometriya** anlayışını məhv edir; bu isə ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin dağılması deməkdir.

Sim nəzəriyyəsi, məkanın qısa məsafə xüsusiyyətlərini **"yayaraq"** bu şiddətli kvant dalğalanmalarını yumuşaldır. Bunun nə demək olduğunu və bu qarşıdurmanı necə həll etdiyini anlamaq üçün təxmini və daha dəqiq bir cavab var. Hər birini sırasıyla müzakirə edəcəyik.

Ümumi Cavab

Hərçənd ki, qeyri-inkişaf etmiş kimi görünə də, bir obyektin quruluşunu öyrənməyin bir yolu, ona digər şeyləri atmaq və onların necə dəqiq şəkildə səpmalara uğradığını müşahidə etməkdir. Məsələn, biz əşyaları görə bilirik, çünki gözlərimiz fotonların obyektlərdən geri sıçrayarkən daşdığı məlumatları toplayır və beyinlərimiz bu məlumatları deşifrə edir. **Partikül sürətləndiriciləri** də eyni prinsipi əsas alır: Onlar elektronlar və protonlar kimi maddə parçalarını bir-birinə və digər hədəflərə atır və nəticədə yaranan dağıntıların analizləri vasitəsilə obyektlərin memarlığını təyin edirlər.

Ümumiyyətlə, istifadə etdiyimiz nüvə hissəciyinin ölçüsü, həssas olduğumuz uzunluq miqyasına aşağı limit qoyur. Bu vacib ifadənin nə demək olduğunu anlamaq üçün, gəlin Slim və Jim-in fərqli bir çəkiliş yarışmasına qatılmalarını təsəvvür edək. Onlar hər biri bir şaftalı çuxurunu sıxıcıya qoyur və ən doğru "həyat tərzini" çəkilişlərini edirlər. Jim-in təklif etdiyi yarışma xüsusiyyəti, çünki nə Slim, nə də Jim şaftalı çuxurlarını birbaşa görməyə icazə verilmir. Bunun əvəzinə, hər biri yalnız şaftalı çuxurunun ölçüsünü, formasını və xüsusiyyətlərini yalnız ona atdıqları şeyləri (fotondan başqa!) müşahidə etməklə öyrənə

bilərlər. Jim, Slim-in "atıcı"sını mərmilərlə (şəkil 6.4(a)) doldurur, amma öz atıcısını çox daha kiçik beş millimetrlik plastik topçuklarla (şəkil 6.4(b)) doldurur. Hər ikisi atıcılarını işə salır və yarış başlayır.

Bir müddət sonra, Slim-in çəkə biləcəyi ən yaxşı şəkil Şəkil 6.4(a)-da göstərilən olur. O, təkanlanan mərmilərin hərəkət trayektoriyalarını müşahidə edərək, çuxurun kiçik və sərt üzlü bir kütlə olduğunu öyrənə bilir. Lakin yalnız bunu öyrənə bildi. Marblar çox böyükdür və çuxurun incə, qabarıq strukturunu hiss etməyə yetərli deyillər. Slim Jim-in şəklinə (Şəkil 6.4(b)) baxanda, heyrlənir, çünki onun daha yaxşı iş çıxardığını görür. Ancaq Jim-in atıcısına bir dəqiqlik nəzər salanda bu fəndi başa düşür: Jim-in istifadə etdiyi kiçik sondaj hissəcikləri, çuxurun səthindəki ən böyük xüsusiyyətlərdən bəzilərinin defleksiya bucağını təsir edəcək qədər incədir. Beləliklə, Jim bir çox beş millimetrlik topları çuxura atıb, onların defleksiya olunmuş trayektoriyalarını müşahidə edərək daha detallı bir şəkil çəkə bildi. Slim buna uymamaq üçün geri dönüb, atıcısını daha da kiçik sondaj hissəcikləri ilə doldurur—yarım millimetrlik toplar—bunlar o qədər kiçikdir ki, çuxurun səthindəki ən incə qabarıqlıqlara daxil olub defleksiya olurlar. Bu təsirlənmiş hissəciklərin necə defleksiya olunduğunu müşahidə edərək, Şəkil 6.4(c)-da göstərilən qalib şəkli çəkir.

Bu kiçik yarışdan götürülən dərs açıqdır: Faydalı sondaj hissəcikləri, araşdırılan fiziki xüsusiyyətlərdən çox daha böyük olmamalıdır; əks halda, maraq kəsb edən strukturları hiss etməyəcəklər.

Eyni arqument, əlbəttə ki, çuxurun atomik və subatomik strukturunu daha dərinləşdirərək araşdırmaq istədikdə də keçərlidir. Yarım millimetrlik toplar heç bir faydalı məlumat verməyəcək; onlar atom miqyasında struktur hissiyyatına sahib olmaq üçün çox böyükdürlər. Buna görə də, hissəcik sürətləndiriciləri protonlar və ya elektronları sondaj hissəcikləri kimi istifadə edirlər, çünki onların kiçik ölçüsü bu vəzifə üçün daha uyğun edir. Subatomik miqyaslarda, burada kvant anlayışları klassik düşüncəni əvəz edir, hissəciklərin sondaj hissiyyatını ölçmək üçün ən uyğun ölçü kvant dalğa uzunluqlarıdır, çünki bu, hissəciklərin mövqeyindəki qeyri-müəyyənlik pəncərəsini göstərir. Bu fakt, 4-cü fəsildə Heizenberqin qeyri-müəyyənlik prinsipi barədə etdiyimiz müzakirəni əks etdirir. Orada, bir nöqtə hissəcikdən sondaj hissəcikləri kimi istifadə edərkən yaranan səhv marjının (biz foton sondajlarını əsas götürdük, amma bu müzakirə digər hissəciklərə də aiddir) təxminən hissəcikdəki kvant dalğa uzunluğuna bərabər olduğunu müəyyən etdik. Bir az daha sərbəst şəkildə desək, nöqtə hissəciklərinin sondaj hissiyyatı kvant mexanikasının titrəməsi tərəfindən yayılır, eynilə cərrahın əlindəki titrəmə səbəbindən cərrahiyyə bıçağının dəqiqliyinin pozulması kimi. Amma xatırlayın ki, 4-cü fəsildə biz həmçinin vacib bir faktı qeyd etdik: bir hissəciyin kvant dalğa uzunluğu onun impulsuna tərs mütənasibdir, ki, təqribən desək, bu onun enerjisidir. Beləliklə, bir nöqtə hissəciklərinin enerjisini

artırmaqla, onun kvant dalğa uzunluğunu daha da qısa etmək mümkündür—kvant yayılmasını daha da azaldaraq—və bu da bizə daha incə fiziki strukturları araşdırmağa imkan verir. İntuitiv olaraq, yüksək enerjili hissəciklər daha böyük nüfuz etmə qabiliyyətinə sahibdir və buna görə də daha kiçik xüsusiyyətləri araşdırıla bilirlər.

Bu baxımdan, nöqtə hissəcikləri ilə simlər arasındakı fərq aydın olur. Necə ki, plastik toplar bir şaftalı çuxurunun səth xüsusiyyətlərini araşdırarkən, ipliğin daxili məkan ölçüsü ona öz ölçüsündən xeyli kiçik strukturları—bu halda Plank uzunluğundan qısa ölçülərdə yaranan strukturları—araşdırmağa mane olur. Bir qədər dəqiq desək, 1988-ci ildə, o zaman Princeton Universitetindən olan David Gross və tələbəsi Paul Mende kvant mexanikası nəzərə alındığında, ipliğin enerjisinin artırılmasının onun daha kiçik strukturları araşdırma qabiliyyətini davamlı olaraq artırmadığını aşkar etdilər. Onlar tapdılar ki, bir ipliğin enerjisi artırıldıqda, əvvəlcə o, qısa miqyaslı strukturları araşdırıla bilər, eynilə enerjili nöqtə hissəcikləri kimi. Lakin enerjisi Plank uzunluğu miqyasında strukturların araşdırılması üçün tələb olunan dəyərdən yuxarıya çıxdıqda, əlavə enerji ipliği kəskinləşdirmir. Bunun əvəzinə, enerji ipliğin ölçüsünü artırır, beləliklə onun qısa məsafəli həssaslığını azaldır. Həqiqətən də, adi bir ipliğin ölçüsü Plank uzunluğuna bərabər olsa da, əgər bir ipliyə kifayət qədər enerji verilsə—bu, ən fantastik təsəvvürlərimizdən belə çox bir enerji olsa da, amma böyük partlayışda öldürülməsi mümkün olan bir miqdar—bu sim makroskopik ölçüyə qədər böyüyə bilər, nəticədə mikro aləmi araşdırmaq üçün qeyri-səlis bir sondaj vasitəsi olacaq! Bu, sanki bir sim, nöqtə hissəciklərindən fərqli olaraq, iki yayılma qaynağına sahibdir: kvant titrəmələri, nöqtə hissəcikləri kimi, və həmçinin özünün daxili məkan ölçüsü. Bir ipliğin enerjisini artırmaq ilk yayılma mənbəyindən olan yayılmanı azaldır, amma nəticədə ikinci yayılma mənbəyindən olan yayılmanı artırır. Nəticə olaraq, nə qədər cəhd etsəniz də, bir ipliğin genişlənmiş təbiəti onu sub-Plank uzunluğunda məsafələrdəki hadisələri araşdırmağa mane olur.

Lakin ümumi nisbət və kvant mexanikası arasındakı qarşıdurma məkanın sub-Plank uzunluğundakı xüsusiyyətlərindən qaynaqlanır. Əgər kainatın əsas tərkib hissəsi sub-Plank ölçülü məsafələri araşdırıla bilmirsə, o zaman nə o, nə də ondan qurulmuş heç bir şey, nəzəri olaraq dağıdıcı olan qısa məsafəli kvant titrəmələrindən təsirlənə bilər. Bu, yüksək cilalanmış qranit səthində əlimizi sürtdüyümüzə bənzəyir. Hətta mikroskopik səviyyədə qranit ayrı-ayrı, dənəli və kobud olsa da, barmaqlarımız bu qısa miqyaslı dəyişiklikləri hiss edə bilmir və səth mükəmməl hamar hiss olunur. Bizim kiçik və genişlənmiş barmaqlarımız mikroskopik ayrılıqları "yayır". Eynilə, sim məkan ölçüsünə sahib olduğu üçün, onun da qısa məsafələrdəki həssaslığına limitləri vardır. O, sub-Plank ölçülü dəyişiklikləri aşkar edə bilmir. Qranit üzərindəki barmaqlarımız kimi, sim də qravitasiya sahəsinin ultramikroskopik titrəmələrini yayır. Nəticədə yaranan titrəmələr hələ də əhəmiyyətli olsa

da, bu yayılma onları elə bir qədər hamarlaşdırır ki, ümumi nisbət və kvant mexanikası arasındakı uyğunlaşmazlığı aradan qaldırır. Xüsusilə, nöqtə hissəciklərindən istifadə edərək qravitasiya üçün kvant nəzəriyyəsi qurularkən meydana gələn zərərli sonsuzluqlar (əvvəlki fəsildə müzakirə edilən) sim nəzəriyyəsi tərəfindən aradan qaldırılır.

Granitin analoqu ilə real problemimiz olan məkanın strukturu arasındakı vacib fərq odur ki, granitin səthinin mikroskopik ayrılıqları üzə çıxarıla bilər: Barmaqlarımızdan daha incə və daha dəqiq sonda vasitələrdən istifadə edilə bilər. Elektron mikroskopu səth xüsusiyyətlərini bir milyonuncu santimetrdən daha kiçik ölçüdə həll edə bilər; bu, çoxlu səth qüsurlarını üzə çıxarmağa kifayət qədər kiçikdir. Əksinə, sim nəzəriyyəsində məkanın sub-Plank ölçülü "qüsurları"nı aşkar etməyin heç bir yolu yoxdur. İplik nəzəriyyəsi ilə idarə olunan bir kainatda, təbiəti həmişə daha kiçik məsafələrə ayırmağın, heç bir məhdudiyyət olmadan, konvensional anlayışı doğru deyil. Bir limit var və bu limit, şəkil 5.1-dəki dağıdıcı kvant köpüyü ilə qarşılaşmadan əvvəl meydana gəlir. Buna görə, daha dəqiq ifadə ediləcək bir mənada, deyə bilərik ki, sub-Plank kvant titrəmələrinin əslində mövcud olmadığı iddia edilir. Pozitivist bir yanaşma isə yalnız bir şey araşdırıla və ölçülə bilirsə, mövcud olduğuna inanır. Çünki sim kainatdakı ən əsas obyekt hesab olunur və o, məkanın sub-Plank uzunluğundakı dağıdıcı titrəmələrdən təsirlənəcək qədər böyükdür, bu titrəmələr ölçülə bilməz və buna görə də, sim nəzəriyyəsinə görə, onlar əslində yaranmırlar.

Bir əl işimi?

Bu müzakirə sizə narazı hiss etdirə bilər. İplik nəzəriyyəsinin sub-Plank ölçülü kvant titrəmələrini necə əhliləşdirdiyini göstərmək əvəzinə, görünür ki, biz ipliğin sıfırdan böyük ölçüsünü istifadə edərək bu məsələni tamamilə keçmişik. Əslində heç bir şey həll etmişikmi? Hə, həll etmişik. Aşağıdakı iki nöqtə bunu vurğulamaq üçün kifayətdir.

Birincisi, yuxarıdakı arqumentin ifadə etdiyi budur ki, sub-Plank ölçülü məkan titrəmələrinin problemi, ümumiyyətlə, ümumi nisbət və kvant mexanikasını nöqtə-hissəcik çərçivəsində formalaşdırmağımızın bir nəticəsidir. Bir mənada, bu günümüzün nəzəri fizikasının əsas qarşıdurması, özümüzün yaratdığımız bir problemdir. Çünki əvvəlcə bütün maddə hissəciklərini və bütün qüvvə hissəciklərini mütləq heç bir məkan ölçüsü olmayan nöqtəvi obyektlər kimi təsəvvür etdiyimizdən, kainatın xüsusiyyətlərini istənilən qısa məsafə ölçüsündə nəzərdən keçirməyə məcbur olduq. Və ən kiçik məsafələrdə, görünən çətinliklərlə qarşılaşdıq. İplik nəzəriyyəsi bizə deyir ki, bu problemlərlə yalnız buna görə qarşılaşdıq ki, biz oyunun əsl qaydalarını anlamadıq; yeni qaydalar bizə kainatı nə qədər

dəqiq şəkildə araşdırma biləcəyimizin bir həddi olduğunu bildirir — və həqiqətən də, ən kiçik ölçülərdə belə, ənənəvi məsafə anlayışımızın hətta kosmosun ultramikroskopik strukturuna necə tətbiq oluna biləcəyinin bir həddi var. Təhlükəli məkan titrəmələrinin əvvəlki nəzəriyyələrimizdə meydana gəlməsi, biz bu limitləri anlamadığımız üçün baş verdi və nöqtə-hissəcik yanaşması bizi fiziki gerçəklik sərhədlərini aşmağa yönəltdi.

Bu həllin ümumi nisbət və kvant mexanikası arasındakı problemin həlli kimi görünən sadəliyinə baxmayaraq, bəlkə də ağılınıza gəlir ki, niyə bu qədər vaxt keçdi ki, kiməsə nöqtə-hissəcik təsvirinin sadəcə bir idealizasiya olduğunu və real dünyada elementar hissəciklərin müəyyən məkan ölçüsünə sahib olduğunu təklif etsin. Bu bizi ikinci nöqtəyə gətirir. Çox əvvəl, nəzəri fizikanın ən böyük beyinlərindən bəziləri, məsələn, Pauli, Heizenberq, Dirak və Feynman, təbiətin tərkib hissələrinin əslində nöqtələr deyil, kiçik dalğalanmış "top" və ya "qurğuşunlar" olacağını təklif etmişdilər. Ancaq onlar və başqaları tapdılar ki, əsas hissəciyi nöqtə olmayan bir nəzəriyyə qurmaq, buna baxmayaraq, kvant-mexaniki ehtimalların qorunması kimi ən əsas fiziki prinsiplərlə (bələliklə, fiziki obyektlərin kainatdan qəfildən yox olub iz buraxmaması) və işığın sürətindən daha sürətli məlumat ötürülməsinin mümkün olmaması prinsipləri ilə uyğun olmaq çox çətindir. Müxtəlif perspektivlərdən onların tədqiqatları dəfələrlə göstərdi ki, nöqtə-hissəcik paradigması atıldığı zaman bu prinsiplərdən biri və ya hər ikisi pozulurdu. Bu səbəbdən uzun müddət, yalnız nöqtə hissəciklərindən başqa bir şeyə əsaslanan məntiqli bir kvant nəzəriyyəsini tapmaq mümkün olmurmuş. İplik nəzəriyyəsinin həqiqətən təəccüblü cəhəti isə odur ki, iyirmi ildən çox davam edən sərt araşdırmalar göstərmiş ki, bəzi xüsusiyyətlər qeyri-adi olsa da, sim nəzəriyyəsi hər hansı bir məntiqli fiziki nəzəriyyənin sahib olması gərəkən bütün xüsusiyyətləri qoruyur. Üstəlik, onun qraviton titrəməsi nümunəsi ilə sim nəzəriyyəsi kvant nəzəriyyəsi olan və qravitasiyanı daxil edən bir nəzəriyyədir.

Daha Dəqiq Cavab

Ümumi cavab, sim nəzəriyyəsinin niyə əvvəlki nöqtə-hissəcik nəzəriyyələrindən daha üstün olduğunu göstərir. Bələliklə, əgər istəsəniz, müzakirəmizin məntiqi axışını pozmadan növbəti bölməyə keçə bilərsiniz. Amma xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin əsas ideyalarını 2-ci fəsilə inkişaf etdirdiyimiz üçün artıq sim nəzəriyyəsinin necə kvant dalğalanmalarını sakitləşdirdiyini daha dəqiq şəkildə təsvir etmək üçün lazım olan vasitələrə maliklik.

Daha dəqiq cavabda, eyni əsas ideyaya əsaslanırıq, amma bunu birbaşa simlər səviyyəsində ifadə edirik. Bununla biz nöqtə-hissəcik və simlərlə edilən sınaqları bir qədər detallı şəkildə

müqayisə edirik. Görəcəyik ki, ipliyn uzadılmış təbiəti, nöqtə-hissəciklərlə əldə edilə bilən məlumatı necə "yayır" və buna görə də, yenə də müasir fizikanın mərkəzi dilemma səbəb olan ultra-qısa məsafəli davranışları necə aradan qaldırır. İlk olaraq, əgər nöqtə-hissəciklər həqiqətən mövcud olsaydı, onların necə qarşılıqlı təsir göstərəcəyini və buna görə də necə fiziki sınaq kimi istifadə edilə biləcəyini nəzərdən keçirək. Ən əsas qarşılıqlı təsir, iki nöqtə-hissəciyin qarşı-qarşıya hərəkət etdiyi və onların yolunun kəsişəcəyi vəziyyətdir, məsələn, Şəkil 6.5-də olduğu kimi. Əgər bu hissəciklər bir biliar topu olsaydı, onlar toqquşar və hər biri yeni bir trayektoriyaya defleksiya olardı. Nöqtə-hissəciklər üçün kvant sahə nəzəriyyəsi göstərir ki, əsasında eyni şey baş verir: Əsas hissəciklər toqquşanda bir-birindən yayılır və defleksiya olunmuş trayektoriyalarına davam edirlər, amma detallarda bir az fərq var.

Məsələn, bir hissəciyin elektron və digərinin onun antipartikülü, pozitron olduğunu düşünək. Maddə və antimaddə toqquşduqda onlar bir parlaq enerjiyə çevirilərək, məsələn, bir foton meydana gətirə bilirlər. Bu fotonun trayektoriyasını əvvəlki elektron və pozitron trayektoriyalarından fərqləndirmək üçün ənənəvi fizika adətində uyğun olaraq onu dalğalı xətlə çəkirik. Foton adətən bir müddət hərəkət edəcək və sonra ilkin elektron-pozitron cütündən əldə olunan enerjini sərbəst buraxacaq, yenidən bir elektron-pozitron cütü meydana gətirərək trayektoriyalarını Şəkil 6.6-da göstərildiyi kimi yayımlayacaq. Nəticədə iki hissəciy bir-birinə atılır, elektromaqnit qüvvəsi ilə qarşılıqlı təsir göstərir və nəticədə onlar defleksiya olunmuş trayektoriyalarda çıxırlar ki, bu da toqquşan biliar toplarının təsvirinə bənzəyir. Biz qarşılıqlı təsirin detallarına, xüsusilə də ilkin elektron və pozitronun anihilasiya olub foton yaratdıqları nöqtəyə maraqlanırıq. Əsas fakt, necə görəcəyimizə görə, bu hadisənin baş verdiyi vaxt və məkanın tamamilə dəqiq və müəyyən edilə bilən bir yer olmasıdır: Bu, Şəkil 6.6-da göstərilir.

Əgər biz sıfır ölçülü nöqtələr olaraq düşündüyümüz obyektləri yaxından araşdırsaq və onların əslində bir ölçülü simlər olduğunu görsək, bu təsvir necə dəyişər? Əsas qarşılıqlı təsir prosesi eyni qalır, amma indi qarşı-qarşıya gələn obyektlər osilatasiya edən dövrlərdir, Şəkil 6.7-də göstərildiyi kimi. Əgər bu dövrlər düzgün rezonans nümunələrində titrəyirlərsə, onlar elektron və pozitronu təmsil edəcək və qarşı-qarşıya gələcəklər, Şəkil 6.6-da olduğu kimi. Yalnız ən kiçik məsafə ölçülərində, bizim mövcud texnologiyamızın çatmadığı sahələrdə, onların əslində simvari xarakteri aşkar olur. Nöqtə-hissəciyin halında olduğu kimi, bu iki sim toqquşur və yenidən bir parıltı ilə anihilasiya olurlar. Bu parıltı, bir foton, öz növbəsində müəyyən bir titrəmə nümunəsinə malik bir simdir. Beləliklə, iki gələn sim qarşılıqlı təsire girərək bir üçüncü sim yaradır, Şəkil 6.7-də göstərildiyi kimi. Bizim nöqtə-hissəcik təsvirimizdə olduğu kimi, bu sim bir müddət hərəkət edir və sonra ilkin iki simdən əldə olunan enerjini sərbəst buraxaraq iki simə ayrılır

və onlar yoluna davam edirlər. Yenə də, yalnız ən mikroskopik baxış bu hadisəni Şəkil 6.6-dakı nöqtə-hissəcik qarşılıqlı təsirinə bənzətmiş olacaq. Amma burada iki təsvir arasında əhəmiyyətli bir fərq var. Biz vurğulamışdıq ki, nöqtə-hissəcik qarşılıqlı təsiri kosmos və zamanın müəyyən edilə bilən bir nöqtəsində baş verir, yəni bütün müşahidəçilər bunun üzərində razılaşırlar. İndi isə görəcəyik ki, bu, simlər arasındakı qarşılıqlı təsir üçün doğru deyil. Biz bunu, 2-ci Fəsildəki George və Gracie-nin nisbəti hərəkətdə olan iki müşahidəçinin qarşılıqlı təsiri necə təsvir edəcəyini müqayisə edərək göstərəcəyik. Görəcəyik ki, onlar simlərin ilk dəfə harada və nə vaxt toxunduğuna dair razılaşırlar.

Bu məsələnin izahı üçün, gəlin ki, iki simin qarşılıqlı təsirini bir kamera ilə izlədiyimizi təsəvvür edək ki, onun obturatoru açıq saxlanılır və beləliklə, prosesin bütün tarixçəsi bir film parçasında çəkilir. Biz nəticəni—"sim world-sheet" (sim dünyası təbəqəsi) adlanır—Şəkil 6.7(c)-də göstəririk. Bu dünyanı təbəqənin paralel hissələrə "kəsilməsi" ilə—körpə çörəyi kəsildiyi kimi—simlərin qarşılıqlı təsirinin hər anını bərpa edə bilərik. Şəkil 6.8-də biz bu kəsilmə nümunəsini göstəririk. Xüsusilə, Şəkil 6.8(a)-də, George, diqqətlə gələn iki simə baxaraq, onun perspektivindən eyni zamanda baş verən bütün hadisələri kəsən bir təyyarə ilə birlikdə göstərilmişdir. Biz əvvəlki fəsillərdə tez-tez etdiyimiz kimi, bu diaqramda vizual aydınlıq üçün bir məkan ölçüsünü gizlətməmişik. Əslində, əlbəttə ki, hər bir müşahidəçinin perspektivindən eyni zamanda baş verən hadisələrin üçölçülü bir ardıcılığı var. Şəkil 6.8(b) və 6.8(c)-də biz, zamanla, yəni dünyanı təbəqənin növbəti "kəsilməsi" ilə göstəririk ki, George gələn iki simin bir-birinə yaxınlaşdığını necə görür. Əsas əhəmiyyət kəsb edən hal, Şəkil 6.8(c)-də biz, George-nun perspektivinə görə, iki simin ilk dəfə toxunub birləşib üçüncü simi yaratdığı anı göstəririk. İndi bunu Gracie üçün eyni şəkildə edək. 2-ci Fəsildə müzakirə etdiyimiz kimi, George və Gracie arasındakı nisbəti hərəkət o deməkdir ki, onlar eyni zamanda hansı hadisələrin baş verdiyinə razılaşırlar. Gracie-nin perspektivindən, məkanın eyni zamanda baş verən hadisələri fərqli bir təyyarədə yerləşir, Şəkil 6.9-da göstərildiyi kimi. Yəni, Gracie-nin perspektivindən, Şəkil 6.7(c)-nin dünyası təbəqəsi "kəsilməli"dir ki, bu da qarşılıqlı təsirin anbaan irəliləməsini göstərsin. Şəkil 6.9(b) və 6.9(c)-də biz zamanla, indi Gracie-nin perspektivinə görə, iki gələn simin toxunub üçüncü simi yaratdığı anı göstəririk. Şəkil 6.8(c) və 6.9(c)-ni müqayisə etdikdə, Şəkil 6.10-da olduğu kimi, George və Gracie-nin iki ilkin simin ilk dəfə harada və nə vaxt toxunduğuna dair razılaşmadığını görürük—yəni, onlar qarşılıqlı təsirin baş verdiyi yeri və zamanı qəbul etmir. Sim, genişlənmiş bir obyekt olduğu üçün, bu, heç bir məkanın və zamanın müəyyən edilməsi ilə bağlı aydın bir mövqe təyin etməz—bu, müşahidəçinin hərəkət vəziyyətindən asılıdır.

Əgər eyni arqumenti nöqtə hissəciklərinin qarşılıqlı təsirinə tətbiq etsək, Şəkil 6.11-də ümumiləşdirildiyi kimi, əvvəlki nəticəni əldə edirik – nöqtə hissəciklərinin qarşılıqlı təsiri

üçün məkanın və zamanın müəyyən bir nöqtəsi vardır. Nöqtə hissəcikləri bütün qarşılıqlı təsirlərini bir nöqtəyə sıxışdırır. Əgər qarşılıqlı təsirdə qüvvə cazibə qüvvəsidirsə – yəni, qarşılıqlı təsirdə iştirak edən mesaj daşıyıcı hissəcik foton əvəzinə graviton olarsa – bu qüvvənin tamamilə bir nöqtəyə yığılması bədbəxt nəticələrə, məsələn, əvvəlki bölmədə vurğuladığımız sonsuz nəticələrə səbəb olur. Lakin simlər, əksinə, qarşılıqlı təsirin baş verdiyi yeri "yayır". Fərqli müşahidəçilər bu qarşılıqlı təsirin Şəkil 6.10-un sol tərəfində müxtəlif yerlərdə baş verdiyini fərq edirlər, bu da əslində qarşılıqlı təsirin yerinin hər bir müşahidəçidə yayılmasına səbəb olur. Bu, qüvvənin təsirini yayır və cazibə qüvvəsi halında, bu yayılma onun ultramikroskopik xüsusiyyətlərini əhəmiyyətli dərəcədə zəiflədir – o qədər ki, hesablamalar əvvəlki sonsuzluqlar əvəzinə yaxşı davranan məhdud nəticələr verir. Bu, əvvəlki bölmədəki "yayılma"nın daha dəqiq bir versiyasıdır. Və yenə də bu yayılma, sub-Plank ölçülü məsafələrin birləşdirilməsi ilə məkanın ultramikroskopik titrəmələrinin hamarlaşmasına səbəb olur.

Bu, dünyanı çox zəif və ya çox güclü gözlüklərlə görməyə bənzəyir, burada nöqtə hissəciyi ilə aparılan ölçmələrə əlçatan olan incə sub-Plank xüsusiyyətləri, sim nəzəriyyəsi ilə birləşdirilərək zərərsiz hala gəlir. Və zəif görmə halı ilə fərqli olaraq, əgər sim nəzəriyyəsi kainatın sonuncu təsviri idisə, sub-Plank ölçülü dalğalanmaları kəskin şəkildə fokuslamaq üçün heç bir düzəldici linza yoxdur. Ümumdünya nisbət və kvant mexanikasının uyğunlaşmazlığı – ki, bu yalnız sub-Plank ölçülü məsafələrdə açığa çıxacaq – sim nəzəriyyəsi ilə təsvir edilən kainatda aradan qaldırılır. Bu kainatda, böyük və kiçik olan qanunların harmoniya içində birləşə bildiyini görürük, çünki ultramikroskopik məsafələrdə yaranan fərziyyə olunan fəlakət tamamilə ortadan qaldırılır.

Simlərdən Sonra?

Simlər iki səbəbə görə özəldir. Birincisi, onlar məkan baxımından geniş olsalar da, kvant mexanikası çərçivəsində ardıcıl şəkildə təsvir edilə bilirlər. İkincisi, rezonanslı vibrasiya naxışları arasında biri var ki, bu, gravitonun tam xüsusiyyətlərinə malikdir və bu, cazibə qüvvəsinin simin strukturunun ayrılmaz bir hissəsi olduğunu təmin edir. Lakin sim nəzəriyyəsi göstərir ki, sıfır ölçülü nöqtə hissəciklərinin ənənəvi anlayışı gerçək dünyada reallaşmayan bir riyazi idealizasiyadır, bəs eyni şəkildə sonsuz dərəcədə incə bir ölçülü ip də bir riyazi idealizasiya ola bilərmi? Həqiqətən də simlərin bəzi qalınlıqları ola bilərmi – məsələn, iki ölçülü velosiped təkərinin daxili borusunun səthi kimi və ya daha reallıqda, incə üç ölçülü düyün kimi? Heisenberq, Dirac və başqalarının üç ölçülü nuggetlərin kvant

nəzəriyyəsini qurmağa cəhd edərkən qarşılaşdıqları, aşılması çətin olan çətinliklər, bu təbii düşüncə zənciri ilə irəliləyən tədqiqatçıları dəfələrlə dayandırmışdır.

Lakin, gözlənilmədən, 1990-cı illərin ortalarında sim nəzəriyyəçiləri, dolayısı yolla və olduqca ağıllı bir şəkildə, belə yüksək ölçülü əsas obyektlərin sim nəzəriyyəsinin özündə mühüm və incə bir rol oynadığını fərqləndirdilər. Tədqiqatçılar tədricən başa düşdülər ki, sim nəzəriyyəsi yalnız simləri ehtiva edən bir nəzəriyyə deyil. 1995-ci ildə Witten və başqalarının başladığı ikinci super-sim inqilabının mərkəzi müşahidəsi odur ki, sim nəzəriyyəsi əslində müxtəlif ölçülərə malik tərkibləri ehtiva edir: iki ölçülü Frisbee-yə bənzər tərkiblər, üç ölçülü blob-a bənzər tərkiblər və hətta daha ekzotik ehtimallar da var. Bu ən son kəşflər 12-ci və 13-cü fəsillərdə müzakirə ediləcək. İndi isə tarixə uyğun olaraq bir ölçülü simlərdən ibarət bir kainatın təəccüblü yeni xüsusiyyətlərini araşdırmağa davam edirik.

Fəsil 7

"Super" Supersimlərdə

1919-cu ildə Eddington'un Günəşin ulduz işığını əyilməsini ölçmək üçün apardığı ekspedisiya uğur qazandıqdan sonra, hollandiyalı fiziki Hendrik Lorentz, Eynşteynə yaxşı xəbəri çatdıran bir teleqram göndərmişdi. Eddington'un ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin təsdiqlənməsi barədə teleqramın xəbəri yayıldıqca, bir tələbə Eynşteynə soruşdu ki, Eddington'un eksperimentində ulduz işığının əyilməsini müşahidə etməsəydilər, o zaman nə düşünərdi. Eynşteyn cavab verdi: "O zaman mən təəssüflənərdim, çünki nəzəriyyə doğrudur." Əlbəttə, əgər eksperimentlər həqiqətən Eynşteyn'in proqnozlarını təsdiqləməsəydi, nəzəriyyə düzgün olmazdı və ümumi nisbilik müasir fizikanın əsas daşlarından biri olmazdı. Lakin Eynşteyn demək istəyirdi ki, ümumi nisbilik cazibə qüvvəsini o qədər dərin bir daxili zərifliklə təsvir edir, o qədər sadə, amma güclü ideyalarla, ki, təbiətin bunun üzərindən keçəcəyini təsəvvür etmək çətin idi. Eynşteyn'in baxışına görə, ümumi nisbilik yanlışmaq üçün çox gözəl idi.

Ancaq estetik qiymətləndirmələr elmi müzakirəni həll etmir. Nəhayət, nəzəriyyələr, soyuq, sərt eksperimental faktlarla qarşılaşıldığında necə işlədiyinə görə qiymətləndirilir. Lakin bu son şərh çox mühüm bir istisnaya məruz qalır. Nəzəriyyə qurularkən, onun

tamamlanmamış inkişaf vəziyyəti, eksperimental nəticələrinin ətraflı şəkildə qiymətləndirilməsini tez-tez maneə törədir. Buna baxmayaraq, fiziklər müəyyən seçimlər etməli və özlərini tamamlanmamış nəzəriyyələrinə hansı araşdırma istiqamətində yönəltməli olduqlarını müəyyən etməlidirlər. Bu qərarların bəziləri daxili məntiqi tutarlılıqla müəyyən edilir; hər hansı bir məqbul nəzəriyyənin məntiqi absurdluqlardan qaçınması zəruridir. Digər qərarlar, bir nəzəriyyə quruluşunun digərinə nisbətən keyfiyyətli eksperimental nəticələrini hiss etməyə yönəldilmişdir; ümumiyyətlə, əgər bir nəzəriyyə, ətrafımızda gördüyümüz şeylərlə heç bir oxşarlıq təşkil etmirsə, biz ona maraq göstərmirik. Amma şübhəsiz ki, nəzəriyyəçilərin verdikləri bəzi qərarlar estetik duyğuya əsaslanır — hansı nəzəriyyələrin strukturunda zəriflik və gözəllik olduğunu hiss etmək, bizim təcrübə etdiyimiz dünyaya uyğun olur. Əlbəttə ki, heç nə bu strategiyanın həqiqətə aparacağını təmin etmir. Bəlkə, dərinlikdə, kainat təcrübələrimizin inandığı qədər zərif olmayan bir struktura sahibdir, ya da bəlkə də, biz tapacağıq ki, hazırkı estetik meyarlarımız daha az tanış kontekstlərdə tətbiq edildikdə əhəmiyyətli dərəcədə təkmilləşdirilməlidir. Bununla belə, xüsusilə nəzəriyyələrimizin eksperimental olaraq daha az araşdırıla bilən kainat sahələrini təsvir etməyə başladığı bir dövrə daxil olduqca, fiziklər belə bir estetik duyğudan kömək alırlar ki, bu da onları digər şəkildə izləyə biləcəkləri kor dəhlizlərdən və uçurumlardan uzaq tutar. İndiyə qədər bu yanaşma güclü və faydalı bir rəhbər olmuşdur.

Fizikada, incəsənətdə olduğu kimi, simmetriya estetikada mühüm rol oynayır. Lakin incəsənətdən fərqli olaraq, fizika sahəsində simmetriyanın çox konkret və dəqiq bir mənası vardır. Əslində, son illərdə fiziklər bu simmetriyanın dəqiq anlayışını riyazi nəticələrə qədər izləyərək, maddə hissəciklərinin və göndərən hissəciklərinin əvvəlcədən düşünüldəndən çox daha yaxın əlaqəli olduğu nəzəriyyələr tapmışlar. Belə nəzəriyyələr, yalnız təbiətin qüvvələrini deyil, həm də maddi tərkibləri birləşdirərək ən yüksək simmetriyaya sahibdirlər və buna görə də supersimmetrik adlanırlar. Supersim nəzəriyyəsi, görəcəyimiz kimi, həm supersimmetrik çərçivənin doğuranı, həm də zirvə nümunəsidir.

Fiziki Qanunların Təbiəti

Təsəvvür edin ki, fizika qanunlarının modaya uyğun olaraq hər il, hər həftə, hətta hər an dəyişdiyi bir kainat var. Belə bir dünyada, əsas həyat prosesləri pozulmadığı təqdirdə, heç bir zaman cansıxıcı an olmayacaq, demək olar ki, heç vaxt darıxmazsınız. Ən sadə hərəkətlər belə macəra olacaq, çünki təsadüfi dəyişikliklər keçmiş təcrübəni istifadə edərək gələcək nəticələri proqnozlaşdırmağa imkan verməyəcək.

Belə bir kainat, fizikin kabusudur. Fiziklər və digər hər kəs kainatın sabitliyinə çox güvənirlər: Bugün doğru olan qanunlar dünən də doğru idi və sabah da doğru olacaq (bunu bütün şəkildə anlamağa çalışmamış olsaq da). Nəhayət, əgər qanunlar birdən dəyişə bilərsə,

“qanun” anlayışına hansı mənanı verə bilərik? Bu, kainatın statik olması demək deyil; kainat hər an, hər saniyə çoxsaylı yollarla dəyişir. Əslində, bu deməkdir ki, belə bir inkişafı idarə edən qanunlar sabit və dəyişməzdir. Bəs biz bunun doğru olduğunu əslində bilirikmi? Həqiqətən də, bunu bilmirik. Amma kainatın çoxsaylı xüsusiyyətlərini, böyük partlayışdan sonra qısa bir anıdan indiyə qədər təsvir etmə müvəffəqiyyətimiz, əgər qanunlar dəyişirsə, çox yavaş şəkildə dəyişikliklərini göstərir. Bütün bildiklərimizlə uyumlu olan ən sadə fərziyyə budur ki, qanunlar sabitdir.

İndi təsəvvür edin ki, fizika qanunları yerli mədəniyyət qədər dar və parokialdır—yerə görə dəyişir və heç bir xarici təsirə tabe olmur. Gulliverin səyahətləri kimi, belə bir dünyada müxtəlif və gözlənilməz təcrübələrlə qarşılaşardınız. Amma bir fizik olaraq, bu, başqa bir kabusdur. Məsələn, bir ölkədə və ya hətta bir ştatda etibarlı olan qanunların başqa yerdə etibarlı olmaması faktı ilə yaşamaq belə çətin olsa da, fizika qanunları belə dəyişkən olsa, nə olardı? Belə bir dünyada bir yerdə aparılan eksperimentlər başqa bir yerdəki fizika qanunlarına təsir etməzdi. Bunun əvəzinə, fiziklər hər yerdə fiziki qanunları öyrənmək üçün təcrübələri təkrarlamaq məcburiyyətində qalardılar. Şükürlər olsun ki, bildiyimiz hər şey fizika qanunlarının hər yerdə eyni olduğunu göstərir. Dünyanın hər yerində aparılan bütün eksperimentlər eyni əsas fiziki izahları ortaya qoyur. Üstəlik, kainatın uzaq guşələrindəki çoxsaylı astrofiziki müşahidələri, eyni, sabit fiziki prinsimlərdən istifadə edərək izah etməyimiz, bu qanunların hər yerdə doğru olduğuna inanmamıza səbəb olur. Kainatın qarşı tərəfində heç vaxt səyahət etməsək də, orada tamamilə fərqli bir fizika növünün hakim olduğunu tam olaraq inkar edə bilmərik, amma bütün bildiklərimiz bunun əksini göstərir.

Yenə də, bu, kainatın müxtəlif yerlərdə eyni göründüyü və ya eyni ətraf mühit xüsusiyyətlərinə sahib olduğu demək deyil. Məsələn, Ayda pogo stikində tullanmaq, Yerdə mümkün olmayan çoxsaylı şeylər etməyə imkan verir. Amma biz anlayırıq ki, bu fərq Ayın Yerdən çox daha az kütləyə sahib olmasından irəli gəlir; bu, yer üzündə yerli fizika qanununun dəyişdiyini göstərmir. Nyutonun, və ya daha dəqiq desək, Eynşteynin cazibə qanunu, Yerdə necədirsə, Ayda da eynidir. Astronavtın təcrübəsindəki fərq, fizika qanununun dəyişməsi deyil, ətraf mühitin fərqli detalları ilə bağlıdır.

Fiziklər fizika qanunlarının bu iki xüsusiyyətini—onların nə zaman və harada istifadə edilməsindən asılı olmamaları—təbiətin simmetriyaları olaraq təsvir edirlər. Bu istifadə ilə fiziklər təbiətin hər anını və hər bir məkan nöqtəsini simmetrik şəkildə müalicə etdiyini və eyni əsas qanunların işlədiyini bildirirlər. Müzik və incəsənətdə olduğu kimi, belə simmetriya fizikalarda da dərindən məmnuniyyət verir; bu, təbiətin işlərində bir nizam və uyğunluq vurğulayır. Sadə bir universal qanunlar dəstəsindən zəngin, mürəkkəb və

müxtəlif fenomendlərin yaranmasının gözəlliyi, fizikanın "gözəl" termini istifadə etdikdə vurğulamaq istədiyi məqamlardan biridir.

Bizim xüsusi və ümumi nisbilik nəzəriyyələri ilə bağlı müzakirələrimizdə təbiətin başqa simmetriyaları ilə qarşılaşdıq. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin mərkəzində duran nisbilik prinsipi, bütün fizika qanunlarının fərqli müşahidəçilərin sabit sürətləki hərəkətlərindən asılı olmayaraq eyni olmalı olduğunu deyir. Bu, simmetriya olduğuna görə təbiət belə müşahidəçiləri eyni şəkildə – simmetrik olaraq – qəbul edir. Hər bir müşahidəçi özünü istirahətdə hesab etməkdə haqlıdır. Yəni bu o demək deyil ki, nisbətində olan müşahidəçilər eyni müşahidələri edəcəklər; əvvəllər gördüyümüz kimi, onların müşahidələrində çoxsaylı təəccüblü fərqlər var. Əslində, Yerdə və Ayda pogo stikində tullanmış entusiastın təcrübələri kimi, müşahidələrdəki fərqlər ətraf mühitin detallarını əks etdirir—müşahidəçilər nisbətindədirlər—amma onların müşahidələri eyni qanunlarla idarə olunur.

Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin ekvivalentlik prinsipi vasitəsilə, Eynşteyn bu simmetriyanı mühüm şəkildə genişləndirərək göstərdi ki, fizika qanunları əslində bütün müşahidəçilər üçün eynidir, hətta onlar mürəkkəb sürətləndirici hərəkət edirlərsə belə. Eynşteyn bunu, sürətləndirici müşahidəçinin özünü istirahətdə hesab etməyə və hiss etdiyi qüvvənin cazibə sahəsindən qaynaqlandığını iddia etməyə tamamilə haqlı olduğunu başa düşərək həyata keçirdi. Cazibə nəzərə alındıqda, bütün mümkün müşahidə nöqtələri tamamilə bərabər vəziyyətdə olur. Bütün hərəkət növlərinə qarşı bu bərabər hüquqlu yanaşmanın daxili estetik cazibəsindən əlavə, biz artıq görmüşük ki, bu simmetriya prinsipləri Eynşteynin cazibə ilə bağlı əldə etdiyi möhtəşəm nəticələrdə əsas rol oynamışdır.

Təbiət qanunlarının yer, zaman və hərəkətlə bağlı hörmət etməli olduğu başqa hansısa simmetriya prinsipləri varmı? Bu barədə düşünəndə bir əlavə ehtimalı nəzərdən keçirə bilərsiniz. Fizika qanunları müşahidələrinizi etdiyiniz bucağa görə fərq etməməlidir. Məsələn, bir eksperiment aparıb sonra bütün avadanlığınızı döndərüb eyni eksperimenti yenidən etsəniz, eyni qanunlar tətbiq olunmalıdır. Bu, dövrəvi simmetriya olaraq bilinən bir şeydir və deməkdir ki, fizika qanunları bütün mümkün istiqamətləri eyni şəkildə müalicə edir. Bu, əvvəlki müzakirə olunan simmetriya prinsipləri ilə eyni səviyyədə bir simmetriya prinsipidir.

Başqa simmetriya prinsipləri varmı? Hər hansı bir simmetriya gözardı etdikmi? Yəqin ki, bu mövzuda, Çoxsaylı olmayan cazibə qüvvələri ilə əlaqəli ölçü simmetriyaları haqqında 5-ci fəsilə müzakirə edilənlər kimi nəzəriyyə təklif edə bilərsiniz. Bu, təbiətin simmetriyalarıdır, amma daha abstrakt bir növdəndir; bizim burada diqqətimiz, yer, zaman və hərəkətlə birbaşa əlaqəli simmetriyaya yönəlib. Bu şərtlə indi başqa bir ehtimal düşünə bilməzsiniz. Əslində, 1967-ci ildə fiziklər Sidney Coleman və Jeffrey Mandula sübut

etdilər ki, yer, zaman və hərəkətlə əlaqəli heç bir başqa simmetriya, yuxarıda müzakirə olunanlarla birləşdirilərək dünyamıza bənzər bir nəzəriyyə yaratmaz. Sonradan, bu teoremin yaxın araşdırılması, bir neçə fizikinə görə bir incə boşluq aşkar etdi: Coleman-Mandula nəticəsi, spin adlanan bir şeyə həssas olan simmetriyaları tam olaraq nəzərə almamışdı.

Spin

Bir elektron kimi bir elementar hissəcik, Günəşin ətrafında dövr edən Yer kimi, atom nüvəsinin ətrafında dövr edə bilər. Lakin, ənənəvi nöqtə-hissəciyin təsvirində, elektronun oxu ətrafında dönmənin Yerə analoqu yoxdur kimi görünür. Hər hansı bir cisim döndükdə, fırlanma oxundakı nöqtələr — məsələn, fırlanan Frisbinin mərkəzi nöqtəsi — hərəkət etməz. Əgər bir şey tamamilə nöqtə kimi olsa, onda heç bir "digər nöqtə" olmur ki, hansısa fırlanma oxunun üzərində olsun. Buna görə də belə görünür ki, nöqtə cismi dönmə anlayışı yoxdur. Bir neçə il əvvəl bu cür məntiq başqa bir kvant-mexaniki sürprizə tabe oldu.

1925-ci ildə, hollandiyalı fiziki alimlər George Uhlenbeck və Samuel Goudsmit, atomların yaydığı və udduğu işığın xüsusiyyətlərinə dair bir çox qarışıq məlumatların, elektronların xüsusi maqnit xüsusiyyətlərinə sahib olması halında izah oluna biləcəyini kəşf etdilər. Yüz il əvvəl, fransız fizikası André-Marie Ampère, maqnetizmanın elektrik yükünün hərəkətindən yarandığını göstərmişdi. Uhlenbeck və Goudsmit bu izləri izləyərək, yalnız bir xüsusi elektron hərəkətinin bu məlumatlarla uyumlu maqnit xüsusiyyətlərini yarada biləcəyini tapdılar: fırlanma hərəkəti, yəni spin. Beləliklə, klassik gözləntilərə zidd olaraq, Uhlenbeck və Goudsmit, Yer kimi elektronların həm dövr etdiklərini, həm də fırlanma hərəkəti etdiklərini elan etdilər.

Uhlenbeck və Goudsmit həqiqətən elektronun fırlandığını demək istəyirdilərmisi? Bəli və xeyr. Onların işləri əslində göstərdi ki, spin anlayışı, adətən düşündüyümüz fırlanma anlayışına bənzəyən, lakin özündə kvant mexaniki təbiəti daşıyan bir anlayışdır. Bu, mikroskopik dünyanın o cür xüsusiyyətlərindən biridir ki, klassik fikirlərlə yaxınlıqda olsa da, eksperimental olaraq təsdiqlənmiş kvant bir dəyişiklik qatır. Məsələn, dövr edən bir sürətli xizəkçi təsəvvür edin. Əllərini bədənində yaxınlaşdırdıqca daha sürətli dövr edir; əllərini uzatdıqca isə daha yavaş dövr edir. Və nəhayət, necə fırlanmağına görə, müəyyən bir müddət sonra dayanacaq. Lakin Uhlenbeck və Goudsmit tərəfindən kəşf olunan spinlə belə deyil. Onların işlərinə və sonrakı araşdırmalara əsasən, hər bir elektron kainatda, həmişə və əbədi olaraq, bir sabit və heç vaxt dəyişməyən sürətlə dövr edir. Bir elektronun

spini, daha tanış obyektlərdə olduğu kimi, fırlanma vəziyyətinin keçici bir vəziyyəti deyil. Bunun əksinə olaraq, bir elektronun spini onun kütləsi və elektrik yükü kimi daxili bir xüsusiyyətdir. Əgər bir elektron fırlanmasa, o elektron olmazdı.

İlk işlər elektron üzərində cəmləşsə də, fiziki alimlər sonra bu spinlə bağlı ideyaların, 1.1-ci cədvəlin üç ailəsini dolduran bütün maddə hissəciklərinə də uyğun gəldiyini göstərdilər. Bu hər detalına qədər doğrudur: Bütün maddə hissəcikləri (və onların antimaddə tərəfdaşları) elektronla eyni spinə sahibdirlər. Peşə dilində, fiziki alimlər deyirlər ki, maddə hissəciklərinin hamısı "spin- $\frac{1}{2}$ "-yə malikdir, burada $\frac{1}{2}$ dəyəri, təqribən, elektronların nə qədər sürətlə döndüyünü ölçən kvant mexaniki ölçüdür. Daha sonra fiziki alimlər göstərdilər ki, yer-qravitasiya olmayan qüvvə daşıyıcıları — fotonlar, zəif gauge bozonları və qluonlar — da daxili bir dönmə xüsusiyyətinə sahibdirlər və bunun nəticəsində bu hissəciklərin spini maddə hissəciklərininkindən iki dəfə daha çoxdur. Onların hamısı "spin-1"-ə malikdirlər.

Ya qravitasiya haqqında nə demək olar? Hələ tel nəzəriyyəsi olmadan belə, fiziki alimlər, qravitasiya qüvvəsinin daşıyıcısı olan təxmini gravitonun hansı spinə sahib olması lazım olduğunu müəyyən edə bildilər. Cavab: Fotonlar, zəif gauge bozonları və qluonlardan iki dəfə çox spinə sahibdir, yəni "spin-2".

Tel nəzəriyyəsi çərçivəsində, spin - kütlə və qüvvə yükü kimi - bir ipin icra etdiyi titrəmə naxışı ilə əlaqəlidir. Nöqtə hissəciklərində olduğu kimi, ipin daşdığı spin hərəkətinin, onun fiziki olaraq kosmosda fırlanmasından meydana gəldiyini düşünmək yanıltıcıdır, amma bu görüntü, zehində saxlamağa bir şəkil verir. Bu arada, əvvəlcə qarşılaşdığımız vacib bir məsələni indi aydınlaşdırmağa bilərik. 1974-cü ildə Scherk və Schwarz, tel nəzəriyyəsinin qravitasiya qüvvəsini daxil edən kvant nəzəriyyəsi kimi düşünülməli olduğunu elan etdilər, çünki onlar tapmışdılar ki, simlər məhz onların repertuarında, kütləvi olmayan və spin-2-yə sahib olan titrəmə naxışını məcburi şəkildə saxlayırlar — gravitonun əsas xüsusiyyətləri. Harada graviton varsa, orada da qravitasiya vardır.

Spin anlayışı haqqında bu fonu nəzərə alaraq, gəlin, bu anlayışın Coleman-Mandula nəticəsindən ortaya çıxan təbiət simmetriyalara dair mümkün olan boşluğu necə açdığını müzakirə edək.

Supersimmetriya və Superyoldaşlar

Əvvəlcə vurğuladığımız kimi, spin anlayışı, göründüyü kimi dövr edən zirvə təsvirinə bənzəsə də, əsaslı fərqliliklərə malikdir və bu fərqliliklər kvant mexanikasında kök salır. Onun 1925-ci ildə kəşfi göstərdi ki, yalnızca klassik kainatda mövcud olmayacaq başqa bir növ fırlanma hərəkəti var.

Bu, aşağıdakı suala işarə edir: adi fırlanma hərəkəti, fırlanma invariantsiyası simmetriyasının ("fizika bütün məkan orientasiyalarını bərabər şəkildə qəbul edir") mümkün olmasına yol açdığı kimi, spinlə əlaqəli daha incə fırlanma hərəkəti, təbiət qanunlarının başqa bir mümkün simmetriyasına gətirib çıxara bilərmi? 1971-ci ilə qədər fiziki alimlər bu suala cavab olaraq bəli olduğunu göstərdilər. Tam hekayə olduqca mürəkkəb olsa da, əsas fikir budur ki, spin nəzərə alındıqda, təbiət qanunlarının bir daha mümkün olan bir simmetriyasının mövcudluğu dəqiq şəkildə aşkar olur. Bu simmetriya supersimmetriya olaraq bilinir.

Supersimmetriya sadə və anlaşılan bir müşahidə nöqteyi-nəzərindən əlaqələndirilə bilməz; zaman, məkan mövqeyi, bucaq orientasiyası və hərəkət sürətinin dəyişməsi bu ehtimalları tükədir. Lakin, spin "fırlanma hərəkəti kimi, lakin kvant mexaniki bir twist ilə" olduğuna görə, supersimmetriya, müşahidə nöqteyi-nəzərini "məsafə və zamanın kvant mexaniki genişlənməsi" ilə əlaqələndirilə bilər. Bu sitatlar xüsusilə vacibdir, çünki sonuncu cümlə yalnız supersimmetriyanın daha böyük simmetriya prinsipləri çərçivəsində necə uyğunlaşdığına ümumi bir fikir vermək məqsədi daşıyır. Lakin, supersimmetriyanın mənşeyini anlamaq olduqca çətin olsa da, biz onun əsas nəticələrindən birinə diqqət yetirəcəyik — təbiət qanunlarının bu prinsipləri daxil edib-etməməsi — və bu, daha asan başa düşüləndir.

1970-ci illərin əvvəllərində, fiziki alimlər kəşf etdilər ki, əgər kainat supersimmetrikdirsə, təbiət hissəcikləri bir-birindən yarım vahid fərqlənən spinlərlə cütlər şəklində gəlməlidir. Bu hissəcik cütləri — onlar nöqtə kimi (standart modeldə olduğu kimi) və ya kiçik titrəyən halqalar kimi qəbul edilsələr də — superyoldaşlar adlanır. Çünki maddə hissəcikləri spin- $\frac{1}{2}$ -ə sahib olduqları halda, bəzi ötürmə hissəcikləri spin-1-ə malikdir, supersimmetriya maddə və qüvvə hissəciklərinin birləşməsinə — yoldaşlığa — səbəb olur. Buna görə də, bu çox gözəl birləşdirici bir anlayış kimi görünür. Ancaq problemlər detallarındadır.

1970-ci illərin ortalarında, fiziki alimlər supersimmetriyanı standart modelə daxil etməyə çalışdıqda, məlum oldu ki, heç bir məlum hissəciklər — 1.1 və 1.2 cədvəllərindəki hissəciklər — bir-birinin superyoldaşları ola bilməz. Bunun əvəzinə, ətraflı nəzəri təhlil göstərdi ki, əgər kainat supersimmetriya ilə əlaqədirdə, onda hər bir məlum hissəciyin hələ tapılmamış superyoldaşı olmalıdır və bu superyoldaşın spini tanınmış yoldaşından yarım vahid kiçik olacaq. Məsələn, elektronun spin-0 yoldaşı olmalıdır; bu hipotetik

hissəcik "selectron" (supersimmetrik elektron) adlanır. Eyni şey digər maddə hissəcikləri üçün də keçərlidir, məsələn, neytrinoların və kərkətlərin hipotetik spin-0 superyoldaşları "sneutrinos" və "squarks" adlanır. Eynilə, qüvvə hissəciklərinin spin- $\frac{1}{2}$ superyoldaşları olmalıdır: Fotonlar üçün "photinos", qluonlar üçün "gluinos", W və Z bozonları üçün isə "winos" və "zinos".

Daha yaxın baxıldıqda, supersimmetriya çox qeyri-ekonomik bir xüsusiyyət kimi görünür; bu, bütün əlavə hissəciklərin siyahısını tələb edir ki, nəticədə əsas tərkib hissələrinin siyahısını ikiqat artırır. Çünki heç bir superyoldaş hissəciyi heç vaxt aşkar edilməyib, siz Rabi'nin birinci fəsildəki müonun kəşfi ilə bağlı dediyi şərhə bir addım irəli aparıb, "supersimmetriya heç kim tərəfindən sifariş edilməyib" deyə bilərsiniz və bu simmetriya prinsipini dərhal rədd edə bilərsiniz. Lakin, üç səbəbdən ötürü, çoxlu fiziki alimlər bu cür sürətlə supersimmetriyanın rədd edilməsinin çox erkən olacağına ciddi şəkildə inanırlar. Gəlin, bu səbəbləri müzakirə edək.

Supersimmetriya üçün Dəlil: Sim Teoriyasından Əvvəl

İlk olaraq, estetik baxımdan, fiziki alimlər təbiətin, demək olar ki, bütün mümkün olan simmetriyalara hörmət etməyəcəyini düşünməkdə çətinlik çəkirlər. Əlbəttə, simmetriyanın tamamlanmamış istifadəsinin gerçəkdə baş verə biləcəyi mümkündür, amma bu, böyük bir itkidir. Bu, elə bir şeyə bənzəyirdi ki, Bax, mürəkkəb musiqi simmetriyasını doldurmaq üçün bir neçə qovuşan səsi inkişaf etdirdikdən sonra, son həll edici ölçünü atlayardı.

İkinci olaraq, hətta standart modeldə, qravitasiyanı nəzərə almayan bir nəzəriyyədə, kvant prosesləri ilə əlaqəli çətin texniki məsələlər supersimmetrik olduqda tez bir zamanda həll olunur. Əsas problem odur ki, hər bir fərqli hissəciyə aid növ, mikroskopik kvant-mexaniki qarışıqlığa öz töhfəsini verir. Fiziki alimlər aşkar ediblər ki, bu qarışıqlıqda, bəzi hissəcik qarşılıqlı təsirlərini əhatə edən proseslər yalnız standart modeldəki rəqəmsal parametrlər çox dəqiq tənzimlənsə ardıcıl qalır — bu da ən pis kvant təsirlərini ləğv etmək üçün bir milyon milyarda qədər dəqiqlik tələb edir. Belə bir dəqiqlik, son dərəcə güclü bir tufəngdən atılan bir güllənin, səhvən deyilən bir möcüzə ilə ayda müəyyən bir hədəfi vurması üçün burulmuş küncünü tənzimləməyə bənzəyir. Bənzər dəqiqliklə edilən rəqəmsal düzəlişlər standart modeldə mümkündür, lakin bir çox fiziki alimlər, belə bir nəzəriyyənin çox incə qurulmuş olmasının — onun təməlində olan bir rəqəmi onluq nöqtəsindən sonra on beşinci rəqəm qədər dəyişdikdə belə çökəcəyini — çox şübhəli hesab edirlər.

Supersimmetriya bu vəziyyəti köklü şəkildə dəyişdirir, çünki bozonlar — spinləri tam ədəd olan hissəciklər (Hind fiziki alimi Satyendra Bose-un adı ilə) və fermionlar — spinləri bir tam ədədin yarısı olan hissəciklər (İtalyan fiziki alimi Enrico Fermi-nin adı ilə) kvant-mexaniki töhfələr verərkən, ümumiyyətlə bir-birini ləğv edir. Bir salıncakta olduğu kimi, bozonun kvant cızıltıları müsbət olduqda, fermionların cızıltıları mənfi olur və tərsinə. Supersimmetriya, bozonlar və fermionların cütlər şəklində olmasını təmin etdiyi üçün başlanğıcda əhəmiyyətli ləğv etmələr baş verir — bu, bəzi frenziya təsirlərini əhəmiyyətli dərəcədə sakitləşdirir. Məlum olur ki, supersimmetrik standart modelin — superyoldaş hissəcikləri ilə gücləndirilmiş standart modelin — davamlılığı artıq adi standart modelin narahat edici dərəcədə incə rəqəmsal düzəlişlərinə əsaslanmır. Bu, yüksək texniki bir məsələ olsa da, bir çox hissəcik fiziki alimi bu anlayışı supersimmetriyanı olduqca cəlbədicidir.

Supersimmetriya üçün üçüncü dəlil, böyük birləşmə anlayışından gəlir. Təbiətin dörd qüvvətindən birinin qəribə xüsusiyyətlərindən biri onların daxili güclərindəki böyük fərkdir. Elektromaqnit qüvvəsi, güclü qüvvənin gücünün 1 faizindən azdır, zəif qüvvə isə bundan minlərlə dəfə zəifdir, qravitasiya qüvvəsi isə yüz milyon milyard milyard milyard (10^{-35}) dəfə daha zəifdir. 1974-cü ildə, Glashow, Salam və Weinberg-in elektromaqnit və zəif qüvvələr arasında dərinə bir əlaqə qurduqları, nəticədə Nobel mükafatı qazandıqları işlərinə əsaslanaraq, Glashow, Harvard-dan həmkarı Howard Georgi ilə birlikdə, güclü qüvvə ilə əlaqəli oxşar bir əlaqənin qurulmasını təklif etdilər. Onların işləri, dörd qüvvədən üçü üçün "böyük birləşmə" təklif etdi, lakin elektromaqnit və zəif qüvvələrin birləşməsindən fərqli olaraq, bu iş, güclü qüvvə ilə birləşmənin yalnız bir temperaturda müəyyən olacağını göstərdi — bu temperatur, bütün kainatın təxminən on trilyon dəfə yüksək bir temperaturda olan (absolut sıfırdan 10^{28} Kelvin daha yüksək) olardı. Enerji nöqtəyi-nəzərindən bu, protonun kütləsinin təxminən bir milyon milyard dəfə daha yüksəkdir və Plank kütləsindən dörd sıfır azdır. Georgi və Glashow, nəzəriyyə fizikasını bir çox ölçü sırasını aşan bir enerji sahəsinə apardılar.

Böyük Birləşmə və Kvant Dalğalanmaları Üzrə Sonrakı İşlər

Sonrakı illərdə, Georgi, Helen Quinn və Weinberg 1974-cü ildə Harvard-da etdikləri işlə, qeyri-qravitasiya qüvvələrinin böyük birləşmə çərçivəsində birləşmə potensialını daha da aşkar etdilər. Onların töhfəsi, qüvvələrin birləşdirilməsi və supersimmetriyanın təbii aləmə uyğunluğunu qiymətləndirmək baxımından vacib bir rol oynamağa davam edir. Gəlin, bu işin əhəmiyyətini izah etmək üçün bir an dayanaraq bunu nəzərdən keçirək.

Hamımız bilir ki, iki əks yüklü hissəciyin elektrik cazibəsi və ya iki kütləvi cismin qravitasiya cazibəsi, obyektlər arasındakı məsafə azaldıqca güclənir. Bunlar klassik fizikanın sadə və yaxşı bilinən xüsusiyyətləridir. Lakin bir sürprizlə qarşılaşırıq ki, kvant fizikasının qüvvələrin gücünə təsiri nədir. Niyə kvant mexanikasının heç bir təsiri olmalıdı? Cavab yenə də kvant dalğalanmalarındadır. Məsələn, bir elektronun elektrik sahəsini inceledikdə, biz əslində onu ətrafındakı məkan bölgəsində baş verən anlıq hissəcik-antihissəcik patlamaları və məhv edilmələrinin "dumanı" vasitəsilə incələyirik. Fiziklər bir müddət əvvəl başa düşdülər ki, bu mikroskopik dalğalanmaların qaynayan dumanı, elektronun güc sahəsinin tam gücünü ört-basdır edir, eynilə bir az incə sisin bir fənin işığını hissəciklərlə necə hiss edilməsini gizlətməsi kimi. Lakin qeyd edin ki, elektronun yanına getdikcə, biz hissəcik-antihissəcik dumanını daha çox keçəcəyik və bu səbəbdən onun zəifləmiş təsirinə daha az məruz qalacağıq. Bu, elektronun elektrik sahəsinin gücünün onun yanına getdikcə artacağını göstərir.

Fiziklər bu kvant-mexaniki güc artımını, elektronun yanına yaxınlaşdıqca, klassik fizika ilə tanış olduğumuz artımlardan ayırırlar. Bu, gücün yalnız ona yaxınlaşdığımız üçün artmadığını, həmçinin elektronun daxili elektrik sahəsinin daha çox görünməyə başladığını göstərir. Əslində, biz elektron üzərində cəmləşsək də, bu müzakirə, bütün elektrik yükü olan hissəciklər üçün bərabər dərəcədə keçərlidir və belə bir cümlə ilə yekunlaşdırılır: kvant təsirləri, elektromaqnit qüvvəsinin gücünün daha qısa məsafə miqyaslarında getdikcə böyüməsinə səbəb olur.

Bu, kvant dalğalanmalarının qüvvə sahələrinə necə təsir etdiyini və bu təsirin mühüm nəzəri nəticələrə necə yol açdığı barədə daha dərinə bir fikir verə bilər. Bu anlayış, böyük birləşmə çərçivəsində qüvvələrin birləşməsinə daha yaxşı başa düşməyə kömək edir və supersimmetriya nəzəriyyəsinin təbiətə necə tətbiq oluna biləcəyini izah etmək üçün əsaslı bir zəmin yaradır.

Standart Modelin Digər Qüvvələri Haqqında Nə Demək Olar?

Bəs standart modelin digər qüvvələri haqqında nə deyə bilərik? Onların daxili gücləri məsafəyə necə təsir edir? 1973-cü ildə Gross və Frank Wilczek Prinstondan və David Politzer Harvard-dan bu suala baxdılar və təəccüblü bir cavab tapdılar: Hissəciklərin patlamaları və məhv edilməsi ilə bağlı kvant "buludu" güclü və zəif qüvvələrin güclərini artırır. Bu, o deməkdir ki, biz onları daha qısa məsafələrdə araşdırdıqca, bu qaynama halında olan buludun daha çoxuna nüfuz edirik və bu səbəbdən onun gücləndirici təsirinə daha az məruz qalıyıq. Beləliklə, bu qüvvələrin gücləri qısa məsafələrdə daha zəif olur.

Georgi, Quinn və Weinberg bu anlayışı göturdülər və onu möhtəşəm bir nəticəyə çevirdilər. Onlar göstərdilər ki, kvant dalğalanmalarının təsirləri diqqətlə hesablandıqda, nəticədə

bütün qeyri-qravitasiya qüvvələrinin gücləri bir-birinə yaxınlaşır. Hal-hazırda mövcud olan texnologiya ilə ölçülə bilən miqyaslarda bu qüvvələrin gücləri çox fərqlidir, amma Georgi, Quinn və Weinberg bu fərqi əslində hər bir qüvvəyə kvant mikroskopik fəaliyyətinin "dumanının" fərqli təsiri olduğunu iddia etdilər. Onların hesablamaları göstərdi ki, əgər bu "duman" normal miqyaslarda deyil, təxminən bir santimetrin on milyarddan birinin onuncu hissəsi (Plank uzunluğundan yalnız on min dəfə daha böyük) məsafələrdə araşdırılırsa, üç qeyri-qravitasiya qüvvəsinin gücləri bərabərləşir.

Ümumi Təcrübədən Uzaq Olmasına Baxmayaraq, Çox Yüksək Enerji Lazımdır

Əgər belə kiçik məsafələrə həssas olmaq üçün tələb olunan yüksək enerji ümumiyyətlə adi təcrübə sahəsindən uzaq olsa da, bu enerji ilk universenin çox isti və qaynar vəziyyətindəki xüsusiyyətə bənzəyir, o zaman univers 10^{-39} saniyəlik bir dövründə idi - bu dövr ərzində onun temperaturu 10^{28} Kelvin civarındaydı. Bir növ, metal, ağac, daş, minerallar və s. kimi müxtəlif maddələrin kifayət qədər yüksək temperaturda əriməsi və homogen bir plazma halına gəlməsi kimi, bu nəzəri işlər göstərdi ki, güclü, zəif və elektromaqnit qüvvələri belə böyük temperaturda birləşərək bir ümumi qüvvə halına gəlir. Bu, Şəkil 7.1-də sxematik şəkildə göstərilir.

Yüksək Enerjiyə və Kiçik Məsafələrə Həssaslıq

Bizim texnologiyamız bu cür kiçik məsafələri araşdırmaq və ya belə yüksək temperatur yaratmaq üçün kifayət etməsə də, 1974-cü ildən bəri eksperimentalçılar gündəlik şəraitdə üç qeyri-qravitasiya qüvvəsinin ölçülən güclərini əhəmiyyətli dərəcədə dəqiqləşdiriblər. Bu məlumatlar - Şəkil 7.1-dəki üç qüvvə gücü ayrılmasının başlanğıc nöqtələri - Georgi, Quinn və Weinberg-in kvant mexaniki ekstrapolyasiyaları üçün əsas məlumatlardır. 1991-ci ildə CERN-dən Ugo Amaldi, Karlsruhe Universitetindən Wim de Boer və Hermann Fürstenau bu eksperimental təkmilləşdirmələri nəzərə alaraq Georgi, Quinn və Weinberg-in ekstrapolyasiyalarını yenidən hesabladılar və iki mühüm şey göstərdilər. Birincisi, üç qeyri-qravitasiya qüvvəsinin gücləri demək olar ki, eyni olur, lakin kiçik məsafə miqyaslarında (yüksək enerji/yüksək temperaturda), Şəkil 7.2-də göstərildiyi kimi. İkincisi, bu güclər arasındakı kiçik, amma inkar edilə bilməyən uyğunsuzluq supersimmetriya daxil edildikdə yox olur. Bunun səbəbi odur ki, supersimmetriya tərəfindən tələb olunan yeni superpartner hissəcikləri əlavə kvant dalğalanmalarına səbəb olur və bu dalğalanmalar, qüvvələrin güclərinin bir-birinə yaxınlaşmasına kömək etmək üçün tam olaraq uyğundur.

Bir çox fizikaçı üçün, təbiətin qüvvələri elə seçməsi çox çətindir ki, onlar mikro miqyasda birləşən (yəni bərabər olan) güclərə sahib olsunlar, amma tam olaraq deyil. Bu, sonuncu parçası bir az yanlış formada olan və təyin olunmuş yerinə tam oturmayan bir yapboz

yapmağa bənzəyir. Supersimmetriya onun formasını ustalıqla düzəldir ki, bütün parçalar möhkəm şəkildə yerində otursun. Bu sonuncu anlayışın başqa bir aspekti isə, “Niyə hələ heç bir superpartner hissəciyi kəşf etməmişik?” sualına mümkün bir cavab təqdim etməsidir. Qüvvə güclərinin yaxınlaşmasına səbəb olan hesablamalar və bir sıra fizikaçıların araşdırdığı digər məsələlər göstərir ki, superpartner hissəcikləri tanınan hissəciklərdən xeyli ağır olmalıdır. Hələlik heç bir dəqiq proqnoz vermək mümkün olmasa da, araşdırmalar göstərir ki, superpartner hissəcikləri bir protonun min dəfə kütləli ola bilər, hətta daha ağır ola bilər. Hal-hazırda ən müasir sürətləndiricilərimiz belə belə yüksək enerjilərə çatmaqda çətinlik çəkir, bu da həmin hissəciklərin hələ tapılmamasının izahını təqdim edir. 9-cu fəsildə, yaxın gələcəkdə supersimmetriyanın həqiqətən bizim dünyamızın xüsusiyyəti olub-olmadığını müəyyən etmək üçün eksperimental imkanlara qayıdacağıq.

Əlbəttə ki, supersimmetriyanın əhəmiyyətinə inamımızı əsaslandıran səbəblər heç də tamamilə sualsız deyil. Biz supersimmetriyanın nəzəriyyələrimizi ən simmetrik forma qaldırdığını izah etdik - amma siz təklif edə bilərsiniz ki, kainat, riyazi cəhətdən mümkün olan ən simmetrik formaya çatmağa əhəmiyyət vermir. Biz, supersimmetriyanın standart modeldəki nömrə parametrlərini incə kvant problemlərini qarşısını almaq üçün düzgün tənzimləməkdən bizi azad etdiyi vacib texniki məsələyə toxunduq - amma siz deyə bilərsiniz ki, təbiəti təsvir edən həqiqi nəzəriyyə öz-özlüyündə uyğunluq və özünü məhv etmə arasında incə həddi izləyir. Biz supersimmetriyanın üç qeyri-qravitasiya qüvvəsinin kiçik məsafələrdəki daxili güclərini birləşib böyük bir qüvvəyə çevrilməsi üçün doğru şəkildə dəyişdirdiyini müzakirə etdik - amma yenə də deyə bilərsiniz ki, təbiətin dizaynında bu qüvvə güclərinin mikro miqyasda tam uyğun gəlməsi lazım olduğunu heç nə diktə etmir. Və nəhayət, siz təklif edə bilərsiniz ki, superpartner hissəciklərinin heç tapılmamasının sadə bir izahı ola bilər: bizim kainatımız supersimmetrik deyil və buna görə də superpartnerlər mövcud deyildir.

Bu cavabların heç biri təkzib edilə bilməz. Lakin supersimmetriyanın əhəmiyyəti, onun sim nəzəriyyəsindəki rolunu nəzərə aldıqda əhəmiyyətli dərəcədə güclənir.

Supersimmetriya Sim Nəzəriyyəsində

1960-cı illərin sonlarında Veneziano'nun işindən yaranan orijinal sim nəzəriyyəsi bu fəsilin əvvəllərində müzakirə olunan bütün simmetriyalara daxil idi, amma supersimmetriya (hələ kəşf edilməmişdi) nəzəriyyəyə daxil edilməmişdi. Sim konsepsiyasına əsaslanan bu ilk nəzəriyyə daha dəqiq desək, boson sim nəzəriyyəsi adlanırdı. Bosonik adının verilməsi,

bütün vibrasiya nümunələrinin spinlərinin tam ədəd olması ilə əlaqəlidir — yəni fermionik nümunələr, yəni spinləri tam ədədə yarım vahid fərqli olan nümunələr yoxdur. Bu, iki problemə səbəb oldu.

Birincisi, əgər sim nəzəriyyəsi bütün qüvvələri və bütün maddəni təsvir edəcəksə, fermionik vibrasiya nümunələrini də daxil etməli olardı, çünki məlum maddə hissəcikləri hamısı spin- $\frac{1}{2}$ -ə malikdir. İkinci və daha narahatedici problem isə boson sim nəzəriyyəsindəki bir vibrasiya nümunəsinin kütləsinin (daha dəqiq desək, kütləsinin kvadratının) mənfi olduğu — belə ki, "takyon" adlandırılan bir nümunənin olmasıdır. Hələ sim nəzəriyyəsindən əvvəl, fizikaçılar, dünyamızda pozitiv kütləyə malik tanınmış hissəciklərə əlavə olaraq takyonsuz hissəciklərin mövcud olub-olmaması məsələsini araşdırmışdılar, amma bu cür nəzəriyyənin məntiqi cəhətdən mənalı olması çətin, hətta mümkünsüz olduğunu göstərmişdilər. Eyni şəkildə, boson sim nəzəriyyəsi çərçivəsində, fizikaçılar takyona dair bu qərribə proqnozu başa düşmək üçün müxtəlif yolları sınamışdılar, amma uğursuz olmuşdular. Bu xüsusiyyətlər getdikcə daha aydın etdi ki, maraqlı bir nəzəriyyə olsa da, boson sim nəzəriyyəsi vacib bir şeydən məhrumdur.

1971-ci ildə Florida Universitetindən Pierre Ramond boson sim nəzəriyyəsini fermionik vibrasiya nümunələrini daxil edəcək şəkildə dəyişdirmək çağırışını qəbul etdi. Onun işi və sonrakı Schwarz və André Neveu'nun nəticələri ilə yeni bir sim nəzəriyyəsi versiyası yaranmağa başladı. Və hər kəsin təəccübünə səbəb olaraq, bu yeni nəzəriyyənin bosonik və fermionik vibrasiya nümunələri cütləşmiş kimi görünürdü. Hər bosonik nümunəyə uyğun bir fermionik nümunə var idi və əksinə. 1977-ci ildə Ferdinando Gliozzi, Scherk və David Olive'nin Kembriç Universitetindəki nəticələri bu cütləşməni düzgün şəkildə işıqlandırdı. Yeni sim nəzəriyyəsi supersimmetriyanı daxil etmişdi və bosonik və fermionik vibrasiya nümunələrinin cütləşməsi bu yüksək simmetrik xüsusiyyəti əks etdirirdi. Supersimmetrik sim nəzəriyyəsi — yəni supersim nəzəriyyəsi — doğrulmuşdu. Üstəlik, Gliozzi, Scherk və Olive'nin işləri digər vacib bir nəticəni də göstərdi: Boson sim'in problemi olan takyona dair vibrasiya supersimdə mövcud deyil. Yavaş-yavaş, sim bulmacasının parçaları öz yerinə oturmağa başlayırdı.

Bununla belə, Ramond'un işi, həmçinin Neveu və Schwarz'ın işlərinin ilkin əsas təsiri əslində sim nəzəriyyəsindən deyil. 1973-cü ilə qədər fizikaçılar Julian Wess və Bruno Zumino, supersimmetriyanın — sim nəzəriyyəsinin yenidən formalaşdırılmasından yaranan yeni simmetriyanın — hətta nöqtə hissəcikləri əsaslı nəzəriyyələrə də tətbiq oluna biləcəyini başa düşdülər. Onlar supersimmetriyanı nöqtə hissəcikləri kvant sahə nəzəriyyəsinin çərçivəsinə daxil etmək istiqamətində vacib addımlar atdılar. Və o dövrdə kvant sahə nəzəriyyəsi əsas partikel-fizikası icmasının mərkəzi marağı olduğu üçün — sim nəzəriyyəsi getdikcə kənar bir mövzuya çevrilərkən — Wess və Zumino'nun baxışları

supersimmetrik kvant sahə nəzəriyyəsi adlanan mövzuya böyük bir tədqiqat hərəkatı başlatdı. Əvvəlki fəsildə müzakirə olunan supersimmetrik standart model, bu tədqiqatların bir şah əsəridir; indi görürük ki, tarixi döngələrdən və dönüşlərdən sonra hətta bu nöqtə hissəciyi nəzəriyyəsi belə sim nəzəriyyəsinə böyük bir borcunu verir. 1980-ci illərin ortalarında supersim nəzəriyyəsinin yenidən canlanması ilə supersimmetriya orijinal kəşfi çərçivəsində yenidən meydana çıxdı. Və bu çərçivədə, supersimmetriyanın dəlili bir qədər daha irəlilədi. Sim nəzəriyyəsi, ümumi nisbilik və kvant mexanikasını birləşdirmək üçün bildiyimiz yeganə yoldur. Amma yalnız supersimmetrik sim nəzəriyyəsi, zərərli takyonsuz problemindən qaçır və fermionik vibrasiya nümunələrinə malikdir ki, bunlar ətrafımızdakı maddə hissəciklərini izah edə bilər. Beləliklə, supersimmetriya, sim nəzəriyyəsinin kvant cazibə nəzəriyyəsi təklifi ilə və həmçinin onun bütün qüvvələri və bütün maddəni birləşdirmək iddiası ilə birgə gəlir. Əgər sim nəzəriyyəsi doğru olarsa, fizikaçılar supersimmetriyanın da doğru olduğunu gözləyirlər. Lakin 1990-cı illərin ortalarına qədər supersimmetrik sim nəzəriyyəsini ciddi şəkildə narahat edən bir xüsusiyyət var idi.

Bir Super-Bolluq Zənginliyi

Əgər birisi sizə deyərsə ki, o, Amelia Earhart'ın taleyinin sirrini həll edib, əvvəlcə şübhələyə bilərsiniz, amma əgər onun yaxşı sənədləşdirilmiş, dərinlən düşünülmüş bir izahı varsa, ehtimal ki, onu dinləyərsiniz və kim bilir, bəlkə də inandığınız belə olar. Amma sonra bir az fasilə ilə, onlar ikinci bir izah da təqdim edirlər. Siz səbrlə dinləyərsiniz və təəccüblə görərsiniz ki, bu alternativ izah birinci ilə eyni dərəcədə sənədləşdirilmiş və düşünülmüşdür. Və ikinci izahı bitirdikdən sonra, sizə üçüncü, dördüncü, hətta beşinci izah təqdim edilir — hər biri digərindən fərqli olsa da, hər biri eyni dərəcədə inandırıcıdır. Şübhəsiz ki, təcrübənin sonunda, Amelia Earhart'ın həqiqi taleyinə, başlanğıcda olduğunuzdan daha yaxın hiss etməyəcəksiniz. Əsas izahlar dünyasında, çoxu daha azdır. 1985-ci ilə qədər, sim nəzəriyyəsi—bütün haqlı həyəcanı ilə—Amelia Earhart'ın taleyini həll edən o çox həvəslə çalışan mütəxəssis kimi səslənməyə başlamışdı. Bunun səbəbi odur ki, 1985-ci ilə qədər fizikaçılar supersimmetriyanın artıq sim nəzəriyyəsinin strukturunda mərkəzi bir element olduğunu başa düşmüşdülər və əslində bu supersimmetriya, sim nəzəriyyəsinə bir deyil, beş fərqli şəkildə daxil edilə bilərdi. Hər bir üsul, boson və fermionik vibrasiya nümunələrinin birləşməsinə nəticələndirir, amma bu birləşmənin detallarının və ortaya çıxan nəzəriyyələrin digər xüsusiyyətləri əhəmiyyətli dərəcədə fərqlidir. Bu nəzəriyyələrin adları çox vacib olmasa da, qeyd etmək lazımdır ki, bu beş

supersimmetrik sim nəzəriyyəsi Type I nəzəriyyəsi, Type IIA nəzəriyyəsi, Type IIB nəzəriyyəsi, Heterotik tip O(32) nəzəriyyəsi ("oh-thirty-two" olaraq tələffüz olunur) və Heterotik tip E8 × E8 nəzəriyyəsi ("e-eight times e-eight" olaraq tələffüz olunur) adlanır. İndiyə qədər müzakirə etdiyimiz bütün sim nəzəriyyəsi xüsusiyyətləri hər bir bu nəzəriyyə üçün keçərlidir — yalnız incə detallar fərqlidir. Bir-birinə bənzəyən beş fərqli versiyanın olması, bir növ universal birləşdirilmiş nəzəriyyənin — ehtimal ki, son dərəcə birləşmiş nəzəriyyənin — olduqlarını iddia etmək, sim nəzəriyyəsinin fizikləri üçün böyük bir utanc halına gəldi. Təsəvvür edin ki, Amelia Earhart'ın başına gələnlərə yalnız bir doğru izah olmalıdır (baxmayaraq ki, bu izahı tapmaq heç vaxt mümkün olmaya bilər), biz də eyni şeyin dünyamızın necə işlədiyinə dair ən dərin və ən əsas izah üçün keçərli olmasını gözləyirik. Bir kainatda yaşayırıq; bir izah gözləyirik. Bu problemi həll etmək üçün bir təklif, əgər beş fərqli supersim nəzəriyyəsi varsa, onların dördünün sadəcə təcrübələr tərəfindən rədd edilməsi və birinin doğru və uyğun izah çərçivəsini təqdim etməsi ola bilər. Amma hətta bu belə olsa belə, hələ də qalan sual, niyə digər nəzəriyyələrin əvvəldən mövcud olduğu məsələsidir. Witten'in zarafatla dediyi kimi, "Əgər beş nəzəriyyədən biri bizim kainatımızı izah edərsə, o zaman digər dörd dünyada kim yaşayır?" Fizikaçının arzusu odur ki, ən son cavabların axtarışı bir tək, unikal, tamamilə qaçınılmaz bir nəticəyə gətirib çıxarsın. İdeal olaraq, ən son nəzəriyyə—sim nəzəriyyəsi və ya başqa bir şey—olmalı idi, çünki sadəcə olaraq başqa heç bir mümkünlük yoxdur. Əgər biz kəşf etsək ki, təkcə bir məntiqi cəhətdən düzgün nəzəriyyə var və bu nəzəriyyə həm nisbilik, həm də kvant mexanikasının əsas elementlərini birləşdirir, bir çox insan hiss edərdi ki, biz kainatın xüsusiyyətlərini niyə belə olduğunu başa düşməyin ən dərin anlayışına çatmışıq. Qısacası, bu birləşdirilmiş nəzəriyyə cənnəti olardı. Sonrakı fəsildə görəcəyimiz kimi, son araşdırmalar, supersim nəzəriyyəsini bu birləşdirilmiş utopiyaya daha da yaxınlaşdırıb və göstərib ki, bu beş fərqli nəzəriyyə əslində təəccüblü şəkildə, bir və eyni əsas nəzəriyyənin beş fərqli şəkildə təsvir edilməsidir. Supersim nəzəriyyəsinin unikallıq ləyaqəti var. Hər şey öz yerinə oturur kimi görünür, amma növbəti fəsildə müzakirə edəcəyimiz kimi, sim nəzəriyyəsi ilə birləşmə, ənənəvi düşüncə tərzindən daha bir mühüm fərqlilik tələb edir.

Fəsil 8:

Gözə Görünməyən Daha Çox Ölçü

Eynşteyn keçən yüz ilin iki əsas elmi münaqişəsini xüsusi və ümumi nisbilik nəzəriyyəsi ilə həll etdi. Onun işini motivasiya edən ilkin problemlər nəticəni öncədən göstərməsə də, bu həllər hər biri zaman və məkan anlayışımızı tamamilə dəyişdirdi. Sim nəzəriyyəsi isə keçən əsrin üçüncü böyük elmi münaqişəsini həll edir və o qədər dərin şəkildə fizikanın təməlini sarsıdır ki, hətta Eynşteyn belə bu qədər radikal dəyişiklik tələb edən nəticələri təəccüblə qarşılayardı. Sim nəzəriyyəsi müasir fizikanın təməlini o qədər sarsıdır ki, bizim kainatdakı ölçülərin ümumiyyətlə qəbul edilmiş sayı — o qədər əsas bir şey ki, onu sorğulamaq belə düşünülməz — dramatik şəkildə və inandırıcı bir şəkildə alt-üst edilir.

Tanışlığın İllüziyası

Təcrübə intuisiyanı müəyyən edir. Lakin bu yalnız bununla kifayətlənmir: Təcrübə, nəyi qəbul etdiyimizi və şərh etdiyimizi analiz və şərh etməyimiz üçün bir çərçivə təyin edir. Məsələn, "qurdlar tərəfindən böyüdülmə" bir uşaq dünyanı tamamilə fərqli bir baxış bucağından şərh edəcək, bunu çox gözləyə bilərsiniz. Hətta daha az ekstremal müqayisələr, məsələn, fərqli mədəni ənənələrdə böyüyən insanlar arasında olan fərqlər, təcrübələrin nə dərəcədə şərh etmə tərzimizi müəyyənləşdirdiyini göstərir. Lakin biz hamımızın təcrübə etdiyimiz müəyyən şeylər vardır. Və çox vaxt bu ümumi təcrübələrdən yaranan inanclar və gözləntilər bizi çətinliklə müəyyən edə biləcəyimiz və ən çətinliklə sorğulaya biləcəyimiz şeylərdir. Sadə, amma dərin bir nümunə isə belədir: Əgər bu kitabı oxumaqdan qalxsanız, üç müstəqil istiqamətdə hərəkət edə bilərsiniz—yəni, üç müstəqil məkan ölçüsü üzrə hərəkət edə bilərsiniz. İzlədiyiniz hər hansı bir yol—necə mürəkkəb olursa olsun—bu üç ölçü üzrə hərəkət etməyin birləşməsi ilə müəyyən edilir. Hər dəfə bir addım atdıığınızda, əslində bu üç ölçü üzrə necə hərəkət edəcəyinizi müəyyən edən üç ayrı qərar verirsiniz. Bir ekvivalent ifadə, xüsusi nisbilik nəzəriyyəsində müzakirə etdiyimiz kimi, kainatdakı hər hansı bir mövqeyi tam olaraq üç məkan ölçüsünə nisbətən təyin edərək müəyyən edə bilərik. Tanış bir dil ilə desək, bir şəhər ünvanını təyin edirsinizsə, məsələn, bir küçə (sol-sağ ölçüsündə mövqe), bir kəsişmə və ya avenyu (geri-irəli ölçüsündə mövqe) və bir mərtəbə nömrəsi (yuxarı-aşağı ölçüsündə mövqe) verirsiniz. Daha müasir bir baxış bucağından isə biz Eynşteynin işinin bizə vaxtı başqa bir ölçü olaraq düşünməyi tövsiyə etdiyini görmüşük (gelecək-keçmiş ölçüsü), bu da bizə ümumilikdə dörd ölçü (üç məkan ölçüsü və bir zaman ölçüsü) verir. Kainatdakı hadisələri müəyyən edərkən, onlar harada və nə zaman baş verdiyini bildirərək təyin edirsiniz.

Bu kainat xüsusiyyəti o qədər əsasdır, o qədər ardıcıl və hərtərəfli yayılmışdır ki, həqiqətən də buna şübhə etmək mümkün deyil kimi görünür. Lakin 1919-cu ildə, Königsberg Universitetindən çox tanınmayan Polşalı riyaziyyatçı Theodor Kaluza, açıq-aydın olanı sorğulamağa cəsarət etdi—o, kainatın əslində üç məkan ölçüsünə sahib olmaya biləcəyini, daha çox ölçüləri ola biləcəyini təklif etdi. Bəzən gülünc səslənən təkliflər sadəcə gülüncdür. Bəzən isə onlar fizikanın təməlini sarsıdır. Kaluza'nın təklifi, uzun bir zaman dilimində qəbul edilə bilməsə də, bizim fiziki qanunlarımızı formalaşdırmağımızı inqilab etdi. Biz hələ də onun təəccüblü şəkildə əvvəlcədən görəcəyi qədər müdrik fikrinin nəticələrini hiss edirik.

Kaluza'nın Fikri və Klein'in İnkişafı

Kainatımızın üç məkan ölçüsündən çox olacağı təklifi bəlkə də gülünc, qəribə və ya mistik səslənə bilər. Lakin gerçəkdə bu, konkret və tamamilə mümkündür. Bunu başa düşmək üçün, ən asan yol, diqqətimizi bir anlıq bütöv kainatdan başqa daha tanış bir obyektə yönəltməkdir, məsələn, uzun, nazik bir bağ hose (bağ hortumu). Təsəvvür edin ki, bir neçə yüz fut uzunluğunda bağ hortumu bir dərəcəyə çəkilib və siz onu təxminən bir dördə bir mil məsafədən baxırsınız, məsələn, Şəkil 8.1(a)-da olduğu kimi. Bu məsafədən baxdığınızda, hortumun uzun, açılmamış, üfüqi genişliyini asanlıqla görə bilərsiniz, amma hortumun qalınlığını ayırd etmək çətin olacaq. Uzaqdan baxdığınız zaman, bir qarışqa hortumda yaşamaq məcburiyyətində olsaydı, yalnız bir ölçüdə hərəkət edə biləcəyini düşünərdiniz: hortumun uzunluğu boyunca, sol-sağ ölçüsündə. Əgər sizdən qarışqanın hansı nöqtədə olduğunu söyləməyinizi istəsələr, yalnız bir məlumat verməli olardınız: qarışqanın hortumun sol (ya da sağ) ucundan nə qədər uzaqda olduğunu. Nəticədə, bir dördə bir mil məsafədən uzun bağ hortumu bir ölçülü bir obyekt kimi görünərdi.

Lakin gerçəkdə biz bilirik ki, hortumun qalınlığı var. Bunu dördə bir mil məsafəsindən ayırd etmək çətin ola bilər, amma bir cüt binalar istifadə edərək hortumu böyüdə bilər və onun dövrənini birbaşa müşahidə edə bilərsiniz, Şəkil 8.1(b)-də göstərildiyi kimi. Böyüdülmüş bu perspektivdən, hortumda yaşayan bir qarışqanı görmək üçün həqiqətən iki müstəqil istiqamətə sahib olduğunu görürsünüz: artıq tanımlanan sol-sağ ölçüsündə hortumun uzunluğu boyunca və hortumun dövrəni üzrə "saat yönü ilə əks-saat yönü" ölçüsündə. İndi anlayırsınız ki, bir qarışqanı müəyyən bir anda harada olduğunu təyin etmək üçün faktiki olaraq iki məlumat verməlisiniz: birincisi, qarışqanın hortumun

uzunluğu boyunca harada olduğu, ikincisi isə onun hortumun dövrəni üzrə harada olduğu. Bu, bağ hortumunun səthinin iki ölçülü olduğunu göstərir. Bununla belə, bu iki ölçü arasında aydın bir fərq var. Hortumun uzunluğu boyunca olan istiqamət uzun, geniş və asanlıqla görünən bir ölçüdür. Hortumun qalınlığı üzrə dövrəni edən istiqamət isə qısa, "bükülmüş" və görməsi daha çətin. Dönmə ölçüsünü başa düşmək üçün, hortumu əhəmiyyətli dərəcədə daha dəqiq bir şəkildə araşdırmalısınız.

Bu misal məkan ölçülərinin çox incə və vacib bir xüsusiyyətini vurğulayır: Onlar iki cür ola bilərlər. Onlar böyük, uzanmış və buna görə də birbaşa görünən, ya da kiçik, bükülmüş və çox daha çətin aşkarlanan ola bilərlər. Təbii ki, bu misalda "bükülmüş" ölçünü, hortumun qalınlığını əhatə edən ölçünü ortaya çıxarmaq üçün çox böyük bir cəhd göstərməli deyildiniz. Yalnız bir cüt binoqlardan istifadə etməlisiniz. Lakin əgər çox incə bir bağ hortumunuz olsaydı – bir saç teli və ya kapilyar kimi – onun bükülmüş ölçüsünü aşkarlamaq daha çətin olardı. 1919-cu ildə Eynşteynə göndərdiyi məqalədə Kaluza inanılmaz bir təklif irəli sürdü. O, kainatın məkan toxumasının ümumi təcrübədəki üç ölçüdən daha çox ölçüyə sahib ola biləcəyini təklif etdi. Bu radikal nəzəriyyənin motivasiyası, Kaluza'nın bunun Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsi və Maksvelin elektromaqnit nəzəriyyəsini tək birləşdirilmiş bir cəhəyə gətirən şık və inandırıcı bir model təqdim etdiyini başa düşməsi idi. Lakin, daha dərhal sual yaranır: Bu təklif, biz üç məkan ölçüsünü dəqiq şəkildə görərkən necə uyğunlaşdırıla bilər?

Cavab, Kaluza'nın işində gizli olan və 1926-cı ildə İsveçli riyaziyyatçı Oskar Klein tərəfindən aydınlaşdırılmış və təkmilləşdirilmişdir. Bu cavaba görə, kainatın məkan toxuması həm uzanmış, həm də bükülmüş ölçülərə sahib ola bilər. Yəni, bağ hortumunun üfüqi genişliyinə bənzər şəkildə, kainatın bizim gördüyümüz üç böyük və uzanmış ölçüsü var, amma bağ hortumunun dairəvi qalınlığı kimi kainatda əlavə məkan ölçüləri də ola bilər ki, bunlar çox sıx bir şəkildə kiçik bir məkanın içində bükülmüşdür – o qədər kiçikdirlər ki, hələ bizim ən incə təcrübə avadanlıqlarımızla belə aşkarlanmayıblar. Bu təklifin daha aydın bir təsvirini əldə etmək üçün, gəlin bağ hortumuna bir daha baxaq. Təsəvvür edin ki, hortumun üzərinə sıx şəkildə qara dairələr çəkilib. Uzaqdan baxanda, əvvəlki kimi, bağ hortumu nazik, bir ölçülü bir xətt kimi görünür. Lakin binoqlarla yaxınlaşanda, bükülmüş ölçünü daha da asanlıqla aşkarlaya bilərsiniz və şəkil 8.2-də təsvir olunan görüntüyü görürsünüz. Bu şəkil, bağ hortumunun səthinin iki ölçülü olduğunu vurğulayır, bir böyük və uzanmış ölçü və bir kiçik, dairəvi ölçü. Kaluza və Klein təklif etdilər ki, bizim məkan kainatımız buna bənzəyir, amma onun üç böyük, uzanmış məkan ölçüsü və bir kiçik, dairəvi ölçüsü var – ümumilikdə dörd məkan ölçüsü. Bu qədər ölçü ilə bir şey çəkmək çətin, buna görə də vizuallaşdırma məqsədiylə biz iki böyük ölçü və bir kiçik dairəvi

ölçü olan bir təsvirlə razılaşmalıyıq. Biz bunu şəkil 8.3-də izah edirik, burada kainatın toxumasını, bağ hortumunun səthini böyütdüyümüz şəkildə böyüdürük.

Şəkilin aşağı hissəsindəki şəkil məkanın görünən strukturunu, yəni ətrafımızdakı adi dünyanı göstərir, tanış məsafə ölçüləri ilə, məsələn, metr ilə. Bu məsafələr ən böyük şəbəkə xəttləri ilə təmsil olunur. Sonrakı şəkillərdə, məkanın toxumasına diqqət yetirərək daha kiçik sahələrə fokuslanırıq və onları ardıcıl olaraq böyüdürük ki, onları asanlıqla görmək mümkün olsun. İlk dəfə məkanın toxumasına qısa məsafə ölçülərində baxarkən, çox şey dəyişmir; o, əvvəlki böyük ölçülərlə eyni əsas formaya malik görünür, bunu ilk üç böyüdülmüş səviyyədə görürük. Lakin, məkanın ən mikroskopik şəkildə təhlilinə doğru irəlilədikcə, şəkil 8.3-dəki dördüncü böyüdülmüş səviyyədə yeni, bükülmüş, dairəvi bir ölçü ortaya çıxır, bu, sıx toxunmuş xalça parçalarının sim döngələrinə bənzəyir. Kaluza və Klein əlavə dairəvi ölçünün hər bir nöqtədə mövcud olduğunu təklif etdilər, bu da bağ hortumunun üfüqi uzanmasında hər nöqtədə mövcud olan dairəvi qalınlığına bənzəyir. (Vizuallaşdırmanın aydın olması üçün, biz yalnız uzanmış ölçülərdə nizamlı olaraq yerləşdirilmiş dairəvi ölçülərin təsviri nümunəsini çəkmişik.) Biz Kaluza-Klein nəzəriyyəsinə əsaslanaraq məkan toxumasının mikroskopik strukturunu şəkil 8.4-də göstəririk. Bağ hortumu ilə olan oxşarlıq açıq-aydındır, baxmayaraq ki, burada bəzi vacib fərqlər var. Kainatın üç böyük, uzanmış məkan ölçüsü var (bunlardan yalnız ikisini çəkmişik), bağ hortumunun bir ölçüsünə nisbətə və daha vacib olanı, biz artıq yalnız bir obyektin, məsələn, bağ hortumunun deyil, kainatın özünün məkan toxumasını təsvir edirik. Lakin əsas ideya eynidir: Bağ hortumunun dairəvi qalınlığı kimi, əgər kainatın əlavə bükülmüş, dairəvi ölçüsü çox kiçikdirsə, bu, böyük, uzanmış ölçülərdən daha çətin aşkarlanır. Əslində, əgər onun ölçüsü kifayət qədər kiçiksə, o, hətta bizim ən güclü böyüdücü alətlərimizlə belə aşkarlanmayacaq. Və ən vacibi, dairəvi ölçü sadəcə tanış uzanmış ölçülər içərisində bir dairəvi şişlik deyil, həmçinin yeni bir ölçüdür, bu, hər bir nöqtədə mövcuddur, eynən yuxarı-aşağı, sağ-sol və irəli-geri ölçüləri hər bir nöqtədə mövcud olduğu kimi. Bu, yeni və müstəqil bir istiqamətdir, burada kiçik olsa da bir qarışqa hərəkət edə bilərdi. Belə mikroskopik bir qarışqanın məkan mövqeyini göstərmək üçün, onun üç tanış uzanmış ölçüdə harada olduğunu və həmçinin dairəvi ölçüdə harada olduğunu bildirməliyik. Bizə dörd məkan məlumatı parçacıqları lazım olacaq; vaxtı da əlavə etsək, ümumilikdə beş məkan-vaxt məlumatı alırıq – normalda gözlədiyimizdən bir daha çox.

Beləliklə, təəccüblü bir şəkildə görürük ki, biz yalnız üç uzanmış məkan ölçüsünü bildiyimiz halda, Kaluza və Klein-in məntiqi göstərir ki, bu, əlavə bükülmüş ölçülərin mövcudluğunu inkar etmir, ən azı onlar çox kiçikdirsə. Kainat çox böyük ehtimalla gözlə görünən ölçülərdən daha çox ölçüə sahibdir. "Kiçik" nə qədər kiçikdir? Ən son texnologiya

avadanlıqları bir milyardın bir milyardıncı hissəsinə qədər kiçik strukturları aşkarlaya bilir. Beləliklə, əlavə bir ölçü bu kiçik məsafədən daha kiçik bir ölçüdə bükülərsə, o, bizim aşkarlamağımız üçün çox kiçik olacaq. 1926-cı ildə Klein, Kaluza-nın ilkin təklifini kvant mexanikası sahəsində yaranan bəzi ideyalarla birləşdirdi. Onun hesablamaları göstərdi ki, əlavə dairəvi ölçü Plank uzunluğunda, eksperimental olaraq aşkarlanan ölçüdən çox daha qısa ola bilər. O vaxtdan bəri, fizikaçılar əlavə kiçik məkan ölçülərinin mümkünlüyünü Kaluza-Klein nəzəriyyəsi adlandırıblar.

Bağ Hortumu Üzərində Gəlişlər və Gedişlər

Bağ hortumu nümunəsi və 8.3-cü şəkil sadəcə sizə kainatımızda əlavə məkan ölçülərinin mövcud ola bilməsi ehtimalını bir qədər hiss etdirmək üçündür. Lakin bu sahədə çalışan tədqiqatçılar üçün belə, üçdən çox məkan ölçülü bir kainatı təsəvvür etmək olduqca çətinidir. Buna görə də fiziklər bu əlavə ölçülərlə bağlı intuisiya hissələrini inkişaf etdirmək üçün tez-tez təsəvvürlərində daha aşağı ölçülü, xəyali bir kainatda həyatın necə olacağını düşünürlər. Bu yanaşma ilk dəfə Edvin Abbott-un 1884-cü ildə yazdığı və çox sevilən “Flatland” (Yastıölkə) adlı əsərində istifadə olunub. Bu yolla biz yavaş-yavaş anlayırıq ki, kainat bizim birbaşa hiss etdiyimiz ölçülərdən daha artığına sahib ola bilər.

Gəlin bunu bağ hortumu şəklində olan ikiölçülü bir kainat təsəvvür etməklə sınayaq. Bunu etmək üçün hortuma “kənardan baxan” bir düşüncə tərzindən imtina etməliyik. Yəni, onu bizim kainatımızda olan bir obyekt kimi deyil, tamamilə başqa bir reallığın — *Bağ Hortumu Kainatının* özü kimi qəbul etməliyik. Bu yeni kainatda çox uzun bir bağ hortumunun səthi (onu sonsuz uzunluqda da təsəvvür edə bilərsiniz) mövcud olan yeganə məkan ölçüsüdür. Özünüzü bu səthdə yaşayan kiçik bir qarışqa kimi təsəvvür edin.

İndi isə vəziyyəti bir az da fərqli təsəvvür edək. Deyək ki, bu hortumun dairəvi istiqamətdə olan ölçüsü o qədər kiçikdir ki, siz və sizinlə birlikdə orada yaşayan heç kim onun varlığından belə xəbərdar deyil. Sizin və digər *Hortum-sakinləri* üçün həyatın ən əsas və mübahisəsiz faktı budur: kainatın yalnız bir məkan ölçüsü var. (Əgər bu kainatda bir “qarışqa-Eynşteyn” doğulsaydı, o da deyərdi ki, kainat bir məkan və bir zaman ölçüsünə malikdir.) Bu anlayış o qədər aydındır ki, sakinlər yaşadıkları yerə birbaşa “İkiölçüölkə” (ing. *Lineland*) adını veriblər.

İkiölçüölkədəki həyat bizim həyatımızdan çox fərqlidir. Məsələn, bizim bədənimiz İkiölçüölkəyə sığmaz. Nə qədər çalışsanız da, bədəninizi İkiölçüölkəyə uyğunlaşdırmaq qeyri-mümkündür. Çünki sizin uzunluğunuz, eniniz və dərinliyiniz var — yəni üçölçülü

məkan sahəni. Amma İkiölçüölkədə belə lüks dizayna yer yoxdur. Unutmayın: siz İkiölçüölkəni hələ də bizim məkanımızda yerləşən ip kimi bir şey olaraq təsəvvür edə bilərsiniz, amma əslində onu bir kainat — mövcud olan hər şey — kimi düşünməlisiniz. Siz artıq İkiölçüölkənin sakinisiniz və bu kainatın məkan ölçüsünə uyğunlaşmalısınız. Hətta qarışqa bədəni alsanız belə, yenə də bu ölçüyə sığmazsınız. Bədəninizi əvvəlcə qurda bənzər hala gətirməli, sonra isə tamamilə sıxaraq qalınlığınızı tamamilə yox etməlisiniz. İkiölçüölkəyə uyğun olmaq üçün yalnız uzunluğa malik bir varlıq olmalısınız. Təsəvvür edin ki, bədənin hər iki ucunda bir gözünüz var. Amma insan gözlərindən fərqli olaraq, bu gözlər dönə bilmir. Hər biri yalnız bir istiqamətə — irəli və geriye — baxa bilər. Bu, sizin yeni bədəninizin anatomik məhdudiyyəti deyil. Sadəcə olaraq, siz və digər Xəttvarlılar bilərsiniz ki, İkiölçüölkədə yalnız bir məkan ölçüsü var, yəni gözlərinizin baxa biləcəyi başqa bir istiqamət mövcud deyil. İrəli və geri — bu, İkiölçüölkənin bütün məkan sahəsini təşkil edir.

İkiölçüölkədə Həyatı Daha da Təsəvvür Etməyə Çalışaq

İkiölçüölkədəki həyatı daha da təsəvvür etməyə çalışa bilərik, amma çox keçmədən anlayırıq ki, bu dünyada çox da nəşə baş vermir. Məsələn, əgər başqa bir Xəttvarlıq sizin sağınızda və ya solunuzdadırsa, onu necə görəcəyinizi düşünün: siz onun sizə baxan gözünü görəcəksiniz — amma bu göz insan gözü kimi deyil, sadəcə nöqtə şəklində olacaq. İkiölçüölkədəki gözlərin heç bir xüsusiyyəti yoxdur və heç bir emosiyanı ifadə edə bilmirlər — çünki belə tanış detallara burada sadəcə yer yoxdur.

Daha da maraqlısı, qonşunuzun gözünü həmişə bu nöqtə şəklində görəcəksiniz. Əgər onun yanından keçib arxa tərəfindəki İkiölçüölkəni araşdırmaq istəsəniz, böyük bir məyusluqla qarşılaşacaqsınız. Onun yanından keçə bilməzsınız. O, "yolu tamamilə tutur" və İkiölçüölkədə onu dövrə vurmaq üçün heç bir boşluq yoxdur. Yəni Xəttvarlıqlar İkiölçüölkə boyunca necə düzülüblərsə, o sıra dəyişməz olaraq qalır. Bu da olduqca sıxıclı və məhdud bir həyat deməkdir.

Minlərlə il sonra, İkiölçüölkədə bir dini oyanışdan sonra, **Kaluza K. Xətt** adlı bir Xəttvarlıq ümitsiz Xətt sakinlərinə bir az ümid bəxş edir. Ya ilahi bir vəhydən, ya da qonşusunun nöqtə-gözünə illərlə baxmaqdan yaranan bezginlikdən qaynaqlanan bir ilhamla, Kaluza belə bir fikir irəli sürür: *bəlkə də İkiölçüölkə əslində təkcə bir ölçülü deyil.* O, ehtimal edir ki, bəlkə İkiölçüölkə iki ölçülüdür, və ikinci məkan ölçüsü çox kiçik, dairəvi

bir istiqamətdir və bu qədər kiçik olduğuna görə indiyə qədər birbaşa hiss edilə bilməmişdir.

Kaluza bu yeni fikir əsasında tamamilə fərqli bir həyat rəsmi çəkir: əgər bu бүкүlmüş ikinci istiqamət bir az genişlənsə, Xəttvarlıqlar üçün yeni imkanlar açılar. Onun həmkarı Linşteynin son araşdırmalarına görə bu, ən azı nəzəri olaraq mümkündür. Kaluza K. Xətt təsvir etdiyi bu yeni kainatla sizi və dostlarınızı valeh edir və hər kəsə ümid verir — belə bir kainatda Xəttvarlıqlar artıq bir-birinin yanından keçə bilər, çünki ikinci ölçüdən istifadə etmək imkanı yaranar: məkan azadlığının başlanğıcı! Beləliklə, biz başa düşürük ki, Kaluza K. Xətt əslində “qalınlaşdırılmış” Bağ Hortumu Kainatındakı həyatı təsvir edir. Əslində, əgər bu dairəvi ölçü böyüsə və İkiölçüölkəni “şişirərək” Bağ Hortumu Kainatına çevirsə, sizin həyatınız dərin şəkildə dəyişərdi. Məsələn, bədəninizə nəzər salaq. Bir Xəttvarlıq olaraq, iki gözünüz arasındakı hər şey bədəninizin içini təşkil edir. Bu baxımdan, gözləriniz sizin üçün insan bədənində dərinin oynadığı rolu oynayır: onlar bədəninizin daxili ilə xarici dünya arasında sərhəd yaradır. İkiölçüölkədə bir həkim sizin bədəninizin içinə yalnız onun səthini deşməklə daxil ola bilər — başqa sözlə, burada “cərrahiyyə əməliyyatı” gözlər vasitəsilə həyata keçirilir. Amma indi təsəvvür edin ki, Kaluza K. Xəttin dediyi kimi, İkiölçüölkədə gizli, бүкүlmüş bir əlavə ölçü var və bu ölçü gözlə görünəcək qədər böyüyür. Artıq başqa bir Xəttvarlıq sizin bədəninizə bir az bucaq altında baxa bilər və beləliklə, birbaşa olaraq bədəninizin içinə nəzər sala bilər — bu vəziyyət 8.5-ci şəkildə göstərilir. Bu ikinci ölçü sayəsində bir həkim sizin bədəninizə birbaşa daxil olaraq əməliyyat edə bilər. Qəribə səslənir, elə deyilmi? Zaman keçdikcə, şübhəsiz ki, Xəttvarlıqlar bədənlərinin açıqda qalan daxili hissəsini xarici təsirlərdən qorumaq üçün dəriyə bənzər bir örtük inkişaf etdirərdilər. Həmçinin, onlar təkcə uzunluğa deyil, enə də malik olan varlıqlara çevrilərdilər: artıq “Xəttvarlıq” yox, *Yastıvarlıq* olardılar və bu yeni ikiölçülü Bağ Hortumu Kainatında sərbəst şəkildə sürüşərək hərəkət edərdilər — bu hal 8.6-cı şəkildə əks olunub. Əgər dairəvi ölçü doğrudan da çox böyüsəydi, bu ikiölçülü kainat Edvin Abbott-un “Flatland” (Yastıölkə) adlı təsəvvüri dünyasına çox bənzər olardı — o dünya ki, müəllif onu zəngin mədəniyyət və satirik şəkildə tənqid olunan, fiqurların geometrik formasına əsaslanan kast sistemi ilə bəzəmişdi. İkiölçüölkədə maraqlı bir hadisənin baş verməsini təsəvvür etmək çətindir — sadəcə olaraq, orada kifayət qədər yer yoxdur. Amma Bağ Hortumu Kainatında həyat saysız-hesabsız imkanlarla doludur. Bir ölçülü kainatdan iki müşahidə edilə bilən məkan ölçüsünə keçid isə olduqca dramatik və dəyişdirici bir inkişafdır.

Və indi təkrar sual: Niyə burada dayanmalı?

İkiölçülü bir kainatın özünün də bükülmüş, gizli bir ölçüsü ola bilər və buna görə də əslində üçölçülü ola bilər. Bu vəziyyəti 8.4-cü şəkillə izah edə bilərik, amma bir şərtlə: artıq təsəvvür etdiyimiz bu şəkil yalnız iki uzanan məkan ölçüsünü təmsil edir (halbuki bu şəkli ilk təqdim edəndə, düz səthi üç uzanan ölçünü təmsil edən bir tor kimi düşünmüşdük). Əgər bu dairəvi ölçü genişlənsə, ikiölçülü bir varlıq tamamilə fərqli bir dünyada özünü tapar — daha əvvəl yalnız sağa-sola və irəli-geriyə hərəkətlə məhdudlaşan bir reallıqdan çıxaraq, artıq üçüncü bir istiqamətdə də — dairə boyunca “yuxarı-aşağı” istiqamətində də hərəkət edə bilər. Əgər bu dairəvi ölçü kifayət qədər böyüsə, bu artıq bizim üçölçülü kainatımız ola bilər. Hazırda biz bilmirik ki, bizim üç məkan ölçümümüzdən hər hansı biri sonsuza qədər uzanır, yoxsa əslində öz üzərində qapanaraq nəhəng bir dairə formasını alır — və bu, ən güclü teleskoplarımızın belə görə bilmədiyi bir məsafədə baş verir. Əgər 8.4-cü şəkildəki dairəvi ölçü milyardlarla işıq ili qədər böyük olsaydı, o zaman bu şəkil çox güman ki, bizim yaşadığımız kainatı təsvir edərdi.

Amma təkrar sual yenə səslənir: Niyə burada dayanmalı?

Bu bizi **Kaluza** və **Kleynin** baxışına gətirir: onların fikrincə, bizim üçölçülü kainatımızın daha əvvəl təsəvvür etmədiyimiz, bükülmüş **dördüncü məkan ölçüsü** ola bilər. Əgər bu maraqlı ehtimal — və ya yaxın zamanda toxunacağımız kimi, çoxsaylı bükülmüş ölçülərə aid daha geniş bir versiyası — doğru olsa və bu bükülmüş ölçülər makroskopik səviyyədə genişlənsə, o zaman aşağı ölçülü nümunələrdən artıq görmüşük ki, **bizim tanıdığımız həyat tamamilə dəyişə bilər**. Amma ən təəccüblüsü odur ki, hətta bu əlavə ölçülər **həmişə kiçik və bükülü** vəziyyətdə qalsalar belə, onların mövcudluğu **dərin və əhəmiyyətli nəticələrə** səbəb ola bilər.

Yüksək Ölçülü Birləşmə

1919-cu ildə Kaluza tərəfindən irəli sürülən, kainatımızda bizim birbaşa dərk edə bilmədiyimizdən daha çox məkan ölçüsünün ola biləcəyi fikri artıq özü-özlüyündə heyranəmiz bir ehtimal idi. Amma bu fikri əslində maraqlı edən başqa bir şey vardı. Eynşteyn, ümumi nisbilik nəzəriyyəsini üç məkan ölçüsü və bir zaman ölçüsündən ibarət olan tanış kainat quruluşunda formalaşdırmışdı. Amma onun nəzəriyyəsinin riyazi əsasları, əlavə məkan ölçüləri olan bir kainat üçün də **bənzər tənlikləri** kifayət qədər asanlıqla yazmağa imkan verirdi. Kaluza, sadəcə **bir əlavə məkan ölçüsü** olduğunu fərz edən "mülayim" bir təxminlə bu riyazi araşdırmanı apardı və **yeni tənlikləri** açıq şəkildə əldə etdi. O, gördü ki, bu yeni yanaşmada üç tanış ölçüyə aid tənliklər demək olar ki, Eynşteynin əvvəlki tənlikləri ilə **tamamilə eynidir**. Amma əlavə bir məkan ölçüsü daxil etdiyi üçün, Kaluza **Eynşteynin ilkin olaraq tapmadığı əlavə tənliklər** də aşkar etdi.

Bu yeni ölçüyə aid əlavə tənlikləri araşdırdıqdan sonra Kaluza **möhtəşəm bir kəşf** etdi: bu tənliklər **elektromaqnit qüvvəsini** təsvir edən və Maksvelin 1880-ci illərdə yazdığı tənliklərdən **başqa heç nə deyildi!** Yəni əlavə bir məkan ölçüsü əlavə etməklə, **Kaluza Eynşteynin cazibə (qravitasiya) nəzəriyyəsini Maksvelin işıq (elektromaqnit) nəzəriyyəsi ilə birləşdirmişdi.** Kaluza bu ideyanı ortaya atmadan əvvəl, **cazibə** və **elektromaqnit** qüvvələri tamamilə **əlaqəsiz** sayılırdı. Onlar arasında bir bağlılıq olacağına dair heç bir ipucu yox idi. Amma **cəsarətli şəkildə** kainatın əlavə bir məkan ölçüsünə sahib olduğunu təsəvvür etməklə, Kaluza onların arasında **dərin bir əlaqə** olduğunu göstərdi.

Onun nəzəriyyəsinə görə, həm cazibə, həm də elektromaqnetizm **məkanın toxumasında yaranan dalğalanmalarla** əlaqəlidir:

- **Cazibə** tanış olduğumuz üçölçülü məkanda baş verən dalğalanmalarla daşınır,
- **Elektromaqnetizm** isə **bükülmüş, əlavə ölçüdəki** dalğalanmalarla yayılır.

Bu yanaşma, kainatın strukturuna tamamilə yeni bir baxış gətirdi. Kaluza öz elmi məqaləsini Eynşteynə göndərdi və əvvəlcə Eynşteyn bu fikirlə kifayət qədər maraqlandı. 1919-cu il aprelin 21-də Eynşteyn Kaluza'ya məktub yazaraq bildirdi ki, **beş ölçülü bir "silindrik dünya"** (dörd məkan və bir zaman ölçüsü) vasitəsilə birləşmənin mümkün ola biləcəyi heç vaxt onun ağlına gəlməyib. Hətta əlavə etdi: "İlk baxışdan, mən sənin ideyana heyran qaldım." Lakin təxminən bir həftə sonra Eynşteyn Kaluza'ya yenidən yazdı, bu dəfə bir qədər şübhə ilə yanaşaraq dedi: "Məqaləni oxudum və doğrudan da maraqlı tapdım. Hələlik elə bir qeyri-mümkünlük görmürəm. Amma etiraf etməliyəm ki, indiyə qədər irəli sürülən arqumentlər mənə yetərinə inandırıcı görünmür." Amma sonra, **iki ildən çox bir müddət keçdikdən sonra**, 1921-ci il oktyabrın 14-də Eynşteyn Kaluza'ya növbəti məktubunu yazdı. Artıq bu müddət ərzində Kaluza'nın yeni yanaşmasını daha dərinə qavramışdı: "İki il əvvəl səni cazibə və elektrik qüvvələrinin birləşməsi ideyanı çap etməyə mane etdiyimə görə fikrimi dəyişmişəm... Əgər istəsən, sənin məqaləni akademiya təqdim edərdəm." Beləcə, **gec də olsa**, Kaluza **böyük ustadan rəsmi təsdiqini almış oldu.** Kaluza'nın bu fikri nə qədər gözəl olsa da, sonrakı dövrlərdə bu yanaşma daha detallı şəkildə araşdırıldıqda, **təcrübə nəticələri ilə ciddi şəkildə ziddiyyət təşkil etdiyi ortaya çıxdı.** Xüsusilə elektronun nəzəriyyəyə daxil edilməsinin ən sadə cəhdləri, elektronun **kütləsi ilə yükü arasında** real müşahidə edilənlərlə **tamamilə uyğun gəlməyən əlaqələr** proqnozlaşdırırdı. Bu problemi həll etməyin açıq-aydın bir yolu görünmədiyi üçün, Kaluza'nın ideyası ilə maraqlanan bir çox fizik **bu mövzuya marağını itirdi.** Eynşteyn və bəziləri bu ideya üzərində **ara-sıra işləməyə** davam etsələr də, bu yanaşma **tez bir zamanda nəzəri fizikanın kənar sahəsinə** çevrildi. Əslində, Kaluza'nın ideyası **öz dövrünü xeyli qabaqlamışdı.** 1920-ci illərdən etibarən fizika dünyasında

mikrosəviyyədə — atom və daha kiçik hissəciklərin davranışını izah etməyə çalışan **nəzəri və eksperimental** tədqiqatlarda bir "bull market" (yəni sürətli inkişaf və maraq dövrü) başladı.

Bu dövrdə:

- Nəzəriyyəçilər **kvant mexanikası** və **kvant sahə nəzəriyyəsini** formalaşdırmaqla məşğul idi.
- Eksperimentçilər isə **atomun daxili quruluşunu** və digər **elementar hissəcikləri** kəşf etməkdə idilər.

Nəzəriyyə eksperimentə yol göstərdi, eksperiment isə nəzəriyyəni incəliklərlə düzəltdi. Bu qarşılıqlı əməkdaşlıq nəticəsində təxminən **yarım əsr** ərzində fizika **standart modelin** əsaslarını ortaya qoydu. Belə zəngin və məhsuldar bir dövrdə, **əlavə ölçülər** kimi təcrübə ilə yoxlanması **çətin və uzaq gələcəkli** ideyalar **haqqında maraq olduqca azaldı**. Fiziklər üçün prioritet, **təcrübədə sınaqdan keçirilə bilən** nəticələr verən güclü **kvant metodlarını** inkişaf etdirmək idi.

Ancaq istənilən "bull market" bir gün zəifləyir.

1960-cı illərin sonu və 1970-ci illərin əvvəllərində:

- **Standart modelin nəzəri strukturu** artıq qurulmuşdu.
- 1970–80-ci illərdə isə onun bir çox **proqnozları təcrübə ilə təsdiqlənmişdi**.

Nəticədə:

- Fiziklərin çoxu inanırdı ki, **yerdə qalan detalları** da zamanla təsdiqlənəcək.
- Bəziləri düşünürdü ki, **güclü, zəif və elektromaqnit** qarşılıqlı təsirləri ilə bağlı **əsas suallar** artıq cavablandırılıb.
- Belə bir fon şəraitində, artıq **kainatın daha dərin və fərqli strukturlara malik ola biləcəyi—məsələn, əlavə ölçülərin varlığı** — tədricən yenidən diqqət mərkəzinə qayıtmağa başladı. Çünki fizikanın "əsas" suallarının həll olunduğu düşünüləndə, **"növbəti addım nədir?"** sualı ortaya çıxır. Kaluza'nın ideyası da məhz o anda **yenidən aktuallaşmağa** başladı.

Nəhayət, zaman gəlib çatmışdı ki, **fizikanın ən böyük və ən dərin sualı — ümumi nisbilik nəzəriyyəsi ilə kvant mexanikası arasındakı sirli ziddiyyət** yenidən diqqət mərkəzinə gəlsin.

Əldə olunan uğurlar motivasiya yaratdı:

- **Təbiətin üç qüvvəsi** (elektromaqnit, zəif və güclü qarşılıqlı təsirlər) üçün **kvant nəzəriyyəsi** uğurla qurulmuşdu.
- Bu da fizikləri **dördüncü qüvvəni—cazibəni (gravity)** də bu kvant dünyasına daxil etməyə ruhlandırırdı.

Ancaq asan olmadı. Onillərlə davam edən cəhdlər **nəticəsiz** qaldı. **Hər yol, hər fikir—nə qədər cəlbəedici olsa da—son nəticədə** ya riyazi baxımdan qüsurlu, ya da empirik baxımdan uyğunsuz idi.

Beləliklə:

- Fizika cəmiyyəti **daha radikal yanaşmalara** açıq olmağa başladı.
- **"Ənənəvi yollar alınmırsa, bəlkə də daha fərqli yollarla irəliləməliyik"** düşüncəsi gücləndi.

Və bu zaman, uzun illər öncə unudulmuş, ölü kimi görünən bir ideya yenidən dirildi:

Kaluza-Klein nəzəriyyəsi

1920-ci illərin sonlarında maraq itmişdi. Amma indi — cazibə qüvvəsini kvantlaşdırmaq və bütün qüvvələri **birləşdirmək istəyən** fiziklər üçün — bu qədim ideya **yenidən ümid mənbəyinə** çevrildi.

Müasir Kaluza-Klein Nəzəriyyəsi

Fizika elminin anlayışı Kaluza-nın ilkin təklifindən sonrakı altmış il ərzində əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdi və daha da dərinlənən anlaşıldı. Kvant mexanikası tam şəkildə formalaşdı və təcrübələrdə təsdiqləndi. 1920-ci illərdə məlum olmayan güclü və zəif nüvə qüvvələri kəşf edildi və əsasən izah olundu. Bəzi fiziklər düşündülər ki, Kaluza-nın ilkin təklifi ona görə uğursuz oldu ki, o, həmin dövrdə bu əlavə qüvvələrdən xəbərsiz idi və məkan anlayışını yenidən nəzərdən keçirərkən çox ehtiyatlı davranmışdı. Yeni qüvvələrin mövcudluğu daha çox ölçünün lazım olduğunu göstərirdi. Belə hesab olunurdu ki, tək bir yeni, dairəvi ölçü ümumi nisbilik və elektromaqnetizm arasında bir əlaqənin izlərini göstərməyə bəs etsə də, bu kifayət deyildi. 1970-ci illərin ortalarında, daha yüksək ölçülü nəzəriyyələr üzərində ciddi elmi tədqiqatlar başladı. Bu nəzəriyyələrdə çoxlu “bükülmüş” (yəni, qıvrılmış və çox kiçik ölçüdə olan) məkan ölçüləri nəzərdə tutulurdu. Şəkil 8.7-də iki əlavə ölçü olan bir nümunə göstərilir — bu ölçülər bir kürənin (sferanın) səthinə

bükülmüş vəziyyətdədir. Tək dairəvi ölçü nümunəsində olduğu kimi, bu əlavə ölçülər də bizim tanıdığımız genişləndirilmiş ölçülərin hər bir nöqtəsinə əlavə olunur. (Vizual aydınlıq üçün burada yalnız bəzi nöqtələrdə bu kürəvi ölçülərin təsviri verilib.) Sadəcə ölçülərin sayını dəyişməklə kifayətlənməyib, onların formasını da fərqli təsəvvür etmək olar. Məsələn, Şəkil 8.8-də iki əlavə ölçü yenidən təsvir olunur, lakin bu dəfə onlar boş, dairəvi çörək (torus) formasındadır. Rəsmlə göstərmək çətin olsa da, daha mürəkkəb formalarda — məsələn, üç, dörd, beş və daha çox ölçüdə olan və müxtəlif ekzotik formaya bükülmüş əlavə məkan ölçüləri də təsəvvür etmək mümkündür. Əsas tələb ondan ibarətdir ki, bu əlavə ölçülər bizim texnoloji imkanlarımızla müşahidə edə bilməyəcəyimiz qədər kiçik olmalıdır. Çünki indiyədək aparılan heç bir təcrübə onların mövcudluğunu ortaya çıxara bilməyib. Bu çoxölçülü nəzəriyyələrin içərisində ən perspektivli olanlar, eyni zamanda **superSimmetriya** nəzəriyyəsini də daxil edənlər idi. Fiziklər ümid edirdilər ki, superhissəcik cütləri (yəni hər bir hissəciyin "superpartnyoru") sayəsində kvant dünyasında baş verən kəskin dəyişkənliklər qismən kompensasiya olunacaq və bu da cazibə qüvvəsi ilə kvant mexanikası arasındakı uyğunsuzluğu azaldacaq. Bu nəzəriyyələrə **yüksək ölçülü supercazibə (supergravity)** adı verilmişdi — çünki onlar həm cazibə qüvvəsini, həm əlavə ölçüləri, həm də supersimmetriyanı əhatə edirdi. Kaluza-nın ilkin cəhdində olduğu kimi, bu yeni supercazibə nəzəriyyələrinin müxtəlif formaları əvvəlcə çox ümidverici görünürdü. Əlavə ölçülərdən çıxan yeni tənliliklər elektromaqnetizm və güclü, zəif qüvvələrin təsvirində istifadə olunan tənliliklərə bənzəyirdi. Ancaq dərin araşdırmalar göstərdi ki, əvvəlki problemlər hələ də qalırdı. Ən başlıcası isə, supersimmetriya qısaməsafəli kvant təlatümlərini azaltsa da, bu kifayət etmədi ki, tam məntiqli bir nəzəriyyə yaradılsın. Fiziklər hələ də bütün qüvvələri və maddəni birləşdirə biləcək yeganə, məntiqli, çoxölçülü bir nəzəriyyə formalaşdırma bilmirdilər. Zaman keçdikcə məlum oldu ki, vahid nəzəriyyənin ayrı-ayrı hissələri ortaya çıxır, lakin onları bir-birinə bağlayacaq, **kvant baxımından uyğun və bütöv** bir mexanizm çatışmır. 1984-cü ildə bu çatışmayan hissə — **strun nəzəriyyəsi** — qəfil elm səhnəsinə çıxdı və hadisələrin mərkəzinə çevrildi.

Əlavə Ölçülər və Sim Nəzəriyyəsi

İndiyə qədər siz artıq inanmalısınız ki, **kainatımızda əlavə, qıvrılmış (bükülmüş) məkan ölçüləri** ola bilər. Əgər bu ölçülər kifayət qədər kiçikdirsə, onların mövcudluğunu inkar edən heç bir fiziki qanun yoxdur. Lakin bu cür əlavə ölçülər sizə **süni və qeyri-real** görünə bilər. Biz bir metrin **milyardın milyardda biri** qədər kiçik məsafələri ölçə bilmədiyimiz üçün, bu cür kiçik ölçülərlə yanaşı, **digər qərribə ehtimallar** da texniki olaraq mümkündür — məsələn, **xırda yaşıl canlıların yaşadığı mikroskopik bir sivilizasiya**. Əlavə ölçülər haqqında düşünmək, əlbəttə ki, bu fantastik ssenaridən daha məntiqli görünür. Lakin **nə bu əlavə ölçülər, nə də həmin xəyali sivilizasiya** bu günə qədər təcrübə ilə sübut olunmayıb

və hal-hazırda test edilə bilmir. Bu səbəbdən, **hər iki fərziyyəni irəli sürmək bənzər şəkildə əsassız və özbaşına** görünə bilər. Bu vəziyyət **sim nəzəriyyəsi (sim theory)** meydana çıxana qədər davam etdi. Sim nəzəriyyəsi, müasir fizikanın qarşısında duran **əsas problemi — kvant mexanikası ilə ümumi nisbilik nəzəriyyəsi arasındakı uyğunsuzluğu** aradan qaldırır. Eyni zamanda, bu nəzəriyyə **təbiətin bütün əsas maddi hissəciklərini və qüvvələrini birləşdirən vahid bir anlayış** təqdim edir. Lakin bu nailiyyətlərə çatmaq üçün **sim nəzəriyyəsi tələb edir ki, kainatda əlavə məkan ölçüləri mövcud olsun.**

Niyə Belədir?

Kvant mexanikasının əsas anlayışlarından biri budur ki, **gələcəklə bağlı proqnozlarımız yalnız hansısa nəticənin hansı ehtimalla baş verəcəyini** söyləmək səviyyəsində məhduddur. Albert Eynşteyn bu xüsusiyyəti **müasir fizikanın xoşagəlməz cəhəti** kimi qiymətləndirirdi — və bəlkə sən də razısan — amma görünən odur ki, bu, **reallıqdır**. Gəlin bunu qəbul edək. İndi hamımız bilirik ki, **ehtimallar 0 ilə 1 arasında olan ədədlərdir** — və ya faizlə ifadə olunarsa, bu ədədlər **0% ilə 100% arasında** olmalıdır. Fiziklər müəyyən ediblər ki, **əgər kvant mexanikası üzrə bir nəzəriyyə düzgün işləmir**, onun **bəzi hesablama nəticələri bu qəbul edilən ehtimal aralığından kənara çıxır**. Məsələn, daha əvvəl qeyd etdiyimiz kimi, **nöqtəvi zərrəciklərə əsaslanan yanaşmalarda** ümumi nisbiliklə kvant mexanikası arasındakı uyğunsuzluğun nəticəsi olaraq **sonsuz ehtimallar** alınır. Bunu **sim nəzəriyyəsi** həll edir və **bu sonsuzluqları aradan qaldırır**. Lakin indiyədək qeyd etmədiyimiz **daha incə və gizli bir problem** də mövcuddur. Sim nəzəriyyəsinin ilk dövrlərində fiziklər bəzi hesablarda **mənfi ehtimalların** ortaya çıxdığını gördülər — bu da **qəbul olunan aralığın xaricindədir**. Beləliklə, ilk baxışdan **sim nəzəriyyəsi də kvant mexanikasının öz problemləri ilə boğulurdu.**

Əzmlə davam edən axtarış və simlərin titrəyişləri

Fiziklər inadla bu **qəbulolunmaz xüsusiyyətin (mənfi ehtimalların)** səbəbini tapmağa çalışdılar və nəhayət onu **müəyyən edə bildilər**. İzah isə **sadə bir müşahidə ilə** başlayır: Əgər bir **sim** ikiölçülü bir səth üzərində yerləşdirilsə — məsələn, masa üzərində və ya bir bağ sulama hortumunun səthində — o zaman bu sim **yalnız iki müstəqil istiqamətdə** titrəyə bilər: **sağa-sola** və **irəli-geri**. Yəni, səthdə qalan hər hansı bir titrəyiş nümunəsi bu iki istiqamətin bir kombinasiyası olur.

Bu o deməkdir ki, **ikiölçülü bir kainatda** — istər **"Yastıölkə" (Flatland)** olsun, istər **hortum-kainat** (Garden-hose universe), istərsə də başqa bir ikiölçülü model — **sim yalnız**

iki fəzavi istiqamətdə titrəyə bilər. Amma əgər simə səthi tərk etməyə icazə verilsə, titrəyə biləcəyi istiqamətlərin sayı üçə yüksəlir, çünki bu zaman o **yuxarı-aşağı** da titrəyə bilər. Başqa sözlə desək, əgər **kainatda üç fəzavi ölçü** varsa, o zaman sim **üç müstəqil istiqamətdə** titrəyə bilər. Təsəvvür etmək çətinləşsə də, bu qayda belə davam edir: **Kainatda fəzavi ölçülərin sayı artdıqca**, simlərin titrəyə biləcəyi **müstəqil istiqamətlərin** sayı da artır. Bu **sim titrəyişləri ilə bağlı fakt** çox vacibdir, çünki fiziklər kəşf etdilər ki, **problematik hesablamalar (mənfi ehtimallar)** simin titrəyə biləcəyi müstəqil istiqamətlərin sayına **çox həssasdır**. Mənfi ehtimalların səbəbi o idi ki, **nəzəriyyənin tələb etdiyi titrəyiş istiqamətləri ilə** real dünyanın imkan verdikləri **uyğun gəlmirdi**. Hesablamalar göstərdi ki, **əgər simlər 9 müstəqil fəzavi istiqamətdə titrəyə bilsələr**, bu mənfi ehtimallar **tamamilə yoxa çıxar**. Bu, əlbəttə, nəzəri baxımdan çox gözəl səslənir. Amma **burada bir problem var**: **əgər sim nəzəriyyəsi bizim üçölçülü kainatımızı təsvir etməlidirsə**, bu əlavə 6 ölçü **haradadır**? Görünür, hələ də **problemdən tam xilas olmamışıq**.

Amma biz doğrudanmı çarəsizik?

Əslində yox. **Yarandığı dövrdən yarım əsrdən çox keçməsinə baxmayaraq**, biz görürük ki, **Kaluza və Klein** bu vəziyyətdə **bir çıxış yolu** təklif edirlər. Simlər (simlər) o qədər **kiçik** ölçülüdürlər ki, **yalnız böyük və geniş ölçülərdə** deyil, **həm də çox kiçik və bükülmüş ölçülərdə** titrəyə bilirlər. Bu fikrə əsaslanaraq, biz **sim nəzəriyyəsinin tələb etdiyi 9 fəzavi ölçünü** təmin edə bilərik. **Kaluza və Kleinin** yanaşmasına əsaslanaraq, deyə bilərik ki, bizim **tanış olduğumuz üç geniş fəzavi ölçü**dən əlavə, **daha altı kiçik və bükülmüş ölçü** də mövcuddur. Bu yanaşma ilə **fiziki baxımdan** artıq **əhəmiyyətsiz** görünən **sim nəzəriyyəsi** bir anda **xilas olur**. Üstəlik, bu artıq **Kaluza və Klein** kimi **sadəcə fərziyyə** irəli sürmək deyil. **Sim nəzəriyyəsi** əlavə ölçülərin olmasını tələb edir. Bu ölçülər nəzəriyyənin içindən doğan **zərurətdir**. Sim nəzəriyyəsinin **məntiqə uyğun və işlək olması üçün**, kainatın **doqquz fəzavi və bir zaman ölçüsünə** — yəni **cəmi on ölçüyə** malik olması **lazımdır**. Bu baxımdan, **Kaluza'nın 1919-cu ildə irəli sürdüyü** təklif, tarixdə **ən güclü və ən inandırıcı** forması ilə **öz yerini tapmış olur**.

Bəzi Suallar

Bu, bir sıra suallar yaradır. Əvvəlcə, niyə **sim nəzəriyyəsi** məhz **doqquz fəzavi ölçü** tələb edir ki, bu da mənasız ehtimalların qarşısını alır? Bu, sim nəzəriyyəsi ilə bağlı cavablanması ən çətin sualdır, çünki **rəsmi riyazi təhlillərdən başqa** heç bir sadə və qeyri-texniki izahı yoxdur. Birbaşa **sim nəzəriyyəsi hesablaması** bu suala cavab verir, amma bu müəyyən sayının **nədən** və **niyə** ortaya çıxdığı barədə intuitiv və sadə bir izah yoxdur. Fizik alimi **Ernest Rutherford** bir zamanlar demişdi ki, əgər bir nəticəni **sadə, qeyri-texniki şəkildə izah edə bilmirsinizsə**, deməli siz onu **tam başa düşmürsünüz**. O, bunun **nəticənin səhv olduğu** mənasına gəlmədiyini demək istəyirdi; əksinə, o demək istəyirdi ki, bu, **nəticənin mənası, mənşəyi və təsirləri** barədə **tam anlayışa sahib olmadığınızı** göstərir. Bəlkə də bu, sim nəzəriyyəsinin **ekstradimensional xüsusiyyətləri** ilə bağlı doğrudur. (Əslində, bu fürsətdən istifadə edərək, **ikinci supersim inqilabı** ilə əlaqədar əsas bir məsələyə **qısa toxunaq** – biz **12-ci fəsildə** bunu daha dərinləndirən müzakirə edəcəyik. Sim nəzəriyyəsinin **doqquz fəzavi və bir zaman ölçüsünü** tələb etməsinin nəticəsi olan hesablama **təqribi** olub, 1990-cı illərin ortalarında **Witten** öz fikirlərinə və **Texas A&M Universitetindən Michael Duff** və **Kembric Universitetindən Chris Hull** və **Paul Townsend** tərəfindən edilən əvvəlki işlərə əsaslanaraq, **təqribi hesablamaların** əslində bir fəzavi ölçünü qaçırdığını ortaya qoydu. O, sim nəzəriyyəsinin **on fəzavi ölçü və bir zaman ölçüsü**, cəmi **on bir ölçü** tələb etdiyini irəli sürdü. Çox sayda sim nəzəriyyəçisi üçün bu, təəccüb doğurmuşdu. Bu mühüm nəticəni **12-ci fəsilə qədər** gözardı edəcəyik, çünki bu nəticə əvvəlki mövzularımıza birbaşa təsir etməyəcək).

İkinci Sual

İkinci sual belədir: Əgər sim nəzəriyyəsinin tənlikləri (və ya daha dəqiq desək, bizim **12-ci fəsildən əvvəlki müzakirə üçün təqribi tənliklərimiz**) göstərirsə ki, kainatın **doqquz fəzavi ölçüsü** və **bir zaman ölçüsü** var, onda niyə üç fəzavi ölçü (və bir zaman ölçüsü) geniş və uzanmışdır, amma digər ölçülər kiçik və bükülmüşdür? Niyə hamısı uzanmış deyil, ya da hamısı bükülmüş deyil, ya da başqa bir ehtimal arasında bir şeydir? Hal-hazırda bu sualın cavabını heç kim bilmir. Əgər sim nəzəriyyəsi doğrudursa, nəticədə cavabı əldə etməliyik, amma indiyə qədər nəzəriyyə haqqında anlayışımız hələ bu məqsədə çatmaq üçün yetərinə təkmilləşməyib. Bu, onun demək deyil ki, buna izah gətirmək üçün cəsur cəhdlər edilməyib. Məsələn, **kosmoloji perspektivdən**, biz təsəvvür edə bilərik ki, bütün ölçülər əvvəlcə sıx şəkildə bükülüb və sonra böyük partlayışa bənzər bir partlayışda üç fəzavi ölçü və bir zaman ölçüsü açılır və genişlənir, bu zaman digər fəzavi ölçülər kiçik qalır. Sadə arqumentlər irəli sürülüb ki, yalnız üç fəzavi ölçü genişlənir, **14-cü fəsildə** buna baxacağıq, amma deyə bilərik ki, bu izahlar hələ yalnız ilkin mərhələdədir. Aşağıda, biz **üç fəzavi ölçü xaricində** bütün ölçülərin bükülmüş olduğunu qəbul edəcəyik, çünki biz

ətrafımızda bunu görürük. Müasir tədqiqatların əsas məqsədi bu fərziyyənin nəzəriyyədən özündən çıxmasını təsdiqləməkdir.

Üçüncü Sual

Üçüncü sual belədir: Çoxsaylı əlavə ölçülərin tələbinə görə, bəzi ölçülərin **zaman ölçüləri** olaraq əlavə olunması mümkündürmü, **fəzavi ölçülər** yerinə? Bir an düşünün və görəcəksiniz ki, bu, həqiqətən qərribə bir ehtimaldır. Biz hamımız kainatın çoxsaylı fəzavi ölçülərə sahib olmasının nə demək olduğunu hissi olaraq anlayırıq, çünki biz üç ölçülü dünyada yaşayırıq və daima bir çoxluqla — üç ölçü ilə qarşılaşırıq. Amma bir neçə zaman ölçüsünün olması nə deməkdir? Biri, bizim hazırda psixoloji olaraq təcrübə etdiyimiz zamanla uyğun gəlirmi, yoxsa digər zaman bir şəkildə "fərqli" olacaq?

Bu, daha da qərribə hala gəlir, əgər biz **bükülmüş zaman ölçüsü** haqqında düşünsək. Məsələn, əgər kiçik bir qarınca bükülmüş bir fəzavi ölçü boyunca dövr edərsə, o, tamamlanmış dövrlərini keçdikcə eyni mövqeyə qayıdır. Bu, heç bir sirr daşımır, çünki biz fəzada eyni yerə təkrarlanan şəkildə qayıda bilmək qabiliyyətinə malik olduğumuzu yaxşı bilirik. Amma əgər bükülmüş ölçü bir zaman ölçüsüdürsə, onu keçmək deməkdir ki, bir zaman keçdikdən sonra əvvəlki zaman anına qayıdırsınız. Bu, əlbəttə, bizim təcrübəmizin çox kənarındadır. Bizim bildiyimiz zaman, yalnız bir istiqamətdə irəliləyən və keçən bir anı geri gətirə bilməyəcəyimiz bir ölçüdür.

Əlbəttə, ola bilsin ki, bükülmüş zaman ölçüləri, kainatın yaranışına və indiki anımıza qədər davam edən, tanıdığımız böyük zaman ölçüsündən çox fərqli xüsusiyyətlərə malikdir. Amma əlavə fəzavi ölçülərdən fərqli olaraq, yeni və əvvəllər məlum olmayan zaman ölçüləri, bizim intuisiyamızın daha böyük bir şəkildə yenidən qurulmasını tələb edərdi. Bəzi nəzəriyyəçilər, sim nəzəriyyəsinə əlavə zaman ölçüləri daxil etmə ehtimalını araşdırıblar, amma hələ də vəziyyət qeyri-müəyyəndir. Bizim sim nəzəriyyəsi müzakirəmizdə, bütün bükülmüş ölçülərin fəzavi ölçülər olduğu daha "ənənəvi" yanaşmanı seçəcəyik, amma yeni zaman ölçüləri ehtimalı, gələcək inkişaflarda rol oynaya bilər.

Əlavə Ölçülərin Fiziki Təsirləri

Kaluza'nın orijinal məqaləsinə qədər olan illər ərzində aparılan tədqiqatlar göstərmiş ki, fizikaçılar tərəfindən təklif olunan əlavə ölçülər, biz və ya bizim alətlərimiz tərəfindən birbaşa "görülə biləcək" ölçülərdən kiçik olsa da (çünki biz onları görməmişik), yenə də müşahidə etdiyimiz fizika üzərində mühüm dolayı təsirlərə malikdir. Sim nəzəriyyəsində, məkanın mikroskopik xüsusiyyətləri ilə müşahidə etdiyimiz fizika arasındakı əlaqə xüsusilə şəffafdır.

Bunu başa düşmək üçün, sim nəzəriyyəsində partiküllərin kütlələrinin və yüklərinin mümkün rezonanslı titrəmə nümunələri ilə müəyyənləşdirildiyini xatırlamalısınız. Bir kiçik simin hərəkət etdiyini və osillatdığını təsəvvür edin və rezonanslı nümunələrin məkan ətrafındakı amillərdən necə təsirləndiyini anlamağa bilərsiniz. Məsələn, okean dalğalarını düşünün. Açıq okeanın geniş sahəsində, tək dalğa nümunələri nisbətən sərbəst şəkildə formalaşır, bu və ya o tərəfə hərəkət edə bilər. Bu, simin böyük və geniş məkan ölçüləri ilə hərəkət etdiyi zaman titrəmə nümunələrinə bənzəyir. 6-cı Fəsildə olduğu kimi, belə bir sim hər an genişlənmiş istiqamətlərdən hər hansı birində osillasiya etməkdə sərbəstdir. Amma bir okean dalğası daha sıx bir məkan mühitindən keçərsə, dalğasının hərəkətinin dəqiq forması suyun dərinliyi, qarşılaşdığı daşların yerləşməsi və forması, suyun kanallardan keçdiyi yerlər və s. kimi amillərdən şübhəsiz təsirlənəcəkdir. Və ya bir orqan borusu ya da Fransız trubasını düşünün. Hər bir bu alətin çıxara biləcəyi səslər, onun daxili hissəsindəki havanın titrəmə nümunələrinin birbaşa nəticəsidir; bunlar, hava axınlarının kanalizasiya edildiyi alət daxilindəki məkanın dəqiq ölçüsü və forması ilə müəyyənləşir. Burada bükülmüş məkan ölçüləri simin mümkün titrəmə nümunələrinə bənzər təsir göstərir. Kiçik simlər bütün məkan ölçülərindən osillasiya etdiyinə görə, əlavə ölçülərin bir-birinə bükülmüş və geri qayıdan şəkildə dəqiq necə təşkil edildiyi, mümkün rezonanslı titrəmə nümunələrini güclü şəkildə təsir edir və sıx şəkildə məhdudlaşdırır. Bu nümunələr, əksər hallarda, əlavə ölçülərin geometriyası ilə müəyyənləşdirilir və bu da tanış genişlənmiş ölçülərdə müşahidə olunan partikül xüsusiyyətlərinin sırasını təşkil edir. Bu o deməkdir ki, əlavə ölçülərin geometriyası, adi təcrübədəki üç geniş məkan ölçüsündə müşahidə etdiyimiz kimi, fundamental fiziki xüsusiyyətləri, məsələn, partikül kütlələri və yükləri müəyyən edir. Bu o qədər dərin və vacib bir məqamdır ki, onu yenidən vurğulamaq istəyirik, hiss ilə. Sim nəzəriyyəsinə görə, kainat kiçik simlərdən ibarətdir və bu simlərin rezonanslı titrəmə nümunələri, partikül kütlələri və qüvvə yüklərinin mikroskopik mənşəyidir. Sim nəzəriyyəsi həmçinin əlavə məkan ölçülərini tələb edir ki, bu ölçülər bizim heç görmədiyimiz qədər kiçik ölçüdə bükülmüş olmalıdır. Amma kiçik bir sim kiçik bir məkanı kəşf edə bilər. Bir sim hərəkət edərkən, hərəkət etdikcə osillatdıqca, əlavə ölçülərin geometrik forması rezonanslı titrəmə nümunələrini müəyyən etməkdə kritik bir rol oynayır. Çünki sim titrəmələrinin nümunələri bizim üçün elementar partiküllərin kütlələri və yükləri kimi görünür, buna görə də kainatın bu fundamental xüsusiyyətlərinin, böyük ölçüdə, əlavə ölçülərin geometrik ölçüsü və forması ilə müəyyənləşdirildiyini qənaətinə gəlirik. Bu, sim nəzəriyyəsinin ən geniş yayılmış anlayışlarından biridir. Çünki əlavə ölçülər kainatın əsas fiziki xüsusiyyətlərini bu dərəcədə dərin şəkildə təsir edir, indi bu bükülmüş ölçülərin necə göründüyünü anlamağa başlamağımız lazımdır — coşqulu və sərhədsiz bir şəkildə!

Bükülmüş ölçülər necə görünür?

Sim nəzəriyyəsinin əlavə məkan ölçüləri istədiyimiz kimi "bükülə" bilməz; nəzəriyyədən yaranan tənliklər onların ala biləcəyi geometrik formaları ciddi şəkildə məhdudlaşdırır. 1984-cü ildə Texas Universitetindən Philip Candelas, Kaliforniya Universitetindən Gary Horowitz və Andrew Strominger, həmçinin Edward Witten, bu şərtləri ödəyən xüsusi altı ölçülü geometrik formalardan ibarət bir sinfi tapdılar. Bu formalara Calabi-Yau məkanları (və ya Calabi-Yau formaları) deyilir, adları, Pennsylvania Universitetindən Eugenio Calabi və Harvard Universitetindən Shing-Tung Yau-nun tədqiqatlarına hörmət olaraq verilmişdir. Bu riyaziyyatçılar sim nəzəriyyəsindən əvvəlki dövrlərdə əlaqəli bir sahədəki tədqiqatları ilə bu məkanları anlamaqda mərkəzi rol oynamışlar. Calabi-Yau məkanlarını təsvir edən riyaziyyat mürəkkəb və incə olsa da, biz onların necə göründüyünü şəkil vasitəsilə təxəyyülümüzdə canlandırma bilərik.

Şəkil 8.9-da biz Calabi-Yau məkanının bir nümunəsini göstəririk. Bu şəkilə baxarkən, yadda saxlamalısınız ki, şəkilin öz daxilində məhdudiyyətlər mövcuddur. Biz altı ölçülü bir formu iki ölçülü bir kağız parçasında göstərməyə çalışırıq və bu, əhəmiyyətli deformasiyalar yaradır. Buna baxmayaraq, şəkil Calabi-Yau məkanının necə göründüyü barədə ümumi bir təəvvür verir. Şəkil 8.9-dakı forma, sim nəzəriyyəsindən yaranan əlavə ölçülər üçün qoyulan sərt tələbləri ödəyən on minlərlə Calabi-Yau formasından yalnız bir nümunədir. On minlərlə üzvü olan bir kluba aid olmaq çox seçici görünməsə də, bunu riyazi baxımdan mümkün olan sonsuz sayda formalarla müqayisə etməlisiniz; bu ölçüyə görə, Calabi-Yau məkanları həqiqətən nadirdir.

Hamısını bir araya gətirmək üçün, indi Şəkil 8.7-də hər bir kürə formasını — ki, burada iki bükülmüş ölçünü təmsil edirdi — bir Calabi-Yau məkanı ilə əvəz etdiyinizi təəvvür etməlisiniz. Yəni, üç tanış genişləndirilmiş ölçüdə hər bir nöqtədə, sim nəzəriyyəsi iddia edir ki, altı əvvəllər gözlənilməyən ölçü var, bu ölçülər bu olduqca mürəkkəb görsənən formalara sıx bükülmüşdür, Şəkil 8.10-da göstərildiyi kimi. Bu ölçülər, məkanın toxumasının ayrılmaz və hər yerdə mövcud olan bir hissəsidir; onlar hər yerdə mövcuddur. Məsələn, əlinizi böyük bir yarımçevrə ilə hərəkət etdirərkən yalnız üç genişləndirilmiş ölçüdə deyil, həm də bu bükülmüş ölçülərdə hərəkət edirsiniz. Təbii ki, çünki bükülmüş ölçülər çox kiçikdir, əlinizi hərəkət etdirərkən onları çox böyük bir sayda dövr edir, dəfələrlə başlanğıc nöqtənizə qayıdırınız. Onların kiçik ölçüsü, əliniz kimi böyük bir cisim üçün hərəkət etməyə çox az yer qalması deməkdir — bu, bütün hərəkətin ortalama olaraq belədir ki, əlinizi salladıqdan sonra, bükülmüş Calabi-Yau ölçüləri ilə keçdiyiniz yola tamamilə xəbərdar olursunuz. Bu, sim nəzəriyyəsinin təəccüblü xüsusiyyətidir. Lakin

praktik düşüncəyə sahib olan biri olaraq, mütləq müzakirəni vacib və konkret bir məsələyə qaytaracaqsınız. İndi ki, əlavə ölçülərin necə göründüyünü daha yaxşı anlayırıq, bu ölçülərdən titrəyən simlərin ortaya çıxardığı fiziki xüsusiyyətlər nələrdir və bu xüsusiyyətlər eksperimental müşahidələrlə necə müqayisə olunur? Bu, sim nəzəriyyəsinin 64,000 dollar sualıdır.

Fəsil 9

Siqaret Çəkən Silah: Eksperimental İzlənilən İzlər

Sim nəzəriyyəçilərini daha çox sevindirəcək bir şey yoxdur ki, dünyaya detallı və eksperimentlə sınaq edilə bilən proqnozların siyahısını təqdim etsinlər. Şübhəsiz, heç bir nəzəriyyənin bizim dünyamızı təsvir etdiyini təsdiqləmək üçün onun proqnozlarını eksperimental yoxlamadan keçirmədən bunu müəyyən etmək mümkün deyil. Və nə qədər təsir edici olsa da, sim nəzəriyyəsi əgər kainatımızı dəqiq şəkildə təsvir etmirsə, o zaman Dungeons və Dragons adlı mürəkkəb bir oyundan fərqli olmayacaq. Edward Witten tez-tez bildirir ki, sim nəzəriyyəsi artıq dramatik və eksperimental olaraq təsdiqlənmiş bir proqnoz təqdim edib: "Sim nəzəriyyəsinin qeyri-adi xüsusiyyəti yer çəkimi proqnozlaşdırmasıdır." 67 Witten bununla demək istəyir ki, həm Nyuton, həm də Eynşteyn yer çəkimi haqqında nəzəriyyələr inkişaf etdirdilər, çünki onların dünyaya baxışları onlara aydın şəkildə göstərdi ki, yer çəkimi mövcuddur və buna görə də düzgün və ardıcıl bir izah tələb edir. Əksinə, sim nəzəriyyəsini öyrənən bir fizikin—hətta ümumiyyətlə, ümumi nisbilik nəzəriyyəsindən xəbərdar olsa belə—sim çərçivəsi vasitəsilə buna məcburən yönəldiləcəyini söyləyir. Özünün kütləvi olmayan spin-2 qraviton titrəyiş nümunəsi ilə sim nəzəriyyəsi yer çəkimi nəzəri quruluşunun daxilində tam şəkildə daxildir. Witten-in dediyi kimi, "yer çəkiminin sim nəzəriyyəsinin nəticəsi olması ən böyük nəzəriyyəvi kəşflərdən biridir." 68 Witten bu "proqnozu" daha dəqiq şəkildə "postdikt" adlandırır, çünki fizikaçılar yer çəkimi haqqında nəzəri təsvirləri sim nəzəriyyəsindən əvvəl kəşf etmişdilər. Lakin Witten bunun yer üzündə tarixə aid bir təsadüf olduğunu qeyd edir. Witten, başqa inkişaf etmiş mədəniyyətlərdə, sim nəzəriyyəsinin əvvəlcə kəşf edildiyini və yer çəkimi nəzəriyyəsinin təəccüblü bir nəticə olaraq tapıldığını fantaziya ilə iddia edir.

Elm tariximizə bağlı olduğumuz üçün, bir çox insan sim nəzəriyyəsinin yer çəkimi ilə bağlı postdiktinin eksperimental təsdiqlənməsini inandırıcı hesab etmir. Əksər fizikaçılar iki

şeydən birini görməkdən daha xoşbəxt olar: sim nəzəriyyəsindən gələn və eksperimentçilərin təsdiqləyə biləcəyi bir əsl proqnoz və ya dünyadakı bəzi xüsusiyyətlərin (məsələn, elektronun kütləsi və ya üç ailə hissəciklərinin mövcudluğu kimi) postdiktini ki, hal-hazırda heç bir izahı yoxdur. Bu fəsildə biz sim nəzəriyyəçilərinin bu məqsədlərə çatmaq üçün nə qədər irəlilədiyini müzakirə edəcəyik. Ironik olaraq, biz görəcəyik ki, sim nəzəriyyəsi fizikaçıların indiyə qədər öyrəndiyi ən proqnozlaşdırıcı nəzəriyyə olmaq potensialına malik olsa da—yəni, təbiətin ən fundamental xüsusiyyətlərini izah etmək qabiliyyətinə sahib olan bir nəzəriyyə—fizikaçılar hələ də eksperimental məlumatlarla qarşılaşmaq üçün lazım olan dəqiqliklə proqnozlar verə bilməyiblər. Bu, Milad üçün arzusunda olduğu hədiyyəni alan, amma təlimatların bir neçə səhifəsi çatmadığı üçün düzgün işlədə bilməyən bir uşaq kimidir; bu günün fizikaçıları müasir elmin Müqəddəs Qraali ola biləcək bir şeyə sahibdirlər, amma onun tam proqnozlaşdırıcı gücünü açmaq üçün tam təlimat kitabçasını yazmağa müvəffəq olmur. Bununla belə, bu fəsildə müzakirə edəcəyimiz kimi, bəzi şanslarla, sim nəzəriyyəsinin bir əsas xüsusiyyəti növbəti on il ərzində eksperimental təsdiqlənə bilər. Və daha çox şansla, nəzəriyyənin dolayı izləri hər an təsdiqlənə bilər.

Çarpaz atəş

Sim nəzəriyyəsi doğrudurmu? Bilmirik. Əgər fizikanın qanunlarının böyük və kiçik olanlara hökm edənlərə bölünməməli olduğunu düşünürsünüzsə və həmçinin inanırsınızsə ki, tətbiq sahəsi limitsiz olan bir nəzəriyyə tapmadıqca dayanmaq olmaz, sim nəzəriyyəsi təkcə bu sahədə olan yeganə oyundur. Amma bunu yalnız fizikaçıların xəyal gücünün çatışmazlığı kimi deyil, sim nəzəriyyəsinin bəzi fundamental özəllikləri kimi vurğulaya bilərsiniz. Ola bilər. Daha da irəliləyərək, bəlkə də, itirdiyi açarlarını yalnız küçə işığında axtaran adam kimi, fizikaçılar sim nəzəriyyəsinin ətrafında toplanıblar, sadəcə elmi tarixdə bu istiqamətə təsadüfən bir işıq şüası düşdüyü üçün. Ola bilər. Və əgər siz nisbətən konservativsinizsə və ya "şeytanın vəkili" oynamağı sevirsinizsə, hətta deyə bilərsiniz ki, fizikaçıların eksperimental olaraq birbaşa təhqiqat edə bilmədiyimiz, təbiətin yeni xüsusiyyətini təklif edən bir nəzəriyyəyə vaxt sərf etməsi doğru deyil. Əgər bu şikayətləri 1980-ci illərdə, sim nəzəriyyəsi ilk dəfə böyük səs-küylə ortaya çıxdığı zaman dilə gətirmiş olsaydınız, ən hörmətli fizikaçılardan bəzilərinin yanında olardınız. Məsələn, 1980-ci illərin ortalarında, Nobel mükafatı laureatı olan Harvard fizikaçısı Sheldon Glashow, o zamanlar Harvardda olan fizikaçı Paul Ginsparg ilə birlikdə, sim nəzəriyyəsinin

eksperimental olaraq əlçatan olmaması ilə ictimai şəkildə tənqid etmişdilər. Ənənəvi nəzəriyyə ilə eksperiment arasındakı qarşıdurmanın yerinə, supersim nəzəriyyəçiləri daxili bir harmoniya axtarırlar, burada zəriflik, unikalıq və gözəllik həqiqəti təyin edir. Nəzəriyyə öz mövcudluğunu sehrli təsadüflərə, möcüzəvi ləğv edilmələrə və görünüşdə əlaqəsiz (və bəlkə də hələ kəşf olunmamış) riyaziyyat sahələri arasında əlaqələrə borcludur. Bu xüsusiyyətlər supersimlərin reallığını qəbul etmək üçün səbəb ola bilərmi? Riyaziyyat və estetik, sadə eksperimentin yerini və hətta onu aşarmı?

Başqa bir yerdə, Glashow belə dedi: Supersim nəzəriyyəsi o qədər iddialıdır ki, yalnız tamamilə doğru, ya da tamamilə səhv ola bilər. Yeganə problem isə, riyaziyyat o qədər yeni və çətin olduğu üçün on illər boyu hansının doğru olduğunu bilməyəcəyik. O, hətta sim nəzəriyyəçilərinin "fizika şöbələri tərəfindən maaş alıb, təcrübəsiz tələbələri azdırmasına icazə verilib-verilməməli olduğunu" soruşmuş, sim nəzəriyyəsinin elmi zəiflətdiyini, orta əsrlərdə orta əsr teologiyasının elmi zəiflətməsinə bənzədiyini xəbərdarlıq etmişdi.

Richard Feynman, ölməzdən əvvəl, sim nəzəriyyəsinin qravitasiya və kvant mexanikasının harmonik birləşməsi üçün unikal həll olmadığını açıq şəkildə bildirdi: Mənim hissim odur ki—və yanılabılırəm—bu məsələnin bir neçə yolu var. Məncə, sonsuzluqları aradan qaldırmanın yalnız bir yolu yoxdur. Bir nəzəriyyənin sonsuzluqları aradan qaldırması mənim üçün onun unikal olduğunu inanmaq üçün yetərli bir səbəb deyil. Və Howard Georgi, Glashow'un nüfuzlu Harvard həmkarı və əməkdaşı, 1980-ci illərin sonlarında sim nəzəriyyəsinin əksinə çıxan bir səsli tənqidçi idi: Əgər özümüzü eksperimentatorlarımızın kömək edə bilməyəcəyi qədər kiçik məsafələrdə "son" birləşmənin siren çağırışına qapılısaq, onda problem içindəyik, çünki bu, fizikanı digər maraqsız insan fəaliyyətlərindən fərqləndirən vacib ideyaların çıxarılma prosesini itirəcəyik. Böyük əhəmiyyət daşıyan bir çox məsələ kimi, bu "xeyirxahlar"ın hər birinin qarşısında entuziast bir tərəfdarı var. Witten demişdir ki, sim nəzəriyyəsinin qravitasiya və kvant mexanikasını necə daxil etdiyini öyrəndikdə, bu, onun həyatındakı "ən böyük intellektual həyəcan" idi. Cumrun Vafa, Harvard Universitetindən aparıcı bir sim nəzəriyyəçisi, demişdir ki, "sim nəzəriyyəsi şübhəsiz ki, bizə indiyə qədər əldə etdiyimiz ən dərin kainat anlayışını göstərir." Və Nobel mükafatı laureatı Murray Gell-Mann demişdir ki, sim nəzəriyyəsi "möhtəşəm bir şeydir" və o, gözləyir ki, bir gün sim nəzəriyyəsinin bir versiyası bütün dünyanın nəzəriyyəsi olacaqdır. Gördüyünüz kimi, mübahisə qismən fizika və qismən də fizikanın necə aparılması barədə fərqli fəlsəfi yanaşmalar tərəfindən qızıqdırılır. "Ənənəviçilər" nəzəri işin eksperimental müşahidə ilə sıx əlaqəli olmasını istəyirlər, əsasən son bir neçə əsrdəki uğurlu tədqiqat modellərində olduğu kimi. Lakin bəziləri düşünür ki, biz artıq indiki texnoloji

bacarığımızla birbaşa sınaqdan keçirə bilməyəcəyimiz suallara cavab axtarmağa hazırıq. Fərqli fəlsəfələrə baxmayaraq, son on ildə sim nəzəriyyəsinə qarşı tənqidlərin çoxu azalmışdır. Glashow bunu iki səbəbə bağlayır. Birincisi, o, qeyd edir ki, 1980-ci illərin ortalarında Sim nəzəriyyəçiləri coşqulu və sevinclə elan edirdilər ki, tezliklə fizikanın bütün suallarına cavab verəcəklər. İndi isə onların həvəsi daha ehtiyatlıdır və 1980-ci illərdəki tənqidlərimin əksəriyyəti artıq o qədər də əlaqəli deyil. İkincisi, o, həmçinin vurğulayır: Biz sim nəzəriyyəçiləri olmayanlar son on ildə heç bir irəliləyiş əldə etmədik. Beləliklə, sim nəzəriyyəsinin "yeganə oyun" olması arqumenti çox güclü və qüvvətlidir. Həqiqətən də, konvensional kvant sahə nəzəriyyəsi çərçivəsində cavablanmayacaq suallar var. Bu çox açıqdır. Onlar başqa bir şeylə cavablanacaq, və mənim bildiyim yeganə başqa şey sim nəzəriyyəsidir. Georgi, 1980-ci illərə belə bir şəkildə geri dönür: Sim nəzəriyyəsinin erkən tarixində müxtəlif dövrlərdə çox həddindən artıq satıldığını gördük. Keçən illər ərzində mən sim nəzəriyyəsinin bəzi ideyalarının fizika haqqında düşünmək üçün maraqlı yollar yaratdığını və bunların mənim öz işimdə faydalı olduğunu gördüm. İndi daha xoşbəxtəm ki, insanlar vaxtlarını sim nəzəriyyəsi ilə keçirirlər, çünki artıq bunun nəşə faydalı bir şey ortaya qoyacağını görə bilirəm. Nəzəriyyəçi David Gross, həmənən həmənən həmənən fizika və sim fizikası sahələrində liderlərdən biri, vəziyyəti aşağıdakı şəkildə ifadə edib: Əvvəllər təbiət dağını dırmaşarkən, eksperimentalistlər yolu açdılar. Biz tənbel nəzəriyyəçilər geridə qalırdıq. Hərdən bir dəfə onlar bir eksperimental daş atardılar və başımıza düşərdi. Nəhayət, ideyanı başa düşərdik və eksperimentalistlərin qırdığı yolla irəliləyerdik. Bir dəfə dostlarımızla birləşəndə onlara görünüşün nə olduğunu və ora necə getdiklərini izah edərdik. Bu, dağa dırmaşmaq üçün köhnə və asan bir yol idi (ən azından nəzəriyyəçilər üçün). Biz hamımız o günlərin geri dönməsini arzulayıırıq. Amma indi nəzəriyyəçilər önə keçməli ola bilərik. Bu, çox daha tək bir təşəbbüsdür. Sim nəzəriyyəçilərinin Təbiət Dağının ən yüksək zirvəsinə tək başına səyahət etmək istəyi yoxdur; onlar bu yükü və həyəcanı eksperimental həmkarları ilə paylaşmaq istərdilər. Bu, yalnız mövcud vəziyyətimizdə bir texnoloji uyğunsuzluqdur - tarixi bir asinxronluq - sonuncu zirvəyə doğru son itələmə üçün nəzəriyyəvi ip və çivilər qismən hazırlanmışdır, amma eksperimental olanlar hələ mövcud deyil. Lakin bu, sim nəzəriyyəsinin əsasən eksperimentdən ayrı olduğunu göstərmir. Əksinə, sim nəzəriyyəçiləri "nəzəri bir daş" ultra yüksək enerji dağ zirvəsindən aşağıda bir eksperimentalistlərə göndərmək ümidləri ilə yüksək ümidlər bəsləyirlər. Bu, bugünkü sim nəzəriyyəsi tədqiqatlarının əsas məqsədlərindən biridir. Hələ zirvədən heç bir daş düşməyib, amma, bu gün müzakirə edəcəyimiz kimi, bəzi ümidverici və cazibədar kiçik daşlar şübhəsiz ki, düşübdür.

Eksperimentə Gedən Yolu

Monumental texnoloji irəliləyişlər olmadan, bir ipi birbaşa görmək üçün lazım olan kiçik uzunluq ölçülərinə fokuslana bilməyəcəyik. Fiziklər, təxminən bir neçə mil uzunluğunda olan sürətləndiricilər ilə bir milyardın bir milyardına qədər olan məsafələrə qədər araşdırma apara bilirlər. Kiçik məsafələri araşdırmaq daha yüksək enerjilər tələb edir və bu da, bu enerjini tək bir hissəyə fokuslaya biləcək daha böyük maşınlar deməkdir. Plank uzunluğu hazırda əldə edə bildiyimizdən təxminən 17 əmr ölçüsündə kiçik olduğundan, bu günkü texnologiya ilə, tək-tək ipi görmək üçün qalaktikanın ölçüsündə bir sürətləndirici lazım olacaq. Əslində, Tel-Əviv Universitetindən Şmuel Nussinov, sadə ölçmə əsasında edilən bu təxminin çox optimistik olduğunu göstərmişdir; onun daha diqqətli araşdırması göstərir ki, bu, bütöv bir kainatın ölçüsündə bir sürətləndirici tələb edəcək. (Plank uzunluğunda maddəni araşdırmaq üçün lazım olan enerji təxminən min kilovat-saatdır—bu, orta bir kondisionerin təxminən 100 saat işləməsi üçün lazım olan enerjiyə bərabərdir—və buna görə də çox fantastik deyil. Görünən texnoloji çətinlik, bu enerjini tək bir hissəyə, yəni tək bir ipə fokuslamaqdır.) ABŞ Konqresi, Superkeçirici Superkolayderin (dairəsi "yalnız" 54 mil olan bir sürətləndirici) maliyyələşməsinə ləğv etdiyinə görə, Plank uzunluğunu araşdıran bir sürətləndirici üçün pul gözləməkdə nəfəslərinizi tutmayın. Əgər sim nəzəriyyəsini eksperimental olaraq yoxlayacağıqsa, bu, dolayısı yolla olmalı olacaq. Biz sim nəzəriyyəsinin, bir ipin özündən çox daha böyük ölçüdə olan uzunluq ölçülərində müşahidə edilə bilən fiziki nəticələrini müəyyən etməliyik.

İlk addımları ataraq, Candelas, Horowitz, Strominger və Witten bu məqsədə doğru əhəmiyyətli bir irəliləyiş etdilər. Onlar yalnız sim nəzəriyyəsindəki əlavə ölçülərin Calabi-Yau formasına bükülməsi lazım olduğunu tapmadılar, həm də bunun ipin vibrasiya naxışlarına təsirini bəzi nəticələrlə ortaya qoydular. Onların tapdığı bir əsas nəticə, sim nəzəriyyəsinin uzun müddətdir var olan hissəcik-fizika problemlərinə təklif etdiyi inanılmaz və gözlənilməz həlləri vurğulayır.

Yadımıza salaq ki, fiziklərin tapdığı əsas hissəciklər üç eyni quruluşda ailəyə bölünür, hər bir ardıcıl ailədəki hissəciklər isə daha da kütləvi olur. Sim nəzəriyyəsindən əvvəl bu suala heç bir cavab yox idi: Niyə ailələr və niyə üç? Burada sim nəzəriyyəsinin təklifi var. Tipik bir Calabi-Yau forması, fonograf qeydlərinin mərkəzində, və ya bir düyün, ya da "çoxlu düyün"də tapılan boşluqlara bənzər boşluqlar ehtiva edir, bu, Şəkil 9.1-də göstərildiyi kimi. Yüksək ölçülü Calabi-Yau kontekstində, faktiki olaraq yaranan müxtəlif növ boşluqlar var—özləri müxtəlif ölçülərə malik ola bilən boşluqlar ("çoxölçülü boşluqlar")—amma Şəkil 9.1 əsas ideyanı çatdırır. Candelas, Horowitz, Strominger və Witten bu boşluqların ipin vibrasiya naxışlarına təsirini yaxından araşdırdılar və bunları tapdılar.

Calabi-Yau hissəsinin hər bir deliyi ilə əlaqəli ən aşağı enerji səviyyəli ip vibrasiyaları ailəsi mövcuddur. Çünki tanış elementar hissəciklər ən aşağı enerji səviyyəli osilasiya naxışlarına uyğun olmalıdır, bir neçə delikin mövcudluğu—multidüynələrdə olduğu kimi—sim vibrasiya naxışlarının bir neçə ailəyə bölünməsinə səbəb olacaq. Əgər bükülmüş Calabi-Yau üç deliyə sahibdirsə, deməli, üç ailə elementar hissəciklər tapacağıq. Və beləliklə, sim nəzəriyyəsi iddia edir ki, təcrübədə müşahidə olunan ailə quruluşu, təsadüfi və ya ilahi mənşəli izah olunmaz bir xüsusiyyət olmaq yerinə, əlavə ölçüləri təşkil edən coğrafi formanı meydana gətirən dəşiklərin sayının əks olunmasıdır! Bu, bir fizikin ürəyini skip etməyə vadar edən nəticə növüdür.

Siz düşünə bilərsiniz ki, bükülmüş Plank ölçülü ölçülərdəki deliklərin sayı — zirvə fizikası — indi təcrübə ilə yoxlanıla bilən bir daşın əlçatan enerjilərə düşməsinə səbəb olub. Nəhayət, təcrübəçilər hissəcik ailələrinin sayını müəyyən edə bilirlər—əslində artıq müəyyən ediblər: 3. Təəssüf ki, məlum olan on minlərlə Calabi-Yau formasının hər birindəki delik sayı geniş bir aralıqda dəyişir. Bəzilərinə 3 var. Amma başqalarında 4, 5, 25 və s. var—bəzilərinə isə 480-ə qədər delik var. Problemin nə olduğunu başa düşmək üçün indiyə qədər heç kim bilməyib ki, sim nəzəriyyəsinin tənliklərindən hansı Calabi-Yau forması əlavə məkan ölçülərini təşkil edir. Əgər biz, mümkün olan çoxlu Calabi-Yau formalarından birini seçməyə imkan verən prinsipi tapa bilsəydik, onda həqiqətən zirvədən bir daş təcrübəçilərin düşərgəsinə düşərdi. Əgər nəzəriyyənin tənlikləri tərəfindən seçilən xüsusi Calabi-Yau formasında üç delik olsaydı, biz dünyadakı tanınmış bir xüsusiyyəti izah edən təsirli bir postdiktin tapmış olarıq ki, bu da başqa cür tamamilə sirli idi. Amma Calabi-Yau formalarının arasında seçim etmək üçün prinsipi tapmaq hələ də həll olunmamış bir problemdir. Buna baxmayaraq—və bu mühüm məqamdır—görürük ki, sim nəzəriyyəsi, hissəcik fizikasının bu əsas tapmacasına cavab vermək potensialını təqdim edir və bu özü də mühüm bir irəliləyişdir.

Ailələrin sayı, əlavə ölçülərin coğrafi formasının yalnız bir təcrübə nəticəsidir. Onların sim titrəmələrinin mümkün nümunələrinə təsiri ilə digər nəticələr, qüvvə və maddə hissəciklərinin detallı xüsusiyyətlərini əhatə edir. Bir əsas nümunə olaraq, Strominger və Witten tərəfindən sonrakı işlər göstərdi ki, hər ailənin hissəciklərinin kütlələri—dayanın, bu bir az çətinidir—Calabi-Yau formasındakı müxtəlif çoxölçülü deliklərin sərhədlərinin bir-biri ilə necə kəsişib üst-üstə düşməsindən asılıdır. Vizual olaraq başa düşmək çətinidir, amma ideya budur ki, simlər əlavə bükülmüş ölçülərdən keçərkən, müxtəlif deliklərin dəqiq düzlüşü və Calabi-Yau formasının onlara necə əyildiyi, mümkün rezonans titrəmə nümunələrinə birbaşa təsir göstərir. Əgər detallara getmək çətin olsa da və həqiqətən də o qədər də vacib olmasa da, vacib olan budur ki, ailələrin sayı kimi, sim nəzəriyyəsi bizə əvvəlki nəzəriyyələrin tamamilə susduğu suallara—məsələn, elektronun və digər

hissəciklərin niyə bu qədər kütləyə sahib olduğu—cavab vermək üçün bir çərçivə təqdim edə bilər. Lakin bir daha qeyd etmək ki, belə hesablamaları davam etdirmək üçün bizə hansı Calabi-Yau məkanını seçməli olduğumuzu bilməyimiz lazımdır.

Əvvəlki müzakirə, sim nəzəriyyəsinin bir gün Cədvəl 1.1-də qeydə alınan maddə hissəciklərinin xüsusiyyətlərini necə izah edəcəyinə dair bəzi təsəvvürlər verir. Sim nəzəriyyəsi alimləri inanırlar ki, oxşar bir hekayə, bir gün əsas qüvvələrin mesajçı hissəciklərinin xüsusiyyətlərini də izah edəcəkdir, bu hissəciklər Cədvəl 1.2-də verilmişdir. Yəni, simlər bükülərək və titrəyərək genişlənmiş və bükülmüş ölçülərdən keçərkən, onların geniş titrəmə repertuarının kiçik bir alt qrupu spin-1 və ya spin-2 olan titrəmələrdən ibarətdir. Bunlar qüvvə daşıyan sim-titrəmə vəziyyətlərinin namizədləridir. Calabi-Yau məkanının formasından asılı olmayaraq, hər zaman massasız və spin-2 olan bir titrəmə nümunəsi mövcuddur; biz bu nümunəni qraviton kimi tanıyıırıq. Spin-1 olan mesajçı hissəciklərin dəqiq siyahısı—onların sayı, daşıdıqları qüvvənin gücü, hörmət etdikləri gauge simmetriyaları—lakin, bükülmüş ölçülərin dəqiq coğrafi formasından asılıdır. Beləliklə, bir daha başa düşürük ki, sim nəzəriyyəsi bizim kainatımızın müşahidə edilən mesajçı-hissəcik məzmununu izah etmək üçün bir çərçivə təqdim edir, yəni əsas qüvvələrin xüsusiyyətlərini izah edir, amma əlavə ölçülərin hansı Calabi-Yau formasına büküldüyünü tam olaraq bilmədikcə, biz heç bir qəti proqnoz və ya postdiksiyon edə bilmərik (Witten-in qravitasiya ilə bağlı postdiksiyonu nəzərə alınmaqla).

Niyə "doğru" Calabi-Yau formasını tapa bilmirik? Əksər sim nəzəriyyəçiləri bunu hazırda sim nəzəriyyəsinin təhlil etmək üçün istifadə olunan nəzəri alətlərin qeyri-kafiliyinə bağlayırlar. Bizim 12-ci fəsildə bəhs edəcəyimiz kimi, sim nəzəriyyəsinin riyazi çərçivəsi o qədər mürəkkəbdir ki, fizikaçılar yalnız təxmini hesablamalar apara biliblər, bu da perturasiya nəzəriyyəsi kimi tanınan formalizm vasitəsilə həyata keçirilir. Bu təxmini yanaşmada, hər bir mümkün Calabi-Yau forması digər hər hansı biri ilə bərabər müstəvidə görünür; heç biri tənliklər tərəfindən əsasən seçilmir. Və çünki sim nəzəriyyəsinin fiziki nəticələri bükülmüş ölçülərin dəqiq formasından asılıdır, bir Calabi-Yau məkanını çoxsaylılardan seçmək qabiliyyəti olmadan heç bir qəti şəkildə eksperimental olaraq test edilə bilən nəticə əldə edilə bilməz. Bu günkü tədqiqatların əsas təkanverici qüvvəsi, təxmini yanaşmanı aşan nəzəri üsullar inkişaf etdirməkdir ki, bu da başqa faydaların arasında, əlavə ölçülər üçün unikal bir Calabi-Yau formasına aparsın. Biz bu istiqamətdə irəliləyişləri 13-cü fəsildə müzakirə edəcəyik.

Ölçədən Bütün İmkanları Yoxlamaq

Bəlkə belə bir sual verə bilərsiniz: Hələlik hansı Calabi–Yau formasının sim nəzəriyyəsi tərəfindən seçildiyini müəyyən edə bilməsək də, istənilən seçim müşahidə etdiyimiz fiziki xassələrlə uyğun gəlirmi? Başqa sözlə, əgər biz hər bir Calabi–Yau formasına uyğun gələn fiziki xüsusiyyətləri hesablasaq və bunları böyük bir kataloqda toplasaq, bu xüsusiyyətlərdən hər hansı biri reallıqla üst-üstə düşərmə? Bu çox vacib bir sualdır, lakin iki əsas səbəbə görə ona tam cavab vermək çətindir.

Ağıllı başlanğıc odur ki, yalnız üç ailə (yəni hissəcik ailəsi – kvarklar və leptonlar qrupları) verən Calabi–Yau formalarına fokuslanaq. Bu yanaşma mümkün seçimlərin sayını xeyli azaldır, amma yenə də çoxlu sayda variant qalır. Əslində, nəzərə alın ki, çoxlu “qulp”ları (deşikləri) olan bir ponçiki (halqanı) bir formadan sonsuz sayda başqa formalara qədər deformasiya etmək – yəni formasını dəyişmək – mümkündür, lakin bu zaman dəşiklərin sayı dəyişmir. Şəkil 9.2-də bu cür deformasiyanın bir nümunəsi verilir (Şəkil 9.1-dəki altdakı formanın dəyişdirilməsi göstərilir). Eynilə, üç dəşikli bir Calabi–Yau formasını götürüb onun formasını hamar şəkildə dəyişə bilərik – bu da, əslində, sonsuz sayda forma deməkdir – amma dəşiklərin sayı sabit qalır. (Əvvəllər qeyd etdik ki, on minlərlə Calabi–Yau forması var – bu zaman biz artıq belə hamar şəkildə bir-birinə çevrilə bilən bütün formaları bir qrupa aid etmişdik və həmin qrupu bir Calabi–Yau forması kimi saymışdıq.)

Problem ondadır ki, simlərin (sapların) vibrasiyasına – onların kütləsinə və qüvvələrə necə reaksiya verdiyinə – bu formalardakı xırda dəyişikliklər çox ciddi təsir edir. Lakin yenə də bu qədər çox forma arasında hansının “doğru” olduğunu seçmək üçün əlimizdə heç bir üsul yoxdur. Və nə qədər çox fizika professorları magistr və doktorant tələbələri bu məsələ üzərində işləməyə cəlb etsə də, sonsuz sayda fərqli forma üçün fiziki xassələri tam şəkildə hesablamaq sadəcə mümkün deyil.

Bu dərk, sim nəzəriyyəçilərini mümkün Calabi–Yau formalarının nümunələrinə baxaraq onlardan qaynaqlanan fizikanı araşdırmağa sövq edib. Lakin bu sahədə də işlər o qədər də sadə deyil. Hal-hazırda sim nəzəriyyəçilərinin istifadə etdiyi təxmini tənliklər, seçilmiş hər hansı bir Calabi–Yau formasının nəticə etibarilə yaratdığı fizikanı tam şəkildə hesablamaq gücündə deyil. Bu tənliklər bizi ümumi mənzərəni anlamağa – yəni təxmini səviyyədə – kifayət qədər yaxınlaşdırır və sim vibrasiyalarının bəzi xüsusiyyətlərini öyrənməyə imkan verir, lakin bu vibrasiyaların müşahidə etdiyimiz hissəciklərlə uyğunluq təşkil edib-etmədiyini dəqiq müəyyən etmək üçün kifayət qədər dəqiq deyillər.

Lakin belə vacib fiziki nəticələr – məsələn, elektronun kütləsi və ya zəif qüvvənin gücü – çox daha dəqiq tənliklər tələb edir. 6-cı fəsilə (və “The Price is Right” misalında)

xatırladığımız kimi, sim nəzəriyyəsinin “təbii” enerji miqyası Plank enerjisidir. Yalnız son dərəcə dəqiq ləğvetmə (cancellation) prosesləri nəticəsində sim nəzəriyyəsi, kütləsi tanınmış maddə və qüvvə hissəciklərinin kütləsinə yaxın olan vibrasiya formaları ortaya çıxarır. Belə incə uyğunluqlar olduqca dəqiq hesablamalar tələb edir, çünki kiçik səhvlər belə nəticələrin dəqiqliyinə ciddi təsir göstərə bilər. 12-ci fəsildə müzakirə edəcəyimiz kimi, 1990-cı illərin ortalarında fiziklər bu təxmini tənlikləri aşmaq sahəsində əhəmiyyətli irəliləyişlər əldə ediblər, amma hələ də bu istiqamətdə görülmək çox iş var.

Bəs biz hazırda nə mərhələdəyik? Düzdür, hələ də hansı Calabi–Yau formasını digərlərindən üstün edən fundamental meyarlarımız yoxdur və bu seçimə uyğun gələn müşahidə edilə biləcək nəticələri tam şəkildə çıxara bilmək üçün bütün nəzəri alətlər də əlimizdə deyil. Amma buna baxmayaraq, biz yenə də belə bir sual verə bilərik: Calabi–Yau kataloqundakı hansısa forma müşahidələrimizlə, heç olmasa ümumi şəkildə, uyğun gələn bir dünya ortaya çıxarımı?

Bu suala cavab kifayət qədər ümidvericidir. Calabi–Yau kataloqundakı əksər formalar müşahidə etdiyimiz dünyadan əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənən nəticələr verir – məsələn, fərqli hissəcik ailələrinin sayı, fərqli qüvvələrin sayı və tsimləri və s. Lakin kataloqdakı bəzi formalar isə təbiətə daha yaxın fiziki nəticələr verir. Yəni sim nəzəriyyəsində tələb olunan bükülmüş ölçülər üçün bu Calabi–Yau formalarından bəziləri seçildikdə, ortaya çıxan sim vibrasiyaları Standart Modeldəki hissəciklərə çox bənzəyir. Və ən əsas məsələ budur ki, sim nəzəriyyəsi qravitasiya qüvvəsini də bu kvant mexaniki çərçivəyə uğurla daxil edə bilər. Hazırkı anlayış səviyyəmizlə bu vəziyyət, əslində, ümid edə biləcəyimiz ən yaxşı nəticədir. Əgər Calabi–Yau formalarının çoxu təcrübə ilə ümumi şəkildə uyğun gəlsəydi, o zaman konkret bir formanın seçilməsi ilə müşahidə etdiyimiz fizika arasında əlaqə o qədər də inandırıcı görünməzdi. Çoxlu fərqli seçimlər uyğun gələ bilərdi və bu halda heç biri, hətta eksperimental baxımdan da, xüsusi olaraq seçilmiş sayılmazdı.

Digər tərəfdən, əgər Calabi–Yau formalarının heç biri müşahidə edilən fiziki xüsusiyyətlərə az da olsa yaxın gəlməsəydi, bu zaman sim nəzəriyyəsi – nə qədər gözəl və estetik bir nəzəri çərçivə olsa da – kainatımızla heç bir əlaqəsi olmayan bir model kimi görünərdi. Lakin hal-hazırda yalnız bir neçə Calabi–Yau formasının, bizim kifayət qədər kobud və ümumi şəkildə fiziki nəticələr çıxara bildiyimiz səviyyədə, reallığa uyğun görünməsi son dərəcə ümidverici bir nəticədir.

Əgər biz maddənin və qüvvə daşıyıcı hissəciklərinin əsas xassələrini izah edə bilsək, bu elm tarixində ən böyük – əgər ən böyüyü olmasa belə – nailiyyətlərdən biri olar. Bununla belə, siz haqlı olaraq belə bir sual verə bilərsiniz: sim nəzəriyyəsi yalnız artıq məlum olan

nəticələri izah etməyə çalışır, yoxsa elə bir proqnoz (təxmin) verir ki, eksperimental fiziklər bunu indi və ya yaxın gələcəkdə təsdiqləyə bilərlər? Cavab: Bəli, belə proqnozlar var.

Superhissəciklər (Superparticles)

Hazırda sim nəzəriyyəsindən dəqiq proqnozlar çıxarmağımıza mane olan nəzəri çətinliklər bizi konkret nəticələrdən çox, daha ümumi xüsusiyyətləri araşdırmağa vadar edir. Bu kontekstdə "ümumi" (generic) dedikdə, sim nəzəriyyəsinin o qədər fundamental və əsas xüsusiyyətləri nəzərdə tutulur ki, onlar ya hazırda bizim nəzəri imkanlarımızdan kənarda qalan detallara çox az bağlıdır, ya da ümumiyyətlə onlardan asılı deyil. Belə xüsusiyyətlər, nəzəriyyənin tam anlaşılması hələ əldə olunmamış olsa belə, kifayət qədər əminliklə müzakirə oluna bilər. Gələcək fəsillərdə bu cür başqa nümunələrə də qayıdacağıq, lakin indi diqqətimizi birinə yönəldək: **supersimmetriya** (supersymmetry). Əvvəllər də müzakirə etdiyimiz kimi, sim nəzəriyyəsinin əsas xüsusiyyətlərindən biri onun yüksək simmetriyaya malik olmasıdır. Bu, yalnız intuitiv simmetriya prinsiplərini deyil, həm də bu prinsiplərin mümkün olan ən böyük riyazi genişlənməsini – yəni **supersimmetriyanı** – nəzərə alır. Bu o deməkdir ki, 7-ci fəsildə qeyd olunduğu kimi, sim vibrasiyaları müəyyən cütlüklər şəklində – **superpartnyor cütləri** şəklində – meydana çıxır. Bu cütlüklərin fərqi, fırlanma momenti (spin) baxımından yarım vahid olur. Əgər sim nəzəriyyəsi doğrudursa, o zaman bəzi vibrasiyalar hazırda məlum olan elementar hissəciklərə uyğun gələcək. Və supersimmetrik cütləşmə qaydasına görə, sim nəzəriyyəsi hər bir belə məlum hissəciyin **superpartnyoru** olduğunu proqnozlaşdırır. Biz bu superpartnyorların hansı qüvvə yüklərini daşımalı olduqlarını hesablaya bilərik, lakin onların **kütləsini** (mass) hazırda dəqiq müəyyən edə bilmirik. Bununla belə, **superpartnyorların mövcudluğu** barədə bu proqnoz sim nəzəriyyəsinin ümumi və əsas bir xüsusiyyətidir. Bu, nəzəriyyənin hələ tam başa düşmədiyimiz detallı hissələrindən **asılı olmayan** və **hər halda doğru olan** bir nəticədir. Məlum olan elementar hissəciklərin heç bir superpartnyoru (superhissəciyi) indiyə qədər müşahidə olunmayıb. Bu fakt, onların ümumiyyətlə mövcud olmadığını və sim nəzəriyyəsinin səhv olduğunu göstərə bilər. Lakin bir çox hissəcik fizikləri düşünür ki, bu sadəcə superpartnyorların çox ağır olması və buna görə də mövcud texnologiya ilə aşkarlanma bilməməsi ilə əlaqədardır. Hazırda fiziklər İsveçrənin Cenevrə şəhərində **Böyük Adron Kollayderi** (Large Hadron Collider – LHC) adlanan nəhəng bir hissəcik sürətləndiricisi qururlar. Ümidlər böyükdür ki, bu cihaz kifayət qədər güclü olacaq və

superpartnyor hissəciklərini aşkarlaya biləcək. Bu sürətləndiricinin 2010-dan əvvəl işə düşməsi planlaşdırılırdı və qısa müddət sonra supersimmetriya eksperimental olaraq təsdiqlənə bilərdi. Fizik Schwarz demişdi: "**Supersimmetriya çox gec olmadan kəşf edilməlidir. Və bu baş verəndə, bu, çox dramatik olacaq.**"

Amma burada iki vacib məqamı unutmamalısan:

1. Əgər superpartnyor hissəciklər aşkarlanarsa, bu təkə fakt özü **sim nəzəriyyəsinin düzgün olduğunu sübut etməyəcək**. Çünki supersimmetriya, baxmayaraq ki, ilk dəfə sim nəzəriyyəsi kontekstində ortaya çıxıb, sonradan digər – nöqtə-hissəciklərə əsaslanan – nəzəriyyələrə də uğurla daxil edilib. Yəni supersimmetriya sim nəzəriyyəsinə **xas olmayan** bir xüsusiyyətdir.
2. Əgər Böyük Adron Kollayderi superpartnyor hissəcikləri **aşkarlaya bilməzsə**, bu fakt **sim nəzəriyyəsinin yanlış olduğunu da sübut etməyəcək**, çünki ola bilər ki, həmin superpartnyorlar elə ağırdırlar ki, bu cihazın imkanlarının da **kənarındadırlar**.

Bütün bunlara baxmayaraq, əgər superpartnyor hissəciklər doğrudan da tapılırsa, bu, **sim nəzəriyyəsi üçün çox güclü və həyəcanverici dolayı sübut** (circumstantial evidence) olacaq.

Qismən Yüklü Hissəciklər (Fractionally Charged Particles)

Sim nəzəriyyəsinin başqa bir mümkün eksperimental göstəricisi elektrik yükləri ilə bağlıdır. Bu xüsusiyyət supersimmetrik hissəciklər qədər ümumi olmasa da, onun qədər **dramatik və təsirli** ola bilər.

Standart modeldəki elementar hissəciklərin elektrik yükləri çox məhdud bir çeşiddə olur:

- Kvarklar və antikvarklar **üçdə bir ($1/3$)** və ya **üçdə iki ($2/3$)** (və ya onların mənfi formaları) elektrik yükünə malikdir.
- Digər hissəciklər isə ya **sıfır (0)**, ya **bir (1)**, ya da **mənfi bir (-1)** yüklə mövcuddur.

Bu hissəciklərin müxtəlif kombinasiyaları kainatda mövcud olan bütün maddəni təşkil edir.

Amma **sim nəzəriyyəsində** vəziyyət bir qədər fərqlidir: Burada elə vibrasiya naxışları (rezonanslı titrəyişlər) mümkündür ki, onlar **çox fərqli və qeyri-adi elektrik yüklərinə** malik hissəciklərə uyğun gələ bilər. Məsələn, hissəciklərin elektrik yükü **$1/5$, $1/11$, $1/13$** ,

hətta 1/53 kimi ekzotik kəsr dəyərlər ala bilər. Və bu cür qərribə yüklərin mümkün olması, bükülmüş (çevrilmiş) ölçülərin müəyyən geometrik xüsusiyyətləri ilə bağlıdır.

Konkret olaraq, əgər bu əlavə ölçülərdə elə **xüsusi "dəliklər"** varsa ki, bir sim həmin dəliyi dolananda **ancaq müəyyən sayda dolanaraq açılıb qurtula bilirsə**, o zaman bu **dolama sayı** vibrasiya naxışlarına təsir edir. Nəticədə, bu təsir hissəciklərin elektrik yükündəki **məxrəclə** (məsələn, 1/11-də 11 rəqəmi ilə) özünü göstərir. Bu texniki detalları tam anlamadan belə, əsas fikir budur: Sim nəzəriyyəsi, mövcud modellərdən fərqli olaraq, **çox daha qeyri-adi elektrik yüklərinə** malik hissəciklərin mümkünlüyünü irəli sürür – bu da nəzəriyyənin doğruluğunu yoxlamaq üçün potensial olaraq **çox güclü bir eksperimental signal** ola bilər. **Bəzi Calabi-Yau formaları bu geometrik xüsusiyyətə malikdir, digərləri isə yox.** Bu səbəbdən, qeyri-adi elektrik yükü kəsrlərinin (məsələn, 1/11, 1/13 və s.) mümkünlüyü, **superpartnyor hissəciklərin mövcudluğu qədər ümumi (yəni "geniş yayılmış") deyil.** Ancaq burada maraqlı bir fərq var: Supersimmetrik hissəciklərin mövcudluğu **yalnız sim nəzəriyyəsinə məxsus bir proqnoz deyil** — bu fikir nöqtə-hissəcik nəzəriyyələrinə də daxil edilib və orada da işləyir. Amma **bu qeyri-adi elektrik yükləri**, illərdir fizikaçıların təcrübəsi göstərüb ki, **heç bir nöqtə-hissəcik nəzəriyyəsində təbii şəkildə ortaya çıxmır.** Onları bu nəzəriyyələrə daxil etmək mümkündür, amma bu **"qab-qacaq dükanına girən öküz"** misalına bənzər: süni, məcburi və uyğunsuz görünür. Digər tərəfdən, sim nəzəriyyəsində bu qeyri-adi elektrik yükləri, sadəcə **əlavə ölçülərin sadə geometrik xüsusiyyətləri** sayəsində **təbii olaraq** meydana çıxa bilər. Bu da onları sim nəzəriyyəsinin **təbii və ayırd edici eksperimental izləri** halına gətirir. Təəssüf ki, **superpartnyor hissəciklərdə olduğu kimi**, bu tip **qeyri-adi elektrik yüklü hissəciklər** də indiyə qədər müşahidə olunmayıb. Və yenə də, sim nəzəriyyəsini bugünkü səviyyədə anlamamız onların **kütlələrinin dəqiq proqnozlaşdırılmasına imkan vermir**, hətta əlavə ölçülər belə qeyri-adi yükləri yarada biləcək xüsusiyyətlərə malik olsa da. Bu hissəciklərin hələ tapılmamasının bir izahı da budur ki, əgər onlar həqiqətən mövcuddursa, onların kütlələri **çox böyük** ola bilər — bəlkə də **Plank kütləsi** səviyyəsindədir. Bu isə indiki texnologiyalarla aşkarlanmalarını mümkünsüz edir. Amma bir gün elə bir eksperiment aparılsa və bu **nadir və qeyri-adi elektrik yüklərinə malik hissəciklər** aşkarlansa, bu **sim nəzəriyyəsi üçün çox güclü sübut** (bəlkə də ən güclülərindən biri) olacaq.

Uzunmüddətli ehtimallar (Some Longer Shots)

Sim nəzəriyyəsinin düzgünlüyünü sübut etmək üçün hələ bir neçə fərqli və daha az ehtimallı yollar da mövcuddur. Məsələn, məşhur fizik Edvard Witten, çox az ehtimalla olsa da, **gələcəkdə astronomların göyü müşahidə edərkən topladıqları məlumatlarda birbaşa sim nəzəriyyəsinin izlərini görə biləcəklərini** bildirib. 6-cı fəsildə də qeyd olunduğu kimi, **simlərin ölçüsü adətən Plank uzunluğu qədər çox kiçikdir**. Amma əgər simlər yüksək enerjiyə malik olsalar, **böyüyə** bilirlər. Böyük partlayış (Big Bang) zamanı kainatdakı enerji o qədər yüksək idi ki, bu zaman **bir neçə makroskopik (yəni gözlə görünəcək qədər böyük) sim** meydana gəlmiş ola bilər. Kainat genişləndikcə, bu simlər daha da böyüyərək **astronomik ölçülərə** çatmış ola bilər. Bu baxımdan, **indi və ya gələcəkdə** belə bir simin **gecə səmasında "sürüşərək keçməsi"** mümkün ola bilər və bu hadisə **astronomların müşahidə etdiyi məlumatlarda (məsələn, kosmik fon radiasiyasında kiçik temperatur fərqləri kimi), aydın və ölçülə bilən bir iz** buraxa bilər. (Bu barədə ətraflı məlumat 14-cü fəsildə veriləcək.)

Witten bu ehtimal barədə deyir:

"Bu bir az xəyali səslənsə də, bu mənim sim nəzəriyyəsinin təsdiqlənməsi ilə bağlı ən sevdiyim ssenaridir. Çünki teleskopda bir sim görmək qədər bu məsələni dramatik şəkildə həll edəcək heç nə yoxdur." Yəni, belə bir səma hadisəsi baş versə, bu, sim nəzəriyyəsinin doğru olduğuna dair **ən möhtəşəm və qəti sübut** ola bilər.

Yerə daha yaxın olan ehtimallar (Closer to Earth)

Sim nəzəriyyəsinin eksperimental yolla sübut edə biləcək başqa ehtimal olunan yollar da mövcuddur. Aşağıda **beş nümunə** təqdim olunur:

1. Neytrinoların kütləsi

Birinci məsələ neytrinolarla bağlıdır. 1.1-ci cədvəldə qeyd etdiyimiz kimi, **neytrinoların çox yüngül olub-olmadığı**, yoxsa **tamamilə kütləsiz** olub-olmadığı hələ dəqiq bilinmir. Standart modelə görə neytrinolar **kütləsiz** sayılır. Amma bu, **dərin və əsaslı bir səbəbə** dayanaraq deyil. Əgər gələcək təcrübələr neytrinoların **çox kiçik, amma sıfırdan fərqli bir kütləyə malik olduğunu** sübut etsə, bu nəticəni **anlaşılır və əsaslı şəkildə izah etmək** sim nəzəriyyəsi üçün böyük bir **çətinlik və eyni zamanda imkandır**. Bu halda sim nəzəriyyəsi, neytrinolarla bağlı eksperimental məlumatları **açıqlamaq və izah etmək üçün güclü bir namizəd** olacaq.

2. Qadağan olunmuş parçalanmalar

İkinci olaraq, standart modeldə **tamamilə qadağan olunmuş** bəzi nəzəri hadisələr var ki, **sim nəzəriyyəsi** bunlara **icazə verə bilər**. Bunlara misal olaraq:

- **Protonun parçalanması** göstərilə bilər (narahat olmayın, əgər belə bir proses mövcuddursa, **çox yavaş** gedir),
- Və ya bəzi **kvarkların özlərini dəyişdirərək fərqli kvarklara çevrilməsi** (bu isə **nöqtə-zərrəcik kvant sahə nəzəriyyəsinin** uzun müddətdir qəbul etdiyi qanunlara ziddir). Bu cür proseslərin standart modeldə olmaması onların **yeni fiziki nəzəriyyələrə** qarşı **çox həssas sınaq vasitələri** olduğunu göstərir. Əgər belə bir hadisə müşahidə olunsaydı, **sim nəzəriyyəsi bu hadisəni izah etmək üçün ideal platforma** ola bilər.

3. Yeni zəif qüvvələr

Üçüncü nöqtə: Bəzi **Calabi-Yau formaları** zamanı simlərin müəyyən vibrasiya nümunələri **yeni, zəif və uzunməsafəli qüvvə sahələri** meydana gətirə bilər. Əgər gələcəkdə belə **yeni qüvvələrin təsiri** müşahidə edilərsə, bu, çox güman ki, **sim nəzəriyyəsinin ortaya qoyduğu yeni fizikanın əlaməti** olacaq.

4. Qaranlıq maddə namizədləri

Dördüncü məsələ qaranlıq maddə ilə bağlıdır. Astronomlar artıq müşahidə ediblər ki, bizim qalaktika və bəlkə də bütün kainat **qaranlıq maddə ilə doludur**. Lakin bu qaranlıq maddənin **nə olduğu** hələ müəyyən edilməyib. Sim nəzəriyyəsi isə özündə **çoxlu sayda vibrasiya nümunələri** daşdığı üçün, bu qaranlıq maddə üçün **bir neçə potensial namizəd zərrəciklər** təklif edə bilər. Ancaq bu namizədlərin doğru olub-olmadığını müəyyən etmək üçün **qaranlıq maddə ilə bağlı daha ətraflı və dəqiq eksperimental nəticələr** gözlənilməlidir. Bu beş nümunə göstərir ki, sim nəzəriyyəsinin düzgünlüyünü yoxlamaq üçün **real və yerə daha yaxın eksperimental yollar** mövcuddur və gələcək elmi inkişaf bu sahədə **çox vacib nəticələr doğura bilər**.

Və nəhayət, sim nəzəriyyəsini müşahidələrlə əlaqələndirən beşinci mümkün bir üsul kosmoloji sabitliklə bağlıdır—yadında saxla ki, 3-cü fəsildə müzakirə etdiyimiz kimi, bu, Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin orijinal tənliklərinə əlavə etdiyi dəyişiklik idi ki, bu da statik kainatın təmin edilməsi məqsədini güdürdü. Sonrakı kəşf, kainatın genişlənməsi, Eynşteyni bu dəyişiklikdən geri çəkilməyə vadar etdi, amma fizikaçılar sonradan kəşf etdilər ki, kosmoloji sabitliyin sıfır olmasının heç bir izahı yoxdur. Əslində,

kosmoloji sabitlik bir növ ümumi enerji olaraq boşluqda saxlanılan enerji kimi şərh oluna bilər və buna görə də onun dəyəri nəzəri olaraq hesablanabilir və eksperimental olaraq ölçülə bilər. Lakin bu günə qədər, belə hesablamalar və ölçmələr böyük bir uyğunsuzluqla nəticələnir: Müşahidələr göstərir ki, kosmoloji sabitlik ya sıfırdır (Eynşteynin son təklifi kimi) və ya çox kiçikdir; hesablamalar göstərir ki, boşluq boşluğundakı kvant-mexaniki dalğalanmalar sıfır olmayan kosmoloji sabitlik yaradır, bu dəyər təcrübənin qəbul etdiyi ilə müqayisədə 120 sıra böyüklükdə (120 sıfırdan sonra 1) daha böyükdür! Bu, sim nəzəriyyəçiləri üçün möhtəşəm bir çağırış və fürsət yaradır: Sim nəzəriyyəsi hesablamaları bu uyğunsuzluğu yaxşılaşdırma və kosmoloji sabitliyin niyə sıfır olduğunu izah edə bilərmə, yoxsa təcrübələr nəticəsində onun dəyəri kiçik amma sıfır olmayan olaraq müəyyən edilsə, sim nəzəriyyəsi bir izah təqdim edə bilərmə? Əgər sim nəzəriyyəçiləri bu çağırışa cavab verə bilərlərsə—hələlik bunu bacarmayıblar—bu, nəzəriyyə üçün çox güclü bir sübut təmin edərdi.

Qiymətləndirmə

Fizikanın tarixində, ilk təqdim edildiyi zaman tamamilə sınaqnamaz görünə də, müxtəlif gözlənilməz inkişafalar nəticəsində eksperimental olaraq doğrulanabilən ideyalarla doludur. Materiyanın atomlardan ibarət olması, Pauli'nin spirtli neytrino hissəciklərinin mövcudluğu haqda hipotezi və səmadakı neytron ulduzları və qara dəşiklərin mövcudluğu ehtimalı bu cür məşhur ideyalardan üçüdür—indi tamamilə qəbul etdiyimiz, lakin əvvəlcə daha çox elm fantastikasının musiqiləri kimi görünən ideyalar.

Sim nəzəriyyəsini təqdim etməyin motivasiyası ən azı bu üç ideyanın hər biri qədər güclüdür—əslində, sim nəzəriyyəsi kvant mexanikasının kəşfindən bəri nəzəri fizikanın ən vacib və maraqlı inkişafı kimi qəbul edilmişdir. Bu müqayisə xüsusilə yerinə düşür, çünki kvant mexanikasının tarixi bizə göstərir ki, fizika inqilabları asanlıqla onilliklər ərzində yetkinləşə bilər. Və bu günkü sim nəzəriyyəsi alimləri ilə müqayisədə, kvant mexanikasını işləyən fiziklərin böyük bir üstünlüyü vardı: Kvant mexanikası, yalnız qismən formalaşmış olsa da, birbaşa eksperimental nəticələrlə əlaqə qurmağı bacarırdı. Buna baxmayaraq, kvant mexanikasının məntiqi strukturunu işləmək təxminən 30 il çəkdi və təxminən başqa bir 20 il xüsusi nisbilik nəzəriyyəsini tam olaraq nəzəriyyəyə daxil etmək üçün sərf edildi. İndi biz ümumi nisbilik nəzəriyyəsini daxil edirik, bu isə çox daha çətin bir vəzifədir və əlavə olaraq, eksperimentlə əlaqə qurmaq daha çətinidir. Kvant nəzəriyyəsini işləyənlərdən fərqli olaraq, bu günkü sim nəzəriyyəsi alimləri təbiətin parlaq işığını—detallı

eksperimental nəticələr vasitəsilə—bir addım növbətini təqib etmələrinə rəhbərlik etmək üçün yoxdur.

Bu, o deməkdir ki, bir və ya daha çox fizika nəslə sim nəzəriyyəsinin tədqiqi və inkişafına öz həyatlarını həsr edə bilirlər, amma heç bir eksperimental geribildirim almadan. Dünyanın hər yerində sim nəzəriyyəsi üzərində fəal şəkildə çalışan fizikaçıların çoxu bilirlər ki, risk alırlar: bir ömür boyu əməyi nəticəsiz qala bilər. Şübhəsiz ki, nəzəri irəliləyişlər davam edəcək, amma bu irəliləyişlər mövcud maneələri aşmağa və müəyyən, eksperimental olaraq test edilə bilən proqnozlar ortaya qoymağa yetərli olacaqmı? Yuxarıda müzakirə etdiyimiz dolayı testlər sim nəzəriyyəsi üçün həqiqi bir "smoking gun" (fiziki sübut) verəcəkmi? Bu suallar bütün sim nəzəriyyəçiləri üçün mərkəzi əhəmiyyət kəsb edir, amma bu suallar haqqında həqiqətən heç nə demək mümkün deyil. Yalnız zamanın keçməsi cavabları ortaya çıxaracaq. Sim nəzəriyyəsinin gözəl sadəliyi, onun cəlbedici bir şəkildə cazibədarlığı, onun gravitasiya və kvant mexanikası arasındakı münasibəti nəzarət altına alması, təbiətin bütün tərkib hissələrini birləşdirmə bacarığı və məhdudiyyətsiz proqnozlaşdırıcı gücünün potensialı, bütün bunlar riskin qəbul edilməsini doğru edir və ilham verir.

Bu yüksək mülahizələr, sim nəzəriyyəsinin sim əsaslı kainatın işləmə qaydalarını aşkar etməkdə göstərdiyi möhtəşəm yeni fiziki xüsusiyyətləri ortaya çıxarmaq qabiliyyəti ilə daima möhkəmlənib—xüsusiyyətlər, təbiətin işlərində incə və dərin bir uyğunluq ortaya qoyur. Yuxarıda təqdim olunan dildə, bunların əksəriyyəti indiki məlum olmayan detallardan asılı olmayaraq, bir sim ilə qurulmuş kainatın əsas xüsusiyyətləri olacaqdır. Bunlardan ən təəccüblüsü, bizim zaman və məkan anlayışımızın davamlı inkişaf edən təkamülünü dərinlən təsir etdi.

Fəsil IV: Sim Nəzəriyyəsi və Məkan-Zamanın Struktur

Fəsil 10: Kvant Coğrafiyası

Bir onillik ərzində, Eynşteyn təkbaşına əsrlik Nyutonçu çərçivəni alt-üst edərək dünyaya cazibə qüvvəsinin radikal və dəlillərlə daha dərin bir anlayışını verdi. Hətta mütəxəssisləri və qeyri-mütəxəssisləri belə Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsini yaratmaqda əldə etdiyi sadəcə dahiyənə və monumental orijinallığına heyran etmək çox çətin deyil. Bununla

belə, biz Eynşteynin uğuruna böyük ölçüdə töhfə verən əlverişli tarixi şəraitdən gözümüzü qaçırmamalıyıq. Bunların arasında ən başlıcası, Georg Bernhard Riemannın XIX əsrdəki riyazi kəşfləri idi ki, bu da hər hansı ölçüdəki əyri məkanların təsvirini vermək üçün geometriyanın alətlərini təmin etdi. 1854-cü ildə Göttingen Universitetindəki məşhur açılış nitqində, Riemann düz məkanlı, Yunan geometriyasının zəncirlərini qıraraq, əyri səthlər üzərində coğrafiyanı demokratik şəkildə müalicə etməyə yol açdı. Riemannın bu baxışları, 3.4 və 3.6 şəkillərində göstərilən kimi, deformasiyaya uğramış məkanları kəmiyyətə təhlil etmək üçün riyaziyyat təmin etdi. Eynşteynin dahiliyi, bu riyazi cəsədin cazibə qüvvəsinin yeni anlayışını həyata keçirmək üçün mükəmməl şəkildə uyğun olduğunu başa düşməkdə idi. O, cəsarətlə dedi ki, Riemannın coğrafiyası ilə cazibə fizikasının riyaziyyatı tam olaraq uyğun gəlir.

Amma indi, Eynşteynin mühüm uğurundan təxminən bir əsr sonra, sim nəzəriyyəsi cazibə qüvvəsinin kvant mexaniki təsvirini təqdim edir ki, bu da zərurətə görə, məsafələr Plank uzunluğu qədər qısa olduqda ümumi nisbilik nəzəriyyəsini dəyişdirir. Riemann geometriyası ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin riyazi mərkəzi olduğu üçün, bu, o deməkdir ki, o da dəyişdirilməlidir ki, sim nəzəriyyəsinin yeni qısa məsafə fizikasını düzgün şəkildə əks etdirdsin. Əgər ümumi nisbilik nəzəriyyəsi kainatın əyri xüsusiyyətlərinin Riemann geometriyası ilə təsvir olunduğunu iddia edirsə, sim nəzəriyyəsi bunu yalnız kainatın toxumasını kifayət qədər böyük miqyaslarda araşdırdıqda düzgün olduğunu irəli sürür. Plank uzunluğu qədər kiçik miqyaslarda yeni bir növ geometriya yaranmalıdır ki, bu da sim nəzəriyyəsinin yeni fizikasına uyğun olmalıdır. Bu yeni riyazi çərçivə kvant geometriyası adlanır.

Riemann geometriyasının vəziyyətindən fərqli olaraq, hazırda sim nəzəriyyəsinin kvant geometriyasını mənimsəmək və xidmətə vermək üçün hər hansı bir riyaziyyatçının rafında hazır bir geometriya əsəri yoxdur. Bunun əvəzinə, fizikaçılar və riyaziyyatçılar hazırda sim nəzəriyyəsinə mütəhərrik şəkildə öyrənir və kiçik-kiçik yeni bir fizika və riyaziyyat sahəsini birləşdirirlər. Tam hekayə hələ yazılmasa da, bu araşdırmalar artıq sim nəzəriyyəsi ilə əlaqəli çox sayda yeni məkan-zaman xüsusiyyətlərini aşkar edib — xüsusiyyətlər ki, bu xüsusiyyətlər şübhəsiz ki, hətta Eynşteyni belə çox sevindirərdi.

Əgər trampolinə tullanırsınızsa, bədənin çəki qüvvəsi elastik liflərini uzadaraq onu əyir. Bu uzanma ən çox bədənin altındadır və trampolinin kənarına doğru azalmağa başlayır. Əgər trampolinin üzərində Mona Lizanın şəkli çəkilibsə, bu çox aydın görünəcək. Trampolin heç bir ağırlıq daşımadıqda, Mona Lizanın şəkli normal görünür. Lakin trampolinə durduqda, Mona Lizanın şəkli, xüsusilə bədəninizin altındakı hissə, deformasiyaya uğrayır, şəkil 10.1-də olduğu kimi. Bu nümunə, Riemannın əyri formalara dair riyazi çərçivəsinin əsasını təşkil edir. Riemann, əvvəlki riyaziyyatçılar Carl Friedrich

Gauss, Nikolai Lobachevsky, Janos Bolyai və başqalarının nəzəriyyələrindən faydalanaraq göstərdi ki, bir obyektin üzərindəki və ya içindəki bütün nöqtələr arasındakı məsafələrin diqqətlə təhlili, onun əyilməsini ölçmək üçün bir yol təqdim edir. Təxminən desək, daha çox (bərabər olmayan) uzanma — düz bir formasından məsafə əlaqələrindən daha çox fərqlənmə — obyektin əyri olma dərəcəsini artırır. Məsələn, trampolin bədənə altındakı hissədə ən çox uzanır, buna görə də bu sahədəki nöqtələr arasındakı məsafə əlaqələri ən çox pozulur. Buna görə də, bu trampolinin hissəsi ən çox əyilmiş olur ki, bu da gözləniləndir, çünki bu, Mona Liza'nın ən çox deformasiyaya uğradığı və onun ənənəvi sirli təbəssümünün küncündə əks olunan bir ifadənin əlamətidir.

Eynşteyn, Riemannın riyazi kəşflərini dəqiq fiziki bir izah verərək qəbul etdi. O, 3-cü fəsildə müzakirə etdiyimiz kimi, zaman-məkanın əyilməsinin qravitasiya qüvvəsini əks etdirdiyini göstərdi. Lakin indi bu izahı bir az daha yaxından düşünək. Riyazi cəhətdən, zaman-məkanın əyilməsi—trampolinin əyilməsi kimi—onun nöqtələri arasındakı əyilmiş məsafə əlaqələrini əks etdirir. Fiziki olaraq, bir cismə təsir edən qravitasiya qüvvəsi birbaşa olaraq bu deformasiyanın əksidir. Əslində, cismin ölçüsünü kiçiltməklə, fizika və riyaziyyat, nöqtənin abstrakt riyazi anlayışını fiziki olaraq reallaşdırmağa getdikcə daha da yaxınlaşır. Lakin sim nəzəriyyəsi, Riemannın riyazi formalizminin qravitasiya fizikasına nə qədər dəqiq reallaşdırılacağını məhdudlaşdırır, çünki hər hansı bir cismi nə qədər kiçiltmək olar. Simlərə çatdıqda daha da kiçiltmək mümkün deyil. Nöqtə hissəcik anlayışı sim nəzəriyyəsində mövcud deyil—bu, qravitasiya üçün kvant nəzəriyyəsi təqdim etməyin əsas bir elementidir. Bu, aydın şəkildə göstərir ki, Riemannın, əsasən nöqtələr arasındakı məsafələrə əsaslanan riyazi çərçivəsi, sim nəzəriyyəsi tərəfindən mikroskopik ölçülərdə dəyişdirilir.

Bu müşahidə ümumi nisbət nəzəriyyəsinin adi makroskopik tətbiqlərində çox kiçik bir təsirə malikdir. Məsələn, kosmoloji tədqiqatlarda, fiziklər adi olaraq bütün qalaksiyaları nöqtə kimi modelləşdirirlər, çünki onların ölçüsü, bütöv kainatla müqayisədə çox kiçikdir. Bu səbəbdən, Riemannın riyazi çərçivəsini bu cür sadə şəkildə tətbiq etmək çox dəqiq bir təxmini nəticə verir, bu da ümumi nisbət nəzəriyyəsinin kosmoloji kontekstdə uğuru ilə sübut olunur. Lakin ultra-mikroskopik aləmdə, simin uzadılmış təbiəti təmin edir ki, Riemannın geometriyası sadəcə düzgün riyazi formalizm olmayacaq. Bunun əvəzinə, indi görəcəyimiz kimi, bu, sim nəzəriyyəsinin kvant geometriyası ilə əvəzlənməlidir ki, bu da dramatik şəkildə yeni və gözlənilməz xüsusiyyətlərə gətirib çıxarır.

Kosmoloji bir oyun meydanı

Böyük partlayış (Big Bang) kosmologiya modelinə əsasən, kainat təxminən 15 milyard il əvvəl baş vermiş nəhəng və şiddətli bir partlayış nəticəsində yaranıb. Bu gün — ilk dəfə Hubble tərəfindən kəşf edildiyi kimi — görə bilirik ki, bu partlayışdan çıxan "tör-töküntülər", yəni milyardlarla qalaktikalar hələ də ətrafa doğru hərəkət edir. Yəni kainat genişlənməkdə davam edir. Biz hələ dəqiq bilmirik ki, bu kosmik genişlənmə sonsuza qədər davam edəcək, yoxsa bir vaxt gələcək və genişlənmə dayanacaq, sonra isə əksinə çevrilərək kainatın yenidən öz içinə çökməsi ilə nəticələnməli. Astronomlar və astrofiziklər bu suala eksperimental yollarla cavab tapmağa çalışırlar. Çünki bu suala cavab vermək, əslində ölçülə bilən bir göstəricidən — kainatda maddənin orta sıxlığından — asılıdır.

Əgər ortalama maddə sıxlığı təqribən yüz milyardın milyardın milyardda biri qədər (yəni 10^{-29} qram/sm³) — kainatın hər kub metrində təxminən beş hidrogen atomu — olan kritik sıxlıq dəyərini keçərsə, o zaman kainatda kifayət qədər güclü cazibə qüvvəsi yaranacaq ki, bu da genişlənməni dayandıracaq və geriye çevrilməyə, yəni kainatın çökməsinə səbəb olacaq. Əgər maddənin orta sıxlığı bu kritik dəyərdən azdırsa, onda cazibə qüvvəsi çox zəif olacaq və kainatın genişlənməsini dayandırmağa gücü çatmayacaq — genişlənmə sonsuza qədər davam edəcək. (Sənin öz müşahidələrinə əsasən, kainatdakı maddənin orta sıxlığının kritik dəyəri xeyli keçdiyini düşünə bilərsən. Amma unutma ki, maddə — pul kimi — bir yerdə toplanmağa meyllidir. Dünyanın, Günəş sisteminin və ya Süd Yolu qalaktikasının orta sıxlığını bütün kainat üçün nümunə götürmək, Bill Gates-in sərvətini Yer planetindəki orta insanın maliyyə vəziyyətini təmsil etmək kimi olardı. Necə ki Bill Gates-lə müqayisədə çox az sərvətə sahib milyardlarla insan var və bu da orta göstəricini xeyli azaldır, eləcə də qalaktikalar arasında mövcud olan nəhəng boşluqlar kainatın ümumi maddə sıxlığını kəskin şəkildə azaldır.) Astronomlar qalaktikaların kainatdakı paylanmasını diqqətlə araşdıraraq, görünən maddənin orta miqdarı barədə kifayət qədər yaxşı təsəvvür əldə edə bilirlər. Bu miqdar isə kritik dəyərdən xeyli aşağı çıxır. Lakin həm nəzəri, həm də təcrübə əsaslı güclü sübutlar var ki, kainat qaranlıq maddə ilə doludur. Bu maddə ulduzları parlardan nüvə reaksiyalarında iştirak etmir, ona görə də işıq yaymır və astronomların teleskopları ilə görünür. Heç kim hələ qaranlıq maddənin nə olduğunu dəqiq bilmir, onun nə qədər mövcud olduğunu isə demək bir az da çətindir. **Ona görə də kainatın bu günkü genişlənməsinin gələcəkdə necə nəticələncəyi — hələ ki, dəqiq bilinmir. Müzakirə üçün fərz edək ki, kainatdakı maddənin sıxlığı kritik dəyəri aşır və uzaq bir gələcəkdə bu genişlənmə dayanır, kainat isə öz içinə doğru çökməyə başlayır.** Bütün qalaktikalar bir-birinə yaxınlaşmağa başlayacaq, əvvəlcə yavaş-yavaş, sonra isə zaman keçdikcə bu yaxınlaşma sürətlənəcək və nəhayət, qalaktikalar inanılmaz sürətlə bir-birinə çırpılacaq. Təsəvvür etməyə çalış: bütün kainat

get-gedə kiçilən bir kosmik kütləyə çevrilir. Üçüncü fəsildə də deyildi ki, milyardlarla işıq ili ölçüsündə olan maksimum ölçüsündən başlayaraq kainat milyonlarla işıq ilinə qədər kiçiləcək. Bütün maddə bir yerə sıxıldıqca bu kiçilmə prosesi sürət qazanacaq — əvvəlcə bir qalaktika qədər, sonra bir ulduz, bir planet qədər ölçüyə çatacaq... Daha sonra bir portağal, bir noxud, bir qum dənəsi ölçüsünə qədər daralacaq və nəhayət, ümumi nisbilik nəzəriyyəsinə görə, bir molekulun, bir atomun ölçüsünə qədər, ən sonda isə **heç bir ölçüsü olmayan sıfır həcmli** bir nöqtəyə sıxılacaq. **Ənənəvi nəzəriyyəyə** əsasən, kainat sıfır ölçülü ilkin bir vəziyyətdən başlayan böyük partlayışla yaranıbsa, və əgər onun daxilində yetəri qədər maddə varsa, o zaman bu kainat **bənzər bir sıxılma ilə**, yəni **"böyük çöküş" (big crunch)** adlanan hadisə ilə sona çatacaq. **Amma məsafə ölçüləri Plank uzunluğu qədər və ya ondan da kiçik olduqda**, artıq biz yaxşı bildiyimiz kimi, kvant mexanikası ümumi nisbilik tənliliklərini etibarsız edir. Bu mərhələdə **ümumi nisbilik nəzəriyyəsi işə yaramır** və əvəzində **sim nəzəriyyəsindən (səciyyə nəzəriyyəsindən)** istifadə edilməlidir. Eynşteyn-in ümumi nisbilik nəzəriyyəsi kainatın ölçüsünün istənilən qədər kiçilməsinə imkan verir — Riman həndəsəsinin riyazi baxımdan abstrakt formaları nə qədər kiçik ölçü götürə bilirsə, bu nəzəriyyə də eyni şəkildə ölçüsüzlüyə gedə bilər. Amma **sim nəzəriyyəsi** bu mənzərəni necə dəyişir? Sual budur. İndi görəcəyik ki, sim nəzəriyyəsi **fiziki olaraq keçilə bilən məsafələr üçün bir alt sərhəd təyin edir** və çox maraqlı bir şəkildə **kainatın ölçüsünün heç bir məkan ölçüsündə Plank uzunluğundan daha kiçik ola bilməyəcəyini bildirir**. Artıq sim nəzəriyyəsi ilə müəyyən tanışlığın var və buna əsaslanaraq bir təxmin yürütmək istəyə bilərsiniz. Məsələn, deyə bilərsiniz ki, **nə qədər nöqtəvari hissəcik bir-birinin üstünə yığılsa da**, onların birləşmiş həcmi yenə də sıfır olacaq. Amma əgər bu hissəciklər əslində **sim** (yəni sim) şəklindədirsə və tamamilə təsadüfi istiqamətlərdə bir yerə yığılsalar, bu zaman onlar Plank ölçüsündə qarışmış rezin lentlər topuna bənzəyən, sıfır olmayan bir ölçü tutacaqlar. Əgər belə düşünürsənsə, deməli **doğru istiqamətdənsə**, amma **sim nəzəriyyəsinin istifadə etdiyi daha incə və mühüm məqamları** gözdən qaçırsan. Bu xüsusiyyətlər **fizikanın "sim" səviyyəsində necə dəyişdiyini** və **məkan-zaman həndəsəsinə necə təsir etdiyini** daha dəqiq və konkret şəkildə izah edir.

Yekun fikir:

Kvant mexanikası və sim nəzəriyyəsi birləşərək göstərir ki, **kainatın ölçüsü müəyyən bir həddən — Plank uzunluğundan — daha kiçik ola bilməz**. Bu, həm fiziki reallıq, həm də məkan-zamanın quruluşu üçün fundamental nəticələr doğurur. Bu vacib məqamları izah etmək üçün gəlin, əvvəlcə əlavə detalları kənara qoyan, lakin yeni fizikanı qoruyub

saxlayan sadə bir nümunəyə baxaq. **Sim nəzəriyyəsinin on zaman-məkan ölçüsünü** və ya hətta bizim tanış olduğumuz **dörd genişləndirilmiş zaman-məkan ölçüsünü** nəzərə almaqdansa, **"Bağ şlanqı (Garden-hose) kainatına"** qayıdaq. Biz bu **iki məkan ölçülü kainatı** əvvəllər, 8-ci fəsildə — sim nəzəriyyəsi kontekstindən əvvəl — **Kaluza və Kleinin** 1920-ci illərdə irəli sürdükləri fikirləri izah etmək üçün təqdim etmişdik. İndi isə bu sadə modeldən **sim nəzəriyyəsinin xüsusiyyətlərini sadə şəraitdə öyrənmək üçün "kosmoloji oyun meydanı"** kimi istifadə edəcəyik. Qısa zamanda buradan əldə etdiyimiz anlayışları **sim nəzəriyyəsinin tələb etdiyi bütün məkan ölçülərini** daha yaxşı anlamaq üçün istifadə edəcəyik. Bu məqsədlə, **Bağ şlanqı kainatının** dairəvi ölçüsünün əvvəlcə **dolğun və geniş** olduğunu, sonra isə **getdikcə kiçildiyini** və sonda **Lineland** formasına yaxınlaşdığını (yəni böyük çöküşün (big crunch) sadələşdirilmiş, hissəvi versiyası) təsəvvür edirik.

Burada cavab axtardığımız sual budur: **Bu kosmik çöküşün həndəsi və fiziki xüsusiyyətləri, simlərə əsaslanan bir kainatla nöqtəvari hissəciklərə əsaslanan bir kainat arasında əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənirmi?** Başqa sözlə, **kainat simlərdən qurulmuş olarsa**, onun çöküş davranışı **nöqtə hissəciklərdən ibarət olan bir kainatın davranışından** əsaslı şəkildə fərqli olacaqmı? Bu sual, sim nəzəriyyəsinin klassik fizikadan nə dərəcədə fərqli olduğunu göstərmək baxımından çox önəmlidir.

Yeni və Əsas Xüsusiyyət

Sim nəzəriyyəsindəki əsas yeni fiziki xüsusiyyəti tapmaq üçün uzağa getməyə ehtiyac yoxdur.

İki ölçülü bu sadələşdirilmiş Bağ şlanqı kainatında, nöqtəvari hissəcik müxtəlif hərəkətlər edə bilər, bunlar Şəkil 10.2-də göstərilir:

- Uzununa ölçü boyunca hərəkət edə bilər (şlanqın uzun istiqaməti),
- Qıvrılmış dairəvi ölçü boyunca hərəkət edə bilər (şlanqın ətrafındakı hissə),
- Və ya bu iki hərəkətin birləşməsini icra edə bilər.

Sim (simvari hissəcik) də oxşar şəkildə hərəkət edə bilər, lakin bir əsas fərq var: O, şlanqın səthi boyunca hərəkət edərkən eyni zamanda dalğalanır (yəni titrəyir). Bu, Şəkil 10.3(a)-da göstərilir.

Bu fərqi artıq daha əvvəl müzakirə etmişdik:

- Simin bu dalğalanmaları (titrəyişləri) ona kütlə və qüvvə yükləri kimi xüsusiyyətlər verir.
- Bu, sim nəzəriyyəsinin əsas hissələrindən biridir.

Lakin hazırda biz bu dalğalanmaların fiziki nəticələri ilə deyil, başqa bir vacib yeni xüsusiyyətlə maraqlanırıq. Çünki bu dalğalanmalar artıq bizə məlumdur və başa düşülür. Yəni, indi diqqətimiz sim nəzəriyyəsinin daha az bilinən, lakin çox vacib olan digər təsirinə yönəlib — kainatın ölçülərinə və həndəsəsinə necə təsir göstərməsinə.

Hazırda bizi maraqlandıran məsələ, nöqtəvi hissəciklə simin (simvari hissəciyin) hərəkəti arasındakı başqa bir fərqdır. Bu fərq isə simin hərəkət etdiyi məkanın formasından birbaşa asılıdır. Sim adi hissəciklərdən fərqli olaraq uzunluğu olan bir obyekt olduğu üçün, əvvəl qeyd etdiyimiz hərəkət formalarından əlavə olaraq başqa bir vəziyyət də mümkündür:

- Sim Bağ şlanqı kainatının dairəvi ölçüsünün ətrafına dolana bilər – sanki ip atıb nəyisə bərkidən bir lasso kimi.
- Bu vəziyyət Şəkil 10.3(b)-də göstərilir.

Bu halda sim həm sürüşərək hərəkət etməyə, həm də dalğalanmağa davam edir, lakin bunu uzanmış və dolanmış vəziyyətdə edir.

Əslində, sim **dairəvi ölçünün ətrafında istənilən sayda dolana** bilər – yenə **Şəkil 10.3(b)**-də göstərildiyi kimi – və hər dəfə **dalğalanaraq** bu formadakı hərəkətini davam etdirər.

Sim bu cür dolanmış vəziyyətdə olduqda, biz deyirik ki, o, "winding mode" (dolayı rejim) halındadır.

Bu cür hərəkət **yalnız simlərə xasdır – nöqtəvi hissəciklərin isə belə bir imkanı yoxdur**, çünki onların uzunluğu yoxdur ki, nəyinsə ətrafına dolana bilsinlər.

İndi isə **bu keyfiyyətcə yeni olan hərəkət formasının:**

- həm **simin özünə**,
- həm də onun dolandığı **ölçünün həndəsi quruluşuna** necə təsir etdiyini anlamağa çalışacağıq.

Əvvəlki müzakirələrdə biz əsasən **sarılmamış (dolanmamış) simlərə** diqqət yetirmişdik. Amma **fəzadakı dairəvi ölçü ətrafında dolanan simlər** də demək olar ki, **eyni fiziki xüsusiyyətlərə malikdirlər.**

Bu simlərin də **dalğalanmaları**, əvvəlki dolanmamış simlərdə olduğu kimi, onların müşahidə olunan xüsusiyyətlərinə **güclü şəkildə təsir edir.**

Əsas fərq isə budur:

- **Dolanmış bir simin minimal kütləsi olur.**
- Bu minimum kütlə isə **dairəvi ölçünün ölçüsünə** və simin **neçə dəfə dolandığına** bağlıdır.
- Simin **dalğalanması isə** bu minimum kütləyə **əlavə kütlə** gətirir.
- Bu minimum kütlənin haradan qaynaqlandığını anlamaq çətin deyil. Dolanmış bir simin minimum uzunluğu, onun dolandığı dairəvi ölçünün çevrəsi və neçə dəfə dolandığı ilə müəyyən olunur. Simin minimum uzunluğu onun minimum kütləsini müəyyən edir: uzunluq nə qədər böyükdürsə, kütlə də o qədər çox olur, çünki daha çox maddə mövcuddur. Dairənin çevrəsi onun radiusu ilə düz mütənasib olduğuna görə, dolanma rejimində olan simlərin minimum kütləsi də dolandığı dairənin radiusu ilə düz mütənasibdir.
- Eynşteynin kütlə ilə enerjini əlaqələndirən $E = mc^2$ düsturundan istifadə etsək, deyə bilərik ki, dolanmış bir simdə toplanmış enerji də dairəvi ölçünün radiusu ilə mütənasibdir. (Dolanmamış simlərin də çox kiçik bir minimum uzunluğu var, çünki əgər bu olmasaydı, biz yenidən nöqtəvi hissəciklər aləminə qayıdardıq. Eyni məntiq bizi belə bir nəticəyə gətirə bilər ki, dolanmamış simlərin belə kiçik, lakin sıfırdan fərqli bir minimum kütləsi ola bilər. Bir mənada bu doğrudur, amma 6-cı fəsildə rast gəldiyimiz kvant-mexaniki təsirlər — yenə də "Qiymət Doğrudur" nümunəsini xatırlayın — bu kütlə qatqısını tamamilə sıfırlaya bilər. Məhz bu səbəbdən, dolanmamış simlər sıfır kütləyə malik olan foton, graviton və digər kütləsiz və ya az kütləli hissəcikləri meydana gətirə bilər. Dolanmış simlər isə bu baxımdan fərqlidirlər.)
- Bəs dolanmış sim konfigurasiyalarının mövcudluğu, simlərin dolandığı ölçünün həndəsi xüsusiyyətlərinə necə təsir edir? Bu suala cavab ilk dəfə 1984-cü ildə yapon fizikləri Keiji Kikkawa və Masami Yamasaki tərəfindən verilib və bu cavab həm qəribə, həm də heyranamizdir.
- Gəlin, Garden-hose kainatındakı böyük çökmənin sonuncu fəlakətli mərhələlərini nəzərdən keçirək. Dairəvi ölçünün radiusu Plank uzunluğuna qədər kiçildikcə və ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin qaydalarına uyğun olaraq daha da kiçildikcə, sim nəzəriyyəsi baş verənlərə radikal bir şəkildə yeni yanaşma tələb edir. Sim nəzəriyyəsi iddia edir ki, Garden-hose kainatındakı fiziki proseslər, əgər dairəvi ölçü Plank uzunluğundan kiçikdirsə və azalmağa davam edərsə, Plank uzunluğundan uzun və artan dairəvi ölçüyə sahib olan fiziki proseslərlə tamamilə eynidir! Bu o deməkdir ki, dairəvi ölçü Plank uzunluğundan keçməyə və daha kiçik ölçülərə doğru yaxınlaşmağa çalışarkən, sim nəzəriyyəsi bunu futilsiz edir, yəni geometriyanı dəyişdirir. Sim nəzəriyyəsi göstərir ki, bu inkişaf tamamilə yenidən şərh edilə bilər — dairəvi ölçü Plank uzunluğuna qədər kiçiləndən sonra genişlənməyə başlayır. Sim nəzəriyyəsi qısa məsafə geometriyasının qanunlarını yenidən yazır, beləliklə əvvəlcə tam kosmik çöküş kimi görünən hadisə indi kosmik

sıçrayış kimi görünür. Dairəvi ölçü Plank uzunluğuna qədər kiçilə bilər. Lakin dolanma rejimlərinə görə, daha da kiçilməyə cəhd etmək əslində genişlənməyə səbəb olur. Gəlin bunu niyə baş verdiyini görə bilərik.

Simli Halların Spektri

Bu və növbəti bir neçə bölmədəki bəzi fikirlər olduqca incədir, buna görə izah zəncirindəki hər bağlantı izləməkdə çətinlik çəkirsinizsə narahat olmayın, xüsusilə bir dəfə oxuyarkən. Dolanmış sim konfigurasiyalarının yeni imkanı, Garden-hose kainatında bir simin enerjisinin iki mənbədən gəldiyini göstərir: vibrasiya hərəkəti və dolanma enerjisi. Kaluza və Klein'in irsi olaraq, hər ikisi də hortumun geometriyasından asılıdır, yəni onun bükülmüş dairəvi komponentinin radiusundan, lakin aydın bir simə aid dönüşlə, çünki nöqtə hissəcikləri ölçüləri ətrafına dolana bilməzlər. Bizim ilk vəzifəmiz, dolanma və vibrasiya enerjisinin bir simin enerjisində olan töhfələrinin dairəvi ölçünün ölçüsündən necə asılı olduğunu dəqiq müəyyənləşdirmək olacaq. Bu məqsədlə, simlərin vibrasiya hərəkətini iki kateqoriyaya ayırmaq uyğun olacaq: bərabər və adi vibrasiyalar. Adi vibrasiyalar, artıq bir neçə dəfə müzakirə etdiyimiz, məsələn, Şəkil 6.2-də göstərilən adi osilasiya hərəkətlərini ifadə edir; bərabər vibrasiyalar isə daha sadə bir hərəkətə aiddir: simin ümumi hərəkəti, onun formasını dəyişdirmədən bir mövqedən digərinə sürüşməsi. Bütün sim hərəkəti sürüşmə və osilasiya — bərabər və adi vibrasiyaların birləşməsidir — amma cari müzakirə üçün onları bu şəkildə ayırmaq daha asandır. Əslində, adi vibrasiyalar bizim əsas argumentimizdə mərkəzi rol oynamayacaq və buna görə də onların təsirlərini yalnız argumentin əsasını verdikdən sonra daxil edəcəyik. Burada iki əsas müşahidə var. Birincisi, bir simin bərabər vibrasiya həyəcanları, dairəvi ölçünün radiusu ilə tərs mütənasib olan enerjilərə malikdir. Bu, kvant mexanikasının qeyri-müəyyənlik prinsipinin birbaşa nəticəsidir:

Kiçik bir radius, bir simi daha sıx şəkildə məhdudlaşdırır və buna görə də kvant mexanikasının sıxlıq hissi nəticəsində onun hərəkətindəki enerji miqdarını artırır. Beləliklə, dairəvi ölçünün radiusu azaldıqca, simin hərəkət enerjisi məcburi olaraq artır — bu, tərs mütənasibliyin müəyyənəddici xüsusiyyətidir. İkincisi, əvvəlki bölmədə tapıldığı kimi, dolanma rejiminin enerjiləri dairə ilə birbaşa — tərs deyil — mütənasibdir. Unutmayın ki, bu, dolanmış simlərin minimum uzunluğunun və buna görə də minimum enerjisinin radiusla mütənasib olması səbəbindəndir. Bu iki müşahidə göstərir ki, radiusun böyük qiymətləri böyük dolanma enerjilərini və kiçik vibrasiya enerjilərini ifadə edərkən, radiusun kiçik qiymətləri kiçik dolanma enerjiləri və böyük vibrasiya enerjiləri ifadə edir.

Bu, bizə vacib bir faktı gətirir: Garden-hose kainatının hər hansı böyük dairəvi radiusu üçün, əvvəlki kainatdakı simlərin dolanma enerjiləri ilə sonrakı kainatdakı simlərin vibrasiya enerjiləri bərabər olan müvafiq kiçik dairəvi radius mövcuddur və əvvəlki kainatdakı simlərin vibrasiya enerjiləri ilə sonrakı kainatdakı simlərin dolanma enerjiləri də bərabərdir. Fiziki xüsusiyyətlər, bir simin konfigurasiyasının ümumi enerjisinə həssasdır — və nəinki enerjinin vibrasiya və dolanma töhfələri arasında necə paylandığına — buna görə də, geometrik olaraq fərqli olan bu Garden-hose kainatlarının heç bir fiziki fərqi yoxdur. Buna görə də, qəribə bir şəkildə, sim nəzəriyyəsi iddia edir ki, "şişman" Garden-hose kainatı ilə "incə" olan arasında heç bir fərq yoxdur. Bu, kosmik bir ehtiyatlılıq yanaşmasıdır, hansı ki, smart bir investor kimi qarşılaşacağınız bir tapmacaya bənzəyir. Gəlin, təsəvvür edin ki, Wall Street-də ticarət olunan iki səhmin taleyinin bir-birinə sıx bağlı olduğunu öyrənirsiniz. Məsələn, bir fitness məşinləri istehsal edən şirkət və bir ürək əməliyyatı klapanları istehsal edən şirkət. Bu şirkətlər hər biri 1 dollarla ticarətə bağlanıb və sizə etibarlı bir mənbədən deyirlər ki, əgər bir şirkətin səhmi yüksəlsə, digəri düşəcək və əksinə. Bundan əlavə, mənbəyiniz — tamamilə etibarlı olsa da (amma hüquqi sərhədləri aşma ehtimalı ilə) — sizə deyir ki, növbəti günün bağlanmış qiymətləri bu iki şirkət üçün tamamilə tərs əlaqəlidir. Yəni, əgər bir səhmi 2 dollarla bağlanarsa, digəri 50 sentlə bağlanacaq; əgər bir səhmi 10 dollarla bağlanarsa, digəri 10 sentlə bağlanacaq və s. Amma bir şey var ki, mənbəyiniz sizə deyə bilmir: hansı səhmin yüksək bağlanacağı və hansı səhmin aşağı bağlanacağı. Belə halda nə edərsiniz? Bəli, dərhal bütün pulunuzu səhmlərə qoyursunuz, hər iki şirkətə bərabər paylanmış şəkildə. Yəni, çox asanlıqla bir neçə nümunə üzərində hesablamalar edərək görürsünüz ki, nə olursa olsun, növbəti gün sizin sərmayəniz dəyərini itirməyəcək. Ən pis halda, eyni qalacaq (əgər hər iki şirkət yenə 1 dollardan bağlansa), amma səhmlərin qiymətləri hər hansı bir şəkildə hərəkət etsə — sizin daxil olan məlumatınıza uyğun olaraq — sərmayəniz artacaq. Məsələn, əgər fitness şirkəti 4 dollara bağlansa və ürək klapanı şirkəti 25 sentə bağlansa, onların birgə dəyəri 4.25 dollar olacaq (hər səhmin cütü üçün), əvvəlki günün 2 dollarına nisbətən. Bundan əlavə, net sərvət baxımından, əslində heç bir fərq etmir ki, fitness şirkəti yüksək bağlansın və ürək klapanı şirkəti aşağı, yoxsa tərsinə. Əgər yalnız ümumi pul miqdarını düşünürsünüzsə, bu iki fərqli vəziyyət maliyyə baxımından ayırd edilə bilməzdir. Sim nəzəriyyəsində vəziyyət analoji şəkildədir, çünki sim konfigurasiyalarındakı enerji iki mənbədən - titrəmələr və sarılmalardan - gəlir ki, onların hər biri simin ümumi enerjisində fərqli dərəcələrdə təsir edir. Amma aşağıda daha ətraflı şəkildə görəcəyimiz kimi, müəyyən fərqli geometrik vəziyyətlər - yüksək sarılma enerjisi / aşağı titrəmə enerjisi və ya aşağı sarılma enerjisi / yüksək titrəmə enerjisi kimi - fiziki cəhətdən fərqlənir. Və, maliyyə analoqundan fərqli olaraq, hansı səhmin yüksək bağlanacağı və hansının aşağı bağlanacağı ilə bağlı düşüncələr ümumi sərvətə əsaslanaraq, iki səhmlə bağlı olan fərqli vəziyyətləri ayırd edə bilər, amma

sim nəzəriyyəsində bu iki vəziyyət arasında heç bir fiziki fərq yoxdur. Əslində, analoqu sim nəzəriyyəsi ilə daha da möhkəmlətmək üçün, ilkin sərmayənizi iki şirkət arasında bərabər bölməsəniz və məsələn, fitness şirkətindən 1,000 səhmi və ürək klapanı şirkətindən 3,000 səhmi alsaydınız, nə olacağını düşünməliyik. İndi sərmayənizin ümumi dəyəri, hansı şirkətin yüksək və hansı şirkətin aşağı bağlanacağına bağlıdır. Məsələn, əgər səhmlər 10 dollar (fitness) və 10 sent (ürək klapanı) olaraq bağlanarsa, ilkin 4,000 dollarlıq sərmayəniz indi 10,300 dollar olacaq. Tərs halda isə...

Buna baxmayaraq, səhmlərin bağlanma qiymətləri arasındakı tərs əlaqə aşağıdakıları təmin edir. Əgər bir dostunuz sizinlə "qarşı" olaraq investisiya etsə — fitness şirkətindən 3,000 səhmi və ürək klapanı şirkətindən 1,000 səhmi alarsa — o zaman səhmlər ürək klapanı yüksək/fitness aşağı bağlandıqda onun sərmayəsinin dəyəri 10,300 dollar olacaq (bu, sizin fitness yüksək/ürək klapanı aşağı bağlandıqda əldə etdiyiniz sərmayə dəyəri ilə eyni olacaq) və fitness yüksək/ürək klapanı aşağı bağlandıqda isə 30,100 dollar olacaq (yenə də, tərs vəziyyətdə sizin sərmayənizin dəyəri ilə eyni). Yəni, ümumi səhmlərin dəyəri baxımından, hansı səhmin yüksək və hansı səhmin aşağı bağlanacağını dəyişmək, sadəcə olaraq, hər bir şirkətə sahib olduğunuz səhmlərin sayını dəyişdirməklə tam olaraq kompensasiya olunur.

İndi bu son müşahidəni yadda saxlayın və sim nəzəriyyəsinə qayıdaq, konkret bir misalda sim enerjilərini düşünək. Təsəvvür edin ki, Garden-hose-universalının dövrəvi ölçüsünün radiusu Plank uzunluğundan təxminən on dəfə böyükdür. Biz bunu $R = 10$ olaraq yazaq. Bir sim bu dövrəvi ölçü ətrafında bir dəfə, iki dəfə, üç dəfə və s. sarıla bilər. Bir simin dövrəvi ölçü ətrafında neçə dəfə sarıldığını göstərən qiymətə sarılma nömrəsi (winding number) deyilir. Sarılmadan gələn enerji, sarılmış simin uzunluğuna əsaslanır və radiusun və sarılma nömrəsinin hasilinə nisbətlidir. Əlavə olaraq, hər hansı bir sarılma miqdarı üçün, sim titrəmə hərəkəti edə bilər. Çünki hal-hazırda diqqətimizi cəmlədiyimiz uniform titrəmələrin enerjiləri radiusun tərs nisbətinə bağlıdır, onlar radiusun $1/R$ olan tam ədədi çoxluqlarına nisbətlidir — bu halda, bu Plank uzunluğunun on dəfəsi olacaq. Biz bu tam ədədli çoxluğu titrəmə nömrəsi (vibration number) adlandırırıq.

Gördüyünüz kimi, bu vəziyyət Wall Street-də qarşılaşdığımız vəziyyətə çox bənzəyir, çünki sarılma və titrəmə nömrələri hər iki şirkətdəki səhmlərin sayının birbaşa analoqlarını təşkil edir, R və $1/R$ isə hər bir şirkətin bağlanma qiymətlərinin analoqlarıdır. İndi, tıpkı hər iki şirkətdəki səhmlərin sayına və bağlanma qiymətlərinə əsasən sərmayənizin ümumi dəyərini asanlıqla hesablaya biləcəyiniz kimi, biz də bir simin daşıdığı ümumi enerjini titrəmə nömrəsi, sarılma nömrəsi və radiusla hesablaya bilərik. Cədvəl 10.1-də biz müxtəlif sim konfiqurasiyaları üçün bu ümumi enerjilərin qismən siyahısını təqdim edirik, hansı ki, biz onları sarılma və titrəmə nömrələri ilə təyin edirik, və bu Garden-hose-universasında R

= 10 radiusu ilə verilir. Tam bir cədvəl sonsuz uzunluqda olacaq, çünki sarılma və titrəmə nömrələri istənilən tam ədədli dəyərləri ala bilər, amma bu təmsilçi cədvəl bizim müzakirəmiz üçün kifayətdir. Cədvəldən və qeydlərimizdən görürük ki, biz yüksək-sarılma-enerjisi/aşağı-titrəmə-enerjisi vəziyyətindəyik: Sarılma enerjiləri 10-un çoxluqları ilə gəlir, titrəmə enerjiləri isə kiçik ədəd olan 1/10-un çoxluqları ilə gəlir. İndi təsəvvür edin ki, dairəvi ölçünün radiusu 10-dan 9.2-yə, 7.1-ə, və daha sonra 3.4-ə, 2.2-yə, 1.1-ə, 0.7-yə və nəhayət, 0.1-ə (1/10) qədər kiçilir, burada, cari müzakirəmiz üçün, o dayanır. Bu, Garden-hose-universunun fərqli geometrik formasında biz analoji bir sim enerjiləri cədvəli yığa bilərik: Sarılma enerjiləri indi 1/10-un çoxluqları ilə gəlir, titrəmə enerjiləri isə onun əksinə, 10-un çoxluqları ilə gəlir. Nəticələr Cədvəl 10.2-də göstərilmişdir.

İlk baxışda, bu iki cədvəl fərqli görünə bilər. Lakin daha diqqətli yoxlamaq göstərir ki, baxmayaraq ki, fərqli bir sırayla düzülmüşlər, hər iki cədvəlin "ümumi enerji" sütunlarında eyni olan girişlər var. Cədvəl 10.1-də seçilmiş bir giriş üçün Cədvəl 10.2-də uyğun girişə çatmaq üçün sadəcə titrəmə və sarılma nömrələrini dəyişmək lazımdır. Yəni, radiusun dairəvi ölçüsünün 10-dan 1/10-a dəyişməsi ilə titrəmə və sarılma töhfələri bir-birini tamamlayan rollar oynayır. Buna görə də, ümumi sim enerjiləri baxımından bu fərqli ölçülərin dairəvi ölçüsü arasında heç bir fərq yoxdur. Tamamilə eyni şəkildə, fitness-high/valves-low ilə valves-high/fitness-low arasındakı dəyişiklik, hər iki şirkətdəki səhmlərin sayının dəyişməsi ilə tamamilə kompensasiya edilir; 10 radiusu ilə 1/10 radiusu arasındakı dəyişiklik də tamamilə titrəmə və sarılma nömrələrinin dəyişməsi ilə kompensasiya edilir. Üstəlik, sadəlik üçün biz başlanğıc radiusu olan $R = 10$ və onun əksinə 1/10-a fokuslanmışıq, amma çıxarılan nəticələr radiusun və onun əksinin hər hansı bir seçimi üçün eynidir.

Cədvəl 10.1 və 10.2 iki səbəbə görə tam deyil. Birincisi, qeyd edildiyi kimi, biz yalnız bir simin qəbul edə biləcəyi sonsuz sayda sarılma/titrəmə nömrələrinin yalnız bəzilərini siyahıya almışıq. Bu, əlbəttə, heç bir problem yaratmır—biz cədvəlləri istədiyimiz qədər uzun edə bilərik və onların arasındakı əlaqənin davam edəcəyini görürük. İkincisi, sarılma enerjisindən başqa, indiyə qədər yalnız simin uniform-titrəmə hərəkətindən yaranan enerji töhfələrini nəzərə almışıq. İndi isə adi titrəmələri də daxil etməliyik, çünki bunlar simin ümumi enerjisinə əlavə töhfələr verir və həmçinin daşıdığı qüvvə yüklərini müəyyən edir. Lakin vacib nöqtə ondan ibarətdir ki, araşdırmalar göstərib ki, bu töhfələr radiusun ölçüsündən asılı deyil. Buna görə də, biz bu daha ətraflı sim xüsusiyyətlərini Cədvəl 10.1 və 10.2-yə daxil etsək belə, cədvəllər hələ də tamamilə eyni olacaq, çünki adi titrəmə töhfələri hər iki cədvəli də eyni şəkildə təsir edir. Buna görə də, biz nəticəyə gəlirik ki, radiusu R olan bir Garden-hose-universe-dəki kütlələr və qüvvə yükləri tamamilə eynidir, radiusu $1/R$ olan bir Garden-hose-universe-dəki kütlələr və qüvvə yükləri ilə. Və bu

kütlələr və qüvvə yükləri əsas fizikanı idarə etdiyindən, bu iki geometriyası fərqli kainat arasında fiziki olaraq heç bir fərq yoxdur. Bir belə kainatda aparılan hər hansı bir eksperimentin qarşılığı olan bir eksperiment digərində aparıla bilər və tam eyni nəticələrə gətirib çıxarar. Bir Mübahisə George və Gracie, ikiölçülü varlıqlara çevrildikdən sonra, Garden-hose kainatında fizika professoru olaraq fəaliyyətə başlayırlar. Hər biri öz laboratoriyasını qurduqdan sonra, hər biri dairəvi ölçünü müəyyən etdiyini iddia edir. Təəccüblüdür ki, hər ikisi də böyük dəqiqliklə araşdırma apararıq bir reputasiyaya malik olsa da, onların nəticələri bir-birinə ziddir. George iddia edir ki, dairəvi radius $R = 10$ Plank uzunluğu qədərdir, halbuki Gracie iddia edir ki, dairəvi radius $R = 1/10$ Plank uzunluğu qədərdir.

"Gracie," deyir George, "mənəim sim nəzəriyyəsi hesablamalarıma əsasən, əgər dairəvi ölçü 10-dursa, onda mən Table 10.1-də verilən enerji siyahısına uyğun simlər gözləyəcəyimi bilirəm. Mən yeni Plank enerji sürətləndiricisindən istifadə edərək geniş təcrübələr apardım və bu təcrübələr bu proqnozun dəqiq şəkildə təsdiqləndiyini göstərdi. Buna görə də, inamla deyə bilərəm ki, dairəvi ölçü $R = 10$ -dur." Gracie isə öz iddialarını müdafiə edərək eyni sözləri söyləyir, yalnız onun nəticəsi Table 10.2-də verilən enerji siyahısının tapılması ilə bağlıdır, buna görə də radiusun $R = 1/10$ olduğunu təsdiqləyir.

Bir anda ağılına gələn Gracie, George-a göstərir ki, hər iki cədvəl, fərqli tərtib edilsə də, əslində eynidir. İndi isə, məlum olduğu kimi, Gracie-dən daha yavaş düşünen George cavab verir: "Bu necə ola bilər? Mən bilirəm ki, radiusun müxtəlif qiymətləri, əsas kvant mexanikası və sarılmış simlərin xassaları vasitəsilə, sim enerjiləri və sim yükləri üçün fərqli mümkün qiymətlərə gətirib çıxarır. Əgər biz sonuncusunda razılaşırıqsa, o zaman radiusda da razılaşmalıyıq."

Gracie, sim fizikasına dair yeni əldə etdiyi anlayışla cavab verir: "Dediklərin demək olar ki, doğru, amma tam deyil. Adətən, radiusun iki fərqli qiyməti fərqli icazəli enerjilərə səbəb olur. Lakin, xüsusi bir hal var ki, bu halda radiusun iki qiyməti bir-birinə tərs olaraq bağlıdır—məsələn, 10 və 1/10—o zaman icazəli enerjilər və yüklər əslində eynidir. Görürsən, sən nəyi sarılma rejimi 1 adlandırırsansa, mən onu vibrasiya rejimi adlandırırdım, və nəyi vibrasiya rejimi 1 adlandırırsansa, mən onu sarılma rejimi adlandırırdım. Amma təbiət bizim istifadə etdiyimiz dildən maraqlanmır. Əksinə, fizika əsas tərkib hissələrinin—partikulların kütlələri (enerjiləri) və daşıdıqları qüvvə yükləri—xassalarına tabedir. Və radius R və ya $1/R$ olmasından asılı olmayaraq, sim nəzəriyyəsindəki əsas tərkib hissələri üçün bu xassaların tam siyahısı eynidir."

Cəsarətli bir anlayış anında, Core cavab verir: "Düşünürəm ki, başa düşdüm. Mən və sən kordların detallı təsvirini fərqli verə bilərik — istər onlar dövrvi ölçüdə dolansın, istərsə də

onların vibrasiya davranışının xüsusiyyətləri — amma onların əldə edə biləcəyi fiziki xüsusiyyətlərin tam siyahısı eynidir. Buna görə də, əgər kainatın fiziki xüsusiyyətləri bu əsas tərkib hissələrinin xüsusiyyətlərindən asılıdırsa, onda bir-birinə tərs bağlı olan radiuslar arasında heç bir fərq, ayıran heç bir şey yoxdur." Tamamilə doğru.

Üç Sual

Bu nöqtədə belə deyə bilərsiniz: "Baxın, əgər mən Garden-hose kainatında kiçik bir varlıq olsaydım, sadəcə olaraq hortumun dövrəsini ölçərdim və beləliklə radiusu şübhəsiz müəyyən edərdim, nə varsa, nə də yox. Bəs fərqli radiuslara sahib iki seçimin eyniliyindən nə danışırıq? Bundan əlavə, sim nəzəriyyəsi sub-Plank məsafələrini aradan qaldırmırmı? O zaman niyə hələ də Plank uzunluğunun bir hissəsi olan radiuslara malik dövrvi ölçüləri müzakirə edirik? Və nəhayət, əgər bütün bunları nəzərə alsaq, iki ölçülü Garden-hose kainatından kimə nə maraqlıdır — bütün bu məsələlər bütün ölçüləri daxil etdikdə nə baş verir?"Gəlin sonuncu sualdan başlayaq, çünki cavabımız ilk iki sualla üz-üzə gəlməyimizi təmin edəcək. Müzakirəmiz Garden-hose kainatında baş versə də, biz sadəcə olaraq bir uzadılmış və bir dövrələnmiş məkansal ölçü ilə məhdudlaşdıq, yalnız sadəlik üçün. Əgər üç uzadılmış məkansal ölçümüz və altı dövrələnmiş ölçümüz varsa — ki, bunlar ən sadə Calabi-Yau məkanlarıdır — nəticə eynidir. Hər bir dairənin radiusu, əgər onun tərsi ilə yer dəyişərsə, fiziki olaraq eyni kainat yaradır. Bu nəticəni daha bir addım irəliləyə bilərik. Bizim kainatımızda üç məkansal ölçü müşahidə edirik, hər birinin, astronomik müşahidələrə görə, təxminən 15 milyard işıq ili qədər uzandığı görünür (bir işıq ili təxminən 6 trilyon mil edir, buna görə də bu məsafə təxminən 90 milyard trilyon mil edir). 8-ci fəsilə qeyd edildiyi kimi, bizə nə baş verdiyi məlum deyil. Biz bilmirik, bu ölçülər sonsuza qədər davam edirmi, yoxsa bəlkə də, ən son texnologiyaya sahib teleskopların görmə həssaslığından kənarda, böyük bir dairə şəklində özlərinə qayıdırlar. Əgər sonuncu doğru olarsa, kosmosa doğru davamlı olaraq sabit bir istiqamətdə gedən bir astronavt nəticədə kainat ətrafında dövr edərdi — Magellan yer kürəsini gəzən kimi — və başlanğıc nöqtəsinə qayıdardı.

Tanış olduğumuz uzanmış ölçülər, buna görə də çox böyük ehtimalla dairə formasında ola bilər və bu halda, sim nəzəriyyəsinin R və $1/R$ fiziki identifikasiyasına tabe ola bilər. Bəzi təxmini rəqəmlər qoyaq: əgər tanış olduğumuz ölçülər dairəvi olarsa, onların radiusu yuxarıda qeyd edilən 15 milyard işıq ilinə bərabər olmalıdır, bu da təxminən on trilyon trilyon trilyon trilyon ($R = 10^{61}$) dəfə Plank uzunluğundan böyükdür və kainatın genişlənməsi ilə böyüyür. Əgər sim nəzəriyyəsi doğru olarsa, bu, fiziki olaraq tanış olduğumuz ölçülərin dairəvi olması ilə, inanılmaz dərəcədə kiçik radiuslara sahib olması

ilə eynidir, yəni $1/R = 1/10^{61} = 10^{-61}$ dəfə Plank uzunluğundan! Bu, sim nəzəriyyəsi tərəfindən təqdim edilən alternativ təsvirlə tanış olduğumuz bu ölçülərdir. Əslində, bu qarşılıqlı dildə, bu kiçik dairələr zamanla getdikcə daha da kiçilir, çünki R böyüdükcə $1/R$ kiçilir. İndi isə həqiqətən dərin suya getmiş kimi görünürük. Necə ola bilər ki, bu mümkündür? Necə ola bilər ki, altı fut boyu olan bir insan belə inanılmaz dərəcədə mikroskopik bir kainatda "sığsın"? Necə ola bilər ki, belə bir kainat parçası fiziki olaraq göylərdə gördüyümüz böyük genişliklə eynidir? Bundan əlavə, indi bizim üç ilkin sualımızdan ikincisinə doğru güclü şəkildə yönəlirik: Sim nəzəriyyəsi sub-Plank məsafələrini araşdırmağı aradan qaldırmalıydı. Amma əgər dairəvi ölçü R radiusuna malikdirsə, onun uzunluğu Plank uzunluğundan böyükdürsə, onun qarşılığı $1/R$ mütləq Plank uzunluğunun bir hissəsi olacaqdır. Onda nə baş verir? Cavab, həmçinin bizim üç sualımızın birincisini də cavablandıracaq, bu da məkan və məsafə ilə bağlı vacib və incə bir aspekti vurğulayır.

Sim nəzəriyyəsində iki qarşılıqlı əlaqəli məsafə anlayışı

Məsafə, dünyanın başa düşülməsində o qədər əsas bir anlayışdır ki, onun incəliyini qiymətləndirmək asan ola bilər. Xüsusi və ümumi nisbilik nəzəriyyələrinin məkan və zaman anlayışımıza təsir etdiyi təəccüblü nəticələr və sim nəzəriyyəsindən yaranan yeni xüsusiyyətlər, bizləri məsafəni müəyyən etməkdə daha diqqətli olmağa məcbur edir. Fizikada ən mənalı təriflər operativ təriflərdir—yəni, tərif olunan şeyi ölçmək üçün ən azından nəzəri olaraq bir üsul təqdim edən təriflər. Ax_1 , nə qədər abstrakt bir anlayış olsa da, operativ bir tərifə sahib olmaq onun mənasını ölçmək üçün eksperimental bir prosedura çevirməyə imkan verir.

Sim nəzəriyyəsində məsafə anlayışının operativ tərifi

Məsafə anlayışını necə operativ şəkildə tərif edə bilərik? Bu suala sim nəzəriyyəsi kontekstində verilən cavab olduqca təəccüblüdür. 1988-ci ildə, Brown Universitetinin fizikçisi Robert Brandenberger və Harvard Universitetinin fizikçisi Cumrun Vafa qeyd etdilər ki, əgər bir ölçümbirimi çevrəlirdisə, sim nəzəriyyəsində məsafənin iki fərqli, amma əlaqəli operativ tərifi var. Hər biri məsafəni ölçmək üçün fərqli eksperimental prosedura təklif edir və təxmini şəkildə belə bir sadə prinsipə əsaslanır: əgər bir sonda sabit və məlum sürətlə hərəkət edərsə, onda müəyyən bir məsafəni ölçmək üçün sondanın nə qədər vaxt ərzində həmin məsafəni keçdiyini müəyyən edə bilərik. İki prosedurun fərqi istifadə edilən sondanın növüdür. Birinci tərif, çevrəli ölçümbirimində dolanmayacaq olan simləri istifadə edir, ikinci tərif isə dolanmış simləri istifadə edir. Görürük ki, əsas sonda olan uzanma sim

nəzəriyyəsində məsafənin iki təbii operativ tərifinin olmasına səbəb olur. Bir nöqtə-cisim nəzəriyyəsində, burada dolanma anlayışı yoxdur, yalnız bir tərif olardı.

Hər iki prosedurun nəticələri necə fərqlənir?

Brandenberger və Vafa tərəfindən tapılan cavab həm təəccüblüdür, həm də incədir. Nəticənin əsas ideyasını, qeyri-müəyyənlik prinsipinə müraciət edərək başa düşmək olar. Dolanmayan simlər sərbəst hərəkət edə bilir və çevrənin tam uzunluğunu araşdıraraq ölçə bilir, bu uzunluq isə R ilə orantılıdır. Qeyri-müəyyənlik prinsipinə görə, onların enerjiləri $1/R$ ilə orantılıdır (6-cı fəsildən, bir sondanın enerjisinin və ona duyarlı olduğu məsafələrin tərs əlaqəsini xatırlayın). Digər tərəfdən, dolanmış simlərin minimum enerjisi R ilə orantılıdır; məsafə sondaları olaraq qeyri-müəyyənlik prinsipinə görə, onlar bu dəyərin tərsinə, yəni $1/R$ ilə duyarlıdırlar. Bu ideyanın riyazi ifadəsi göstərir ki, əgər hər iki tip sondadan birinin köməyi ilə məkanın çevrəli ölçümbiriminin radiusunu ölçsək, dolanmayan ip sondaları R -ni, dolanmış simlər isə $1/R$ -ni ölçəcəkdir. Hər iki təcrübənin nəticəsi çevrənin radiusu olmaq iddiasına malikdir — sim nəzəriyyəsindən öyrəndiyimiz odur ki, məsafə ölçmək üçün müxtəlif sondaların istifadəsi fərqli nəticələrə gətirib çıxara bilər. Əslində, bu xüsusiyyət yalnız çevrəli ölçümbiriminin ölçüsünü müəyyən etməklə bağlı deyil, bütün uzunluq və məsafə ölçmələrinə də şamil edilir. Dolanmış və dolanmamış ip sondalarından əldə edilən nəticələr bir-birinə tərs orantılı olacaqdır.

Əgər sim nəzəriyyəsi bizim kainatımızı təsvir edirsə, niyə gündəlik həyatımızda və ya elmi işlərimizdə bu iki fərqli məsafə anlayışını heç vaxt qarşılamamışıq?

Hər dəfə məsafədən danışarkən, bunu yalnız bir anlayışa uyğun şəkildə edirik və heç vaxt başqa bir anlayışın mövcud olduğu barədə heç bir əlamət görmürük. Niyə biz alternativ mümkünlüyü qaçırmışıq? Cavab odur ki, bizim müzakirələrimizdə böyük bir simmetriya olsa da, R (və buna uyğun olaraq $1/R$) 1-dən (yəni, Plank uzunluğunun 1 dəfə) əhəmiyyətli dərəcədə fərqləndikdə, bir əməliyyat tərfi çox çətin, digər tərfi isə çox asan olur. Əslində, biz həmişə asan yanaşmanı tətbiq etmişik, başqa bir mümkünlüyün mövcudluğunun tam fərqində olmadan.

Bu iki yanaşma arasındakı çətinlik fərqi sondalarda istifadə olunan çox fərqli kütlələrdən qaynaqlanır—yüksək-dönmə-enerjisi/aşağı-vibrasiya-enerjisi və əksinə—əgər radius R (və buna uyğun olaraq $1/R$) Plank uzunluğundan əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənirsə (yəni, $R = 1$). Burada "yüksək" enerji, Plank uzunluğundan çox fərqli olan radiuslar üçün, məsələn, protonun milyardlarca dəfə daha ağır olan sondaqlara uyğun gəlir, "aşağı" enerji isə sondaların kütlələrinin sıfıra çox yaxın olduğu vəziyyətə uyğundur. Belə şəraitdə, bu iki yanaşma arasında nəhəng bir çətinlik fərqi var, çünki ağır ip konfigurasiyalarını yaratmaq belə, hazırda texnoloji bacarıqlarımızın xaricindədir. Əslində, yalnız iki

yanaşmadan biri texnoloji cəhətdən mümkündür—bu da daha yüngül olan ip konfiqurasiyasını əhatə edir. Bu, bizim bütün məsafə ölçmələrimizdə istifadə etdiyimiz yanaşmadır və intuisiyamıza uyğun olan bu yanaşmadır. **Praktiki məsələləri bir kənara qoysaq, sim nəzəriyyəsi ilə idarə olunan bir kainatda məsafələri iki yanaşmadan biri ilə ölçmək tamamilə mümkündür.**

Astronomlar "kainatın ölçüsünü" ölçərkən, bunu, kosmos boyunca səyahət edən və teleskoplarına daxil olan fotonları araşdırmaqla edirlər. Sözsüz ki, fotonlar bu vəziyyətdə işıq ipi modlarıdır. Nəticə olaraq əldə edilən məsafə əvvəlcə qeyd edilən Plank uzunluğunun 10^{61} qatıdır. Əgər üç tanınmış məkan ölçüsü əslində dövrəlidirsə və sim nəzəriyyəsi doğrudursa, astronomlar çox fərqli (və hazırda mövcud olmayan) avadanlıqlardan istifadə edərək prinsip etibarilə göy cisimlərinin ölçüsünü ağır dövrəli ipi modları ilə ölçə bilərlər və bu zaman nəticə bu böyük məsafənin tərs qiymətini əldə edərlər. Bu mənada kainatı həm böyük, həm də kiçik olaraq düşünə bilərik. Yüngül ipi modlarına görə kainat böyük və genişlənir; ağır modlarına görə isə kiçik və daralır. Burada heç bir ziddiyyət yoxdur; bunun əvəzinə iki fərqli, lakin bərabər dərəcədə məqbul məsafə anlayışımız var. Biz texnoloji məhdudiyyətlər səbəbindən birinci anlayışla daha çox tanışıq, amma hər iki anlayış da bərabər şəkildə etibarlıdır.

İndi isə böyük insanlar və kiçik kainat haqqında əvvəlki sualımıza cavab verə bilərik. Məsələn, bir insanın boyunu ölçərkən, onu altı fut olaraq tapırıqsa, biz mütləq yüngül ipi modlarından istifadə edirik. Onların ölçüsünü kainatın ölçüsü ilə müqayisə etmək üçün eyni ölçmə prosedurunı istifadə etməliyik və yuxarıdakı kimi, bu zaman kainatın ölçüsü üçün 15 milyard işıq ili nəticəsi əldə edilir, bu isə altı futdan çox daha böyükdür. Bir insanın necə "kiçik" kainata sığa biləcəyini soruşmaq isə mənasız bir sualdır—bu, alma ilə portağal müqayisə etmək kimidir. Çünki indi bizdə iki məsafə anlayışı var—ışıq və ya ağır ipi modları ilə ölçmə—biz ölçmələri eyni şəkildə müqayisə etməliyik.

Minimum Ölçü

Bir az uzun bir yol oldu, amma indi əsas nöqtəyə gəlmişik. Əgər insan "asanca" məsafələri ölçməkdə qalarsa—yəni, ağır ipi modları yerinə ən yüngül ipi modlardan istifadə edərsə—əldə edilən nəticələr həmişə Plank uzunluğundan daha böyük olacaq. Bunu görmək üçün, üç genişlənmiş ölçünün dövrəli olduğunu qəbul edərək, hipotetik böyük çöküşü düşünək. Məsələn, düşüncə eksperimentimizin əvvəlində, açıq ipi modlarının yüngül olduğunu və

onları istifadə edərək kainatın son dərəcə böyük bir radiusu olduğu və zamanla kiçildiyi müəyyənləşdirilir. Radius kiçildikcə, bu açıq modlar daha ağırlaşır, dövrələnmiş modlar isə yüngülləşir. Radius Plank uzunluğuna qədər kiçiləndə—yəni, $R \rightarrow 1$ dəyərini götürəndə—dövrələnmə və vibrasiya modlarının kütləsi bir-birinə bərabər olur. Məsafəni ölçmək üçün iki yanaşma eyni dərəcədə çətin hala gəlir və həmçinin, hər biri eyni nəticəni verəcəkdir, çünki 1 özünün tərsidir.

Radius kiçilməyə davam etdikcə, dövrələnmiş modlar açıq modlardan daha yüngül olurlar və buna görə də, hər zaman "asanca" yanaşmanı seçdiyimiz üçün, artıq məsafəni ölçmək üçün dövrələnmiş modlar istifadə edilməlidir. Bu ölçmə üsuluna görə, açıq modların ölçdüyü ilə müqayisədə tərsi ölçülür və radius Plank uzunluğundan bir dəfə daha böyük və böyüməkdə olur. Bu sadəcə göstərir ki, R —yəni açıq ipi modları ilə ölçülən kəmiyyət— 1 -ə doğru kiçildikcə və daha da kiçildikcə, $1/R$ —yəni dövrələnmiş ipi modları ilə ölçülən kəmiyyət— 1 -ə doğru böyüyür və böyüyür. Buna görə də, əgər insan hər zaman yüngül ipi modlardan istifadə etməyə diqqət edərsə—"asanca" məsafə ölçmə yanaşması—qarşılaşılan minimal dəyər Plank uzunluğu olacaq.

Xüsusilə, böyük çöküş sıfır ölçüsünə qədər davam etmir, çünki kainatın radiusu, yüngül ipi modları ilə ölçüldükdə həmişə Plank uzunluğundan böyük olur. Plank uzunluğuna doğru gedib daha da kiçilmək əvəzinə, yüngül ipi modları ilə ölçülən radius Plank uzunluğuna qədər kiçilir və sonra dərhal böyüməyə başlayır. Çöküş yerinə "bounce" (geri sıçrayış) meydana gəlir.

Yüngül ipi modları ilə məsafəni ölçmək, bizim ənənəvi uzunluq anlayışımızla uyğun gəlir—bu anlayış sim nəzəriyyəsi kəşf olunmazdan əvvəl mövcud idi. Bu uzunluq anlayışı ilə, 5-ci fəsildə gördüyümüz kimi, Plank ölçüsündən kiçik məsafələr fiziki rol oynasa, işgəncəli kvant dalğalanmalarına səbəb olduğunu görmüşdük. Bu tamamlayıcı baxış bucağından bir daha görürük ki, sim nəzəriyyəsi ultra-kiçik məsafələrdən qaçır. Ümumi nisbilik fiziki çərçivəsində və müvafiq olaraq Riemann geometriyasının riyazi çərçivəsində yalnız bir məsafə anlayışı vardır və bu anlayış sonsuz dərəcədə kiçik qiymətlər ala bilər. Sim nəzəriyyəsinin fiziki çərçivəsində və bununla əlaqəli olaraq yaranan kvant geometriyasının sahəsində isə iki fərqli məsafə anlayışı mövcuddur. Hər iki anlayışı müdrikcə istifadə edərək, böyük məsafə miqyaslarında həm intuisiyamıza, həm də ümumi nisbiliyə uyğun bir məsafə anlayışı tapırıq, amma kiçik məsafə miqyaslarında bu anlayış onlardan dramatik şəkildə fərqlənir. Xüsusilə, sub-Plank ölçülü məsafələr əldə edilə bilməz.

Bu müzakirə olduqca incə olduğu üçün bir əsas nöqtəni yenidən vurğulamaq lazımdır. Əgər biz "asandır" və "çətin" yanaşmalarını məsafə ölçməzdən fərqləndirməkdən imtina etsək

və məsələn, Plank uzunluğundan keçərkən yüngül olmayan modları istifadə etməyə davam etsək, o zaman sub-Plank uzunluğunda bir məsafə ilə qarşılaşa biləcəyimizi düşünə bilərik. Ancaq yuxarıdakı paragraflar bizə bildirir ki, son cümlədəki "məsafə" sözü diqqətlə şərh edilməlidir, çünki onun iki fərqli mənası var, yalnız birinin bizim ənənəvi anlayışımıza uyğun olduğunu göstərir. Və bu halda, R Plank uzunluğundan kiçildikcə, biz hələ də yüngül olmayan ipi modları istifadə edirik (hətta artıq onlar sarılmış modlardan daha ağır olsalar belə), biz məsafəni ölçmək üçün "çətin" yanaşmadan istifadə edirik və buna görə də "məsafə"nin mənası bizim standart istifadə etdiyimiz mənaya uyğun gəlir.

Lakin bu müzakirə yalnız semantika və ya ölçmə rahatlığı və ya praktikliyi ilə bağlı deyil. Hətta biz qeyri-standart məsafə anlayışını istifadə edərək radiusu Plank uzunluğundan kiçik olaraq təsvir etsək belə, qarşılaşdığımız fizika—əvvəlki hissələrdə müzakirə edildiyi kimi—Plank uzunluğundan böyük radiusa sahib olan bir kainatın fizikasına tam olaraq uyğun olacaq (məsələn, Cədvəl 10.1 və 10.2 arasındakı dəqiq uyğunluğa görə). Və əslində, vacib olan dil deyil, fizika özüdür.

Brandenberger, Vafa və digər fizikaçılar bu ideyalardan istifadə edərək kosmologiyanın qanunlarını yenidən yazmağı təklif ediblər. Bu yeni yanaşma, həm Böyük Partlayışın, həm də mümkün olan Böyük Sıxılmanın sıfır ölçülü bir kainat deyil, bütün ölçülərində Plank uzunluğunda bir kainatla əlaqəli olduğunu irəli sürür. Bu, sonsuz sıxlığa sahib olan bir nöqtədən doğan və ya ona sıxılan bir kainatın yaratdığı riyazi, fiziki və məntiqi çətinliklərdən qaçmaq üçün çox cəlbədar bir təkliftir. Bütün kainatın kiçik bir Plank ölçülü dənəciyinə sıxıldığını təsəvvür etmək konseptual olaraq çətin olsa da, onu heç bir ölçüsü olmayan bir nöqtəyə sıxılmasını təsəvvür etmək həqiqətən çox uzaqdır. Sim kosmologiyası, 14-cü fəsildə müzakirə edəcəyimiz kimi, çox gənc bir sahədir, lakin böyük vəd daşıyır və çox mümkündür ki, bizə standart Böyük Partlayış modelinə alternativ olaraq daha asan həzm edilə bilən bir variant təqdim etsin.

Bu nəticə nə qədər ümumidir?

Bəs, əgər məkan ölçüləri dairəvi şəklində deyilsə nə olar? Bu diqqətəlayiq nəticələr sim nəzəriyyəsində minimum məkan ölçüsünün hələ də keçərlidir mi? Heç kim dəqiq bilmir. Dairəvi ölçülərin əsas aspekti ondan ibarətdir ki, onlar ipli simlərin ətrafında dolanma ehtimalını təmin edir. Əgər məkan ölçüləri—şəkillərinin detalları nə olursa olsun—simlərin onlara dolanmasına imkan verirsə, bizim çıxardığımız əksər nəticələr hələ də keçərli olmalıdır. Lakin, məsələn, iki ölçü bir kürə şəklindədirsə nə olar? Bu halda, simlər "dolanmış" vəziyyətdə tələyə düşə bilməz, çünki onlar həmişə "sıyrıla" bilər, elə tək bir gərilməmiş rezin lentinin basketbol topundan çıxması kimi. Bəs, sim nəzəriyyəsi buna baxmayaraq, bu ölçülərin nə qədər kiçilməsinə məhdudiyyət qoyurmu?

Çoxsaylı araşdırmalar göstərir ki, cavab, tam məkan ölçüsünün kiçilməsi ilə (bu fəsildəki nümunələr kimi) və ya (11-ci və 13-cü fəsillərdə qarşılaşacağımız və izah edəcəyimiz) izolyasiya olunmuş bir "parça" məkanın çökməsi arasındakı fərqdən asılıdır. Sim nəzəriyyəçiləri arasında ümumi inanc odur ki, şəkilindən asılı olmayaraq, tam bir məkan ölçüsünü kiçildikcə minimum bir hədd mövcuddur, tıpkı dairəvi ölçülər halında olduğu kimi. Bu gözləntini təsdiqləmək, sim nəzəriyyəsinin bir çox aspektlərinə, o cümlədən kosmologiyaya təsir etdiyi üçün mühüm tədqiqat hədəfidir.

Güzgü simmetriyası

Ümumi nisbət nəzəriyyəsi vasitəsilə, Eynşteyn qravitasiya fizikasını və məkan-zamanın coğrafiyasını əlaqələndirdi. İlk baxışda, sim nəzəriyyəsi fizika ilə coğrafiya arasındakı əlaqəni gücləndirir və genişləndirir, çünki titrəyən ipli simlərin xüsusiyyətləri—onların kütləsi və daşdıqları qüvvə yükleri—əsasən məkanın bükülmüş komponentinin xüsusiyyətləri tərəfindən müəyyən edilir. Lakin, biz az əvvəl gördük ki, kvant coğrafiyası—sim nəzəriyyəsində coğrafiya-fizika əlaqəsi—bəzi təəccüblü dönüşlərə malikdir. Ümumi nisbət nəzəriyyəsində və "ənənəvi" coğrafiyada, R radiuslu bir dairə $1/R$ radiuslu bir dairədən sadəcə olaraq fərqlidir; lakin, sim nəzəriyyəsində onlar fiziki cəhətdən ayırd edilə bilməz. Bu, bizi daha da irəli getməyə və soruşmağa təşviq edir: Bəlkə də, məkanın daha dramatik fərqlənən coğrafi formaları var—yalnız ümumi ölçüdə deyil, mümkündür ki, formasında da fərq olsun—lakin yenə də sim nəzəriyyəsində fiziki cəhətdən ayırd edilə bilməz.

1988-ci ildə, Stanford Linear Accelerator Mərkəzindən Lance Dixon bu mövzuda mühüm bir müşahidə etdi ki, bu müşahidə Wolfgang Lerche (CERN), Vafa (Harvard) və Nicholas Warnerin (o zamanlar Massachusetts Texnologiya İnstitutunda) töhfələri ilə daha da gücləndirildi. Simmetriya nəzəriyyəsi əsasında estetik arqumentlərə əsaslanaraq, bu fizikaçılar iddialı bir təklif irəli sürdülər ki, sim nəzəriyyəsində əlavə bükülmüş ölçülər üçün seçilmiş iki fərqli Calabi-Yau formasının eyni fizika yaratması mümkündür. Bu mümkünlüyün necə baş verə biləcəyini daha yaxşı anlamaq üçün, əlavə Calabi-Yau ölçülərindəki dəşiklərin sayının, sim tərpənişlərinin özlərini necə təşkil edəcəyini müəyyən etdiyini xatırlayaq. Bu dəşiklər, torus və ya onun çoxhəndəli qohumlarında tapılan dəşiklərə bənzəyir, şəkil 9.1-də göstərildiyi kimi. İki ölçülü şəkilin çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, çap səhifəsində altı ölçülü bir Calabi-Yau məkanının müxtəlif ölçülərdə dəşiklərə sahib ola biləcəyini göstərmək mümkün deyil. Belə dəşiklər çətin təsəvvür olunsada, onları yaxşı başa düşülən riyazi üsullarla təsvir etmək mümkündür.

Əsas fakt budur ki, sim tərpaşışlərindən yaranan hissəcik ailələrinin sayı yalnız deşiklərin ümumi sayına həssasdır, hər bir ölçüdəki deşiklərin sayına deyil (məsələn, ona görə də 9-cu fəsildə deşiklərin fərqli növləri arasında fərqlər çəkmək barədə narahat olmamışıq). İndi, iki fərqli Calabi-Yau məkanını təsəvvür edin ki, müxtəlif ölçülərdə deşiklərin sayı fərqlidir, amma ümumi deşik sayı eynidir. Hər bir ölçüdəki deşiklərin sayı fərqli olduğu üçün, bu iki Calabi-Yau məkanı fərqli formalara malikdir. Lakin onlar eyni ümumi deşik sayına sahib olduqlarına görə, hər biri eyni sayda ailə ilə bir kainat yaradır. Bu, əlbəttə ki, yalnız bir fiziki xassədir. Bütün fiziki xassələr üzrə razılığa gəlmək daha məhdudlaşdırıcı bir tələbdir, amma bu, Dixon-Lerche-Vafa-Warner fərziyyəsinin mümkün olma ehtimalını göstərmək üçün ən azından bir fikir verir.

1987-ci ilin payızında, mən Harvardın fizika fakültəsinə postdoktoral tədqiqatçı kimi qoşuldum və mənim ofisim Vafa'nın ofisindən bir dəhliz uzaqda idi. Tezislərimdə əsas diqqətimi sim nəzəriyyəsidəki yığılmış Calabi-Yau ölçülərinin fiziki və riyazi xüsusiyyətlərinə yönəltmişdim, buna görə də Vafa mənə bu sahədəki işləri ilə yaxından tanış edirdi. 1988-ci ilin payızında o, mənim ofisimi ziyarət edərək, Lerche və Warner ilə birlikdə tapdıqları fərziyyə barədə mənə məlumat verdi. Mən bu fərziyyəyə maraqlandım, amma eyni zamanda şübhə etdim. Marağım, əgər onların fərziyyəsi doğrudursa, sim nəzəriyyəsi üzrə yeni bir tədqiqat sahəsi açılacağından irəli gəlirdi; şübhəm isə ondan yaranmışdı ki, fərziyyələr bir şeydir, bir nəzəriyyənin təsdiq olunmuş xüsusiyyətləri isə tamamilə başqa bir şeydir.

Sonrakı aylarda, onların fərziyyəsi haqqında tez-tez düşündüm və açıq danışmaq lazımdır ki, özümü yarı-yaralı olaraq bunun doğru olmadığına inandırılmışdım. Lakin təəccüblü olaraq, Harvardda o vaxtlar magistrant olan, indi isə Weizmann İnstitutunda və Duke Universitetində fakültə üzvü olan Ronen Plesser ilə əməkdaşlıq etdiyim və mənim üçün tamamilə əlaqəsiz olan bir tədqiqat layihəsi fikrimi tamamilə dəyişdirdi. Plesser və mən, başlanğıcda verilmiş bir Calabi-Yau formasından başlayıb onu riyazi üsullarla manipulyasiya edərək daha əvvəl bilinməyən yeni Calabi-Yau formaları yaratmaq metodlarını inkişaf etdirməkdə maraqlanmışdıq. Biz xüsusilə orbifoldinq adlı bir texnikaya maraq göstərirdik ki, bu texnika 1980-ci illərin ortalarında Dixon, Jeffrey Harvey (Çikaqo Universitetindən), Vafa və Witten tərəfindən irəlilədilmişdi. Ümumiyyətlə, bu, başlanğıc Calabi-Yau formasındakı müxtəlif nöqtələrin riyazi qaydalara əsasən birləşdirilərək yeni bir Calabi-Yau forması yaratması prosedurudur. Bu, Şəkil 10.4-də sxematik olaraq göstərilmişdir. Şəkil 10.4-də göstərilən manipulyasiyaların arxasında duran riyaziyyat mürəkkəbdir və buna görə də sim nəzəriyyəçiləri bu proseduru yalnız ən sadə formalara — Şəkil 9.1-də göstərilən doqquz nöqtəli formalara tətbiq etməyi ətraflı şəkildə araşdırmışdılar. Lakin Plesser və mən, o zamanlar Princeton Universitetindən Doron

Gepnerin bəzi gözəl yeni fikirlərinin orbifolding texnikasını tam şəkildə Calabi-Yau formalarına, məsələn, Şəkil 8.9-da göstərilən formaya tətbiq etmək üçün güclü bir nəzəri çərçivə verə biləcəyini başa düşdük. Bir neçə aylıq intensiv axtarışdan sonra biz təəccüblü bir nəticəyə gəldik. Əgər biz nöqtə qruplarını düzgün şəkildə birləşdirsəydik, yaratdığımız yeni Calabi-Yau forması əvvəlkindən təəccüblü bir şəkildə fərqlənirdi: Yeni Calabi-Yau formasındakı tək ölçülü dəşiklərin sayı, əvvəlkindəki cüt ölçülü dəşiklərin sayına bərabər idi və əksinə. Xüsusilə bu, hər iki formasının da dəşiklərinin ümumi sayının — və buna görə də partlayış ailələrinin sayının — eyni olduğunu göstərir, baxmayaraq ki, cüt-tək mübadiləsi onların formalrı və əsas riyazi strukturlarının olduqca fərqli olmasına səbəb olur.

Dixon-Lerche-Vafa-Warner fərziyyəsi ilə əldə etdiyimiz görünən əlaqədən həyəcanlanan Plesser və mən, əsas sualı daha da irəlilədik: Partikullardan ibarət ailələrin sayından başqa, iki fərqli Calabi-Yau məkanı qalan fiziki xüsusiyyətlərində razılaşırmı? Bir neçə ay davam edən detallı və çətin riyazi analizdən sonra, bu müddət ərzində Graham Rossdan, Oksforddakı dissertasiya müşavirəmdən və həmçinin Vafadan qiymətli ilham və dəstək aldıqdan sonra, Plesser və mən çox aydın şəkildə mübahisə edə bildik ki, cavab mütləq bəli. Cüt-tək mübadiləsinə aid riyazi səbəblərdən dolayı, Plesser və mən fiziki baxımdan eyni, amma geometriya baxımından fərqli olan Calabi-Yau məkanlarını təsvir etmək üçün "mirror manifolds" (güzgü çoxluqları) termini yaratdıq. Bir mirror cütündən olan fərqi məkanlar, gündəlik istifadə mənasında bir-birinin tam güzgü şəkli deyillər. Amma onlar fərqli geometriya xüsusiyyətlərinə malik olsa da, sim nəzəriyyəsində əlavə ölçülər üçün istifadə edildikdə eyni fiziki kainatı yaradırlar.

Bu nəticəni tapdıqdan sonrakı həftələr olduqca həyəcanlı keçdi. Plesser və mən bilirdik ki, biz sim fizikasında vacib bir yeni nəticənin üzərində otururuq. Biz göstərdik ki, Eynşteyn tərəfindən başlanğıcda qurulan geometriya ilə fizika arasındakı sıx əlaqə, sim nəzəriyyəsi ilə əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmişdir: Ümumiyyətlə, ümumi nisbilik nəzəriyyəsində fərqli fiziki xüsusiyyətlərə səbəb olacaq çox fərqli geometriya formalı məkanlar, sim nəzəriyyəsində eyni fizika yaradır. Amma ya bir səhv etdik? Ya onların fiziki nəticələri bizə məlum olmayan incə bir şəkildə fərqlənirdi? Məsələn, nəticələrimizi Yauya göstərdikdə, o, nəzakətlə amma qətiyyətlə iddia etdi ki, biz mütləq bir səhv etmişik; o, riyazi baxımdan nəticələrimizin çox həddindən artıq olduğunu və doğru olmasının mümkün olmadığını bildirdi. Onun qiymətləndirməsi bizi bir xeyli düşündürdü. Kiçik və ya müsbət bir iddiada səhv etmək, çox az diqqət çəkən bir şey olsa da, başqa şeydir. Lakin bizim nəticəmiz gözlənilməz bir addım atırdı ki, bu da mütləq güclü bir reaksiya doğuracaqdı. Əgər səhvdirsə, hamı bunu biləcəkdə.

Nəhayət, çoxlu yoxlama və yenidən yoxlama etdikdən sonra, əminliyimiz artdı və məqaləmizi dərc üçün göndərdik. Bir neçə gün sonra, mən Harvarddakı ofisimdə oturarkən telefon zəng çaldı. Bu, Texas Universitetindən Philip Candelas idi və dərhal mənə oturub-oturmadığımı soruşdu. Mən də oturdum. Sonra, o mənə dedi ki, o və iki tələbəsi, Monika Lynker və Rolf Schimmrigk, məni oturduğum yerdən qaldıracaq bir şey tapıblar. Onlar kompüter vasitəsilə yaratdıqları böyük Calabi-Yau məkanları nümunə dəstəsini diqqətlə araşdırarkən, demək olar ki, hamısının cütlər halında olduğunu və bu cütlərin tam olaraq tək və cüt sayda dəşiklərin mübadiləsi ilə fərqləndiyini aşkar etdilər. Mən ona dedim ki, hələ də otururam – Plessner və mən eyni nəticəni tapmışıq. Candelas və bizim işimiz tamamlayıcı oldu; biz bir addım daha irəlilədik və göstərdik ki, mirror cütündə yaranan bütün fizika eynidir, halbuki Candelas və tələbələri daha böyük bir Calabi-Yau formalarının mirror cütlərinə daxil olduğunu göstərdilər. Hər iki məqalə vasitəsilə, biz sim nəzəriyyəsinin mirror simmetriyasını kəşf etdik.

Güzgü simmetriyasının fizika və riyaziyyatına dair

Eynşteynin məkanın coğrafiyası ilə müşahidə edilən fizika arasındakı sərt və unikal əlaqənin zəifləməsi, sim nəzəriyyəsinin ən diqqətəlayiq paradigma dəyişikliklərindən biridir. Lakin bu inkişaf yalnız fəlsəfi yanaşmanın dəyişməsindən daha çoxunu əhatə edir. Xüsusilə, mirror simmetriya həm sim nəzəriyyəsinin fizikasını, həm də Calabi-Yau məkanlarının riyaziyyatını anlamaq üçün güclü bir alət təqdim edir. "Algebraik coğrafiya" adlı sahədə işləyən riyaziyyatçılar, sim nəzəriyyəsi kəşf edilməzdən çox əvvəl, sadəcə riyazi səbəblərlə Calabi-Yau məkanlarını öyrənirdilər. Onlar bu coğrafi məkanların bir çox detal xüsusiyyətlərini, gələcək fiziki tətbiq haqqında heç bir fikir olmadan işləyib hazırlamışdılar. Lakin, bəzi Calabi-Yau məkanlarının aspektləri riyaziyyatçılar üçün çətin olmuşdu — faktiki olaraq, onları tam olaraq açmaq mümkün olmamışdı. Lakin sim nəzəriyyəsində mirror simmetriyasının kəşfi bunu əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirdi. Əslində, mirror simmetriya, əvvəlcə tamamilə əlaqəsiz olduğu düşünülmən bəzi Calabi-Yau məkanlarının cütlərini, indi sim nəzəriyyəsi vasitəsilə sıx əlaqələndirdiyini bildirir. Hər biri, əgər əlavə qatlanmış ölçülərdən biri seçilərsə, ümumi fiziki aləmi təsvir edir. Bu əvvəllər gözlənilməyən qarşılıqlı əlaqə, fizika və riyaziyyat sahələrində yeni bir güclü alət təqdim edir.

Məsələn, təsəvvür edin ki, əlavə ölçülər üçün bir mümkün Calabi-Yau seçimi ilə əlaqəli fiziki xüsusiyyətləri — hissəciklərin kütlələri və qüvvə yüklerini — hesablayırsınız. Siz, nəticələrinizi təcrübə ilə uyğunlaşdırmaqla xüsusi maraqlanmırsınız, çünki gördüyümüz

kimi, bir çox nəzəri və texnoloji maneələr bu cür uyğunlaşmanı indiki vaxtda həyata keçirməyi olduqca çətinləşdirir. Bunun yerinə, müəyyən bir Calabi-Yau məkanının seçilməsi halında dünya necə görünərdi sualına dair bir düşüncə təcrübəsi üzərində işləyirsiniz. Bir müddət hər şey yaxşı gedir, amma sonra işinizin ortasında qarşılaşılmaz bir çətinlikdə olan bir riyazi hesablamaya rast gəlirsiniz. Heç kim, hətta dünyanın ən peşəkar riyaziyyatçıları belə, necə davam edəcəyinizi anlaya bilmir. Siz blokadasınız. Amma sonra anlayırsınız ki, bu Calabi-Yau-nun bir mirror tərəfdaşı var. Hər bir mirror cütünün əlaqəli sim fizikasının eyni olduğunu bildiyiniz üçün, hər ikisindən istifadə edərək hesablamalarınızı etməyə azadsınız. Beləliklə, çətin hesablamanı orijinal Calabi-Yau məkanı üzərində deyil, onun mirror üzərində aparmaqla təkrarlayırsınız və əmin olursunuz ki, nəticə — fizika — eyni olacaq. İlk baxışda düşünə bilərsiniz ki, hesablamanın təkrarlanmış versiyası orijinalından nə qədər çətin olacaq. Amma burada sizi gözləyən xoş və güclü bir sürpriz var: Aydın olur ki, nəticə eyni olsa da, hesablamanın detallı forması çox fərqlidir və bəzi hallarda, başlanğıcda qarşılaşdığınız çox çətin hesablamalar, mirror Calabi-Yau məkanında son dərəcə asan bir hesablama ilə nəticələnir. Bunun niyə belə olduğunu sadə bir şəkildə izah etmək mümkün olmasa da, — ən azı bəzi hesablamalar üçün — bu, mütləq belədir və çətinliyin azalması olduqca dramatik ola bilər. Nəticə isə açıqdır: Artıq blokadasda deyilsiniz.

Birinin sizdən 50 fut tərəfində və 10 fut dərinliyində olan, içində portağalların qarışıq şəkildə yığıldığı nəhəng bir qutuda tam olaraq neçə portaqaal olduğunu saymağınızı istədiyini düşünün. Bir-bir saymağa başladığınız zaman, tezliklə bu işin çox yorucu olduğunu dərk edirsiniz. Ancaq şanslısınız ki, bir dostunuz gəlib, o, portaqaalların gətirildiyi vaxt orada olub. O, sizə deyir ki, portaqaallar kiçik qutularda nizamlı şəkildə gətirilib (biri də onun əlindədir) və bu qutular 20 qutu uzunluğunda, 20 qutu dərinliyində və 20 qutu yüksəkliyində yığılmışdır. Tezliklə hesablayırsınız ki, onlar 8,000 qutuda gətirilib və indi yalnız hər bir qutuda neçə portaqaal olduğunu tapmaq lazımdır. Bu da asanlıqla edilir: dostunuzun qutusunu alıb onu portaqaallarla doldurmaqla, böyük sayma işinizi demək olar ki, heç bir zəhmət çəkmədən bitirirsiniz. Əslində, hesablamanı ağıllıca yenidən təşkil edərək onu daha asan şəkildə yerinə yetirmək mümkün oldu.

Sim nəzəriyyəsidəki müxtəlif hesablamalarla vəziyyət oxşardır. Bir Calabi-Yau məkanından baxıldığında, bir hesablamada çox sayda çətin riyazi addımlar ola bilər. Ancaq hesablamanı onun mirroruna çevirdikdə, hesablamanı çox daha səmərəli şəkildə təşkil etmiş olursunuz və nisbətən asanlıqla tamamlanmasını təmin edirsiniz. Bu nöqtə Plesser və mənim tərəfimizdən irəli sürüldü və Candelas və onun iş yoldaşları Xenia de la Ossa və Linda Parkes (Texas Universiteti) və Paul Green (Merilend Universiteti) tərəfindən sonrakı işlərdə möhtəşəm şəkildə həyata keçirildi. Onlar göstərdilər ki, demək olar ki, təsəvvür

edilə bilməyəcək çətinlikdə olan hesablamalar mirror baxış bucağından istifadə edərək sadəcə bir neçə səhifə cəbr və masaüstü kompüterlə yerinə yetirilə bilər. Bu, riyaziyyatçılar üçün xüsusilə həyəcanverici bir inkişaf idi, çünki bu hesablamaların bir çoxu məhz onlar üçün illərlə çətin olmuşdu. Sim nəzəriyyəsi — fizikaçılar belə iddia edirlər — onları həll etməkdə onları qabaqlamışdı. İndi nəzərə almalı olduğunuz bir şey var ki, riyaziyyatçılar və fizikaçılar arasında sağlam və ümumiyyətlə yaxşı niyyətli bir rəqabət mövcuddur. Və beləliklə, iki norveçli riyaziyyatçı — Geir Ellingsrud və Stein Arilde Strømme — Candelas və onun iş yoldaşlarının mirror simmetriyası ilə uğurla həll etdikləri bir çox hesablamalardan birinin üzərində işləyirdilər. Təxminən desək, bu, xüsusi bir Calabi-Yau məkanına "yığılmış" sferaların sayını hesablamağa bənzəyirdi, hansı ki, bizim portağalların böyük qutuda sayılması analoqumuzla oxşardır. 1991-ci ildə Berkleydə fizikaçılar və riyaziyyatçılar arasında keçirilən bir yığıncaqda, Candelas öz qrupu tərəfindən sim nəzəriyyəsi və mirror simmetriyası istifadə edilərək əldə edilən nəticəni elan etdi: 317,206,375. Ellingsrud və Strømme isə çox çətin olan riyazi hesablamalarının nəticəsini açıqladılar: 2,682,549,425. Bir neçə gün ərzində riyaziyyatçılar və fizikaçılar arasında mübahisələr gedirdi: Hansı nəticə doğrudur? Bu sual, sim nəzəriyyəsinin kəmiyyət etibarlılığının həqiqi bir testinə çevrildi. Bəzi insanlar hətta şərh etdilər — bir az zarafatla — ki, bu test, sim nəzəriyyəsinə eksperimentlə müqayisə etməklə yanaşı ən yaxşı şey idi. Üstəlik, Candelas'ın nəticələri Ellingsrud və Strømme'nin hesabladığı tək bir rəqəmi çox ötürək daha da irəliləmişdi. O və onun əməkdaşları çox daha çətin olan bir çox başqa sual da cavablandırdıklarını iddia edirdilər — hətta o qədər çətin ki, heç bir riyaziyyatçı onları həll etməyə belə cəhd etməmişdi. Ancaq sim nəzəriyyəsi nəticələrinə etibar edilə bilərdimi? Yığıncaq riyaziyyatçılar və fizikaçılar arasında çox faydalı mübadilə ilə bitdi, amma uyğunsuzluğun həlli tapılmadı.

Bir ay sonra, Berkleydəki yığıncaqda iştirak edənlər arasında mövzu başlığı ilə "Fizika Qalibdir!" adlı bir e-poçt mesajı geniş şəkildə yayımlandı. Ellingsrud və Strømme kompüter kodlarında bir səhv tapmışdılar və düzəliş edildikdə, Candelas'ın nəticəsini təsdiqlədilər. O vaxtdan bəri, sim nəzəriyyəsinin mirror simmetriyasının kəmiyyət etibarlılığına dair bir çox riyazi yoxlamalar aparıldı və hamısı müvəffəqiyyətlə keçdi. Hətta daha yaxın zamanlarda, fizikaçılar mirror simmetriyasını kəşf etdikdən demək olar ki, on il sonra, riyaziyyatçılar onun daxili riyazi əsaslarını açmaqda böyük irəliləyişlər əldə etdilər. Riyaziyyatçılar Maxim Kontsevich, Yuri Manin, Gang Tian, Jun Li və Alexander Giventalın böyük töhfələrindən istifadə edərək, Yau və onun əməkdaşları Bong Lian və Kefeng Liu, nəhayət ki, Calabi-Yau məkanlarındakı sferaların sayını hesablamaq üçün istifadə olunan formulların riyazi sübutunu tapdılar və beləliklə, riyaziyyatçılara yüz illərlə başağrısı olan məsələləri həll etdilər.

Bu uğurun ətrafındakı xüsusi məsələlərdən kənar olaraq, bu inkişaf, fizikanın müasir riyaziyyatda oynamağa başladığı rolu vurğulamaqdadır. Uzun müddətdir ki, fizikaçılar riyazi arxivlərdən fiziki dünyanı təsvir və analiz etmək üçün vasitələr axtarmaqda idilər. İndi isə sim nəzəriyyəsinin kəşfi ilə fizika, öz borcunu ödəyərək riyaziyyatçılara həll edilməmiş məsələlərə yeni güclü yanaşmalar təqdim etməyə başlayır. Sim nəzəriyyəsi yalnız fizika üçün birləşdirici bir çərçivə təqdim etmir, həm də riyaziyyatla eyni dərəcədə dərin bir əlaqə qurma potensialına malikdir.

11-ci Bölüm: Məkanın Parçalanması

Əgər bir kauçuk membranı davamlı şəkildə gərsəniz, nəhayət o, cırılacaq. Bu sadə fakt illər boyu bir çox fiziki ilhamlandırmış və onları düşünməyə vadar etmişdir: bəs kainatı təşkil edən məkanın strukturu da eyni şəkildə cırılabilərmə? Yəni, məkanın strukturu parçalanarmı, yoxsa bu, yalnız kauçuk membranı müqayisəsini çox ciddi qəbul etməyin yanlış bir nəticəsidir? Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsi isə buna "xeyr" deyir, məkanın strukturu parçalanmaz. Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin tənlikləri Riemann cığır geometrisinə əsaslanır və əvvəlki fəsildə qeyd etdiyimiz kimi, bu çərçivə məkanın yaxın nöqtələr arasındakı məsafə əlaqələrindəki deformasiya və dəyişiklikləri analiz edir. Bu məsafə əlaqələri barədə mənalı danışmaq üçün əsaslandırılmış riyazi formalizm, məkanın alt quruluşunun hamar olmasını tələb edir — bu, riyazi mənada texniki bir anlam daşır, amma gündəlik istifadə ilə əsasən bu mənanı ifadə edir: heç bir qırış, heç bir dəşik, ayrı-ayrı parçalar "yapışdırılmamış", və heç bir yırtıq yoxdur. Əgər məkanın strukturu belə qeyri-adi dəyişikliklərə uğrasa, ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin tənlikləri işləməz hala gələcək, bu isə kainatımızın qarşısını aldığı bəzi böyük kosmik fəlakətlərin baş verməsinə səbəb olacaqdır.

Bu, illər boyu yaradıcı nəzəriyyəçilərin Eynşteynin klassik nəzəriyyəsinə aşan və kvant fizikasını daxil edən yeni bir fizika formüləsinin məkanın strukturlarının cırılması, yırtılması və birləşmələrinin mümkün ola biləcəyini araşdırmalarını maneə törətmədi. Əslində, kvant fizikasının qısa məsafələrdə baş verən şiddətli dalğalanmalarla nəticələnməsi anlayışı bəzi nəzəriyyəçiləri məkanın strukturlarının yırtıq və parçalanmalarının çox yayılmış mikroskopik xüsusiyyətlər ola biləcəyinə inandırdı. Qurd dəşikləri (hansı ki, Star Trek: Deep Space Nine pərəstişkarlarının yaxşı tanıdığı bir anlayış) belə düşüncələrdən faydalanır. Fikir sadədir: Təsəvvür edin ki, siz böyük bir korporasiyanın CEO-susunuz və mərkəzi ofisiniz New York şəhərinin Dünya Ticarət Mərkəzinin bir qülləsinin doxsanıncı mərtəbəsində yerləşir. Korporativ tarixdən

qaynaqlanan təsadüflər nəticəsində, şirkətinizin daha çox əlaqə qurmaq lazım olan bir şöbəsi digər qüllənin doxsanıncı mərtəbəsində yerləşir. Hər iki ofisi köçürmək qeyri-praktik olduğu üçün, təbii bir təklif irəli sürürsünüz: Bir ofisdən digərinə körpü tikin, bu iki qülləni birləşdirin. Beləliklə, işçilər ofislər arasında sərbəst hərəkət edə bilər və doxsan mərtəbə enib qalxmağa ehtiyac qalmır. Qurd dəlikləri bənzər bir rol oynayır: Bu, kainatın bir bölgəsindən digərinə qısa yol təmin edən körpü və ya tuneldir. İki ölçülü bir model istifadə edərək, təsəvvür edin ki, bir kainat aşağıdakı şəkildə formalaşır: Əgər şirkətinizin mərkəzi ofisi Şəkil 11.1(a)-da aşağıdakı dairəyə yaxın bir yerdə yerləşirsə, sahə ofisinə, yuxarıdakı dairəyə yaxın olan yerdə yerləşən ofisə, yalnız bütöv bir U şəklindəki yol boyunca getməklə çata bilərsiniz, bu da sizi kainatın bir ucundan digərinə aparır. Ancaq əgər məkanın strukturu yırtıla bilərsə, 11.1(b)-də göstərildiyi kimi yırtıq və zədələr inkişaf edərsə, və bu zədələr 11.1(c)-də olduğu kimi tentakullar inkişaf etdirərək birləşə bilərsə, bu zaman əvvəlki uzaq bölgələri birləşdirən bir məkan körpüsü yaranar. Bu, bir qurd dəliyidir. Qurd dəliyi, Dünya Ticarət Mərkəzi körpüsünə bənzəyir, lakin burada bir əsas fərq var: Dünya Ticarət Mərkəzi körpüsü mövcud məkanın bir bölgəsindən keçərdi — iki qüllə arasındakı məkandan. Əksinə, qurd dəliyi yeni bir məkan sahəsi yaradır, çünki Şəkil 11.1(a)-dakı əyri iki ölçülü məkan yalnız var olan məkandır (iki ölçülü analoqumuzun çərçivəsində). Membranı xaricindəki bölgələr sadəcə olaraq təsvirin qeyri-kafiliyini əks etdirir, bu təsvir U formasında kainatı sanki daha yüksək ölçülü kainatımızda bir obyekt olaraq göstərir. Qurd dəliyi yeni məkan yaradır və buna görə də yeni məkan ərazilərini kəşf edir. Qurd dəlikləri kainatda mövcuddurmu? Heç kəs bilmir. Əgər mövcuddursa, onlar yalnız mikroskopik bir forma alacaq, yoxsa kainatın böyük bölgələrini əhatə edə biləcəklər (Deep Space Nine kimi)? Ancaq bunların həqiqət və ya uydurma olub-olmamasını qiymətləndirmək üçün əsas bir amil, məkanın strukturunun yırtılmasının mümkün olub-olmamasını müəyyən etməkdir. Qara dəliklər məkanın strukturunun sərhədlərinə qədər uzandığı başqa bir maraqlı nümunə təqdim edir. Şəkil 3.7-də gördük ki, qara dəliyin nəhəng cazibə sahəsi o qədər kəskin əyilməyə səbəb olur ki, məkanın strukturu qara dəliyin mərkəzində sıxılmış və ya zədələnmiş kimi görünür. Qurd dəliklərindən fərqli olaraq, qara dəliklərin mövcudluğu ilə bağlı güclü eksperimental sübutlar var, buna görə də onların mərkəzində baş verənlər elmin deyil, spekulasiyanın məsələsidir. Bir daha qeyd edək ki, belə ekstremal şəraitlərdə ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin tənlikləri pozulur. Bəzi fizikaçılar bunun həqiqətən də bir zədə olduğunu, amma bizlərin bu kosmik "singulyarlıqdan" qorunduğumuzu və bunun baş verməsinin qarşısını qara dəliyin hadisə ühüdü tərəfindən alındığını təklif etmişlər, çünki heç nə onun cazibə təsirindən qaça bilmir. Bu səbəbdən, Oksford Universitetinin Roger Penrose-u "kosmik senzura hipotezası" haqqında düşünərək belə kosmik qeyri-bərabərliklərin yalnız bizim görməyimizdən dərinləşdirilmiş hadisə ühüdünün arxasında gizlədildikdə baş verə biləcəyini irəli sürmüşdür. Digər tərəfdən, sim

nəzəriyyəsinin kəşf edilməsindən əvvəl, bəzi fizikaçılar belə düşünürdülər ki, kvant mexanikası ilə ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin düzgün birləşməsi göstərir ki, məkanın görünən zədəsi əslində kvant baxımından "düzəldilir" və ya "sabitləşdirilir".

Sim nəzəriyyəsinin kəşfi və kvant mexanikası ilə cazibə qüvvəsinin uyğun birləşməsi ilə biz nəhayət bu məsələləri öyrənmək üçün hazırıq. Hələlik, sim nəzəriyyəçiləri bu məsələləri tam olaraq cavablandırma bilməyiblər, lakin son bir neçə ildə buna yaxından əlaqəli məsələlər həll olunmuşdur. Bu fəsildə ilk dəfə olaraq sim nəzəriyyəsinin məkanın strukturunun yırtılmasının baş verə biləcəyi fiziki şəraitləri mütləq şəkildə göstərdiyini müzakirə edirik.

Cazibədar Bir Ehtimal

1987-ci ildə, Shing-Tung Yau və onun tələbəsi Gang Tian, indi Massachusetts Texnologiya İnstitutunda çalışan, maraqlı bir riyazi müşahidə etdilər. Onlar məşhur bir riyazi prosedurdan istifadə edərək, bəzi Calabi-Yau formalarının səthini dəşərək və sonra nəticədə yaranan dəliyi dəqiq bir riyazi naxışa görə tikişləyərək başqa formalarına çevrilə biləcəyini aşkar etdilər. Təxmini olaraq desək, onlar bir növ iki ölçülü kürə müəyyən etdilər—çimərlik topunun səthi kimi—ilk Calabi-Yau sahəsinin içində yerləşən (Şəkil 11.2). (Çimərlik topu, bütün tanış obyektlər kimi, üç ölçülü bir cismdir. Lakin burada biz yalnız onun səthindən bəhs edirik; topun hazırlandığı materialın qalınlığını və içərisindəki boşluğu nəzərə almırıq. Çimərlik topunun səthindəki nöqtələr, "enlik" və "boylam" kimi iki rəqəm verərək yerləşdirilə bilər, tam olaraq yerin səthindəki nöqtələri necə tapdığımız kimi. Buna görə də, çimərlik topunun səthi, əvvəlki fəsillərdə müzakirə etdiyimiz bağ hortumunun səthi kimi, iki ölçülüdür.) Sonra, onlar həmin kürəni bir nöqtəyə qədər kiçiltməyi düşündülər, bunu Şəkil 11.3-dəki şəkillərlə izah etdik. Bu şəkil və bu fəsildəki digər şəkillər, Calabi-Yau formasının ən uyğun "parçasına" diqqət yetirərək sadələşdirilmişdir, lakin ağılınızın arxasında bunları düşünməlisiniz ki, bu forma transformasiyaları, Şəkil 11.2-də olduğu kimi, bir qədər daha böyük bir Calabi-Yau sahəsi içində baş verir. Nəhayət, Tian və Yau, Calabi-Yau sahəsini bu "sıxılma" nöqtəsində bir qədər dəşməyi (Şəkil 11.3(a)), açmağı və sonra başqa bir çimərlik topu kimi formanı yapıdırmağı (Şəkil 11.3(b)), daha sonra onu şişirib gözəl və dolğun bir forma gətirməyi (Şəkil 11.3(c) və 11.3(d)) düşündülər.

Riyaziyyatçılar bu manipulyasiyalar ardıcılığını "flop-keçidi" adlandırırlar. Bu, sanki orijinal çimərlik topu forması, ümumi Calabi-Yau formasının daxilində yeni bir istiqamətə

"çevrilir". Yau, Tian və digər alimlər qeyd etdilər ki, bəzi hallarda, flop nəticəsində yaranan yeni Calabi-Yau forması (Şəkil 11.4(d)) topoloji cəhətdən ilkin Calabi-Yau formasından (Şəkil 11.3(a)) fərqlidir. Bu, elə bir şəkildə deyilməkdir ki, Şəkil 11.3(a)-dakı ilkin Calabi-Yau sahəsini, Şəkil 11.4(d)-də göstərilən son Calabi-Yau sahəsinə, heç bir şəkildə deformasiyaya uğratmadan keçirmək mümkün deyil, bu prosesin hər hansı bir mərhələsində Calabi-Yau sahəsinin parçasını cırmaq lazım gəlir.

Riyazi nöqteyi-nəzərdən, Yau və Tianın bu proseduru maraqlıdır, çünki bu, tanınmış Calabi-Yau formalarından yeni formalar yaratmağa imkan verir. Lakin onun əsas potensialı fizika sahəsindədir, burada bir cazibədar sual ortaya çıxır: Bu, yalnız abstrakt bir riyazi prosedur olmaqdan başqa, Şəkil 11.3(a)-dən Şəkil 11.4(d)-ə qədər olan ardıcılığın təbiətdə həqiqətən baş verə biləcəyini göstərir? Ola bilsin ki, Eynşteynin gözləntilərinə zidd olaraq, məkanın parçası cırılaraq və sonra təsvir edildiyi şəkildə təmir edilə bilərmə?

Gülgü Perspektivi

1987-ci il müşahidəsindən bir neçə il sonra, Yau, bəzən, bu flop keçidlərinin fiziki realizasiyasını düşünməyimi təşviq edirdi. Mən düşünmədim. Mənim üçün flop keçidləri yalnız abstrakt bir riyazi anlayış kimi görünürdü və sim nəzəriyyəsinin fizikasına heç bir əlaqəsi yox idi. Həqiqətən də, 10-cu Fəsildəki müzakirəyə əsaslanaraq, dairəvi ölçülərin minimum radiusu olduğu nəticəsinə gəldikdə, sim nəzəriyyəsinin Şəkil 11.3-dəki sferanın tamamilə büzülüb bir nöqtəyə çevrilməsinə icazə vermədiyini demək istəyə bilərsiniz. Lakin unutmamalıyıq ki, 10-cu Fəsildə də qeyd edildiyi kimi, əgər bir məkan parçası çökərsə—bu halda, Calabi-Yau formasının sferik bir parçası—tam bir məkan ölçüsünün çöküşündən fərqli olaraq, kiçik və böyük radiusları tanıdan argument birbaşa tətbiq oluna bilməz. Buna baxmayaraq, bu flop keçidlərini istisna etməyə yönələn ideya düzgün araşdırılmadığı halda belə, məkanın parçasının cırılma ehtimalı hələ də çox inandırıcı görünmürdü.

Amma sonra, 1991-ci ildə Norveçli fizik Andi Lütken və Paul Aspinwall, mənim Oksforddakı magistratura dostum və indi Duk Universitetinin professoru, çox maraqlı bir sual verdilər: Əgər Calabi-Yau kosmosumuzun məkan parçası bir məkan-cırılma flop keçidi keçirsə, bu, gülgü Calabi-Yau formasının perspektivindən necə görünərdi? Bu sualın motivasiyasını başa düşmək üçün, xatırlamalısınız ki, əgər seçilən əlavə ölçülər üçün Calabi-Yau formalarından birinin fizikasını çıxarmaq istəyirsinizsə, hər iki üzvün ortaya çıxardığı fizika eynidir, lakin fiziklərin istifadə etməli olduğu riyazi mürəkkəblilər fərqli ola bilər. Aspinwall və Lütken, Şəkil 11.3 və 11.4-dəki riyazi baxımdan mürəkkəb olan flop

keçidinin güzgü perspektivində çox daha sadə bir təsvirə sahib ola biləcəyini—və buna uyğun fizikanın daha aydın bir şəkildə görünə biləcəyini irəli sürdülər.

O dövrdə, onların işləri zamanı, güzgü simmetriyası o dərəcədə dərinə düşülmürdü ki, onlar tərəfindən verilən sualı cavablandırmaq mümkün olsun. Ancaq Aspinwall və Lütken qeyd etdilər ki, güzgü təsvirində, flop keçidləri ilə əlaqəli məkan cırılmalarına dair heç bir fəlakətli fiziki nəticə göstərən bir şey görünmür. Eyni zamanda, Plesser və mənə Calabi-Yau formalarının güzgü cütlərini tapmağımız (10-cu Fəsilə baxın) bizi gözlənilmədən flop keçidləri barədə düşünməyə yönəltdi. Yaxşı məlum olan riyazi bir həqiqətə görə, Şəkil 10.4-də olduğu kimi müxtəlif nöqtələrin birləşdirilməsi—güzgü cütlərini qurmaq üçün istifadə etdiyimiz prosedur—Şəkil 11.3 və 11.4-dəki büzülmə və delik ilə eyni geometrik vəziyyətləri yaradır. Fiziki olaraq, Plesser və mən heç bir əlaqəli fəlakət tapa bilmədik. Bundan əlavə, Aspinwall və Lütkenin müşahidələrindən (həmçinin onların Graham Ross ilə əvvəlki məqaləsindən) ilhamlanaraq, Plesser və mən matematik olaraq büzülməni iki fərqli şəkildə təmir edə biləcəyimizi başa düşdük. Bir yol Şəkil 11.3(a)-dəki Calabi-Yau formasına, digər yol isə Şəkil 11.4(d)-dəki formaya aparırdı. Bu, bizə göstərdi ki, Şəkil 11.3(a)-dən Şəkil 11.4(d)-yə qədər olan inkişaf təbiətdə həqiqətən baş verə bilərdi.

Beləliklə, 1991-ci ilin sonlarına doğru, ən azı bir neçə sim nəzəriyyəçisi məkanın parçalanması ehtimalı haqqında güclü hisslərə sahib idi. Lakin heç kim bu təsirli ehtimalı qəti şəkildə təsdiqləmək və ya rədd etmək üçün texniki imkana malik deyildi.

İrəliləyərək

1992-ci ilin əvvəllərində Plesser və mən məkanın cırılma (space-tearing) flop keçidlərini həyata keçirməsi barədə sübut tapmağa çalışdıq. Hesablamalarımız bəzi dəstək verən dolaylı sübutlar verdisə də, qəti sübut tapmadıq. Bir müddət sonra, Plesser, Princeton Universitetindəki İleri Tədqiqatlar İnstitutuna təqdimat vermək üçün ziyarət etdi və şəxsi olaraq Wittenə bizim son zamanlarda məkanın cırılma flop keçidlərinin riyaziyyatını fizika ilə əlaqələndirməyə çalışdığımız barədə məlumat verdi. Fikir və ideyalarımızı özetləndikdən sonra, Plesser, Wittenin cavabını gözlədi. Witten lövhədən dönüb ofisinin pəncərəsindən xaricə baxdı. Bir dəqiqə, bəlkə də iki dəqiqə sonra, geri dönüb Plessere dedi ki, "əgər ideyalarımız işləyirsə, bu möhtəşəm olar." Bu, bizim cəhdlərimizi yenidən canlandırdı. Ancaq bir müddət sonra, irəliləyişimiz ləngiyərkən, hər birimiz digər sim nəzəriyyəsi layihələrində işləməyə başladıq. Yenə də, məkanın cırılma flop keçidləri

ehtimalını düşünməyə davam etdim. Aylar keçdikcə, onların sim nəzəriyyəsinin ayrılmaz bir hissəsi olması lazım olduğu barədə getdikcə daha çox əmin oldum. Plesser və mənim etdiyimiz ilkin hesablamalar, Duke Universitetinin riyaziyyatçısı David Morrison ilə olan anlayışlı müzakirələr, bunun güzgü simmetriyası tərəfindən təbii olaraq dəstəklənən tək nəticə olduğunu göstərirdi. Əslində, Duke ziyarətində, Morrison və mən, həmçinin Duke-də o zaman ziyarət edən Oklahoma Dövlət Universitetinin Sheldon Katz tərəfindən verilən köməkçi müşahidələr ilə, flop keçidlərinin sim nəzəriyyəsində baş verə biləcəyini sübut etmək üçün bir strategiya müəyyən etdik. Lakin lazımlı hesablamaları etməyə başladığımızda, onların inanılmaz dərəcədə intensiv olduğunu gördük. Dünyanın ən sürətli kompüterində belə, tamamlanması bir əsrdən çox vaxt alacaqdı. Biz irəliləyiş əldə etmişdik, amma açıq-aşkar yeni bir ideyaya ehtiyacımız vardı ki, bu da hesablamalarımızın effektivliyini böyük ölçüdə artırardı. Fərsiz şəkildə, Essen Universitetindən olan riyaziyyatçı Viktor Batyrev 1992-ci ilin yaz və yayında yayımladığı bir neçə məqalə ilə belə bir ideyanı təqdim etdi. Batyrev, xüsusən də Candelas və onun əməkdaşlarının güzgü simmetriyası vasitəsilə 10-cu fəsilin sonunda qeyd olunan sferaların sayılması problemini həll etməkdəki uğurunun ardınca, güzgü simmetriyasına çox maraqlanmışdı.

Riyazi Perspektivindən

Batyrev, lakin, Plesser və mənim Calabi-Yau məkanlarının güzgü cütlərini tapmaq üçün istifadə etdiyimiz metodlardan narahat oldu. Bizim yanaşmamız, sim nəzəriyyəsi alimləri tərəfindən tanış olan alətlərdən istifadə etsə də, Batyrev sonra mənə dedi ki, bizim məqaləmiz ona "qara sehr" kimi görünürdü. Bu, fizika və riyaziyyat sahələri arasındakı böyük mədəni fərqi əks etdirir və sim nəzəriyyəsi bu sərhədləri bulanıq edərkən, hər iki sahənin dili, metodları və üslublarındakı geniş fərqlər getdikcə daha çox görünür. Fiziklər daha çox qabaqcıl bəstəkarlar kimidirlər, ənənəvi qaydaları əyməyə və həllər axtararkən qəbul edilmənin sərhədini sərhədləməyə hazırdırlar. Riyaziyyatçılar isə daha çox klassik bəstəkarlar kimidir, adətən daha dar bir çərçivədə işləyir, bütün əvvəlki addımlar düzgün şəkildə qurulmadan növbəti addıma keçməyə tərəddüd edirlər. Hər yanaşmanın öz üstünlükləri və çatışmazlıqları var; hər biri yaradıcı kəşf üçün unikal bir çıxış təqdim edir. Müasir və klassik musiqi kimi, bir yanaşma doğrudur və digərinə səhv deyil—istifadə etdiyiniz metodlar əsasən zövq və təlim ilə bağlıdır.

Batyrev, güzgü manifoldlarının qurulmasını daha konvensional bir riyazi çərçivəyə yenidən formalaşdırmağa başladı və müvəffəq oldu. Tayvandan olan riyaziyyatçı Shi-Shyr Roanın əvvəlki işlərindən ilhamlanaraq, o, bir-birinə güzgü olan Calabi-Yau məkanlarının cütlərini istehsal etmək üçün sistematik bir riyazi prosedur tapdı. Onun quruluşu, Plesser və mənim nəzərdən keçirdiyimiz nümunələrdə tapdığımız prosedurla nəticələnir, amma daha ümumi bir çərçivə təqdim edir ki, bu da riyaziyyatçılara daha tanış bir şəkildə ifadə

edilir. Batyrev'in məqalələri, əksinə, əksər fizikaçılara əvvəllər heç rast gəlmədikləri riyaziyyat sahələrini təqdim edirdi. Məsələn, mən onun arqumentlərinin əsasını çıxara bilirdim, amma bir çox vacib təfərrüatları başa düşməkdə ciddi çətinlik çəkirdim. Lakin bir şey açıq idi: Əgər Batyrev'in məqaləsinin metodları düzgün başa düşülüb tətbiq edilsə, bu, məkan-tezliklə əlaqəli flop keçidləri məsələsinə yeni bir hücum yolu açma potensialına sahib ola bilərdi. Yaz aylarının sonunda, bu inkişaflardan ruhlanmış şəkildə, mən qərara aldım ki, floplardan yaranan problemi tam və diqqətsiz bir şəkildə yenidən araşdırmaq istəyirəm. Morrison'dan öyrəndim ki, o, Duke Universitetindən tətildə çıxacaq və İlk Təhsil Mərkəzində bir il keçirməyə qərar verib, Aspinwall'un da orada, postdoktoral tədqiqatçı olaraq olacağını bildim. Bir neçə telefon zəngi və e-mail göndərdikdən sonra, mən də Cornell Universitetindən tətildə olub 1992-ci ilin payızında İnstitutda vaxt keçirmək üçün planlar qurmağa başladım.

Strategiya Yaranır

Uzun saatlar boyunca intensiv konsentrasiya tələb edən işlər üçün daha ideal bir yer tapmaq çətin olardı ki, bu da "Advanced Study" İnstitutudur. 1930-cu ildə təsis olunmuş bu institut, Princeton Universitetinin kampusundan bir neçə mil məsafədə, sakit bir meşənin kənarında, yüngülcə dalğalanan çəmənliklər üzərində yerləşir. İnstitutda işlərinizə konsentrasiya olmaq çox asandır, çünki burada heç bir narahatlıq yoxdur. Almanıyanı 1933-cü ildə tərk edən Eynşteyn, İnstituta qoşuldu və həyatının sonuna qədər burada qaldı. Onun, bu sakit, təcrid olunmuş və demək olar ki, asketik mühitdə, birləşdirilmiş sahə nəzəriyyəsini düşündüyünü təsəvvür etmək çətin deyil. Dərin düşüncə mirası atmosferi doldurur, bu atmosfer isə şəxsi irəliləyişinizə bağlı olaraq, həm maraqlı, həm də boğucu ola bilər.

İnstituta gəldikdən qısa müddət sonra, Aspinwall və mən, Nassau küçəsində (Princeton şəhərinin əsas ticarət küçəsi) gedirdik və nahar üçün yer seçməyə çalışırdıq. Bu, asan iş deyildi, çünki Paul, mənim vegeterian olmam qədər ət sevən biri idi. Həyatımızla əlaqədar bir-birimizə məlumat verərkən, Paul mənə yeni mövzular üzərində işləmək barədə hər hansı bir ideyanın olub olmadığını soruşdu. Mən də dedim ki, var, və bu kainatın, əgər həqiqətən də simli nəzəriyyə ilə təsvir olunursa, kosmosun parçalanması və "flop" keçidləri keçirə biləcəyini sübut etməyin əhəmiyyətini izah etdim. Eyni zamanda, Batyrev'in işinin bizə itkin olan hissələri tamamlamamıza kömək edə biləcəyinə dair ümidimi də izah etdim. Mən düşündüm ki, artıq bu fikirləri qəbul etmişəm və Paul bu perspektivlə çox sevinəcək. Amma o, belə düşünmədi. Sonradan başa düşdüm ki, onun susqunluğu, bizim

uzunmüddətli və dostca intellektual mübahisələrimizin nəticəsidir; burada hər birimiz, digərin fikirlərinə "şeytanın vəkili" rolunda çıxış edirdik. Bir neçə gün ərzində isə Paul mənim fikirlərimi qəbul etdi və biz tam diqqətimizi "flop" keçidləri üzərində cəmlədik.

O vaxta qədər, Morrison da gəlmişdi və biz üçümüz İnstitutun çay otağında bir strategiya qurmaq üçün görüşdük. Razılaşıdıq ki, əsas məqsəd, 11.3(a) şəkilindən 11.4(d) şəkilinə qədər olan evriliyin bizim kainatımızda həqiqətən baş verə biləcəyini müəyyən etmək idi. Lakin bu suala birbaşa hücum etmək çox çətin idi, çünki bu evrilən tənliklər çox mürəkkəbdir, xüsusilə də məkan parçalanması baş verdikdə. Buna görə də, məsələni güzgü təsviri ilə yenidən formalaşdırmağa qərar verdik, ümid edirdik ki, bu halda tənliklər daha idarəolunan ola bilər. Bu, Şəkil 11.5-də sxematik olaraq göstərilir; burada yuxarı sətir 11.3(a) şəkilindən 11.4(d) şəkilinə qədər olan orijinal evrilməyi göstərir, aşağı sətir isə eyni evriliyi güzgü Calabi-Yau şəkilləri perspektivindən göstərir. Bizim bir neçə nəfər artıq başa düşmüşdü ki, güzgü təsvirində görünür ki, simli fizika tamamilə yaxşı davranır və heç bir fəlakətə rast gəlmir. Şəkil 11.5-də aşağı sətirdə heç bir sıxılma və ya parçalanma olmadığı görünür. Ancaq bu müşahidə bizə bu sualı doğurdu: Biz güzgü simmetriyası tətbiq oluna biləcəyindən artıq uzaqlaşdırırıqmı? Şəkil 11.5-in ən sol tərəfindəki yuxarı və aşağı Calabi-Yau şəkilləri eyni fizikanı versə də, bu doğrudurmu ki, hər bir addımda, sağ tərəfə doğru evrilərkən – ortadakı sıxılma-parçalanma-təmir mərhələsindən keçərkən – orijinal və güzgü perspektivinin fiziki xüsusiyyətləri həmişə eyni qalır?

Bizim güclü səbəblərimiz var idi ki, yuxarıdakı Calabi-Yau formasının parçalanmasına doğru gedən şəkil irəliləməsi üçün güclü güzgü əlaqəsinin doğru olduğunu düşünürdük, lakin biz başa düşdük ki, heç kim bilmir ki, yuxarı və aşağı Calabi-Yau formaları şəkil 11.5-dəki parçalanma baş verdikdən sonra hələ də güzgü olurlar mı. Bu, mühüm bir sualdır, çünki əgər olurlarsa, güzgü perspektivində fəlakətin olmaması orijinalda da olmaması deməkdir və bu da simli nəzəriyyədə məkanın parçalanması ilə bağlı sübutu ortaya qoyar. Biz başa düşdük ki, bu sual bir hesablama ilə sadələşdirilə bilər: Parçalanmadan sonra yuxarı Calabi-Yau formasının (məsələn, şəkil 11.5-in yuxarı-sağdakı Calabi-Yau forması) və onun güzgüsünün (şəkil 11.5-in aşağı-sağdakı Calabi-Yau forması) fiziki xüsusiyyətlərini çıxarın və onların eyni olub olmadığını yoxlayın. İndi biz Aspinwall, Morrison və mən 1992-ci ilin payızında özümüzü məhz bu hesablama üzərində işləməyə həsr etdik.

Eynşteynin Son Ayaq Açdığı Yerdə Gecələr

Edvard Vittenin iti və kəskin zəkası, çox vaxt yumşaq və sakit danışiq tərzilə müşayiət olunur, bəzən bu danışiqda incə bir ironiya da hiss olunur. O, dünyanın ən görkəmli

fiziklərindən biri, bir çoxları üçün isə birbaşa Albert Eynşteynin varisi sayılır. Bəziləri isə daha da irəli gedərək, onu bütün dövrlərin ən böyük fiziki adlandırırlar. Vitten ən müasir və mürəkkəb fizika problemlərinə qarşı böyük maraq göstərir və xüsusilə **sim nəzəriyyəsi** (sətrlər nəzəriyyəsi) sahəsində elmi istiqamətləri müəyyən etməkdə böyük nüfuza malikdir. Vittenin elmi fəaliyyəti həm dərinliyi, həm də genişliyi baxımından əfsanəvidir. Onun həyat yoldaşı, özü də həmin İnstitutda çalışan fizik Çiara Nappi, Vittenin mətbəx masasının arxasında sakitcə əyləşib sim nəzəriyyəsinin sərhədlərini ağılında yoxlamasını belə təsvir edir: O, yalnız bəzən qələm və kağıza əl ataraq konkret bir detalları yoxlayırdı. Başqa bir maraqlı hekayəni isə yayda Vittenlə qonşu otaqda çalışan bir postdoktorant danışır. O, uzun saatlar boyu çətin və yorucu hesablamalarla məşğul olduğu halda, Vittenin klaviaturasında fasiləsiz yazı səslərinin eşidilməsini və sanki onun fikirləri birbaşa beynindən kompüter faylına çevrilərək yeni və əhəmiyyətli məqalələrə çevrilməsini qərribə bir hiss kimi xatırlayır.

Mən İnstituta gələndən bir həftə sonra, Vittenlə həyatında söhbət edirdik və o, mənim tədqiqat planlarımı soruşdu. Mən ona “məkan-parçalayan çevrilmələr” (space-tearing flops) haqqında planlarımızı danışdım. Vitten bu ideyalardan çox təsirləndi, lakin xəbərdarlıq etdi ki, bu hesablamalar son dərəcə çətin ola bilər. O, həmçinin, illər əvvəl Vafa və Varnerlə birgə apardığım bir işdəki zəif məqamı xatırladaraq, strategiyamızda mümkün bir boşluq ola biləcəyini qeyd etdi. Bu məsələ bizim əsas yanaşmamıza birbaşa aid olmasa da, Vittenin bu barədə düşünməsi onu nəhayət bu problemə bağlı və tamamlayıcı mövzular üzərində işləməyə yönəltdi.

Aspinwall, Morrison və mən hesablamamızı iki hissəyə bölməyə qərar verdik.

Əvvəlcə təbii görünən yanaşma bu ola bilərdi: əvvəlcə 11.5-ci Şəklin yuxarı sırasındakı son **Calabi-Yau** formasına aid fizikani çıxarmaq, sonra isə eyni işi aşağı sıradakı son Calabi-Yau forması üçün təkrarlamaq. Əgər yuxarıdakı Calabi-Yau-da baş verən “parçalanma” (tear) **güzgü münasibətini** (mirror symmetry) pozmursa, onda bu iki son Calabi-Yau forması eyni fizikanı verməlidir – necə ki, onlardan əvvəlki ilkin Calabi-Yau formaları da eyni fiziki nəticələrə gətirib çıxarırdı. (Problemi bu cür ifadə etməklə, parçalanma anında çox çətin olan hesablamalardan yayınmış oluruq.)

Ancaq məlum oldu ki, 11.5-ci Şəklin **yuxarı sırasındakı son Calabi-Yau formasına** aid fizikanı hesablamaq əslində o qədər də çətin deyil. Əsas çətinlik isə **aşağı sıradakı son Calabi-Yau formasının dəqiq formasını** müəyyənləşdirməkdədir — bu forma,

yuxarıdakı Calabi-Yau-nun **güzgü nüsxəsi** hesab olunur — və daha sonra bu formadan fiziki nəticələri çıxarmaqdır. Aşağı sıradakı bu son Calabi-Yau formasından fiziki xassələri çıxarmaq üçün bir üsul **bir neçə il əvvəl Candelas tərəfindən hazırlanmışdı**. Amma bu yanaşma olduqca **hesablama baxımından ağır** idi və biz başa düşdük ki, onu konkret nümunəmizdə tətbiq etmək üçün **ağıllı bir kompüter proqramı** hazırlamaq lazım gələcək. Aspinwall — yalnız məşhur bir fizik deyil, həm də **çox bacarıqlı bir proqramçı** olduğuna görə — bu vəzifəni öz üzərinə götürdü. Morrison və mən isə ilk vəzifəni yerinə yetirməyə başladıq: yəni **namizəd güzgü Calabi-Yau formasının dəqiq formasını müəyyənləşdirmək** işinə.

Burada bizə elə gəldi ki, Batyrev-in işi bizə vacib ipucları verə bilər.

Amma bir daha **riyaziyyat və fizika arasında olan mədəni fərq** — bu halda Morrison ilə mənim aramda — irəliləyişə mane olmağa başladı. Bizə lazım idi ki, bu iki sahənin gücünü birləşdirərək, **yuxarı Calabi-Yau formaları ilə eyni fiziki kainata uyğun gələn aşağı Calabi-Yau formalarının** riyazi təsvirini tapaq. Əgər **flop parçalanmaları** (məkanın topoloji dəyişmələri) təbiətin “alətlər qutusunda” varsa, bu iki forma eyni fiziki nəticələr verməlidir. Lakin nə mən, nə də Morrison bir-birimizin sahəsinin dilini kifayət qədər bilmirdik ki, bu məqsədə aydın şəkildə çata bilək. Bizə artıq tam aydın oldu ki, bu çətinliyə **ciddi şəkildə yanaşmalıyıq**: Hər birimiz **digərinin ixtisas sahəsində qısamüddətli bir kurs keçməliyik**. Beləliklə, biz qərara gəldik ki, gündüzlər hesablamaları bacardığımız qədər davam etdirək, axşamlar isə bir növ **“bir tələbəli dərs”** şəklində bir-birimizə dərs keçək: Mən Morrison-a müvafiq fizika mövzuları üzrə **1–2 saatlıq mühazirələr** oxuyurdum; o isə daha sonra **müvafiq riyaziyyat üzrə** mənə mühazirə verirdi. Bu dərslər adətən **gecə saat 11-də bitirdi**. Biz bu proqramı **hər gün** davam etdirdik. İrəliləyiş yavaş gedirdi, amma **hiss edirdik ki, parçalar yerinə oturmağa başlayır**. Bu arada, **Vitten** əvvəllər qeyd etdiyi zəif nöqtəni yenidən və **daha güclü formada formalaşdırmaqda böyük irəliləyişlər əldə edirdi**. Onun işi, **sim nəzəriyyəsinin fizikasını Calabi-Yau sahələrinin riyaziyyatı ilə əlaqələndirmək üçün yeni və güclü bir metod** ortaya qoyurdu. Aspinwall, Morrison və mən demək olar ki, **hər gün Witten-lə qeyri-rəsmi görüşlər** keçirirdik, o da bizə öz yanaşmasından doğan **yeni fikirlərini** göstərirdi. Həftələr keçdikcə, gözlənilmədən, **onun tamamilə fərqli nöqtəyi-nəzərdən başladığı işinin bizim məşğul olduğumuz flop keçidləri mövzusuna yaxınlaşdığı** aydınlaşmağa başladı. Aspinwall, Morrison və mən başa düşdük ki, **əgər biz öz hesablamamızı tezliklə tamamlamasaq, Vitten bizdən qabaq işi başa çatdıracaq**.

Altılıqlar və İş Dolu Həftəsonları

Heç nə bir fizikinın diqqətini sağlam bir rəqabət hissi qədər fokuslaya bilməz. Aspinwall, Morrison və mən işi sürətləndirdik, tam gücümüzə işləməyə başladıq. Amma burada vacib bir məqam var: “tam güclə işləmək” Morrison və mənim üçün bir şeyi, Aspinwall üçün isə tamam başqa bir şeyi ifadə edirdi. Aspinwall olduqca maraqlı bir qarışımdır: Onun davranışlarında Böyük Britaniya üst təbəqəsinin zərifliyi hiss olunur — bu da əsasən onun Oksford Universitetində keçirdiyi təxminən on il (bakalavr və magistratura dövrləri) ilə bağlıdır. Amma bu zərifliyə bir az da olsa zarafatçı və azca “qeyri-ciddi” bir təbiət də qarışıb. İş vərdişlərinə gəldikdə isə, deyə bilərəm ki, o tanıdığım ən mədəni fiziklərdən biridir. Çoxlarımız gecə yarısına qədər işlədiyimiz halda, o heç vaxt axşam saat 5-dən sonra işləmir. Bizim əksərimiz həftəsonu da işlədiyimiz halda, Aspinwall buna da yaxın durmur. Amma bu rejimi asanlıqla davam etdirə bilir, çünki o həm iti zəkalıdır, həm də son dərəcə səmərəlidir. Ona görə də “tam güclə işləmək” onun üçün sadəcə səmərəlilik səviyyəsini bir az daha artırmaq demək idi. Artıq dekabrın əvvəlləri idi. Morrison və mən artıq bir neçə aydır bir-birimizə mühazirələr oxuyurduq və bu, nəhayət, bəhrəsini verməyə başlamışdı. Axtardığımız Calabi-Yau sahəsinin dəqiq formasını müəyyənləşdirməyə çox yaxın idik. Üstəlik, Aspinwall da öz kompüter proqramının yazılmasını demək olar ki, tamamlamışdı və artıq bizim nəticəmizi gözləyirdi — çünki onun proqramı üçün bu nəticə əsas giriş (input) məlumatı idi. Cümə axşamı gecəsi, nəhayət, Morrison və mən əmin olduq ki, axtardığımız Calabi-Yau formasını necə tapacağımızı bilirik. Bu da öz növbəsində, özünə məxsus, nisbətən sadə bir kompüter proqramı tələb edən bir prosedura çevrildi. Cümə günü günorta həmin proqramı yazıb, xətalrı düzəlttik; cümə gecəsi isə nəticəni əldə etdik. Amma artıq saat 5-dən keçmişdi və həftənin son iş günü idi. Aspinwall artıq evinə getmişdi və bazar ertəsinə qədər qayıtmayacaqdı. Onun kompüter kodu olmadan davam edə bilməzdik. Morrison da, mən də bütün həftəsonunu gözləməyi təsəvvür belə edə bilmirdik — çünki kainatın “məkan parçalanmaları” ilə bağlı çoxdan bəri düşünülmən bir sualının cavabına demək olar ki, çatmışdıq, və bu həyəcan artıq dözülməz idi. Biz Aspinwall-a evinə zəng etdik. Əvvəlcə ertəsi səhər işə gəlməkdən qəti şəkildə imtina etdi. Amma çoxlu ah-nalədən sonra bizə qoşulmağa razılaşdı — yalnız bir şərtlə: ona bir altılıq pivə almalıydıq. Biz də məmnuniyyətlə razılaşdıq.

Həqiqət Anı

Biz hamımız **şənbə səhəri** planlaşdırdığımız kimi İnstitutda görüşdük. Hava **parlaq və günəşli** idi, əhval-ruhiyyə isə **zarafatlı və rahat**. **Açıqı**, mən bir az da olsa gözləyirdim ki, **Aspinwall gəlməyəcək**, amma o görünəndə, mən ona **ofisə ilk dəfə həftəsonu gəldiyinə görə 15 dəqiqə təriflər yağdırdım**. O isə gülərək **təkrar olmayacağını** dedi. Hamımız **Morrison və mənim paylaşıdığımız ofisdə onun kompüterinin ətrafında** toplandıq. **Aspinwall öz proqramını necə açmaq lazım olduğunu Morrison-a izah etdi və giriş məlumatlarının dəqiq formatını göstərdi**.

Morrison **gecə əldə etdiyimiz nəticələri** uyğun formada proqram üçün hazırladı və **hər şey hazır idi**. Bu konkret hesablamanın mənası, sadə dillə desək, **müəyyən bir hissəciyin kütləsini müəyyən etmək idi** — yəni **sim nəzəriyyəsidəki konkret bir vibrasiya formasının kütləsini**, bu hissəciyin **payız boyunca formasını tapmağa çalışdığımız Calabi-Yau strukturlu kainatda** hərəkət etdiyi zaman. Ümid edirdik ki, əvvəlcədən qurduğumuz strategiyaya uyğun olaraq, **bu kütlə, məkanın “parçalanması” (flop keçidi) nəticəsində yaranan Calabi-Yau formasında** aparılmış bənzər hesablamadakı nəticə ilə **tam üst-üstə düşəcək**. O əvvəlki hesablamayı **aylar əvvəl etmişdik və o qədər də çətin deyildi**; nəticə istifadə etdiyimiz **xüsusi vahidlərdə 3** alındı. İndi etdiyimiz hesablamayı **kompüter vasitəsilə və saylarla** aparırıdık, yəni **rəqəmlərlə hesablandığı üçün, 3-ə çox yaxın**, amma **dəqiq 3 olmayan** bir nəticə gözləyirdik – məsələn **3.000001** və ya **2.999999** kimi, bu cüzi fərq **sayların yuvarlaqlaşdırılmasından** qaynaqlanacaqdı. **Morrison kompüterin qarşısında oturmuşdu**, barmağı "Enter" düyməsinin üstündə havada dayanmışdı. Gərginlik artdıqca o, "Başlayırıq," dedi və **hesablamayı işə saldı**. Bir neçə **saniyə sonra** kompüter cavab verdi: **8.999999**. **Ürəyim düşdü**. Bəlkə doğrudan da, **məkanın “parçalanması” ilə bağlı flop keçidləri** bu **güzgü əlaqəsini pozur** və bu da onların **reallıqda mümkün olmadığını göstərir**? Amma demək olar ki, **eyni anda** hamımız **nəsə qərribə bir şeyin olduğunu** başa düşdük.

Əgər bu iki forma ilə bağlı fiziki nəticələr arasında **həqiqətən uyğunsuzluq olsaydı**, kompüterin belə **tam ədədlərə bu qədər yaxın bir nəticə verməsi** olduqca **qərribə olardı**. Əgər fikirlərimiz yanlış olsaydı, **nəticə tamamilə təsadüfi rəqəmlərdən ibarət olmalı idi**. iz səhv nəticə almışdıq, amma **elə bir səhv ki, bəlkə də sadə riyazi bir səhv idi**. Aspinwall və mən **lövhəyə tərəf** getdik və bir an sonra **səhvimizi tapdıq**: **Bundan bir neçə həftə əvvəl etdiyimiz “sadə” hesablamada 3 faktorunu unutmuşduq**; əsl nəticə **9 olmalı idi**. Yəni kompüterin verdiyi cavab – **8.999999** – əslində **düzgün idi**. Əlbəttə ki, **nəticədən sonra düzələn bu uyğunluq çox da inandırıcı deyildi**. Çünki əvvəlcədən **düzgün cavabı bildikdə**, ona uyğun bir yol **“tapmaq” həmişə mümkündür**. Biz daha bir nümunə etməli idik.

Lazımı kompüter kodları artıq hazır olduğuna görə bu iş çox asan oldu. Bu dəfə Calabi-Yau formasında başqa bir hissəciyin kütləsini hesabladığ — bu dəfə heç bir səhvə yol verməməyə çalışaraq. Aldığımız nəticə: Yenidən kompüter ətrafında toplandıq və proqramı işə saldıq. Bir neçə saniyə sonra o nəticəni verdi: **11.999999. Tam uyğunluq.** Biz göstərmiş olduq ki, **iddia edilən güzgü forması doğrudan da güzgüdür,** və bu da o deməkdir ki, **məkanın parçalanması ilə baş verən flop keçidləri sim nəzəriyyəsinin fizikasına daxildir.** Bu anda stuldan sıçrayıb ofisdə sevinc dövrəsi vurdum. Morrison kompüterin arxasından **gülümsəyirdi.** Aspinwall-un reaksiyası isə **tam fərqli idi:** "Əla, amma mən bilirdim ki, alınacaq," — **sakitcə dedi.** "İndi isə... mənim pivəm hardadı?"

Witten-in Yanaşması

Bazar ertəsi günü biz qürurla Witten-in yanına getdik və uğurumuzu ona xəbər verdik. O, nəticəmizdən çox məmnun oldu. Və məlum oldu ki, o da elə həmin vaxtlarda sim nəzəriyyəsində flop keçidlərinin baş verdiyini sübut edən bir yol tapmışdı. Onun arqumenti bizimkindən tamamilə fərqli idi, lakin bu yanaşma məkanın “parçalanmasının” niyə fəlakətli nəticələrə gətirib çıxarmadığını daha dərinə izah edirdi.

Onun yanaşması nöqtə-hissəcik nəzəriyyəsi ilə sim nəzəriyyəsi arasındakı fərqi ön plana çıxarır – xüsusilə bu cür məkan parçalanmaları zamanı. Əsas fərq ondadır ki, simin (ipin) iki növ hərəkəti mümkündür, nöqtə-hissəciklərin isə yalnız bir növü:

- Birincisi, sim (ip) parçalanmanın yanından keçə bilər – bu, nöqtə-hissəcik kimi hərəkətdir.
- İkincisi və fərqlisi isə budur ki, sim həmçinin parçalanmanı dövrə vuraraq da hərəkət edə bilər – nöqtə-hissəciklərdə bu mümkün deyil. Bu fikir Şəkil 11.6 ilə göstərilmişdi.

Əsasən, Witten-in təhlili göstərir ki, parçalanmanı dövrə vuran simlər — ki bu, sadə hissəciklər üçün mümkünsüzdür — ətrafdakı kainatı həmin məkan deformasiyasının fəlakətli təsirindən qoruyur.

Bu sanki belədir:

Simin “dünya-səthi” — yəni sim hərəkət etdikcə fəzada süpürdüüyü ikiölçülü səth (bax: 6-cı fəsil) — elə bir qoruyucu bəyər rolunu oynayır ki, məkanın geometriyasında baş verən pozulmaların bütün dağıdıcı təsirlərini dəqiq şəkildə “sıfırlayır”. Bu analiz sim

nəzəriyyəsinin nə qədər güclü və dərin bir nəzəriyyə olduğunu bir daha sübut edirdi. Siz haqlı olaraq soruşa bilərsiniz: Bəs əgər məkanın quruluşunda belə bir cırılma baş versə və təsadüfən həmin ərazidə bu cırığı qorumaq üçün heç bir sim (sim) olmasa, onda nə baş verər? Üstəlik, siz həmçinin narahat ola bilərsiniz ki, məkanın toxumasında cırılma baş verdiyi anda orada olan bir sim – sonsuz dərəcədə incə bir halqa – belə bir fəlakətli hadisəni qarşısını almaqda nə qədər effektiv ola bilər? Axı bu, qumbaradan qorunmaq üçün hula-hoop halqasının arxasında gizlənməyə bənzəyir. Bu iki narahatlığın cavabı kvant mexanikasının əsas xüsusiyyətlərindən birindədir – biz bunu 4-cü fəsilə izah etmişdik. Orada qeyd olunurdu ki, Feynmanın kvant mexanikasına verdiyi izaha əsasən, hər hansı bir obyekt – istər zərrəcik, istərsə də sim – bir nöqtədən digərinə yalnız bir yolla deyil, bütün mümkün yollarla (trayektoriyalarla) hərəkət etməyə "çalışır".

Nəticədə müşahidə etdiyimiz hərəkət, bu mümkün yolların hamısının kombinasiyasıdır və bu yolların hər birinin nə qədər təsirli olacağı kvant mexanikasının riyazi qaydaları ilə hesablanır. Əgər məkanın toxumasında bir cırılma baş versə, o zaman səyahət edən simlərin mümkün yolları arasında bu cırılmanın ətrafını dolaşan yollar da olacaq – 11.6-cı şəkildə göstərilən trayektoriyalar kimi. Cırılma baş verən anda ətrafda heç bir simin gözə görünməməsi belə problem deyil. Kvant mexanikası bütün mümkün yolların təsirini nəzərə alır – bu yollara cırılmanın ətrafını dolaşan sonsuz sayda qoruyucu trayektoriyalar da daxildir. Witten öz analizində göstərdi ki, məhz bu trayektoriyaların kvant mexanikası daxilindəki töhfəsi, əks halda yaranacaq kosmik fəlakətin qarşısını tam dəqiqliklə alır. 1993-cü ilin yanvarında, həm Witten, həm də biz üçlük – yəni mən, Aspinwall və Morrison – öz elmi məqalələrimizi eyni vaxtda fizika sahəsində beynəlxalq internet arxivinə təqdim etdik. Bu arxiv vasitəsilə elmi işlər dərhal bütün dünyada əlçatan olur. Bu iki məqalədə, tamamilə fərqli baxış bucaqlarından yanaşmaqla, biz topologiyanın dəyişməsi ilə nəticələnən keçidlərin – yəni məkanın cırılması ilə bağlı proseslərin – ilk konkret nümunələrini təqdim etdik. Uzun illər ərzində cavabı bilinməyən sual – məkanın toxuması doğrudanmı cırıla bilər? – nəhayət ki, sim nəzəriyyəsi vasitəsilə riyazi olaraq cavablandırılmış oldu.

Nəticələr

Biz məkanın toxumasının cırılmasının fiziki fəlakət olmadan baş verə biləcəyini başa düşməyin əhəmiyyətini vurğulamışıq. Bəs məkanın toxuması cırılsa, nə baş verir? Hansı müşahidə edilə bilən nəticələr yaranır? Biz görmüşük ki, ətrafımızdakı dünyanın bir çox xüsusiyyətləri, bükülmüş ölçülərin dəqiq strukturundan asılıdır. Beləliklə, siz düşünərdiniz ki, **bir Calabi-Yau formasından digərinə keçid**, 11.5-ci şəkildə göstərildiyi kimi,

əhəmiyyətli fiziki təsirə sahib olmalıdır. Lakin əslində, istifadə etdiyimiz aşağı ölçülü şəkillər, bu keçidin həqiqətdə olduğu qədər mürəkkəb olmadan göstərilməsinə səbəb olur. Əgər altı ölçülü coğrafiyanı vizuallaşdırıb bilsəydik, görərdik ki, bəli, toxuma cırılır, amma bu, olduqca yüngül bir şəkildə baş verir. Bu, daha çox yun üzərindəki bir gəvənin işi kimidir, daralmış şalvarlarda isə dərin diz əyilməsindən daha çox fərqlidir.

Bizim və Witten-in apardığı işlər göstərir ki, sim titrəyişlərinin ailələrinin sayı və hər bir ailə daxilindəki hissəciklərin növləri kimi fiziki xüsusiyyətlər bu proseslərdən təsirlənmir. Calabi-Yau məkanı bir cırılma prosesi ilə inkişaf etdikcə, təsirlənə biləcək şeylər hər bir hissəciyin kütlələrinin dəqiq dəyərləri – yəni sim titrəyişlərinin mümkün olan naxışlarının enerjiləri olacaq. Bizim məqalələrimiz göstərdi ki, bu kütlələr Calabi-Yau məkanının geometrik formasının dəyişməsinə uyğun olaraq **davamlı** şəkildə dəyişəcək, bəziləri artacaq, digərləri isə azalacaq. Ən əsas məsələ isə budur ki, bu dəyişən kütlələrdə heç bir **fəlakətli sıçrayış, pik** və ya qeyri-adi bir xüsusiyyət olmayacaq, cırılma baş verdiyi zaman. Fizikanın nöqtəyi-nəzərindən, cırılma anının heç bir ayırd edici xüsusiyyəti yoxdur.

Bu nöqtə iki məsələyə toxunur. Birincisi, biz kainatın əlavə altı ölçülü Calabi-Yau komponentində baş verən məkan cırılmalarına diqqət yetirmişik. Belə cırılmalar daha tanış olan üç ölçülü genişləndirilmiş məkan ölçülərində də baş verə bilərmi? Cavab, demək olar ki, bəli. Axı, məkan məkan olaraq qalır—istər o sıx şəkildə Calabi-Yau formasına bükülsün, istərsə də biz bir ulduzlu, aydın gecədə gördüyümüz geniş kainatda açıq olsun. Əslində, əvvəlki hissələrdə görmüşük ki, tanış olan məkan ölçüləri özü də böyük bir formaya bükülmüş ola bilər və bu forma kainatın o biri tərəfində öz-özünə əyilir. Buna görə də, hansı ölçülərin büküldüyü və hansılarının açıldığı arasındakı fərq bir növ süni görünür. Hərçənd bizim və Witten-in analizləri Calabi-Yau formalərinin xüsusi riyazi xüsusiyyətlərindən asılıdır, nəticə—məkanın toxuması cırılmağa qadir ola bilər—əminliklə daha geniş tətbiq sahəsinə malikdir.

İkinci məsələ, belə bir topologiya dəyişdirən cırılma bu gün və ya sabah baş verə bilərmi? Keçmişdə baş verə bilərdimi? Bəli. Elementar hissəciklərin kütlələrinin eksperimental ölçüləri onların dəyərlərinin zamanla olduqca sabit olduğunu göstərir. Lakin, böyük partlayışdan sonrakı ən erkən dövrlərə gedəndə, hətta sim nəzəriyyələrindən asılı olmayan nəzəriyyələr belə, elementar hissəcik kütlələrinin zamanla dəyişdiyi vacib dövrləri qeyd edirlər. Bu dövrlər, sim nəzəriyyəsindən perspektivdən baxıldığında, şübhəsiz ki, bu fəsildə müzakirə edilən topologiya dəyişdirən cırılmalarla əlaqəli ola bilərdi. Hal-hazırda isə, elementar hissəciklərin kütlələrinin müşahidə edilən sabitliyi göstərir ki, əgər kainat hal-hazırda topologiya dəyişdirən məkan cırılmasını keçirirsə, bu, çox yavaş baş verir—elə yavaş ki, onun elementar hissəcik kütlələrinə təsiri bizim mövcud eksperimental həssaslığımızdan kiçikdir. Təsadüfən, bu şərt yerinə yetirildiyi müddətcə, kainat hal-

hazırda məkanın cırılmasında ola bilər. Əgər bu, kifayət qədər yavaş baş verərsə, biz bunun baş verdiyini belə bilməzdik. Bu, fizikanın nadir hallarda rast gəlinən nümunələrindən biridir ki, nəzərə çarpan müşahidə olunan bir hadisənin olmaması böyük həyəcan yaradır. Belə ekzotik geometrik evrimdən müşahidə edilən bir fəlakətli nəticənin olmaması, sim nəzəriyyəsinin Eynşteyn-in gözləntilərindən nə qədər irəlilədiyini göstərir.

12-ci Fəsil

Sətirlərdən Kənara: M-Nəzəriyyəsi Axtarışında

Eynşteyn uzun müddət birləşdirilmiş nəzəriyyə axtararkən, "Allah kainatı fərqli şəkildə yarada bilərdimi? Yəni, məntiqi sadəliyin zəruriliyi heç bir azadlıq qoymurmu?" deyə düşünürdü. Bu söyləyişində Eynşteyn, hal-hazırda bir çox fiziklər tərəfindən bölüşülən bir görüşün ilkin formasını ifadə etdi: Əgər təbiətin son bir nəzəriyyəsi varsa, onun xüsusi formasının ən inandırıcı arqumentlərindən biri, bu nəzəriyyənin başqa cür ola bilməməsidir. Ən son nəzəriyyə, kainatı hər hansı daxili uyğunsuzluqlar və ya məntiqi absurdluqlarla qarşılaşmadan təsvir edə bilən yeganə izah edici çərçivə olduğu üçün, olduğu formada olmalıdır. Belə bir nəzəriyyə, əşyaların və hadisələrin olduğu kimi olduğunu, çünki belə olması lazım olduğunu bəyan edəcəkdir. Kiçik də olsa, hər hansı bir dəyişiklik, "Bu cümlə yalandır" ifadəsi kimi, özünün məhvini təxəyyül edəcək bir nəzəriyyə ilə nəticələnər.

Kainatın strukturlarında belə bir zəruriliyi təsbit etmək, bizə ən dərinə sualların üzərində düşünməkdə böyük bir yol göstərəcəkdir. Bu suallar, kainatımızı dizayn etmək üçün lazım olan görünən sonsuz sayda seçimi kim və ya nə yaradıb sualının ətrafında toplanır. Zərurilik, bu suallara cavab verir, seçimləri silərək. Zərurilik o deməkdir ki, əslində heç bir seçim yoxdur. Zərurilik, kainatın fərqli olmasının mümkün olmadığını bəyan edir. 14-cü fəsildə müzakirə edəcəyimiz kimi, heç nə kainatın bu qədər sıx şəkildə qurulmasına zamanət vermir. Lakin, təbiət qanunlarının belə bir möhkəmliyə doğru axtarışı, müasir fizikanın birləşmə proqramının mərkəzində dayanır.

1980-ci illərin sonlarına doğru, fiziklərə görə, sim nəzəriyyəsi kainatın unikal bir şəkilini təqdim etməyə çox yaxın olsa da, hələ də tam olaraq məqsədəuyğun deyildi. Bunun iki səbəbi vardı. Birincisi, 7-ci fəsildə qısa şəkildə qeyd edildiyi kimi, fiziklər, əslində sim nəzəriyyəsinin beş fərqli versiyasının olduğunu aşkar etdilər. Xatırlaya bilərsiniz ki, bunlar Tip I, Tip IIA, Tip IIB, Heterotik O(32) (qısa olaraq Heterotik-O) və Heterotik $E_8 \times E_8$ (qısa olaraq Heterotik-E) nəzəriyyələridir. Bunlar bir çox əsas xüsusiyyətləri paylaşır—vibrasiya nümunələri mümkün kütlə və qüvvə yüklərini müəyyən edir, 10 ölçülü zaman-məkan ölçüləri tələb edir, dolanmış ölçüləri Calabi-Yau formalarından birində olmalıdır və s.—və bu səbəbdən əvvəlki fəsillərdə onların fərqlərinə çox yer verməmişik. Lakin, 1980-ci illərdə aparılan təhlillər göstərdi ki, onlar fərqlənir. Onların xüsusiyyətləri barədə əlavə qeydlərdə daha çox oxuya bilərsiniz, amma sadəcə olaraq, onların supersimmetriyanı necə daxil etdikləri və dəstək olduqları vibrasiya nümunələrinin mühüm detallarında fərqləndiklərini bilmək kifayətdir. Məsələn, Tip I sim nəzəriyyəsində bağlanmamış iki ucu olan açıq sətirlər mövcuddur, bu da bizim diqqət etdiyimiz bağlanmış dövrələrdən fərqlənir. Bu, sim nəzəriyyəçiləri üçün bir utanc olmuşdur, çünki son birləşdirilmiş nəzəriyyə üçün ciddi bir təklifə sahib olmaq təsir edici olsa da, beş təklifin olması hər birinin dəyərini azaldır.

Nəzəriyyənin iki hissədən ibarət olduğunu deyə bilərik. Birinci hissə nəzəriyyənin əsas ideyalarının toplusudur, ki, bu ideyalar adətən riyazi tənliklərlə ifadə edilir. Nəzəriyyənin ikinci hissəsi isə bu tənliklərin həllərini təşkil edir. Ümumiyyətlə, bəzi tənliklər bir və yalnız bir həllə sahib olur, digərləri isə bir neçə həllə (bəlkə də çox sayda) sahib ola bilər. (Sadə bir nümunə üçün, "2 dəfə müəyyən bir rəqəm 10-a bərabərdir" tənliyi bir həllə malikdir: 5. Lakin "0 dəfə müəyyən bir rəqəm 0-a bərabərdir" tənliyi sonsuz sayda həllə sahibdir, çünki 0-in hər hansı bir ədədi ilə vurulması 0 edir.) Buna görə də, araşdırmalar tək bir nəzəriyyə və tək tənliklərə gətirib çıxarsa da, bəlkə də zərurilik pozula bilər, çünki tənliklərin çoxsaylı fərqli həlləri ola bilər. 1980-ci illərin sonlarına doğru, görünür ki, sim nəzəriyyəsi ilə belə bir vəziyyət yaranmışdı. Fiziklər, beş sim nəzəriyyəsinin hər hansı birinin tənliklərini araşdıranda, onların çoxsaylı həllərə sahib olduqlarını gördülər—məsələn, əlavə ölçüləri dolamaq üçün müxtəlif mümkün yollar—hər bir həll fərqli xüsusiyyətlərə sahib olan bir kainata uyğun gəlir. Bu kainatların əksəriyyəti, sim nəzəriyyəsinin tənliklərinin keçərli həlləri kimi meydana çıxsada, bildiyimiz dünyaya uyğun görünür.

Bu, zərurilikdən olan sapmalar, sim nəzəriyyəsinin bədbəxt əsas xüsusiyyətləri kimi görünə bilər. Lakin 1990-cı illərin ortalarından bəri aparılan araşdırmalar, bu xüsusiyyətlərin sadəcə olaraq sim nəzəriyyəçilərinin nəzəriyyəni analiz etmə tərzinin əks-sədası ola biləcəyinə dair dramatik yeni ümidlər ortaya çıxarmışdır. Qısa desək, sim nəzəriyyəsinin

tənlikləri o qədər mürəkkəbdir ki, heç kim onların dəqiq formasını bilmir. Fiziklər yalnız tənliklərin təxmini versiyalarını yazmağa müvəffəq olmuşlar. Məhz bu təxmini tənliklər hər bir sim nəzəriyyəsindən digərinə əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Və bu təxmini tənliklər, hər hansı bir beş sim nəzəriyyəsindən birinin kontekstində, çoxsaylı həllər, arzuolunmaz kainatların bol bir yığını yaradır.

1995-ci ildən (ikinci supersim inqilabının başlanğıcı) etibarən, tənliklərin dəqiq formalarının, hələ də bizim əlimizdən gəlməyən, bu problemləri həll edə biləcəyi ilə bağlı artan dəlillər mövcuddur və bununla da sim nəzəriyyəsinə zərurilik möhürünü vurmağa kömək edir. Əslində, artıq bir çox sim nəzəriyyəçiləri tərəfindən təsdiqlənmişdir ki, dəqiq tənliklər başa düşüldükdə, onlar beş sim nəzəriyyəsinin əslində bir-birinə sıx bağlı olduğunu göstərəcəkdir. Onlar, bir ulduz dənizinin əlavə hissələri kimi, hamısı bir-biri ilə əlaqəli olan bir vahid varlığın bir hissəsidir və bu varlığın detallı xüsusiyyətləri hal-hazırda intensiv araşdırmaların mövzudur. Beş ayrı sim nəzəriyyəsi olmaq əvəzinə, fiziklər indi əmindirlər ki, bütün beşi bir araya gətirən və onları unikal bir nəzəriyyə çərçivəsində birləşdirən tək bir nəzəriyyə mövcuddur. Və hələ gizli olan əlaqələr aşkar edildikcə yaranan aydınlıq kimi, bu birləşmə, sim nəzəriyyəsinə əsaslanaraq kainatı anlamaq üçün güclü bir yeni baxış nöqtəsi təqdim edir.

Bu anlayışları izah etmək üçün, sim nəzəriyyəsindəki ən çətin və qabaqcıl inkişaflardan bəziləri ilə məşğul olmalıyıq. Biz sim nəzəriyyəsini öyrənməkdə istifadə olunan təxmini üsulların və onların daxilindəki məhdudiyyətlərin təbiətini başa düşməliyik. Fiziklərin bu təxmini üsullardan bəzilərini aşmaq üçün istifadə etdikləri, kollektiv olaraq "duallıqlar" adlandırılan məharətli texnikalarla tanış olmalıyıq. Və sonra, bu texnikalardan istifadə edərək əldə edilən diqqətli reasoning-i izləməliyik ki, yuxarıda qeyd olunan möcüzəvi anlayışlara çatmaq üçün. Lakin narahat olmayın. Gerçəkdən çətin işlər artıq sim nəzəriyyəçiləri tərəfindən görüldü və biz burada yalnız onların nəticələrini izah etməklə kifayətlənəcəyik.

Buna baxmayaraq, inkişaf etdirib birləşdirməli olduğumuz bir çox ayrı-ayrı hissələr olduğu üçün, bu fəsildə, xüsusilə "ağacı görüb meşəni itirmək" asan ola bilər. Buna görə də, bu fəsildə müzakirə bir qədər çətinləşərsə və siz qara dəliklərə (13-cü fəsil) və ya kosmologiyaya (14-cü fəsil) keçməyə məcbur olsanız, aşağıdakı bölməyə qısa bir nəzər yetirin, burada ikinci supersim inqilabının əsas anlayışları xülasə edilmişdir.

İkinci Supersim İnqilabının Xülasəsi

İkinci supersim inqilabının əsas fikri Şəkil 12.1 və 12.2-də ümumiləşdirilib. Şəkil 12.1-də, fizikanın ənənəvi olaraq super sim nəzəriyyəsini analiz etmək üçün istifadə etdiyi təxmini metodlardan (qismən də olsa) aşmağa yeni imkanların əldə olunmasından əvvəlki vəziyyət göstərilir. Burada beş ayrı sim nəzəriyyəsinin tamamilə ayrı-ayrı qəbul edildiyini görürük. Lakin son araşdırmaların nəticəsində yaranan yeni anlayışlarla, Şəkil 12.2-də göstəriləndiyi kimi, bütün bu sim nəzəriyyələri, ulduzbalığının beş qoluna bənzər şəkildə, artıq tək bir, hər şeyi əhatə edən bir çərçivə kimi qəbul edilir. (Əslində, bu fəslin sonuna doğru, altıncı bir nəzəriyyənin — altıncı qolun — bu birliyə qoşulacağını görəcəyik.) Bu geniş əhatəli çərçivə, səbəbləri bu hissədə aydınlaşacaq olan M-nəzəriyyəsi adlandırılıb. Şəkil 12.2, ən son nəzəriyyə axtarışında bir dönüş nöqtəsini təmsil edir. Görünür ki, əvvəlcə əlaqəsiz olan sim nəzəriyyəsidəki araşdırma istiqamətləri artıq tək bir xalça kimi birləşib — unik bir, hər şeyi əhatə edən nəzəriyyə ki, bu da çox ehtimal ki, uzun müddətdir axtarılan hər şeyin nəzəriyyəsi olacaq.

Baxmayaraq ki, hələ çox iş görülməli olsa da, fizikanın artıq aşkar etdiyi M-nəzəriyyəsinin iki əsas xüsusiyyəti vardır. Birincisi, M-nəzəriyyəsinin on bir ölçüsü var (on məkan və bir zaman). Kaluza'nın ümumi nisbətlik və elektromaqnetizmin gözlənilməz birləşməsini mümkün edən bir əlavə məkan ölçüsünü tapdığı kimi, sim nəzəriyyəçiləri də başa düşdülər ki, sim nəzəriyyəsində — əvvəlki fəsillərdə müzakirə olunan doqquz məkan və bir zaman ölçüsündən kənarda — bir əlavə məkan ölçüsü bütün beş versiyanı dərinədən qane edici bir şəkildə birləşdirmək üçün imkan yaradır. Bundan əlavə, bu əlavə məkan ölçüsü havadan çıxarılan bir şey deyil; əksinə, sim nəzəriyyəçiləri başa düşüblər ki, 1970-ci illərdə və 1980-ci illərdə bir zaman və doqquz məkan ölçüsünə gətirib çıxaran məntiqi yanaşmalar təxmini idi və artıq tamamlanabilən düzgün hesablamalar göstərir ki, bir məkan ölçüsü əvvəllər nəzərdən qaçmışdı.

M-nəzəriyyəsinin kəşf edilən ikinci xüsusiyyəti odur ki, o, titrəyən simləri ehtiva edir, amma həm də başqa obyektləri daxil edir: titrəyən ikiölçülü membranlar, dalğalanan üçölçülü bloblar (bunlara "üç-branlar" deyilir) və digər bir çox tərkib hissələri də var. On birinci ölçü ilə olduğu kimi, M-nəzəriyyəsinin bu xüsusiyyəti də hesablamalar 1990-cı illərin ortalarından əvvəl istifadə olunan təxmini yanaşmalardan azad olduqda meydana çıxır.

Bu və son bir neçə ildə əldə edilən digər bir çox anlayışdan kənarda, M-nəzəriyyəsinin həqiqi təbiətinin çoxu hələ də sirr olaraq qalır — "M" hərfinin təklif olunan mənalarından

biri budur. Dünyanın hər yerindən olan fizikaçılar M-nəzəriyyəsini tam başa düşmək üçün böyük bir qüvvə ilə çalışırlar və bu, bəlkə də 21-ci əsr fizikasının mərkəzi problemi olacaq.

Bir Təxmini Metod

Fizikanın sim nəzəriyyəsini analiz etmək üçün istifadə etdiyi metodların məhdudiyyətləri, perturbaasiya nəzəriyyəsi adlanan bir şeylə bağlıdır. Perturbaasiya nəzəriyyəsi, bir suala təxmini cavab vermək üçün bir yanaşma etməyə və sonra başlanğıcda nəzərdən qaçırılmış incə detallara daha çox diqqət yetirərək bu təxmini ardıcıl olaraq təkmilləşdirməyə verilən adıdır. Bu metod, bir çox elmi tədqiqat sahələrində mühüm rol oynayır, sim nəzəriyyəsini anlamaqda əhəmiyyətli bir element olmuşdur və indi izah etdiyimiz kimi, gündəlik həyatımızda da tez-tez rastlaşdığımız bir şeydir.

Təsəvvür edin ki, bir gün maşınız işləməyə başlayır və onu yoxlamağa bir mexanika aparırsınız. Maşınıza bir göz gəzdirdəndən sonra, o, pis xəbəri verir. Maşınıza yeni bir mühərrik bloku lazımdır və onun hissələri və işçilik ümumiyyətlə 900 dollar civarındadır. Bu, təxmini bir rəqəmdir ki, gözləyirsiniz ki, işin tələb etdiyi incə detalları aşkar etdikcə bu təxmini qiymət də dəqiqləşəcək. Bir neçə gün sonra, maşını əlavə testlərdən keçirəndən sonra, mexanik daha dəqiq bir qiymət verir, 950 dollar. O, həmçinin yeni bir tənzimləyici ehtiyacı olduğunu izah edir, bu da hissələr və işçilik daxilində təxminən 50 dollara başa gəlir. Nəhayət, maşını götürmək üçün gəldiyiniz zaman, o, bütün detalları bir araya gətirib sizə 987.93 dollar məbləğində bir hesab təqdim edir. O, izah edir ki, bu 950 dollar mühərrik bloku və tənzimləyici üçün, əlavə olaraq 27 dollar fan kəməri, 10 dollar batareya kabeli və 0.93 dollar izolyasiya edilmiş bolt üçün ödənilib. Başlanğıc təxmini 900 dollar rəqəmi, getdikcə daha çox detal əlavə edildikcə dəqiqləşdirilmişdir. Fizika terminologiyasında bu detallara başlanğıc qiymətə əlavə edilən perturbaasiyalar deyilir.

Perturbaasiya nəzəriyyəsi düzgün və effektiv şəkildə tətbiq edildikdə, ilkin təxmin son nəticəyə yaxın olacaq; daxil edilən incə detalları əvvəlki təxmini qiymətdə nəzərə alınmayan fərqlər son nəticədə kiçik dəyişikliklər edəcək. Amma bəzən, son hesabı ödəməyə gedəndə, ilkin təxmini qiymət ilə çox fərqli bir məbləğlə qarşılaşırsınız. Bəlkə daha emosional terminlər istifadə edərsiniz, amma texniki olaraq buna perturbaasiya nəzəriyyəsinin uğursuzluğu deyilir. Bu, ilkin təxminin son nəticəyə düzgün bir rəhbər olmadığı anlamına gəlir, çünki "dəqiqləşdirmələr" nisbətən kiçik sapmalar yaratmaq əvəzinə, təxmini qiymətə böyük dəyişikliklər gətirir. Əvvəlki fəsillərdə qısa şəkildə göstəriləndiyi kimi, bu nöqtəyə qədər olan sim nəzəriyyəsi müzakirəmiz perturbaativ yanaşmaya əsaslanıb və bu yanaşma, mexanikin istifadə etdiyi yanaşmaya bənzəyir. Vaxt-vaxtında "sim nəzəriyyəsinin tamamlanmamış anlaşılması" dediyimiz şey, bir şəkildə və

ya digər şəkildə bu təxmini metodun köklərini daşıyır. Gəlin bu mühüm şərh daha yaxşı başa düşmək üçün, mexanikin misalından daha yaxın, amma sim nəzəriyyəsinin tətbiqinə daha yaxın bir kontekstdə perturbaasiya nəzəriyyəsini müzakirə edək.

Perturbaasiya Nəzəriyyəsinin Klassik Bir Misalı

Yerin Günəş Sistemi içindəki hərəkətini anlamaq, perturbaativ yanaşmanın istifadə edildiyi klassik bir misaldır. Belə böyük məsafə ölçülərində, yalnız cazibə qüvvəsini nəzərə almaq lazımdır, amma əlavə təxmini yanaşmalar edilmədikcə, qarşılaşılacaq tənliliklər olduqca mürəkkəb olur. Yadda saxlayın ki, həm Nyuton, həm də Eynşteynə görə hər şey bir-birinə cazibə təsiri göstərir və bu, yer, günəş, ay, digər planetlər və prinsipcə bütün digər ulduz cisimləri arasında mürəkkəb və riyazi cəhətdən həll edilə bilməyən bir cazibə mübarizəsinə gətirib çıxarır. Təsəvvür edə biləcəyiniz kimi, bütün bu təsirləri nəzərə alıb yerin dəqiq hərəkətini müəyyən etmək mümkün deyil. Əslində, yalnız üç göy cismi olsa belə, tənliliklər o qədər mürəkkəbləşir ki, heç kim onları tam həll edə bilməyib.

Bununla belə, biz yerin Günəş Sistemi içindəki hərəkətini böyük dəqiqliklə proqnozlaşdırma bilirik, çünki perturbaativ yanaşma istifadə edirik. Günəşin bizim Günəş Sistemi üzvlərinin hər birinin kütləsi ilə müqayisədə böyük kütləsi və yerə yaxınlığı, digər ulduzlarla müqayisədə yerin hərəkətindəki ən əsas təsirə malikdir. Beləliklə, yalnız Günəşin cazibə təsirini nəzərə alaraq təxmini bir qiymət əldə edə bilirik. Bir çox məqsəd üçün bu, tamamilə kifayətdir. Lazım olduqda, biz bu təxmini qiyməti tədricən növbəti ən əhəmiyyətli cisimlərin cazibə təsirlərini, məsələn, ayı və hansı planetlərin həmin anda ən yaxın keçdiyini daxil edərək dəqiqləşdirə bilirik. Hesablamalar, cazibə təsirlərinin şəbəkəsi mürəkkəbləşdikcə çətinləşə bilər, amma bu, perturbaativ fəlsəfəni qaraltmamalıdır: Günəş-yer cazibə qarşılıqlı təsiri bizə yerin hərəkətinin təxmini izahını verir, digər cazibə təsirlərinin qalan mürəkkəbliyi isə ardıcıl olaraq daha kiçik dəqiqləşdirmələr təklif edir.

Bu misal, perturbaativ yanaşmanın işləməsinin səbəbini göstərir, çünki burada nəzərə çarpan fiziki bir təsir var ki, bu da nisbətən sadə bir nəzəri izahı qəbul edir. Lakin bu hər zaman belə deyil. Məsələn, əgər biz üç bənzər kütləli ulduzun bir-birinin ətrafında dövr etdiyi üçlü sistemin hərəkətini maraqlandırırıqsa, burada heç bir tək cazibə əlaqəsi yoxdur ki, onun təsiri digər təsirləri kölgələsin. Buna görə də, heç bir tək dominant qarşılıqlı təsir yoxdur ki, təxmini qiyməti versin, digər təsirlər isə kiçik dəqiqləşdirmələr təqdim etsin. Əgər biz, məsələn, iki ulduz arasındakı cazibə qarşılıqlı təsirini seçərək onu təxmini qiymətimizi müəyyən etmək üçün istifadə etməyə çalışsaydıq, tezliklə görərdik ki, yanaşmamız uğursuz olub. Hesablamalarımız göstərirdi ki, üçüncü ulduzun daxil edilməsi

ilə yaranan "dəqiqləşdirmə" kiçik deyil, əksinə, təxmini qiymətləndirmə qədər əhəmiyyətlidir. Bu tanış bir haldır: Üç nəfərin hora rəqsi iki nəfərin tək qalan tango rəqsinə bənzəmir. Böyük bir dəqiqləşdirmə, ilkin təxmini qiymətin çox səhv olduğunu və bütün sistemin zəif təməl üzərində qurulduğunu göstərir. Burada qeyd etmək lazımdır ki, bu yalnız üçüncü ulduzun verdiyi böyük dəqiqləşdirməni əlavə etmək məsələsi deyil. Burada domino effekti var: Böyük dəqiqləşdirmə digər iki ulduzun hərəkətinə mühüm təsir göstərir, bu da öz növbəsində üçüncü ulduzun hərəkətinə böyük təsir edir, sonra bu da digər iki ulduza əhəmiyyətli təsir göstərir və beləliklə davam edir. Cazibə təsirlərinin bütün elementləri bərabər dərəcədə vacibdir və hamısı eyni anda nəzərə alınmalıdır. Çox vaxt, belə hallarda, yeganə çıxış yolumuz kompüterlərin gücündən istifadə edərək yaranan hərəkəti simulyasiya etməkdir.

Bu misal, perturbaativ yanaşma istifadə edərkən, təxmini qiymətin həqiqətən təxmini olub olmadığını və əgər belədirsə, hansı və neçə incə detalın daxil edilməli olduğunu müəyyən etməyin əhəmiyyətini vurğulayır. İndi müzakirə edəcəyimiz kimi, bu məsələlər mikroskopik dünyada fiziki proseslərə perturbaativ alətləri tətbiq edərkən xüsusilə vacibdir.

Sim nəzəriyyəsinə təhrikedici yanaşma

Sim nəzəriyyəsində fiziki proseslər, titrəyən simlərin əsas qarşılıqlı təsirlərindən yaranır. Fəsil 6-nın sonlarına doğru müzakirə etdiyimiz kimi, bu qarşılıqlı təsirlər, sim dövrlərinin ayrılması və birləşməsi ilə əlaqəlidir, məsələn, Şəkil 6.7-də olduğu kimi, bu şəkili rahatlıq üçün Şəkil 12.3-də yenidən təqdim edirik. Sim nəzəriyyəçiləri göstəriblər ki, Şəkil 12.3-dəki sxematik təsvirə dəqiq riyazi bir formula əlaqələndirilə bilər — bu formula, hər bir daxil olan simin digərinin nəticəvi hərəkətinə təsirini ifadə edir. (Formulanın detalları beş sim nəzəriyyəsi arasında fərqlənir, amma bu anda biz bu incə xüsusiyyətləri gözdən keçirməyəcəyik.) Əgər kvant mexanikası olmasaydı, bu formula, simlərin qarşılıqlı təsirinin necə baş verdiyinin hekayəsinin sonu olardı. Lakin qeyri-müəyyənlik prinsipinin diktə etdiyi mikroskopik çılğınlıq, sim/anti-sim cütlərinin (iki simin əks titrəyiş nümunələri icra etməsi) mövcudluğa gəlməsini göstərir, bu da kainatdan enerji borclanaraq, kifayət qədər sürətlə bir-birini məhv etdikləri təqdirdə mümkündür, beləliklə enerji borcunu geri ödəyirlər. Bu cüt simlər, kvant çılğınlığından yaranmış və amma borclanmış enerji ilə yaşadığı üçün tezliklə birləşərək tək bir dövrə dönməli olan "virtual sim cütləri" olaraq

bilinir. Və hətta bu yalnız qısa bir müddət olsa da, bu əlavə virtual sim cütlərinin keçici mövcudluğu, qarşılıqlı təsirin detallı xüsusiyyətlərinə təsir edir. Bu, Şəkil 12.4-də sxematik olaraq göstərilir. İki ilkin sim (a) nöqtəsində bir-birinə çırpılır və tək bir dövrəyə birləşir. Bu dövrə bir az hərəkət edir, amma (b) nöqtəsində, cılığın kvant dalğalanmaları nəticəsində bir virtual sim cütü yaranır, bu cüt yol alır və sonra (c) nöqtəsində birləşərək yenidən tək bir sim əmələ gətirir. Nəhayət, (d) nöqtəsində, bu sim öz enerjisini itirərək, yeni istiqamətlərə gedən bir sim cütünə ayrılır. Şəkil 12.4-dəki mərkəzdəki tək dövrəyə görə, fizikaçılar buna "bir-dövrə" prosesi adını verirlər. Şəkil 12.3-dəki qarşılıqlı təsir kimi, bu diaqram ilə əlaqəli dəqiq bir riyazi formula mövcuddur ki, bu da virtual sim cütünün iki ilkin simin hərəkətinə təsirini ümumiləşdirir.

Amma hekayənin sonu bu deyil, çünki kvant dalğalanmaları, istənilən sayda anlıq virtual sim partlayışlarının baş verməsinə səbəb ola bilər və bu, virtual sim cütlərinin bir sırasının yaranmasına gətirib çıxarır. Bu, Şəkil 12.5-də olduğu kimi, daha çox və daha çox dövrə ilə diaqramlara səbəb olur. Hər bir bu diaqram fiziki prosesləri təsvir etmək üçün faydalı və sadə bir yol təqdim edir: Daxil olan simlər birləşir, kvant dalğalanmaları nəticəsində yaranan dövrə bir virtual sim cütünə ayrılır, bu cüt yol alır və sonra bir-birini məhv edərək yenidən birləşərək tək bir dövrə əmələ gətirir, bu dövrə irəliləyir və başqa bir virtual sim cütü yaradır və bu proses davam edir. Digər diaqramlarda olduğu kimi, hər bir bu proses üçün, ilkin sim cütünün hərəkətinə təsiri ümumiləşdirən uyğun bir riyazi formula mövcuddur. Bundan əlavə, necə ki mexanik avtomobil təmir hesabını ilkin \$900-lük təxminini \$50, \$27, \$10 və \$0.93 əlavə edərək müəyyən etdi və necə ki, biz Yerin hərəkətini daha dəqiq başa düşdük, Günəşin təsirini ayın və digər planetlərin daha kiçik təsirlərini əlavə edərək dəqiqləşdirdik, sim nəzəriyyəçiləri də göstəriblər ki, iki simin qarşılıqlı təsirini başa düşmək üçün, dövrə olmadan (virtual sim cütləri olmayan), bir dövrə ilə (bir cüt virtual sim), iki dövrə ilə (iki cüt virtual sim) və s. olan diaqramların riyazi ifadələrini birləşdirərək bunu əldə edə bilərik. Bu, Şəkil 12.6-da olduğu kimi təsvir edilir.

Dəqiq bir hesablamanın tələb etdiyi, bu diaqramların hər biri ilə əlaqəli olan riyazi ifadələri birləşdirməkdir, burada dövrlərin sayı artır. Lakin, bu cür diaqramların sonsuz sayda olması və hər birinə aid riyazi hesablamaların dövrlərin sayı artdıqca getdikcə çətinləşməsi səbəbindən, bu tapşırıq mümkün deyil. Bunun əvəzinə, sim nəzəriyyəçiləri bu hesablamaları bir perturbativ çərçivəyə salmışlar və burada məqbul bir təxmini nəticənin sıfır dövrə prosesləri ilə verildiyi, dövrə diaqramlarının isə dövrlərin sayı artdıqca kiçilən düzəlişlər yaratdığı gözlənilir. Əslində, sim nəzəriyyəsi haqqında bildiyimiz demək olar ki, hər şey—əvvəlki fəsillərdə müzakirə olunan bir çox material da daxil olmaqla—bu perturbativ yanaşmanı istifadə edərək, fizikaçıların detallı və geniş hesablamalar aparması nəticəsində kəşf edilib. Lakin, tapılan nəticələrin düzgünlüyünə inanmaq üçün, birinci bir

neçə diaqramı nəzərə alaraq, qalan bütün diaqramları yaddan çıxaran təxmini qiymətləndirmələrin həqiqətən də düzgün olub-olmadığını müəyyən etmək lazımdır. Bu bizi vacib suala gətirib çıxarır: Biz düzgün təxmini qiymətə yaxınlaşırıqmı?

Təxmini qiymət doğrudan da doğru təxmini qiymətdədirmi?

Bu, vəziyyətdən asılıdır. Hər bir diaqramla əlaqəli riyazi formula dövrlərin sayı artdıqca çox mürəkkəbləşsə də, sim nəzəriyyəçiləri bir əsas və vacib xüsusiyyəti fərqləndirirlər. Bir ipin gücü, onun sıx çəkmək və silkələmək nəticəsində iki hissəyə parçalanma ehtimalını müəyyən etdiyi kimi, bir ədəd iplə bağlı olan və kvant dalğalanmalarının tək bir iplə iki iplə parçalanmasına səbəb olma ehtimalını müəyyən edən bir ədəd mövcuddur. Bu ədədə **sim bağlanma sabiti** deyilir (daha dəqiq desək, beş sim nəzəriyyəsinin hər birinin özünəməxsus sim bağlanma sabiti vardır, bunu qısa zamanda müzakirə edəcəyik). Adı olduqca təsviredicidir: Sim bağlanma sabitinin ölçüsü, üç iplə (ilk dövrə və onun parçalanaraq yaranan iki virtual dövrə) əlaqəli olan kvant dalğalanmalarının nə qədər güclü olduğunu göstərir—onların nə qədər sıx əlaqəli olduğunu desək, bir qədər doğru olar. Hesablama formallığı göstərir ki, sim bağlanma sabiti nə qədər böyükdürsə, kvant dalğalanmalarının ilkin simin parçalanmasına (və sonradan birləşməsinə) səbəb olma ehtimalı bir o qədər yüksəkdir; sim bağlanma sabiti nə qədər kiçikdirsə, belə virtual simlərin momentarili mövcud olma ehtimalı da bir o qədər azdır.

Yaxın zamanda beş sim nəzəriyyəsindən hər hansı birində sim bağlanma sabitinin dəyərini müəyyənləşdirmək məsələsini müzakirə edəcəyik, amma əvvəlcə "kiçik" və ya "böyük" dedikdə, onun ölçüsünü qiymətləndirdikdə nə nəzərdə tutulduğunu başa düşmək vacibdir. Sim nəzəriyyəsinin altında yatan riyaziyyat göstərir ki, "kiçik" və "böyük" arasındakı sərhəd 1 rəqəmi ilə müəyyənləşir. Bu, aşağıdakı mənada doğrudur: Əgər sim bağlanma sabiti 1-dən kiçikdirsə, o zaman—çox sayda ildırım zərbəsi kimi—virtual sim cütlərinin sayı artdıqca onların momentarili mövcud olma ehtimalı azalır. Lakin, əgər bağlanma sabiti 1 və ya ondan böyükdürsə, o zaman bu virtual cütlərin sayının getdikcə artması ehtimalı da artır.

Nəticə etibarilə, əgər sim bağlanma sabiti 1-dən kiçikdirsə, dövrə diaqramlarının töhfələri dövrlərin sayı artdıqca getdikcə kiçilir. Bu, perturbativ çərçivə üçün lazım olan vəziyyətdir, çünki bu, yalnız bir neçə dövrə ilə bağlı olan proseslər xaricində bütün prosesləri nəzərə almadıqda belə, kifayət qədər doğru nəticələr əldə edəcəyimizi göstərir. Lakin, əgər sim bağlanma sabiti 1-dən böyükdürsə, dövrə diaqramlarının töhfələri

dövrələrin sayı artdıqca daha vacib olur. Bu, trinar ulduz sistemi nümunəsində olduğu kimi, perturbativ yanaşmanı keçərsiz edir. Təsəvvür olunan təxmini qiymət—loopu olmayan proses—doğru təxmini qiymət deyildir. (Bu müzakirə hər beş sim nəzəriyyəsinə də aiddir—hər bir nəzəriyyədəki sim bağlanma sabitinin dəyəri perturbativ yanaşma sxeminin effektivliyini müəyyən edir.)

Bu anlayış bizi növbəti vacib suala aparır: Sim bağlanma sabitinin dəyəri nədir (və ya daha dəqiq desək, hər beş sim nəzəriyyəsindəki bağlanma sabitlərinin dəyərləri nədir)? Hal-hazırda bu suala heç kim cavab verə bilməyib. Bu, sim nəzəriyyəsində ən vacib həll olunmamış məsələlərdən biridir. Biz əmin ola bilərik ki, perturbativ çərçivəyə əsaslanan nəticələr yalnız sim bağlanma sabiti 1-dən kiçik olduqda doğru olacaq. Üstəlik, sim bağlanma sabitinin dəqiq dəyəri müxtəlif sim titrəmə nümunələrinin kütlələri və yükləri üzərində birbaşa təsirə malikdir. Beləliklə, görürük ki, çox sayda fizika məsələsi sim bağlanma sabitinin dəyərindən asılıdır. Buna görə də, gəlin bu vacib sualın—hər beş sim nəzəriyyəsində də onun dəyəri niyə cavabsız qalır—niyə cavab tapılmadığını daha yaxından araşdıraraq.

Simlər Nəzəriyyəsinin Tənlikləri

Simlərin bir-biri ilə necə qarşılıqlı təsir etdiyini öyrənmək üçün istifadə olunan **perturbativ yanaşma** (yəni, kiçik dəyişikliklər əsasında hesablamalar aparmaq üsulu), eyni zamanda simlər nəzəriyyəsinin **əsas tənliklərini** tapmaq üçün də istifadə edilə bilər. Əsas etibarilə, **simlər nəzəriyyəsinin tənlikləri** simlərin necə qarşılıqlı təsir etdiyini müəyyən edir, və əksinə, **simlərin qarşılıqlı təsiri** də nəzəriyyənin tənliklərini təyin edir. Buna ən aydın nümunə kimi, **beş müxtəlif sim nəzəriyyəsinin** hər birində nəzəriyyənin **qoşulma sabitinin** (ing. *coupling constant*) dəyərini müəyyən etməyə çalışan bir tənlik mövcuddur. Ancaq hazırda fiziklər bu tənliyi tam şəkildə tapa bilməyiblər. Onlar yalnız **perturbativ üsulla** az sayda uyğun sim diaqramlarını riyazi yolla hesablamaqla bu tənliyin **təxmini (yaxınlaşmış) formasını** müəyyən edə biliblər.

Bu təxmini tənliklər bizə nə deyir?

Beş sim nəzəriyyəsinin istənilən birində, simin qoşulma sabiti elə bir dəyər alır ki, əgər bu sabit sifirə vurulsa, nəticə sifir olur. Bu isə çox məyusedici bir nəticədir. Çünki istənilən ədəd sifirə vurulduqda nəticə sifir olur və bu o deməkdir ki, tənlik hər hansı bir dəyər üçün doğru ola bilər. Beləliklə, beş nəzəriyyənin hər birində simin qoşulma sabitinə aid bu təxmini tənlik bizə onun konkret dəyəri haqqında heç bir məlumat vermir. Bundan əlavə, beş sim nəzəriyyəsinin hər birində daha bir tənlik mövcuddur ki, bu da həm uzanan, həm

də bükülmüş (yığılmış) fəza-zaman ölçülərinin dəqiq formasını müəyyən etməlidir. Hazırda əlimizdə bu tənliyin yalnız təxmini (aproksimativ) versiyası var. Bu versiya qoşulma sabitini müəyyən edən tənlikdən daha məhdudlaşdırıcıdır, yəni bəzi halları istisna edir, amma buna baxmayaraq çoxsaylı mümkün həllərə imkan verir. Məsələn, dörd uzanan fəza-zaman ölçüsü ilə birlikdə altıölçülü bükülmüş Calabi-Yau fəzası bir çox mümkün həll nümunələri verir. Amma bu belə, bütün ehtimalları əhatə etmir. Çünki başqa uzanan və bükülmüş ölçülər arasında fərqli bölgülər də nəzəri olaraq mümkündür.

Bu nəticələrdən nə nəticə çıxara bilərik? Üç mümkün variant var. Birincisi, ən pessimist ssenaridən başlayaq: Hər bir sim nəzəriyyəsi qoşulma sabitinin dəyərini, həmçinin fəza-zamanın ölçülərini və dəqiq geometrik formasını müəyyən edən tənliklərlə təchiz edilmişdir — ki, bunu başqa heç bir nəzəriyyə iddia edə bilməz. Lakin hələ məlum olmayan bu tənliklərin dəqiq forması da çoxsaylı həlləri qəbul edə bilər, bu da onların proqnozverici gücünü əhəmiyyətli dərəcədə zəiflədir. Əgər bu doğru olarsa, bu, bir geriləmə olar, çünki sim nəzəriyyəsinin vədi, bu xüsusiyyətləri izah etməsi olmalıdır, bizə onları eksperimentlərlə tapmağı və daha yaxud az bir şəkildə nəzəriyyəyə daxil etməyi tələb etməməlidir. Bu ehtimala biz **15-ci fəsildə** yenidən qayıdacağıq. İkinci variant isə, təxmini sim tənliklərindəki istənilməyən elastiklik, bizim düşüncəmizdə incə bir səhv olduğunu göstərə bilər. Biz sim qoşulma sabitinin dəyərini müəyyən etmək üçün **perturbativ yanaşma** istifadə etməyə çalışırıq. Lakin qeyd edildiyi kimi, perturbativ üsullar yalnız qoşulma sabiti 1-dən kiçik olduqda məntiqlidir və buna görə hesablamamız öz cavabına haqsız bir fərziyyə qoya bilər — yəni, nəticənin 1-dən kiçik olacağı fərz edilir. Uğursuzluğumuz bunun yanlış olduğunu və bəlkə də sim nəzəriyyələrinin hər hansı birində qoşulma sabitinin 1-dən böyük olduğunu göstərir. Üçüncü variant isə, istənilməyən elastiklik sadəcə **təxmini** tənliklərdən istifadə etməyimizdən irəli gəlir. Məsələn, verilən sim nəzəriyyəsində qoşulma sabiti 1-dən kiçik olsa belə, nəzəriyyənin tənlikləri bütün diaqramlardan gələn təsirlərdən həssas şəkildə asılı ola bilər. Yəni, **daha çox dövrəyə sahib olan diaqramlardan gələn kiçik düzəlişlər** təxmini tənlikləri, çoxsaylı həllər qəbul edənləri, çox daha məhdudlaşdırıcı olan dəqiq tənliklərə çevirmək üçün vacib ola bilər.

1990-cı illərin əvvəllərinə gəldikdə, sonrakı iki ehtimal sim nəzəriyyəsi ilə məşğul olan əksər alimlərə aydın etdi ki, yalnız perturbativ yanaşmaya tam etibar etmək irəliləyişin qarşısını alır. Sahədəki əksər alimlər razılaşdı ki, növbəti böyük irəliləyiş **perturbativ yanaşmadan azad olan** bir yanaşma tələb edəcək — bir yanaşma ki, təxmini hesablamalardan asılı olmayacaq və buna görə də perturbativ çərçivənin sərhədlərindən çox uzağa gedə biləcək. 1994-cü ilə qədər belə bir yanaşmanın tapılması, sadəcə **xəyali bir arzu** kimi görünürdü. Lakin bəzən xəyallar gerçəkləşir.

İkilik

Dünyanın müxtəlif nöqtələrindən yüzlərlə sim nəzəriyyəsi alimləri hər il bir yerə toplaşır, ötən ilin nəticələrini yekunlaşdırır və müxtəlif araşdırma istiqamətlərinin nisbi əhəmiyyətini qiymətləndirirlər. Verilən ilin irəliləyişinin vəziyyətinə görə, iştirakçılar arasında maraq və həyəcan səviyyəsini təxmin etmək mümkündür. 1980-ci illərin ortalarında, birinci supersim inqilabının zirvə dövründə, toplantılar **məhdudiyyətsiz sevinclə** dolu idi. Fiziklər geniş ümid edirdilər ki, çox yaxında sim nəzəriyyəsini tam başa düşəcəklər və onu kainatın son nəzəriyyəsi kimi açacaqlar. İndi bu, sadələhv bir yanaşma kimi görünür. Aradan keçən illər göstərdi ki, sim nəzəriyyəsinin başa düşülməsi üçün çox sayda dərin və incə tərəf mövcuddur ki, bunları başa düşmək, şübhəsiz ki, uzun müddət davam edəcək və həsr olunmuş bir iş tələb edəcək. Erkən və reallıqdan uzaq gözləntilər geridönüşə səbəb oldu; hər şey dərhal öz yerinə oturmadıqda, bir çox araşdırıcı məyus oldu. 1980-ci illərin sonlarında keçirilən sim konfransları bu **kiçik ümid qırılmasını** əks etdirirdi — fiziklər maraqlı nəticələr təqdim edirdilər, amma atmosferdə ilham yox idi. Bəziləri hətta cəmiyyətdən illik sim konfransları keçirməyi dayandırmağı təklif etdilər. Lakin 1990-cı illərin əvvəllərində vəziyyət dəyişdi. Müxtəlif inqilabi irəliləyişlər vasitəsilə, bunlardan bəzilərini əvvəlki fəsillərdə müzakirə etdik, sim nəzəriyyəsi öz hərəkətini bərpa etdi və tədqiqatçılar yenidən həyəcan və optimizm qazandılar. Lakin 1995-ci ilin martında Cənubi Kaliforniya Universitetində keçirilən sim konfransında baş verənlər çox az bir şeydən xəbər verirdi.

Vaxtı çatanda, Edvard Vitten tribunaya qalxıb, ikinci supersim inqilabını başlatan bir məruzə təqdim etdi. Duff, Hull, Townsend-in əvvəlki işlərindən ilham alaraq və Schwarz, Hind fiziki Ashok Sen və digərlərinin fikirlərindən yararlanaraq, Vitten sim nəzəriyyəsinin perturbativ başa düşülməsini aşmaq üçün bir strategiya elan etdi. Planın mərkəzi hissəsini **düalitet** anlayışı təşkil edir.

Fiziklər "düalitet" termini ilə nəzəri modelləri təsvir edirlər ki, bunlar zahirən fərqli görünsələr də, əslində eyni fizikanı təsvir etməyi bacarırlar. Düalitetin "trivial" nümunələri də mövcuddur, burada ilk baxışda fərqli olan nəzəriyyələr əslində eynidir və yalnız təqdim olunma tərzindən fərqli kimi görünürlər. Məsələn, yalnız ingilis dilini bilən bir insan ümumi nisbilik nəzəriyyəsini dərhal Eynşteyn-in nəzəriyyəsi kimi tanımaya bilər, əgər bu nəzəriyyə Çin dilində təqdim olunarsa. Lakin hər iki dili yaxşı bilən bir fizikaçı bu nəzəriyyəni asanlıqla bir dildən digərinə tərcümə edərək, onların bərabərliyini müəyyən edə bilər. Bu nümunəyə **"trivial"** deyirik, çünki fizika baxımından belə bir tərcümədən heç bir yeni məlumat əldə edilmir. Əgər ingilis və çin dilini bilən biri ümumi nisbilik

nəzəriyyəsi ilə çətin bir problemi öyrənirdisə, bu, ifadə olunan dildən asılı olmayaraq eyni dərəcədə çətin olardı. İngilis dilindən çin dilinə və ya əksinə keçid heç bir yeni fiziki məlumat gətirmir.

Düalitetin qeyri-trivial nümunələri odur ki, eyni fiziki vəziyyətin fərqli təsvirləri fərqli və tamamlayıcı fiziki anlayışlar və riyazi analiz üsulları verir. Əslində, biz artıq düalitetin iki nümunəsi ilə qarşılaşmışıq. **10-cu fəsildə**, biz sim nəzəriyyəsinin radiusu R olan dairəvi ölçüyə sahib bir kainatda, eyni şəkildə radiusu $1/R$ olan dairəvi ölçülü kainatla da təsvir edilə biləcəyini müzakirə etdik. Bunlar fərqli **geometrik vəziyyətlərdir**, lakin sim nəzəriyyəsinin xüsusiyyətləri vasitəsilə əslində fiziki baxımdan **eyni** olurlar. **Güzgü simmetriyası** isə ikinci nümunədir. Burada əlavə altı məkan ölçüsünün iki fərqli **Calabi-Yau** forması — ilk baxışda tamamilə fərqli görünsələr də — eyni fiziki xüsusiyyətləri təqdim edir. Onlar eyni kainatın düal təsvirlərini təqdim edirlər. Əsas əhəmiyyət kəsb edən məsələ isə budur ki, ingilis və çin dilləri arasındakı fərqdən fərqli olaraq, bu düal təsvirlərin istifadəsi nəticəsində sim nəzəriyyəsində dairəvi ölçülər üçün minimum ölçü və topologiya dəyişən proseslər kimi vacib fiziki anlayışlar ortaya çıxır.

Vitten **Sims '95** konfransında yeni və dərin bir düalitet növü üçün sübutlar təqdim etdi. Bu fəsilin əvvəlində qısa şəkildə izah edildiyi kimi, o, beş sim nəzəriyyəsinin, əsas quruluşlarında görünən fərqlərə baxmayaraq, hamısının eyni təməl fizikanı təsvir etmək üçün sadəcə fərqli yollar olduğunu irəli sürdü. Beləliklə, beş fərqli sim nəzəriyyəsi yerinə, biz sadəcə bu tək təməl nəzəriyyəyə çərçivəsinə **fərqli pəncərələr** əldə etmiş olarıq.

1990-cı illərin ortalarından əvvəl, belə geniş bir düalitet versiyasının mümkünlüyü, fizikaçıların arzu etdikləri, amma çox nadir hallarda danışdıqları, çünki çox qeyri-real görünən bir ideya idi. Əgər iki sim nəzəriyyəsi quruluşlarının vacib detalları ilə fərqlənsə, onları yalnız eyni təməl fizikanın fərqli təsvirləri kimi təsəvvür etmək çətindir. Bununla belə, sim nəzəriyyəsinin incə gücü sayəsində, bütün beş sim nəzəriyyəsinin düal olduğu barədə getdikcə artan sübutlar mövcuddur. Bundan əlavə, müzakirə edəcəyimiz kimi, Vitten altıncı bir nəzəriyyənin də bu qarışıma daxil olduğunu sübut etdi. Bu inkişaf, əvvəlki hissədə qarşılaşdığımız perturbativ metodların tətbiqinə dair məsələlərlə sıx bağlıdır. Bunun səbəbi odur ki, beş sim nəzəriyyəsi hər biri zəif bağlı olduğu zaman — bu, nəzəriyyənin əlaqələndirmə sabitliyinin 1-dən kiçik olması deməkdir — açıq-aydın fərqlənir. Perturbativ metodlardan asılı olduqları üçün, fizikaçılar bir müddətdir ki, sim nəzəriyyələrinin hər hansı birinin əlaqələndirmə sabitliyi 1-dən böyük olduğu halda — yəni, "güclü bağlı davranış" — hansı xüsusiyyətlərə sahib olacağını sorğulamaqdan qaçıblar. Vitten və başqalarının iddiaları, indi bu vacib sualın cavablanacağını göstərir. Onların nəticələri, təsirli şəkildə sübut edir ki, biz hələ təsvir etmədiyimiz altıncı nəzəriyyə

ilə birlikdə, bu nəzəriyyələrin güclü bağlı davranışı, başqa birinin zəif bağlı davranışının düal təsviri ilə ifadə olunur və əksinə.

Daha əyani şəkildə nə demək olduğunu anlamaq üçün aşağıdakı analogiya ilə fikir yürüdə bilərsiniz. Təsəvvür edin ki, iki olduqca təcrid olunmuş şəxs var. Birinin buzdən çox xoşu gəlir, amma qəribədir ki, heç vaxt suyu (maye formada) görməyib. Digəri isə sudan çox xoşu gəlir, amma eyni dərəcədə qəribədir ki, heç vaxt buzu görməyib. Bir təsadüfi görüşdə onlar birgə çöl səfərinə çıxmağa qərar verirlər. Yola çıxanda hər biri digərinin avadanlıqlarına heyran qalır. Buzsevər, susevərin şəffaf, hamar mayesinə heyran olur, susevər isə buzsevərin gətirdiyi möhtəşəm, möhkəm kristal kublara qərübə şəkildə cəlb olur. Heç biri, əslində, su ilə buz arasında dərin bir əlaqə olduğunu anlamır; onlar üçün bu iki maddə tamamilə fərqlidir. Amma səhranın istiliyinə doğru yola çıxdıqda, hər ikisi də təəccüblənir ki, buz yavaşca suya çevrilməyə başlayır. Və səhranın soyuq gecəsində, onlar eyni dərəcədə təəccüblənirlər ki, maye su yavaşca möhkəm buza çevrilir. Onlar başa düşürlər ki, bu iki maddə — əvvəllər tamamilə əlaqəsiz düşündükləri — əslində bir-birinə sıx bağlıdır.

Beş sim nəzəriyyəsi arasındakı düalitet təxminən oxşar bir şeydir: Təxmini olaraq, sim əlaqə sabitləri, səhrada olan analogiyamızda temperatur rolunu oynayır. Buz və su kimi, beş sim nəzəriyyəsindən hər hansı iki nəzəriyyə, ilk baxışda, tamamilə fərqli görünür. Amma onların əlaqə sabitlərini dəyişdirdikcə, nəzəriyyələr bir-birinə çevrilir. Necə ki, buz temperaturu artırdıqca suya çevrilir, bir sim nəzəriyyəsi də əlaqə sabitinin dəyərini artırdıqca başqa birinə çevrilə bilər. Bu, bizə çox böyük bir yol göstərir və bütün sim nəzəriyyələrinin tək bir təməl strukturu — su və buz üçün H_2O -nun analoqu olan bir şeyi — düal təsvirlər olduğunu sübut etməyə kömək edir. Bu nəticələrin arxasında duran məntiq, əksər hallarda simmetriya prinsiplərinə əsaslanan arqumentlərin istifadəsinə dayanır. Gəlin bunu müzakirə edək.

Simmetriyanın Gücü

İllər ərzində heç kim sim nəzəriyyələrindən hər hansı birinin güclü əlaqə sabitləri üçün xüsusiyyətlərini öyrənməyə cəhd etmədi, çünki heç kimin perturbativ çərçivədən kənara çıxma yolu ilə necə irəliləyəcəyinə dair heç bir fikri yox idi. Lakin 1980-ci illərin sonları və 1990-cı illərin əvvəllərində fiziklər müəyyən xüsusi xüsusiyyətləri — o cümlədən bəzi kütlələr və qüvvə yüklərini — tanımaqda yavaş, amma davamlı irəliləyiş əldə etdilər. Bu xüsusiyyətlərin hesablanması, hansı ki, perturbativ çərçivəni aşır, ikinci supersim

inqilabının irəliləməsində mərkəzi rol oynamış və simmetriyanın gücünə möhkəm əsaslanmışdır. Simmetriya prinsipləri, fiziki dünyanı anlamaq üçün dəyərli alətlər təqdim edir. Məsələn, biz müzakirə etmişik ki, fizikanın qanunlarının kainatdakı heç bir yerə və ya zaman anına xüsusi bir yanaşma göstərmədiyi ilə bağlı geniş dəstəklənən inanc, bu qanunların burada və indi fəaliyyət göstərən eyni qanunlar olduğunu irəli sürməyə imkan verir. Bu, böyük bir nümunədir, lakin simmetriya prinsipləri daha dar çərçivələrdə də bərabər dərəcədə vacib ola bilər. Məsələn, bir cinayətə şahidlik edirsiniz, amma yalnız təqsirkarın üzünün sağ tərəfindəki hissəsini görə bilərsinizə, polis rəssamı buna baxmayaraq sizin məlumatlarınıza əsaslanaraq üzün tam formasını çəkə bilər. Simmetriya məhz buna səbəbdir. İnsan üzünün sağ və sol tərəfləri arasında fərqlər olsa da, çoxu elə simmetrikdir ki, bir tərəfin şəkli tərsinə çevrilərək digər tərəfin yaxşı bir təxmini əldə edilə bilər. Bu geniş fərqli tətbiqlərin hər birində simmetriyanın gücü, xüsusiyyətləri dolayı yolla müəyyən etmək bacarığındadır — ki, bu çox vaxt daha birbaşa yanaşmalardan daha asan olur. Biz Andromeda qalaktikasında təməl fizikanı öyrənə bilərik, ora gedib, bəzi ulduzların ətrafında planetlər tapıb, sürətləndiricilər qurub və Yer üzündə aparılan növ eksperimentləri həyata keçirə bilərik. Lakin məkan dəyişiklikləri altında simmetriya tətbiq etməyin dolayı yanaşması çox daha asandır. Biz həmçinin təqsirkarın üzünün sol tərəfindəki xüsusiyyətləri onun ardınca gedib araşdırmaqla öyrənə bilərik. Amma çox vaxt simmetrik sol-sağ üz simmetriyası tətbiq etmək daha asandır.

Supersimmetriya, fərqli miqdarda spin daşıyan elementar maddə hissəciklərinin fiziki xüsusiyyətlərini əlaqələndirən daha abstrakt bir simmetriya prinsipidir. Ən yaxşı halda, mikroskopik dünyada bu simmetriyanın mövcud olduğunu göstərən təcrübə nəticələrindən yalnız ipucları vardır, amma əvvəlcə müzakirə etdiyimiz səbəblərlə, bunun mövcud olduğuna dair güclü inam vardır. Bu, şübhəsiz, simmetriya nəzəriyyəsinin ayrılmaz bir hissəsidir. 1990-cı illərdə, Natan Seibergin (İleri Araşdırmalar İnstitutunun) qabaqcıl işləri ilə fizikaçılar başa düşdülər ki, supersimmetriya, dolayı yolla çox çətin və vacib suallara cavab verə bilən kəskin və təsirli bir alət təqdim edir. Hətta bir nəzəriyyənin mürəkkəb detalları başa düşülməsə də, onun içində supersimmetriyanın olması, onun hansı xüsusiyyətlərə sahib olacağını müəyyən etmək üçün mühüm məhdudiyyətlər qoymağa imkan verir. Dil nümunəsi ilə izah edək: Təsəvvür edin ki, bizə bir kağız parçasında bir sıra hərflərin yazıldığı, bu sıralamada məhz üç "y" hərfinin olduğu və kağızın möhürlənmiş bir zarfın içində gizləndiyi bildirilir. Əgər başqa heç bir məlumat verilmirəmsə, o zaman bu sıralamanı təxmin etmək mümkün deyil—bizim üçün bu, mvcfojziyxidqfzzyycdi kimi təsadüfi bir hərf sırası ola bilər, ya da başqa sonsuz sayda mümkün versiyalardan biri. Lakin təsəvvür edin ki, bizə əlavə olaraq iki başqa ipucu verilir: Gizlənmiş hərf sırası bir İngilis sözü qurur və ilk ipucu ilə uyğun olan minimum sayda hərfə sahibdir, yəni üç "y" hərfi

ehtiva edən ən qısa İngilis sözü. Bu əlavə ipucları sayəsində başlanğıcda olan sonsuz sayda hərf sırasından yalnız bir söz qalır: syzygy.

Supersimmetriya bu cür məhdudlaşdırıcı ipucları təmin edir, çünki bu nəzəriyyələrin daxilində supersimmetriya prinsimləri mövcuddur. Bunu daha yaxşı anlamaq üçün, təsəvvür edin ki, bizə fizika ilə bağlı bir tapmaca təqdim olunur ki, bu da yuxarıda təsvir etdiyimiz dil tapmacasına bənzəyir. Bir qutunun içində bir şey gizlənilib—onun kimliyi göstərilməyib—və müəyyən bir qüvvə yükünə malikdir. Yük elektrik, maqnit və ya digər ümumi təsnifatlara aid ola bilər, amma konkretlik üçün gəlin desək, onun üç vahid elektrik yükü var. Əgər başqa heç bir məlumat verilərsə, bu əşyaların kimliyini müəyyən etmək mümkün deyil. Bu, 1 yükə sahib olan üç hissəcik ola bilər, məsələn, pozitronlar və ya protonlar; 1 yükə sahib dörd hissəcik və -1 yükə sahib bir hissəcik ola bilər (məsələn, elektron), çünki bu kombinasiya hələ də üçlük bir ümumi yükə sahibdir; 1/3 yükə sahib doqquz hissəcik ola bilər (məsələn, yuxarı kvars), və ya bu doqquz hissəciklərə yükü olmayan istənilən sayda hissəcik (məsələn, fotonlar) əlavə oluna bilər. Yalnız üç "y" haqqında ipucu olduğu zaman gizli hərf sırasının mümkün olan sonsuz sayda versiyalarını tapdığımız kimi, bu qutunun içindəkilərin də sonsuz sayda mümkün versiyası var.

Amma indi təsəvvür edək ki, dil tapmacasında olduğu kimi, bizə iki əlavə ipucu verilir: Dünyanı təsvir edən nəzəriyyə—və buna görə də qutunun içindəki məzmun—supersimmetrikdir və qutunun içindəki məzmun, üç vahid yükə sahib olmaqla uyğun olan minimum kütləyə malikdir. E. Bogomoln'yi, Manoj Prasad və Charles Sommerfeldin fikirlərindən istifadə edərək, fizikaçıların göstərdiyi kimi, bu sıx təşkilati çərçivənin (supersimmetriya çərçivəsi, İngilis dili ilə müqayisə oluna bilər) və "minimalizm məhdudiyyətinin" (seçilmiş elektrik yükü üçün minimum kütlə, seçilmiş "y" hərflərinin sayına uyğun minimum söz uzunluğu ilə müqayisə oluna bilər) müəyyən edilməsi, gizli məzmunun kimliyini unikal şəkildə müəyyənləşdirir. Yəni, sadəcə olaraq, qutunun içindəki məzmunun ən yüngül olduğu və hələ də müəyyən edilmiş yükə sahib olduğu təmin edildikdə, fizikaçılar göstərdilər ki, onun kimliyi tam olaraq müəyyənləşdirilir. Seçilmiş yük dəyəri üçün minimum kütləyə sahib olan tərkib hissələrinə BPS vəziyyətləri deyilir və onlar üç kəşf edənlərin şərəfinə adlandırılıb.

BPS vəziyyətlərinin vacib cəhəti budur ki, onların xüsusiyyətləri, heç bir perturbativ hesablama aparmadan, unikal, asan və dəqiq müəyyən edilir. Bu, əlaqə sabitliklərinin dəyərindən asılı olmayaraq doğrudur. Yəni, hətta sim əlaqə sabiti böyük olsa və bu, perturbativ yanaşmanın keçərli olmadığı anlamına gəlsə belə, biz hələ də BPS konfigurasiyalarının dəqiq xüsusiyyətlərini təyin edə bilirik. Bu xüsusiyyətlər çox vaxt perturbativ olmayan kütlələr və yüklər olaraq adlandırılır, çünki onların dəyərləri

perturbativ təxmini sxemini aşır. Bu səbəbdən, BPS-i "perturbativ vəziyyətlərdən kənar" kimi də düşünə bilərsiniz.

BPS xüsusiyyətləri, əlaqə sabiti böyük olduqda seçilmiş bir sim nəzəriyyəsinin tam fizikasının yalnız kiçik bir hissəsini əhatə edir, amma buna baxmayaraq bizə onun bəzi güclü əlaqə xüsusiyyətləri haqqında daha real bir anlayış verir. Seçilmiş bir sim nəzəriyyəsinin əlaqə sabiti perturbasiya nəzəriyyəsinin çatdığı sahədən kənara çıxdıqca, biz öz məhdud anlayışımızı BPS vəziyyətlərinə əsaslanaraq bərpa edirik. Yad bir dildəki bir neçə seçilmiş söz kimi, biz tapacağıq ki, onlar bizi olduqca irəlilədəcək.

Sim Nəzəriyyəsində Dualite (İkilik)

Wittenin fikrinə əsaslanaraq, gəlin beş sim nəzəriyyəsindən birini, məsələn, Tip I simini seçək və onun bütün doqquz məkan ölçüsünün düz və açılmış olduğunu təsəvvür edək. Bu, əlbəttə, reallığa uyğun deyil, amma müzakirəni sadələşdirir; biz qıvrılmış ölçülərə qısa zamanda qayıdacağıq. Əvvəlcə sim əlaqə sabitinin 1-dən xeyli kiçik olduğunu qəbul edirik. Bu halda, perturbativ alətlər keçərlidir və buna görə də nəzəriyyənin bir çox detallı xüsusiyyətləri dəqiq şəkildə işlənib hazırlanmışdır. Əgər əlaqə sabitinin dəyərini artırısaq, amma hələ də onu 1-dən xeyli kiçik saxlasaq, perturbativ üsullar hələ də istifadə oluna bilər. Nəzəriyyənin detallı xüsusiyyətləri bir az dəyişəcək — məsələn, bir simin başqa birinə toqquşması ilə əlaqəli riyazi dəyərlər bir qədər fərqli olacaq, çünki şəkil 12.6-dakı çoxsaylı dövr prosesləri əlaqə sabiti artdıqca daha böyük töhfələr verir. Lakin bu detallı riyazi xüsusiyyətlərdəki dəyişikliklərdən kənarda, nəzəriyyənin ümumi fiziki məzmunu eyni qalır, əgər əlaqə sabiti perturbativ sahədə qalarsa.

Əgər biz Tip I siminin əlaqə sabitini 1-dən yuxarı artırısaq, perturbativ üsullar keçərsiz olur və buna görə də yalnız bizim başa düşə bildiyimiz məhdud bir qeyri-perturbativ kütlələr və yüklər—BPS vəziyyətlərinə—fokuslanırıq. Wittenin irəli sürdüyü və sonra Kaliforniya Universitetindən Joe Polçinski ilə birlikdə təsdiqlədiyi mövqe budur: Tip I sim nəzəriyyəsinin güclü əlaqə xüsusiyyətləri, Heterotik-O sim nəzəriyyəsinin məlum xüsusiyyətləri ilə tam uyğun gəlir, bu zaman Heterotik-O-nun əlaqə sabiti kiçik bir dəyərə malikdir. Yəni, Tip I siminin əlaqə sabiti böyük olduqda, bizim çıxara bildiyimiz xüsusi kütlələr və yüklər Heterotik-O siminin kiçik əlaqə sabitinə malik olduğu halda tam olaraq eynidir. Bu, bizə güclü bir göstəriş verir ki, bu iki sim nəzəriyyəsi, ilk baxışda su və buz kimi, tamamilə fərqli görünsələr də, əslində dualdır. Bu, Tip I nəzəriyyəsinin böyük əlaqə sabiti dəyərləri üçün fizikasının, Heterotik-O nəzəriyyəsinin kiçik əlaqə sabiti dəyərləri üçün fizikasına bərabər olduğunu ciddi şəkildə göstərir. Əlaqəli arqumentlər də eyni dərəcədə inandırıcı sübut verdi ki, əksinə də doğrudur: Tip I nəzəriyyəsinin kiçik əlaqə sabiti dəyərləri üçün fizikasının Heterotik-O nəzəriyyəsinin böyük əlaqə sabiti dəyərləri

üçün fizikasına bərabər olduğunu göstərir. İki sim nəzəriyyəsi perturbativ təxmini üsuldən istifadə edilərək əlaqəsiz kimi görünə də, indi görürük ki, hər biri əlaqə sabitləri dəyişdikcə bir-birinə çevrilir—bir növ su və buz arasındakı transmutasiyaya bənzəyir.

Bu mərkəzi yeni növ nəticə, bir nəzəriyyənin güclü əlaqə fizikasının digər nəzəriyyənin zəif əlaqə fizikasında təsvir edildiyi nəticə, güclü-zəif dualite kimi tanınır. Əvvəlki müzakirə olunan digər dualitələrdə olduğu kimi, bu da bizə göstərir ki, əlaqəli iki nəzəriyyə əslində fərqli deyil. Əksinə, onlar eyni əsas nəzəriyyənin iki fərqli təsvirini təqdim edirlər. İngilis və Çin dilinin sadə dualitesindən fərqli olaraq, güclü-zəif əlaqə dualitesi güclüdür. Bir dual cütün nəzəriyyəsinin əlaqə sabiti kiçik olduqda, biz onun fiziki xüsusiyyətlərini yaxşı inkişaf etmiş perturbativ alətlərlə analiz edə bilərik. Lakin nəzəriyyənin əlaqə sabiti böyük olduqda və bu zaman perturbativ üsullar pozulduqda, biz indi dual təsviri istifadə edə biləcəyimizi bilirik—bu təsvirin əlaqə sabiti kiçikdir və biz yenidən perturbativ alətlərdən istifadə edə bilərik. Tərcümə nəticəsində, əvvəllər nəzəriyyəvi bacarıqlarımızın kənarında düşündüyümüz bir nəzəriyyəni təhlil etmək üçün kəmiyyət üsullarına sahib olduq.

Əslində, Type I sim nəzəriyyəsinin güclü əlaqə fizikasının Heterotik-O nəzəriyyəsinin zəif əlaqə fizikasına bərabər olduğunu sübut etmək çox çətin bir vəzifədir və hələ də həyata keçirilməyib. Bunun səbəbi sadədir. Bu ikili nəzəriyyə cütünün bir üzvü, əlaqə sabiti çox böyük olduğu üçün perturbativ təhlilə əlverişli deyil. Bu, onun bir çox fiziki xüsusiyyətlərini birbaşa hesablamağa mane olur. Əslində, təklif olunan dualitenin belə güclü olmasının səbəbi də məhz bu nöqtədir, çünki əgər doğru olsa, bu, güclü əlaqəli nəzəriyyəni analiz etmək üçün yeni bir alət təqdim edir: Zəif əlaqəli dual təsvirində perturbativ üsullardan istifadə etmək. Lakin, biz bu iki nəzəriyyənin dual olduğunu sübut edə bilməsək də, inamla çıxara bildiyimiz bu xüsusiyyətlərin mükəmməl uyğunluğu, Type I və Heterotik-O sim nəzəriyyələri arasındakı güclü-zəif əlaqə əlaqəsinin düzgün olduğunu göstərən çox cəlbədicə dəlil təqdim edir. Əslində, təklif olunan dualiteyi test etmək üçün həyata keçirilən daha da ağıllı hesablamlar hamısı müsbət nəticələr verib. Çox sayda sim nəzəriyyəçisi bu dualitenin doğru olduğuna əmindir.

Eyni yanaşma ilə, qalan sim nəzəriyyələrindən birinin, məsələn, Type IIB sim nəzəriyyəsinin güclü əlaqə xüsusiyyətləri də öyrənilə bilər. Hull və Townsend tərəfindən ilkin olaraq irəli sürülən və bir sıra fiziklərin tədqiqatları ilə dəstəklənən bir nəticə də mövcuddur. Type IIB sim nəzəriyyəsinin əlaqə sabiti böyüdükcə, hələ də başa düşə bildiyimiz fiziki xüsusiyyətlər tam olaraq zəif əlaqəli Type IIB sim nəzəriyyəsinin xüsusiyyətləri ilə üst-üstə düşür. Başqa sözlə, Type IIB sim nəzəriyyəsi öz-özünə dualdır. Xüsusilə, ətraflı analiz göstərir ki, əgər Type IIB əlaqə sabiti 1-dən böyük olarsa və biz onun qiymətini qarşılıqlı olaraq dəyişdirsək (yəni, 1-dən kiçik bir qiymətə), nəticə olaraq

yaranan nəzəriyyə başlanğıcda başladığımız nəzəriyyə ilə tamamilə eyni olacaq. Əgər biz Plank-ölçüsündən kiçik bir dairəvi ölçünü sıxmağa çalışdıqımızda tapdığımız şeyə bənzər olaraq, Type IIB əlaqəsini 1-dən böyük bir dəyərə artırmağa çalışsaq, öz-özüne duallıq göstərir ki, nəticə olaraq yaranan nəzəriyyə tam olaraq 1-dən kiçik əlaqə sabiti olan Type IIB sim nəzəriyyəsi ilə eynidir.

İndiyə Kimi Xülasə

Gəlin, harada olduğumuzu görək. 1980-ci illərin ortalarına qədər, fiziklər beş fərqli supersim nəzəriyyəsi qurmuşdular. Bu nəzəriyyələr, təqribən perturbasiya nəzəriyyəsi əsasında, bir-birindən fərqli kimi görünürdü. Ancaq bu təqribən düzgün yanaşma yalnız sim nəzəriyyəsindəki əlaqə sabiti 1-dən kiçik olduqda keçərlidir. Fiziklər əvvəlcə düşünürdülər ki, onlar hər bir sim nəzəriyyəsinin əlaqə sabitinin dəqiq qiymətini hesablaya biləcəklər, lakin mövcud təqribən tənliklər bunu mümkün etmir. Buna görə də, fiziklər hər bir beş sim nəzəriyyəsini əlaqə sabitlərinin müxtəlif dəyərləri üçün araşdırmağa çalışırdılar, yəni həm zəif, həm də güclü əlaqə halları üçün. Lakin ənənəvi perturbativ metodlar, sim nəzəriyyələrinin güclü əlaqə xüsusiyyətləri barədə heç bir məlumat vermir.

Son zamanlarda isə, supersimetriyanın gücündən istifadə edərək, fiziklər sim nəzəriyyəsinin güclü əlaqə xüsusiyyətlərini necə hesablamağı öyrəndilər. Və sahədəki əksər insanları təəccübləndirən bir şəkildə, Heterotik-O sim-nin güclü əlaqə xüsusiyyətləri, Type I sim-nin zəif əlaqə xüsusiyyətlərinə tam uyğun gəlir və əksinə. Bundan əlavə, Type IIB sim-nin güclü əlaqə fiziki, əlaqəsi zəif olduğunda öz xüsusiyyətləri ilə eynidir. Bu gözlənilməz əlaqələr, bizi Witten-in ardınca getməyə və digər iki sim nəzəriyyəsi olan Type IIA və Heterotik-E ilə əlaqəli daha çox sürprizlər tapmağa təşviq edir. Bunu başa düşmək üçün isə, qısa bir tarixi incələməyə ehtiyacımız var.

Superqravitasiya

1970-ci illərin sonları və 1980-ci illərin əvvəllərində, sim nəzəriyyəsinə marağın artmasından əvvəl, bir çox nəzəri fizik kvant mexanikası, cəlb və digər qüvvələri nöqtə-partikula kvant sahə nəzəriyyəsi çərçivəsində birləşdirilmiş nəzəriyyə axtarırdılar. Ümid edirdilər ki, nöqtə-partikula nəzəriyyələrində cəlb və kvant mexanikası arasında yaranan uyğunsuzluqlar, çoxlu simmetriya olan nəzəriyyələr araşdırılmaqla dəf oluna bilər. 1976-

cı ildə Daniel Freedman, Sergio Ferrara və Peter Van Nieuwenhuizen, o zamanlar Stony Brook'dakı New York Dövlət Universitetində işləyən fiziklər, ən ümidverici nəzəriyyələrin supersimmetriya ilə əlaqəli olduğunu kəşf etdilər, çünki bosonların və fermionların kvant dalğalanmalarını ləğv etmə tendensiyası mikroskopik çaxnaşmanı sakitləşdirməyə kömək edir. Müəlliflər, ümumi nisbilik nəzəriyyəsini daxil etməyə çalışan supersimmetrik kvant sahə nəzəriyyələrini təsvir etmək üçün "superqravitasiya" terminini icad etdilər. Ümumi nisbiliklə kvant mexanikasını birləşdirməyə çalışan bu cəhdlər nəhayət uğursuz oldu. Bununla belə, 8-ci fəsildə qeyd olunduğu kimi, bu araşdırmalardan alınan önəmli bir dərs var idi ki, bu da sim nəzəriyyəsinin inkişafını qabaqcadan xəbər verirdi.

Bu dərs, bəlkə də ən aydın şəkildə Eugene Cremmer, Bernard Julia və Scherk-in 1978-ci ildəki işləri vasitəsilə məlum oldu. Onlar, ən uğurlu cəhdlərin dörd ölçüdə deyil, daha çox ölçüdə formalaşdırılmış superqravitasiya nəzəriyyələri olduğunu kəşf etdilər. Xüsusilə, ən ümidverici olanlar on və ya on bir ölçülü nəzəriyyələr idi, və məlum olur ki, on bir ölçü ən çox mümkün olanıdır. Dörd müşahidə edilən ölçü ilə əlaqə isə bir daha Kaluza və Klein çərçivəsində qurulmuşdu: Əlavə ölçülər bükülmüşdü. On ölçülü nəzəriyyələrdə, sim nəzəriyyəsində olduğu kimi, altı ölçü bükülmüşdü, on bir ölçülü nəzəriyyədə isə yeddi ölçü bükülmüşdü.

1984-cü ildə sim nəzəriyyəsi fizikləri çox təsir etdiyi zaman, nöqtə-partikül superqravitasiya nəzəriyyələrinə baxış kəskin şəkildə dəyişdi. Dəfələrlə vurğulandığı kimi, əgər biz bir simi mövcud və yaxın gələcəkdəki dəqiqliklə araşdırsaq, o, nöqtə partikül kimi görünür. Bu qeyri-rəsmi fikri dəqiq şəkildə ifadə edə bilərik: Sim nəzəriyyəsindəki aşağı enerji proseslərini araşdırarkən — yəni, simin ultramikroskopik, uzadılmış təbiətini araşdırmağa gücü yetməyən proseslər — biz simi strukturdan məhrum nöqtə partikül kimi təxmini olaraq qəbul edə bilərik, bunu nöqtə-partikül kvant sahə nəzəriyyəsinin çərçivəsində edirik. Bu təxmini istifadə edə bilmirik, qısa məsafə və ya yüksək enerji prosesləri ilə məşğul olduqda, çünki biz bilirik ki, simin uzadılmış təbiəti, onun ümumi nisbilik və kvant mexanikası arasındakı qarşıdurmaları həll etmək qabiliyyətində mühüm rol oynayır, bu isə nöqtə-partikül nəzəriyyəsi ilə mümkün deyil. Lakin aşağı enerjilər — böyük məsafələr — bu problemlərlə qarşılaşmadığı üçün, belə bir təxmini tez-tez hesablama rahatlığı üçün tətbiq edilir.

Bu şəkildə sim nəzəriyyəsini ən yaxın şəkildə təxmini olaraq təmsil edən kvant sahə nəzəriyyəsi on ölçülü superqravitasiya nəzəriyyəsidir. 1970-ci illərdə və 1980-ci illərin əvvəllərində on ölçülü superqravitasiya nəzəriyyəsinin aşkar etdiyi xüsusi xüsusiyyətlər indi sim nəzəriyyəsinin əsas gücünün aşağı enerji yadigarı olaraq başa düşülür. On ölçülü superqravitasiya üzərində tədqiqat aparan tədqiqatçılar çox dərin bir buzdağının ucunu aşkar etmişdilər — supersim nəzəriyyəsinin zəngin strukturu. Əslində, məlum olur ki, dörd

müxtəlif on ölçülü superqravitasiya nəzəriyyəsi var və bunlar supersimmetriyanın necə daxil edildiyi ilə bağlı dəqiq fərqliliklər göstərir. Bunlardan üçü Type IIA simi, Type IIB simi və Heterotic-E siminin aşağı enerji nöqtə-partikül təxmini olduğunu aşkar edir. Dördüncüsü isə həm Type I simi, həm də Heterotic-O simi üçün aşağı enerji nöqtə-partikül təxmini verir; geriye dönüb baxdıqda, bu, bu iki sim nəzəriyyəsi arasındakı yaxın əlaqənin ilk göstəricisi idi. Bu çox sadə bir hekayədir, amma on bir ölçülü superqravitasiya nəzəriyyəsinin soyuq kənardə qaldığı görünür. On ölçülü olaraq formalaşdırılmış sim nəzəriyyəsi on bir ölçülü nəzəriyyəyə yer vermir. Bir neçə il ərzində əksər, amma bütün sim nəzəriyyəçilərinin qəbul etdiyi ümumi fikir, on bir ölçülü superqravitasiya nəzəriyyəsinin sim nəzəriyyəsinin fizikasına heç bir əlaqəsi olmayan riyazi bir qəribəlik olduğu idi.

M-nəzəriyyəsinin parıltıları

İndi vəziyyət çox fərqlidir. 1995-ci ildəki Sims konfransında, Witten, əgər Type IIA simindən başlayıb onun bağlanma sabitliyini 1-dən çox olan bir dəyərə qədər artırısaq, hələ də təhlil edə bildiyimiz fizika (əsasən BPS ilə doymuş konfigurasiyalar) aşağı enerji təxmini olaraq on bir ölçülü superqravitasiya nəzəriyyəsi ilə uyğun gəlir deyə bildi. Witten bu kəşfi elan edəndə, bu, tamaşaçıları heyrləndirdi və o vaxtdan bəri sim nəzəriyyə cəmiyyətini silkələdi. Sahədəki demək olar ki, hər kəs üçün bu, tamamilə gözlənilməz bir inkişaf oldu. Bu nəticəyə ilk reaksiyanız, sahədəki bir çox mütəxəssisin reaksiyası ilə eyni ola bilər: Necə olur ki, on bir ölçülü bir nəzəriyyə, on ölçülü başqa bir nəzəriyyə ilə əlaqəli ola bilər? Cavab dərin əhəmiyyətə malikdir. Anlamaq üçün, Witten-in nəticəsini daha dəqiq şəkildə izah etməliyik. Əslində, əvvəlcə Witten və Princeton Universitetində postdoktorat tədqiqatçı olan Petr Hořava tərəfindən sonra kəşf edilən bir nəticəni təsvir etmək daha asandır, bu nəticə Heterotic-E siminə yönəlidir. Onlar, Heterotic-E siminin güclü bağlı vəziyyətinin də on bir ölçülü bir təsviri olduğunu tapdılar və Şəkil 12.7 bunu izah edir. Şəkilin ən sol hissəsində, Heterotic-E siminin bağlanma sabitliyini 1-dən çox olmayan bir dəyərə götürürük. Bu, əvvəlki fəsillərdə təsvir etdiyimiz və sim nəzəriyyəçilərinin on ildən çoxdur ki, araşdırdıqları sahədir. Şəkil 12.7-də sağa doğru hərəkət edərkən, bağlanma sabitliyinin ölçüsünü ardıcıl olaraq artırırıq. 1995-dən əvvəl, sim nəzəriyyəçiləri bildirdilər ki, bu, dövrə proseslərini (Şəkil 12.6-da göstərilir) daha əhəmiyyətli edəcək və bağlanma sabitliyi böyüdükcə, nəticədə bütün perturbativ çərçivəni etibarsız edəcək. Lakin heç kim təsəvvür etmirdi ki, bağlanma sabitliyi böyüdükcə yeni bir ölçü görünməyə başlayır! Bu, Şəkil 12.7-də göstərilən "şaquli" ölçüdür. Yadda saxlayın ki, bu şəkildən əvvəlki iki ölçülü

şəbəkə Heterotic-E siminin bütün doqquz məkan ölçüsünü təmsil edir. Beləliklə, yeni, şaquli ölçü onuncu məkan ölçüsünü təmsil edir ki, bu da zamanla birlikdə bizi ümumi on bir ölçülü zaman-məkan sisteminə gətirir. Əlavə olaraq, Şəkil 12.7 bu yeni ölçünün dərin nəticəsini göstərir. Bu ölçü böyüdükcə, Heterotic-E siminin strukturu dəyişir. Bağlanma sabitliyinin ölçüsünü artırdıqca, o, bir ölçülü dövrədən zolağa və sonra deformasiyaya uğramış silindrə çevrilir! Başqa sözlə, Heterotic-E simi əslində iki ölçülü bir membranadır, onun enliyi (Şəkil 12.7-də şaquli ölçü) bağlanma sabitliyinin ölçüsü ilə idarə olunur. On ildən çoxdur ki, sim nəzəriyyəçiləri bağlanma sabitliyinin çox kiçik olduğunu qəbul edən perturbativ üsullardan istifadə edirlər. Witten-in irəlilədiyi kimi, bu qəbul əsaslı maddələrə bir ölçülü simlər kimi görünmək və davranmaq təəssüratı yaratmışdır, halbuki onlar əslində gizli olan ikinci bir məkan ölçüsünə sahibdirlər. Bağlanma sabitliyinin çox kiçik olduğu qəbulunu ləğv edərək və Heterotic-E siminin güclü bağlanma sabitliyindəki fizikasını nəzərdən keçirərək, ikinci ölçü görünür olur. Bu anlayış əvvəlki fəsillərdə çıxardığımız heç bir nəticəni keçərsiz etmir, amma bizi onları yeni bir çərçivədə görməyə məcbur edir. Məsələn, bu, sim nəzəriyyəsi üçün tələb olunan bir zaman və doqquz məkan ölçüsünün necə uyğunlaşdığı ilə əlaqədardır? Xatırlayırsınızsa, 8-ci fəsildə, bu məhdudiyyətin bir simin nə qədər müstəqil istiqamətdə vibrasiya edə biləcəyini saymaqdan irəli gəldiyini və bu sayın, kvant mexaniki ehtimalların məqbul dəyərlərə sahib olmasını təmin etmək üçün düzgün olması lazım olduğunu qeyd etmişdik. Yalnızca açığa çıxardığımız yeni ölçü, Heterotic-E siminin vibrasiya edə biləcəyi bir ölçü deyil, çünki bu, "simlər"-in strukturunda qapalı olan bir ölçüdür. Başqa sözlə, fizikaçılar tərəfindən on ölçülü zaman və məkanın tələbini çıxarmaqda istifadə edilən perturbativ çərçivə əvvəlcə Heterotic-E bağlanma sabitliyinin kiçik olduğunu qəbul edirdi. Bu, çox sonra fərq edilsə də, bu, iki qarşılıqlı uyğunlaşdırılmış yaxınlaşmanı özü ilə gətirirdi: Şəkil 12.7-də membranın eni kiçikdir, bu da onu bir sim kimi göstərir, və on birinci ölçü o qədər kiçikdir ki, perturbativ tənliliklərin həssaslığını aşır. Bu yaxınlaşma çərçivəsində, biz on ölçülü bir kainat təsəvvür edirik ki, içində bir ölçülü simlər var. İndi isə görürük ki, bu, yalnızca iki ölçülü membranlar ehtiva edən on bir ölçülü bir kainatın təxmini bir obrazıdır.

Texniki səbəblərdən, Witten ilk olaraq on birinci ölçünü Type IIA siminin güclü bağlanma xüsusiyyətlərini araşdırarkən kəşf etdi və burada hekayə çox bənzərdir. Heterotic-E nümunəsində olduğu kimi, burada da on birinci ölçü var və onun ölçüsü Type IIA bağlanma sabiti ilə idarə olunur. Bu sabit artırıldıqca, yeni ölçü böyüyür. Witten burada iddia etdi ki, Type IIA simi, Heterotic-E halında olduğu kimi, zolağa uzanmaq yerinə, "daxili boru"ya genişlənir, bu da Şəkil 12.8-də təsvir edilmişdir. Yenə də, Witten bildirdi ki, nəzəriyyəçilər həmişə Type IIA simlərini bir ölçülü obyektlər kimi görmüşlər, yalnız uzunluğu var, amma qalınlığı yoxdur; bu baxış, sim bağlanma sabitinin kiçik olduğu qəbul edilən perturbativ yaxınlaşma çərçivəsinin bir əksidir. Əgər təbiət bu bağlanma sabitinin kiçik dəyərini tələb

edirsə, bu, etibarlı bir yaxınlaşmadır. Bununla yanaşı, Witten və digər fizikaçıların ikinci supersim inqilabı zamanı irəli sürdükləri arqumentlər, Type IIA və Heterotic-E "simlərinin" əsasən iki ölçülü membranlar olduğunu və on bir ölçülü bir kainatda yaşadıklarını güclü dəlillərlə göstərir.

Bəs bu on bir ölçülü nəzəriyyə nədir? Aşağı enerji səviyyələrində (Plank enerjisindən kiçik) Witten və başqaları iddia etdilər ki, bu, uzun müddət nəzərdən qaçırılmış on bir ölçülü supergravitasiya kvant sahə nəzəriyyəsi ilə təxmini olaraq təsvir edilir. Amma yüksək enerjilər üçün bu nəzəriyyəni necə təsvir edə bilərik? Bu mövzu hal-hazırda intensiv şəkildə araşdırılır. Şəkil 12.7 və 12.8-dən bildiyimizə görə, on bir ölçülü nəzəriyyə iki ölçülü genişlənmiş obyektlər—iki ölçülü membranlar ehtiva edir. Və tezliklə müzakirə edəcəyimiz kimi, digər ölçülərə sahib genişlənmiş obyektlər də mühüm rol oynayır. Amma bu on bir ölçülü nəzəriyyənin nə olduğunu bir qədər qarışıq xüsusiyyətlərdən başqa heç kim bilmir. Membranlar onun əsas tərkib hissələridirmi? Onun müəyyən edən xüsusiyyətləri nədir? Fizika ilə necə əlaqə qurmağa çalışır? Əgər müvafiq bağlanma sabitləri kiçikdirsə, bu sualların ən yaxşı mövcud cavabları əvvəlki fəsillərdə təsvir edilmişdir, çünki kiçik bağlanma sabitlərində biz sim nəzəriyyəsinə qayıdırıq. Amma bağlanma sabitləri kiçik deyilsə, bu sualların cavablarını heç kim bilmir.

On bir ölçülü nəzəriyyə nə olursa olsun, Witten onu müvəqqəti olaraq M-nəzəriyyəsi adlandırır. Bu ad müxtəlif insanlar üçün müxtəlif mənalar kəsb edir. Bəzi nümunələr: Sırr Nəzəriyyəsi (Mystery Theory), Ana Nəzəriyyəsi (Mother Theory, yəni "Bütün Nəzəriyyələrin Anası"), Membran Nəzəriyyəsi (çünki nə olursa olsun, membranlar hekayənin bir hissəsi kimi görünür), Matris Nəzəriyyəsi (Rutgers Universitetindən Tom Banks, Texas Universitetindən Willy Fischler, Rutgers Universitetindən Stephen Shenker və Susskind tərəfindən edilmiş son işə istinadən, bu nəzəriyyənin yeni bir təfsiri təklif edilir). Lakin, adı və ya xüsusiyyətləri barədə tam bir anlayışa sahib olmasaq da, artıq aydındır ki, M-nəzəriyyəsi bütün beş sim nəzəriyyəsinə birləşdirən vahid bir substrat təqdim edir.

M-Nəzəriyyəsi və Bağlantılar Şəbəkəsi

Köhnə bir atalar sözündə üç kor insan və bir fil haqqında danışılır. Birinci kor insan filin fildişi dişini tutub, hiss etdiyi hamar, sərt səthi təsvir edir. İkinci kor insan filin ayaqlarından birini tutub, hiss etdiyi möhkəm, əzələli bədəni təsvir edir. Üçüncü kor insan filin quyuğunu tutub, hiss etdiyi nazik və dartılmış appendiksi təsvir edir. Onların hər birinin təsvirləri o qədər fərqlidir ki, və heç biri digərlərini görə bilmir, hər biri fərqli bir heyvanı tutduğunu düşünür. Bir çox illər ərzində fiziklər də bu kor insanlara bənzəyirdilər, müxtəlif sim nəzəriyyələrinin çox fərqli olduğunu düşündülər. Lakin indi ikinci supersim

inqilabının əldə etdiyi nəticələr sayəsində, fiziklər M-nəzəriyyəsinin beş sim nəzəriyyəsinin birləşdirici fil olduğunu başa düşdülər. Bu fəsildə, perturbativ çərçivədən kənara çıxdığımız zaman sim nəzəriyyəsinin anlayışımızda baş verən dəyişiklikləri müzakirə etdik—bu çərçivə, bu fəsilə qədər istifadə edilən çərçivə idi. Şəkil 12.9, indiyə qədər tapdığımız əlaqələri ümumiləşdirir, oxatmalarla qarşılıqlı nəzəriyyələri göstərir. Gördüyünüz kimi, əlaqələrin bir şəbəkəsini qurduq, amma hələ tam deyil. 10-cu fəsildəki dualıqları da əlavə edərək, işi tamamlaya bilərik. Böyük/kiçik dövrə radiusunun duallığını xatırlayın ki, bu, radiusu R olan bir dövrəlini $1/R$ olan bir radiusla dəyişdirir. Əvvəlki fəsildə bu duallığın bir aspektini sadələşdirmişdik, amma indi bunu aydınlaşdırmalıyıq. 10-cu fəsildə, bir dövrəlili ölçüyə sahib bir universumda simlərin xüsusiyyətlərini müzakirə etmişdik, amma hansı beş sim formulasyasından işlədiyimizi diqqətlə müəyyən etməmişdik. Biz qeyd etdik ki, simin sarılma və vibrasiya modlarının dəyişməsi, radiusu $1/R$ olan dövrəli bir ölçüyə sahib bir universumun sim nəzəriyyəvi təsvirini radiusu R olan bir universumun təsvirinə çevirməyə imkan verir. Bizim sadələşdirdiyimiz nöqtə budur ki, Type IIA və Type IIB sim nəzəriyyələri bu dualıqla əvəz olunur, eləcə də Heterotic-O və Heterotic-E simləri də. Yəni, böyük/kiçik radius dualığının daha dəqiq ifadəsi belədir: Type IIA siminin radiusu R olan dövrəli bir ölçüyə sahib bir universumdakı fizika, Type IIB siminin radiusu $1/R$ olan dövrəli bir ölçüyə sahib bir universumdakı fizika ilə tamamilə eynidir (eyni ifadə Heterotic-E və Heterotic-O simləri üçün də doğrudur). Bu böyük/kiçik radius dualığının təkmilləşdirilməsi 10-cu fəsildəki nəticələrə əhəmiyyətli təsir etməsə də, bu, indiki müzakirə üçün mühüm bir təsirə malikdir.

Səbəb odur ki, böyük/kiçik radius dualığı, Type IIA və Type IIB sim nəzəriyyələri arasında, eləcə də Heterotic-O və Heterotic-E nəzəriyyələri arasında əlaqə quraraq, Şəkil 12.10-da göstərildiyi kimi, əlaqələri tamamlayır. Bu şəkil göstərir ki, bütün beş sim nəzəriyyəsi və M-nəzəriyyəsi bir-birinə dualdır. Onlar hamısı bir-birinə birləşdirilmiş tək bir nəzəri çərçivəyə daxil edilmişdir; bunlar eyni əsas fizikanı təsvir etmək üçün beş fərqli yanaşma təmin edir. Bəzi tətbiqlər üçün bir ifadə digərindən çox daha effektiv ola bilər. Məsələn, zəif əlaqəli Heterotic-O nəzəriyyəsi ilə işləmək, güclü əlaqəli Type I sim ilə işləməkdən çox daha asandır. Lakin bunlar tam olaraq eyni fizikanı təsvir edirlər.

Ümumi Şəkil

İndi bu fəsildə təqdim etdiyimiz iki şəkil — Şəkil 12.1 və Şəkil 12.2 — daha tam şəkildə anlama bilərik. Şəkil 12.1-də görürük ki, 1995-ci ildən əvvəl, heç bir dualıq nəzərə alınmadan, beş ayrı-ayrı sim nəzəriyyəsi var idi. Müxtəlif fizikaçılar hər biri üzərində işləyirdilər, amma dualıqlar barədə anlayış olmadığından, bu nəzəriyyələr bir-birindən fərqli nəzəriyyələr kimi görünürdü. Hər bir nəzəriyyə özəllikləri ilə fərqlənirdi, məsələn, onların əlaqə sabitliyinin ölçüsü və bükülmüş ölçülərin geometrik forması və ölçüləri.

Ümid var idi (və hələ də var) ki, bu müəyyən edici xüsusiyyətlər nəzəriyyə tərəfindən müəyyən ediləcək, amma mövcud təxmini tənliklərlə onları təyin etmək mümkün olmadığından, fizikaçılar təbii olaraq müxtəlif mümkün nəticələri öyrənmişdilər. Bu, Şəkil 12.1-də kölgələnmiş sahələrlə təmsil olunur — bu sahələrdəki hər bir nöqtə əlaqə sabitliyi və bükülmüş coğrafiyanın müəyyən bir seçimini göstərir. Heç bir dualıq tətbiq etmədən, hələ də beş ayrı-ayrı nəzəriyyə (kümələri) var. Amma indi, müzakirə etdiyimiz bütün dualıqları tətbiq etsək, əlaqə və coğrafiya parametrlərini dəyişdirərək, bir nəzəriyyədən digərinə keçə bilərik, təkcə M-nəzəriyyəsinin birləşdirici mərkəzi sahəsini də daxil etsək; bu, Şəkil 12.2-də göstərilmişdir. Baxmayaraq ki, biz hələ M-nəzəriyyəsinə tam başa düşmürük, bu dolayı arqumentlər onun beş naiv şəkildə fərqli olan sim nəzəriyyəsinə birləşdirən əsas struktur təmin etdiyini güclü şəkildə dəstəkləyir. Bundan əlavə, M-nəzəriyyəsinin hələ bir altıncı nəzəriyyə — on bir ölçülü supergravitasiyaya — sıx bağlı olduğunu öyrəndik və bu, Şəkil 12.11-də göstərilmişdir, bu şəkil Şəkil 12.2-nin daha dəqiq bir versiyasıdır. Şəkil 12.11 göstərir ki, M-nəzəriyyəsinin əsas ideyaları və tənlikləri, hələlik yalnız qismən başa düşülmüş olsa da, bütün sim nəzəriyyələrinin formulalarındakı əsasları birləşdirir. M-nəzəriyyəsi, sim nəzəriyyəçilərinin daha geniş və vahid bir çərçivəyə açıq gözlərini açan nəzəri fil əjdaha kimidir.

M-nəzəriyyəsinin təəccüblü bir xüsusiyyəti "uzadılmanın demokratiyası"dır.

Əgər sim bağlama sabiti kiçikdirsə, nəzəriyyənin xəritəsindəki beş üst regiondan hər hansı birində, nəzəriyyənin əsas tərkib hissəsi bir ölçülü ip olaraq görünür. Lakin biz bu müşahidəyə yeni bir perspektiv qazandıq. Əgər biz Heterotik-E və ya Type IIA bölgələrindən birində başlayıb, müvafiq sim bağlama sabitlərinin dəyərini artırıbsaq, biz Şəkil 12.11-də xəritənin mərkəzinə doğru hərəkət edirik və bir ölçülü simlər iki ölçülü membranalara çevrilir. Bundan əlavə, həm sim bağlama sabitlərini, həm də burulmuş məkan ölçülərinin detallı formasını əhatə edən daha mürəkkəb bir dualite əlaqələri ardıcılıqlı vasitəsilə, biz Şəkil 12.11-dəki hər hansı bir nöqtədən digərinə hamar və davamlı şəkildə keçə bilərik. Heterotik-E və Type IIA perspektivlərindən gəldiyimiz iki ölçülü membranları izlədikcə, bu membranların beş sim formulundan hər birində də mövcud olduğunu öyrənirik. Bu, iki sual doğurur. Birincisi, iki ölçülü membranlar sim nəzəriyyəsinin həqiqətən əsas tərkib hissəsidirmi? İkincisi, 1970-ci illərin sonları və 1980-ci illərin əvvəlində sıfır ölçülü nöqtə hissəciklərindən bir ölçülü simlərə keçmişkən, indi görürük ki, sim nəzəriyyəsi əslində iki ölçülü membranları əhatə edir, ola bilsin ki, nəzəriyyədə daha yüksək ölçülü komponentlər də mövcuddur? Hazırda bu sualların cavabları tam olaraq məlum deyil, amma vəziyyət aşağıdakı kimi görünür.

Biz, sim nəzəriyyəsinin hər bir formulunu, perturbativ yaxınlaşdırma metodlarının etibarlılıq sahəsindən kənarda daha yaxşı başa düşmək üçün supersimmetriya ilə güclü şəkildə əlaqələndirik. Xüsusilə, BPS vəziyyətlərinin xüsusiyyətləri, onların kütlələri və qüvvə yükü supersimmetriya ilə unikal şəkildə təyin olunur və bu, bizə onların güclü əlaqələndirilmiş xüsusiyyətlərini, heyrətamiz çətinliklərlə birbaşa hesablamalar etmədən başa düşməyə imkan verdi. Əslində, Horowitz və Strominger'in ilkin söyləri və Polçinski'nin sonrakı mühüm işləri sayəsində biz artıq bu BPS vəziyyətləri haqqında daha çox məlumat əldə etmişik. Xüsusilə, yalnız onların kütlələrini və daşıdıqları qüvvə yükünü deyil, həm də onların necə göründüyünü açıq şəkildə başa düşürük. Və bu şəkil, bəlkə də, ən təəccüblü inkişafdır. Bəzi BPS vəziyyətləri bir ölçülü simlərdir. Digərləri isə iki ölçülü membranlardır. Artıq bu şəkillər tanışdır. Lakin sürpriz odur ki, başqaları üç ölçülü, dörd ölçülü — əslində, mümkün olan bütün ölçülər doqquzuncu ölçüyə qədər daxildir. Sim nəzəriyyəsi və ya M-nəzəriyyəsi, nəhayət nə adlandırılarsa da, əslində müxtəlif ölçülü bir sıra uzadılmış obyektlərə malikdir. Fiziklər üç ölçülü uzadılmış obyektləri təsvir etmək üçün "üç-bran" terminini, dörd ölçülü olanları üçün "dörd-bran" və s. adlandırıblar, doqquz-branlara qədər (ümumiyyətlə, p ölçülü bir obyekt üçün, burada p tam ədəd olaraq göstərilir, fiziklər "p-bran" adlı, eyni zamanda səsli olmayan bir terminologiya istifadə ediblər). Bəzən bu terminologiyayı istifadə edərək, simlər bir-bran, membranlar isə iki-bran olaraq təsvir olunur. Bütün bu uzadılmış obyektlərin nəzəriyyənin bir hissəsi olduğu faktı Paul Townsend'i "branların demokratiyası"nı elan etməyə vadar edib.

Bununla yanaşı, brane demokratiyasına baxmayaraq, simlər — bir ölçülü uzadılmış obyektlər — aşağıdakı səbəbdən xüsusi hesab olunur. Fiziklər göstərmişlər ki, hər bir ölçüdəki uzadılmış obyektin kütləsi, bir ölçülü simlərdən başqa, əlaqəli sim əlaqələndirici sabitinin dəyəri ilə tərs mütənasibdir, əgər biz 12.11-ci Şəkildəki beş sim regionlarından birində isək. Bu o deməkdir ki, zəif sim əlaqələndirici sabitində, beş formuldan hər birində, simlərdən başqa hamısı çox ağır olacaq — Plank kütləsindən dəfələrlə ağır olacaq. Çünki onlar o qədər ağırdır və buna görə də $E = mc^2$ düsturundan, onların istehsal olunması üçün inanılmaz dərəcədə yüksək enerji tələb olunur, branelər çoxlu fizika üzərində kiçik təsir göstərir (amma hamısı deyil, növbəti fəsildə gördüyümüz kimi). Lakin, biz 12.11-ci Şəkildəki yarımada regionlardan kənara çıxdıqda, daha yüksək ölçülü branelər daha yüngülləşir və buna görə də getdikcə daha vacib olur.

Beləliklə, beyninizdə canlandırılmalı olduğunuz görüntü aşağıdakı kimidir. 12.11-ci Şəkilin mərkəzi regionunda, əsas tərkib hissələri yalnız simlər və ya membranlar deyil, müxtəlif ölçülü "brane"lərdən ibarət olan bir nəzəriyyə var və bunlar demək olar ki, bərabər səviyyədədir. Hazırda bu tam nəzəriyyənin bir çox vacib xüsusiyyətlərini dərinlən başa

düşmürük. Amma bildiyimiz bir şey var: Mərkəzi regiondan hər hansı bir yarımada regionuna keçdikcə yalnız simlər (və ya membranlar, 12.7 və 12.8-ci Şəkillərdə göstəriləndi kimi, daha çox simə bənzəmək üçün yığılmış) o qədər yüngül olur ki, bunlar bizim bildiyimiz fizika ilə əlaqəyə girməyə imkan verir — 1.1-ci Cədvəldəki hissəciklər və onlar arasındakı qarşılıqlı əlaqə üçün dörd qüvvə. Sim nəzəriyyəçilərinin iki onillikdən artıq bir müddətdir istifadə etdiyi perturbativ analizlər, digər ölçülərin super-massiv uzadılmış obyektlərinin mövcudluğunu belə aşkar etməyə yetərinə incələşdirilməyib; simlər analizlərə hakim oldu və nəzəriyyə sim nəzəriyyəsi kimi, demək olar ki, demokratiyadan uzaq bir adla təqdim edildi. Yenə də, 12.11-ci Şəkilin bu bölgələrində, əksər hallarda, yalnız simləri nəzərə alaraq hərəkət etməyimiz düzgün hesab olunur. Əslində, bu, biz bu kitabda bu qədərini etdik. Lakin indi görürük ki, əslində nəzəriyyə əvvəlcədən təsəvvür edildiyindən daha zəngin və mürəkkəbdir.

Bəs, bu, sim nəzəriyyəsinə cavabsız sualları həll edirmi?

Bəli və xeyr. Biz, əslində, sim fizikasının doğru nəticələri əvəzinə, perturbativ təqrib metodların nəticəsi olan bəzi qənaətləri kənara qoyaraq, anlayışımızı dərinləşdirməyə müvəffəq olduq. Lakin, bizim cari qeyri-perturbativ alətlərimizin həddləri olduqca məhduddur. İnanılmaz dualite əlaqələri şəbəkəsinin kəşfi bizə sim nəzəriyyəsinə daha böyük bir anlayış verir, amma bir çox məsələlər hələ də həll olunmayıb. Hazırda, məsələn, sim cütləmə sabitliyinin dəyəri ilə bağlı təqribi tənlidlərdən necə irəliləmək lazım olduğunu bilmirik — bu tənlidlər, gördüyümüz kimi, bizə heç bir faydalı məlumat vermək üçün kifayət qədər dəqiq deyil. Həmçinin, niyə dəqiq olaraq üç uzadılmış məkan ölçüsünün olduğunu və ya yığılmış ölçülərin detallı formasını necə seçəcəyimizi də daha yaxşı başa düşmürük. Bu suallar, hazırda sahib olduğumuzdan daha dəqiq qeyri-perturbativ metodlar tələb edir.

Lakin, biz sim nəzəriyyəsinin məntiqi strukturu və nəzəri çərçivəsi haqqında çox dərin bir anlayışa sahibik. 12.11-ci Şəkildə ümumiləşdirilən anlayışlardan əvvəl, hər bir sim nəzəriyyəsinin güclü cütləmə davranışı tamamilə qaranlıq bir qutu, tam bir sirr idi. Köhnə xəritələrdə olduğu kimi, güclü cütləmə sahəsi hələ öyrənilməmiş ərazilər idi və burada canavarlar və dəniz canavarı ola bilərdi. Amma indi görürük ki, güclü cütləməyə doğru səyahət, bizi M-nəzəriyyəsinin tanımadığımız bölgələrindən keçirərək, nəticədə bizi zəif cütləmə sahələrinə qaytarır — yalnız əvvəlcə fərqli bir sim nəzəriyyəsi olduğu düşünülməyən bir dil ilə.

Dualite və M-nəzəriyyəsi beş sim nəzəriyyəsinə birləşdirir və vacib bir nəticəni təklif edir. Ola bilsin ki, bu yaxınlarda müzakirə edilən sürprizlərə bənzər digər sürprizlər bizim kəşf

etməyimizi gözləməsin. Bir kartoqraf dünyada hər bir regionu sferik qlobusda doldura bildikdə, xəritə tamamlanmış olur və coğrafi biliklər tamdır. Bu, Antarktidada və ya Mikroneziyanın izolyasiya olunmuş adasında aparılan araşdırmaların elmi və mədəni dəyərdən məhrum olduğu demək deyil. Sadəcə olaraq, coğrafi kəşfiyyat dövrü sona çatıb. Qlobusda heç bir boş yerin olmaması bunu təmin edir. 12.11-ci Şəkildən istifadə olunan "nəzəriyyə xəritəsi" də sim nəzəriyyəçiləri üçün bənzər bir rol oynayır. Bu, beş sim quruluşundan hər hansı birinə yola çıxmaqla çatılabilən bütün nəzəriyyə sahələrini əhatə edir. Hələ M-nəzəriyyəsinin tam anlayışına çatmasaq da, xəritədə boş regionlar yoxdur. Kartoqraf kimi, sim nəzəriyyəçisi indi ehtiyatla optimist bir şəkildə iddia edə bilər ki, keçən əsrin əsas kəşflərini – xüsusi və ümumi nisbilik; kvant mexanikası; güc qüvvələrinin, zəif qüvvələrin və elektromaqnit qüvvələrinin gauge nəzəriyyələri; supersimmetriya; Kaluza və Klein'in əlavə ölçüləri – daxil edən məntiqi cəhətdən düzgün nəzəriyyələrin spektri 12.11-ci Şəkil tərəfindən tam xəritələnmişdir. Sim nəzəriyyəçisi və ya bəlkə də M-nəzəriyyəçisi üçün ən böyük çətinlik, 12.11-ci Şəkildəki nəzəriyyə xəritəsindən bir nöqtənin həqiqətən bizim kainatımızı təsvir etdiyini göstərməkdir. Bunu etmək üçün, bu çətin nöqtəni xəritədə seçəcək tam və dəqiq tənlikləri tapmaq və sonra uyğun fizikanı elmi təcrübələrlə müqayisə etmək üçün kifayət qədər dəqiqliklə başa düşmək lazımdır. Witten'in dediyi kimi: "M-nəzəriyyəsinin həqiqətən nə olduğunu başa düşmək—o fizika ki, o təcəssüm etdirir—kainatın təbiətini başa düşməyimizi ən azından keçmişdəki böyük elmi inqilablarla müqayisədə eyni dərəcədə radikal şəkildə dəyişdirəcək." Bu, iyirmi birinci əsrdə birləşmə proqramıdır.

Fəsil 13

Qara Dəlirlər: Bir Sim/M-Nəzəriyyə Perspektivi

Sim nəzəriyyəsinə əvvəl ümumi nisbilik və kəmiyyət mexanikası arasındakı münaqişə, təbiət qanunlarının vahid və uyğun bir şəkildə birləşməli olduğunu düşündüyümüz daxili hissimizə qarşı bir təhqir idi. Lakin bu qarşıdurma yalnızca böyük bir abstrakt ayrılıqdan ibarət deyildi. Böyük partlayışın anındakı və qara dəlirlər içindəki ekstremal fiziki şərtlər, qravitasiya qüvvəsinin kvant mexaniki formuluna malik olmadan başa düşülə bilməz. Sim nəzəriyyəsinin kəşfi ilə artıq bu dərinə gizli sirrləri həll etmək ümidi yaranıb. Bu fəsildə və növbəti fəsildə, sim nəzəriyyəçilərinin qara dəlirlər və kainatın mənşəyi ilə bağlı nə qədər irəlilədiklərini izah edirik.

Qara Dəlirlər və Əsas Parçalar

İlk baxışdan, qara dəlirlərlə əsas parçalar arasında daha radikal fərqli şeyləri təsəvvür etmək çətin görünür. Biz adətən qara dəlirləri ən böyük səma cisimləri kimi təsəvvür edirik, halbuki əsas parçalar maddənin ən kiçik nöqtələridir. Lakin 1960-cı illərin sonları və 1970-ci illərin əvvəllərində, Demetrios Xristodulu, Werner İsrail, Richard Price, Brandon Carter, Roy Kerr, David Robinson, Hawking və Penrose daxil olmaqla bir neçə fizikin apardığı araşdırmalar, qara dəlirlərlə əsas parçaların düşündüyümüz qədər fərqli olmaya biləcəyini göstərdi. Bu fizika alimləri, John Wheeler'in "qara dəlirlərin tükləri yoxdur" ifadəsi ilə ümumiləşdirdiyi, getdikcə daha inandırıcı dəlillər tapdılar. Wheeler bununla demək istəyirdi ki, bir neçə kiçik fərqli xüsusiyyət xaricində, bütün qara dəlirlər bir-birinə bənzəyir. Fərqli xüsusiyyətlər? Birincisi, əlbəttə ki, qara dəliyin kütləsidir. Bəs digərləri hansılardır? Araşdırmalar göstərmişdir ki, bunlar elektrik və bəzi digər qüvvə yükü, həmçinin onun fırlanma sürətidir. Və bu qədər. Eyni kütlə, qüvvə yükü və fırlanma sürətinə sahib olan hər iki qara dəlik tamamilə eynidir. Qara dəlirlərdə heç bir "saç düzümlü" yoxdur — yəni, birini digərindən fərqləndirən başqa daxili xüsusiyyətlər. Bu, böyük bir zəngin səsini çalmalıdır. Yadınıza salın ki, məhz bu cür xüsusiyyətlər — kütlə, qüvvə yükü və fırlanma — bir əsas parçanı digərindən fərqləndirən xüsusiyyətlərdir. Təyin edici xüsusiyyətlərin oxşarlığı, bir sıra fizika alimlərini illər boyu qərribə bir fərziyyəyə gətirib çıxarmışdır: qara dəlirlər bəlkə də nəhəng əsas parçalar ola bilər.

Əslində, Eynşteynin nəzəriyyəsinə görə, qara dəliyin minimum kütləsi yoxdur. Əgər hər hansı bir maddə parçasını kifayət qədər kiçik ölçüyə sıxsaq, ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin sadə tətbiqi göstərir ki, bu maddə qara dəlikə çevriləcək. (Kütlə nə qədər yüngül olsa, onu o qədər kiçik sıxmalıyıq.) Buna görə də, düşüncə təcrübəsi olaraq, biz tədricən daha yüngül maddə toplarından başlayıb onları getdikcə daha kiçik qara dəlirlərə sıxaraq, nəticədə yaranan qara dəlirlərin xüsusiyyətlərini əsas parçaların xüsusiyyətləri ilə müqayisə edə bilərik. Wheeler'in "saç düzümlü yoxdur" ifadəsi bizi belə nəticəyə gətirir ki, kifayət qədər kiçik kütlələr üçün bu şəkildə yaratdığımız qara dəlirlər əsas parçalara çox bənzəyəcək. Hər ikisi də yalnız kütlə, qüvvə yükü və fırlanma ilə tamamilə xarakterizə olunan kiçik yığınlar kimi görünəcək.

Amma bir tələyə düşürük. Günəşin kütləsindən dəfələrlə ağır olan astrofizik qara dəlirlər o qədər böyük və ağırdır ki, kvant mexanikası əsasən əlaqəsiz olur və onların xüsusiyyətlərini başa düşmək üçün yalnız ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin tənlikləri istifadə edilməlidir. (Burada biz qara dəliyin ümumi strukturundan danışırıq, qara dəliddəki mərkəzi çöküş nöqtəsinin kiçik ölçüsünü nəzərə almırıq, çünki bu, mütləq kvant mexaniki

təsvir tələb edir.) Lakin biz daha az kütləli qara dəliklər yaratmağa çalışdıqca, bir nöqtəyə gəlinir ki, onlar o qədər yüngül və kiçik olurlar ki, kvant mexanikası nəzərə alınmalıdır. Bu, qara dəliyin ümumi kütləsi Plank kütləsi və ya daha az olduğu zaman baş verir. (Əsas hissəciklər fizikası baxıldığında, Plank kütləsi nəhəngdir — proton kütləsindən təxminən on milyard milyard dəfə ağırdır. Lakin qara dəliklər baxımından isə Plank kütləsi, orta ölçülü toz dənəsi ilə eyni olduğu üçün olduqca kiçikdir.) Beləliklə, kiçik qara dəliklər və əsas hissəciklərin yaxından əlaqəli olacağını irəli sürən fizikaçılar dərhal ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin — qara dəliklərin nəzəri mərkəzinin — və kvant mexanikasının uyumsuzluğu ilə üzləşdilər. Keçmişdə bu uyumsuzluq bu maraqlı istiqamətdə irəliləyişi dayandırmışdı.

Sim nəzəriyyəsi bizə irəli getməyə imkan verirmi?

Bəli, verir. Qara dəliklərin gözlənilməz və mürəkkəb bir təhlili vasitəsilə, sim nəzəriyyəsi qara dəliklər və əsas hissəciklər arasında ilk dəfə nəzəri cəhətdən düzgün əlaqə qurur. Bu əlaqəyə gedən yol bir qədər dolanbacdır, amma bizi sim nəzəriyyəsinin ən maraqlı inkişaflarından keçirərək, bu səyahəti dəyərləndirməyə dəyər edir. Bu, 1980-ci illərin sonlarından bəri sim nəzəriyyəçiləri tərəfindən müzakirə olunan, bir-biri ilə əlaqəsiz kimi görünən bir sualla başlayır. Riyaziyyatçılar və fizikaçılar uzun müddətdir ki, altı məkan ölçüsünün Calabi-Yau şəklində büküldükdə, bu şəklin toxuması içərisində ümumiyyətlə iki növ sferanın yerləşdiyini bilirlər. Birinci növ, iki ölçülü sferalar, məsələn, çimərlik topunun səthi kimi, 11-ci fəsildə məkanın yırtılmasına səbəb olan keçidlərdə mühüm rol oynayan sferalardır. Digər növ isə görməkdə çətinlik çəkilən, amma bərabər dərəcədə yayılmışdır. Bunlar üç ölçülü sferalardır—dörd uzanmış məkan ölçüsünə sahib bir kainatın çimərlik sahillərindəki çimərlik toplarının səthləri kimi. Əlbəttə, 11-ci fəsildə müzakirə etdiyimiz kimi, bizim dünyamızda adi bir çimərlik topu özlüyündə üç ölçülü bir obyekt olsa da, onun səthi—bir bağ hortumunun səthi kimi—iki ölçülüdür: Sadəcə iki ədəd—məsələn, enlik və boylam—istifadə edərək onun səthində hər hansı bir nöqtəni təyin edə bilərsiniz. Amma biz artıq bir məkan ölçüsü daha əlavə etdiyimizi təsəvvür edirik: dörd ölçülü bir çimərlik topu, səthi isə üç ölçülüdür. Belə bir çimərlik topunu ağılınızla təsəvvür etmək demək olar ki, mümkünsüzdür, buna görə də biz daha asanlıqla vizuallaşdırıla bilən daha aşağı ölçülü analoqlara müraciət edəcəyik. Lakin indi görəcəyimiz bir şey var ki, üç ölçülü sferaların səthinin bir aspekti çox mühüm əhəmiyyət daşıyır.

Sim nəzəriyyəsinin tənliklərini öyrənərək, fiziklər başa düşdülər ki, bu mümkündür və hətta ehtimal olunur ki, zaman keçdikcə bu üç ölçülü sferalar kiçilməyə—çökərək—praktik olaraq sıfıra qədər kiçilə bilər. Amma sim nəzəriyyəçiləri sual verdilər: məkanın toxuması bu cür çökərsə, nə baş verəcək? Bu cür məkanın sıxılmasının katastrəfik bir təsiri

olacaqmı? Bu, 11-ci fəsildə qaldırdığımız və həll etdiyimiz suala bənzəyir, amma burada biz üç ölçülü sferaların çöküşünə fokuslanırıq, 11-ci fəsildə isə yalnız iki ölçülü sferaların çöküşünə diqqət yetirmişdik. (11-ci fəsildəkindən fərqli olaraq, burada biz Calabi-Yau şəklinin bütövünün kiçilməsini deyil, yalnız bir hissəsinin kiçilməsini təsəvvür etdiyimiz üçün 10-cu fəsildəki kiçik radius/böyük radius tanımlamasına uyğun gəlmir.) İndi ölçülərin dəyişməsi nəticəsində yaranan əsas keyfiyyət fərqlərini görəcəyik. 11-ci fəsildən xatırlayırıq ki, əsas anlayışlardan biri budur ki, simlər məkan boyunca hərəkət etdikcə, onlar iki ölçülü bir sferanı əhatə edə bilər. Yəni, onların iki ölçülü dünyaları hər hansı bir iki ölçülü sferanı tamamilə sarıya bilər, 11.6-cı Şəkildə olduğu kimi. Bu, çökən, sıxılan iki ölçülü sferanın fiziki kataströflərə səbəb olmasının qarşısını almaq üçün kifayət qədər qoruma təmin edir. Lakin indi biz Calabi-Yau məkanında başqa növ sferaya baxırıq və bunun çox sayda ölçüsü olduğu üçün onu hərəkət edən bir sim tərəfindən əhatə etmək mümkün deyil. Əgər bunu görməkdə çətinlik çəkirsinizsə, ölçüləri bir vahid azaldaraq analogi fikirləşmək tamamilə doğrudur. Üç ölçülü sferaları adi çimərlik toplarının iki ölçülü səthləri kimi təsəvvür edə bilərsiniz, yalnız bir ölçülü simləri sıfır ölçülü nöqtə hissəcikləri kimi təsəvvür etdiyinizdən əmin olun. Sonra, sıfır ölçülü nöqtə hissəciyinin heç bir şeyi, hətta iki ölçülü sferanı belə əhatə edə bilmədiyi faktı ilə analogi olaraq, bir ölçülü simin üç ölçülü sferanı əhatə edə bilməyəcəyini düşünə bilərsiniz.

Bu cür məntiqi nəticələr sim nəzəriyyəçilərini Calabi-Yau məkanında üç ölçülü bir sferanın çökə biləcəyini irəli sürməyə vadar etdi. Bu, sim nəzəriyyəsində mükəmməl mümkün və hətta adi bir evrim olaraq təxminən tərtib edilmiş tənliliklərə görə, məkan toxumasının bu cür sıxılması kataklizmik bir nəticə verə bilərdi. Əslində, 1990-cı illərin ortalarına qədər inkişaf etdirilmiş sim nəzəriyyəsinin təxmini tənlilikləri, belə bir çöküş baş verərsə kainatın işinin dayanacağını göstərirdi; onlar sim nəzəriyyəsi tərəfindən təvazökar edilən bəzi sonsuzluqların, məkanın toxumasının bu cür sıxılması ilə azad olacağını göstərirdi. Bir neçə il ərzində, sim nəzəriyyəçiləri bu narahat edici, lakin qeyri-müəyyən anlayış vəziyyəti ilə yaşamaq məcburiyyətində qaldılar. Lakin 1995-ci ildə Andrew Strominger bu qorxulu təxəyyüllərin yanlış olduğunu göstərdi. Strominger, Witten və Seiberg-in əvvəlki qabaqcıl işlərindən ilhamlanaraq, sim nəzəriyyəsinin, ikinci supersim inqilabının yeni dəqiqliyi ilə təhlil edildikdə, yalnız bir ölçülü simlərin nəzəriyyəsi olmadığını fərqləndirdi. O, aşağıdakı kimi bir düşüncə ardıcılığına getdi. Bir ölçülü sim—bu sahənin yeni dilində bir-birinə bağlı brane—bir ölçülü məkan parçasını, məsələn, bir dairəni tamamilə əhatə edə bilər, bunu Şəkil 13.1-də göstəririk. (Qeyd etmək lazımdır ki, bu, Şəkil 11.6-dan fərqlənir, burada bir ölçülü sim zamanla hərəkət edərkən iki ölçülü sferanı lasso edirdi. Şəkil 13.1, zamanın bir anında çəkilən bir şəkil kimi baxılmalıdır.) Eynilə, Şəkil 13.1-də, iki ölçülü membran—iki-brane—iki ölçülü sferanın ətrafına dolanıb tamamilə örtə bilər, tıxaclı bir plastik örtüyün portağalın səthinə sıx bağlanması kimi. Vizualizasiya etmək daha çətin olsa da,

Strominger bu nümunəni izləyərək, sim nəzəriyyəsində yeni kəşf olunan üç ölçülü komponentləri—üç-branları—üç ölçülü sferanın ətrafına dolanıb tamamilə örtə biləcəyini anladı. Bu anlayışı əldə etdikdən sonra Strominger sadə və standart bir fizika hesablaması ilə göstərdi ki, sarılmış üç-brane, sim nəzəriyyəçilərinin əvvəllər bir üç ölçülü sferanın çökəcəyi təqdirdə baş verəcəyini qorxduğu bütün kataklizmik təsirləri tamamilə ləğv edən xüsusi hazırlanmış bir qalxan təmin edir. Bu, möhtəşəm və mühüm bir anlayış idi. Lakin onun tam gücü qısa bir müddət sonra aşkar olundu.

Fəzanın Parçalanması – İnamlı

Fizikada ən həyəcanverici şeylərdən biri budur ki, bilik vəziyyəti həqiqətən bir gecədə dəyişə bilər. Strominger öz məqaləsini elektron internet arxivində yerləşdirdikdən sonra, mən onu Kornel Universitetindəki ofisimdə oxudum, Dünya Şəbəkəsindən götürərək. Bir anda, Strominger sim nəzəriyyəsinin həyəcanverici yeni anlayışlarından istifadə edərək, əlavə ölçülərin Calabi-Yau məkanına bükülməsi ilə əlaqədar ən çətin məsələlərdən birini həll etmişdi. Amma onun məqaləsini düşündükcə, mənə elə gəldi ki, o, bəlkə də yalnız hekayənin yarısını çözmüşdü.

Əvvəlki fəza yırtılmasının flop-keçid işlərində (11-ci fəsildə izah olunduğu kimi), biz iki hissəli bir prosesi öyrənmişdik: bir ikiölçülü sferanın nöqtəyə sıxılması, bununla fəzanın yırtılması və sonra iki ölçülü sferanın yenidən şişməsi ilə yırtığın təmir olunması. Stromingerin məqaləsində isə, o, üç ölçülü sferanın nöqtəyə sıxılmasından sonra baş verənləri öyrənmişdi və göstərmişdi ki, sim nəzəriyyəsindəki yeni tapılan uzadılmış obyektlər, fizikanın düzgün işləməsini təmin edir. Lakin, məqaləsi burada bitir. Mənə elə gəldi ki, hekayənin başqa bir yarısı ola bilərdi, burada yenə fəzanın yırtılması və sonra sferaların yenidən şişməsi ilə təmir olunması məsələsi yer alırdı.

1995-ci ilin yazında Dave Morrison Korneldə məni ziyarət edirdi və həmin gün axşam Stromingerin məqaləsini müzakirə etmək üçün görüşdük. Bir neçə saat ərzində biz "hekayənin ikinci yarısının" necə görünə biləcəyinə dair bir plan hazırladıq. 1980-ci illərin sonlarından olan, Herb Clemens (Yuta Universiteti), Robert Friedman (Kolumbiya Universiteti) və Miles Reid (Warwick Universiteti) kimi riyaziyyatçılardan alınan bəzi anlayışlardan istifadə edərək, Candelas, Green və Tristan Hübsch (o vaxt Texas Universitetində) tərəfindən tətbiq olunan bilikləri nəzərə alaraq, biz anladıq ki, üç ölçülü bir sfera sıxıldıqda, Calabi-Yau məkanı yırtıla bilər və sonradan sferanın yenidən şişməsi ilə təmir oluna bilər. Amma burada vacib bir sürpriz var. Sıxılan sfera üç ölçülü idi, lakin yenidən şişən sfera yalnız iki ölçülüdür. Bunu necə təsəvvür edəcəyimizi anlamaq çətindir, amma biz aşağı ölçülü bir analogiya üzərində cəmləşərək bir fikir əldə edə bilərik. Üç ölçülü sferanın sıxılmasını və iki ölçülü sferayla əvəz olunmasını təsəvvür etmək çətin olduğu

halda, gəlin bir ölçülü sferanın sıxılmasını və sıfır ölçülü bir sferayla əvəz olunmasını təsəvvür edək.

Bir və Sıfır Ölçülü Sferalar Nədir?

İlk növbədə, bir və sıfır ölçülü sferalar nədir? Gəlin, analogiya ilə düşünək. İki ölçülü sfera, üç ölçülü məkanın içində seçilmiş bir mərkəzdən eyni məsafədə olan nöqtələrin cəmidir. Bu, Şəkil 13.2(a)-də göstərilən şəkildədir. Eyni prinsipi izləyərək, bir ölçülü sfera, iki ölçülü məkanın içində (məsələn, bu səhifənin səthi) seçilmiş bir mərkəzdən eyni məsafədə olan nöqtələrin cəmidir. Şəkil 13.2(b)-də göstərildiyi kimi, bu, sadəcə bir dairədir. Nəhayət, eyni nümunəni izləyərək, sıfır ölçülü sfera, bir ölçülü məkanın (bir xətt) içində seçilmiş bir mərkəzdən eyni məsafədə olan nöqtələrin cəmidir. Şəkil 13.2(c)-də göstərildiyi kimi, bu, iki nöqtə ilə nəticələnir, burada sıfır ölçülü sferanın "radiusu", hər nöqtənin onların ortaq mərkəzindən olan məsafəsidir. Buna görə də əvvəlki paragrafda qeyd olunan aşağı ölçülü analogiya, bir dairənin (bir ölçülü sferanın) sıxılması, ardınca məkanın yırtılması və sonra sıfır ölçülü bir sferanın (iki nöqtə) əvəz etməsi ilə bağlıdır. Şəkil 13.3 bu abstrakt ideyanı tətbiq edir.

Biz təsəvvür edirik ki, bir xəmiri bükülmüş formada başlayırıq, burada bir ölçülü sfera (dairə) yerləşir, bu da Şəkil 13.3-də vurğulanmışdır. İndi təsəvvür edək ki, zaman keçdikcə vurğulanan dairə sıxılır və bu, məkanın büzülməsinə səbəb olur. Biz büzülməni təmir etmək üçün məkanı müvəqqəti yırtmaq və sonra sıxılmış bir ölçülü sferanı—dairəni—sıfır ölçülü sferayla—iki nöqtə ilə—əvəz edirik, bu da yırtıqlardan yaranan yuxarı və aşağı hissələrdəki boşluqları doldurur. Şəkil 13.3-də göstərildiyi kimi, nəticədə yaranan forma əyri bir banan kimi görünür ki, bu da yumşaq deformasiyalardan (məkanın yırtılması olmadan) keçərək asanlıqla bir çimərlik topunun səthinə çevrilə bilər. Beləliklə, görürük ki, bir ölçülü sfera sıxıldıqda və sıfır ölçülü sfera ilə əvəz edildikdə, orijinal xəmirin topologiyası—yəni onun əsas forması—ciddi şəkildə dəyişir. Yığılmış məkan ölçüləri kontekstində, Şəkil 13.3-dəki məkanın yırtılma prosesi, 8.8-ci Şəkildə təsvir olunan kainatın, 8.7-ci Şəkildə təsvir olunan bir kainata doğru evrilməsinə səbəb olardı. Bu, aşağı ölçülü bir analogi olsa da, Morrison və mənim Strominger-in hekayəsinin ikinci yarısı üçün gördüyümüz əsas xüsusiyyətləri əks etdirir. Calabi-Yau məkanında üç ölçülü bir sferanın çöküşündən sonra, bizə elə gəldi ki, məkan yırtıla bilər və sonra özünü bərpa edərək iki ölçülü bir sfera böyüdə bilər, bu da əvvəlki işimizdə (11-ci fəsildə müzakirə olunan) Witten və bizim tapdığımızdan çox daha dramatik topologiya dəyişikliklərinə səbəb ola bilər. Bu şəkildə, bir Calabi-Yau forması, əslində, tamamilə fərqli bir Calabi-Yau formasına çevrilə bilər—Şəkil 13.3-dəki xəmirin çimərlik topuna çevrilməsi kimi—bütün bunlar zamanı sim

fizikasının mükəmməl şəkildə yaxşı davranması ilə. Həmkarımla bir şəkil yaranmağa başlayırdı, amma biz bilirdik ki, bizim hekayənin ikinci yarısının hər hansı bir təkillik (yəni, zərərli və fiziki olaraq qəbul edilməz nəticələr) gətirmədiyini sübuta yetirmək üçün həll etməli olduğumuz əhəmiyyətli aspektlər var idi. Hər birimiz o axşam evə gedərkən, böyük bir yeni anlayışın üzərində oturduğumuzu hiss edirdik.

Elektron poçtun təlaşı

Növbəti səhər Strominger-dən özünün məqaləsinə dair şərhlər və ya reaksiyalar istəyən bir e-mail aldım. O, qeyd etdi ki, "bu, ehtimal ki, Aspinwall və Morrison ilə apardığınız işlə əlaqəli olmalıdır," çünki məlum oldu ki, o da topologiya dəyişikliyi fenomeni ilə bağlı mümkün bir əlaqəni araşdırmışdır. Mən dərhal Morrison və mənim yaratdığımız ümumi eskizi izah edən bir e-mail göndərdim. O cavab verdikdə, onun həyəcan səviyyəsinin əvvəlki gün boyunca Morrison və mənim yaşadığımız həyəcanla uyğun olduğunu aydın oldu. Növbəti bir neçə gün ərzində üçümüz arasında davamlı e-mail mesajları axını baş verdi, çünki biz həyəcanla böyük məkan-yırtılma topologiya dəyişiklik ideyamızı riyazi cəhətdən əsaslandırmağa çalışırıq. Yavaş-yavaş, amma əmin-aman, bütün detallar yerinə oturdu. Növbəti çərşənbə günü, Strominger öz ilkin anlayışını yerləşdirdikdən bir həftə sonra, üç ölçülü bir sferanın çöküşündən sonra baş verə biləcək dramatik yeni məkan təfərrüatlarının izah olunduğu birgə məqalənin ilkin layihəsini hazırladıq. Strominger növbəti gün Harvardda seminar verməli idi və buna görə də səhər tezdən Santa Barbaradan çıxdı. Biz razılaşdıq ki, Morrison və mən məqaləni daha da təkmilləşdirəcəyik və həmin axşam elektron arxivə göndərəcəyik. Saat 11:45-də biz hesablamalarımızı yoxladıq və yenidən yoxladıq, hər şeyin mükəmməl şəkildə uyğunlaşdığını gördük. Beləliklə, biz məqaləni elektron şəkildə göndərdik və fizika binasından çıxdıq. Morrison və mən məşinimə doğru gedərkən (onu term üçün kirayələdiyi evə aparacağımı nəzərdə tuturduq) müzakirəmiz daha çox "şeytanın vəkili" mövzusunə çevrildi. Biz ən sərt tənqidçilərin nəticələrimizi qəbul etməyə razı olmayan şəkildə irəli sürə biləcəkləri fikirləri təsəvvür etməyə başladıq. O zaman biz dayanacağın çıxışına doğru gedərkən və kampusu tərk edərkən anladıq ki, arqumentlərimiz güclü və inandırıcı olsa da, tamamilə dayanıqlı deyildi. Heç birimiz işimizin səhv olduğuna real bir ehtimal görmədik, amma başa düşdük ki, bəzi nöqtələrdə məqalənin ifadə etdiyi fikirlərin gücü və söz seçimimiz, ideyaların sərt müzakirələrə açıq olmasına səbəb ola bilərdi, bu da nəticələrin əhəmiyyətini ört-basdır edə bilərdi. Razılaşdıq ki, bəlkə də məqaləni bir qədər daha təvazökar bir şəkildə yazmaq daha yaxşı olardı, iddiaların dərinliyini aşağı salıb, fizika icmasının məqaləni öz dəyəri ilə qiymətləndirməsinə imkan verməli idik, yoxsa onun təqdimat formasına görə reaksiya verə bilərdi.

Biz yola davam edərkən, Morrison mənə xatırlatdı ki, elektron arxiv qaydalarına görə, məqaləmizi səhər 2-yə qədər dəyişə bilərik və həmin vaxtda məqalə ictimaiyyətə açıq olacaq. Mən dərhal maşını döndərdim və biz fizika binasına geri qayıdıb ilkin təqdimatımızı götürdük və yazını yumşaltmağa başladıq. Şükürlər olsun ki, bunu etmək çox asan oldu. Kritik paraqraflarda bir neçə söz dəyişiklikləri ilə iddialarımızın kəskinliyini yumşaltdıq, amma texniki məzmunu pozmadıq. Bir saat ərzində məqaləni yenidən təqdim etdik və Morrisonun evinə gedən yolda bu barədə heç nə danışmamağa qərar verdik. Növbəti günün səhəri, məqaləmizə olan cavabların çox müsbət olduğu aydın oldu. Bir çox e-mail cavabları arasında Plesserin bizim üçün verdiyi ən yüksək təriflərdən biri var idi. O, ən yüksək tərfi bir fizikin digərinə verə biləcəyi şəkildə "Keşke bunu mən düşünmüş olardım!" deyərək bizə öz təəccübünü bildirdi. Keçən gecəki qorxularımıza baxmayaraq, biz sim nəzəriyyəsi icmasını inandırmışdıq ki, yalnız əvvəlki tapıntılarda (Bölmə 11) kəşf olunan yumşaq yırtıqlar deyil, həm də çox daha kəskin cırımlar, təxminən Şəkil 13.3-də göstərildiyi kimi, baş verə bilər.

Qara dəliklərə və elementar zərrəciklərə geri dönüş

Bəs bu halın qara dəliklər və elementar zərrəciklərlə nə əlaqəsi var? Əslində, çox böyük. Bunu görmək üçün 11-ci fəsildə verdiyimiz sualı yenidən soruşmalıyıq: Məkanın quruluşundakı bu cırımların müşahidə edilə bilən fiziki nəticələri nələrdir? Flop keçidləri (məkanın forması dəyişir, amma topologiyası dəyişməz qalır) üçün gördük ki, nəticə etibarilə fiziki səviyyədə əhəmiyyətli bir dəyişiklik baş vermir. Lakin konifold keçidləri — daha kəskin, məkanın topologiyasını dəyişən hadisələr — üçün yenə də ümumi nisbilikdə gözlənilən fəlakətli nəticələr baş vermir, amma bu zaman fiziki baxımdan daha nəzərəcarpacaq nəticələr ortaya çıxır. Bu müşahidə olunan nəticələrin arxasında iki əlaqəli anlayış dayanır; hər birini növbə ilə izah edəcəyik. Birincisi, daha əvvəl müzakirə etdiyimiz kimi, Strominger-in ilkin elmi sıçrayışı onun bu qənaətə gəlməsi idi ki, Calabi-Yau məkanının içindəki üçölçülü sfera fəlakət törətmədən çökə bilər, çünki onun ətrafına sarılmış üç-bran onu mükəmməl şəkildə qoruyur. Bəs belə bir sarılmış-bran quruluşu necə görünür? Bu sualın cavabı Horowitz və Strominger-in əvvəlki işlərindən gəlir; onlar göstərmişdilər ki, yalnız üç genişlənmiş fəzavi ölçünü birbaşa dərk edə bilən bizlər üçün, üçölçülü sferanın ətrafına “yayılmış” üç-bran qravitasiya sahəsi yaradır və bu sahə qara dəliyin qravitasiya sahəsinə bənzəyir. Bu nəticə açıq şəkildə görünmür və yalnız branları idarə edən tənliklərin ətraflı öyrənilməsi ilə aydınlaşır. Yenə də, belə yüksəkölçülü quruluşları kağız üzərində dəqiq şəkildə çəkmək

çətindir, lakin 13.4-cü şəkil bu ideyanı aşağı ölçülü analoqu — ikiölçülü sferalar vasitəsilə təxmini şəkildə çatdırır. Görürük ki, ikiölçülü membran ikiölçülü sferanın ətrafına yayıla bilər (hansı ki, bu da genişlənmiş ölçülərdə müəyyən bir mövqedə yerləşən Calabi-Yau məkanının içində yerləşir). Genişlənmiş ölçülərdən bu mövqeyə baxan biri, sarılmış branı onun kütləsi və daşdığı qüvvə yükləri ilə hiss edəcək; Horowitz və Strominger göstərmişdilər ki, bu xüsusiyyətlər qara dəliyin xüsusiyyətlərinə bənzəyir. Bundan əlavə, Strominger 1995-ci ildəki mühüm məqaləsində iddia etmişdi ki, üç-branın kütləsi — yəni qara dəliyin kütləsi — onun sarıldığı üçölçülü sferanın həcmi ilə mütənasibdir: sferanın həcmi nə qədər böyükdürsə, onu əhatə etmək üçün üç-bran da bir o qədər böyük olmalıdır və bu da onu daha kütləli edir. Eyni şəkildə, sferanın həcmi nə qədər kiçikdirsə, onu saracaq üç-bran da bir o qədər az kütləyə malik olur. Beləliklə, bu sfera çökdükcə, onun ətrafına sarılmış üç-bran — hansı ki, qara dəlik kimi qəbul edilir — getdikcə daha da yüngülləşir. Üçölçülü sfera sıxılıb bir nöqtəyə çevrildikdə isə, müvafiq qara dəlik — diqqətli olun — kütləsiz olur. Bu, tamamilə müəmmalı səslənsə də — axı kütləsiz qara dəlik nə deməkdir? — biz bu sirri tezliklə daha tanış sim fizikasına bağlayacağıq.

İkinci vacib məqam budur ki, Calabi-Yau formasındakı dəliklərin sayı — 9-cu fəsildə müzakirə edildiyi kimi — aşağı enerjili, yəni aşağı kütləli vibrasiya edən sim (sim) naxışlarının sayını müəyyən edir. Bu naxışlar Cədvəl 1.1-dəki zərrəcikləri və qüvvə daşıyıcılarını izah edə biləcək ehtimal olunan formaları təşkil edir. Məkanın cırılaraq dəyişməsi ilə baş verən **konifold keçidləri** dəliklərin sayını dəyişdirdiyindən (məsələn, 13.3-cü şəkildəki kimi, buradakı simit formasındakı dəlik cırılma və təmir prosesi ilə yox olur), aşağı kütləyə malik vibrasiya naxışlarının sayında dəyişiklik gözlənilir. Doğrudan da, Morrison, Strominger və mən bu prosesi ətraflı araşdırarkən gördük ki, **Calabi-Yau məkanının bükülmüş ölçülərində sıxılmış üçölçülü sferanın əvəzinə yeni bir ikiölçülü sfera gəldikdə, kütləsiz sim vibrasiya naxışlarının sayı dəqiq bir vahid artır.** (13.3-cü şəkildə simitin top formasına çevrilməsi sizə dəliklərin sayının — və beləliklə naxışların sayının — azaldığını düşündürə bilər, lakin bu, aşağı ölçülü analoqun yanıltıcı xüsusiyyətidir.) Əvvəlki iki paraqrafdakı müşahidələri birləşdirmək üçün, müəyyən bir üçölçülü sferanın ölçüsünün getdikcə kiçildiyi bir Calabi-Yau məkanının ardıcıl şəkillərini təsəvvür edin. Birinci müşahidəyə əsasən, bu üçölçülü sferanı əhatə edən üç-bran — hansı ki, bizə qara dəlik kimi görünür — getdikcə daha az kütləyə malik olacaq və nəhayət, tam çöküş nöqtəsində kütləsiz olacaq.

Lakin, yuxarıda verdiyimiz sual kimi, bu nə deməkdir?

Cavab ikinci müşahidəyə istinad etməklə bizim üçün aydın oldu. Tədqiqatımız göstərdi ki, məkanın cırılması ilə baş verən konifold keçidindən yaranan yeni kütləsiz sim vibrasiya naxışı, əslində qara dəliyin çevrildiyi kütləsiz zərrəciyin mikroskopik təsviridir. Bu

nəticəyə gəldik ki, Calabi-Yau forması məkanın cırılması ilə baş verən bir konifold keçidindən keçdikcə, əvvəlcə kütləyə malik olan bir qara dəlik getdikcə yüngülləşir, nəhayət kütləsiz olur və sonra kütləsiz zərrəciyə — məsələn, kütləsiz bir fotona — çevrilir. Sim nəzəriyyəsində isə belə bir zərrəcik, müəyyən bir vibrasiya formasını yerinə yetirən tək bir simdən başqa bir şey deyil. Belə liklə, sim nəzəriyyəsi ilk dəfə olaraq qara dəliklərlə elementar zərrəciklər arasında açıq, konkret və kəmiyyət baxımından qüsursuz bir əlaqə qurur.

"Əriyən" Qara Dəliklər

Bizim tapdığımız qara dəliklərlə elementar zərrəciklər arasındakı əlaqə gündəlik həyatda çox tanış olduğumuz və elmi dildə **faz keçidi (phase transition)** adlanan bir hadisəyə çox bənzəyir. Faz keçidinə sadə bir nümunə keçən fəsildə qeyd etdiyimiz suyun hal dəyişməsidir: su bərk (buz), maye (adi su) və qaz (buxar) halında ola bilər. Bunlar suyun fazalarıdır və bir haldan digərinə keçid **faz keçidi** adlanır. Morrison, Strominger və mən göstərdik ki, bu cür faz keçidləri ilə **Calabi-Yau formalarının** birindən digərinə məkanın cırılması ilə baş verən **konifold keçidləri** arasında sıx riyazi və fiziki bir oxşarlıq var. Necə ki, heç vaxt maye su və ya buz görməmiş bir insan bu iki halın eyni maddənin fərqli formaları olduğunu dərhal başa düşməzdi, fiziklər də əvvəlcə bizim araşdırdığımız qara dəliklərin və elementar zərrəciklərin əslində **eyni əsas sim maddəsinin iki müxtəlif fazası** olduğunu başa düşməmişdilər. Suyun hansı fazada olacağını ətraf mühitin temperaturu müəyyən etdiyi kimi, sim nəzəriyyəsində müəyyən fiziki konfigurasiyaların qara dəlik və ya zərrəcik kimi görünməsinə **əlavə Calabi-Yau ölçülərinin topoloji forması**, yəni şəkli müəyyən edir.

Yəni:

- Birinci fazada, başlanğıc Calabi-Yau forması (buzu analoq olaraq götürsək), müəyyən qara dəliklər mövcuddur.
- İkinci fazada, digər Calabi-Yau forması (maye suya bənzər), bu qara dəliklər faz keçidi keçirərək — bir növ "**əriyərək**" — **əsas vibrasiya edən sim naxışlarına** çevrilirlər.

Məkanın konifold keçidləri ilə cırılması bizi bir Calabi-Yau fazasından digərinə aparır. Bu yolla biz görürük ki, qara dəliklər və elementar zərrəciklər — buz və su kimi — eyni şeyin iki fərqli halıdır. Və beləliklə, qara dəliklər sim nəzəriyyəsinin çərçivəsinə tam uyğun gəlir.

Biz bu dramatik, məkanın cırılması ilə baş verən çevrilmələri və sim nəzəriyyəsinin beş forması arasındakı çevrilmələri (12-ci fəsil) eynilə suya dair analogiya ilə izah etməyi məqsədli şəkildə seçmişik, çünki bu iki hadisə bir-biri ilə dərin şəkildə əlaqəlidir. Xatırlayın ki, 12.11-ci şəkildə göstərmişdik ki, beş fərqli sim nəzəriyyəsi bir-birinə dualdır və buna görə də vahid, ümumi bir nəzəriyyənin alt formaları kimi birləşirlər. Lakin sual yaranır: Bu beş nəzəriyyə arasında kəsintisiz keçid etmək, yəni 12.11-ci xəritədəki istənilən nöqtədən başlayıb digərinə getmək mümkün olaraq qalır mı, əgər əlavə ölçüləri hansısa Calabi-Yau formasında bükülmüş qəbul etsək? Drastik topoloji dəyişikliklər (yəni məkanın cırılması) kəşf edilməzdən əvvəl gözlənilən cavab xeyr idi. Çünki bir Calabi-Yau formasını kəsintisiz şəkildə başqa bir formaya çevirməyin məlum bir yolu yox idi. Amma indi görürük ki, cavab bəlidir: Bu fiziki baxımdan məntiqli olan məkan cırılması ilə baş verən konifold keçidləri vasitəsilə istənilən Calabi-Yau formasını digərinə kəsintisiz şəkildə çevirmək mümkündür. Qoşulma sabitlərini (coupling constants) və Calabi-Yau formalarını dəyişməklə biz bütün sim nəzəriyyəsi quruluşlarının, əslində, eyni nəzəriyyənin fərqli fazaları olduğunu görürük. Yəni, əlavə ölçülər büküldükdən sonra belə, 12.11-ci şəkildəki birlik və vahidlik hələ də qüvvədə qalır.

Qara Dəlirlərin Entropiyası

İllər boyunca bir çox nüfuzlu nəzəri fiziklər məkanın cırılması prosesləri və qara dəlirlərlə elementar zərrəciklər arasındakı əlaqə barədə fərziyyələr irəli sürürdülər. Bu cür fərziyyələr əvvəlcə elm fantastikası kimi səslənsə də, sim nəzəriyyəsinin kəşfi – yəni ümumi nisbilik və kvant mexanikasını birləşdirmək qabiliyyəti – bu ehtimalları artıq müasir elmin ön cəbhəsinə gətirmişdir. Bu uğur bizə belə bir sual verməyə cəsarət verir: Görəsən, uzun illərdir izah olunması mümkün olmayan, kainatımızın digər sirli xüsusiyyətləri də sim nəzəriyyəsinin gücünə tabe ola bilərmə? Bu cür həllini gözləyən sirlər arasında ən önəmli qara dəlirlərin entropiya anlayışıdır. Məhz bu sahədə sim nəzəriyyəsi öz gücünü ən parlaq şəkildə nümayiş etdirmiş, 25 illik dərin və vacib bir problemi uğurla həll etmişdir. **Entropiya** qarışıqlıq və ya təsadüfilik ölçüsüdür. Məsələn, əgər masanız yüksək dərəcədə qarışıqlıq içindədirsə, üzərində açıq kitablar, oxunmamış məqalələr, köhnə qəzetlər və zibil məktubları ilə doludursa, o zaman yüksək dərəcədə qarışıqlıq və ya yüksək entropiyadadır. Digər tərəfdən, əgər hər şey tam şəkildə təşkil edilibsə, məqalələr əlifba sırasına görə qovluqlarda, qəzetlər tarixi sırasına görə düzülmüş, kitablar müəlliflərə görə əlifba sırasına salınmış və qələmlər təyin olunmuş yerindədirsə, masanız yüksək nizamda və ya bərabər olaraq aşağı entropiyadadır.

Bu nümunə əsas ideyanı izah edir, lakin fiziklər entropiyanı tam riyazi şəkildə təyin ediblər ki, bu da bir şeyin entropiyasını müəyyən bir rəqəmsal dəyərlə ifadə etməyə imkan verir: Böyük rəqəmlər daha yüksək entropiyanı, kiçik rəqəmlər isə daha aşağı entropiyanı göstərir. Hərçənd detallar bir az mürəkkəbdir, amma ümumiyyətlə bu rəqəm verilən fiziki sistemdəki maddələrin ümumi görünüşünü dəyişdirmədən mümkün olan bütün düzülüşləri sayır. Masanız səliqəli və təmiz olduqda, demək olar ki, hər hansı bir düzülüş dəyişiklikləri — qəzetlərin, kitabların və ya məqalələrin sırasının dəyişdirilməsi, qələmlərin yerlərindən çıxarılması — yüksək təşkil olunmuş nizamı pozacaqdır. Bu da onun aşağı entropiyada olmasına səbəb olur. Əksinə, masanız qarışıq olduqda, qəzetlər, məqalələr və zibil məktublarının çoxsaylı düzülüşləri masanı yenə də qarışıq saxlayacaq və buna görə də ümumi görünüşünü pozmayacaqdır. Bu da onun yüksək entropiyada olmasına səbəb olur. Təbii ki, bir masada kitabların, məqalələrin və qəzetlərin düzülüşünü təsvir etmək və hansı düzülüşlərin "ümumi görünüşü pozmadığını" qərarlaşdırmaq elmi dəqiqlikdən məhrumdur. **Entropiyanın** riyazi tərfi faktiki olaraq, bir fiziki sistemin əsas komponentlərinin mikroskopik kvant mexaniki xüsusiyyətlərinin mümkün düzülüşlərinin sayını və ya hesablanmasını əhatə edir ki, bunlar onun makroskopik xüsusiyyətlərini (məsələn, enerji və ya təzyiq kimi) dəyişdirmir. Detallar vacib deyil, çünki əsas anlayış entropiyanın kvant mexanikasında tamamilə riyazi və dəqiq ölçülən bir anlayış olduğudur, hansı ki, bir fiziki sistemin ümumi qarışıqlığını ölçür.

1970-ci ildə, o vaxtlar John Wheeler-in Princeton Universitetində doktorantı olan Jacob Bekenstein cəsarətli bir təklif irəli sürdü. O, qara dəliklərin entropiyaya malik olması və bunun çox böyük olması ilə bağlı inanılmaz bir fikir irəli sürdü. Bekenstein, termodinamikanın ikinci qanunu ilə motivasiya olunmuşdu ki, bu qanun hər zaman bir sistemin entropiyasının artacağını bildirir: Hər şey daha çox qarışıqlığa doğru irəliləyir. Hətta masanızı təmizləsəniz və onun entropiyasını azaltsanız belə, ümumi entropiya — bədəninizi və otaqdakı havanı da daxil etməklə — faktiki olaraq artır. Çünki masanızı təmizləmək üçün enerji sərf etməlisiniz; əzələləriniz üçün bu enerjini yaratmaq üçün bədəninizdəki bəzi nizamlı yağ molekullarını pozmalısınız və təmizlik edərkən bədəniniz istilik yayır ki, bu da ətrafdakı hava molekullarını daha yüksək bir qarışıqlıq və həyəcan vəziyyətinə salır. Bütün bu təsirlər hesablandığında, onlar masanızın entropiyasındakı azalmadan daha çox artım yaradır və nəticədə ümumi entropiya artır.

Amma nə baş verir, Bekenstein sanki soruşdu, əgər masanızı bir qara dəlikdəki hadisə üfüqünə yaxın təmizləsəniz və bir vakuum nasosu ilə otaqdakı bütün havanı qara dəliyin içərisinə çəksəniz? Hətta daha ekstremal ola bilərik: Əgər vakuum nasosu bütün havanı, masadakı bütün əşyaları və hətta masanı da qara dəliyə çəksə və sizi soyuq, havasız və tamamilə nizamlı bir otaqda tərk etsə? Bekenstein düşünürdü ki, əgər otağınızdakı

entropiya mütləq azalıbsa, o zaman termodinamikanın ikinci qanununu təmin etmək üçün qara dəliyin entropiyası olmalı və bu entropiya, qara dəliyə maddə daxil olduqca kifayət qədər artmalı və qara dəliyin xarici tərəfində müşahidə olunan entropiya azalmalarını qarşılamalıdır.

Əslində, Bekenstein iddiasını gücləndirmək üçün **Stephen Hawking**-in məşhur nəticəsindən istifadə edə bildi. Hawking göstərmişdi ki, bir qara dəliyin hadisə üfüqünün sahəsi — yəni bu, hər bir qara dəlikdən qaçışın mümkün olmadığı səthdir — hər hansı bir fiziki qarşılıqlı əlaqədə həmişə artır. Hawking nümayiş etdirmişdi ki, əgər bir asteroid qara dəliyə düşərsə, ya da yaxın bir ulduzun səthi qazı qara dəliyə yığılarsa, ya da iki qara dəlik toqquşub birləşərsə — bu və digər bütün proseslərdə, qara dəliyin hadisə üfüqünün ümumi sahəsi həmişə artır. Bekenstein üçün, bu qaçılmaz evrim daha böyük ümumi sahəyə doğru **termodinamikanın ikinci qanunu** ilə əlaqəli olan qaçılmaz evrimə işarə edirdi. O, təklif etdi ki, bir qara dəliyin hadisə üfüqünün sahəsi onun entropiyasının dəqiq ölçüsünü təqdim edir.

Lakin daha yaxından araşdırıldığında, əksər fizikaçılar Bekenstein-in ideyasının doğru ola bilməyəcəyini düşünməyə səbəb olan iki əsas səbəb vardı. Birincisi, qara dəliklər kainatdakı ən nizamlı və təşkilatlanmış obyektlərdən biri kimi görünürdü. Bir dəfə qara dəliyin kütləsi, daşdığı qüvvə yükü və fırlanması ölçüldükdə, onun kimliyi tam olaraq müəyyən edilmiş olur. Belə az sayda təyin edici xüsusiyyətlərlə, qara dəlik nizamın olmaması üçün kifayət qədər struktura sahib kimi görünür. Necə ki, yalnız bir kitab və bir qələm saxlayan bir masada çox az bir dağınıqlıq yarana bilər, qara dəliklər də nizam olmamaq üçün çox sadə görünür. İkinci səbəb isə, Bekenstein-in təklifinin qəbul edilməsinin çətin olmasının səbəbi, entropiyanın, burada müzakirə etdiyimiz şəkildə, kvant mexanikası anlayışı olmasıdır, halbuki qara dəliklər, son zamanlara qədər, klassik ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin qarşıt düşən sahəsində möhkəm şəkildə yerləşmişdi. 1970-ci illərin əvvəllərində, ümumi nisbilik və kvant mexanikasını birləşdirmək üçün bir yol olmadığı halda, qara dəliyin mümkün entropiyasını müzakirə etmək ən yaxşı halda qərribə görünürdü.

Qara nə qədər qara ola bilər?

Məlum olur ki, Stiven Hoking də qara dəliklərin sahəsinin artım qanunu ilə entropiyanın qaçılmaz şəkildə artması qanunu arasında bir oxşarlıq olduğunu düşünmüşdü. Lakin o, bu oxşarlığı sadəcə bir təsadüf kimi qəbul etmişdi. Hoking belə argument irəli sürürdü: özünün

sahə-artım qanununa və Ceyms Barden və Brendon Karterlə birlikdə əldə etdiyi digər nəticələrə əsaslanaraq, əgər doğrudan da qara dəliklərin qanunları ilə termodinamikanın qanunları arasında ciddi bir oxşarlıq varsa, bu zaman qara dəliyin hadisə üfüyünün sahəsini entropiya ilə eyniləşdirmək məcburiyyətində qalardıq. Lakin məsələ bununla da bitmir. Əgər bu oxşarlığı ciddiyyə alsaq, onda qara dəliyə müəyyən bir temperatur da aid edilməlidir. Bu temperatur isə qara dəliyin hadisə üfüyündəki cazibə qüvvəsinin gücündən asılı olaraq hesablanmalıdır. Amma fizikanın ən əsas və sınaqmış prinsiplərinə görə, temperaturu sıfırdan fərqli olan hər hansı cisim — temperaturu nə qədər az olsa da — mütləq şəkildə şüalanma yaymalıdır. Yəni, belə bir cisim istilik və ya işıq saçmalıdır, tıpkı qızdırılmış bir metal parçası kimi. Lakin qara dəliklər — hər kəsin bildiyi kimi — "qara"dır, yəni heç bir şey yaymırlar, işıq belə sızdır. Hoking də, digər elm adamları kimi, bu faktın Bekenşteynin təklifini əsassız etdiyini düşünürdü. Onun fikrincə, əgər entropiya daşıyan maddə qara dəliyə düşürsə, bu entropiya sadəcə olaraq itir. Heç bir əlavə izah lazım deyil. Bu isə termodinamikanın ikinci qanununu pozur — yəni entropiya həmişə artır qanunu bu halda işləmirdi. Bu belə davam edirdi — ta ki 1974-cü ildə Stiven Hoking inanılmaz bir kəşf edəndə qədər. Hoking elan etdi ki, qara dəliklər əslində tamamilə "qara" deyillər. Əgər yalnız klassik ümumi nisbilik nəzəriyyəsini nəzərə alsaq və kvant mexanikasını görməzlikdən gəlsək, onda — təxminən altmış il əvvəl sübut olunduğu kimi — qara dəliklər həqiqətən də heç bir şeyin, hətta işığın belə, onların cazibəsindən qaçmasına imkan vermir. Amma işin içinə kvant mexanikası daxil ediləndə, bu nəticə tamamilə dəyişir. Hoking, ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin kvant mexanikası ilə tam inteqrasiya olunmuş bir versiyasına malik olmasa da, bu iki nəzəriyyə arasında qismən bir uyğunluq yaratmağa nail oldu. Bu uyğunlaşma tam deyildi, amma verdiyi nəticələr kifayət qədər dəqiq və etibarlı idi. Onun əldə etdiyi ən vacib nəticə isə bu idi: qara dəliklər kvant mexanikası baxımından şüalanma (radiasiya) yayırlar. Hesablamalar uzun və çətin olsa da, Hokingin əsas ideyası sadə idi. Biz artıq bilirik ki, qeyri-müəyyənlik prinsipi göstərir ki, hətta tam boş olan vakuumda belə, virtual hissəciklər daim qısa müddətlik yaranır və sonra bir-birilərini yox edirlər. Bu kvant "həyəcanı" qara dəliyin hadisə üfüyünün yaxınlığında, yəni ətrafında olan boşluqda da baş verir. Hoking isə belə bir fikir irəli sürdü: qara dəliyin güclü cazibə qüvvəsi bu virtual hissəcik cütliyinə — məsələn, iki virtual fotona — enerji ötürə bilər. Bu enerji sayəsində hissəciklər bir-birindən bir qədər uzaqlaşa bilər və nəticədə onlardan biri qara dəliyə düşür. Lakin digəri isə bayırda qalır. Bu zaman bir maraqlı hadisə baş verir: artıq fotonun partnyoru yoxa çıxdığı üçün, o əvvəlki kimi onunla birləşərək yox ola bilmir. Hoking göstərdi ki, qara dəliyin cazibəsi bu fotona əlavə enerji verir və o, sanki "vurularaq" qara dəlikdən uzaqlaşır. Yəni biri içəri düşür, digəri isə çölə çıxır.

Hoking başa düşdü ki, əgər uzaqdan bir müşahidəçi bu hadisələri izləyərsə, qara dəliyin ətrafında bu cür virtual hissəcik cütlərinin təkrar-təkrar yaranıb ayrılması nəticəsində sanki qara dəlikdən çıxan sabit bir radiasiya axını görər. Yəni, qara dəliklər "ışığ saçır", parlayır.

Üstəlik, Hoking qara dəliyin saçdığı radiasiyanın temperaturunu da hesablamaq bildi — yəni bu radiasiyanı uzaqdan müşahidə edən bir insan həmin temperaturu necə qəbul edərdi, onu hesabladı. Və məlum oldu ki, bu temperatur birbaşa qara dəliyin hadisə üfüqündəki cazibə qüvvəsinin gücündən asılıdır. Bu isə tam da əvvəllər sadəcə bir oxşarlıq kimi qəbul edilən — qara dəlik fizikası qanunları ilə termodinamika qanunları arasındakı — bənzərliyin doğruluğunu sübut edirdi.

Bekenşteyn haqlı idi: Hokingin nəticələri göstərdi ki, bu yalnız bənzərlik deyil, **əslində eynilikdir**. Yəni:

–Qara dəliyin entropiyası var.

– Qara dəliyin temperaturu var.

– Qara dəliklər üçün nəzərdə tutulan cazibə qanunları, əslində termodinamikanın qanunlarının qravitasiya dünyasına uyğunlaşdırılmış formasıdır.

Bu, Hokingin 1974-cü ildəki **inanılmaz elmi partlayışı** idi.

Ölçülərin miqyasını daha yaxşı anlamaq üçün bir nümunə: əgər bir qara dəliyin kütləsi təxminən Günəşin kütləsindən üç dəfə böyükdürsə, onun temperaturu cəmi sıfırdan yüz milyon dəfə az bir dərəcə yuxarı olur. Yəni, sıfır deyil — amma demək olar ki, sıfıra çox yaxın. Qara dəliklər qara deyil, amma çox az işıq saçırlar. Təəssüf ki, bu o deməkdir ki, qara dəliyin yaydığı radiasiya çox zəifdir və onu təcrübədə aşkar etmək mümkünsüzdür. Amma bir istisna var. Hokingin hesablamaları göstərdi ki, qara dəlik nə qədər kiçik və yüngüldürsə, onun temperaturu bir o qədər yüksək, yaydığı radiasiya isə daha güclü olur. Məsələn, kiçik bir asteroid qədər kütləyə sahib olan bir qara dəlik, bir milyon meqatonluq hidrogen bombası qədər radiasiya yayardı — özü də bu radiasiya əsasən qamma şüaları şəklində olardı.

Astronomlar bu cür radiasiyanı səma boyunca axtarıblar, amma yalnız bir neçə ehtimal istisna olmaqla, heç bir real dəlil tapmayıblar. Bu isə çox güman ki, belə az kütləli qara dəliklərin ya çox nadir olduğunu, ya da ümumiyyətlə mövcud olmadığını göstərir.

Hoking isə zarafatla deyirdi: "Kaş bu qara dəlik radiasiyası aşkar olunsaydı, onda mən Nobel mükafatını mütləq qazanardım." Qara dəliyin temperaturu çox kiçik — milyonluq hissələr qədər az olsa da — onun entropiyasını hesabladıqda nəticə inanılmaz dərəcədə böyük olur. Məsələn, kütləsi Günəşin üç qatı qədər olan bir qara dəlik üçün entropiya

təqribən 1-in ardınca 78 sıfır gələn bir ədəddir! Üstəlik, qara dəlik nə qədər böyükdürsə, onun entropiyası da bir o qədər çox olur. Hokingin bu sahədəki uğurlu hesablamaları qəti şəkildə göstərdi ki, bu ölçüyəgəlməz entropiya qara dəliyin içində gizlənmiş nəhəng nizamsızlığı (xaosu) əks etdirir. Amma sual yaranır: nəyin nizamsızlığı? Axı biz bilirik ki, qara dəliklər zahirən çox sadə obyektlərdir — onlar yalnız kütləyə, fırlanma sürətinə və elektrik yüklərinə görə fərqlənirlər. Bəs bu böyük nizamsızlığın (entropiyanın) mənbəyi nədir? Bu sualda Hokingin hesablamaları tamamilə susurdu. Onun ümumi nisbiliklə kvant mexanikasını qismən birləşdirən yanaşması bizə yalnız qara dəliyin entropiyasının dəyərini hesablamağa imkan verirdi, amma bu entropiyanın daxili, mikroskopik mənasını izah edə bilmirdi. Təxminən 25 il ərzində dünyanın ən görkəmli fizikləri bu suala cavab tapmağa çalışdılar: qara dəliklərin hansı mikroskopik xassələri onların bu qədər böyük entropiyaya sahib olmasına səbəb ola bilərdi? Lakin kvant mexanikası ilə ümumi nisbilik arasında tam və etibarlı birləşmə olmadığından, bəzi hissələr anlaşıldı, lakin sirrin özü açılmamış qalırdı.

Səhnəyə Sim Nəzəriyyəsi daxil olur

Yaxşı, bu sirr **1996-cı ilin yanvarına** qədər belə davam edirdi. Həmin vaxt **Strominger və Vafa** — əvvəllər **Suskind** və **Sen** tərəfindən verilmiş ideyalara əsaslanaraq — fiziklər üçün elektron arxivdə bir məqalə yayımladılar. Məqalənin adı belə idi:

“Bekenşteyn-Hoking entropiyasının mikroskopik mənşəyi.”

Bu işdə Strominger və Vafa sim nəzəriyyəsini istifadə edərək müəyyən bir sinif qara dəliklərin daxili mikroskopik quruluşunu müəyyən edə bildilər və onların entropiyasını dəqiq şəkildə hesablamağa bildilər. Onların işi 1980-ci və 1990-cı illərdə fizika sahəsində istifadə edilən bəzi sadələşdirici yanaşmalardan (perturbativ metodlardan) kənara çıxmağın mümkün olması sayəsində həyata keçdi. Və nəticədə tapdıqları entropiya dəyəri, tam olaraq Bekenşteyn və Hokingin əvvəlcədən nəzəri şəkildə proqnozlaşdırdıqları nəticə ilə tam uyğun gəldi. Yəni bu iş, 20 ildən çox əvvəl başlanmış bir elmi rəsmi tamamlamış oldu.

Strominger və Vafa əsas diqqətlərini “ekstremal qara dəliklər”ə yönəltmişdilər. Bunlar elə qara dəliklərdir ki, elektrik yüklərinə malikdirlər (bunu sadəcə adi elektrik yükü kimi təsəvvür edə bilərsiniz) və bu yüklə uyğun gələn ən minimal kütləyə sahibdirlər. Yəni, yüklərinə nisbətən mümkün olan ən yüngül qara dəliklər. Bu tərifdən də göründüyü kimi, ekstremal qara dəliklər əvvəlki fəsildə (12-ci fəsildə) bəhs olunan BPS hallarına çox yaxındır. Əslində, Strominger və Vafa da məhz bu bənzərlikdən maksimum şəkildə istifadə etdilər.

Onlar göstərdilər ki, müəyyən ekstremal qara dəlikləri — nəzəri baxımdan — xüsusi bir BPS branelər (müəyyən ölçülərə malik obyektlər) kolleksiyasından başlayaraq yaratmaq mümkündür. Onlar bu braneləri dəqiq riyazi plana əsasən birləşdirərək bu qara dəlikləri modelləşdirdilər. Bu proses, atomun qurulmasına bənzəyir: nəzəri olaraq, əvvəlcə kvarklar və elektronlar götürülür, bunlardan neytronlar və protonlar düzəldilir, daha sonra isə elektronların bu nüvənin ətrafında fırlanması ilə atom yaranır. Eynilə, Strominger və Vafa sim nəzəriyyəsinin təqdim etdiyi yeni tikinti materiallarını — yəni bu braneləri — düzgün şəkildə birləşdirərək müəyyən növ qara dəliklərin necə formalaşa biləcəyini göstərdilər. Əslində, qara dəliklər ulduzların təkamülünün mümkün olan son nəticələrindən biridir. Bir ulduz milyardlarla il ərzində nüvə birləşməsi (fusion) yolu ilə bütün yanacaq ehtiyatını yandırdıqdan sonra, kütləvi cazibəyə qarşı duracaq təzyiqi artıq qalmır. Müəyyən fiziki şərtlər daxilində bu, ulduzun öz kütləsinin altında çökərək dağılması ilə nəticələnir. Bu nəhəng çöküş nəticəsində qara dəlik yaranır. Yəni təbiətdə qara dəliklər çox vaxt dramatik ulduz partlayışlarının nəticəsi kimi yaranır. Amma Strominger və Vafa tam fərqli yanaşma təklif etdilər. Onlar qara dəlikləri "dizayn etməyi" — yəni, onları təcrübədə yox, nəzəri olaraq yaratmağı — irəli sürdülər. Onlar göstərdilər ki, ikinci supersim nəzəriyyəsi inqilabında ortaya çıxan braneləri çox dəqiq, yavaş-yavaş və diqqətlə bir araya gətirməklə qara dəlikləri sistematik şəkildə qurmaq olar — nəzəri fiziklərin təsəvvüründə. Bu yanaşmanın gücü dərhal ortaya çıxdı. Çünki Strominger və Vafa öz qurduqları qara dəliyin mikroskopik strukturuna tam nəzarət etdiklərinə görə, bu strukturun neçə fərqli şəkildə düzülə biləcəyini (yenidən təşkil oluna biləcəyini) hesablaya bildilər. Üstəlik, bu fərqli düzülmələr qara dəliyin xaricdən müşahidə olunan xüsusiyyətlərini — məsələn, kütləsini və elektrik/maddi yüklərini — dəyişməz saxlayırdı. Onlar bu fərqli düzülmələrin sayını hesabladılar və nəticəni Bekenşteyn və Hokingin proqnozlaşdırdığı entropiya ilə, yəni qara dəliyin səthi sahəsi ilə müqayisə etdilər. Nəticə? Tam uyğunluq! Ən azından ekstremal qara dəliklər üçün, Strominger və Vafa sim nəzəriyyəsi vasitəsilə qara dəliyin həm daxili mikroskopik quruluşunu, həm də bu strukturun yaratdığı entropiyanı tam şəkildə izah edə bildilər.

Beləliklə, 25 illik böyük bir elmi tapmaca nəhayət ki, həll olundu.

Bir çox sim nəzəriyyəçiləri bu uğuru nəzəriyyənin əhəmiyyətli və inandırıcı sübutlarından biri kimi qiymətləndirirlər. Hazırda sim nəzəriyyəsi haqqında anlayışımız hələ də o qədər yetkin deyil ki, məsələn, kvarkın və ya elektronun kütləsini birbaşa və dəqiq şəkildə hesablaya bilək. Amma buna baxmayaraq, bu nəzəriyyə artıq illərlə klassik nəzəriyyələrlə izah olunmayan bir fenomeni — qara dəliklərin entropiyasını — ilk fundamental şəkildə izah etməyi bacardı. Bu xüsusiyyət — yəni qara dəliyin entropiyası — birbaşa olaraq **Hokingin proqnozu ilə bağlıdır**. Hoking demişdi ki, qara dəliklər **radiasiya yaymalıdır**,

və bu proqnoz — nəzəri olaraq — təcrübə ilə yoxlana biləcək bir şeydir. Əlbəttə, bu da müəyyən şərtlər tələb edir: əvvəlcə göy üzündə bir qara dəlik tapılmalıdır, daha sonra isə onun yaydığı radiasiyanı ölçəcək qədər həssas cihazlar qurulmalıdır. Əgər qara dəlik kifayət qədər yüngüldürsə, bu cür radiasiyanı aşkarlamaq müasir texnologiya ilə mümkündür. Baxmayaraq ki, bu təcrübələr hələlik müsbət nəticə verməyib, bu fikir yenidən sim nəzəriyyəsi ilə real təbiət hadisələri arasında körpü qurmağın mümkün olduğunu göstərir. Hətta Sheldon Glashow — 1980-ci illərdə sim nəzəriyyəsinin əsas tənqidçilərindən biri olmuş məşhur fizik — bu yaxınlarda demişdi: "Sim nəzəriyyəçiləri qara dəliklərdən danışanda, artıq demək olar ki, müşahidə oluna bilən hadisələrdən danışırırlar — və bu, təsiredicidir."

Qara Dəliklərlə Bağlı Qalan Sirlərlə Tanışlıq

Qara dəliklərlə bağlı bu qədər böyük nailiyyətlər əldə olunsada, hələ də **iki əsas sirr** tam açılmayıb.

1. Qətiyyətlilik (Determinism) Problemi

Birinci sirr, qara dəliklərin müəyyənlik (determinism) anlayışına olan təsiri ilə bağlıdır. 1800-cü illərin əvvəllərində məşhur fransız riyaziyyatçısı Pyer-Simon Laplas belə bir düşüncəni irəli sürmüşdü:

"Əgər hansısa bir varlıq (ağıllı varlıq), təbiəti idarə edən bütün qüvvələri və həmin an üçün kainatda mövcud olan hər bir varlığın vəziyyətini tam dəqiqliklə bilsə və bu məlumatları analiz edə biləcək qədər güclü olsa, o zaman bu varlıq kainatda baş verən bütün hərəkətləri — istər ulduzların, istərsə də ən kiçik atomların hərəkətini eyni riyazi düsturla hesablaya bilərdi. Belə bir varlıq üçün heç nə qeyri-müəyyən olmazdı; keçmiş də, gələcək də tam aydın və görünən olardı."

Bu fikrə görə, əgər kifayət qədər məlumat və hesablama gücü varsa, gələcəyi və keçmişi qabaqcadan bilmək mümkündür. Yəni, kainat tam "saat mexanizmi" kimi işləyir və hər şey əvvəlcədən müəyyən olunub.

Ancaq... qara dəliklər bu baxışı sarsıdır.

Çünki qara dəliyə düşən məlumatlar — yəni maddə və onun daşdığı informasiya — sanki itir. Bu isə Laplasın qətiyyətlilik nəzəriyyəsinə ziddir, çünki bu halda biz keçmişi bərpa edə bilmərik: qara dəliyə nə düşdüyünü geri qaytarmaq və öyrənmək mümkün olmur.

Bununla bağlı müzakirələr və araşdırmalar hələ də davam edir. Fiziklər məlumatın həqiqətən itib-itmədiyini, yoxsa haradasa "saxlanıldığını" izah etməyə çalışırlar. Bu isə "informasiya paradoksu" adlanır — və bu qara dəliklərə dair ən dərin sirlərdən biridir.

Başqa sözlə desək, əgər hər bir hissəciyin mövqeyi və sürətini müəyyən bir an üçün bilsəniz, onda Nütonun hərəkət qanunlarından istifadə edərək, hər hansı bir digər an (istər keçmiş, istər gələcək) üçün onların mövqelərini və sürətlərini müəyyən edə bilərsiniz — ən azından nəzəri olaraq. Bu baxış açısına görə, kainatda baş verən hər şey — məsələn, günəşin yaranmasından tutmuş, İsanın çarmıxa çəkilməsinə və ya gözlərinizin bu sözü oxumasına qədər — universumdakı bütün hissəciklərin dəqiq mövqeləri və sürətləri əsasında birbaşa olaraq böyük partlayışdan sonrakı bir anın nəticəsidir. Bu rigid (sıx) ardıcılıqda kainatın inkişafı, azad iradə məsələsinə dair çoxsaylı mürəkkəb fəlsəfi dilemlər yaradır. Lakin bu yanaşmanın önəmi kəmiyyət mexanikasının kəşfi ilə əhəmiyyətli dərəcədə azaldı.

Biz artıq gördük ki, Heizenberqin qeyri-müəyyənlik prinsipi Laplasın deterministik (qətiyyətli) yanaşmasını zəiflədir, çünki biz kainatın hissəciklərinin dəqiq mövqelərini və sürətlərini bilməliyik, amma bunu etmək mümkün deyil. Bunun əvəzinə, bu klassik xüsusiyyətlər kvant dalğa funksiyaları ilə əvəz olunur. Bu funksiyalar sadəcə olaraq hər hansı bir hissəciyin burada və ya orada olma ehtimalını və ya müəyyən bir sürətə sahib olma ehtimalını göstərir. Bu, kainatın və zamanın qətiyyətli, əvvəlcədən müəyyən edilmiş bir şəkildə inkişaf etmədiyini və kvant mexanikasının bu anlayışı necə dəyişdirdiyini izah edir. Lapasın baxışının çökməsi, determinizm anlayışını tamamilə məhv etmir. Dalğa funksiyaları — kvant mexanikasının ehtimal dalğaları — dəqiq riyazi qaydalara uyğun olaraq zamanla inkişaf edir, məsələn, Şrödinger tənliyi (və ya onun daha dəqiq nisbətçi müvafıqları, məsələn, Dirac tənliyi və ya Klein-Gordon tənliyi). Bu, bizə bildirir ki, kvant determinizmi Lapasın klassik determinizmini əvəz edir: Kainatın bütün əsas hissəciklərinin dalğa funksiyalarını müəyyən bir vaxtda bilmək, "kifayət qədər" ağıllı bir varlığa hər hansı bir əvvəlki və ya gələcək zaman üçün dalğa funksiyalarını müəyyənləşdirməyə imkan verir. Kvant determinizmi bizə bildirir ki, gələcəkdə müəyyən bir vaxtda hər hansı bir hadisənin baş vermə ehtimalı əvvəlki zamanın dalğa funksiyalarından tamamilə asılıdır. Kvant mexanikasının probabilistik (ehtimalçı) təbiəti, Lapas determinizmini zəiflədir, çünki burada qaçılmazlıq nəticələrdən çox, nəticə ehtimallarına çevrilir, amma bu ehtimallar kvant nəzəriyyəsinin ənənəvi çərçivəsində tamamilə müəyyənləşdirilmişdir. 1976-cı ildə, **Hoking** belə bir bəyanat verdi ki, hətta bu **yumşaq determinizm forması** belə qara dəliklərin mövcudluğu ilə pozulur. Yenə də bu bəyanatın arxasında duran hesablamalar çox mürəkkəbdir, amma əsas fikir olduqca sadədir. Nə vaxtsa bir şey qara dəliyə düşsə, onun dalğa funksiyası da **daxil olur**. Amma bu o deməkdir ki, **gələcək vaxtlarda dalğa**

funksiyalarını hesablamaq üçün axtarışda olan bizim "kifayət qədər" ağıllı varlığımız, son dərəcə gözlənilməz şəkildə əskik qalacaq. Tamamilə gələcəyi proqnozlaşdırmaq üçün bu gün bütün dalğa funksiyalarını bilməliyik. Lakin əgər bəziləri qara dəliklərə düşübsə, onların daşdığı məlumat itirilir. Bu parça, qara dəliklərin deterministik baxışı necə pozduğunu və bilik itkisi yaratdığını göstərir. Hokingin irəli sürdüyü bu fikir, determinizm anlayışına ciddi təsir edir.

Başlanğıcda, qara dəliklərdən qaynaqlanan bu çətinlik narahatlıq yaratmaya bilər. Çünki qara dəliklərin hadisə ühüdündən arxada qalan hər şey kainatın qalan hissəsindən ayrıldığından, bəs düşən hər şeyi tamamilə görməzliyə vurmağımız mümkün deyilmi? Filosofik olaraq, bəs özümüzə demək olarmı ki, kainat, qara dəliyə düşən şeylərin daşdığı məlumatı itirməyib; sadəcə olaraq bu məlumat kainatın bizim rəşional varlıqlar olaraq hər nə olursa olsun, qaçmaq qərarına gəldiyimiz bir bölgəsində sıxışmış qalıb? Hokingin qara dəliklərin tamamilə qara olmadığını kəşf etməzdən əvvəl, bu sualların cavabı bəli idi. Lakin bir dəfə Hoking dünyaya qara dəliklərin radiasiya yaydığını bildirdikdə, vəziyyət dəyişdi. Radiasiya enerji daşıyır və beləliklə, qara dəlik radiasiya yaydıqca, onun kütləsi yavaş-yavaş azalır — yavaşca buxarlanır. Bu baş verdikcə, qara dəlikdən hadisə ühüdünə qədər olan məsafə tədricən kiçilir və bu örtük geri çəkildikcə, əvvəllər kəsilmiş olan boşluq bölgələri kosmik arenaya yenidən daxil olur. İndi isə fəlsəfi düşüncələrimiz həqiqətlə qarşı-qarşıya qalır: Qara dəliyə udulmuş şeylərin daşdığı məlumat — qara dəliyin daxili hissəsində olduğunu düşündüyümüz məlumat — qara dəlik buxarlandıqca yenidən ortaya çıxırmı? Bu, kvant determinizminin doğru olmasını təmin edəcək məlumatdır və bu sual qara dəliklərin kainatımızın inkişafını daha dərin bir təsadüf elementilə doldurub doldurmadiğı məsələsini kəsb edir.

Bu yazının yazıldığı dövrdə, fiziklər arasında bu sualın cavabı ilə bağlı heç bir razılaşma yoxdur. Bir çox illər boyunca Hoking güclü şəkildə iddia edib ki, məlumat heç vaxt yenidən ortaya çıxmır — yəni qara dəliklər məlumatı məhv edir və beləliklə, "kvant nəzəriyyəsi ilə əlaqəli olan adi qeyri-müəyyənlikdən əlavə yeni bir qeyri-müəyyənlik səviyyəsi fizikaya daxil olur". Əslində, Hoking, Kaliforniya Texnologiya İnstitutunun Kip Torni ilə birlikdə, qara dəliyə düşən məlumatın nə baş verəcəyi ilə bağlı John Preskill ilə bir bahisdədirlər: Hoking və Torni, məlumatın əbədi olaraq itəcəyinə bahislərini qoyublar, Preskill isə əks mövqedə dayanır və məlumatın qara dəlik radiasiya yaydıqca və kiçildikcə yenidən ortaya çıxacağına bahislərini qoyub. Bahisin mükafatı? Məlumatın özü: "Məğlub olan(lar), qalib(lər)ə qalibin seçdiyi ensiklopediyanı hədiyyə edəcək."

Bahis hələ həll olunmayıb, amma Hoking yaxınlarda qəbul edib ki, yuxarıda müzakirə olunan sim nəzəriyyəsindən əldə edilən yeni qara dəlik anlayışı, məlumatın yenidən ortaya çıxması üçün bir yol ola biləcəyini göstərir. Yeni fikir budur ki, Strominger və Vafa

tərəfindən araşdırılan, həmçinin onların ilk məqaləsindən bəri bir çox başqa fizikin araşdırdığı növ qara dəliklərdə, məlumat tərkib hissəsi olan branelərdən saxlanıla və bərpa edilə bilər. Bu anlayışla bağlı, Strominger yaxınlarda belə deyib: "Bəzi sim nəzəriyyəçiləri qalib gəldiklərini iddia etmək istəyirlər — məlumatın qara dəliklər buxarlandıqca bərpa edildiyini iddia etmək istəyirlər. Mənim fikrimcə, bu nəticə tezdir; bunun doğru olub olmadığını görmək üçün hələ çox iş görülməlidir." Vafa da razıdır və deyir ki, "Bu suala qarşı mövqeyim agnostikdir — hələ də hər iki tərəf də doğru ola bilər." Bu sualın cavablandırılması hal-hazırda aparılan araşdırmaların əsas məqsədidir. Hokingin dediyi kimi:

"Əksər fiziklər inanmaq istəyirlər ki, məlumat itmir, çünki bu, dünyanı təhlükəsiz və proqnozlaşdırıla bilən edərdi. Amma mən inanıram ki, əgər Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsini ciddi qəbul etsəniz, o zaman kosmos-vaxtın düyünlərə bağlandığını və məlumatın бүкүlmələrdə itəcəyini qəbul etməlisiniz. Məlumatın həqiqətən itib-itmədiyini müəyyənləşdirmək bu günə qədər nəzəri fizikanın əsas suallarından biridir."

İkinci hələ həll olunmamış qara dəlik sirri, qara dəliyin mərkəzindəki kosmos-vaxtın təbiəti ilə bağlıdır. Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin sadə tətbiqi, 1916-cı ildə Schwarzschild tərəfindən başlanğıc olaraq göstərir ki, qara dəliyin mərkəzində sıxılmış olan nəhəng kütlə və enerji, kosmos-vaxtın strukturunda dağıdıcı bir yarıq yaradır və onu sonsuz ayrılıya qədər radikal şəkildə deformasiyaya uğradır—kosmos-vaxtın singularitesini meydana gətirir. Bu nəticəyə gələn fiziklərdən bəziləri, hər hansı bir maddənin hadisə üfüğünü keçdikdən sonra qara dəliyin mərkəzinə doğru dönməz şəkildə çəkildiyini və bu maddə bir dəfə orada olduğunda artıq gələcəyi olmadığı üçün zamanın özünün qara dəliyin mərkəzində sona çatdığı qənaətinə gəlirlər.

Digər fiziklər isə, illər ərzində qara dəliyin mərkəzini Eynşteyn tənlikləri ilə araşdıraraq daha çılğın bir ehtimalı ortaya qoydular: bəlkə də qara dəliyin mərkəzi başqa bir kainata açılan bir qapıdır, hansı ki, bu yeni kainat bizimkini yalnız qara dəliyin mərkəzində zəif şəkildə birləşdirir. Ümumiyyətlə desək, bizim kainatımızda zaman sona çatdığı yerdə, bağlı kainatda zaman yeni başlayır.

Bu ağıl-ağrısı yaradan ehtimalın bəzi nəticələrini növbəti fəsildə müzakirə edəcəyik, amma indiki vaxtda bir mühüm nöqtəni vurğulamaq istəyirik. Bizim əsas dərsimizi xatırlamalırıq: Nəhəng kütlə və kiçik ölçülərin nəticəsində yaranan heyrətamiz dərəcədə yüksək sıxlıq, yalnızca Eynşteyn-in klassik nəzəriyyəsindən istifadəni etibarsızlaşdırır və bununla yanaşı, kvant mexanikasının da nəzərə alınmasını tələb edir. Bu, bizi aşağıdakı suala yönəldir: Sim nəzəriyyəsi, bir qara dəliyin mərkəzindəki kosmos-vaxt singularitesi

haqqında nə deyir? Bu, hazırda intensiv şəkildə araşdırılan bir mövzudur, amma məlumat itkisi məsələsi kimi, bu sual hələ də həll olunmamışdır.

Sim nəzəriyyəsi müxtəlif digər singularitələrlə müvəffəqiyyətlə məşğul olur—11-ci fəsildə və bu fəsilin ilk hissəsində müzakirə olunan kosmosda cırılmalar və yarılmalarla. Amma bir singularite gördükdən sonra, hamısını görmüsünüz demək deyil. Kainatımızın strukturu bir çox müxtəlif yollarla cırılıb, deformasiyaya uğrayıb və parçalanıb. Sim nəzəriyyəsi bu singularitələrin bəziləri haqqında dərin anlayışlar təqdim etmişdir, amma digər bəzi singularitələr, o cümlədən qara dəlik singularitesi, hələ də sim nəzəriyyəçilərinin əlindən qaçıb. Bunun əsas səbəbi yenə də sim nəzəriyyəsində istifadə olunan perturbativ alətlərin approximasiyalarının, bu halda, qara dəliyin dərin daxili nöqtəsində baş verənləri etibarlı və tam şəkildə təhlil etmək qabiliyyətimizi qarışdırmasıdır.

Bununla belə, son dövrlərdə qeyri-perturbativ üsullarda əldə edilən böyük irəliləyişlər və onların qara dəliklərin digər tərəflərinə uğurlu tətbiqi nəzərə alınaraq, sim nəzəriyyəçiləri böyük ümidlər bəsləyirlər ki, qara dəliklərin mərkəzindəki sirrlər çox keçmədən açılacaq.

Fəsil 14

Kosmologiya üzərinə düşüncələr

İnsanlar tarix boyu kainatın mənşəyini anlamağa böyük maraq göstərirlər. Mədəni və zaman fərqlərini aşaraq həm qədim dövrlərin insanlarını, həm də müasir dövrün kosmoloqlarını düşündürən elə bir sual yoxdur ki, kainatın başlanğıcı qədər insan təsəvvürünü hərəkətə gətirsin. Dərinliklərdə bir səbəb axtarışı var: niyə kainat var, necə bu halını alıb və onu inkişaf etdirən əsas prinsip nədir? Təsirli olan budur ki, bəşəriyyət artıq bu suallara elmi cavab verməyə imkan verən bir çərçivə formalaşdırma mərhələsinə çatıb.

Hal-hazırda elmi cəhətdən qəbul olunmuş yaradılış nəzəriyyəsinə görə, kainat ilk anlarında son dərəcə sərt şəraitlər — çox böyük enerji, temperatur və sıxlıq — yaşamışdır. Artıq məlum olduğu kimi, bu şəraitin izahı üçün həm kvant mexanikası, həm də qravitasiya nəzərə alınmalıdır. Bu səbəbdən, kainatın doğuluşu supersim nəzəriyyəsinin verdiyi fikirləri tətbiq etmək üçün dərin və əhatəli bir sahə təqdim edir. Bu nəzəriyyənin yeni-yeni yaranmaqda olan anlayışlarına bir qədər sonra toxunacağıq. Lakin əvvəlcə, sim nəzəriyyəsindən əvvəlki dövrdə mövcud olan və tez-tez "kosmologiyanın standart modeli" adlandırılan anlayışı qısaca xatırlayaq.

Kosmologiyanın Standart Modeli

Kainatın mənşəyi haqqında müasir nəzəriyyə, Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsini tamamlamasından sonrakı on beş il ərzində formalaşmağa başladı. Hərçənd ki, Eynşteyn öz nəzəriyyəsinin nəticələrini açıq şəkildə qəbul etməkdən imtina edərək, kainatın nə əbədi, nə də dəyişməz olduğunu qəbul etmədi, amma Aleksandr Fridman bu nəticələri qəbul etdi. Üçüncü fəsildə qeyd etdiyimiz kimi, Fridman Eynşteynin tənliklərinə bu gün "Böyük Partlayış" (Big Bang) həlli kimi tanınan bir cavab tapdı — bu həll göstərirdi ki, kainat sonsuz sıxılmış bir haldan partlayışla meydana çıxmış və hal-hazırda bu ilkin partlayışın nəticəsi olaraq genişlənməkdədir.

Eynşteyn bu zamanla dəyişən həllərin öz nəzəriyyəsinin nəticəsi ola biləcəyinə o qədər əmin deyildi ki, Fridmanın işində ciddi bir səhv olduğunu iddia edən qısa bir məqalə dərc etdirdi. Lakin təxminən səkkiz ay sonra Fridman Eynşteyni heç bir səhv olmadığını inandıra bildi; Eynşteyn etirazını açıq şəkildə, lakin qısa və soyuq bir şəkildə geri götürdü. Buna baxmayaraq, görünür ki, Eynşteyn Fridmanın nəticələrinin kainata aid ola biləcəyinə ciddi yanaşmırdı. Ancaq təxminən beş il sonra, Edvin Həbl Mount Wilson Rəsədxanasındakı 100 düymlik teleskopla bir neçə onluq qalaktikanı müşahidə edərək kainatın həqiqətən də genişləndiyini təsdiqlədi. Fridmanın işi sonradan fiziklər Hovard Robertson və Artur Uolker tərəfindən daha sistemli və səmərəli şəkildə yenidən işlənərək bu gün də müasir kosmologiyanın əsasını təşkil edir. Bir az daha ətraflı desək, kainatın mənşəyi haqqında müasir nəzəriyyə belədir: Təxminən 15 milyard il əvvəl, kainat çox enerjili və tək bir hadisədən — Böyük Partlayışdan (Big Bang) meydana gəldi. Bu partlayış nəticəsində bütün məkan və maddə yaranaraq kainata yayıldı. (Böyük Partlayışın harada baş verdiyini soruşmağa ehtiyac yoxdur — çünki bu hadisə həm burada, olduğun yerdə, həm də hər yerdə baş verib. Başlanğıcda, bu gün ayrı-ayrı yerlər kimi gördüyümüz bütün nöqtələr eyni yer idi.) Partlayışdan cəmi 10^{-43} saniyə sonra — bu an Plank zamanı adlanır — kainatın temperaturunun təxminən 10^{32} Kelvin olduğu hesablanır. Bu, Günəşin dərin daxili qatından təxminən 10 trilyon trilyon dəfə daha istidir. Zaman keçdikcə kainat genişləndi və soyudu. Soyuduqca, əvvəlcə homojen və qaynayan vəziyyətdə olan bu isti ilkin kosmik plazma yavaş-yavaş dalğalanmağa və topa halına gəlməyə başladı.

Böyük Partlayışdan təxminən yüz mində bir saniyə sonra temperatur təxminən 10 trilyon Kelvinə qədər düşdü (bu da Günəşin daxilindən təxminən bir milyon dəfə yüksəkdir). Bu anda kvarklar üçlü qruplar halında birləşərək proton və neytronları əmələ gətirdi. Təxminən yüzdə bir saniyə sonra isə, bəzi yüngül elementlərin nüvələrinin soyuyan hissəcik plazmasından əmələ gəlməsi üçün uyğun şərait yarandı.

Növbəti üç dəqiqə ərzində, kainat təxminən bir milyard dərəcəyə qədər soyudu və bu zaman əsasən hidrogen və helium nüvələri, bununla yanaşı az miqdarda döyterium (ağır hidrogen) və litium meydana gəldi. Bu dövr "ilkin nüvəsintez" (primordial nucleosynthesis) dövrü kimi tanınır. Növbəti bir neçə yüz min il ərzində, genişlənmə və soyuma prosesi davam etsə də, əhəmiyyətli hadisələr baş vermədi. Lakin temperatur bir neçə min dərəcəyə düşdükdə, sərbəst hərəkət edən elektronlar kifayət qədər yavaşladı və əsasən hidrogen və heliumdan ibarət olan atom nüvələri bu elektronları "tuta" bildi. Nəticədə, kainatda ilk neytral atomlar əmələ gəldi. Bu, son dərəcə mühüm bir məqam idi: bu andan etibarən kainat əsasən şəffaf oldu. Elektronların tutulması dövründən əvvəl kainat müsbət yüklü nüvələr və mənfi yüklü elektronlardan ibarət sıx və qızgın bir plazma ilə dolu idi. Fotonlar — yalnız elektrik yükləri ilə qarşılıqlı təsirə girən işıq zərrəcikləri — bu sıx plazmada davamlı şəkildə toqquşur, udulur və ya istiqamətini dəyişirdi. Buna görə də, fotonlar sərbəst şəkildə hərəkət edə bilmədikləri üçün kainat sanki qeyri-şəffaf, sıx bir duman kimi görünürdü — bunu, səhər tezdən qalın duman içində və ya qar fırtınasında heç nə görə bilmədiyiniz anlarla müqayisə etmək olar. Lakin elektronlar müsbət yüklü nüvələrin ətrafında orbitə daxil olaraq neytral atomlar yaratdıqda, artıq elektrik yükləri ilə bağlı maneələr aradan qalxdı və kainatın "dumanı çəkildi". Həmin andan etibarən Böyük Partlayışdan çıxan fotonlar sərbəst şəkildə hərəkət etməyə başladı və kainatın tam mənzərəsi tədricən görünməyə başladı. Təxminən bir milyard il sonra, kainat ilk anlarındakı çalxalanmış haldan kifayət qədər sakitləşdi və cazibə qüvvəsinin təsiri ilə ilkin elementlərdən ibarət qalaktikalar, ulduzlar və nəhayət planetlər formalaşmağa başladı.

Bu gün, Böyük Partlayışdan təxminən 15 milyard il sonra, həm kainatın möhtəşəmliyinə heyran qala, həm də insanlıq olaraq bu mənşəyi anlamaq üçün qurduğumuz, məntiqli və təcrübələrlə sınaqdan keçirilə bilən bir elmi nəzəriyyəyə malik olduğumuza valeh ola bilərik. Amma sual budur: Böyük Partlayış nəzəriyyəsinə nə qədər inanmalıyıq?

Böyük Partlayışın Sınaqdan Keçirilməsi

Astronomlar ən güclü teleskoplarla kainata baxdıqlarında, Böyük Partlayışdan cəmi bir neçə milyard il sonra qalaktikalar və kvazarlar tərəfindən yayılmış işığı müşahidə edə bilirlər. Bu müşahidələr Böyük Partlayış nəzəriyyəsinin proqnozlaşdırdığı kainatın genişlənməsini bu erkən dövrlərə qədər geri yoxlamağa imkan verir və bu proqnozlar tam şəkildə təsdiqlənir.

Nəzəriyyəni daha da erkən zamanlara qədər sınamaq üçün isə fiziklər və astronomlar daha dolaylı metodlardan istifadə etməlidirlər. Bu metodlardan ən dəqiq olanlardan biri "kosmik fon radiasiyası" adlanan hadisəyə əsaslanır.

Əgər siz nə vaxtsa bir velosiped təkərini havayla doldurduqdan sonra ona toxunmusunuzsa, onun ilıq olduğunu hiss etmisiniz. Bu, sıxılmış havanın qızması səbəbindəndir — məsələn, bu prinsip təzyiqli bişirici (pressure cooker) cihazlarında da istifadə olunur: içəridəki hava sıxılır və beləliklə, daha yüksək temperaturda bişirməyə şərait yaranır. Əks proses də doğrudur: təzyiq azaldıqda və maddə genişlənməyə buraxıldıqda, o soyuyur. Təzyiqli bişiricinin qapağını çıxarsanız — və ya daha dramatik olaraq, qapaq partlayaraq açılrsa — içəridəki hava genişlənər və normal sıxlığa qayıdaraq otaq temperaturuna qədər soyuyar. Bu, gündəlik həyatda "buxarı çıxarmaq" (blow off steam) ifadəsinin də arxasında duran elmi məntiqdir — yəni bir vəziyyəti sakitləşdirmək, "soyutmaq". Maraqlısı budur ki, bu sadə müşahidələr — yer üzündəki gündəlik hadisələr — kainatda olduqca fundamental bir hadisənin təzahürüdür. Yuxarıda qeyd etdik ki, elektronlar və nüvələr birləşib neytral atomlar əmələ gətirdikdən sonra, fotonlar kainatda sərbəst şəkildə hərəkət edə bilirlər. Bu, elə bil ki, isti, lakin boş bir təzyiqli bişiricidəki hava atomlarının sərbəst hərəkət etməsi kimidir. Bişiricinin qapağını açdıqda içindəki hava genişlənir və soyuyursa, eyni proses kainatın genişlənməsi zamanı fotonlardan ibarət "qaz" üçün də keçərlidir. Əslində, bu fikri hələ 1950-ci illərdə fizik George Gamow və onun tələbələri Ralph Alpher və Robert Hermann, daha sonra isə 1960-cı illərin ortalarında Robert Dicke və Jim Peebles irəli sürmüşdülər. Onlar başa düşmüşdülər ki, kainat bu gün də, Böyük Partlayışdan sonra yaranmış ilkin fotonlardan ibarət demək olar ki, vahid və bərabər paylanmış bir fonla doludur. Bu fotonlar, son 15 milyard illik kainatın genişlənməsi nəticəsində, demək olar ki, tam soyumuş və yalnızca mütləq sıfırdan bir neçə dərəcə yuxarı temperaturda qalmışdır.

1965-ci ildə, New Jersey-dəki Bell Laboratoriyalarında çalışan Arno Penzias və Robert Wilson, rabitə peykləri üçün nəzərdə tutulan bir anten üzərində işləyərkən təsadüfən dövrümüzün ən vacib elmi kəşflərindən birini etdilər — onlar Böyük Partlayışdan qalan bu zəif "parıltı", yəni kosmik fon radiasiyasını aşkarladılar. Sonrakı illərdə aparılan tədqiqatlar nəzəriyyəni də, təcrübələri də daha da dəqiqləşdirdi və bu proses NASA-nın 1990-cı illərin əvvəllərində fəzaya göndərdiyi **COBE** (Cosmic Background Explorer) peykində aparılan ölçmələrlə zirvəyə çatdı. Bu məlumatlar göstərdi ki, kainat mikrodalğalı radiasiya ilə doludur — əgər gözlərimiz mikrodalğalara həssas olsaydı, ətrafımızı zəif bir işıqla "parlayan" kimi görərdik. Bu radiasiyanın temperaturu təxminən mütləq sıfırdan 2.7 dərəcə yuxarıdır və bu da Böyük Partlayış nəzəriyyəsinin proqnozları ilə tam uyğundur. Əyani şəkildə desək, kainatdakı hər kub metrə — bu an sənin oturduğun məkanda da daxil olmaqla — orta hesabla **təxminən 400 milyon foton** mövcuddur. Bu fotonlar Böyük Partlayışdan qalan və kosmosu dolduran mikrodalğalı "oceanı" təşkil edir — bu, yaradılışın sönük bir əks-sədasıdır. Televizorun kabelini çıxarıb, heç bir siqnal göndərilməyən bir kanala keçdiyində ekranda görünən "qar" effektinin bir hissəsi də, əslində, bu qədim Böyük Partlayışın zəif izlərindəndir.

Bu nəzəri və təcrübi uyğunluq, Böyük Partlayış nəzəriyyəsinin doğruluğunu təsdiqləyir — xüsusilə də fotonların kainatda ilk dəfə sərbəst hərəkət etməyə başladığı, partlayışdan bir neçə yüz min il sonrakı dövr üçün.

Böyük Partlayış Nəzəriyyəsini Daha Erkən Zamanlara Qədər Sınaqdan Keçirmək Mümkündürmü?

Bəli, bu mümkündür. Standart nüvə nəzəriyyəsi və termodinamikanın əsas prinsiplərindən istifadə etməklə, fiziklər kainatın ilkin nükleosintez dövründə — yəni Böyük Partlayışdan sonrakı yüzdə bir saniyə ilə bir neçə dəqiqə arasındakı zaman ərzində — əmələ gəlmiş yüngül elementlərin miqdarları ilə bağlı dəqiq proqnozlar verə bilirlər. Məsələn, nəzəriyyəyə əsasən, kainatın təxminən **23 faizi heliumdan** ibarət olmalıdır. Ulduzlar və dumanlıqlardakı helium miqdarını ölçməklə astronomlar bu proqnozu təsdiqləyən güclü sübutlar əldə etmişlər. Bəlkə də daha da heyranəmiz olanı **deyteriumun (ağır hidrogen)** miqdarı ilə bağlı proqnoz və onun doğrulanmasıdır. Çünki kainatda deyteriumun az da olsa sabit şəkildə mövcudluğunu izah edə biləcək, Böyük Partlayışdan başqa demək olar ki, heç bir astrofiziki proses yoxdur. Son dövrlərdə **litiumun** ilkin miqdarının da eyni şəkildə təsdiqlənməsi, kainatın erkən dövrlərində baş verən hadisələri anlamaqda əldə etdiyimiz nəzəri biliklərin nə dərəcədə dəqiq olduğunu göstərən incə və həssas bir sınaqdır. Yəni bu elementlərin kainatda mövcud olan miqdarları Böyük Partlayış nəzəriyyəsinin doğru olduğunu yalnız ümumi mənada yox, eyni zamanda çox dəqiq saylarla təsdiq edir. Bu, heyranedicə dərəcədə təsir edicidir — hətta bir qədər loğğalıq həddinə qədər. Əlimizdə olan bütün məlumatlar, kainatı Böyük Partlayışdan sonrakı yüzdə bir saniyədən bu günə — təxminən 15 milyard il sonrasına qədər — təsvir edə bilən kosmoloji bir nəzəriyyəni tam şəkildə təsdiq edir. Amma bu uğurun cazibəsinə qapılıb vacib bir həqiqəti unutmamalıyıq: yeni doğulmuş kainat inanılmaz bir sürətlə inkişaf etmişdi. Yüzdə bir saniyədən daha kiçik zaman aralıqları — son dərəcə qısa anlar — kainatın bugünkü uzunmüddətli xüsusiyyətlərinin ilk dəfə formalaşdığı dövrləri əhatə edir. Bu səbəbdən fiziklər daha da geriyə gedərək, kainatın daha erkən zamanlarını izah etməyə çalışırlar. Zamanı geri çevirdikcə, kainat daha kiçik, daha isti və daha sıx olur və buna görə də maddənin və qüvvələrin daha dəqiq kvant-mexaniki təsviri getdikcə daha vacib hala gəlir. Əvvəlki fəsillərdən bildiyimiz kimi, nöqtə-zərrəcik kvant sahə nəzəriyyəsi, zərrəciklərin enerjisi Plank enerjisinə çatana qədər işləyir. Kosmologiya kontekstində bu vəziyyət, bütün məlum kainatın Plank ölçüsündə bir zərrə içində yerləşdiyi vaxt baş verir. Bu zaman elə bir sıxlıq yaranır ki, onu izah etmək üçün uyğun bir bənzətmə tapmaq belə çətindir — Plank zamanında kainatın sıxlığı tamamilə qeyri-adi idi. Bu cür enerji və sıxlıq səviyyələrində artıq qravitasiya və kvant mexanikasını ayrı-ayrılıqda təsvir etmək mümkün deyil. Nöqtə-

zərrəcik nəzəriyyəsində bu iki sahə ayrı işləyə bilər, amma bu nöqtədə artıq belə yanaşma kifayət etmir. Bu kitabın əsas mesajı da budur: **bu qədər yüksək enerji və sıxlıq səviyyələrində artıq biz "sim nəzəriyyəsinə" müraciət etməliyik.** Vaxt baxımından desək, bu enerjilərlə qarşılaşdığımız an, **Plank zamanından da əvvəl** — yəni Böyük Partlayışdan sonrakı **təxminən 10^{-41} saniyəyə** — gedib çıxır. **Sim nəzəriyyəsinin kosmoloji səhnəsi də məhz bu dövrdür.** Gəlin, bu dövrə doğru irəliləyək və əvvəlcə **standart kosmoloji nəzəriyyənin** bizə yüzdə bir saniyədən əvvəl, amma **Plank zamanından sonra** kainat haqqında nə dediyinə baxaq.

Plank Zamanından Yüzdə Bir Saniyəyə Qədər ATB (After The Bang)

Yeddinci fəsildə, xüsusilə Şəkil 7.1-də, **üç qeyri-qravitasiya qüvvəsinin — güclü nüvə, zəif nüvə və elektromaqnit qüvvələrinin —** erkən kainatın **ağlasığmaz dərəcədə yüksək temperatur və enerji şəraitində birləşdiyini** xatırlaya bilərsiniz. Fiziklərin hesablamaları göstərir ki, **Böyük Partlayışdan təxminən 10^{-35} saniyə əvvəl**, bu üç qüvvə **"birləşmiş qüvvə"** və ya **"böyük vahid qüvvə"** formasında mövcud olmuşdur. Bu mərhələdə **kainat, bugünkü halı ilə müqayisədə çox daha simmetrik idi.** Bunu belə düşün: fərqli metallar bir qazana qoyulub əridildikdə, onlar tək bir homojen mayeyə çevrilirlər — fərqliliklər tamamilə silinir. Eynilə, kainatın o erkən mərhələsində, bu ekstremal enerji və temperatur şəraitində **qüvvələr arasında bildiyimiz bütün fərqlər "əridilərək" aradan qalxmışdı.** Lakin zaman keçdikcə və **kainat genişlənərək soyuduqca, kvant sahə nəzəriyyəsi** bizə göstərir ki, bu simmetriya **kəskin şəkildə pozulmağa başladı.** Bu proses **ani və mərhələli dəyişikliklər** (simmetriya qırılmaları) şəklində baş verdi və nəticədə **indiki asimmetrik qüvvə quruluşu — yəni ayrı-ayrı qüvvələrə** malik olduğumuz bu günkü fiziki reallıq — meydana gəldi. Başqa sözlə, bu dövrdə kainat **fizikanın dilində "simmetriya pozulması"** ilə tanınan, **dərin və transformasiyaedici** bir seriya dəyişikliklər yaşadı. Bu dəyişikliklər **güclərin ayrılması, zərrəciklərin kütlələr qazanması, və qüvvə daşıyıcılarının fərqli davranışları** kimi fundamental mexanizmləri başlatdı — və **bütün bunlar bizə bu gün mövcud olan fiziki dünyanı** bəxş etdi. İndi gəlin, bu erkən dövrdə baş vermiş ən dramatik hadisələrdən birinə — **inflyasiya dövrünə**, yəni **kainatın ani və həddən artıq sürətli genişlənmə mərhələsinə** nəzər salaq. Bu **simmetriyanın azalması** və ya daha dəqiq desək, **simmetriyanın pozulması** (symmetry breaking) adlandırılan fizika anlayışını başa düşmək çətin deyil. Təsəvvür edin ki, bir **böyük qab** su ilə doludur. H_2O molekulları qabın içində **bərabər şəkildə yayılıb** və suyu hansı bucaqdan baxsanız baxın, o eyni görünür. İndi temperaturu **azaltmağa başladıqda**, əvvəlcə çox şey baş vermir. Mikroskopik miqyasda, su molekullarının ortalama sürəti azalır, amma başqa bir dəyişiklik müşahidə edilmir. Lakin temperaturu **0 dərəcə Selsiyə endirdikdə**, birdən-birə böyük bir dəyişiklik baş verir. Sulu su **donmağa başlayır və bərk**

buz halına gəlir. Əvvəlki fəsildə müzakirə edildiyi kimi, bu, **faza keçidinin** sadə bir nümunəsidir. Bu nümunədə əsas şey, faza keçidinin su molekullarının **simmetriyasının azalmasına səbəb olmasıdır**. Hətta su maye olduğu zaman, ona hansı bucaqdan baxmasanız da, görünüşü dəyişməz — su **dönmə simmetriyasına** malikdir. Lakin, **buz** fərqlidir. Onun kristal blok strukturu var, bu da deməkdir ki, əgər onu **kifayət qədər diqqətlə** incələsəniz, hər hansı bir kristal kimi, onu müxtəlif bucaqlardan görmək fərqli görünəcək. Yəni, faza keçidi nəticəsində, **dönmə simmetriyasının azaldığı** baş verir. U simmetriya pozulması ideyasını daha yaxşı başa düşmək üçün sadə bir təbiət nümunəsidir, amma fizika və kosmosun başlanğıcı baxımından çox vacibdir. Biz yalnız bir tanış nümunə müzakirə etsək də, bu prinsip ümumilikdə doğrudur: Bir çox fiziki sistemin temperaturunu azaldıqca, müəyyən bir nöqtədə onlar faza keçidi keçirir ki, bu da adətən onların əvvəlki simmetriyasının azalmasına və ya "pozulmasına" səbəb olur. Həqiqətən də, bir sistemin temperaturu geniş bir aralıqda dəyişərsə, o, bir sıra faza keçidlərindən keçə bilər. Yenə də su, sadə bir nümunə təqdim edir. Əgər biz **H₂O**-nu **100 dərəcə Selsiyn üzərində** başlasaq, o, qaz halında olacaq: buxar. Bu vəziyyətdə, sistemin simmetriyası maye fazasında olduğundan daha çoxdur, çünki indi **H₂O molekulları** sıxılmış və bir-birinə yapışmış maye halından azad olub. Bunun yerinə, bütün molekullar qabın içində **tamamilə bərabər şəkildə** hərəkət edir və heç bir "yığın" və ya "**klik**" (molekulların bir-birilə sıx əlaqə qurduğu qruplar) yaratmır. Yüksək temperaturda molekullar arasında bir **demokratiya** mövcuddur.

Temperaturanı **100 dərəcə Selsiyn altına** endirdikdə, əlbəttə ki, su damcıları yaranmağa başlayır, çünki biz **qaz-maye faza keçidini** keçiririk və bu zaman simmetriya azalır. Daha da aşağı temperaturlara gətdikdə isə, çox dramatik bir şey baş vermir, ta ki **0 dərəcə Selsiyə** keçənə qədər, burada yuxarıdakı kimi, **maye su/buz** faza keçidi başqa bir kəskin simmetriya azalmalarına səbəb olur. Fizikçilər inanırlar ki, **Plank zamanı** ilə **bir yüzlik saniyə (0.01 saniyə)** arasında kainat çox oxşar bir şəkildə davranıb, ən azı iki bənzər faza keçidindən keçib. **1028 Kelvin**-dən yüksək temperaturda, üç qeyri-qaradlıq qüvvəsi (elektromaqnit, zəif və güclü nüvə qüvvələri) bir-birinə qarışmış, maksimum simmetriya ilə davranmışdır. **(Bu fəsildə, sim nəzəriyyəsinin bu yüksək temperaturda qüvvələri birləşdirməsi barədə müzakirə ediləcək.)** Lakin, temperatur **1028 Kelvin**-in altına düşdükcə, kainat bir faza keçidindən keçərək, üç qüvvə öz aralarındakı ümumi birləşmədən fərqli yollarla ayrıldı. Onların nisbi gücləri və maddəyə necə təsir etdikləri gətdikcə fərqlənməyə başladı. Beləliklə, daha yüksək temperaturda qüvvələr arasında mövcud olan simmetriya pozuldu, çünki kainat soyuyub. Buna baxmayaraq, **Glashow, Salam və Weinberg**-in işləri (5-ci fəsildə göstərilən) göstərir ki, bütün yüksək temperatur simmetriyası silinmədi: zəif və elektromaqnit qüvvələri hələ də dərinləşmiş şəkildə bir-birinə bağlı idi. Kainat daha da genişlənib soyuyarkən, çox bir şey baş vermədi, ta ki **1015**

Kelvin-ə qədər—günəşin nüvəsinin temperaturunun təxminən 100 milyon dəfə yüksək olduğu temperaturda—kainat başqa bir faza keçidinə uğradı, bu dəfə **elektromaqnit və zəif qüvvələr** üzərində təsir etdi. Bu temperaturda, onlar da əvvəlki, daha simmetrik birliyindən ayrıldılar və kainat soyuyarkən, fərqləri daha da artdı. Bu iki faza keçidi, dünyada işləyən üç gözlə görünən qeyri-qaradlıq qüvvələrinə səbəb olur, baxmayaraq ki, kainatın bu tarixini nəzərdən keçirdikdə, qüvvələrin əslində dərin əlaqəli olduğu ortaya çıxır.

Kosmoloji Tapmaca

Bu **Plank sonrası** dövrünə aid kosmologiya, kainatı **big bang**-dən dərhal sonrakı anlara qədər anlamaq üçün elegant, uyğun və hesablama baxımından işlək bir çərçivə təqdim edir. Lakin, əksər uğurlu nəzəriyyələrdə olduğu kimi, yeni anlayışlarımız daha çox detallı suallar ortaya qoyur. Və bəzi suallar, standart kosmoloji ssenarini təhrif etməsə də, dərin bir nəzəriyyəyə ehtiyac olduğunu göstərən narahatlıqları işıqlandırır. Gəlin, bunlardan birinə diqqət yetirək. Buna **horizont problemi** deyilir və bu, müasir kosmologiyanın ən vacib məsələlərindən biridir. Kainatın fon şüa radiasiyasının detallı tədqiqatları göstərmişdir ki, **radiasiyanın temperaturu**, hansı istiqamətə baxırsan bax, **100,000-də bir fərqlə** eynidir. Bir az düşündükdə, bunun olduqca qəribə olduğunu dərk edəcəksiniz. Niyə kainatın fərqli nöqtələri, bir-birindən nəhəng məsafələrlə uzaq olsalar da, belə bənzər temperaturda olmalıdırlar? Bu tapmacanın təbii görünən bir həlli, iki diametrik zidd məkanın bu gün çox uzaq olsa da, kainatın ən erkən anlarında onlar (və hər şey digər şeylərlə birlikdə) çox yaxın idilər. Çünki bunlar ortaq bir başlanğıc nöqtəsindən çıxmışdılar, buna görə də onların temperatur kimi ümumi fiziki xüsusiyyətləri paylaşmalarının heç də təəccüblü olmadığını düşünə bilərsiniz. **Standart Big Bang** kosmologiyasında bu təklif uğursuz olur. Bunun səbəbi budur: İsti şorba qabı otaq temperaturuna tədricən soyuyur, çünki o, daha soyuq ətraf hava ilə təmasda olur. Yeterincə gözlərsəniz, şorbaların və havanın temperaturu, qarşılıqlı təmasları sayəsində eyni olacaq. Lakin şorba, bir termosun içindədirsə, əlbəttə, daha uzun müddət istisini saxlayacaq, çünki xarici mühitlə əlaqə çox az olacaq. Bu, iki cism arasındakı temperaturun homogenləşməsinin onların uzunmüddətli və maneəsiz əlaqəyə sahib olmalarına əsaslandığını göstərir. Yer in ilk zamanlarında kosmosda çox uzaq məsafələrlə ayrılan nöqtələrin eyni temperaturu paylaşdığı təklifini sınaqdan keçirmək üçün, o zamanlar arasındakı məlumat mübadiləsinin təsirini araşdırmalıyıq. İlk başda, nöqtələr əvvəlki zamanlarda daha yaxın olduqları üçün əlaqənin daha asan olduğunu düşünə bilərsiniz. Lakin məkan yaxınlığı yalnız hekayənin bir hissəsidir. Digər hissə isə

zamanın uzunluğudur. Bunu daha ətraflı araşdırmaq üçün, kosmik genişlənməni "film" kimi təsəvvür edək, amma bu dəfə filmi irəli yox, geriye, yəni bu günün zamanından böyük partlayışın (Big Bang) anına doğru izləyək. Çünki işıq sürəti hər hansı bir siqnalın və ya məlumatın nə qədər sürətlə hərəkət edə biləcəyini məhdudlaşdırır, iki kosmik bölgə arasında istilik enerjisi mübadiləsi ola bilər və bunun nəticəsində onlar eyni temperaturu əldə edə bilər yalnız o halda ki, bu bölgələr arasındakı məsafə o qədər kiçik olsun ki, işıq həmin məsafəni böyük partlayışın vaxtından bəri keçmiş olsun.

Buna görə də, filmi zamanla geri sarıdıqca, görürük ki, burada iki əsas amil var: birincisi, bu kosmik bölgələr arasındakı məsafənin nə qədər kiçilməsidir, ikincisi isə bu məsafəni qət etmək üçün vaxtın nə qədər geriye getməli olduğudur. Məsələn, əgər bu iki məkan arasındakı məsafə 186,000 mil olarsa və bunun üçün filmi bir saniyədən də az bir müddət geriye sarmalı olsaq, hələ də bu bölgələr bir-birinə təsir edə bilməz, çünki işıq bu məsafəni qət etmək üçün bir saniyə vaxt tələb edir. Əgər bu məsafə 186 milə enərsə və filmi bir saniyənin mində birinə qədər geriye sarmalı olsaq, yenə də eyni nəticəyə gəlirik: Bu bölgələr bir-birinə təsir edə bilməz, çünki işıq 186 mil məsafəni bir saniyənin mində biri qədər vaxtda keçə bilməz. Eyni prinsipə davam edərək, əgər bu bölgələr bir-birinə 12 düym (1 fut) yaxın olarsa və filmi bir milyardda bir saniyə geriye sarmalı olsaq, yenə də bu bölgələr bir-birinə təsir edə bilməz, çünki işıq bu 12 düym məsafəni böyük partlayışdan bu qədər qısa vaxt ərzində keçə bilməz. Bu, göstərir ki, yalnız iki nöqtə bir-birinə yaxınlaşsa da, bu, onların bir-birinə istilik mübadiləsi etmələri—yəni şorba və havadakı əlaqə kimi—və buna görə də eyni temperaturu əldə etmələri üçün lazım olan zamanla qarşılıqlı əlaqəyə girdikləri anlamına gəlmir.

Fizikçilər göstəriblər ki, məhz bu problem standart böyük partlayış modelində yaranır. Ətraflı hesablamalar göstərir ki, hal-hazırda geniş şəkildə ayrılmış kosmik bölgələr arasında istilik enerjisinin mübadiləsi olub, bu da onların eyni temperaturda olmalarını izah edə bilməz. "Horizon" sözü, nə qədər uzağa görə bildiyimizi—ışığın nə qədər uzağa hərəkət edə biləcəyini—təmsil etdiyi kimi, fiziklər kosmosun geniş ərazisində temperaturun bərabərliyini "horizon problemi" adlandırırlar. Bu tapmaca, standart kosmoloji nəzəriyyənin səhv olduğunu demir. Lakin temperaturun bu bərabərliyi, kosmologiyanın vacib bir hissəsinin çatışmadığını güclü şəkildə göstərir. 1979-cu ildə, hazırda Massachusetts Texnologiya İnstitutunda çalışan fizik Alan Guth, bu itkin bölümü yazdı.

İnflyasiya

Horizon probleminin kökü ondan ibarətdir ki, kainatın iki geniş şəkildə ayrılmış bölgəsini yaxınlaşdırmaq üçün, biz kosmik "film"i zamanın başlanğıcına doğru çox geriye getməliyik. O qədər geriye, hətta fiziki təsirin bir bölgədən digərinə çatmağa kifayət qədər vaxt yoxdur. Buna görə də çətinlik ondan ibarətdir ki, kosmoloji "film"i geri çevirərkən və böyük partlayışa yaxınlaşarkən kainatın sıxılma sürəti kifayət qədər sürətli deyil. Bunun ümumi fikri belədir, amma təsviri bir qədər dəqiqləşdirmək faydalıdır. Horizon problemi ondan qaynaqlanır ki, yuxarıya atılmış bir top kimi, cazibə qüvvəsinin çəkisi kainatın genişlənmə sürətini yavaşladır. Bu, o deməkdir ki, məsələn, kainatda iki yer arasındakı məsafəni yarıya endirmək üçün "film"i başlanğıcına doğru daha çox geri çəkməliyik. Nəticədə görürük ki, məsafəni yarıya endirmək üçün, böyük partlayışdan bəri keçən vaxtı yarıdan çox azaltmalıyıq. Keçən vaxtın az olması — nisbətən desək — ikili bölgənin bir-biri ilə ünsiyyət qurmasını çətinləşdirir, baxmayaraq ki, onlar yaxınlaşır. Guth'un horizon probleminin həllini ifadə etmək indi çox sadədir. O, Eynşteynin tənliklərinə başqa bir həll tapdı ki, burada çox erkən kainatın çox qısa bir müddət ərzində inanılmaz dərəcədə sürətli genişlənmə dövrü keçirdiyi göstərilir — bu dövr ərzində kainat faktiki olaraq "şişir" və ölçüsünü hərəkətsiz olaraq eksponensial sürətlə artır. Yuxarıya atılmış bir topun yavaşladığı vəziyyətin əksinə olaraq, eksponensial genişlənmə getdikcə sürətlənir. Kosmik "film"i geri çevirdikdə, sürətlə sürətlənən genişlənmə sürətlə yavaşlayan sıxılmaya çevrilir. Bu o deməkdir ki, kainatın iki yer arasındakı məsafəni yarıya endirmək (eksponensial dövrdə) üçün "film"i başlanğıcına doğru yarı yoldan daha az geri çəkməliyik — əslində, çox daha az. "Filmi" daha az geri çəkmək, o deməkdir ki, bu iki bölgə bir-biri ilə daha çox zaman ərzində istilik enerjisi mübadiləsi etməli, və isti şorba ilə hava kimi, onlar bir-birinə eyni temperaturu gətirmək üçün kifayət qədər zaman keçirmiş olacaqlar.

Guth'un kəşfi və daha sonra Stanford Universitetindən André Linde, Pensilvaniya Universitetindən Paul Steinhardt və Andreas Albrecht və bir çox başqaları tərəfindən edilən mühüm düzəlişlərlə standart kosmoloji model "inflasiyalar kosmoloji model"ə çevrildi. Bu çərçivədə, standart kosmoloji model çox qısa bir zaman pəncərəsində — təxminən 10^{-36} ilə 10^{-34} saniyə arasındakı bir müddətdə — dəyişdirilir, burada kainat ən azı 10^{30} ölçüsündə nəhəng bir faktora qədər genişləndi, halbuki standart ssenaridə eyni zaman intervalında bu faktor təxminən yüzə yaxın idi. Bu o deməkdir ki, bir neçə saniyəlik bir an, yəni 10^{-36} saniyənin trilyon trilyon trilyon hissəsi ərzində kainatın ölçüsü, son 15 milyard ildə olduğundan daha çox bir faizlə artdı. Bu genişlənmə başlamazdan əvvəl, bu gün kainatın uzaq bölgələrindəki maddə standart kosmoloji modelə nisbətən daha yaxın idi və bu, ümumi bir temperaturun asanlıqla qurulmasına imkan verdi. Sonra, Guth'un momentlik kosmoloji inflyasiya partlayışından sonra — standart kosmoloji modelin daha adi

genişlənməsi ilə — bu məkan bölgələri indiki nəhəng məsafələrlə ayrılmağa başladılar. Beləliklə, standart kosmoloji modelin qısa amma dərin inflyasiya düzəlişi horizon problemini (və burada müzakirə etmədiyimiz bir neçə digər mühüm problemi) həll edir və kosmoloqlar arasında geniş qəbul tapıb.

Kosmoqrafiya və Supersim Nəzəriyyəsi

14.1-ci Şəkilin, Böyük Partlayış ilə Plank vaxtı arasındakı bir kiçik hissəsi hələ də müzakirə edilməyib. Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin tənliklərini bu bölgəyə tətbiq edərək, fizikaçılar kainatın zamanla geriye doğru getdikcə daha da kiçildiyini, daha da isindiyini və daha sıxlaşdığını tapıblar. Vaxt sıfıra yaxınlaşdıqca, kainatın ölçüsü sıfıra gedərkən, temperatur və sıxlıq sonsuza doğru yüksəlir. Bu, bizə, ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin klassik qravitasiya çərçivəsində möhkəm əsaslanan bu nəzəri kainat modelinin tamamilə dağılmasına işarə edən ən ekstremal siqnalı verir.

Təbiət bizə qəti şəkildə bildirir ki, belə şəraitdə biz ümumi nisbilik və kəmiyyət mexanikasını birləşdirməliyik — digər sözlə desək, biz sim nəzəriyyəsindən istifadə etməliyik. Hal-hazırda, sim nəzəriyyəsinin kosmologiyaya təsirləri üzərində araşdırmalar hələ inkişafın erkən mərhələsindədir. Perturbativ metodlar yalnız skelet baxışlarını təmin edə bilər, çünki enerji, temperatur və sıxlıq ekstremaları dəqiq analiz tələb edir. İkinci supersim inqilabı bəzi qeyri-perturbativ texnikalar təqdim etsə də, bunlar kosmoloji mühitdə tələb olunan hesablamalar üçün təkmilləşdiriləcək vaxt alacaq. Bununla belə, artıq son bir onillik ərzində fizikaçılar sim kosmologiyasını anlamağa doğru ilk addımları atıblar. Budur, onların tapdıqları:

Görünür ki, sim nəzəriyyəsi standart kosmoloji modeli üç əsas şəkildə dəyişdirir. Birincisi, cari araşdırmaların hələ aydınlaşdırmağa davam etdiyi şəkildə, sim nəzəriyyəsi kainatın ən kiçik mümkün ölçüsünün olduğunu bildirir. Bu, kainatın böyük partlayış anında, standart nəzəriyyənin ölçüsünün sıfıra qədər kiçildiyini iddia etdiyi zaman üçün dərin nəticələrə malikdir. İkinci olaraq, sim nəzəriyyəsinin kiçik-radius/böyük-radius dualitesi var (bu, ən kiçik mümkün ölçü ilə sıx əlaqəlidir), bu da, bir az sonra görəcəyimiz kimi, dərin kosmoloji əhəmiyyətə malikdir. Nəhayət, sim nəzəriyyəsi dördüncü ölçüdən çox olan zaman-məkan ölçülərinə malikdir və kosmoloji nöqtəyi-nəzərdən, biz hamısının evrimini nəzərdən keçirməliyik. Gəlin, bu məqamları daha ətraflı müzakirə edək.

Başlanğıcda Plank Ölçüsündə Nugget Var idi

1980-ci illərin sonlarında, Robert Brandenberger və Cumrun Vafa, sim nəzəriyyəsi xüsusiyyətlərinin standart kosmoloji çərçivənin nəticələrini necə dəyişdirdiyini anlamağa doğru ilk mühüm addımları atdılar. Onlar iki vacib nəticəyə gəldilər. Birincisi, vaxtı geriye doğru işlətdikcə, temperatur artmağa davam edir, ta ki kainatın ölçüsü hər istiqamətə Plank uzunluğuna yaxınlaşana qədər. Lakin sonra temperatur maksimuma çatır və azalmağa başlayır. Bu fenomenin intuisiv izahını tapmaq çətin deyil. Sadəlik üçün (Brandenberger və Vafa'nın etdiyi kimi) kainatın bütün məkan ölçülərinin dairəvi olduğunu təsəvvür edin. Vaxtı geriye doğru işlətdikcə və bu dairələrin radiusları kiçildikcə, kainatın temperaturu artır. Lakin hər bir radius Plank uzunluğuna yaxınlaşdıqca və sonra onu keçdikcə, sim nəzəriyyəsi çərçivəsində bunun, radiusların Plank uzunluğuna doğru kiçilməsi və sonra yenidən genişlənməyə doğru sıçraması ilə fiziki olaraq eyni olduğunu bilirik. Temperatur kainat genişlənərkən azaldığına görə, kainatı sub-Plank ölçüsünə sıxışdırmaq cəhdi nəticəsiz olduğuna görə, temperaturun artması dayanır, maksimuma çatır və sonra azalmağa başlayır. Brandenberger və Vafa, detallı hesablamalarla, həqiqətən də bunun doğru olduğunu təsdiq etdilər.

Bu, Brandenberger və Vafa'ya aşağıdakı kosmoloji şəkli göstərdi. Başlanğıcda, sim nəzəriyyəsinin bütün məkan ölçüləri ən kiçik mümkün ölçüdə, təxminən Plank uzunluğuna qədər sıxılmışdır. Temperatur və enerji yüksəkdir, amma sonsuz deyil, çünki sim nəzəriyyəsi sonsuz sıxılmış sıfır ölçülü başlanğıc nöqtəsinin təzadlarından qaçır. Kainatın bu başlanğıc anında, sim nəzəriyyəsinin bütün məkan ölçüləri tamamilə bərabər vəziyyətdədir—tamamilə simmetrikdir—hamısı çox ölçülü, Plank ölçülü bir nugget (topa) şəklində sıxılmışdır. Sonra, Brandenberger və Vafa'ya görə, kainat ilk simmetriya azaldılma mərhələsindən keçir, bu mərhələdə təxminən Plank zamanında, üç məkan ölçüsü genişlənmək üçün seçilir, digərləri isə başlanğıc Plank ölçüsünü qoruyur. Bu üç məkan ölçüsü sonra inflasiya kosmoloji ssenarisindəki ölçülər ilə əlaqələndirilir, Plank zamanından sonrakı evrim (Şəkil 14.1-də xülasə edildiyi kimi) baş verir və bu üç ölçü hazırkı müşahidə olunan formalarına qədər genişlənir.

Niyə Üç?

Təcili sual yaranır: Simmetriyanın azaldılması nə ilə bağlıdır ki, yalnız üç məkan ölçüsü genişlənmə üçün seçilib? Yəni, yalnız üç məkan ölçüsünün müşahidə edilə bilən böyük ölçüyə qədər genişləndiyini göstərən eksperimental faktı nəzərə alaraq, sim nəzəriyyəsi digər ölçülərin (dörd, beş, altı və s.) və ya daha simmetrik şəkildə bütün məkan ölçülərinin də genişlənməsinin əsaslandırılmasına səbəb olacaq fundamental bir səbəb təklif edirmi?

Brandenberger və Vafa buna mümkün bir izah tapmışlar. Xatırlayın ki, sim nəzəriyyəsində kiçik radius/böyük radius ikiliyi, bir ölçü halqavari büküldə bir simin onun ətrafında dolanma qabiliyyətinə əsaslanır.

Brandenberger və Vafa başa düşdülər ki, bir velosiped təkərinin iç çubuğuna bükülmüş rezin lentlər kimi, bükülmüş simlər həmin ölçüləri daraldaraq onların genişlənməsinə mane olur. İlk baxışda bu, hər bir ölçünün daralacağı anlamına gəlməli kimi görünür, çünki simlər hər bir ölçüyü əhatə edə və əslində onlara bükülə bilirlər. Lakin burada bir boşluq var: Əgər bükülmüş bir sim və onun antisim tərəfdaşı (təxminən, ölçüyü əks istiqamətdə bükən bir sim) qarşılaşarsa, onlar sürətlə bir-birini məhv edəcək və açılmamış bir sim yaradacaqlar. Əgər bu proseslər kifayət qədər sürətlə və effektiv şəkildə baş verərsə, bükülmüş simlərin "boğulma" təsirinin bir hissəsi aradan qaldırılacaq və ölçülərin genişlənməsinə imkan yaradacaq. Brandenberger və Vafa təklif etdilər ki, bu bükülmüş simlərin boğulma təsirinin azaldılması yalnız üç məkan ölçüsündə baş verəcək. Bəs niyə yalnız üç ölçü?

Təsəvvür edin ki, iki nöqtə hissəcikləri bir ölçülü xətt boyunca, məsələn, Lineland adlı məkan boyunca yuvarlanır. Əgər onların sürətləri tam eyni deyilsə, nəhayət, biri digərini qabaqlayacaq və onlar toqquşacaqlar. Lakin, əgər eyni nöqtə hissəcikləri iki ölçülü bir müstəvidə, məsələn, Flatland adlı bir məkan boyunca təsadüfi şəkildə yuvarlanırsa, o zaman onların heç vaxt toqquşmayacağı ehtimalı yüksəkdir. İkinci məkan ölçüsü hər bir hissəciyə yeni hərəkət yolları təqdim edir və bunların çoxu eyni nöqtədə və eyni zamanda kəsişmir. Üç, dörd və ya daha çox ölçülü məkanlarda isə, iki hissəciyin heç vaxt bir-biri ilə qarşılaşması daha az ehtimal olunur.

Brandenberger və Vafa başa düşdülər ki, eyni prinsiplər simlərin bükülmüş halında, yəni məkan ölçüləri üzrə bükülmüş simli halında da tətbiq olunur. Baxmayaraq ki, bu, əhəmiyyətli dərəcədə çətin görünsə də, əgər üç (və ya daha az) dövrəvi məkan ölçüsü varsa, iki bükülmüş simin bir-birini toqquşması ehtimalı yüksəkdir—bu, bir ölçüdə hərəkət edən iki hissəciyin başına gələnlərə bənzəyir. Lakin dörd və ya daha çox ölçülü məkanlarda, bükülmüş simlərin toqquşması getdikcə daha az ehtimal olunur—bu da, iki və ya daha çox ölçüdə hərəkət edən nöqtə hissəcikləri üçün olan analoqa bənzəyir.

Beləliklə, biz aşağıdakı şəkli əldə edirik. Kainatın ilk anında yüksək, lakin sonlu temperaturun qarşısında bütün dövrəvi ölçülər genişlənməyə cəhd edir. Bu zaman, bükülmüş simlər genişlənməni daraldaraq, ölçüləri orijinal Plank ölçüsünə qaytarır. Lakin, nəhayət, təsadüfi bir istilik dalğası üç ölçünün digər ölçülərdən daha böyük böyüməsinə səbəb olacaq və bizim müzakirəmiz göstərir ki, bu ölçüləri bükən simlər çox yüksək ehtimalla toqquşacaq. Toqquşmaların təxminən yarısı sim/antisim cütləri ilə baş verəcək

və bu, mütəmadi olaraq boğulma təsirini azaldaraq bu üç ölçünün davamlı genişlənməsinə şərait yaradacaq. Onlar nə qədər genişlənersə, digər simlərin onlara dolaşması bir o qədər az ehtimal olunacaq, çünki daha böyük bir ölçüyə bükülmək üçün daha çox enerji tələb olunur. Beləliklə, genişlənmə özünü təkrarlayaraq daha az sıxılmış hala gəlir və ölçülər getdikcə daha da böyüyür. İndi təsəvvür edə bilərik ki, bu üç məkan ölçüsü əvvəlki hissələrdə izah olunan şəkildə təkamülünü davam etdirir və hal-hazırda müşahidə edilən kainatın ölçüsünə bərabər və ya ondan daha böyük bir ölçüyə qədər genişlənir.

Kosmologiya və Calabi-Yau Formaları

Sadəlik naminə, Brandenberger və Vafa bütün fəzavi ölçülərin dairəvi olduğunu fərz etdilər. Əslində, 8-ci fəsildə qeyd olunduğu kimi, əgər bu dairəvi ölçülər kifayət qədər böyükdürsə və yalnız müşahidə imkanlarımızın həddlərindən kənarda öz üzərlərinə qapanırlarsa, bu cür dairəvi forma müşahidə etdiyimiz kainatla uyğun ola bilər. Lakin kiçik qalan ölçülər üçün daha real bir ssenari odur ki, bu ölçülər daha mürəkkəb bir **Calabi-Yau fəzasına** bükülüb. Əsas sual isə budur: **Hansı Calabi-Yau fəzası?** Məhz bu konkret fəzaya necə qərar verilir? Bu suala hələ heç kim dəqiq cavab verə bilməyib. Amma əvvəlki fəsildə təsvir olunan radikal topoloji dəyişiklikləri və bu kosmoloji baxışları birləşdirməklə, biz bunun üçün bir çərçivə təklif edə bilərik.

Conifold keçidləri adlanan, fəzaların parçalanıb yenidən birləşə bildiyi bu proseslər vasitəsilə artıq bilirik ki, istənilən bir Calabi-Yau forması başqa bir formaya çevrilə bilər. Bu o deməkdir ki, böyük partlayışdan (Big Bang) dərhal sonrakı qızğın və xaotik anlarda bükülmüş Calabi-Yau komponenti hələ kiçik qalır, lakin onun strukturu sanki dayanmadan cırılib təzədən birləşir – yəni bir-birinin ardınca müxtəlif Calabi-Yau formaları içindən keçir. Bu, qısa zamanda çoxsaylı fərqli formalara keçidlə nəticələnən bir "rəqs" kimidir.

Kainat soyuduqca və üç fəzavi ölçü böyüdükcə, bu keçidlər dayanır və son forması sabitləşir. Məhz bu sabit forma ətrafımızda müşahidə etdiyimiz fiziki xüsusiyyətləri müəyyənləşdirir. Fiziklərin qarşısındakı çətinlik isə budur: Calabi-Yau fəzasının bu inkişaf prosesini detallı şəkildə anlamaq və onun indiki formasını nəzəri prinsimlərdən yola çıxaraq **proqnozlaşdırmaq**.

Yeni kəşf olunmuş – bir Calabi-Yau formasının digəri ilə **kəsintisiz şəkildə dəyişə bilməsi** qabiliyyəti sayəsində artıq anlayırıq ki, bu formanın seçilməsi məsələsi fizika deyil, **kosmologiya** probleminə çevrilə bilər.

Başlanğıcdan Əvvəl?

Strun nəzəriyyəsinin dəqiq tənlikləri məlum olmadığından, Brandenberger və Vafa kosmoloji araşdırmalarında bir sıra təxmini yanaşmalara və fərziyyələrə müraciət etməyə məcbur qaldılar. Vafa bu yaxınlarda belə dedi: "Bizim işimiz göstərir ki, strun nəzəriyyəsi vasitəsilə kosmologiyanın standart yanaşmasında uzun müddətdir mövcud olan problemləri tamamilə yeni bir şəkildə araşdırmağa başlaya bilərik. Məsələn, görürük ki, başlanğıcda olan 'təkillik' anlayışı (yəni sonsuz sıxlıq və temperaturun olduğu başlanğıc nöqtəsi) strun nəzəriyyəsi ilə tamamilə aradan qaldırıla bilər." Lakin strun nəzəriyyəsi ilə bu qədər ekstremal vəziyyətlərdə etibarlı və tam hesablama aparmaq indiki bilik səviyyəmizlə hələ çox çətindir. Bu səbəbdən, onların işi strun kosmologiyasına ilk baxış kimi qiymətləndirilə bilər və hələ ki, bu sahədə son söz deyilməyib.

Brandenberger və Vafa'nın işindən sonra fiziklər strun kosmologiyasını daha dərinədən anlamaq istiqamətində davamlı irəliləyiş əldə etdilər. Bu sahəyə öncülük edənlər arasında Torino Universitetindən Gabriele Veneziano və onun əməkdaşı Maurizio Gasperini də var. Gasperini və Veneziano hətta özlərinə məxsus maraqlı bir strun kosmologiyası modeli irəli sürüblər. Bu model yuxarıda təsvir olunan ssenari ilə müəyyən oxşarlıqlara malik olsa da, bir sıra mühüm cəhətlərinə görə ondan fərqlənir. Brandenberger və Vafa kimi, onlar da strun nəzəriyyəsində minimal uzunluğun olması fikrinə əsaslanırlar. Bu, standart və inflyasiya nəzəriyyələrində ortaya çıxan sonsuz temperatur və enerji sıxlığından yayınmağa imkan verir. Lakin Brandenberger və Vafa bu yanaşmadan belə nəticəyə gəlirlər ki, kainat çox isti və Plank ölçüsündə bir "toxum" kimi başlayır. Gasperini və Veneziano isə fərqli bir nəticəyə gəlirlər: onların fikrincə, kainatın Plank ölçüsündəki embrionuna gətirib çıxaran, "zaman sıfırından" çox-çox əvvəl başlayan bir tarixçə mövcud ola bilər. Yəni, bizim indiyə qədər "başlanğıc nöqtəsi" kimi qəbul etdiyimiz zaman sıfırından öncə belə, kainatın bir keçmişi olmuş ola bilər. Bu, belə adlandırılan "Böyük Partlayışdan əvvəlki ssenari"də, kainatın başlanğıc vəziyyəti Böyük Partlayış nəzəriyyəsindəki vəziyyətdən tamamilə fərqli olur. Gasperini və Veneziano'nun araşdırmaları göstərir ki, kainat, əvvəldə düşündüyümüz kimi çox isti və çox kiçik bir nöqtəyə sıxılmış şəkildə deyil, əksinə, soyuq və məkanca demək olar ki, sonsuz genişlikdə bir halda başlayıb. Strun nəzəriyyəsinin tənlikləri göstərir ki — bu, bir növ Guth'un inflyasiya dövrü kimi — kainatın başlanğıc vəziyyətində bir sabitlik pozuntusu baş verir. Bu pozuntu, kainatın hər bir nöqtəsinin digər bütün nöqtələrdən sürətlə uzaqlaşmasına səbəb olur. Gasperini və Veneziano sübut edirlər ki, bu proses nəticəsində məkan getdikcə daha çox əyilir və temperaturla enerji sıxlığı sürətlə artır.

Bir müddət sonra, bu geniş məkanda təxminən millimetr ölçüsündə olan üçölçülü bir bölgə, Guth-un inflyasiya nəzəriyyəsində təsvir edilən çox isti və sıx bir hissə kimi görünə bilər.

Daha sonra bu hissə, adi Böyük Partlayış kosmologiyasında baş verən standart genişlənmə vasitəsilə, bu gün tanıdığımız bütün kainatı izah edə biləcək vəziyyətə gəlir. Daha da maraqlısı odur ki, Böyük Partlayışdan əvvəlki bu dövrün özü də bir növ inflyasiya (çox sürətli genişlənmə) ehtiva etdiyindən, Guth-un "üfüq problemi"nə verdiyi cavab bu ssenaridə artıq avtomatik olaraq yer almış olur.

Veneziano özü bu haqda belə deyib:

"Strun nəzəriyyəsi bizə inflyasiya kosmologiyasının bir versiyasını sanki gümüş sinidə təqdim edir."

Superstrun kosmologiyasının tədqiqi sürətlə inkişaf edən və məhsuldar bir elmi araşdırma sahəsinə çevrilməkdədir. Məsələn, Böyük Partlayışdan əvvəlki ssenari artıq elmi ictimaiyyətdə çoxsaylı, bəzən qızgın, lakin məhsuldar müzakirələrə səbəb olub. Hələ də tam aydın deyil ki, bu ssenari nəticə etibarilə strun nəzəriyyəsindən çıxacaq ümumi kosmoloji çərçivədə hansı rolu oynayacaq.

Bu kosmoloji anlayışlara nail olmaq isə şübhəsiz ki, ikinci superstrun inqilabının bütün aspektlərini tam dərk etmək bacarığından asılı olacaq. Məsələn:

- Əsas yüksəkölçülü branların (yəni çoxölçülü membranların) mövcudluğunun kosmologiyada hansı nəticələri var?
- Əgər strun nəzəriyyəsinin birləşmə sabiti (coupling constant) elə bir dəyərə malikdirsə ki, bizi Şəkil 12.11-in mərkəzinə yaxınlaşdırır (kənar "yarımada" əvəzinə), bu zaman bu kosmoloji xüsusiyyətlər necə dəyişir?
- Yəni, tam formalaşmış M-nəzəriyyəsi kainatın ən ilkin anlarına hansı təsiri göstərir?

Bu kimi əsaslı suallar hal-hazırda intensiv şəkildə tədqiq olunur. Və artıq bu araşdırmalardan bir mühüm fikir ortaya çıxıb.

M-Nəzəriyyə və Bütün Qüvvələrin Birləşməsi

Şəkil 7.1-də göstərilmişdi ki, kainatın temperaturu kifayət qədər yüksək olduqda, üç qeyri-qravitasiya qüvvəsinin (elektromaqnit, zəif və güclü nüvə qüvvələrinin) gücləri bir nöqtədə birləşir. Bəs qravitasiya qüvvəsinin gücü bu mənzərəyə necə uyğun gəlir?

M-nəzəriyyəsi ortaya çıxmamışdan əvvəl, strun nəzəriyyəçiləri göstərmişdilər ki, əgər məkanın Calabi-Yau komponenti üçün ən sadə formaları seçilsə, o zaman qravitasiya

qüvvəsi də demək olar ki, digər üç qüvvə ilə eyni nöqtədə birləşir — amma tam deyil, bu da Şəkil 14.2-də əks olunub.

Strun nəzəriyyəçiləri bu uyğunsuzluğu çox diqqətli şəkildə Calabi-Yau formasını dəyişməklə, başqa texniki üsullarla aradan qaldıra bildiklərini aşkar etdilər. Amma bu cür "sonradan düzəlişlər" və həddindən artıq incə tənzimləmələr fizikaçılarda narahatlıq doğurur. Çünki bu yanaşma təbiətin sanki "uğurla tənzimlənmiş" olduğu anlamına gəlir, halbuki elmi baxımdan bu, çox arzuolunmaz və qeyri-təbii görünür.

Üstəlik, hələlik Calabi-Yau ölçülərinin dəqiq formasını proqnozlaşdırmağın heç bir yolu yoxdur, bu da o deməkdir ki, həmin formanın incə detallarına əsaslanan belə "həll yolları"na güvənmək elmi baxımdan təhlükəlidir. Lakin Witten göstərmişdir ki, ikinci superstrun inqilabı bu problemin çox daha möhkəm və etibarlı bir həllini təqdim edir. O, strun birləşmə sabitinin (yəni, qüvvələrin qarşılıqlı təsir gücünü təyin edən ədədi) mütləq kiçik olması lazım olmadığını nəzərə alaraq, qüvvələrin güclərinin bu halda necə dəyişdiyini araşdırmışdır.

Witten-in tapıntılarına görə, qravitasiya qüvvəsinin əyrisi (gücünün zamanla necə dəyişdiyini göstərən qrafik) diqqətlə tənzimlənmədən, yəni Calabi-Yau məkanının formasını xüsusi şəkildə "şəkilləndirməyə" ehtiyac qalmadan, digər üç qüvvə ilə birləşə bilər — bu da Şəkil 14.2-də göstərilmişdir. Bu nəticə hələ ilkin və qeyri-müəyyən olsa da, o deməyə əsas verir ki, kosmoloji vəhdətə (qüvvələrin birliyinə) nail olmaq, M-nəzəriyyəsinin geniş çərçivəsindən istifadə etməklə daha asan mümkündür. Bu və əvvəlki bölmələrdə müzakirə olunan inkişaf, strun və M-nəzəriyyəsinin kosmologiyaya tətbiqinə dair atılmış ilk, ehtiyatlı addımları təmsil edir. Gözlənilir ki, qarşıdakı illərdə, strun/M-nəzəriyyəsinin qeyri-xətti (non-perturbativ) riyazi alətləri daha da təkmilləşdikcə, bu nəzəriyyələrin kosmoloji məsələlərə tətbiqi nəticəsində ən fundamental elmi anlayışlar üzə çıxacaq. Lakin hazırda strun nəzəriyyəsinə əsasən kosmologiyanı tam şəkildə anlamağa imkan verən kifayət qədər güclü metodlar mövcud olmadığından, ümumi yanaşmalar üzərində düşünmək faydalı ola bilər — xüsusilə də kosmologiyanın "son nəzəriyyə"nin axtarışındakı mümkün rolu baxımından. Bunu da qeyd etmək vacibdir ki, burada səsləndiriləcək bəzi fikirlər, əvvəlki müzakirələrimizdən daha fərziyyə xarakterlidir, yəni elm baxımından daha çox ehtimallara və nəzəri düşüncələrə əsaslanır. Amma buna baxmayaraq, bu ideyalar gələcəkdə hər hansı iddia olunan "son nəzəriyyənin" cavab verməli olduğu mühüm məsələləri gündəmə gətirir.

Kosmoloji Fərziyyələr və Son Nəzəriyyə

Kosmologiya bizdə çox dərin və hissiyyata toxunan bir maraq oyada bilər. Çünki kainatın necə başladığını anlamaq, bir çox insan üçün nə üçün başladığını anlamağa ən yaxın olduğumuz nöqtə kimi görünür. Bu o demək deyil ki, müasir elm “necə baş verdi?” sualı ilə “nə üçün baş verdi?” sualı arasında birbaşa əlaqə qurur — çünki belə bir əlaqə yoxdur. Hətta mümkündür ki, elm bu iki sual arasında heç vaxt birbaşa əlaqə tapa bilməsin. Lakin kosmologiyanın tədqiqi bizə “nə üçün?” sualının doğrulduğu səhnəni — kainatın yaranışını — ən tam elmi çərçivədə anlamaq imkanı verir. Bu da bizə bu sualı elmi baxımdan məlumatlı və əsaslı şəkildə soruşmaq üçün zəmin yaradır. Bəzən bir suala çox dərin şəkildə bələd olmaq, yəni onu bütün detalları ilə araşdırmaq, cavabın özünü tapmağa ən yaxın alternativimiz olur.

Son Nəzəriyyənin Axtarışı Kontekstində Kosmologiya

Son nəzəriyyəni axtararkən, kosmologiya üzərindəki yüksək səviyyəli fəlsəfi düşüncələr yerini daha konkret məsələlərə verir. Kainatın bu gün bizə necə göründüyü — Şəkil 14.1-dəki zaman xəttinin ən sağında — şübhəsiz ki, fizikanın əsas qanunlarından asılıdır, amma eyni zamanda kosmoloji təkamülün müxtəlif aspektlərindən də asılı ola bilər. Bu təkamül, zaman xəttinin ən sol tərəfində, ehtimal ki, ən dərin nəzəriyyələrin belə çərçivəsindən kənarda qalan aspektlərə sahibdir. Bunun necə mümkün olacağını təsəvvür etmək çətin deyil. Məsələn, topu havaya atdığınızda nə baş verdiyini düşünün. Cazibə qanunları topun hərəkətini idarə edir, amma o topun harada düşəcəyini yalnız bu qanunlara əsaslanaraq proqnozlaşdırmaq mümkün deyil. Topun başlanğıc sürətini — yəni, əlinizdən çıxdığı vaxtdakı sürətini və istiqamətini də bilməliyik. Yəni, topun hərəkətinin ilkin şərtləri haqqında məlumatımız olmalıdır.

Eynilə, kainatın bəzi xüsusiyyətləri də tarixi asılılığa malikdir. Məsələn, niyə bir ulduz burada, bir planet orada yaranıb? Bu, kainatın necə başladığına dair bir çox mürəkkəb hadisələr zəncirinə bağlıdır və ən azından nəzəri olaraq, bu hadisələri geriye doğru izləməyi təsəvvür etmək mümkündür. Lakin mümkündür ki, kainatın daha əsaslı xüsusiyyətləri, bəlkə də fundamental maddə və qüvvə hissəciklərinin xüsusiyyətləri də tarixi təkamüldən birbaşa asılı olsun. Bu təkamül, öz növbəsində, kainatın başlanğıcının ilkin şərtlərinə bağlıdır. Əslində, biz artıq bu fikrin strun nəzəriyyəsindəki bir mümkün təzahürünü qeyd etmişik: İlkin, isti kainat təkamül edərkən, əlavə ölçülər bir formadan digərinə keçə bilərdi və nəticədə, hər şey kifayət qədər soyuduqda, bir Calabi-Yau məkanına qərarlaşdı. Lakin, havaya atılan top kimi, bu Calabi-Yau formaları üzərindəki səyahətin nəticəsi, böyük ehtimalla, bu səyahətin necə başladığına dair detallardan asılı ola bilər. Və nəticə etibarilə ortaya çıxan Calabi-Yau formasının hissəciklərin kütlələrinə və qüvvələrin

xüsusiyyətlərinə təsiri vasitəsilə görürük ki, kosmoloji təkamül və kainatın başlanğıcında mövcud olan vəziyyət, hal-hazırda müşahidə etdiyimiz fizikaya böyük təsir göstərə bilər. Kainatın ilk şərtləri haqqında nə olduğunu bilmirik, və hətta onları təsvir etmək üçün istifadə olunacaq fikir, konsepsiya və dilin nə olması da qeyri-müəyyəndir. Biz inanırıq ki, standart və inflyasiya kosmologiyası modellərində ortaya çıxan sonsuz enerji, sıxlıq və temperaturun təkrarlanan başlanğıc vəziyyəti, bu nəzəriyyələrin səhv olduğunu və gerçək fiziki vəziyyəti düzgün təsvir etmədiyini göstərir. Strun nəzəriyyəsi bu sonsuz hədlərin necə qaçınılacağına dair bir inkişaf təklif edir, amma yenə də əslində necə başladığını öyrənmək məsələsinə dair heç bir dərin anlayışımız yoxdur. Əslində, bizim bilməməyimiz daha yüksək bir səviyyədə davam edir: Biz ilk şərtləri müəyyən etməyin həqiqətən məntiqi bir sual olub-olmaması barədə heç bir məlumatımız yoxdur, ya da bu sual — tıpkı ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin bir topun havaya necə atıldığı barədə heç bir məlumat vermədiyi kimi — hər hansı bir nəzəriyyənin əhatə etməyəcəyi bir sualdır. Hawking və Ceyms Hartle kimi fizikaçılar tərəfindən edilən cəsur cəhdlər, kosmoloji ilk şərtlər məsələsinə fiziki nəzəriyyə çərçivəsinə daxil etməyə çalışdı, amma bu cəhdlərin hamısı nəticəsiz qaldı. Strun/M-nəzəriyyəsi çərçivəsində, bizim kosmoloji anlayışımız hazırda çox primitivdir ki, hər şeyin nəzəriyyəsi adını daşıyan namizədin həqiqətən özünə aid kosmoloji ilkin şərtləri müəyyən edib-etməyəcəyini və bunları fiziki qanun statusuna qaldırıb-qaldırmayacağını müəyyən etmək mümkün deyil. Bu, gələcək araşdırmalar üçün əsas bir sualdır. Amma ilk şərtlər və onların kosmik təkamülün tarixi dönüşlərinə təsiri məsələsindən daha irəlidə, bəzi son dərəcə spekulativ təkliflər daha da böyük sınaqlara işarə edir. Heç kim bu ideyaların doğru ya da yanlış olduğunu bilmir və hal-hazırda onlar əsl elm axınından kənarda yerləşir. Lakin, onlar — çox provokativ və spekulativ bir şəkildə olsa da — hər hansı bir nəzəriyyənin qarşılaşa biləcəyi bir maneəni vurğulamaq üçün istifadə olunur.

Əsas fikir aşağıdakı ehtimalda dayanır: Təxəyyül edin ki, bizim kainatımız əslində yalnız çox kiçik bir hissəsidir, çox böyük bir kosmoloji genişlik içində, müxtəlif ada kainatları ilə dolu olan geniş bir kosmoloji arxipelaqın bir parçasıdır. Bu, düşüncə üçün olduqca uzaq və qeyri-real görünsə də — və nəticədə bəlkə də belə olacaq — André Linde belə bir nəhəng kainata səbəb ola biləcək konkret bir mexanizm təklif edib. Linde, daha əvvəl müzakirə olunan qısa, amma çox vacib olan inflyasiya genişlənməsi mərhələsinin bəlkə də unikal, tək dəfəlik bir hadisə olmadığını tapıb. Bunun əvəzinə, o, inflyasiya genişlənməsi üçün uyğun şərtlərin kainatın müxtəlif bölgələrində təkrarlana biləcəyini və bu bölgələrin öz inflyasiya proseslərinə başlayıb, yeni və müstəqil kainatlar yaratmaqla özlərinə aid yeni genişlənmələrə səbəb olacağını iddia edir. Və bu kainatlarda, proses davam edir, yeni kainatlar köhnə bölgələrdən uzaqda inkişaf edir və heç bitməyən bir balonlaşan kosmos genişlənmələri şəbəkəsi yaradır. Terminologiya bir az çətinləşir, amma dəbə uyğun olaraq,

biz bu böyük genişlənmiş kainat anlayışını çoxlu kainat (multiverse) adlandıraraq, burada hər bir tərkib hissəsi isə bir kainat adlanacaq.

Əsas müşahidə budur ki, 7-ci Fəsildə qeyd etdiyimiz kimi, bizim bildiyimiz hər şey, kainatımızda müntəzəm və vahid fizika olduğunu göstərsə də, bu, digər kainatlarda fiziki xüsusiyyətlərə heç bir təsir etməyə bilər, əgər onlar bizdən tamamilə ayrılırsa və ya ən azı o qədər uzaqdadır ki, onların işığı bizə çata bilməyib. Beləliklə, biz fizikanın bir kainatdan digərinə fərqli ola biləcəyini təsəvvür edə bilərik. Bəzilərinə bu fərqlər incə ola bilər: Məsələn, elektron kütləsi və ya güclü qüvvənin qüvvəti bizim kainatımızdakından min dəfədən kiçik və ya böyük ola bilər. Digər kainatlarda isə fizika daha nəzərə çarpan şəkildə fərqlənə bilər: Məsələn, yuxarı kuark bizim kainatımızdakından on dəfə ağır ola bilər və ya elektromaqnit qüvvəsinin gücü bizim ölçdüyümüzdən on dəfə böyük ola bilər, bu da ulduzlar və həyatın bizə tanış olan formasının üzərində böyük təsirlər yaradır (1-ci fəsildə göstərildiyi kimi). Və başqa kainatlarda, fizika daha da dramatik şəkildə fərqlənə bilər: Əsas hissəciklər və qüvvələrin siyahısı bizimkindən tamamilə fərqli ola bilər və ya sim nəzəriyyəsi əsasında, hətta uzunluq ölçülərinin sayı belə fərqli ola bilər, bəzi sıxışmış kainatlarda sıfır və ya bir böyük ölçülü məkan ölçüsü olsa da, başqa genişlənmiş kainatlarda səkkiz, doqquz və ya hətta on uzunluq ölçüsü ola bilər. Əgər təsəvvürümüzü sərbəst buraxsaq, hətta qanunlar özləri də bir kainatdan digərinə çox fərqli ola bilər. Ehtimalların diapazonu sonsuzdur.

Bu nöqtəyə gəldikdə isə, əgər biz bu geniş kainatlar labirintini skan edərək baxsaq, əksəriyyətinin həyat üçün uyğun şərtlərdən məhrum olduğunu görəcəyik, və ya ən azından, bizim bildiyimiz həyatın hər hansı bir forması üçün. Bu, fizikadakı kəskin dəyişikliklər üçün aydındır: Əgər bizim kainatımız Bağ hortumu kainatı kimi görünseydi, bizim bildiyimiz şəkildə həyat mövcud olmazdı. Lakin, daha mühafizəkar fizika dəyişiklikləri belə, ulduzların formalaşmasına mane ola bilər, məsələn, onların kosmik soba kimi fəaliyyət göstərərək karbon və oksigen kimi mürəkkəb həyat dəstəkləyən atomları sintez etmələrinə mane ola bilər, ki, bu atomlar adətən supernova partlayışları ilə kainata yayılır. Həyatın fizikanın incə detallarına olan həssas asılılığını nəzərə alaraq, indi soruşsaq, məsələn, niyə təbiətin qüvvələri və hissəcikləri bizim müşahidə etdiyimiz xüsusiyyətlərə malikdir? Bunu izah edən mümkün bir cavab ortaya çıxır: Multiversin bütün sahəsində bu xüsusiyyətlər geniş şəkildə dəyişir; onların xüsusiyyətləri başqa kainatlarda fərqlidir və dəyişkəndir. Bizim müşahidə etdiyimiz hissəcik və qüvvə xüsusiyyətlərinin xüsusi birləşməsinin fərqli olduğunu göstərən şey budur ki, açıq şəkildə, bu, həyatın yaranmasına imkan verir. Və həyat, xüsusilə də intellektual həyat, niyə bizim kainatımızın bu cür xüsusiyyətləri olduğunu soruşmaq üçün zəruri bir şərtidir. Sadəcə dillə desək, bizim kainatımızdakı şeylər bu cürdür, çünki əgər onlar belə olmasaydı, biz bunu hiss edə

bilməyəcəkdik. Həyatlarının başlarına gələnlərə təəccüblənən bir çox **Rus ruleti oyunçusu** kimi, kim ki, yaşamağa qalib gələnlər, onların qalib gəlməsəydilər, təəccüblənə bilməyəcəklərini anlayaraq bu təəccüblərini soyuqqanlıqla qarşılayırlar, multivers nəzəriyyəsi bizim kainatımızın bu cür görünməsinin niyə olduğunu izah etməyə olan ısrarımızı azaldan bir gücə malikdir.

Bu mülahizələrin bir növü, antropik prinsip kimi tanınan və uzun bir tarixə malik olan bir ideyanın versiyasıdır. Belə təqdim edildikdə, bu perspektiv, şeylərin özünə məxsus olduğu bir kainat nəzəriyyəsi arzusuna tamamilə əksdir: Yəni, hər şey olduğu kimi olmalıdır, çünki kainat başqa cür ola bilməzdi. Multivers və antropik prinsip, hər şeyin sərt və elastik gözəlliklə uyğunlaşdığı bir poeziyanın zirvəsi olmaqdan çox, kainatların vəhdətinin bolluğuna sahib, insatible dəyişiklikləri ehtiva edən, çılğın və həddindən artıq olan bir kainat təsviri çəkir. Bizim heç vaxt multiversin doğru olub-olmadığını bilməyimiz çox çətin olacaq, hətta mümkünsüz də ola bilər. Əgər başqa kainatlar varsa belə, bunlarla heç vaxt əlaqəyə girməyəcəyimizi təsəvvür edə bilərik. Lakin "orada nə var" anlayışını genişləndirərək—Hubble'ın Milkiy Yolu'nun yalnız bir çox qalaksiyadan biri olduğunu anlamağından çox daha böyük ölçüdə—multiversin konsepti bizə son nəzəriyyədən çox şey gözlədiyimizi göstərməklə heç olmasa bizi xəbərdar edir.

Biz, son nəzəriyyəmizdən bütün qüvvələri və bütün maddələri kəmiyyət mexanikası ilə uyumlu bir şəkildə izah etməsini tələb etməliyik. Biz, son nəzəriyyəmizdən kainatımız daxilində uyğun bir kozmologiya təqdim etməsini tələb etməliyik. Lakin, əgər multivers şəkli doğrudursa—bu, çox böyük bir "əgər"—o zaman bizim nəzəriyyəmizdən hissəcik kütlələrinin, yüklərinin və qüvvə güclərinin detallı xüsusiyyətlərini izah etməsini istəmək çox şey tələb etmək ola bilər.

Lakin qeyd etmək vacibdir ki, əgər biz multiversin spekulativ əhəmiyyətini qəbul etsək belə, bu nəticə proqnozlaşdırıcı gücümüzün zəiflədiyini göstərməkdən çox uzaqdır. Sadə şəkildə desək, əgər biz təxəyyüllərimizi sərbəst buraxıb multiversi düşündürsək, o zaman nəzəri düşüncələrimizi də sərbəst buraxmalı və multiversin göründüyü təsadüfiliyi necə tərbiyə edəcəyimizi düşündürməliyik. Bir nisbətən mühafizəkar düşüncə olaraq, biz təxəyyül edək ki—əgər multivers şəkli doğrudursa—biz son nəzəriyyəmizi onun tam genişlənmiş əhatə dairəsinə genişləndirə bilərik və "genişləndirilmiş son nəzəriyyə" bizə əsas parametrlərin dəyərinin universlər arasında necə və niyə paylandığını dəqiq şəkildə izah edə bilər.

Daha radikal bir düşüncə, Penn State Universitetindən Lee Smolin'in təklifindən gəlir. O, böyük partlayış ilə qara dəliklərin mərkəzlərindəki şərait arasında oxşarlığa ilhamlanaraq təklif edir ki, hər bir qara dəlik yeni bir kainatın toxumu kimi fəaliyyət göstərir. Bu yeni

kainat böyük partlayışa bənzər bir partlayışla yaranır, amma qara dəliyin hadisə ühüqü tərəfindən bizim görmə sahəmizdən həmişə gizlənir. Smolin, multiversin yaradılması üçün başqa bir mexanizm təklif etməklə yanaşı, genetik mutasiyanın kosmik versiyasını da əlavə edib. Bu yanaşma, antropik prinsip ilə əlaqəli elmi məhdudiyyətləri aşmağa çalışır.

Smolin, təsəvvür edir ki, bir kainat qara dəliyin mərkəzindən yarandıqda, onun fiziki xüsusiyyətləri, məsələn, hissəcik kütlələri və qüvvələrin gücü, valideyn kainatınıninkinə bənzər, amma identik olmayan olacaq. Çünki qara dəliklər öldürülmüş ulduzlardan yaranır və ulduzların yaranması, hissəciklərin kütlələri və qüvvələrin gücünün dəqiq dəyərlərinə bağlıdır. Hər bir kainatın bolşanma qabiliyyəti—yəni nə qədər qara dəlik törədə bilməsi—bu parametrlərdən həssas olaraq asılıdır.

Bu parametrlərdəki kiçik dəyişikliklər, nəticədə, bəzi kainatları daha çox qara dəlik istehsal etməyə uyğun hala gətirəcək. Bu yeni kainatlar öz növbəsində daha çox qara dəliklər yaradacaq və daha çox övlad kainatlar meydana gətirəcək. Bir neçə nəsildən sonra, qara dəlik istehsalına uyğunlaşdırılmış kainatların nəsilləri o qədər çox olacaq ki, multiversin digər kainatlarını əhatə edəcək.

Buna görə də, Smolin'in təklifi antropik prinsipi tətbiq etməkdən fərqli olaraq, hər yeni nəsil kainatının parametrlərini qara dəlik istehsalı üçün optimal olan dəyərlərə daha da yaxınlaşdıran dinamik bir mexanizm təqdim edir.

Bu yanaşma, multivers kontekstində belə, əsas maddə və qüvvə parametrlərinin necə izah edilə biləcəyinə dair başqa bir metod təklif edir. Əgər Smolin'in nəzəriyyəsi doğru olarsa və biz yaşlı bir multiversin tipik üzvü isək (bunlar böyük "əgər"lərdir və təbii ki, çoxlu müzakirə mövzusu ola bilər), onda biz ölçdüyümüz hissəcik və qüvvələrin parametrlərinin qara dəlik istehsalına uyğunlaşdırıldığını görməliyik. Yəni, bizim kainatımızın bu parametrləri ilə oynamaq, qara dəliklərin yaranmasını çətinləşdirərdi. Fiziklər bu proqnozu araşdırmağa başlamışlar; hazırda onun doğruluğu ilə bağlı ümumi bir razılaşma yoxdur. Amma Smolin'in xüsusi təklifi səhv olsa belə, bu, son nəzəriyyənin başqa bir forması ola bilər. İlk baxışda son nəzəriyyə sərtliyi olmayan bir şey kimi görünərsə də, biz bu nəzəriyyənin çoxlu kainatları izah edə biləcəyini tapa bilərik, bunların əksəriyyəti isə bizim yaşadığımız kainatla heç bir əlaqəsi olmayacaq. Üstəlik, biz təsəvvür edə bilərik ki, bu kainatlar fiziki olaraq realizə oluna bilər və nəticədə bir multivers yaranar—ilk baxışda isə bu, bizim proqnozlaşdırma gücümüzü həmişəlik məhdudlaşdırır. Lakin, əslində, bu müzakirə göstərir ki, son izah hələ də əldə edilə bilər, əgər yalnız son qanunları deyil, həm də onların kosmoloji inkişaf üzərindəki təsirlərini geniş miqyasda anlasaq.

Şübhəsiz ki, sim/M-nəzəriyyəsinin kosmoloji təsirləri iyirminci əsrin sonlarına qədər əsas tədqiqat sahəsi olacaq. Plank miqyasındakı enerji istehsal edən sürətləyicilərə sahib

olmadan, biz yavaş-yavaş böyük partlayışın kosmoloji sürətləyicisi və onun bizə kainat boyunca buraxdığı qalıqlara əsaslanaraq eksperimental məlumat toplamalıyıq. Şans və səbirlə, biz nəhayət, məsələn, kainatın necə başladığını və niyə göylərdə və yer üzündə gördüyümüz formaya evrildiyini sualını cavablandırma biləcəyik. Əlbəttə, biz bu əsas suallara tam cavablar tapmağa gedən yolda çoxlu kəşf olunmamış sahələr ilə qarşılaşacağıq. Amma supersim nəzəriyyəsi vasitəsilə kainatın kvantla əlaqəli nəzəriyyəsinin inkişafı, bizə böyük bilinməyən sahələrə doğru irəliləmək üçün nəzəri alətlər verdiyinə ümid bəsləyir. Və şübhəsiz ki, uzun mübarizələrdən sonra, bəlkə də, bəzilərinin ən dərin suallarına cavablar tapacağıq.

Part V: Birləşmə XXI Əsrdə

Fəsil 15: Gələcək Perspektivlər

Bir neçə əsr sonra, supersim nəzəriyyəsi və ya onun M-nəzəriyyəsindəki inkişafı o qədər irəliləyəcək ki, bu günkü formamızdan o qədər uzaqlaşacaq ki, hətta bu sahədəki aparıcı tədqiqatçılar belə onu tanımaya bilərlər. Biz ən son nəzəriyyəni tapmaq istiqamətində davam etdikcə, biz çox ehtimal ki, sim nəzəriyyəsinin sadəcə bir çox mühüm addımlardan biri olduğunu və daha böyük bir kosmos anlayışına gedən yolda atılan addımlardan biri olduğunu kəşf edəcəyik. Bu anlayış, əvvəlcədən qarşımıza çıxan heç bir şeylə əlaqəli olmayan fikirləri daxil edir. Elm tarixinin bizə öyrətdiyi budur ki, hər dəfə bütün məsələləri anladığımıza düşündüyümüz zaman, təbiət bizə radikal bir sürpriz təqdim edir ki, bu da bizim dünyanı necə başa düşdüyümüzə bağlı əhəmiyyətli və bəzən ciddi dəyişikliklər tələb edir. Digər tərəfdən, bəzilərinin əvvəlcə saf bir şəkildə etdiyi kimi, biz də iddialı bir şəkildə təsəvvür edə bilərik ki, biz insanlıq tarixində mühüm bir dövrü yaşayırıq və bu dövrün sonunda kainatın son qanunlarını tapma axtarışı nəhayət sona çatacaq. Edward Witten-in dediyi kimi:

Mən hiss edirəm ki, biz sim nəzəriyyəsi ilə çox yaxınıq ki—ən böyük optimizm anlarımda—hər an, nəzəriyyənin son forması göydən düşə bilər və kimsənin qollarına enə bilər. Amma daha realist şəkildə desək, mən belə düşünürəm ki, biz artıq daha dərin bir nəzəriyyə qurma prosesindəyik, əvvəllər əldə etdiyimiz hər şeydən daha dərin bir nəzəriyyə və XXI əsrin əvvəllərində, mən artıq bu mövzuda faydalı fikirlər söyləməyəcək qədər yaşlı olacağım zaman, gənc fiziklər qərar verməlidirlər ki, biz həqiqətən də son nəzəriyyəni tapmışıq.

Hələ də ikinci supersim inqilabının təsirlərini hiss edirik və onun yaratdığı yeni anlayışların çoxluğunu özümüzə mənimsəyirik, amma əksər sim nəzəriyyəçiləri razıdırlar ki, böyük ehtimalla nəzəriyyənin tam gücü ortaya çıxmadan və onun son nəzəriyyə olaraq mümkün rolunu qiymətləndirmədən əvvəl, üçüncü və bəlkə də dördüncü belə nəzəriyyəsel inqilab lazım olacaq. Gördüyümüz kimi, sim nəzəriyyəsi artıq kainatın necə işlədiyi barədə möhtəşəm bir yeni şəkil çəkib, amma mühüm maneələr və boşluqlar var ki, bunlar şübhəsiz XXI əsrdə sim nəzəriyyəçilərinin əsas diqqətini çəkəcək. Buna görə də, bu son fəsildə biz insanlığın kainatın ən dərin qanunlarını axtarması hekayəsini tamamlaya bilməyəcəyik, çünki axtarış davam edir. Bunun yerinə, gəlin, sim nəzəriyyəsinin gələcəyinə baxaq və nəzəriyyəçilərin ən son nəzəriyyəni axtarmağa davam edərkən qarşılaşacaqları beş əsas sualı müzakirə edək.

Sim nəzəriyyəsinin əsas prinsipi nədir?

Son bir əsr ərzində öyrəndiyimiz ən ümumi dərs odur ki, məlum fizika qanunları simmetriya prinsipləri ilə əlaqəlidir. Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsi, nisbilik prinsipi ilə əlaqəli simmetriya üzərində qurulub—bütün sabit sürətli baxış bucaqları arasında simmetriya. Ümumi nisbilik nəzəriyyəsində isə, cazibə qüvvəsi ekvivalentlik prinsipinə əsaslanır—nisbilik prinsipinin, hər hansı bir hərəkət vəziyyətinin mürəkkəbliyindən asılı olmayaraq, bütün mümkün baxış bucaqlarını əhatə edən genişlənmiş bir formasıdır. Güclü, zəif və elektromaqnit qüvvələri isə daha abstrakt olan gauge simmetriya prinsiplərinə əsaslanır.

Fizikçilər, dediyimiz kimi, simmetriya prinsiplərini izahın əsas sütununa qoyaraq, onları ön plana çıxarmağa meyllidirlər. Bu baxışa görə, cazibə qüvvəsi mövcuddur ki, bütün mümkün müşahidə baxış bucaqları tam bərabər mövqedə olsun—yəni, ekvivalentlik prinsipi tətbiq edilsin. Eyni şəkildə, qeyri-cazibə qüvvələri də təbiətin onlara aid olan gauge simmetriya prinsiplərini yerinə yetirməsi üçün mövcuddur. Əlbəttə, bu yanaşma, müəyyən bir qüvvənin niyə mövcud olduğunu soruşmaq əvəzinə, niyə təbiətin onun əlaqəli simmetriya prinsipini qəbul etdiyini soruşmağa gətirib çıxarır. Lakin bu, böyük irəliləyiş kimi hiss olunur, xüsusən də bu simmetriya təbiətdə çox təbii və uyğun görünəndə. Məsələn, niyə bir müşahidəçinin istinad çərçivəsi digərindən fərqli şəkildə müalicə olunsun? Ümumdünya qanunlarının bütün müşahidə nöqtələrini bərabər şəkildə müalicə etməsi çox daha təbii görünür; bu, ekvivalentlik prinsipi və cazibənin kainatın strukturasına daxil edilməsi ilə həyata keçirilir. Hərçənd bu, tam başa düşmək üçün bəzi riyazi biliklər tələb edir, lakin 5-ci fəsildə göstərdiyimiz kimi, qeyri-cazibə qüvvələrinin underlying gauge simmetriya prinsiplərinin arxasında da oxşar bir məntiq dayanır.

Sim nəzəriyyəsi izahın dərinlik miqyasında başqa bir addım irəliləyir, çünki bütün bu simmetriya prinssimləri, eləcə də başqa bir prinsip—supersimmetriya—onun strukturundan əmələ gəlir. Əslində, tarix fərqli bir istiqamətə getmiş olsaydı və fiziklər yüz il əvvəl sim nəzəriyyəsini kəşf etmiş olsaydılar, bu simmetriya prinssimlərinin hamısının bu nəzəriyyənin xüsusiyyətlərini öyrənməklə aşkar edildiyini təsəvvür edə bilərik. Lakin, nəzərə almaq lazımdır ki, ekvivalentlik prinsipi bizə cazibə qüvvəsinin niyə mövcud olduğunu anlamağa kömək edərsə, və gauge simmetriyalı qüvvələr bizə qeyri-cazibə qüvvələrinin niyə mövcud olduğunu anlamağa kömək edərsə, sim nəzəriyyəsinin kontekstində bu simmetriya prinssimləri nəticələndir; onların əhəmiyyəti heç bir şəkildə azalmır, amma onlar çox daha geniş nəzəriyyə strukturunun bir hissəsidir.

Bu müzakirə aşağıdakı sualı açıq şəkildə ön plana çıxarır: Sim nəzəriyyəsi özü bəlkə də, amma mütləq olmasa da, bəzi geniş bir prinsipin—ola bilsin ki, bir simmetriya prinsipinin—mütləq nəticəsi olaraq meydana gəlir? Bu, ekvivalentlik prinsipinin ümumi nisbiliyyəti, ya da gauge simmetriyasının qeyri-cazibə qüvvələrini necə gətirdiyi ilə eyni şəkildədir? Bu yazı vaxtında, bu suala verilən cavab haqqında heç kim bir fikir söyləyə bilməz. Onun əhəmiyyətini başa düşmək üçün yalnız Eynşteynin ümumi nisbiliyyəti formalaşdırmağa çalışdığını təsəvvür etmək lazımdır, amma 1907-ci ildə Bern patent ofisində yaşadığı xoşbəxt düşüncə olmadan ki, bu da onu ekvivalentlik prinsipinə gətirdi. Ümumi nisbiliyyəti formalaşdırmaq, əvvəlcə bu əsas anlayışa sahib olmadan mümkünsüz olmazdı, amma şübhəsiz ki, son dərəcə çətin olardı. Ekvivalentlik prinsipi cazibə qüvvəsini təhlil etmək üçün qısa, sistemativ və güclü təşkilati bir çərçivə təqdim edir. Məsələn, 3-cü fəsildə verdiyimiz ümumi nisbilik təsviri mərkəzi şəkildə ekvivalentlik prinsipinə əsaslanır və nəzəriyyənin tam riyazi formalizmindəki rolu daha da vacibdir.

Hazırda sim nəzəriyyəsinin tədqiqatçıları ekvivalentlik prinsipindən məhrum olan Eynşteynə bənzər bir vəziyyətdədirlər. 1968-ci ildə Veneziyanın dəqiq təxminindən bəri, nəzəriyyə kəşf-kəşf, inqilab inqilab üstə qurulub. Lakin bu kəşfləri və nəzəriyyənin bütün digər xüsusiyyətlərini bir ümumi və sistemativ çərçivə daxilində özündə cəmləyən mərkəzi təşkilat prinsipinin olmaması hələ də qalır — bir çərçivə ki, hər bir fərdi elementin mövcudluğunu mütləq zəruri edir. Bu prinsipin tapılması, sim nəzəriyyəsinin inkişafında əhəmiyyətli bir anı işarə edəcəkdir, çünki bu, nəzəriyyənin daxili işlərini gözlənilməz bir aydınlıqla ortaya qoyacaqdır. Əlbəttə, belə bir əsas prinsipin mövcud olacağına heç bir zəmanət yoxdur, amma son yüz ildə fizikanın təkamülü sim nəzəriyyəsi tədqiqatçılarını ümid etməyə təşviq edir ki, belə bir prinsip var. Sim nəzəriyyəsinin inkişafının növbəti mərhələsinə baxarkən, onun "qaçınılmazlıq prinsipi"ni — bütün nəzəriyyənin mütləq olaraq meydana çıxdığı əsas ideyanı tapmaq ən yüksək prioritetdir.

Əvvəlki fəsillərin bir çoxunda biz sərbəst şəkildə məkan və zaman anlayışlarından istifadə etmişik. 2-ci fəsildə, Eynşteynin məkan və zamanın qarşılıqlı şəkildə toxunmuş olduğunu anlamağını izah etdik. Çünki bir cismin məkanla hərəkəti zamanla keçidinə təsir göstərir. 3-cü fəsildə, ümumi nisbilik nəzəriyyəsi vasitəsilə, məkan-zamanın kainatın inkişafındakı rolunu daha dərinlən başa düşdük, bu nəzəriyyə göstərir ki, məkan-zaman parçasının detallı forması yerə bir yerdən digərinə cazibə qüvvəsini çatdırır. 4 və 5-ci fəsillərdə müzakirə etdiyimiz mikroskopik strukturdakı şiddətli kvant dalğalanmaları, yeni bir nəzəriyyə ehtiyacını ortaya qoydu və bizi sim nəzəriyyəsinə apardı. Və nəhayət, ardıcıl fəsillərin bir neçəsində gördük ki, sim nəzəriyyəsi kainatın bizim bildiyimizdən çox daha çox ölçüyə sahib olduğunu elan edir, onlardan bəziləri kiçik, lakin mürəkkəb şəkillərə бүкүlmüşdür və bu şəkillər möcüzəli transformasiyalar keçirərək parça partlayır, yırtılır və sonra özünü bərpa edir.

Qrafik təsvirlər, məsələn, 3.4, 3.6 və 8.10 şəkilləri vasitəsilə bu fikirləri, məkan və məkan-zamanın parçalarının kainatın tikildiyi bir material kimi olduğunu təsəvvür edərək izah etməyə çalışmışıq. Bu şəkillərin əhəmiyyətli izah edici gücü var; onlar fizikaçıların öz texniki işlərində tez-tez vizual bir bələdçi olaraq istifadə etdiyi görüntülərdir. Hərçənd belə şəkillərə baxmaq, tədricən mənalandıran bir təsir yaradır, yenə də sual qalır: Kainatın parçaları dedikdə nəyi nəzərdə tuturuq?

Bu, yüz illər boyu müxtəlif formalarda müzakirə olunan dərin bir sualdır. Nyuton məkan və zamanı kainatın tərkibindəki əbədi və dəyişməz komponentlər kimi elan etmişdi, bunlar sual və izah sərhədlərindən kənarda olan təmiz strukturlar idi. "Əzəli məkan, öz təbiətində, xarici heç bir şeyə münasibət olmadan, həmişə bənzər və hərəkətsiz qalır. Əzəli, həqiqi və riyazi zaman öz təbiətində və özlüyündə, xarici heç bir şeyə münasibət olmadan bərabər şəkildə axır," - deyər yazmışdı o, *Principia* əsərində. Gottfried Leibniz və başqaları buna kəskin şəkildə etiraz edərək, məkan və zamanın sadəcə obyektlər və hadisələr arasındakı əlaqələri rahat şəkildə ümumiləşdirmək üçün istifadə olunan hesablama alətləri olduğunu iddia etmişdilər. Bir obyektin məkan və zamandakı mövqeyi yalnız başqası ilə müqayisədə mənaya malikdir. Məkan və zaman bu əlaqələrin lüğətidir, amma bundan başqa heç nə deyil. Nyutonun baxışı, onun üç hərəkət qanununun eksperimental olaraq uğurlu olmasından dəstək alaraq, iki yüz ildən çox müddət ərzində qüvvədə qaldı, amma Leibnizin konsepsiyası, Avstriya fizikçisi Ernst Mach tərəfindən daha da inkişaf etdirilmişdir və bu günkü baxışımıza daha yaxındır. Gördüyümüz kimi, Eynşteynin xüsusi və ümumi nisbilik nəzəriyyələri məkan və zamanın mütləq və ümumi bir anlayışını qəti şəkildə aradan qaldırdı. Lakin hələ də soruşa bilərik ki, ümumi nisbilikdə və sim nəzəriyyəsində mühüm rol oynayan məkan-zamanın geometrik modeli yalnız müxtəlif yerlər arasındakı məkan və

zaman əlaqələrinin rahat bir qısaltmasıdır, yoxsa biz özümüzü həqiqətən də məkan-zaman parçalarına daxil olmuş kimi hiss etməliyik?

Biz spekulativ ərazilərə daxil oluruq, amma sim nəzəriyyəsi bu suala cavab təklif edir. Qraviton, qravitasiya qüvvəsinin ən kiçik paketi, sim vibrasiyasının bir xüsusi nümunəsidir. Və necə ki, görünən işıq kimi elektromaqnit sahəsi böyük bir sayda fotondan ibarətdirsə, qravitasiya sahəsi də böyük bir sayda gravitondan ibarətdir — yəni, qravitonun vibrasiya nümunəsini icra edən çoxsaylı simlərdən ibarətdir. Qravitasiya sahələri, öz növbəsində, məkan-zaman parçasının əyilməsində şifrələnir və buna görə də biz məkan-zamanın özünü böyük bir sayda simlərlə, hamısı eyni, nizamlı qraviton vibrasiya nümunəsini yerinə yetirən bir şəkildə tanımağa meylliyik. Sahə dilində, belə böyük, təşkilatlanmış və oxşar şəkildə titrəyən simlərin düzülüşü "coherent state" (koherent vəziyyət) adlanır. Bu, çox poetik bir obrazdır — sim nəzəriyyəsinin simləri məkan-zaman parçasının simləri kimi — amma biz qeyd etməliyik ki, onun dəqiq mənası hələ tam olaraq işlənib hazırlanmayıb.

Bununla belə, məkan-zaman parçasını bu simlə tikilmiş formada təsvir etmək bizi aşağıdakı sualı düşünməyə vadar edir. Adi bir parça, kimsə tərəfindən fərdi simlərin diqqətlə toxunub birləşdirilməsinin nəticəsidir, adi tekstil materialının xammalıdır. Eynilə, biz özümüzdən soruşa bilərik: məkan-zaman parçasının xam bir öncüsü varmı — kosmik parçasının simlərinin, hələ məkan-zaman olaraq tanıdığımız nizamlı formaya birləşməmiş vəziyyəti? Qeyd etmək lazımdır ki, bu vəziyyəti, hələ özlərini birləşdirib nizamlı bir bütövlük yaratmamış fərdi titrəyən simlərin qarışıqlığı kimi təsvir etmək bir qədər qeyri-dəqiqdir, çünki bizim adi düşüncə tərzimizə əsasən bu, həm məkan, həm də zaman anlayışını nəzərdə tutar — simin titrədiyi məkan və zamanın irəliləməsi, bununla da biz onun formasının bir andan digərinə necə dəyişdiyini izləyirik. Amma xam vəziyyətdə, kosmik parçasını təşkil edən simlər hələ bizim müzakirə etdiyimiz nizamlı və koherent titrəmə rəqsini yerinə yetirməzdən əvvəl, nə məkanın, nə də zamanın gerçəkləşməsi var. Hətta dilimiz bu fikirləri idarə etmək üçün çox kobuddur, çünki əslində "əvvəl" anlayışı belə yoxdur. Bir mənada, sanki fərdi simlər məkan və zamanın "şöbələri" kimidir və yalnız düzgün şəkildə qarşılıqlı titrəmə həyata keçirdikdə məkan və zamanın ənənəvi anlayışları meydana çıxır.

Bu cür bir strukturdan məhrum, ilkin mövcudluq halını təsəvvür etmək, bizim bildiyimiz məkan və zaman anlayışlarının olmadığı bir vəziyyəti, insanların əksəriyyətinin qavrayış qabiliyyətinin həddinə qədər itələyir (bu, şübhəsiz ki, mənim də təcrübə etdiyim bir şeydir). Stephen Wright-in ühümeyli bir sözünü xatırladan şəkildə, ufku yaxın planda çəkə bilmək üçün obsesifləşmiş bir fotoqraf haqqında olan zarafat kimi, biz zaman və məkan anlayışlarını çağırmayan bir kainatı təsəvvür etməyə çalışdığımızda fərqli paradigmalardan

qarşıdurmasına rast gəlirik. Buna baxmayaraq, belə fikirləri qəbul etmək və onların həyata keçirilməsini başa düşmək ehtimalı yüksəkdir, çünki sim nəzəriyyəsinin hazırkı formulu, simlərin (və M-nəzəriyyəsinin digər komponentlərinin) hərəkət etdiyi və titrədiyi bir məkan və zamanın mövcudluğunu əvvəlcədən qəbul edir. Bu, sənətçinin öz yaradıcı bacarığını bir rəngli rəsm dəsti ilə qiymətləndirməyə bənzəyir. O, şübhəsiz ki, burada və ya orada fərdi zövqünü əlavə edəcək, amma onun işinin formatını bu qədər sıx şəkildə məhdudlaşdırmaqla biz onun bacarıqlarına yalnız dar bir baxış təmin edirik. Eynilə, sim nəzəriyyəsinin zəfəri onun kvant mexanikası və qravitasiya ilə təbii bir şəkildə birləşməsidir və qravitasiya məkan və zamanın forması ilə bağlıdır. Buna görə də, nəzəriyyəni artıq mövcud olan bir məkan-zaman çərçivəsində işləməyə məcbur etməməliyik. Əksinə, biz sənətçiyə boş bir kətan üzərində işləməsinə icazə verməliyik, sim nəzəriyyəsinə isə öz məkan-zaman sahəsini yaratmaq imkanı verməliyik, başlayaraq məkanın və zamanın olmadığı bir vəziyyətdən.

Bu boş bir başlanğıc nöqtəsindən - bəlkə də böyük partlayışdan əvvəl və ya pre-big bang dövründə mövcud olan bir dövrdən (əgər vaxt anlayışlarından istifadə edə bilsək, başqa bir dil çərçivəsi olmadan) - ümid olunur ki, nəzəriyyə bir kainat təsvir edəcək ki, bu kainat təkamül edərək, uyğun sim titrəmələrinin fonunun meydana gəldiyi və nəticədə ənənəvi məkan və zaman anlayışlarını ortaya çıxardığı bir forma sahib olacaq. Belə bir çərçivə, əgər reallaşarsa, məkanın, zamanın və buna paralel olaraq ölçünün kainatın əsas müəyyənədicisi elementləri olmadığını göstərəcək. Əksinə, onlar daha əsas, qədim və ilkin bir vəziyyətdən meydana çıxan əlverişli anlayışlardır.

İndi, Stephen Shenker, Edward Witten, Tom Banks, Willy Fischler, Leonard Susskind və adlarını çəkmək üçün çox sayda digər alimlər tərəfindən irəlilədilən M-nəzəriyyəsinin bəzi aspektləri üzərindəki kəsilmə nöqtəsi araşdırmaları göstərib ki, sıfır-brane, bəlkə də M-nəzəriyyəsinin ən fundamental tərkib hissəsi olan bir obyekt - uzun məsafələrdə nöqtə hissəcik kimi davranan, amma qısa məsafələrdə çox fərqli xüsusiyyətlərə sahib olan bir şey - bizə məkan və zamanla əlaqəsiz bir aləmi göstərməkdə kömək edə bilər. Onların işləri göstərib ki, simlər ənənəvi məkan anlayışlarının Plank ölçüsünün altında artıq əhəmiyyət daşımadığını bizə göstərirsə, sıfır-branlar əslində eyni nəticəni göstərir, amma həm də yeni qeyri-adi çərçivəyə bir pəncərə açır. Bu sıfır-branlarla aparılan araşdırmalar adi geometriyanın yerinə tanınan bir sahə olan qeyri-kommutativ geometriyanın gəldiyini ortaya qoyur, bu sahə əsasən Fransız riyaziyyatçısı Alain Connes tərəfindən inkişaf etdirilmişdir. Bu geometrik çərçivədə ənənəvi məkan və nöqtələr arasındakı məsafə anlayışları itir, biz isə çox fərqli bir konseptual mənzərədə qalırıq.

Bununla belə, fizikaçılar, Plank uzunluğundan daha böyük miqyaslarda, ənənəvi məkan anlayışımızın yenidən meydana gəldiyini göstəriblər. Əminliklə demək olar ki, qeyri-

kommutativ geometriyanın çərçivəsi yuxarıda gözlənilən boş vərəq halına hələ çox addımlar qalır, amma bu bizə məkan və zamanın necə meydana çıxdığı barədə daha tamamlanmış bir çərçivənin nəyi əhatə edəcəyinə dair bir işarə verir.

Sim nəzəriyyəsini əvvəlcədən mövcud olan məkan və zaman anlayışına müraciət etmədən formalaşdırmaq üçün düzgün riyazi aparatın tapılması sim nəzəriyyəçilərinin qarşısında duran ən vacib məsələlərdən biridir. Məkan və zamanın necə meydana gəldiyini başa düşmək bizə hansı geometrik formanın əslində meydana çıxdığı sualına cavab tapmağa böyük bir addım daha yaxınlaşdıracaq.

Sim Teoriyası Kvant Mexanikasının Yenidən Qurulmasına Səbəb Olacaqmı?

Kainat kvant mexanikasının prinsimləri ilə son dərəcə dəqiq idarə olunur. Lakin son yarım əsr ərzində nəzəriyyələr qurarkən, fiziklər struktural olaraq kvant mexanikasını ikinci dərəcəli bir mövzu kimi qəbul edən bir strategiya izləyiblər. Fiziklər nəzəriyyə qurarkən tez-tez klassik bir dil ilə başlayır, bu dil kvant ehtimallarını, dalğa funksiyalarını və digər kvant anlayışlarını nəzərə almaz—bu, Maxwell və hətta Nyuton dövründəki fiziklər üçün tamamilə anlaşılar bir dildir—və sonra bu klassik çərçivənin üzərinə kvant anlayışlarını əlavə edirlər. Bu yanaşma təəccüblü deyil, çünki bu, bizim təcrübələrimizi birbaşa əks etdirir. İlk baxışdan kainat, hər hansı bir anın müəyyən mövqeyi və sürəti olan bir hissəciyin olduğu klassik prinsimlərə əsaslanan qanunlarla idarə olunmuş kimi görünür. Yalnız detallı mikroskopik araşdırmalar aparıldıqda başa düşürük ki, biz bu tanış klassik fikirləri dəyişdirməliyik. Kəşf prosesimiz klassik çərçivədən, kvant nəzəriyyəsinin açıqladığı yeni anlayışlarla dəyişdirilən bir çərçivəyə doğru irəliləmişdir və bu inkişaf, bu günə qədər fiziklərin nəzəriyyələrini qurarkən izlədikləri yolu da əks etdirir.

Bu, sim teoriyası ilə də eynidir. Sim teorisini təsvir edən riyazi formalizm, klassik ipdən ibarət kiçik, sonsuz dərəcədə incə bir hissənin hərəkətini təsvir edən tənliklərlə başlayır — bu tənliklər böyük ölçüdə Nyuton tərəfindən üç yüz il əvvəl yazıla bilərdi. Sonra bu tənliklər kvantlaşdırılır. Yəni, fiziklər tərəfindən 50 ildən çox müddət ərzində inkişaf etdirilən sistematik bir şəkildə, klassik tənliklər kvant mexanikası çərçivəsinə çevrilir, burada ehtimallar, qeyri-müəyyənlik, kvant titrəmələri və s. birbaşa daxil edilir. Əslində, 12-ci Fəsildə bu prosedurun necə işlədiyini görmüşük: Dövrə prosesləri (12.6-cı şəkilə baxın) kvant anlayışlarını — bu halda virtual sim cütlərinin anlıq kvant-mexaniki yaranmasını — daxil edir və dövrlərin sayı kvant-mexaniki effektlərin necə dəqiq hesablandığını müəyyən edir.

Klassik bir nəzəriyyə təsvirindən başlayıb, sonra kvant mexanikasının xüsusiyyətlərini əlavə etmək strategiyası uzun illər çox faydalı olmuşdur. Məsələn, bu strategiya maddə fizikası üzrə standart modeli də əsaslandırır. Lakin mümkündür və artan sübutlara görə, bu metod sim teoriyası və M-teoriyası kimi çox geniş əhatəli nəzəriyyələrlə məşğul olmaq üçün kifayət qədər konservativ ola bilər. Bunun səbəbi odur ki, bir dəfə kainatın kvant mexaniki prinsiplərlə idarə olunduğunu anladıqda, nəzəriyyələrimiz həqiqətən başdan kvant mexaniki olmalıdır. Biz bu günə qədər klassik bir baxış bucağından başlayaraq uğurla yol gedə bilmişik, çünki biz kainatı yetərinə dərin səviyyədə araşdırmamışıq və bu kobud yanaşma bizi səhv istiqamətə yönəltməyib. Lakin sim/M-teoriyasının dərinliyində biz bu sınılanmış strategiyanın sonuna gəlmiş ola bilərik.

Bunun üçün xüsusi dəlil əldə edə bilərik, ikinci supersim inqilabından ortaya çıxan bəzi anlayışları yenidən nəzərdən keçirərək (məsələn, Şəkil 12.11-də xülasə olunduğu kimi). 12-ci fəsildə müzakirə etdiyimiz kimi, beş sim nəzəriyyəsinin vahidliyini əsaslandıran dualıqlar, bizə hər hansı bir sim formulyasiyasında baş verən fiziki proseslərin digər formulyasiyaların dual dilində necə yenidən şərh oluna biləcəyini göstərir. Bu yenidən ifadə ilk növbədə orijinal təsvirlə əlaqəsi yoxdurmuş kimi görünə bilər, amma əslində, bu sadəcə duallığın işə düşməsidir: Dualıq vasitəsilə, bir fiziki proses bir çox fərqli şəkildə təsvir edilə bilər. Bu nəticələr həm incə, həm də möhtəşəmdir, amma biz hələ onların ən vacib xüsusiyyətini qeyd etməmişik.

Dualıq tərcümələri tez-tez beş sim nəzəriyyəsindən birində təsvir edilən bir prosesi götürür, hansı ki, bu proses güclü şəkildə kvant mexanikasına bağlıdır (məsələn, sim qarşılıqlı təsirlərini əhatə edən bir proses ki, bu proses klassik fizika ilə idarə olunan dünyada baş verməzdi) və onu digər sim nəzəriyyələrindən birinin perspektivindən kvant mexanikasına zəif bağlı olan bir proses olaraq yenidən formalaşdırır (məsələn, prosesin detallı sayısal xüsusiyyətləri kvant nəzəriyyələri ilə əlaqəli olsa da, onun keyfiyyətə forması klassik bir dünyada necə olarsa, buna bənzəyir). Bu o deməkdir ki, kvant mexanikası sim/M-nəzəriyyəsinin əsaslandırıdığı dualıq simmetriyaları ilə sıx şəkildə əlaqəlidir: Onlar təbii olaraq kvant mexanikası simmetriyalarıdır, çünki dual təsvirlərdən biri kvant nəzəriyyəsi ilə güclü şəkildə əlaqəlidir. Bu, güclü şəkildə göstərir ki, sim/M-nəzəriyyəsinin tam formulyasiyası—yenidən kəşf edilən dualıq simmetriyalarını əsaslandıran bir formulyasiya—ənənəvi şəkildə əvvəlcə klassik başlayıb sonra kvantlaşdırılaraq başlaya bilməz. Klassik başlanğıc nöqtəsi, çünki dualıq simmetriyaları yalnız kvant mexanikası nəzərə alındıqda doğru olur, bu simmetriyaları mütləq buraxacaq. Əksinə, görünür ki, sim/M-nəzəriyyəsinin tam formulyasiyası ənənəvi yanaşmanı pozmalı və tam kvant-mexaniki nəzəriyyə kimi yaranmalıdır.

Hal-hazırda bunun necə edilməsi məlum deyil. Lakin bir çox sim nəzəriyyəçisi kvant prinsiplərinin kainatın nəzəri təsvirinə daxil edilməsinin yenidən formalaşdırılmasını bizim anlayışımızdakı növbəti böyük dəyişiklik kimi gözləyir. Məsələn, Cumrun Vafa deyib: "Mən düşünürəm ki, kvant mexanikasının bir yenidən formalaşdırılması, bir çox məsələsini həll edəcək, və bu çox yaxınlıqda olacaq. Düşünürəm ki, bir çoxları yaxın zamanda tapılan dualıqların kvant mexanikası üçün daha yeni və daha geometrik bir çərçivəyə işarə etdiyini düşünürlər, burada məkan, zaman və kvant xüsusiyyətləri ayrılmaz şəkildə birləşəcək." Və Edward Wittenə görə, "Mən inanıram ki, kvant mexanikasının məntiqi vəziyyəti, Eynşteynin ekvivalentlik prinsipini kəşf etdiyi zaman, yer cazibəsinin məntiqi vəziyyətinin dəyişdiyi şəkildə dəyişəcək. Bu proses hələ kvant mexanikası ilə tamamlanmayıb, amma düşünürəm ki, insanlar bir gün bizim dövrümüzə baxacaqlar və bu dövrü kvant mexanikasının başladığı dövr olaraq qiymətləndirəcəklər." Ümidlə deyə bilərik ki, sim nəzəriyyəsi içərisində kvant mexanikasının prinsiplərinin yenidən formalaşdırılması, kainatın necə başladığı və niyə məkan və zaman kimi anlayışların var olduğunu açıqlayacaq daha güclü bir formalizmə gətirib çıxara bilər—bu formalizm, Leibnizin "niyə bir şey var, yoxluq yerinə?" sualını cavablandırmaqda bizə bir addım yaxınlaşacaq.

Sim nəzəriyyəsinin əvvəlki fəsillərdə müzakirə etdiyimiz bir çox xüsusiyyətləri arasında, aşağıdakı üç xüsusiyyət bəlkə də ən vacib olanlardır. Birincisi, cazibə qüvvəsi və kvant mexanikası kainatın necə işlədiyinin ayrılmaz hissələridir və buna görə də hər hansı bir iddia olunan vahid nəzəriyyə hər ikisini daxil etməlidir. Sim nəzəriyyəsi bunu həyata keçirir. İkincisi, fizikaçılar son bir əsrdə aparılan tədqiqatlar nəticəsində kainatın başa düşülməsində mərkəzi rol oynayan bir sıra digər əsas ideyaları ortaya çıxarmışlar. Bunlara spin anlayışı, maddə hissəciklərinin ailə strukturu, xəbərci hissəciklər, ölçü simmetriyası, ekvivalentlik prinsipi, simmetriya pozulması və supersimmetriya kimi bir neçə anlayış daxildir. Bu anlayışların hamısı sim nəzəriyyəsindən təbii şəkildə yaranır. Üçüncüsü, standart model kimi daha ənənəvi nəzəriyyələrdən fərqli olaraq, 19 sərbəst parametri olan və eksperimental ölçmələrlə uyğunluğu təmin etmək üçün tənzimlənə bilən sim nəzəriyyəsinin heç bir tənzimlənə bilən parametri yoxdur. Nəzəri olaraq, onun nəticələri tamamilə qəti olmalıdır—bu, nəzəriyyənin doğru və ya yanlış olduğuna dair aydın bir test təqdim etməlidir.

Bu "nəzəri olaraq" düşüncə tərzindən "praktikada" fakt halına keçmək bir çox maneə ilə qarşılaşır. 9-cu fəsildə hazırda qarşımızda duran texniki çətinliklərdən bəzilərini, məsələn, əlavə ölçülərin formasını müəyyən etməyi təsvir etmişdik. 12-ci və 13-cü fəsillərdə isə bu və digər maneələri sim nəzəriyyəsinin tam anlayışına ehtiyacımızın daha geniş kontekstində qoymuşduq ki, bu da bizi təbii olaraq M-nəzəriyyəsinin nəzərdən

keçirilməsinə aparır. Şübhəsiz, sim/M-nəzəriyyəsinin tam başa düşülməsi böyük bir zəhmət və bərabər dərəcədə ixtiraçılıq tələb edəcək. Sim nəzəriyyəsinin hər addımında fizikaçılar nəzəriyyənin eksperimental olaraq müşahidə edilə bilən nəticələrini axtarıblar və axtarışlarını davam etdirəcəklər. 9-cu fəsildə müzakirə etdiyimiz sim nəzəriyyəsinin sübutlarını tapmaq üçün uzun müddətli ehtimalların hələ də əhəmiyyətini unutmamalıyıq. Əlavə olaraq, başa düşməyimiz dərinləşdikcə, şübhəsiz ki, sim nəzəriyyəsinin başqa nadir prosesləri və ya xüsusiyyətləri də ortaya çıxacaq və bu da başqa dolaylı eksperimental izləri göstərəcək.

Lakin ən vacibi, supersimetriyanın təsdiqlənməsi, 9-cu fəsildə müzakirə olunduğu kimi, superpartnyor hissəciklərinin kəşfi, sim nəzəriyyəsi üçün böyük bir mərhələ olacaqdır. Xatırladaq ki, supersimetriya sim nəzəriyyəsinin nəzəri tədqiqatları zamanı kəşf olunmuş və nəzəriyyənin mərkəzi bir hissəsidir. Onun eksperimental təsdiqlənməsi sim nəzəriyyəsi üçün məqbul, amma dolaylı bir sübut parçası olardı. Bundan əlavə, superpartnyor hissəciklərinin tapılması xoş bir çağırış olacaqdır, çünki supersimetriyanın kəşfi yalnız onun dünyamıza aid olub-olmaması sualına cavab verməkdən daha çox şey edər. Superpartnyor hissəciklərinin kütlələri və yükü supersimetriyanın təbiət qanunlarına necə daxil edildiyini ətraflı şəkildə göstərir. O zaman sim nəzəriyyəsi üzrə mütəxəssislər bu tətbiqin tam şəkildə həyata keçirilib-keçirilmədiyini və ya izah oluna biləcəyini yoxlamaq çağırışı ilə üzləşəcəklər. Əlbəttə, daha optimist ola bilərik və ümid edirik ki, növbəti on il ərzində—Cenevrədəki Böyük Hadron Kollayderi fəaliyyətə başlamadan əvvəl—sim nəzəriyyəsinin anlaşılması, superpartnyorlar haqqında ətraflı proqnozlar vermək üçün kifayət qədər irəliləyəcəkdir. Belə proqnozların təsdiqlənməsi elm tarixində monumental bir an olacaqdır.

İzahat üçün məhdudiyyətlər varmı?

Hər şeyi izah etmək, hətta kainatın qüvvələri və əsas tərkib hissələrinin bütün aspektlərini anlamaq anlamında belə, elmin qarşılaşdığı ən böyük çağırışlardan biridir. Və ilk dəfədir ki, supersim nəzəriyyəsi bu çağırışı qarşılamaq üçün kifayət qədər dərinliyə malik bir çərçivə təqdim edir. Lakin, biz bu nəzəriyyənin tam vədini həyata keçirə biləcəyikmi və məsələn, kuarkların kütlələrini və ya elektromaqnit qüvvəsinin gücünü hesablaya biləcəyikmi? Bu ədədlər ki, onların dəqiq dəyərləri kainat haqqında çox şeyi müəyyən edir. Əvvəlki bölmələrdə olduğu kimi, bu məqsədlərə çatmaq üçün bir sıra nəzəri maneələri aşmalıyıq—hazırda ən önəmli məsələlərdən biri sim/M-nəzəriyyəsinin tam bir nonperturbativ formulyasiyasını əldə etməkdir. Amma mümkündürmü ki, sim/M-nəzəriyyəsinə tam başa düşsək və bunu yeni və daha şəffaf bir kvant mexaniki formulasıya

çərçivəsində izah etsək də, biz hələ də hissəciklərin kütlələrini və qüvvə gücünü hesablamaqda uğursuz olaq? Mümkündürmü ki, biz bu dəyərləri nəzəri hesablamalarla deyil, eksperimental ölçmələrə əsaslanaraq əldə etməliyik? Və daha da önəmlisi, bu uğursuzluq, daha dərin bir nəzəriyyə axtarmağımızın əksinə, sadəcə olaraq kainatın bu müşahidə edilən xüsusiyyətlərinə izah verilməməsi demək ola bilərmi? Bu suallara dərhal verilə biləcək cavab bəli olacaqdır. Keçən əsrdə Eynşteyn bir zamanlar belə demişdi: "Kainatın ən anlaşılmaz şeyi, onun başa düşülə bilməsidir." Kainatı nə qədər başa düşə biləcəyimizə heyran etməyimiz sürətlə və təsirli irəliləyişlər dövründə asanlıqla unudula bilər. Lakin bəlkə də, başa düşməyin bir həddi var. Bəlkə də, elm tərəfindən təklif edilən ən dərin anlayış səviyyəsinə çatdıqdan sonra, kainatın bəzi aspektlərinin izah edilməmiş qalacağını qəbul etməliyik. Bəlkə də, kainatın bəzi xüsusiyyətlərini olduğu kimi qəbul etməliyik, çünki onlar təsadüfən, qəza nəticəsində və ya ilahi seçimlə belədir. Elmi metodun keçmişdəki uğuru bizə vaxt və səylə təbiətin sirrlərini açacağımıza inam yaratmışdır. Lakin elmi izahın mütləq həddinə çatmaq — bu, texnoloji maneə və ya insan anlayışının mövcud, lakin irəliləyən sərhədi deyil — bənzərsiz bir hadisə olardı, ki buna keçmiş təcrübə bizi hazırlaya bilməzdi.

Bu, ən son teoriyanı tapma yolundakı axtarışımıza çox böyük əhəmiyyət kəsb etsə də, hələ də həll edə bilməyəcəyimiz bir məsələdir; hətta elmi izahın, biz dediyimiz geniş mənada, hədləri olduğu ehtimalı heç vaxt həll olunmaya bilər. Məsələn, biz görmüşük ki, ilk baxışda elmi izahın müəyyən bir həddini təqdim edən çoxlu kainat (multiverse) anlayışı belə, ən azından prinsipə, proqnozlaşdırıcı gücü bərpa edə bilən nəzəriyyələr irəli sürməklə həll edilə bilər. Bu mülahizələrdən birinin ən önəmli nəticələrindən biri kosmologiyanın son teoriyanın nəticələrini müəyyənləşdirməkdəki roludur. Müzakirə etdiyimiz kimi, supersim kosmologiyası, hətta sim nəzəriyyəsinin özü ilə müqayisədə, gənc bir sahədir. Şübhəsiz ki, bu, gələcək illərdə əsas tədqiqat sahələrindən biri olacaq və sahənin əsas inkişaf sahələrindən biri kimi çıxış edəcəkdir. Sim/M-nəzəriyyəsinin xüsusiyyətləri haqqında yeni anlayış əldə etməyə davam etdikcə, bu zəngin birləşdirilmiş nəzəriyyə cəhdinin kosmoloji nəticələrini qiymətləndirmə bacarığımız daha da dəqiq olacaq. Əlbəttə ki, belə tədqiqatlar bir gün bizi elə bir nəticəyə gətirib çıxara bilər ki, həqiqətən də elmi izahın bir həddi vardır. Lakin əksinə, bu tədqiqatlar yeni bir dövrün başlanğıcı ola bilər — bir dövr ki, biz kainatın əsas izahını nəhayət tapdığımızı elan edə bilərik.

Ulduzlara Yönmək

Hətta biz texnoloji cəhətdən Yer və onun Günəş Sistemi içindəki yaxın qonşularına bağlı olsaq da, düşüncə və eksperiment vasitəsilə həm daxili, həm də xarici kosmosun ən uzaq küncələrini araşdırmışıq. Xüsusilə son yüz ildə, bir çox fiziklərin birgə səyi təbiətin ən yaxşı qorunan sirrlərini üzə çıxarıb. Və bu sirrlər üzə çıxdıqca, əvvəlcə bildiyimizi düşündüyümüz,

amma gözəlliyini təsəvvür belə edə bilmədiyimiz bir dünyaya açılan yeni pəncərələr açmış oldu. Bir fiziki nəzəriyyənin dərinliyini ölçmək üçün bir göstərici, əvvəllər dəyişməz hesab edilən dünya baxışımızın hansı hissələrinə ciddi çətinliklər yaratmasıdır. Bu ölçüyə görə, kvant mexanikası və nisbilik nəzəriyyələri heç kimin ən vəhşi gözləntilərindən də dərin olmuşdur: Dalğa funksiyaları, ehtimallar, kvant tunelləri, vakumun dayanmadan titrəyən enerji dalğalanmaları, zaman və məkanın birləşməsi, sinxronizmin nisbiliyi, zaman-məkan parçasının əyilməsi, qara dəliklər, böyük partlayış. Kim düşünərdi ki, intuitiv, mexaniki, dəqiq işləyən Nyuton perspektivi bu qədər məhdud olacaq və sadə şəkildə təcrübə etdiyimiz şeylərin altında başqaca, ağıl bükən bir dünya mövcuddur?

Lakin, bu paradigmaları sarsıdan kəşflər yalnız daha geniş və hərtərəfli bir hekayənin bir hissəsidir. Böyük və kiçik olan qanunların bir-biri ilə uyğunlaşaraq bütöv bir sistemi yaratması mövzusunda möhkəm bir inamla, fiziklər davamlı olaraq qovuşmağa çətin olan birləşdirilmiş nəzəriyyəni axtarırlar. Axtarış hələ bitməyib, amma supersim nəzəriyyəsi və onun M-nəzəriyyəsinə evrilməsi nəticəsində, kvant mexanikasını, ümumi nisbilik nəzəriyyəsini və güclü, zəif və elektromaqnit qüvvələri birləşdirən məntiqli bir çərçivə nəhayət ortaya çıxıb. Və bu inkişafın dünyaya baxışımızda yaratdığı çətinliklər böyükdür: Simlərin dövrləri və osilyasiya edən küreler, bütün yaradılışı vibrasiya nümunələrinə birləşdirərək, çoxsaylı gizli ölçüləri olan və ekstremal deformasiya olabilən bir kainatda, zaman-məkan strukturu parçalanıb sonra özünü təmir edən bir dünya. Kim düşünərdi ki, cazibə qüvvəsi və kvant mexanikasının bütün maddə və qüvvələrin birləşdirilmiş nəzəriyyəsinə daxil edilməsi, kainatın necə işlədiyini anlamağımızda belə bir inqilaba yol açacaq?

Şübhəsiz ki, supersim nəzəriyyəsini tam və hesablamalarla idarə edilə bilən şəkildə başa düşmək üçün axtarışımız davam etdikcə bizi daha böyük sürprizlər gözləyir. Artıq M-nəzəriyyəsi üzərindəki tədqiqatlar sayəsində, biz Plank uzunluğunun altındakı kainatın qəribə yeni bir sahəsinə nəzər salmışıq, bəlkə də zaman və məkan anlayışlarının olmadığı bir sahəyə. Əks əksinə, biz həmçinin kainatımızın sadəcə sonsuz sayda köpüklərin birinin üzərindəki bir köpük ola biləcəyini gördük, bu köpüklər nəhəng və dalğalı bir kosmik okeanın üzərində yerləşir və buna "multiverse" (çoxalma kainatı) deyilir. Bu fikirlər hazırda təxəyyülün sərhədindədir, amma onlar bizim kainat haqda başa düşməyimizdə növbəti sıçrayışı xəbər verə bilirlər.

Gələcəyə baxarkən və bizə hələ başa düşməyimiz üçün təqdim edilən bütün möcüzələri gözləyərkən, biz həmçinin geri dönüb keçdiyimiz yolu təəccüblə xatırlamalıyıq. Kainatın əsas qanunlarını axtarmaq açıq şəkildə insanın bir dramıdır, bu, ağıl uzatmış və ruhu zənginləşdirmişdir. Eynşteynin cazibə qüvvəsini anlamağa yönəlik öz axtarışını təsvir etdiyi canlı ifadəsi—"qaranlıqda narahat axtarış illəri, onların sıx arzusuyula, inam və

yorğunluğun dövrləri ilə, və sonunda işığa çıxmaq"—şübhəsiz ki, bütöv insan mübarizəsini əhatə edir. Biz hamımız, öz yolumuzla, həqiqətin axtaranlarıyıq və hər birimiz niyə burada olduğumuzu cavabını gözləyirik. Biz hər bir nəsil izahın dağını daha yüksək zirvəyə qaldırarkən, əvvəlki nəsilin üzərində möhkəm dayanır və cəsarətlə zirvəyə çatmağa çalışırıq. Bizim nəslimizin, zirvədən baxaraq sonsuz aydınlıqla böyük və zərif kainata baxacağına heç kim zəmanət verə bilməz. Lakin hər bir nəsil bir az daha yüksək qalxdıqca, biz Jacob Bronowskinin "hər dövrün öz dövrü dönüş nöqtəsi var, dünyanın ahəngini görmək və elan etmək üçün yeni bir yol" ifadəsini reallaşdırırıq. Və bizim nəslimiz, kainat haqda yeni baxışımızla—dünyanın ahəngini elan etməyin yeni yolu ilə—biz öz rolumuzu yerinə yetiririk, ulduzlara doğru uzanan insan pilləsinə öz addımımızı atırıq.

Elmi Terminlərin Lüğəti

- **Absolyut sıfır.** Ən aşağı mümkün temperatur, təxminən -273 dərəcə Selsi və ya Kelvin miqyasına görə 0.
- **Təsir.** Bir cismin sürətinin və ya istiqamətinin dəyişməsi. Eyni zamanda sürətə baxın.
- **Sürətləndirici.** Hissəcik sürətləndiricisinə baxın.
- **Amplituda.** Bir dalğanın zirvəsinin ən yüksək hündürlüyü və ya dalğanın çöküşünün ən dərinliyi.
- **Antropik prinsip.** Kainatın müşahidə etdiyimiz xüsusiyyətlərə sahib olmasının izahı olaraq bir nəzəriyyədir. Belə ki, əgər xüsusiyyətlər fərqli olsaydı, həyat yaranmazdı və buna görə də bu dəyişiklikləri müşahidə etməyəcəkdik.
- **Antimaddə.** Adi maddə ilə eyni cazibə xüsusiyyətlərinə sahib, lakin əks elektrik yükləri və əks nüvə qüvvəsi yüklərinə malik olan maddə.
- **Antihissəciy.** Antimaddənin bir hissəciyi.
- **ATB.** "Big Bang-dan sonra" mənasına gələn qısaltma; adətən böyük partlayışdan sonra keçən zaman üçün istifadə edilir.
- **Atom.** Maddənin əsas quruluşu, nüvədən (proton və neytronlardan ibarət) və onun ətrafında fırlanan elektronlardan ibarətdir.

- **Böyük partlayış (Big Bang).** Hal-hazırda qəbul edilən nəzəriyyədir ki, genişlənən kainat təxminən 15 milyard il əvvəl böyük enerji, sıxlıq və sıxılma vəziyyətindən başlamışdır.
- **Böyük sıxılma (Big Crunch).** Kainatın gələcəkdəki ehtimal olunan bir vəziyyəti, burada genişlənmə dayanır, tərsinə çevrilir və bütün kosmos və maddə bir araya sıxılaraq çökür; böyük partlayışın tərsi.
- **Qara dəlik.** Nəhəng cazibə sahəsinə malik olan bir obyekt, hər şeyi, hətta işıq belə özünə yaxınlaşdıqda (qara dəlikdən daha yaxın) tutar.
- **Qara dəlik entropiyası.** Qara dəlikdəki entropiya.
- **Bozon.** Bir hissəcik və ya sim titrəməsinin bir nümunəsi, tam sayda spinə sahibdir; adətən bir mesajçı hissəciyi.
- **Bozonik sim nəzəriyyəsi.** İlk məlum sim nəzəriyyəsi; bütün titrəyiş nümunələri yalnız bozonlardır.
- **BPS vəziyyətləri.** Supersimmetrik nəzəriyyədə simmetriya əsasında tam olaraq müəyyən edilə bilən konfigurasiyalar.
- **Brane.** Sim nəzəriyyəsində yaranan hər hansı bir genişlənmiş obyekt. Bir brane bir simdir, iki brane bir membran, üç brane üç genişlənmiş ölçüdür və s. Ümumiyyətlə, p-brane p məkan ölçüsünə sahibdir.
- **Calabi-Yau məkanı, Calabi-Yau forması.** Sim nəzəriyyəsinin tələblərinə uyğun olaraq əlavə məkan ölçülərinin yuvarlanmış olduğu bir məkan (forma).
- **Yük.** Güc yükünə baxın.
- **Chiral, Chirality.** Əsas hissəcik fizikasının xüsusiyyəti, sol və sağ əlləri fərqləndirən, kainatın tamamilə soldan-sağa simmetrik olmadığını göstərən bir anlayış.
- **Bağlı sim (Closed sim).** Dairə şəklində olan bir sim növü.
- **Konifold keçidi (Conifold transition).** Calabi-Yau hissəsinin evriliyi, burada onun toxuması yırtılır və sonra özünü bərpa edir, amma sim nəzəriyyəsi kontekstində yumşaq və qəbul edilə bilən fiziki nəticələrlə. Bu yırtılmalar flop keçidlərindən daha sərtir.
- **Kozmik mikrodalğa fon radiasiyası (Cosmic microwave background radiation).** Kainatın hər tərəfini dolduran mikrodalğa radiasiyası, böyük partlayış zamanı yaranmış və sonra kainatın genişlənməsi ilə seyrelib və soyumuşdur.
- **Kosmoloji sabit (Cosmological constant).** Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin orijinal tənliklərinin bir modifikasiyası, statik kainatı təmin edir; vakuumun sabit enerji sıxlığı kimi şərh edilə bilər.
- **Birləşmə sabiti (Coupling constant).** Sim birləşmə sabitinə baxın.

- **Yığılmış ölçü (Curled-up dimension).** Əksər böyük məkan ölçüsünə sahib olmayan, bükülmüş, qatlanmış və ya yığılmış, beləliklə birbaşa müşahidə edilməyən bir məkan ölçüsü.
- **Kürsülük (Curvature).** Bir cismin, məkanın və ya zamansal məkanın düz formadan kənara çıxması və buna görə də Euclid tərəfindən təsdiqlənmiş coğrafiya qaydalarından sapması.
- **Ölçü (Dimension).** Məkan və ya zamansal məkan daxilində müstəqil bir ox və ya istiqamət. Tanış olduğumuz məkan üç ölçüyə sahibdir (sol-sağ, irəli-geriyə, yuxarı-aşağı) və tanış zamansal məkan dörd ölçüdür (əvvəlki üç ox və keçmiş-gələcək oxu). Supersim nəzəriyyəsi kainatın əlavə məkan ölçülərinə sahib olmasını tələb edir.
- **İkilik, İkilik simmetriyaları (Dual, Duality, Duality symmetries).** İki və ya daha çox nəzəriyyənin tamamilə fərqli görünməsi, amma əslində eyni fiziki nəticələri yaratması vəziyyəti.
- **Elektromaqnit sahəsi (Electromagnetic field).** Elektromaqnit qüvvənin qüvvə sahəsi, hər bir məkan nöqtəsində elektrik və maqnit qüvvə xətləri olan bir sahə.
- **Elektromaqnit qüvvəsi (Electromagnetic force).** Dörd əsas qüvvədən biri, elektrik və maqnit qüvvələrinin birləşməsi.
- **Elektromaqnit gauge simmetriyası (Electromagnetic gauge symmetry).** Kvant elektrodinamikasında dayanan gauge simmetriyası.
- **Elektromaqnit radiasiya (Electromagnetic radiation).** Elektromaqnit dalğasında daşınan enerji.
- **Elektromaqnit dalğası (Electromagnetic wave).** Elektromaqnit sahəsində dalğa şəklində olan bir narahatlıq; bütün belə dalğalar işıq sürətində hərəkət edir. Görünən işıq, X şüaları, mikrodalğalar və infraqırmızı radiasiya nümunələridir.
- **Elektron (Electron).** Adətən atom nüvəsinin ətrafında fırlanan, mənfi yüklü hissəcik.
- **Elektrozaif nəzəriyyə (Electroweak theory).** Zəif qüvvəni və elektromaqnit qüvvəsini birləşdirən nisbilikçi kvant sahə nəzəriyyəsi.
- **On bir ölçülü supergravitasiya (Eleven-dimensional supergravity).** 1970-ci illərdə inkişaf etmiş və daha sonra nəzərdən qaçırılmış, amma sonradan sim nəzəriyyəsinin mühüm bir hissəsi olduğu göstərilən üfüqi supergravitasiya nəzəriyyəsi.
- **Entropiya (Entropy).** Fiziki bir sistemin nizamsızlığının ölçüsü; bir sistemin ümumi görüntüsünü qoruyaraq onun tərkib hissələrinin yenidən düzülməsinin sayı.
- **Bərabərlik prinsipi (Equivalence principle).** Bərabərlik prinsipinə baxın.
- **Event Horizon.** Qara dəliklərin bir tərəfli səthi; bir dəfə keçildikdən sonra, qravitasiya qanunları, heç bir geri dönüşün olmadığını, qara dəlikdən qaçışın mümkün olmadığını təmin edir.
- **Genişlənmiş Ölçü (Extended dimension).** Böyük və birbaşa görünən məkan (və zamansal məkan) ölçüsü; bizə adətən tanış olan bir ölçü, yığılmış ölçüdən fərqli olaraq.
- **Ekstremal Qara Dəliklər (Extremal black holes).** Müəyyən bir ümumi kütlə üçün mümkün olan ən yüksək qüvvə yükünə sahib olan qara dəliklər.
- **Ailələr (Families).** Maddə hissəciklərinin üç qrupda təşkil edilməsi; hər bir qrup "ailə" adlanır. Hər bir sonrakı ailənin hissəcikləri əvvəlkindən daha ağırdır, amma eyni elektrik və nüvə qüvvə yükünə malikdir.
- **Fermion.** Yarım tam tək sayda spini olan hissəcik və ya sim vibrasiyasının nümunəsi; adətən maddə hissəciyi.
- **Feynman Sum-Over-Paths.** Sum-over-Paths-ə baxın.

- **Sahə, Qüvvə sahəsi (Field, Force field).** Makroskopik baxışdan, bir qüvvənin təsirini necə çatdırdığını göstərən vasitə; hər bir məkan nöqtəsində qüvvənin gücünü və istiqamətini əks etdirən bir sıra ədədlərlə təsvir edilir.
- **Düz (Flat).** Euclid tərəfindən təsdiqlənmiş coğrafiya qaydalarına tabe olan; mükəmməl hamar bir masa səthi kimi bir forma və onun daha yüksək ölçülü ümumiləşdirmələri.
- **Flop Keçidi (Flop transition).** Calabi-Yau məkanının evriliyi, burada toxuma yırtılır və sonra özünü bərpa edir, amma sim nəzəriyyəsi kontekstində yumşaq və qəbul edilə bilən fiziki nəticələrlə.
- **Sümüklü (Foam).** Spacetime foam-a baxın.
- **Qüvvə Yüku (Force charge).** Bir hissəciyin müəyyən bir qüvvəyə necə reaksiya verdiyini müəyyən edən xüsusiyyət. Məsələn, bir hissəciyin elektrik yükü, onun elektromaqnit qüvvəyə necə reaksiya verdiyini müəyyən edir.
- **Tezlik (Frequency).** Bir dalğanın hər saniyədə tamamladığı tam dalğa dövrlərinin sayı.
- **Gauge Simmetriyası (Gauge symmetry).** Üç qeyri-qravitasiya qüvvəsinin kvant-mexaniki təsvirinin altındakı simmetriya prinsipi; simmetriya, bir fiziki sistemin qüvvə yüklərinin dəyərlərindəki müxtəlif dəyişikliklərə qarşı dəyişməzliyini əhatə edir, bu dəyişikliklər yerindən yerə və zamanla dəyişə bilər.
- **Ümumi Nisbilik (General relativity).** Eynşteyn'in qravitasiya formulası, hansı ki məkan və zaman qravitasiya qüvvəsini öz kürsülükləri vasitəsilə çatdırır.
- **Gluon.** Güclü qüvvə sahəsinin ən kiçik paketidir; güclü qüvvənin mesajçı hissəcikidir.
- **Böyük Birlik (Grand unification).** Üç qeyri-qravitasiya qüvvəsini tək bir nəzəri çərçivədə birləşdirən nəzəriyyələr sinfi.
- **Gravitasiya Qüvvəsi (Gravitational force).** Təbiətdəki dörd əsas qüvvədən ən zəifi. Nyuton'un ümumi qravitasiya nəzəriyyəsi ilə və sonra Eynşteyn'in ümumi nisbilik nəzəriyyəsi ilə təsvir edilir.
- **Graviton.** Gravitasiya qüvvəsi sahəsinin ən kiçik paketidir; qravitasiya qüvvəsinin mesajçı hissəcikidir.
- **Heterotik-E Sim Nəzəriyyəsi (Heterotic-E sim theory).** Beş supersim nəzəriyyəsindən biri; sağ hərəkət edən vibrasiyaları Type II sim-in vibrasiyalarına bənzəyən və sol hərəkət edən vibrasiyaları boson sim-in vibrasiyalarını əhatə edən bağlı simləri ehtiva edir. Heterotik-O sim nəzəriyyəsindən mühüm, amma incə fərqlərlə fərqlənir.
- **Heterotik-O Sim Nəzəriyyəsi (Heterotic-O sim theory).** Beş supersim nəzəriyyəsindən biri; sağ hərəkət edən vibrasiyaları Type II sim-in vibrasiyalarına bənzəyən və sol hərəkət edən vibrasiyaları boson sim-in vibrasiyalarını əhatə edən bağlı simləri ehtiva edir. Heterotik-E sim nəzəriyyəsindən mühüm, amma incə fərqlərlə fərqlənir.
- **Yüksək Ölçülü Supergravitasiya (Higher-dimensional supergravity).** Dörd və daha çox zamansal ölçüyə sahib olan supergravitasiya nəzəriyyələrinin sinfi.
- **Horizon Problemi (Horizon problem).** Kozmoloji bir sirr, hansı ki, kainatın uzaq bölgələrinin belə böyük məsafələrlə ayrı olmasına baxmayaraq, neredəyse eyni xüsusiyyətlərə, məsələn, temperaturlara sahib olması ilə bağlıdır. İnflyasiya kosmologiyası buna bir həll təklif edir.
- **Sonsuzluqlar (Infinities).** Ümumi nisbilik və kvant mexanikası ilə bağlı hesablamalardan ortaya çıxan tipik mənasız cavablar, bunlar nöqtə-hissəciyi çərçivəsində yer alır.

- **İnflyasiya, İnflyasiya Kosmologiyası (Inflation, Inflationary cosmology).** Standart böyük partlayış kosmologiyasının ilk anlarına bir düzəliş, burada kainat qısa bir müddətdə böyük bir genişlənmə yaşayır.
- **İlkin Şərtlər (Initial conditions).** Fiziki bir sistemin başlanğıc vəziyyətini təsvir edən məlumatlar.
- **İnterferensiya Nümunəsi (Interference pattern).** Fərqli yerlərdən yayılan dalğaların üst-üstə düşməsi və birləşməsindən yaranan dalğa nümunəsi.
- **Kaluza-Klein Nəzəriyyəsi (Kaluza-Klein theory).** Kvant mexanikası ilə yanaşı əlavə yığılmış ölçüləri daxil edən nəzəriyyələr sinfi.
- **Kelvin (Kelvin).** Temperatur ölçümi, burada temperatur sıfır mütləq sıfırdan (absolute zero) ölçülür.
- **Klein-Gordon Tənliyi (Klein-Gordon equation).** Relativistik kvant sahə nəzəriyyəsinin əsas tənliyi.
- **Laplacian Determinizmi (Laplacian determinism).** Kainatın saat mexanizmi kimi anlayışı, burada bir anın tam bilikləri onun bütün gələcək və keçmiş vəziyyətlərini tam olaraq müəyyən edir.
- **İşıq Saati (Light clock).** Bir fotonun iki güzgü arasında dövr etməsini saymaqla keçən vaxtı ölçən hipotetik saat.
- **Lorentz Kontraksiyası (Lorentz contraction).** Xüsusi nisbilikdən gələn bir xüsusiyyət, burada hərəkət edən bir cism öz hərəkət istiqamətində qısılır.
- **Makroskopik (Macroscopic).** Gündəlik dünyada və daha böyük ölçülərdə qarşılaşılan ölçülərə istinad edir; mikroskopik ölçülərin əksinə.
- **Kütləsiz Qara Dəlik (Massless black hole).** Sim nəzəriyyəsində, ilkin olaraq böyük kütləyə sahib olan, lakin Calabi-Yau məkanının bir hissəsi kiçildikcə kütləsi azalan bir qara dəlik növü. Bu məkan nöqtəsinə qədər kiçildikdə, başlanğıcda kütləli olan qara dəlik kütləsiz olur. Bu vəziyyətdə, artıq qara dəliklərin tipik xüsusiyyətləri, məsələn, hadisə üfüyü, görünür.
- **Maxwell'in Nəzəriyyəsi, Maxwell'in Elektromaqnit Nəzəriyyəsi (Maxwell's theory, Maxwell's electromagnetic theory).** Elektrik və maqnetizmi birləşdirən nəzəriyyə, elektromaqnit sahəsi anlayışına əsaslanır, 1880-ci illərdə Maxwell tərəfindən hazırlanmışdır; göstərir ki, görünən işıq elektromaqnit dalğası nümunəsidir.
- **Mesajçı Hissəciyi (Messenger particle).** Bir qüvvə sahəsinin ən kiçik paketi; bir qüvvənin mikroskopik daşıyıcısı.
- **Güzgü Simmetriyası (Mirror symmetry).** Sim nəzəriyyəsi kontekstində, iki fərqli Calabi-Yau şəklinin, "güzgü cütü" adlanaraq, sim nəzəriyyəsinin yığılmış ölçüləri üçün seçildikdə eyni fizika yaratmasına səbəb olan bir simmetriya.
- **M-nəzəriyyəsi (M-theory).** İkinci supersim inqilabından yaranan və əvvəlki beş supersim nəzəriyyəsini birləşdirən bir nəzəriyyə çərçivəsi. M-nəzəriyyəsi, on bir zamansal ölçü ilə əlaqəli görünür, baxmayaraq ki, bir çox detallı xüsusiyyətləri hələ başa düşülməyib.
- **Çox Ölçülü Delik (Multidimensional hole).** Donutda tapılan deliklərin daha yüksək ölçülü versiyalarına ümumiləşdirilməsi.
- **Çox Donut, Çox Xanlı Donut (Multi-doughnut, Multi-handled doughnut).** Donut formasının (torus) daha çox delik olan ümumiləşdirilməsi.
- **Çoxlu Kainatlar (Multiverse).** Kainatın hipotetik genişlənməsi, burada bizim kainatımız yalnız çox sayda ayrı və fərqli kainatlardan birincisidir.

- **Neutrino (Neutrino).** Yüklənməyən bir hissəciyi növü, yalnız zəif qüvvəyə məruz qalır.
- **Neutron (Neutron).** Yüklənməyən bir hissəciyi, adətən bir atomun nüvəsində tapılır, üç kuarkdan (iki aşağı kuark, bir yuxarı kuark) ibarətdir.
- **Nyutonun Hərəkət Qanunları (Nyuton's laws of motion).** Cisimlərin hərəkətini, mütləq və dəyişməz bir məkan və zaman anlayışına əsaslanaraq təsvir edən qanunlar; bu qanunlar Eynşteynin xüsusi nisbilik nəzəriyyəsini kəşf etməsinə qədər hökmranlıq edirdi.
- **Nyutonun Ümumi Cazibə Qanunu (Nyuton's universal theory of gravity).** İki cisim arasındakı cazibə qüvvəsinin, onların kütlələrinin hasilinə bərabər və aralarındakı məsafənin kvadratına tərs mütənasib olduğunu bəyan edən cazibə nəzəriyyəsi. Sonradan Eynşteynin ümumi nisbilik nəzəriyyəsi ilə əvəzlənmişdir.
- **Perturbativ Olmayan (Nonperturbative).** Bir nəzəriyyənin, təxmini, perturbativ hesablamalara əsaslanmayan bir xüsusiyyəti; nəzəriyyənin dəqiq bir xüsusiyyəti.
- **Nüvə (Nucleus).** Bir atomun mərkəzi, protonlar və neytronlardan ibarətdir.
- **Nəzarətçi (Observer).** Fiziki bir sistemin müvafiq xüsusiyyətlərini ölçən, idealizə edilmiş şəxs və ya cihaz, tez-tez hipotetik.
- **Bir Dönüşümlü Proses (One-loop process).** Perturbasiya nəzəriyyəsində bir hesablamaya qatqı təmin edən, bir virtual cüt ip (və ya nöqtə-hissəciyi nəzəriyyəsində hissəciklər) ilə əlaqəli proses.
- **Açıq İp (Open sim).** İki sərbəst uca sahib olan ip növü.
- **Osilyon Nümunəsi (Oscillatory pattern).** Vibrasiya nümunəsinə baxın.
- **Hissəciyi Sürətləndiricisi (Particle accelerator).** Hissəcikləri işıq sürətinə yaxın sürətə çatdırmaq və onları bir-birinə çırparaq maddənin strukturunu araşdırmaq üçün istifadə edilən cihaz.
- **Perturbasiya Nəzəriyyəsi (Perturbation theory).** Çətin bir problemi sadələşdirmək üçün çətin məsələnin təxmini həlli tapılaraq, daha sonra təfərrüatlar sistematik olaraq daxil edilərək təkmilləşdirilən bir çərçivə.
- **Perturbativ Yanaşma, Perturbativ Metod (Perturbative approach, Perturbative method).** Perturbasiya nəzəriyyəsinə baxın.
- **Faza (Phase).** Maddəyə istinad edildikdə, onun mümkün vəziyyətlərini təsvir edir: bərk faza, maye faza, qaz fazası. Daha ümumiləşdirilmiş şəkildə, bir fiziki sistemin təsvirləri, onun asılı olduğu xüsusiyyətlərin (temperatur, ip əlaqə sabitliyi dəyərləri, zamansal quruluş forması və s.) dəyişdirildikdə mümkün olan təsvirləri bildirir.
- **Faza Keçidi (Phase transition).** Bir fiziki sistemin bir fazadan digərinə keçməsi.
- **Fotoelektrik Təsir (Photoelectric effect).** Işıq bir metal səthinə düşdükdə, elektronların bu səthdən atılması hadisəsi.
- **Foton (Photon).** Elektromaqnit qüvvə sahəsinin ən kiçik paketidir; elektromaqnit qüvvənin mesajçı hissəciyi; işığın ən kiçik paketidir.
- **Plank Enerjisi (Plank energy).** Təxminən 1000 kilovatt-saat. Plank uzunluğuna qədər məsafələri araşdırmaq üçün lazım olan enerji. Sim nəzəriyyəsində bir ipin tipik enerjisi.
- **Plank Uzunluğu (Plank length).** Təxminən 10^{-33} santimetr. Kainatın strukturlarının kvant dalğalanmalarının çox böyüdüğü ölçü. Sim nəzəriyyəsində tipik bir ipin ölçüsü.
- **Plank Kütləsi (Plank mass).** Proton kütləsinin təxminən on milyard milyard dəfə böyükdür; bir qramın yüzdə biri qədər; kiçik bir toz dənəsinin kütləsi qədər. Sim nəzəriyyəsində titrəyən bir ipin tipik kütləsi.
- **Plank Sabiti (Plank's constant).** hh simvolu ilə göstərilir, Plank sabiti kvant mexanikasında əsas bir parametrdır. O, mikroskopik aləmi enerjinin, kütlənin, spinlərin

və s. diskret vahidlərə ayıran ölçü vahidini müəyyən edir. Dəyəri $1.05 \times 10^{-171.05}$ qram-sm/saniyədir.

- **Plank Gərginliyi (Plank tension).** Təxminən 10^{39} ton. Sim nəzəriyyəsində tipik bir ipin gərginliyi.
- **Plank Zamanı (Plank time).** Təxminən 10^{-43} saniyə. Kainatın ölçüsünün təxminən Plank uzunluğu olduğu zaman; daha dəqiq desək, işığın Plank uzunluğunu keçməsi üçün lazım olan vaxt.
- **İlkin Nükleosintez (Primordial nucleosynthesis).** Böyük partlayışdan sonra ilk üç dəqiqə ərzində atom nüvələrinin yaranması prosesi.
- **Bərabərlik Prinsipi (Principle of equivalence).** Ümumi nisbilik nəzəriyyəsinin əsas prinsipi, sürətlə hərəkət edən cismin və cazibə sahəsinə daxil olmanın (kiçik müşahidə sahələri daxilində) fərqlənməz olduğunu bəyan edir. Nisbilik prinsipini ümumiləşdirir və göstərir ki, hər bir müşahidəçi, hərəkət vəziyyətindən asılı olmayaraq, uyğun bir cazibə sahəsi olduğunu qəbul etdikcə istirahətdə olduğunu iddia edə bilər.
- **Nisbilik Prinsipi (Principle of relativity).** Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsinin əsas prinsipi, bütün sabit sürət müşahidəçilərinin eyni fiziki qanunlara məruz qaldığını və buna görə də hər bir sabit sürət müşahidəçisinin özünü istirahət vəziyyətində olduğu iddiasında olduğunu bəyan edir. Bu prinsip bərabərlik prinsipi ilə ümumiləşdirilir.
- **Hasıl (Product).** İki sayın vurulmasından yaranan nəticə.
- **Proton (Proton).** Müsbət yüklü hissəciyi, adətən bir atomun nüvəsində tapılır, üç kuarkdan (iki yuxarı kuark və bir aşağı kuark) ibarətdir.
- **Kuantalar (Quanta).** Kvant mexanikası qanunlarına əsasən bir şeyin bölünə bilən ən kiçik fiziki vahidləridir. Məsələn, fotonlar elektromaqnit sahəsinin kuantalarıdır.
- **Kvant Kromodinamikası (Quantum chromodynamics, QCD).** Güclü qüvvə və kuarkların nisbətli kvant sahə nəzəriyyəsi, xüsusi nisbiliyi də daxil edir.
- **Kvant Klostrofobiyası (Quantum claustrophobia).** Kvant dalğalanmalarına baxın.
- **Kvant Determinizmi (Quantum determinism).** Kvant mexanikasının bir xüsusiyyəti olan bu, bir sistemin kvant vəziyyətinin bir anda bililməsi ilə onun gələcək və keçmiş vəziyyətlərinin tam olaraq müəyyən edilməsini təmin edir. Kvant vəziyyətinin biliyi, ancaq gələcəkdə hansı hadisənin baş verəcəyinin ehtimalını müəyyən edir.
- **Kvant Elektrodinamikası (Quantum electrodynamics, QED).** Elektromaqnit qüvvəsi və elektronların nisbətli kvant sahə nəzəriyyəsi, xüsusi nisbiliyi də daxil edir.
- **Kvant Elektrovək Teoriyası (Quantum electroweak theory).** Elektrovək nəzəriyyəsinə baxın.
- **Kvant Sahə Nəzəriyyəsi (Quantum field theory).** Nisbətli kvant sahə nəzəriyyəsinə baxın.
- **Kvant Dalğalanması (Quantum fluctuation).** Mikroskopik miqyaslarda, qeyri-müəyyənlik prinsipinə görə bir sistemin təlatümlü davranışı.
- **Kvant Köpüyü (Quantum foam).** Zaman-məkan köpüyünə baxın.
- **Kvant Coğrafiyası (Quantum geometry).** Mikroskopik miqyaslarda zaman-məkanın fizikasını düzgün təsvir etmək üçün tələb olunan Riemann geometriyasının dəyişdirilməsi, burada kvant effektləri əhəmiyyətlidir.
- **Kvant Qravitasiyası (Quantum gravity).** Kvant mexanikasını və ümumi nisbiliyi müvəffəqiyyətlə birləşdirən, bəlkə də birinin və ya hər ikisinin modifikasiyasını ehtiva edən nəzəriyyə. Sim nəzəriyyəsi kvant qravitasiyasının bir nümunəsidir.

- **Kvant Mexanikası (Quantum mechanics).** Atomlar və subnuklear hissəciklər kimi mikroskopik miqyaslarda daha aydın şəkildə görünən qeyri-məşhur xüsusiyyətlərə, məsələn, qeyri-müəyyənlik, kvant dalğalanmaları və dalğa-hissəcik cütlüyü kimi qanunları təsvir edən qanunlar çərçivəsi.
- **Kvant Tunelləməsi (Quantum tunneling).** Kvant mexanikasında bir xüsusiyyət, bu göstərir ki, obyektlər Nyutonun klassik fizika qanunlarına görə keçilməsi imkansız olan maneələrdən keçə bilirlər.
- **Kuark (Quark).** Güclü qüvvədən təsirlənən hissəcik. Kuarklar altı müxtəlif növdə (yuxarı, aşağı, cazibə, qəribə, yuxarı, aşağı) və üç "rəng"də (qırmızı, yaşıl, mavi) mövcuddur.
- **Radiasiya (Radiation).** Dalğalar və ya hissəciklər tərəfindən daşıdılan enerji.
- **Əks (Reciprocal).** Bir ədədin tərsi; məsələn, 3-ün əksi $\frac{1}{3}$ -dür, $\frac{1}{\frac{1}{2}}$ -nin əksi isə 2-dir.
- **Nisbətli Kvant Sahə Nəzəriyyəsi (Relativistic quantum field theory).** Sahələrin (məsələn, elektromaqnit sahəsi) kvant mexaniki nəzəriyyəsi, xüsusi nisbiliyi də daxil edir.
- **Rezonsans (Resonance).** Fiziki bir sistemin təbii osilasiya vəziyyətlərindən biri.
- **Riemannian Geometriyası (Riemannian geometry).** Hər hansı bir ölçüdə əyri formalı cisimləri təsvir etmək üçün riyazi çərçivə. Eynşteynin ümumi nisbilikdə zaman-məkanın təsvirində mərkəzi rol oynayır.
- **Schrödinger Tənliyi (Schrödinger equation).** Kvant mexanikasında ehtimal dalğalarının evrimini idarə edən tənlik.
- **Schwarzschild Həlli (Schwarzschild solution).** Ümumi nisbilik tənliklərinin sferik maddə paylanması üçün həlli; bu həllin bir nəticəsi qara dəliklərin mövcudluğunun mümkünlüyüdür.
- **İkinci Termodinamika Qanunu (Second law of thermodynamics).** Ümumi entropiyanın həmişə artdığını bəyan edən qanun.
- **İkinci Supersim İnqilabı (Second supersim revolution).** Sim nəzəriyyəsinin inkişafında, 1995-ci ildən etibarən nəzəriyyənin bəzi qeyri-perturbativ aspektlərinin başa düşülməyə başlanması dövrü.
- **Singularlıq (Singularity).** Zaman və məkanın toxumasının dağıldığı bir yer.
- **Sürüşkən, Sürüşkən məkan (Smooth, Smooth space).** Zaman-məkanın hər hansı bir qırılma, çatlama və ya bükülmə olmadan düz və ya yüngül əyri olduğu bir sahə.
- **Məkan Yırtılması Flop Keçidi (Space-tearing flop transition).** Flop keçidinə baxın.
- **Zaman-Məkan (Spacetime).** Əvvəlcə xüsusi nisbilikdən yaranan zaman və məkanın birləşməsi. Kainatın quruluşunun "toxuması" kimi baxıla bilər; kainatda baş verən hadisələrin baş verdiyi dinamik arenadır.
- **Zaman-Məkan Köpüyü (Spacetime foam).** Zaman-məkanın mikroskopik miqyaslarda köpüklü, əyilən və dalğalanan xarakteri, konvensional nöqtə-hissəcik perspektivinə görə. Kvant mexanikası və ümumi nisbiliyin sim nəzəriyyəsi əvvəlki dövrlərdə qeyri-mütəlif olmasının əsas səbəbi.
- **Xüsusi Nisbilik (Special relativity).** Eynşteynin zaman və məkan qanunları, cazibə olmadan (ümumi nisbiliyi də daxil edin).
- **Top (Sphere).** Bir topun xarici səthi. Məşhur üçölçülü bir topun səthi iki ölçüyə sahibdir (məsələn, "enlik" və "uzunluq" kimi etiketləyə bilər, yer üzündə olduğu kimi). Lakin, top anlayışı ümumiyyətlə top formalarına və buna görə də onların səthlərinə, hər hansı ölçüdə

tətbiq olunur. Bir ölçülü bir top dairə adlanır; sıfır ölçülü bir top isə iki nöqtədən ibarətdir (mətnə əsasən izah edildiyi kimi). Üç ölçülü bir topu təsəvvür etmək daha çətindir; bu, dörd ölçülü bir topun səthidir.

- **Spin.** Kvant mexanikasının tanış bir anlayışının versiyası; hissəciklər daxili spinə sahibdirlər, bu spin ya tam ədəd, ya da yarım tam ədəd (Plank sabitinin çoxluğu ilə) olur və heç vaxt dəyişmir.
- **Kosmologiyanın Standart Nəzəriyyəsi (Standard model of cosmology).** Böyük partlayış nəzəriyyəsi və üç qeyri-cazibə qüvvəsinin partiya fizikası üzrə standart model ilə təsvir edilən birləşməsi.
- **Partiya Fizikasının Standart Nəzəriyyəsi (Standard model of particle physics), Standart Nəzəriyyə (Standard theory).** Üç qeyri-cazibə qüvvəsini və onların maddəyə təsirini müvəffəqiyyətlə izah edən nəzəriyyə. Əslində kvant xromodinamikası və elektromaqnetizm nəzəriyyəsinin birləşməsidir.
- **Sim (Sətr).** Sim nəzəriyyəsində əsas komponent olan fundamental bir ölçülü obyekt.
- **Sim Qoşulma Sabiti (Sim coupling constant).** Verilən bir simin iki simə parçalanma ehtimalını və ya iki simin birləşərək birə çevrilməsi ehtimalını idarə edən müsbət bir ədəd — sim nəzəriyyəsinin əsas prosesləri. Hər bir sim nəzəriyyəsinin özünəməxsus sim qoşulma sabiti vardır və bu sabit, bir tənliklə müəyyən edilməlidir; hal-hazırda bu tənliklər yetərinə yaxşı başa düşülmür. Qoşulma sabitlərinin 1-dən kiçik olması, perturbativ metodların keçərli olduğunu bildirir.
- **Sim Növləri (Sim mode).** Simin qəbul edə biləcəyi mümkün konfigurasiya (vibrasiya naxışı, dolanma konfigurasiyası).
- **Sim Nəzəriyyəsi (Sim theory).** Kainatın birləşdirici nəzəriyyəsi, burada təbii fundamental komponentlər sıfır ölçülü nöqtə hissəcikləri deyil, kiçik bir ölçülü bir ölçülü simlər (sims) olaraq qəbul edilir. Sim nəzəriyyəsi kvant mexanikası və ümumi nisbiliyi birləşdirərək, əvvəlki kiçik və böyük qanunları ahəngdar şəkildə birləşdirir və bu qanunlar bir-biri ilə uyğun deyil. Çox vaxt supersim nəzəriyyəsi üçün qısa ifadədir.
- **Güclü Qüvvə (Strong force), Güclü Nüvə Qüvvəsi (Strong nuclear force).** Dörd əsas qüvvədən ən güclüsü, kuarkların protonlar və neytronlar daxilində bağlanmasını təmin edir və protonları və neytronları atom nüvələrində sıx saxlayır.
- **Güclü Qüvvə Simmetriyası (Strong force symmetry).** Güclü qüvvənin əsaslı simmetriyası, kuarkların rəng yükündən dəyişikliklərə qarşı bir fiziki sistemin invariant olmasına bağlıdır.
- **Güclü Bağlı (Strongly coupled).** Teoriya, sim qoşulma sabitinin 1-dən böyük olduğu bir vəziyyəti bildirir.
- **Güclü-Zəif Cütlüyü (Strong-weak duality).** Güclü bağlı bir nəzəriyyənin zəif bağlı bir nəzəriyyə ilə fiziki olaraq eyni olduğu vəziyyət.
- **Yol üzərində Cəm (Sum-over-paths).** Kvant mexanikasının formuləsi, burada hissəciklər bir nöqtədən digərinə bütün mümkün yollarla səyahət edir.
- **Supergravitasiya (Supergravity).** Ümumi nisbilik və supersimetriyanı birləşdirən nöqtə-hissəcik nəzəriyyələri sinfi.
- **Super-partnyorlar (Superpartners).** Spinsi yarım vahid fərq olan və supersimetriya tərəfindən cütləşən hissəciklər.
- **Supersim Nəzəriyyəsi (Supersim theory).** Supersimetriya daxili olan sim nəzəriyyəsi.
- **Supersimmetrik Kvant Sahə Nəzəriyyəsi (Supersymmetric quantum field theory).** Supersimetriya daxili kvant sahə nəzəriyyəsi.

- **Supersimetriya ilə Standart Nəzəriyyə (Supersymmetric standard model).** Partiya fizikası üzrə standart nəzəriyyənin supersimetriya ilə genişləndirilməsi. Bu, məlum olan elementar hissəciklərin növlərinin ikiqat artırılmasını tələb edir.
- **Supersimetriya (Supersymmetry).** Hissəciklərin spinlərinin tam saylı (bozonlar) və yarım tam saylı (fermionlar) olduğu xassələri əlaqələndirən simmetriya prinsipi.

Simmetriya (Symmetry). Fiziki bir sistemin, sistemin bir şəkildə çevrildiyi zaman dəyişməyən xassəsi. Məsələn, bir sferanın dövr etməsi ilə görüntüsü dəyişmədiyi üçün rotasiyalı simmetriya sahiblidir.

Simmetriyanın Sındırılması (Symmetry breaking). Bir sistemin göründüyü simmetriyanın azalması, adətən faza keçidi ilə əlaqələndirilir.

Takhyon (Tachyon). Kütləsi (kvadrat olaraq) mənfi olan hissəcik; bir nəzəriyyədə olması ümumiyyətlə tutarsızlıqlara səbəb olur.

Termodinamika (Thermodynamics). XIX əsrdə istilik, iş, enerji, entropiya və bunların fiziki bir sistemdəki qarşılıqlı inkişafını təsvir etmək üçün inkişaf etdirilmiş qanunlar.

Üç-bran (Three-brane). Bran-a baxın.

Üç ölçülü sfera (Three-dimensional sphere). Sfera ilə baxın.

Zamanın Dilatasiya Edilməsi (Time dilation). Xüsusi nisbilik nəzəriyyəsindən yaranan xüsusiyyət, burada hərəkətdə olan bir müşahidəçinin zamanın axışı yavaşlayır.

T.O.E. (Hər Şeyin Nəzəriyyəsi). Bütün qüvvələri və bütün maddəni özündə birləşdirən kvant mexanikası nəzəriyyəsi.

Topoloji Fərqlilik (Topologically distinct). İki forma ki, onları bir-birinə təhrif etmədən çevirmək mümkün deyil, bunun üçün strukturlarını hansısa şəkildə qoparmaq lazımdır.

Topologiya (Topology). Formaların qruplara təsnifatı, belə ki, onlar bir-birinə hər hansı bir şəkildə qoparmadan çevrilə bilər.

Topologiya dəyişən keçid (Topology-changing transition). Kosmosun toxumasının dəyişməsi, bu, kosmosun topologiyasını dəyişdirəcək şəkildə qırılma və ya yırtılma tələb edir.

Tor (Torus). Bir kündənin iki ölçülü səthi.

İki-bran (Two-brane). Bran-a baxın.

İki ölçülü sfera (Two-dimensional sphere). Sfera ilə baxın.

Tip I sim nəzəriyyəsi (Type I sim theory). Beş supersim nəzəriyyəsindən biri; həm açıq, həm də bağlı simləri əhatə edir.

Tip IIA sim nəzəriyyəsi (Type IIA sim theory). Beş supersim nəzəriyyəsindən biri; simmetrik vibrasiya naxışlarına malik bağlı simləri əhatə edir.

Tip IIB sim nəzəriyyəsi (Type IIB sim theory). Beş supersim nəzəriyyəsindən biri; asimmetrik vibrasiya naxışlarına malik bağlı simləri əhatə edir.

Ultramikroskopik (Ultramicroscopic). Plank uzunluğundan kiçik olan uzunluq ölçüləri (və eyni zamanda Plank zamanından kiçik olan zaman ölçüləri).

Naməlumluq prinsipi (Uncertainty principle). Kvant mexanikası prinsipi, Heisenberg tərəfindən kəşf edilmişdir, bu prinsipə görə, kainatın bəzi xüsusiyyətləri, məsələn, bir hissəciyin mövqeyi və sürəti, tam dəqiqliklə bilinməz. Mikroskopik dünyadakı bu qeyri-müəyyən aspektlər, nəzərdən keçirilən məsafə və zaman ölçüləri kiçildikcə daha da kəskinləşir. Hissəciklər və sahələr, kvant qeyri-müəyyənliyinə uyğun olaraq, bütün mümkün qiymətlər arasında dalğalanır və sıçrayır. Bu, mikroskopik aləmin, kvant dalğalanmalarının şiddətli dənizində fırtınalı bir vəziyyət olduğunu göstərir.

Birləşdirilmiş nəzəriyyə (Unified theory), Birləşdirilmiş sahə nəzəriyyəsi (Unified field theory). Bütün dörd qüvvəni və bütün maddəni tək bir, hər şeyi əhatə edən çərçivə daxilində təsvir edən hər hansı bir nəzəriyyə.

Bərabər Vibrasiya (Uniform vibration). Bir simin ümumi hərəkəti, burada heç bir forma dəyişmədən hərəkət edir.

Sürət (Velocity). Bir obyektin hərəkətinin sürəti və istiqaməti.

Vibrasiya Nəqliyyatı (Vibrational mode). Vibrasiya naxışına baxın.

Vibrasiya Naxışı (Vibrational pattern). Simin osilasiya etdiyi zaman, onun dalğalarının dəqiqlikləki zirvələri və çökəklikləri, həmçinin bu zirvə və çökəkliklərin amplitudası.

Vibrasiya Nömrəsi (Vibration number). Simin vahid vibrasiya hərəkətindəki enerjini təsvir edən tam say; ümumi hərəkətindəki enerji, onun formasındakı dəyişikliklərə aid olan enerjiden fərqli olaraq.

Virtual Hissəciklər (Virtual particles). Boşluqdan bir anlıq sıçrayan hissəciklər; qeyri-müəyyənlik prinsipinə uyğun olaraq, bu hissəciklər, borclu enerji ilə mövcud olurlar və sürətlə qarşılıqlı yox olurlar, buna görə də enerjinin borcunu geri qaytarırlar.

Dalğa Funksiyası (Wave function). Kvant mexanikası əsaslanan ehtimal dalğaları.

Dalğa Uzunluğu (Wavelength). Bir dalğanın ardıcıl zirvələri və ya çökəklikləri arasındakı məsafə.

Dalğa-Hissəcik İkiliyi (Wave-particle duality). Kvant mexanikasının əsas xüsusiyyəti, obyektlərin həm dalğa, həm də hissəcik kimi xüsusiyyətlər göstərməsi.

W Bosonları (W bosons). Zəif gücün qabarıq bozonu, zəif qüvvə sahəsinin kiçik paketləri; zəif qüvvənin mesajçı hissəcikləri; W və ya Z bozonu adlanır.

Zəif Güc (Weak force), Zəif Nüvə Gücü (Weak nuclear force). Dörd əsas qüvvədən biri, ən yaxşı radioaktiv çürüməni vasitəçilik etməsi ilə tanınır.

Zəif Bozon Simmetriyası (Weak gauge symmetry). Zəif qüvvə üçün əsas olan bozon simmetriyası.

Zəif Yaxınlaşan (Weakly coupled). Simin bağlanma sabitliyi 1-dən kiçik olan nəzəriyyə.

Sarma Enerjisi (Winding energy). Kosmosun dövrvi ölçüsündə bir simin dolanması nəticəsində yaranan enerji.

Sarma Naxışı (Winding mode). Simin dövrvi bir kosmik ölçüdə sarıldığı konfigurasiya.

Sarma Nömrəsi (Winding number). Bir simin dövrvi bir kosmik ölçüdə neçə dəfə sarıldığını göstərən say.

Dünya Səhifəsi (World-sheet). Simin hərəkət etdiyi zaman tərtib etdiyi iki ölçülü səth.

Wormhole (Kusma). Kainatın bir regionunu digərinə bağlayan boru şəklindəki kosmik bölgə.

Z Boson (Z boson). Zəif bozon simmetriyası ilə əlaqəli və zəif qüvvənin mesajçı hissəciklərindən biri.

Sıfır Ölçülü Sfera (Zero-dimensional sphere). Sfera ilə baxın.