

Стивън Хокинг

КРАТКА ИСТОРИЯ НА ВРЕМЕТО

(от големия взрив до черните дупки)

A Brief History of Time, 1988

Реших да се опитам да напиша популярна книга за пространството и времето след лекциите, които изнесох в Харвард през 1982 г. За ранната Вселена вече има значителен брой книги — от много добри, като книгата на Стивън Уайнбърг „Първите три минути“, до много лоши, които няма да посоча. Стори ми се обаче, че никоя от тях всъщност не се обръща към въпросите, които ме доведоха до изследвания в космологията и квантовата теория: Откъде идва Вселената? Как и защо е започнала? Ще има ли край и ако да — какъв? Тези въпроси интересуват всички нас. Но съвременната наука така се технизира, че специалистите, способни да усъвършенстват математиката, необходима за описанието им, са твърде малко. И все пак основните идеи за произхода и съдбата на Вселената могат да се изложат без помощта на математиката във вид, който и хора без научна подготовка могат да разберат. Именно това се опитам да направя в тази книга. Читателят ще прецени доколко съм успял.

Някой ми каза, че всяко уравнение, което бих включил в книгата, ще намали наполовина търсенето ѝ. Поради това реших изобщо да няма уравнения. Накрая обаче *вмъкнах* едно — знаменитото уравнение на Айнщайн $E = mc^2$. Надявам се да не уплаши половината от потенциалните читатели.

Като изключим редкия късмет да забележа от гръбначна мускулна атрофия, иначе съм късметлия почти във всяко отношение. Помощта и подкрепата на моята съпруга Джейн и на децата ми Робърт, Луси и Тими ми дадоха възможност да водя сравнително нормален живот и да направя успешна кариера. И пак бях късметлия, като избрах теоретичната физика, защото всичко за нея е в главата ми. Така че недъгът не беше сериозна пречка. Всички мои колеги учени без изключение ми бяха безкрайно полезни.

В първата, „класическа“ фаза на кариерата най-близки колеги и сътрудници ми бяха Роджър Пенроуз, Робърт Герок, Брандън Картър и Джордж Елис. Благодарен съм за помощта, която ми оказаха в съвместната ни работа. Тази фаза беше обобщена в книгата „Едромасщабна структура на пространство — времето“, която написахме с Елис през 1973 г. Не бих съветвал читателите да търсят в нея допълнителна информация: тя е много специална и твърде трудна за четене. Надявам се впоследствие да съм се научил да пиша по начин, по-лесен за разбиране.

Във втората, „квантова“ фаза на дейността си, след 1974 г., мои най-близки сътрудници бяха Гари Гибънс, Дон Пейдж и Джим Хартъл. Много дължа на тях и на аспирантите си, които много ми помогнаха както във физическия, така и в теоретичния смисъл на думата. Необходимостта да поддържам ниво

заради студентите си беше голям стимул за мен и ми се струва, че ме предпази от затъване в коловозите.

Голяма помощ за тази книга ми оказа моят студент Брайън Уит. През 1985 г. се разболях от пневмония, след като бях нахвърлял първата чернова. Трябваше да се подложа на трахеостомия, с което загубих говора си и стана почти невъзможно да общувам. Мислех, че няма да мога да я довърша. Но Брайън не само ми помогна да я коригирам и допълня, но и ме научи как да използвам програмата за комуникации, наречена „Ливинг сентър“, която ми подари Уолт Уолтош от „Уърдс плъс инк.“ в Сънивейл, Калифорния. С нейна помощ мога да пиша книги и публикации, а и да разговарям с хората, като използвам говорния синтезатор, който ми подариха от „Спийч плъс“, също в Сънивейл, Калифорния. Синтезаторът и един малък компютър бяха монтирани на инвалидния ми стол от Дейвид Мейсън.

Това вече беше съвсем друго: сега фактически мога да общувам по-добре, отколкото преди да загубя гласа си. Получих предложения от много хора, които бяха видели предишните варианти, как да направя тази книга по-добра. Най-вече Питър Гузарди, моят редактор от „Бентъм букс“, който ми изпрати много страници с бележки и въпроси за нещата, които според него не съм обяснил добре. Трябва да призная, че когато получих дългия списък за корекции, много се ядосах, но той се оказа абсолютно прав. Сигурен съм, че книгата стана по-добра благодарение на това, че ми натри нос.

Много съм задължен на асистентите си Колин Уилямс, Дейвид Томъс и Ремънд Лафлам, на секретарките си Джуди фела, Ан Ралф, Черил Билингтън и Сю Маси и на екипа от медицински сестри. Нищо нямаше да постигна без помощите за научните изследвания и разходите по лечението ми, осигурявани от „Гонвил енд Кай колидж“, Съвета за наука и технически изследвания и от фондациите Ливърхюм, Маккартър, Нъфийлд и Ралф Смит. Безкрайно съм им благодарен.

Стивън Хокинг 20 октомври 1987 г.

ВЪВЕДЕНИЕ от К. Сейгън

Нашето всекидневие минава, без да разбираме почти нищо от света, в който живеем. Малко се замисляме за механизма, пораждащ слънчевата светлина, която прави живота възможен, за гравитацията, която ни приковава към земята и без която бихме обикаляли в космическото пространство, или за атомите, от които сме съставени и от чиято стабилност изцяло зависим. С изключение на децата които не знаят достатъчно, за да не задават важни въпроси) малцина са тези, които се питат защо природата е такава, каквато е; откъде иде Космосът или защо е винаги е тук; дали един ден времето няма да тръгне назад и следствието да изпревари причината; дали не съществуват граници за човешкото познание. Има даже деца, и аз съм срещал такива, които искат да знаят как изглежда една черна дупка; коя е най-малката частица вещество;

защо помним миналото, а не бъдещето; как е възможно, след като в миналото е имало хаос, сега да има ред; и защо *съществува* Вселената.

В нашето общество е нещо обичайно родители и учители да отговарят на повечето от тези въпроси със свиване на рамене или позовавайки се на смътния спомен от религиозните предписания. Някои се чувстват неудобно при въпроси, които така явно показват ограниченията в човешкото познание.

Но именно тези въпроси са били в голяма степен двигател за развитието на философията и науката. Все повече са и възрастните, желаещи да зададат подобни въпроси, и често те стигат до изумителни отговори. Еднакво отдалечени и от атома, и от звездите, ние разширяваме своите изследователски хоризонти, за да обхванем и много малкото, и много голямото.

През пролетта на 1974 г., приблизително две години преди „Викинг“ да кацне на Марс, бях на среща в Англия, спонсорирана от Лондонското кралско дружество, на която трябваше да разискваме въпроса, как да се търси извънземен живот. По време на почивка за кафе забелязах, че в съседна зала се провежда една много по-голяма среща и влязох от любопитство. Скоро разбрах, че съм свидетел на стара традиция — церемонията по приемане на нови членове на Кралското дружество — една от най-старите научни институции на планетата. На първия ред един млад мъж в инвалидна количка записваше много бавно името си в една книга, на чиито първи страници беше подписът на Исак Нютон. Когато най-сетне приключи, последваха бурни овации. Стивън Хокинг беше легенда още тогава.

Сега Хокинг е Лукасов професор по математика в Кеймбриджкия университет — пост, заеман някога от Нютон, а по-късно от П. А. М. Дирак — двама знаменити изследователи на много голямото и много малкото. Той е техен достоен наследник.

Тази първа книга на Хокинг за неспециалисти има много достойнства за широката публика. Толкова интересна, колкото е широк обсегът на съдържанието ѝ, тя ни въвежда в съкровените мисли на своя автор. В тази книга ще намерите блестящите открития от предните граници на физиката, астрономията, космологията, а и кураж.

Това е също книга за Бога... или може би за липсата на Бог. Думата Бог изпълва тези страници. Хокинг се впуска в търсенето на отговор на известния въпрос на Айнщайн дали Бог е имал някакъв избор при създаването на Вселената. Както открито заявява, Хокинг се опитва да разбере Божиата мисъл. А това, поне засега, прави още по-неочакван резултата от тези усилия: Вселена без граници в пространството, без начало и без край във времето и никаква работа за Създателя.

Карл Сейгън, Корнелски университет, Итака, Ню Йорк

1. НАШАТА ПРЕДСТАВА ЗА ВСЕЛЕНАТА

Веднъж един добре известен учен (според някои Бърtrand Ръсел) изнасял публична лекция по астрономия. Описвал как Земята обикаля около Слънцето и как Слънцето от своя страна обикаля около центъра на една

огромна група звезди, наричана нашата Галактика. В края на лекцията една възрастна дама от последните редове станала и заявила: „Това, което ни разказахте, е чиста безсмислица. В действителност светът е плитка чиния върху гърба на гигантска костенурка.“ Ученият се усмихнал надменно, преди да запита: „А на какво се крепи костенурката?“ „Много сте умен, млади човече, много знаете“ — отвърнала възрастната дама, — „но под тази костенурка има пак костенурки.“

Повечето от нас биха приели представата, че нашата Вселена е безкрайна кула от костенурки като твърде нелепа, но защо смятаме, че знаем повече? Какво знаем за Вселената и как го знаем? Откъде е дошла Вселената и накъде отива? Има ли начало и ако има — какво е било *преди* това? Какво представлява времето? Ще има ли някога край? Съвременните постижения във физиката и фантастичните нови технологии ни дадоха възможност да предположим отчасти какъв е отговорът на тези отколешни въпроси. Някой ден тези отговори могат да ни се сторят така очевидни, както обикалянето на Земята около Слънцето, или така невероятни, както кулата от костенурки. Само времето (каквото и да означава то) ще ни каже.

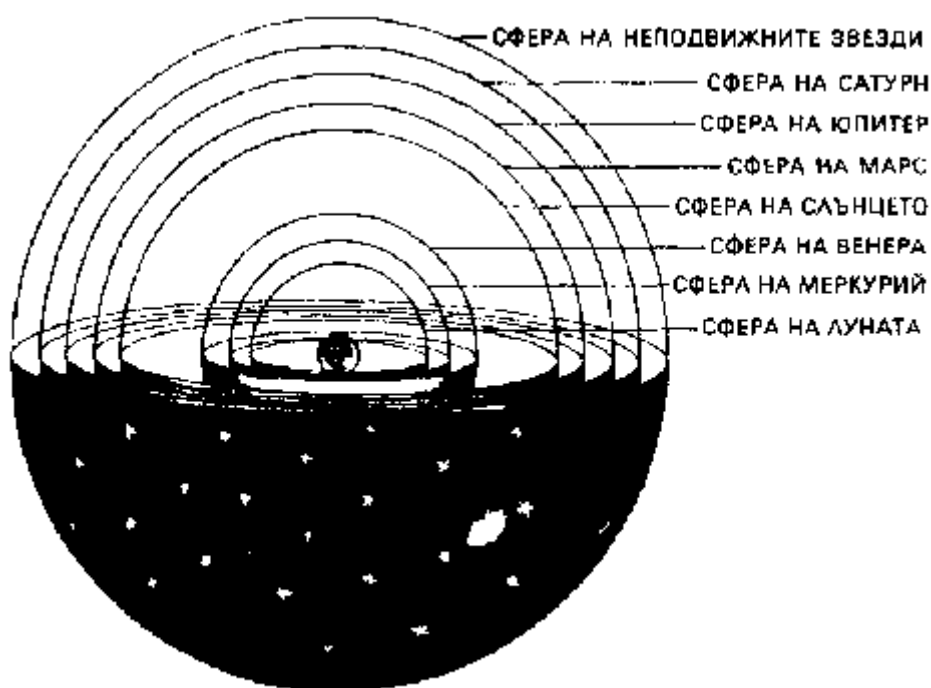
Още през 340 г. пр.н.е. в своята книга „За небето“ гръцкият философ Аристотел дава два сериозни аргумента в полза на това, че Земята е кръгла, а не плоска. Първо, той разбирал, че лунните затъмнения настъпват, когато Земята застане между Слънцето и Луната. Земната сянка върху Луната била винаги кръгла, което е възможно само ако Земята е сферична. Ако Земята беше плосък диск, сянката би трябвало да е удължена и елиптична, освен ако затъмненията настъпват само тогава, когато Слънцето е точно зад центъра на диска. Второ, от пътешествията си гърците знаели, че от южните райони Полярната звезда се вижда но-ниско на небето, отколкото от северните. Тъй като Полярната звезда е в Северния небесен полюс, наблюдател от Северния географски полюс би я виждал точно над себе си, но ако гледа от екватора, той би я видял точно на хоризонта. От разликата във видимите положения на Полярната звезда в Египет и в Гърция Аристотел дори споменал оценка за обиколката на Земята — 400 000 стадия. Точната дължина на стадия не е известна, но вероятно е била около 200 ярда, а ако е така, то оценката на Аристотел би била приблизително два пъти по-голяма от сега възприетата стойност. Гърците разполагали и с трети аргумент за това, че Земята е кръгла, защото как иначе първо ще се виждат платната на приближаващия кораб над хоризонта, а едва по-късно неговият корпус?

Аристотел смятал, че Земята е неподвижна и че Слънцето, Луната, планетите и звездите се движат по кръгови орбити около нея. Той вярвал, че е така, защото смятал по необясними причини Земята за център на Вселената, а кръговото движение за най-съвършеното. Тази идея била доразвита от Птолемей през II в. сл.н.е. в завършен космологичен модел. Земята е в центъра, обградена от осемте сфери, носещи Луната, Слънцето, звездите и петте тогава известни планети Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн (фиг. 1.1).

Самите планети се движат върху по-малки окръжности, прикрепени към съответните им сфери, за да се обяснят техните твърде сложни пътища на небето. Върху най-външната сфера били т.нар. неподвижни звезди, които винаги заемат едни и същи относителни положения, но заедно се въртят по небето. Какво има

зад последната сфера, никога не е станало по-ясно, но сигурно не е била част от наблюдаемата Вселена.

Моделът на Птолемей представлявал една достатъчно точна система за предсказване на положенията на небесните тела. Но за точното предсказване на тези положения Птолемей трябвало да приеме допускането, че Луната следва път, по който понякога идва два пъти по-близо до Земята. А това означавало Луната понякога да се вижда два пъти по-голяма! Птолемей разбирал този недостатък на модела си, но въпреки това неговият модел бил широко, макар и не всеобщо приет. Той бил възприет от християнската църква като картина на Вселената, която отговаря на Светото писание, защото имал голямото предимство, че оставял извън сферата на неподвижните звезди достатъчно място за небесата и ада.



ФИГУРА 1.1

През 1514 г. обаче полският свещеник Николай Коперник предложил по-прост модел. В началото, може би от страх да не бъде заклеймен от своята църква като еретик, Коперник разпространил анонимно своя модел. Идеята му била, че Слънцето е неподвижно в центъра, а Земята и планетите се движат по кръгови орбити около него. Изминал почти един век, преди тази идея да се приеме като нещо сериозно. Тогава двама астрономи — германецът Йохан Кеплер и италианецът Галилео Галилей — започнали открито да подкрепят теорията на Коперник, макар че предсказанията от него орбити не съвпадали съвсем точно с наблюдаваните. Смъртоносният удар върху теорията на Аристотел — Птолемей бил нанесен през 1609 г. Същата година Галилей започнал да наблюдава нощното небе с току-що изобретения телескоп. Наблюдавайки планетата спътника или луни, които кръжат около нея. А това значело, че *не* е задължително всичко да се върти около Земята, както смятали Аристотел и Птолемей. Разбира се, възможно било пак да се смята, че Земята е неподвижна и е в центъра на Вселената, а луните се движат по извънредно сложни пътища около Земята, създаващи

видимост, че обикалят около Юпитер. И все пак теорията на Коперник била много по-проста. По същото време Йохан Кеплер видоизменил теорията на Коперник и твърдял, че планетите се движат не по окръжности, а по елипси (елипсата представлява удължена окръжност). Най-сетне предсказанията съвпаднали с наблюденията.

Колкото до Кеплер, елиптичните орбити били просто една *ad hoc* хипотеза и при това твърде неприемлива, тъй като несъмнено елипсите не са така съвършени, както окръжността. Открил почти наслуки, че елиптичните орбити се съгласуват с наблюденията, той не успявал да ги помири с идеята си, че планетите обикалят около Слънцето под действието на магнитни сили. Обяснение се явило едва много по-късно, през 1687 г., когато Исак Нютон публикувал своя труд „Математически принципи на натурфилософията“ — може би най-важния труд, публикуван някога в областта на физическите науки. В него Нютон не само излагал теория за това, как телата се движат в пространството и времето, но и развивал нова математика, необходима за анализа на тези движения. Освен това Нютон постулирал закон за всемирното привличане, според който всички тела във Вселената се привличат помежду си, като силата на привличане нараства с увеличаване на масата им и с намаляване на разстоянието между тях. Това е същата сила, която причинява падането на телата. (Почти сигурно е, че историята с Нютон и ябълката е измислица. Всичко, казано от самия Нютон по въпроса, е, че идеята за гравитацията му хрумнала, докато, „отдаден на съзерцание“, е „бил спохожден от падането на една ябълка“.) Нютон показал, че според неговия закон гравитацията кара Луната да се движи по елиптична орбита около Земята, а Земята и планетите — по елиптични пътища около Слънцето.

Моделът на Коперник се освободил от небесните сфери на Птолемей, а с тях и от представата, че Вселената има естествени граници. След като „неподвижните звезди“ видимо не променяли положенията си, като изключим видимото им въртене под влияние на движението на Земята около собствената ѝ ос, било естествено да се предположи, че неподвижните звезди са обекти като нашето Слънце, но много по-отдалечени.

Нютон знаел, че според неговата теория за гравитацията звездите би трябвало да се привличат взаимно, така че не биха могли да са неподвижни. А няма ли те да падат заедно към някоя точка? В писмо от 1691 г. до Ричард Бентли, друг водещ мислител на своето време, Нютон разсъждава, че това наистина би се случило, ако звездите са краен брей и са разпределени в ограничена област от пространството. Но, от друга страна, разсъждава той, ако броят им е безкраен и те са разпределени повече или по-малко равномерно в безкрайно пространство, това няма да се случи, защото няма да има център, към който да падат.

Този аргумент е пример за капаните, в които можем да попаднем, когато говорим за безкрайността. В една безкрайна Вселена всяка точка може да се разглежда като център, тъй като има безкраен брой звезди от всичките си страни. Както стана ясно едва много по-късно, правилният подход е да се разглежда крайният случай, когато всички звезди падат една към друга, и след това да се запита как се променят нещата, ако прибавим още звезди, приблизително

равномерно разпределени извън тази област. Според закона на Нютон добавените звезди средно няма да предизвикат никаква разлика, така че звездите ще падат със същата скорост. Можем да добавим колкото звезди искаме и те пак ще продължат винаги да падат. Сега вече знаем, че е невъзможно да имаме безкраен статичен модел на Вселената, в който гравитацията да означава винаги привличане.

Едно интересно отражение върху общия дух на мисли преди ХХ в. е, че никой не си е задавал въпроса, дали Вселената се разширява или свива. Общоприето било, че Вселената е съществувала вечно в непроменящо се състояние или е била създадена в определен момент от миналото повече или по-малко във вида, в който я наблюдаваме днес. Отчасти това може би се дължи на склонността на човека да вярва във вечните истини, както и на утехата, която намира в мисълта, че дори той да остарее и умре, Вселената е вечна и неизменна.

Дори тези, които разбирали, че според теорията на Нютон за гравитацията Вселената не би могла да е статична, не се замисляли дали не се разширява. Вместо това те се опитвали да видоизменят теорията, приемайки при много големи разстояния гравитационната сила за отблъскваща. Това не променяло значимо предсказанията им за движенията на планетите, но позволявало едно безкрайно разпределение на звездите да остава в равновесие, като силите на привличане между близките звезди се компенсират със силите на отблъскване от далечните. Но ние вече знаем, че такова равновесие ще е нестабилно: ако звездите от една област се сближат помежду си макар и незначително, силите на привличане между тях ще нараснат и ще надделеят над силите на отблъскване, така че звездите ще продължат да падат една към друга. От друга страна, ако звездите се раздалечат макар и малко, силите на отблъскване ще надделеят и още повече ще ги раздалечат.

Друго възражение към съществуването на безкрайна статична Вселена обикновено се приписва на немския философ Хайнрих Олберс, писал за тази теория през 1823 г. Въсъщност проблемът е бил поставян от различни съвременници на Нютон, а статията на Олберс дори не е първата, съдържаща правдоподобни аргументи против. Тя обаче е първата, получила широка известност. Трудното е, че в една безкрайна статична Вселена почти всеки зрителен лъч би завършил върху повърхността на звезда. Поради това бихме могли да очакваме, че дори нощем цялото небе ще е ярко като Слънцето. Контрааргументът на Олберс бил, че светлината от далечните звезди отслабва поради поглъщане от междוזвездното вещество. Ако е така обаче, това вещество би трябвало да се нагрява и накрая да засвети така ярко, както звездите. Единственият начин да избегнем извода, че цялото нощно небе трябва да е толкова ярко, колкото слънчевата повърхност, е да приемем, че звездите не са светили вечно, а само след някакъв момент от миналото. В такъв случай поглъщащото вещество може още да не се е нагрело или светлината от далечните звезди още да не е стигнала до нас. А това ни навежда на въпроса, преди всичко какво е накарало звездите да засветят.

Началото на Вселената, разбира се, е въпрос, който се разисква от много време. Според някои древни космологии и еврейско-християнско-

мюсюлманските предания Вселената се е появила в определен, не твърде отдавнашен момент от миналото. Един от аргументите за такова начало е било разбирането, че е необходимо да има „Първопричина“, с която да се обясни съществуването на Вселената. (Вътре във Вселената винаги можете да обясните едно събитие като следствие от някакво предишно събитие, но съществуването на самата Вселена може да се обясни по този начин само ако тя е имала някакво начало.) Св. Августин излага друг аргумент в книгата си „Божият град“. Той отбелязва, че цивилизацията се развива и ние помним чие е това дело или кой е създал този метод. Така че човекът, а вероятно и Вселената, едва ли съществуват отдавна. Св. Августин приема датата на сътворението на Вселената приблизително 5000 г. пр.н.е. според „Битие“. (Интересно, че не е така далеч от края на последната ледникова епоха — около 10000 г. пр.н.е., когато според археолозите е началото на цивилизацията.)

От друга страна, Аристотел, а и повечето от другите гръцки философи не приемали идеята за сътворението, тъй като твърде много им намирисвала на божия намеса. Според тях човешката раса и светът край нея са съществували и ще съществуват вечно. Древните учени вече били разсъждавали върху аргумента за описаното по-горе развитие и намирали отговора в твърдението, че е имало периодични наводнения или други бедствия, които непрестанно връщали човечеството пак в началото на цивилизацията.

Въпросите, дали Вселената има начало във времето и дали е ограничена в пространството, били впоследствие широко изучени от философа Имануел Кант в неговия монументален (и твърде мъгляв) труд „Критика на чистия разум“, публикуван през 1781 г. Той нарича тези въпроси антиномии (т.е. противоречия) на чистия разум, защото според него имало еднакво силни аргументи да се вярва на тезата, че Вселената има начало, както и на антитезата, че е съществувала вечно. Неговият аргумент за тезата бил, че ако Вселената не е имала начало, би трябвало да съществува безкраен период от време преди което и да е събитие, а това според него е абсурд. Аргументът за антитезата бил, че ако Вселената е имала начало, би трябвало да съществува безкраен период от време преди това начало, така че защо трябва да има начало в някакъв определен момент? В действителност случаите както с тезата, така и с антитезата са наистина един и същ аргумент. И двата се базират на негласното му допускане, че времето може вечно да бъде продължено назад независимо дали Вселената е, или не е съществувала вечно. Както ще видим, концепцията за времето няма смисъл преди началото на Вселената. Това е отбелязано за първи път от св. Августин. Когато го запитали: „Какво е правил Бог, преди да създаде Вселената?“, Августин не отвърнал „Подготвял е ада за хора, които задават такива въпроси“, а казал, че времето е свойство на Вселената, създадена от Бог, и че времето не съществува преди началото на Вселената.

Когато повечето смятали, че Вселената е статична и неизменна, въпросът, дали е имала начало, всъщност бил от метафизиката или теологията. Човек можел еднакво добре да си обясни наблюдаваното както с теорията, че Вселената е съществувала вечно, така и с теорията, че се е появила в някакъв определен момент по такъв начин, като да изглежда, че е съществувала вечно.

Но през 1929 г. Едуин Хъбъл направил епохалното наблюдение, че накъдето и да се обърнем, далечните галактики бързо се разбягват от нас. С други думи, Вселената се разширява. А това значи, че в по-ранни времена обектите са били по-близо един до друг. Фактически, изглежда, е имало време, преди около 10–20 млрд. години, когато всички те са били точно в едно и също място и когато поради това плътността на Вселената е била безкрайна. Това откритие най-сетне поставило въпроса за началото на Вселената пред науката.

Наблюденията на Хъбъл подсказват, че е имало време, наречено Големият взрив, когато Вселената е била безкрайно малка и безкрайно плътна. При такива условия всички научни закони, а следователно и цялата възможност да се предвиди бъдещето биха се провалили. Ако е имало събития преди това време, то те не биха оказали влияние върху това, което се случва в настоящия момент. Тяхното съществуване може да се пренебрегне, защото не би имало наблюдаеми последствия. Бихме могли да кажем, че времето е имало начало в момента на Големия взрив в смисъл, че просто не можем да дефинираме времена преди това. Трябва да отбележим, че това начало във времето е твърде различно от разглежданите преди. В неизменяща се Вселена едно начало във времето е нещо, което трябва да се въведе от някой извън Вселената; физическа необходимост от начало няма. Човек може да си представи, че Бог е създал Вселената буквално в кой да е момент в миналото. От друга страна, ако Вселената е разширяваща се, може да има физически причини за необходимостта да съществува начало. Пак можем да си представим, че Бог е създал Вселената в момента на Големия взрив, а даже след това, и то по такъв начин, че да изглежда като да е имало Голям взрив, но би било безсмислено да смятаме, че е била създадена *преди* Големия взрив. Една разширяваща се Вселена не изключва наличието на създател, но поставя граници върху това, кога би могъл да си свърши работата:

За да говорим за естеството на Вселената и да обсъждаме въпроси като този дали тя има начало или край, трябва да сме наясно с въпроса, какво значи научна теория. Аз ще приема елементарното гледище, че една теория е просто модел на Вселената или на ограничена нейна част, набор от правила, които свързват величините в модела с направените наблюдения. Тя съществува само в нашето съзнание и няма никаква друга реалност (каквото и да значи това). Една теория е добра, ако удовлетворява две изисквания: тя трябва точно да описва голям клас наблюдения на базата на модел, съдържащ само няколко произволни елемента, и да може да прави определени предсказания за резултатите от бъдещи наблюдения. Например теорията на Аристотел, че всичко е съставено от четири елемента — земя, въздух, огън и вода, е достатъчно проста за качествена оценка, но тя не прави никакви определени предсказания. От друга страна, Нютоновата теория за гравитацията се базира на още по-прост модел, в който телата се привличат помежду си със сила, пропорционална на величината, наречена тяхна маса, и обратнопропорционална на квадрата от разстоянието между тях. И въпреки това тя предсказва с висока точност движенията на Слънцето, Луната и планетите.

Всяка физична теория е винаги условна, в смисъл че тя е само хипотеза: никога не можеш да я докажеш. Няма значение колко пъти експерименталните резултати се съгласуват с дадена теория, човек никога не е сигурен дали следващия път резултатът няма да противоречи на теорията. От друга страна, можем да отречем някоя теория, като открием и едно-едничко наблюдение, което не се съгласува с предвижданията ѝ. Както отбелязва философът на науката Карл Попър, една добра теория се характеризира с факта, че прави множество предсказания, които могат принципно да бъдат опровергани от наблюденията. Винаги когато новите експерименти се съгласуват с предвижданията, теорията оцелява и нашето доверие към нея нараства; но когато и само едно ново наблюдение не се съгласува, трябва да изоставим или видоизменим теорията. Поне така би трябвало да е, но човек винаги може да се усьмни в компетентността на лицето, провело наблюдението.

На практика най-често става така, че се създава нова теория, която всъщност е разширение на предишната. Например много точните наблюдения на планетата Меркурий показаха малки разлики между неговото движение и предсказанията на Нютоновата теория за гравитацията. Общата теория на относителността на Айнщайн предвижда малко по-различно движение в сравнение с Нютоновата теория. Фактът, че Айнщайновите предвиждания се съгласуват с наблюденията, докато Нютоновите — не, е едно от решаващите потвърждения на новата теория. Въпреки това ние си служим с теорията на Нютон в практиката, защото разликата между нейните предвиждания и тези на общата теория на относителността е много малка в случаите, с които обикновено си имаме работа. (Нютоновата теория има голямото предимство да е много по-проста за разлика от Айнщайновата!)

Крайната цел на науката е да даде една-единствена теория, която да описва цялата Вселена. Но подходът на повечето учени е да разделят задачата на две. Първо, съществуват закони, които ни казват как Вселената се изменя с времето. (Ако знаем каква е Вселената във всеки момент, тези физически закони ни казват каква ще бъде в кой да е по-късен момент.) Второ, остава въпросът за началното състояние на Вселената. Според някои науката би трябвало да се занимава само с първата задача; те гледат на въпроса за началното състояние като на предмет от метафизиката и религията. Според тях, бидейки всемогъщ, Бог е могъл да създаде Вселената както си иска. Може и така да е, но в такъв случай той би трябвало да я накара да се развива съвсем произволно. А, изглежда, е предпочел тя да се развива твърде правилно, съобразно с определени закони. Поради това е също толкова логично да предположим, че има и закони, управляващи началното състояние.

Излиза, че създаването на теория, която да описва Вселената изцяло, е трудна работа. Ето защо ние разделяме този проблем на части и измисляме много частни теории. Всяка от тези частни теории описва и предвижда някакъв ограничен клас наблюдения, като пренебрегва ефектите от другите величини или ги представя като прости множества от числа. А може би това е напълно погрешен подход. Ако всичко във Вселената зависи от всичко останало по някакъв фундаментален начин, може да се окаже невъзможно да се приближим към едно пълно решение, изследвайки изолирано частите на задачата. Въпреки

това именно по този начин сме постигнали напредък в миналото. Класическият пример отново е Нютоновата теория за гравитацията, според която гравитационната сила между две тела зависи само от едно число, свързано с всяко тяло — неговата маса, но иначе е независима от материята на тези тела. Ето защо не се налага да разполагаме с теория за строежа и състава на Слънцето и планетите, за да изчислим техните орбити.

Днес учените описват Вселената в термини от двете основни частни теории — общата теория на относителността и квантовата механика. Те са големите интелектуални постижения от първата половина на нашия век. Общата теория на относителността описва силата на гравитация и едромасщабната структура на Вселената, т.е. структурата в мащаб от няколко мили до 10^{24} мили, размерите на наблюдаемата Вселена. От друга страна, квантовата механика се занимава с явления в изключително малки мащаби, такива като 10^{-12} инча. За съжаление, както знаем, тези две теории са несъвместими една с друга; двете не могат да бъдат коректни едновременно. Един от основните стремежи във физиката днес, а и главната тема на тази книга е търсенето на нова теория, която да включи и двете, една квантова теория за гравитацията. Засега не разполагаме с такава теория и може би сме твърде далеч от нея, но вече знаем много от свойствата, които тя трябва да има. А в следващите глави ще видим, че вече знаем и доста от предсказанията, които една квантова теория на гравитацията трябва да направи.

И накрая, ако вярваме, че Вселената не е произволна, а се управлява от определени закони, трябва да съчетаем частните теории в една завършена единна теория, която да описва всичко във Вселената. Но в търсенето на такава завършена единна теория има един основен парадокс. Идеите за описаните по-горе научни теории предполагат да сме разумни същества, свободни да наблюдаваме Вселената както желаем и да правим логически изводи от видяното. В една такава схема е логично да предположим, че бихме могли да стигнем още по-близо до законите, управляващи Вселената. Но ако това наистина е завършена единна теория, тя вероятно би определила и нашите действия. Излиза, че самата теория трябва да определя резултата от търсенето ѝ! А защо тя би определяла дали сме стигнали до правилни изводи от доказателствата? Не може ли еднакво добре да определя и погрешните изводи? Или че въобще няма извод?

Единственият отговор, който мога да дам на този въпрос, се базира на Дарвиновия принцип за естествения подбор. Идеята е, че във всяка популация от самовъзпроизвеждащи се организми ще настъпят изменения в генетичния материал и развитието за различните индивиди. Тези разлики ще означават, че някои индивиди са по-способни да намират правилните изводи за света около тях и да действуват по съответния начин. По-вероятно е тези индивиди да оцелеят и да се възпроизведат, така че техният модел на поведение и мислене ще надделее. Несъмнено така наречените от нас интелигентност и научно откривателство в миналото са изразявали едно предимство за оцеляване. Не е съвсем ясно дали и сега е така: нашите научни открития могат да доведат до унищожението ни, а дори това да не стане, една завършена единна теория може би няма кой знае колко да допринесе за шанса ни да оцелеем. Но след

като Вселената се е развивала по правилен начин, можем да очакваме, че способността да разсъждаваме, дадена ни от естествения подбор, ще е валидна и за нашето търсене на завършена единна теория, така че няма да ни доведе до погрешни изводи.

След като частните теории, които вече имаме, са достатъчни, за да правим точни предсказания във всички случаи с изключение на екстремните, търсенето на окончателна теория за Вселената изглежда задача, трудна за оправдание от практическа гледна точка. Струва си да отбележим, че при все че подобни аргументи са използвани и срещу теорията на относителността, и срещу квантовата механика, тези теории са ни дали и ядрената енергия, и революцията в микроелектрониката! Ето защо откриването на завършена единна теория може и да не помогне за оцеляването ни. Възможно е дори да не окаже влияние върху начина на живот. Но още от зората на цивилизацията хората не са се задоволявали да гледат на събитията като на нещо необяснимо и без взаимна връзка. Те са били жадни да разберат скрития ред в света. И днес ние горим от желание да разберем защо сме тук и откъде сме дошли. А най-съкровеният стремеж на хората към познание е достатъчно оправдание да продължим търсенето. И нашата цел е не друго, а пълното описание на Вселената, в която живеем.

2. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЕ

Сегашните ни представи за движението на телата датират от времето на Галилей и Нютон. Преди тях хората са вярвали на Аристотел, според когото естественото състояние на едно тяло е покой, от който може да бъде изведено чрез сила или импулс. Оттук следвало, че тежкото тяло трябва да пада по-бързо от лекото, защото по-силно ще се притегля от Земята.

Освен това учението на Аристотел твърди, че човек може да изведе всички закони, на които се подчинява Вселената, чрез просто размишление: няма нужда от наблюдателна проверка. И така никой преди Галилей не си е дал труд да провери дали тела с различно тегло действително падат с различна скорост. Твърди се, че Галилей демонстрирал погрешността в схващането на Аристотел, като пускал тежести от наклонената кула в Пиза. Тази история почти сигурно не е вярна, но Галилей наистина е правил нещо подобно: търкалял топки с различно тегло по наклонена равнина. Ситуацията е сходна с отвесното падане на телата, но по-лесно се наблюдава, защото скоростите са по-малки. Измерванията на Галилей показали, че независимо от теглото си всяко тяло увеличава скоростта си с една и съща степен. Ако например пуснете топка по наклон от един метър на всеки десет метра, топката ще се движи надолу по наклона със скорост около един метър в секунда след първата секунда, два метра в секунда след втората секунда и т.н. независимо колко е тежка. Разбира се, оловото ще пада по-бързо от перцето, но това е така само защото перцето бива забавяно от съпротивлението на въздуха. Ако пуснем две тела, за които въздушното съпротивление не е много голямо, например две различни оловни тела, те ще падат с еднакви скорости.

Нютон използвал изчисленията на Галилей като база за своите закони за движение. При експериментите на Галилей, когато едно тяло се търкаля по наклонена равнина, върху него действа винаги една и съща сила (неговото тегло), която го кара постоянно да увеличава скоростта си. Това показва, че истинският ефект на една сила се изразява винаги в промяна на скоростта на дадено тяло, а не просто в привеждането му в движение, както се мислело дотогава. Това значи също, че ако върху едно тяло не действа сила, то ще продължава да се движи по права линия с една и съща скорост. Тази идея е изразена ясно за първи път в книгата на Нютон „Математически принципи“, публикувана през 1687 г., и е известна като първи закон на Нютон. Какво става с тяло, когато върху него действа сила, посочва вторият закон на Нютон. Според него тялото ще се ускорява или ще променя скоростта си пропорционално на силата. (Например ускорението ще е два пъти по-голямо при два пъти по-голяма сила.) Освен това ускорението е толкова по-малко, колкото по-голяма е масата (или количеството вещество) на тялото. Една и съща сила предизвиква два пъти по-малко ускорение при два пъти по-голяма маса. (Познат пример е автомобилът: колкото по-мощен е двигателят, толкова по-голямо е ускорението, но колкото по-тежка е колата, толкова по-малко е ускорението при един и същ двигател.)

Освен тези закони за движението Нютон открил закон за описване на гравитационната сила, според който всяко тяло привлича всяко друго тяло със сила, пропорционална на масата му. Така силата между две тела ще бъде два пъти по-голяма, ако удвоим масата на едното (например на тялото *A*). Това може да се очаква, защото можем да си представим новото тяло *A* като съставено от две тела с първоначалната маса. Всяко от тях ще привлича *B* с първоначалната сила. И така общата сила между *A* и *B* ще бъде два пъти по-голяма от първоначалната. А ако, да кажем, масата на едното от телата стане два пъти по-голяма, а на другото три пъти, то силата ще нарасне шест пъти. Сега вече можем да разберем защо всички тела падат с еднаква скорост: върху едно тяло с два пъти по-голямо тегло ще действа два пъти по-голяма гравитационна сила, но и масата му ще бъде два пъти по-голяма. Според втория закон на Нютон тези два ефекта ще се унищожат взаимно, така че при всички случаи ускорението ще е еднакво.

Законът на Нютон за гравитацията ни казва още, че колкото по-раздалечени са телата, толкова по-малка е силата.

Нютоновият закон за гравитацията сочи, че гравитационното привличане на една звезда е точно една четвърт от това за същата звезда на половината разстояние. Този закон предсказва орбитите на Земята, Луната и планетите с голяма точност. Ако законът твърдеше, че гравитационното привличане на една звезда намалява по-бързо с нарастване на разстоянието, орбитите на планетите нямаше да са елиптични и те биха се движили по спирала към Слънцето. Ако то намаляваше по-бавно, гравитационните сили от далечните звезди щяха да преобладават над земната гравитация.

Голямата разлика между идеите на Аристотел и на Галилей и Нютон се състои в това, че според Аристотел съществува едно предпочитано състояние на покой, което всяко тяло заема, ако не бъде приведено в движение от някаква

сила или импулс. По-конкретно той смятал, че Земята е в покой. Но от законите на Нютон следва, че няма един единствен критерий за покой. Можем еднакво уверено да твърдим, че тялото *А* е в покой, а тялото *Б* се движи с постоянна скорост по отношение на *А*, както и че тялото *Б* е в покой, а тялото *А* се движи. Така например, ако за момент изключим въртенето на Земята и обикалянето ѝ около Слънцето, можем да кажем, че Земята е в покой и че върху нея в посока север пътува влак със скорост 90 мили в час, или че влакът е в покой, а Земята се движи на юг с 90 мили в час. Ако експериментираме с движещи се тела във влака, всички закони на Нютон ще са в сила. Така например, ако играем пинг-понг във влака, ще установим, че топката спазва законите на Нютон също както топка върху маса на релсите. Така че не бихме могли да твърдим кое се движи — влакът или Земята.

Липсата на абсолютен критерий за покой означава, че не сме в състояние да кажем дали две събития, настъпващи в различно време, са станали на едно и също място в пространството. Да предположим например, че нашата топка за пинг-понг във влака отскача право нагоре и надолу, като докосва масата на едно и също място два пъти през една секунда. Човек на релсите би възприел двете отскачания като раздалечени на 40 метра, тъй като за това време влакът ще е изминал това разстояние по релсите. Абсолютен покой не съществува и това означава, че на едно събитие не можем да припишем абсолютно положение в пространството, както е мислел Аристотел. Положенията на събитията и разстоянията между тях ще бъдат различни за човек във влака и човек на релсите и няма да имаме основание да предпочетем положението на единия спрямо другия.

Нютон бил твърде загрижен от тази липса на абсолютно положение или абсолютно пространство, както се нарича, защото това не било в съгласие с идеята му за абсолютен Бог. Фактически той отказал да приеме отсъствието на абсолютно пространство, макар то да е следствие от собствените му закони. За това си ирационално схващане той бил жестоко критикуван от мнозина и най-вече от епископ Бъркли — философ, който вярвал, че както всички материални обекти, така и пространството и времето са илюзия. Когато казали на известния тогава д-р Джонсън какво мисли Бъркли, той викнал възмутен: „Аз опровергавам това така!“ и ритнал един голям камък.

И Аристотел, и Нютон вярвали в абсолютното време, т.е. вярвали, че интервалът от време между две събития може недвусмислено да се измери и той ще е един същ независимо кой го е измерил, при условие че е използван точен часовник. Времето е напълно отделено и е независимо от пространството. Повечето бихме се съгласили, че това схващане е разумно. И все пак се наложи да променим представите си за пространство и време. Макар нашите очевидни представи за здравия смисъл да ни вършат работа, когато става дума за обекти като ябълката или планетите, които се движат сравнително бавно, те изобщо не ни служат, когато става дума за обекти, движещи се със скоростта на светлината.

Фактът, че светлината се движи с крайна, но твърде висока скорост, бил установен за първи път през 1676 г. от датския астроном Оле Кристенсен Рьомер. Той забелязал, че моментите, в които луните на Юпитер се появяват

иззад Юпитер, не са равноотдалечени по време, както би трябвало да очакваме, ако те обикалят около Юпитер с постоянна скорост. Тъй като Земята и Юпитер обикалят около Слънцето, то разстоянието между тях се мени. Рьомер забелязал, че затъмненията на луните на Юпитер се наблюдават толкова по-късно, колкото по-отдалечени сме от Юпитер. Според него това е така, защото когато сме по-отдалечени, на светлината от луните е необходимо повече време да стигне до нас. Неговите измервания на промените в разстоянието между Земята и Юпитер обаче не били твърде точни, така че според него скоростта на светлината била 140 000 мили в секунда, докато сега се приема 186 000 мили в секунда. Независимо от това постижението на Рьомер не само в доказването, че светлината се движи с крайна скорост, но и в измерването ѝ е забележително, особено предвид факта, че се явява единадесет години преди публикацията на „Математически принципи“ на Нютон.

Истинска теория за разпространението на светлината се появила едва през 1865 г., когато английският физик Джеймс Кларк Максуел успял да обедини частните теории, използвани дотогава за описание на електрическите и магнитните сили. Уравненията на Максуел предвиждали, че в комбинираното електромагнитно поле трябва да съществуват вълноподобни смущения, които да се разпространяват с постоянна скорост както вълничките в езеро. Когато дължината на тези вълни (разстоянието между гребена на една вълна и следващата) е метър или повече, това са така наречените от нас радиовълни. По-късите са известни като микровълни (няколко см) или инфрачервени (повече от десет хилядни от см). Видимата светлина е с дължина на вълната между 40×10^6 и 80×10^6 см. Още по-късите вълни са известни като ултравиолетови, рентгенови и гама лъчи.

Според теорията на Максуел радиовълните и светлинните вълни трябва да се движат с някаква постоянна скорост. Но теорията на Нютон се била избила от представата за абсолютен покой, така че, ако приемем скоростта на светлината за постоянна, би трябвало да кажем относно какво ще я измерваме. Поради това се приело, че съществува субстанция, наречена „етер“, която е навсякъде, дори в „празното“ космическо пространство. Светлинните вълни преминават през етера, както звуковете през въздуха, и поради това тяхната скорост се определя по отношение на етера. Движейки се относно етера, различните наблюдатели ще виждат светлината да се приближава към тях с различни скорости, но скоростта на светлината относно етера ще остава постоянна. В частност при движението на Земята през етера по орбитата ѝ около Слънцето скоростта на светлината, измерена в посока на земното движение през етера (когато се приближаваме към светлинния източник), трябва да е по-висока от скоростта на светлината, перпендикулярна на това движение (когато не се движим към източника). През 1887 г. Албърт Майкелсън (който впоследствие стана първият американец, носител на Нобелова награда за физика) и Едуард Морли провели един много точен експеримент в Школата по приложни науки „Кейз“ в Кливланд. Те сравниха скоростите на светлината в посока на земното движение и под прав ъгъл към

земното движение и за свое голямо учудване установиха, че са съвсем еднакви!

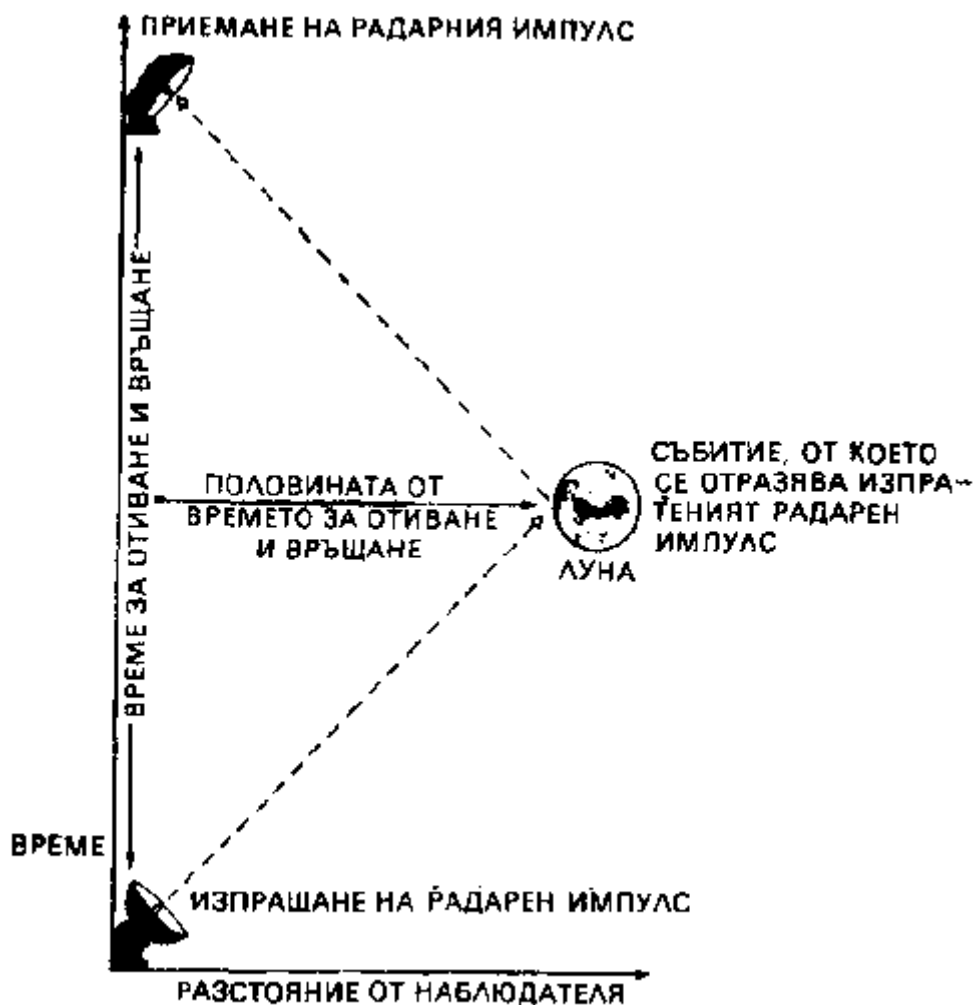
Между 1887 г. и 1905 г. бяха направени опити (най-забележителният беше на холандския физик Хендрик Лоренц) да се обясни резултатът от експеримента на Майкелсън—Морли с помощта на свиване на телата и забавяне на часовниците при движението им през етера. През 1905 г. в един известен труд на неизвестния дотогава чиновник в Швейцарското патентно бюро Алберт Айнщайн бе отбелязано, че идеята за етера въобще не е необходима, ако човек реши да изостави идеята за абсолютно време. Подобна забележка бе направена няколко седмици по-късно и от водещия френски математик Анри Поанкаре. Аргументите на Айнщайн са повече от физически характер, докато тези на Поанкаре са математически. Най-често на Айнщайн се приписва новата теория, а Поанкаре се помни като човек, чието име е свързано с важна част от нея.

Основният постулат на теорията на относителността е, че научните закони трябва да са едни и същи за всички свободно движещи се наблюдатели независимо от тяхната скорост. Това е вярно за Нютоновите закони за движение, но сега идеята бе разширена и включи Максвеловата теория и скоростта на светлината: всички наблюдатели би трябвало да измерват една и съща скорост на светлината независимо от това, колко бързо се движат. Тази проста идея има няколко забележителни следствия. Може би най-известните са еквивалентността между маса и енергия, обобщена в знаменитото уравнение на Айнщайн $E = mc^2$ (където E е енергията, m е масата, а c е скоростта на светлината), и законът, че нищо не може да се движи със скорост, по-голяма от тази на светлината. Тъй като масата и енергията са еквивалентни, енергията на едно тяло, дължаща се на неговото движение, ще увеличава масата му. С други думи, тя ще затруднява нарастването на скоростта му. Този ефект е наистина значим само при обекти, движещи се със скорости, близки до скоростта на светлината. Така например, при 10% от скоростта на светлината масата на обекта е едва 0,5% над нормалната, докато при 90% тя ще е повече от два пъти нормалната му маса. Когато скоростта на обекта се доближи до скоростта на светлината, масата му нараства още по-бързо и за да увеличи още повече скоростта си, ще му е необходима още по-голяма енергия. Фактически той никога няма да достигне скоростта на светлината, защото тогава масата му би трябвало да стане безкрайна, а поради еквивалентността на маса и енергия тялото би трябвало да получи безкрайно количество енергия, за да я достигне. Следователно теорията на относителността завинаги ограничава движението на всички нормални тела до скорости, по-ниски от светлинната. Само светлинните или други вълни, които нямат собствена маса, могат да се движат със скоростта на светлината.

Едно също толкова забележително следствие от теорията на относителността е революционната промяна в представите ни за пространство и време. Според теорията на Нютон, когато изпратим светлинен импулс от едно място на друго, различните наблюдатели биха се съгласили за времето, необходимо за изминаването на този път (защото времето е абсолютно), но невинаги ще се съгласят за изминатия от светлината път (защото пространството не е

абсолютно). Понеже скоростта на светлината е тъкмо изминатото от нея разстояние, разделено на изтеклото време, за различните наблюдатели скоростта на светлината ще е различна. Според теорията на относителността обаче скоростта на светлината *трябва* да е еднаква за всички наблюдатели. Но и за тях изминатото от светлината разстояние ще е различно, така че в случая и мнението им за това, колко време е изтекло, ще е различно. (Изтеклото време представлява изминатото от светлината разстояние — за което мненията на наблюдателите се различават, разделено на скоростта на светлината — за което мненията им съвпадат.) С други думи, теорията на относителността слага край на идеята за абсолютно време! Излиза, че всеки наблюдател трябва да има собствена мярка за времето, отчетено по часовника, който носи със себе си, и че едни и същи часовници на различни наблюдатели няма непременно да съвпадат.

Всеки наблюдател може да използва радар, за да каже къде и кога е настъпило дадено събитие, като изпрати светлинен или радиовълнов импулс. Част от импулса се отразява от събитието, а наблюдателят измерва времето, когато ехото стигне до него. В такива случаи казваме, че момента на събитието е времето по средата между момента на изпращане на импулса и момента на пристигане на отражението: разстоянието на събитието е половината от времето за това пътуване в Двете посоки, умножено по скоростта на светлината. (В този смисъл събитието е нещо, което става в една-единствена точка в пространството в конкретен момент време.) Тази идея е илюстрирана на фиг. 2.1, която е пример за диаграма пространство-време. Използвайки тази процедура, наблюдателите, които се движат относно един друг, ще присвоят различни времена и местоположения на едно и също събитие. Измерванията на никой от двамата наблюдатели няма да са по-точни от тези на другия, но между тези измервания ще има връзка. Всеки наблюдател може точно да определи какво време и положение всеки друг наблюдател ще припише на едно събитие, ако знае относителната скорост на наблюдателя.



ФИГУРА 2.1

Към фигурата: Времето се измерва вертикално, а разстоянието от наблюдателя се измерва хоризонтално. Пътят на наблюдателя през пространството и времето е показан с вертикалната линия отляво. Пътят на светлинните лъчи към и от събитието представляват диагоналите

В наши дни прилагаме именно този метод за точно измерване на разстояния, защото измерваме много по-точно времето, отколкото дължината. Фактически дефиницията за метър е разстоянието, изминато от светлината за $3,335640952 \times 10^9$ секунди, измерени с цезиев часовник. (Причината числото да е точно такова е, че то съответствува на историческата дефиниция на метъра — разстоянието между две чертички върху пръчка от платиново-иридиева сплав, която се съхранява в Париж.) Можем да използваме и по-удобната нова единица за дължина, наречена светлинна секунда. Нейната дефиниция е просто разстоянието, изминато от светлината за една секунда. В теорията на относителността вече определяме разстоянието чрез времето и скоростта на светлината, откъдето следва автоматично, че за всеки наблюдател измерената скорост на светлината ще е една и съща (по дефиниция 1 метър за $3,335640952 \times 10^9$ секунди). Няма нужда да въвеждаме представата за етер, чието присъствие така или иначе не може да се установи, както показва

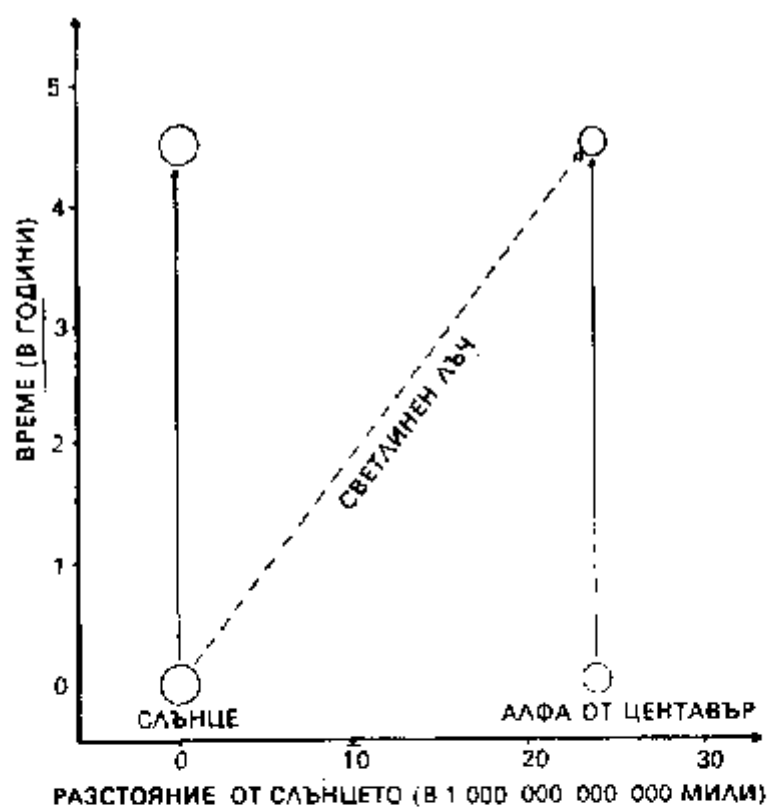
експериментът на Майкелсън — Морли. Теорията на относителността обаче ни принуждава да изменим коренно нашите представи за пространство и време. Трябва да приемем, че времето не е напълно отделно и независимо от пространството, а е обединено с него и образува тъй нареченото пространствено време.

Както знаем, положението на точка в пространството се описва с помощта на три числа или координати. Така например можем да кажем, че точка в стаята е на седем фута от едната стена, на три от другата и на пет над пода. Или да посочим, че една точка е на определена географска ширина и дължина и на определена височина над морското равнище. Човек е свободен да използва кои да са три подходящи координати, макар те да имат само ограничена валидност. Положението на Луната не може да се даде в термини мили северно или мили западно от „Пикадили съркьс“ и футове над морското равнище. Вместо това трябва да го опишем в термини разстояние от Слънцето, разстояние от орбиталната равнина на планетите и ъгъл между правата, свързваща Луната и Слънцето, и правата между Слънцето и една съседна звезда, например Алфа от Центавър. Но дори и тези координати няма много да ни помогнат да опишем положението на Слънцето в нашата Галактика или положението на нашата Галактика в местната група галактики. На практика човек може да опише цялата Вселена с помощта на колекция от припокриващи се кръпки. Във всяка от тях можем да използваме различно множество от три координати, за да зададем положението на една точка.

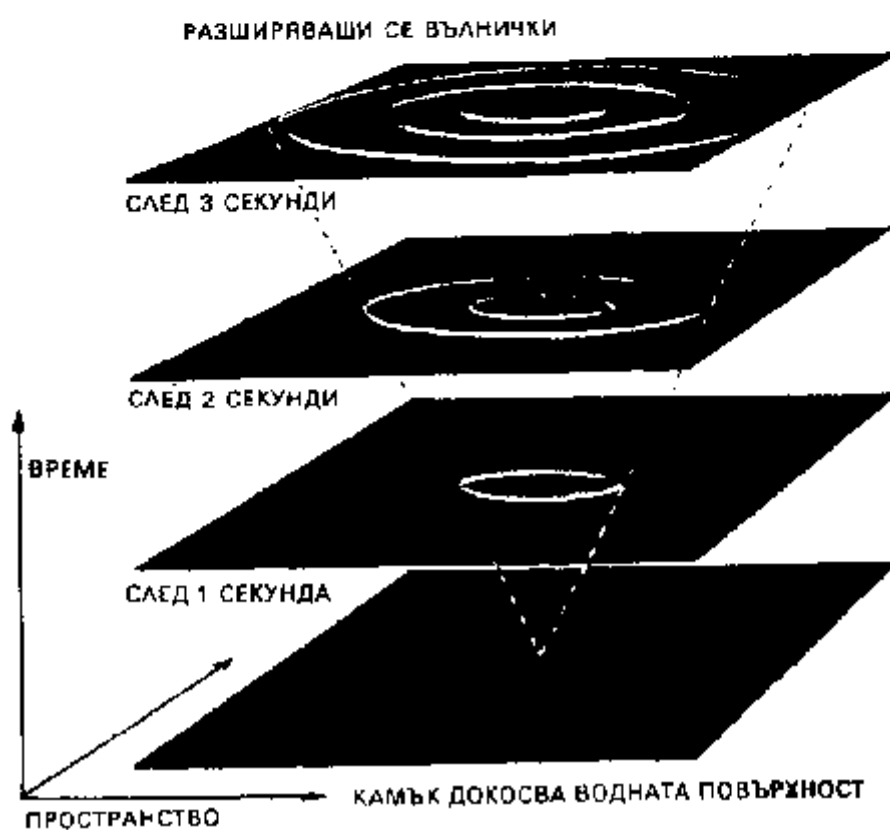
Събитието е нещо, което се случва в конкретна точка в пространството в конкретен момент. Поради това можем да го зададем с четири числа или координати. И в този случай изборът на координати пак е произволен; можем да използваме кои да са три добре дефинирани пространствени координати и каква да е мярка за време. В теорията на относителността няма фактическо разграничение между пространствените и времевите координати, също както няма фактическа разлика между кои да са две пространствени координати. Можем да изберем и друга координатна система, в която, да кажем, първата пространствена координата е комбинация от старите първа и втора пространствени координати. Например вместо да измерваме положението на една точка върху Земята в мили северно от „Пикадили“ и мили западно от „Пикадили“, да използваме мили североизточно от „Пикадили“ и мили северозападно от „Пикадили“. По същия начин в теорията на относителността можем да използваме нова времева координата, която да е старата (в секунди) плюс разстоянието (в светлинни секунди) северно от „Пикадили“.

Добре е да си представяме четирите координати на едно събитие като координати, задаващи положението му в четиримерно пространство, наречено пространство-време. Невъзможно е да си представим едно четиримерно пространство. На мен самия ми е достатъчно трудно да си представя дори тримерното! Но можем лесно да начертаяме схеми на двумерни пространства — например на земната повърхност. (Земната повърхност е двумерна, понеже положението на една точка може да се зададе с две координати — географска ширина и дължина.) Аз ще използвам схеми, в които времето нараства нагоре, а едно от пространствените измерения е показано хоризонтално. Другите две

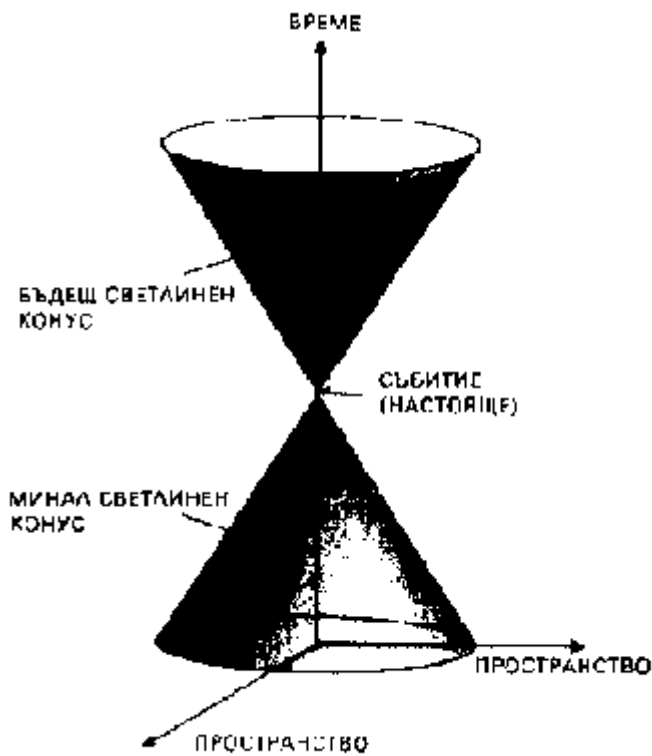
пространствени измерения са пренебрегнати или понякога едното от тях е дадено в перспектива. (Те се наричат пространствено-времеви диаграми, каквато е например фиг. 2.1). На фиг. 2.2 например времето се измерва нагоре в години, а разстоянието по правата от Слънцето до Алфа от Центавър се измерва хоризонтално в мили. Пътят на Слънцето и на Алфа от Центавър през пространство-времето е показан с вертикални линии отляво и отдясно на диаграмата. Един светлинен лъч от Слънцето се движи по диагонала и за да стигне от Слънцето до Алфа от Центавър, са му необходими четири години.



ФИГУРА 2.2



ФИГУРА 2.3



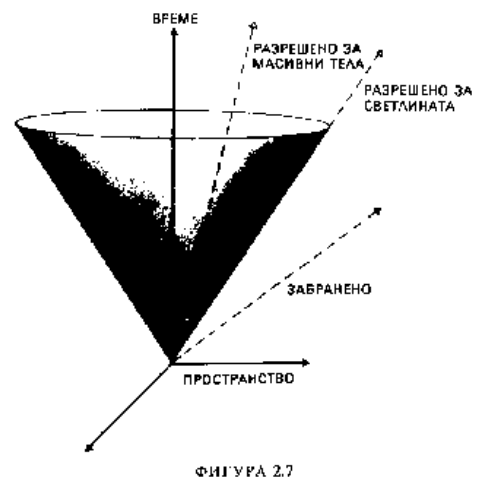
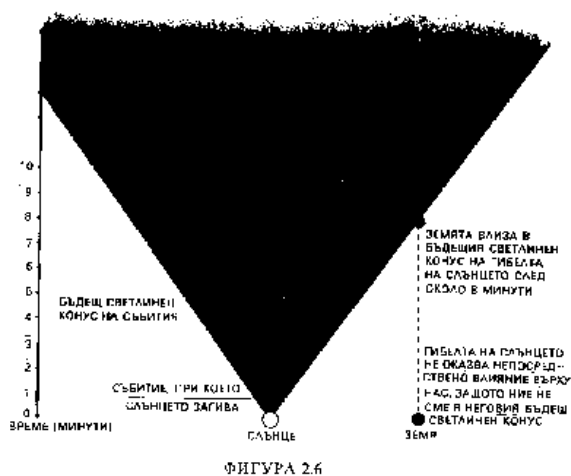
ФИГУРА 2.4



Както видяхме, уравненията на Максвел предсказват скоростта на светлината да е една и съща независимо от скоростта на източника и това е потвърдено с точни измервания. Оттук следва, че ако в определен момент от определена точка в пространството се изпрати светлинен импулс, с течение на времето той ще се разстеле като сфера от светлина, чийто размер и положение ще бъдат независими от скоростта на източника. След милионна част от секундата светлината ще се е разстала и ще образува сфера с радиус 300 метра; след две милионни от секундата радиусът ще е 600 метра и т.н. — също както набръчкването по повърхността на езеро, когато хвърлим камък. Вълните се разпространяват в кръг, който става все по-голям с течение на времето. Ако си представим един тримерен модел, съставен от двумерната повърхност на езерото и като трето измерение времето, разширяващият се кръг вълни ще образува конус, чийто връх е в мястото и времето, в което камъкът е докоснал водата (фиг. 2.3). По същия начин светлината, която се разпространява от едно събитие, образува тримерен конус в четиримерното пространство-време. Този конус се нарича бъдещ светлинен конус на събитието. Пак по този начин можем да начертаем един втори конус, наречен минал светлинен конус, представляващ множеството от събития, светлинният импулс от които е в състояние да стигне до дадено събитие (фиг. 2.4).

Миналият и бъдещият светлинен конус на едно събитие P разделят пространство-времето на три области (фиг. 2.5). Абсолютното бъдеще на събитието е областта във вътрешността на бъдещия светлинен конус на P . То е множеството от всички събития, които могат евентуално да се повлияят от това, което става в P . Събитията извън светлинния конус на P не могат да бъдат достигнати със сигнали от P , защото нищо не може да се движи по-бързо

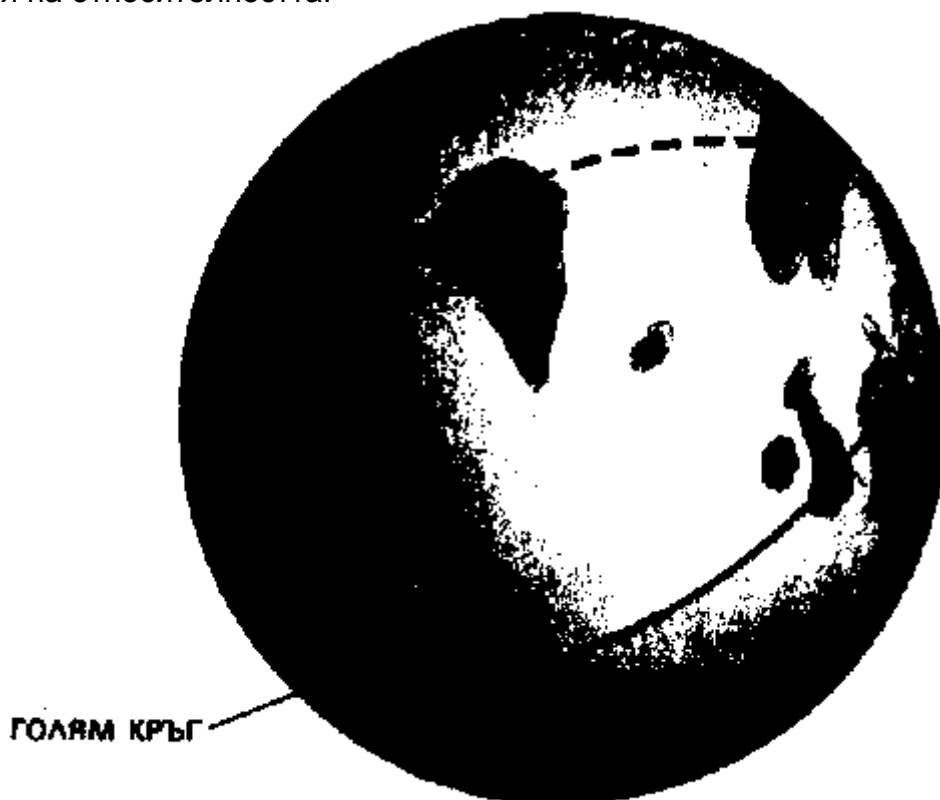
от светлината. Следователно те не могат да се повлияят от това, което се случва в P . Абсолютното минало на P е областта вътре в миналия светлинен конус. То е множеството от всички събития, от които сигналите, движещи се със или под светлинната скорост, могат да достигнат P . Поради това то е множеството от всички събития, които могат евентуално да влияят на това, което става в P . Ако знаем какво става в един конкретен момент навсякъде в областта от пространството, която лежи вътре в миналия светлинен конус P , ще можем да предвидим какво ще стане в P . Навсякъде другаде е областта от пространство-времето, която не лежи нито в бъдещия, нито в миналия светлинен конус на P . Събитията в областта навсякъде другаде не могат да оказват влияние върху или да се влияят от събитията в P . Ако например Слънцето престане да свети точно в този момент, това няма да окаже влияние върху събитията на Земята в настоящето, защото те ще са в областта навсякъде другаде за събитието, когато Слънцето изчезне (фиг. 2.6). Ние ще узнаем за това едва след осем минути, което представлява времето, необходимо светлината да стигне от Слънцето до нас. Едва тогава събитията на Земята ще попаднат в бъдещия светлинен конус на събитието, при което Слънцето изчезва. По същия начин ние не знаем какво става в този момент надалеч във Вселената: светлината, която виждаме от далечните галактики, ги е напуснала преди милиони години, а за най-отдалечените обекти, които виждаме, светлината ги е напуснала преди около 8 млрд. години. Ето защо, когато гледаме Вселената, ние я виждаме такава, каквато е била в миналото.



Ако пренебрегнем гравитационните ефекти, както са направили Айнщайн и Поанкаре през 1905 г., ще стигнем до т.нар. специална теория на относителността. За всяко събитие в пространство-времето можем да построим светлинен конус (множеството от всички възможни пътища на светлината в пространство-времето, излъчена от това събитие), а тъй като скоростта на светлината е една и съща при всяко събитие и за всяка посока, всички

светлинни конуси ще са идентични и ще са насочени в една и съща посока. Теорията ни казва също, че нищо не може да се движи по-бързо от светлината. Това значи, че пътят на който и да е обект в пространството и времето трябва да се представи с права, която лежи в границите на светлинния конус за всяко събитие върху него (фиг. 2.7).

Специалната теория на относителността много успешно обясни факта, че скоростта на светлината е една и съща за всички наблюдатели (както показва експериментът на Майкелсън — Морли), и да опише какво става, когато обектите се движат със скорост, близка до скоростта на светлината. Тя обаче не се съгласуваше с Нютоновата теория за гравитацията, според която телата се привличат помежду си със сила, зависеща от разстоянието между тях. Това значи, че ако преместим едно от телата, силата върху другото тяло веднага ще се промени. Или с други думи, гравитационните ефекти би трябвало да се движат с безкрайна скорост, а не със скоростта на светлината или по-малка от нея, както изисква специалната теория на относителността. Между 1908 г. и 1914 г. Айнщайн на няколко пъти се опитва безуспешно да намери теория на гравитацията, която да се съгласува със специалната теория на относителността. Накрая, през 1915 г., той предложи това, което сега наричаме теория на относителността.



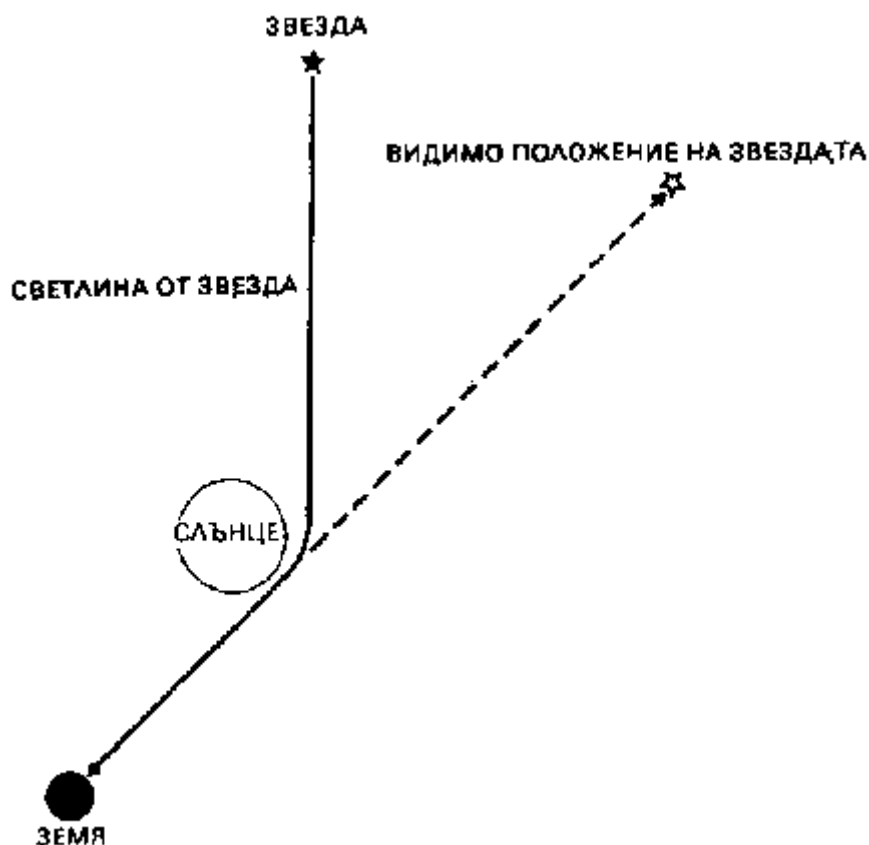
ФИГУРА 2.8

Айнщайн направи революционното предположение, че гравитацията не е сила като другите, а е следствие от факта, че пространство-времето не е плоско, както се смяташе дотогава: то е изкривено или „извито“ от разпределението на масата и енергията в него. Тела като Земята не са създадени за движение по изкривени орбити под въздействието на силата,

наречена гравитация; вместо това те следват най-близкия прав път в изкривеното пространство, който се нарича геодезична линия. Геодезичната линия е най-късото (или най-дългото) разстояние между две съседни точки. Така например повърхността на Земята представлява двумерно изкривено пространство. Геодезичната линия върху земната повърхност се нарича голям кръг и е най-късото разстояние между две точки (фиг. 2.8). Тъй като геодезичната линия е най-късият път между две летища, това е маршрутът, който навигаторът ще покаже на пилота. В общата теория на относителността телата винаги се движат по прави линии в четиримерното пространство-време, но на нас винаги ни се струва, че се движат по криволинеен път в нашето тримерно пространство. (Също както ако наблюдаваме самолет, който лети над хълмиста местност. Въпреки че той се движи по права в тримерното пространство, неговата сянка описва изкривен път върху двумерната земна повърхност.)

Масата на Слънцето изкривява пространство-времето така, че макар Земята да се движи по права в четиримерното пространство-време, струва ни се, че се движи по кръгова орбита в тримерното пространство. На практика орбитите на планетите, предсказани от общата теория на относителността, са почти съвсем същите като тези от Нютоновата теория за гравитацията. Но Меркурий, тази най-близка до Слънцето планета, изпитва най-силни гравитационни ефекти; орбитата му е твърде удължена и според общата теория на относителността голямата ос на елипсата трябва да се завърта около Слънцето с около един градус за десет хиляди години. Макар и слаб, този ефект е забелязан преди 1915 г. и е послужил като едно от първите потвърждения на Айнщайновата теория. В последните години с радар бяха измерени и още по-малки отклонения в орбитите на другите планети от Нютоновите предсказания и се установи, че те се съгласуват с предвижданията на общата теория на относителността.

Светлинните лъчи също трябва да следват геодезичните линии в пространство-времето. И в този случай фактът, че пространството е изкривено, означава, че привидно светлината не се движи по права в пространството. Общата теория на относителността предсказва сгъване на светлината от гравитационните полета. Така например теорията предсказва, че светлинните конуси на точки, близки до Слънцето, трябва да са леко огънати навътре поради масата на Слънцето. Това значи, че ако минава близо до Слънцето, светлината от една далечна звезда ще се изкриви на малък ъгъл и звездата ще заеме друго положение за земен наблюдател (фиг. 2.9). Разбира се, ако светлината от звездата минава винаги близо до Слънцето, ние не бихме могли да кажем дали светлината се отклонява, или звездата е наистина там, където я виждаме. С обикалянето на Земята около Слънцето обаче различни звезди попадат зад Слънцето и светлината им се отклонява. Поради това те променят видимото си положение относно другите звезди.



ФИГУРА 2.9

Обикновено този ефект много трудно се забелязва, тъй като светлината на Слънцето не позволява да се наблюдават звезди, които се явяват близо до Слънцето. Но това става възможно по време на слънчево затъмнение, когато Луната закрие светлината от Слънцето. Предсказаното от Айнщайн отклонение на светлината не можа да бъде проверено още през 1915 г., защото започна Първата световна война, и едва през 1919 г., наблюдавайки затъмнение от Западна Африка, една английска експедиция показа, че светлината наистина се отклонява точно по предвижданията на теорията. Това потвърждение на една немска теория от английски учени бе приветствано като важен акт на помирение между двете страни след войната. За зла участ по-късните изследвания на тези фотографии, направени по време на експедицията, показаха, че грешките са толкова големи, колкото и ефектът, който са се стремили да измерят. Техните измервания се оказаха просто късмет или пък случай, когато знаем предварително резултата, който искаме да получим — нещо, което не е необичайно в науката. Лекото изкривяване обаче бе точно потвърдено впоследствие от няколко наблюдения.

Друго предвиждане на общата теория на относителността е, че близо до такова масивно тяло като Земята времето се забавя. Това се обяснява с връзката между енергията на светлината и нейната честота (т.е. броят светлинни вълни за секунда): колкото по-голяма е енергията, толкова по-висока е честотата. Когато светлината се движи нагоре в земното гравитационно поле, тя губи енергия и честотата ѝ намалява. (Това значи, че интервалът от време между гребена на една вълна и следващата се увеличава.) На някой,

разположен отгоре, ще му се стори, че за всичко, което се случва отдолу, ще е необходимо повече време. Това предсказване бе проверено през 1962 г. с помощта на два много точни часовника, монтирани на върха и в основата на една водна кула. Беше установено, че за часовника, който е в основата и е по-близко до Земята, времето тече по-бавно, в точно съответствие с общата теория на относителността. С въвеждането на много точните навигационни системи, основани върху сигнали от спътници, разликата в хода на часовниците при различна височина над земната повърхност придоби голямо практическо значение. Защото, ако пренебрегнем предвижданията на общата теория на относителността, изчисленото положение може да се окаже сгрешено с няколко мили!

Нютоновите закони за движение сложиха край на идеята за абсолютно положение в пространството. Теорията на относителността се освободи от абсолютното време. Да разгледаме двама близнаци. Да предположим, че единият отиде да живее на някой планински връх, докато другият остане на морското равнище. Първият ще остарява по-бързо от втория. И така, когато се срещнат отново, единият ще бъде по-стар от другия. В този случай разликата между възрастите ще бъде много малка, но би била много по-голяма, ако единият предприеме дълго пътешествие с космически кораб с почти светлинна скорост. Когато се върне, той ще е много по-млад от близнака, останал на Земята. Това е известният парадокс на близнаците, но той е парадокс само ако подсъзнателно се водим от идеята за абсолютно време. В теорията на относителността няма едно-единствено абсолютно време, а всеки индивид си има собствена мярка за времето, която зависи от това, къде се намира и как се движи.

През 1915 г. за пространството и времето се мислеше като за фиксирана арена, на която стават събития, но която не се влияе от това, което става на нея. Това е вярно дори за специалната теория на относителността. Телата се движат, силите са привличащи и отблъскващи, а времето и пространството просто продължават неповлияни. Естествено било да се смята, че пространството и времето отиват до безкрайност.

В общата теория на относителността обаче ситуацията е съвсем различна. Сега пространството и времето са динамични величини: когато едно тяло се движи или една сила действа, това оказва влияние на кривината на пространството и времето, а от своя страна структурата на пространство-времето влияе върху начина, по който телата се движат и силите действат. Пространството и времето не само повлияват, но и се повлияват от всичко, което става във Вселената. Също както не можем да говорим за събития във Вселената без представите за пространство и време, така и в общата теория на относителността е безсмислено да говорим за пространство и време извън границите на Вселената.

В следващите десетилетия това ново разбиране за пространството и времето направи революция в представите ни за Вселената. Старата идея за принципно неизменна Вселена, която е съществувала и ще продължи да съществува, бе завинаги изместена от представата за една динамична, разширяваща се Вселена, която вероятно се е появила в определен момент в

миналото и вероятно ще завърши съществуването си в определен момент в бъдещето. Тази революция е предмет на следващата глава. А години по-късно тя щеше да стане изходният пункт за моята работа по теоретична физика. Роджър Пенроуз и аз показахме, че Айнщайновата обща теория на относителността налага Вселената да е имала начало, а вероятно и да има край.

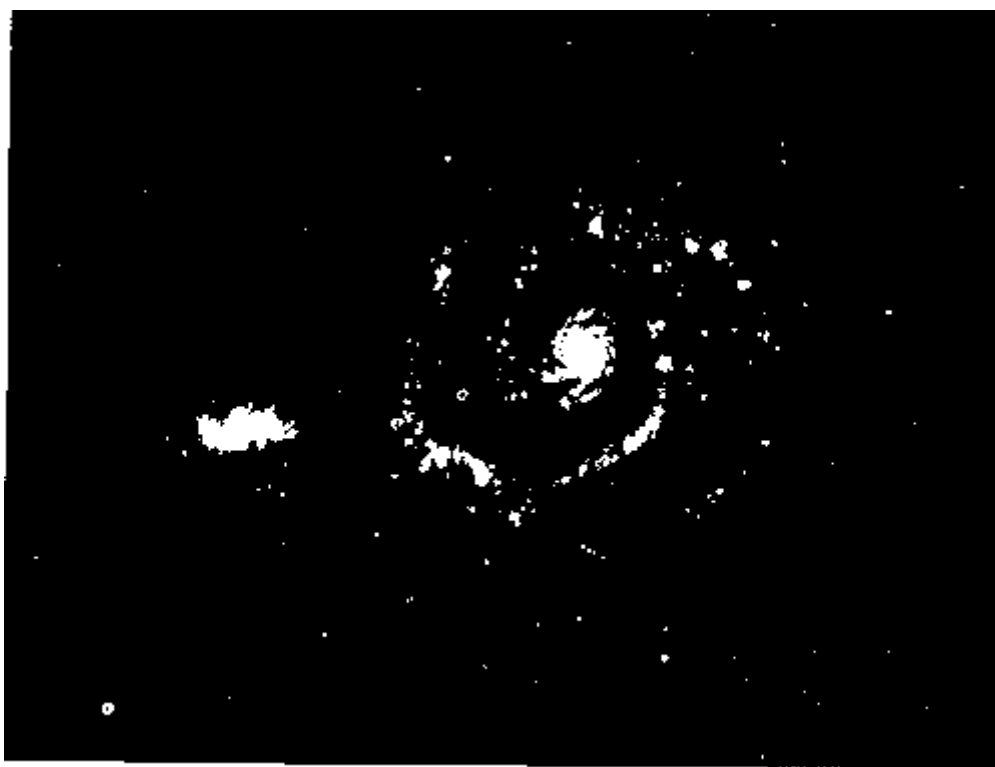
3. РАЗШИРЯВАЩАТА СЕ ВСЕЛЕНА

Ако погледнем небето в ясна безлунна нощ, най-ярките обекти, които ще видим, ще бъдат вероятно планетите Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Ще видим и твърде много звезди, които са също като нашето Слънце, но са много по-отдалечени от нас. Някои от тези неподвижни звезди в действителност много слабо променят относителните си положения с обикалянето на Земята около Слънцето: те изобщо не са неподвижни! Това е така, защото са сравнително близко до нас. При завъртането на Земята около Слънцето ние ги виждаме от различни положения по отношение на фона от по-далечни звезди. И добре, че е така, защото това ни позволява да измерим директно разстоянието на тези звезди от нас: колкото по-близо са, струва ни се, че толкова повече се придвижват. Най-близката, наречена Проксима от Центавър, е на около четири светлинни години от нас (на нейната светлина са необходими около четири години, за да достигне до Земята) или на около $2,13 \times 10^{13}$ мили. Повечето от останалите звезди, видими с просто око, са разположени до неколкостотин светлинни години от нас. За сравнение нашето Слънце е само на осем светлинни минути! Видимите звезди изглеждат разпръснати по цялото нощно небе, но са особено концентрирани в една ивица, наречена Млечния път. Още през 1750 г. някои астрономи са предполагали, че видът на Млечния път може да се обясни, ако повечето от видимите звезди лежат в една подобна на диск конфигурация — пример за това, което сега наричаме спирална галактика. Само няколко десетилетия по-късно астрономът сър Уилям Хершел потвърдил идеята си чрез усърдно каталогизиране на положенията и разстоянията на огромен брой звезди. Въпреки това, за да бъде напълно приета, тази идея трябвало да изчака началото на нашия век.

Сегашната картина на Вселената датира едва от 1924 г., когато американският астроном Едуин Хъбъл показва, че нашата Галактика не е единствена, че съществуват и много други галактики с необятна шир от празно пространство между тях. За да докаже това, той трябвало да определи разстоянията до другите галактики, които са толкова далеч, че за разлика от съседните звезди те наистина изглеждат неподвижни. Поради това Хъбъл бил принуден да използва косвени методи за измерване на разстоянията. И така видимият блясък на една звезда зависи от два фактора: колко светлина излъчва (нейната светимост) и колко далеч е от нас. Ние сме в състояние да измерим видимия блясък и разстоянието за близките звезди, така че можем да определим светимостта им. Или обратно, ако знаем светимостта на звездите в другите галактики, можем да определим тяхното разстояние, като измерим видимия им блясък. Хъбъл

забелязал, че някои видове звезди винаги имат една и съща светимост и когато са достатъчно близо до нас, ние я измерваме; ето защо, твърди той, ако намерим такива звезди в друга галактика, можем да приемем, че и те имат същата светимост, и така да пресметнем разстоянието до тази галактика. Ако можем да направим това за няколко звезди от една и съща галактика и нашите пресмятания сочат винаги едно и също разстояние, можем да се доверим на нашата оценка.

По този начин Хъбъл определил разстоянията до девет различни галактики. Вече знаем, че нашата Галактика е само една от около 100 млрд. галактики, които могат да се видят със съвременните телескопи, като всяка от тези галактики съдържа стотици милиарди звезди. На фиг. 3.1 е показана фотография на една спирална галактика, подобна на нашата, както предполагахме, че трябва да изглежда за някой, живеещ в друга галактика. Ние живеем в галактика с размер около сто хиляди светлинни години, бавно въртяща се; звездите в нейните спирални ръкави обикалят около центъра ѝ за няколко стотици милиони години. Нашето Слънце е просто една обикновена, средна по размери жълта звезда близо до вътрешния край на един от спиралните ръкави. Очевидно вече сме изминали дълъг път от Аристотел и Птолемей насам, когато сме мислели, че Земята е център на Вселената!



ФИГУРА 3.1

Звездите са толкова далеч, че ни се струват като светли точки. Ние не можем да видим нито размера, нито формата им. Тогава как да разграничим различните звезди? За огромната част от звездите има само едно характерно свойство, което можем да наблюдаваме — цветът на светлината им. Нютон открил, че когато слънчевата светлина премине през триъгълно парче стъкло, наречено призма, тя се разлага на съставните си цветове (нейния спектър)

също както при дъгата. Фокусирайки телескопа върху една отделна звезда или галактика, можем по същия начин да наблюдаваме спектъра на светлината от тази звезда или галактика. Различните звезди имат различни спектри, но относителната яркост на различните цветове е винаги точно такава, каквато очакваме за светлината, излъчена от обект, нагорещен до червено. (Фактически светлината, излъчена от непрозрачен обект, нагорещен до червено, има характеристичен спектър, който зависи само от температурата му — топлинен спектър. Това значи, че по спектъра на светлината можем да определим каква е температурата на тази звезда.) Освен това ние установяваме, че в спектрите на звездите липсват някои много характерни цветове и тези липсващи цветове могат да се различават от звезда към звезда. Тъй като знаем, че всеки химически елемент поглъща характерна част от определени цветове, като съпоставим тези цветове с липсващите от звездния спектър, можем да определим точно кои елементи присъстват в звездната атмосфера.

През двадесетте години, когато астрономите започнаха да разглеждат спектрите на звезди от други галактики, те установиха нещо много странно: забелязваха се същите характеристични липсващи цветове, както при звездите от нашата Галактика, но всички те бяха отместени в една и съща относителна степен към червения край на спектъра. За да разберем следствията от това, трябва първо да си изясним Доплеровия ефект. Както вече знаем, видимата светлина се състои от флукуации или вълни в електромагнитното поле. Честотата (или броят на вълни за секунда) на светлината е изключително висока — от 400×10^{12} до 700×10^{12} вълни за секунда. Човешкото око вижда като различни цветове именно различните честоти на светлината, като най-ниските честоти са в червения край на спектъра, а най-високите — в синия. Сега да си представим един източник на светлина на постоянно разстояние от нас, например звезда, излъчваща светлинни вълни с постоянна честота. Очевидно честотата на вълните, която ние възприемаме, ще бъде същата като честотата, с която са излъчени (гравитационното поле на галактиката няма да е достатъчно силно, за да оказва значително влияние). Да предположим сега, че източникът започва да се движи към нас. Когато излъчи следващия гребен на вълна, той ще бъде по-близо до нас, така че времето, необходимо на гребена на вълната да стигне до нас, ще бъде по-малко, отколкото ако звездата беше неподвижна. Това значи, че времето между два достигащи до нас гребена на вълни ще е по-малко, а оттам броят вълни, които получаваме всяка секунда (т.е. честотата), ще е по-голям, отколкото при неподвижна звезда. Съответно ако източникът на светлина се отдалечава от нас, честотата на вълните, която получаваме, ще бъде по-ниска. Когато става дума за светлина, това ще означава, че: спектрите на звезди, отдалечаващи се от нас, ще бъдат отместени към червения край (червено отместване), а на тези, приближаващи се към нас — синьо отместени. Тази зависимост между честота и скорост, наречена Доплеров ефект, е нещо, с което се сблъскваме всекидневно. Вслушайте се в колата на пътя: когато приближава, двигателят ѝ звучи повисоко (което отговаря на по-висока честота на звуковите вълни), а когато минава и се отдалечава, звукът е по-нисък. Поведението на светлинните или радиовълните е същото. На практика полицията използва Доплеровия ефект за определяне

на скоростта на колите, като измерва честотата на радиовълните, отразени от тях.

В годините след като доказал съществуването на други галактики, Хъбъл прекарвал времето си, като съставял каталог на техните разстояния и наблюдавал спектрите им. По това време повечето очаквали галактиките да се движат съвсем случайно и предполагали да намерят толкова синьо отместени спектри, колкото и червено отместени. Поради това били твърде изненадани да установят, че повечето галактики са червено отместени: почти всички се отдалечавали от нас! Още по-изненадващо било откритието, което Хъбъл публикувал през 1929 г.: дори големината на червеното отместване на галактиките не било случайно, а пропорционално на разстоянието до нас. Или с други думи, колкото по-отдалечена е една галактика, толкова по-бързо тя се отдалечава! А това означава, че Вселената не би могла да е статична, както всички мислели дотогава, а в действителност се разширява; разстоянието между различните галактики нараства с времето.

Откритието, че Вселената се разширява, е една от големите интелектуални революции на XX в. Като се обърнем назад, ни е лесно да се чудим защо никой не е помислил за това по-рано. Нютон и други вероятно са разбирали, че една статична Вселена скоро би започнала да се свива под действие на гравитацията. Но да предположим, че Вселената се разширява. Ако се е разширявала сравнително бавно, гравитационната сила би я накарала в крайна сметка да спре разширяването и да започне свиване. Ако обаче тя се разширява със скорост над определена критична стойност, гравитацията никога не би била достатъчно мощна, че да я спре, и Вселената би продължила вечно да се разширява. Това е нещо подобно на изстрелването на ракета от Земята. Ако тя се движи сравнително бавно, гравитацията ще я спре и тя ще започне да пада обратно към Земята. Но ако ракетата се движи със скорост над критичната (около седем мили в секунда), гравитацията няма да е достатъчно мощна да я притегли към Земята и ракетата ще продължи вечно да се отдалечава. Това поведение на Вселената се е предсказвало от Нютоновата теория през целия XIX, XVIII, а дори и в края на XVII в. Също толкова упорита била и вярата в статичната Вселена, която се запазила и в началото на XX в. Когато през 1915 г. формулирал общата теория на относителността, самият Айнщайн бил толкова сигурен, че Вселената трябва да е статична, щото видоизменил теорията си, за да стане това възможно, като въвел в своите уравнения т.нар. космологична константа. Айнщайн въвел една нова „антигравитационна“ сила, която за разлика от другите нямала конкретен източник, а била встроена в самата тъкан на пространство-времето. Той твърдял, че пространство-времето има свойствената тенденция да се разширява, а това точно би уравновесило привличането от цялата материя на Вселената и би довело до статична Вселена. Изглежда, само един човек пожелал да приеме общата теория на относителността за истина и докато Айнщайн и останалите физици търсели начин да избегнат предсказването на нестатична Вселена според общата теория, руският физик и математик Александър Фридман се опитал да го обясни.

Фридман направил две много прости предположения: че Вселената изглежда еднаква накъдето и да гледаме и че това ще е вярно, ако я наблюдаваме от което и да било друго място. Само с тези две идеи Фридман показал, че не можем да очакваме Вселената да е статична. Фактически през 1922 г., няколко години преди откритието на Едуин Хъбъл, Фридман предсказал точно това, което Хъбъл установил!

Предположението, че Вселената изглежда еднаква във всички посоки, разбира се, в действителност не е вярно. Както вече видяхме, останалите звезди в нашата Галактика образуват една отчетлива светла ивица по нощното небе, наречена Млечен път. Но ако погледнем далечните галактики, изглежда, че броят им е почти един и същ. Така че Вселената изглежда приблизително една и съща във всички посоки, при условие че я разглеждаме в едър мащаб в сравнение с разстоянията между галактиките и че пренебрегваме различията в малък мащаб. Дълго време това беше достатъчно оправдание за предположението на Фридман — като грубо приближение към реалната Вселена. Но една щастлива случайност от по-ново време разкри факта, че предположението на Фридман е наистина забележително точно описание на нашата Вселена.

През 1965 г. двама американски физици от лабораториите „Бел телефон“ в Ню Джърси — Арно Пензиас и Робърт Уилсън — изпробвали един много чувствителен микровълнов приемник. (Микровълните са като светлинните вълни, но честотата им е от порядъка само на 10×10^{10} вълни в секунда.) Пензиас и Уилсън се смутили, когато установили, че техният приемник улавя повече шум от очакваното. Шумът сякаш не идвал от някоя определена посока. Първоначално открили птичи тор в приемника си и проверили за евентуални други неизправности, но скоро ги изключили. Знаели, че всеки атмосферен шум се усилва, когато приемникът не е насочен право нагоре, тъй като светлинните лъчи преминават през много по-дебел атмосферен слой, когато се приемат от около хоризонта, отколкото когато се приемат точно отгоре. Но допълнителният шум бил един и същ независимо накъде е насочен приемникът, така че би трябвало да идва *извън* атмосферата. Той бил еднакъв ден и нощ и през цялата година, макар Земята да се върти около оста си и да обикаля около Слънцето. Това показвало, че излъчването трябва да идва извън Слънчевата система, даже извън Галактиката, защото в против случай би се изменяло, когато при движението на Земята приемникът е насочен в различни посоки. Фактически ние знаем, че излъчването трябва да е минало през по-голямата част от наблюдаемата Вселена, а след като изглежда едно и също в различните посоки, Вселената би трябвало също да е една и съща във всички посоки, ако я разглеждаме в големи мащаби. Вече знаем, че в която и посока да гледаме, този шум никога не се изменя с повече от 1/10 000. Така Пензиас и Уилсън неволно попаднали на забележително точно потвърждение на Фридмановото предположение.

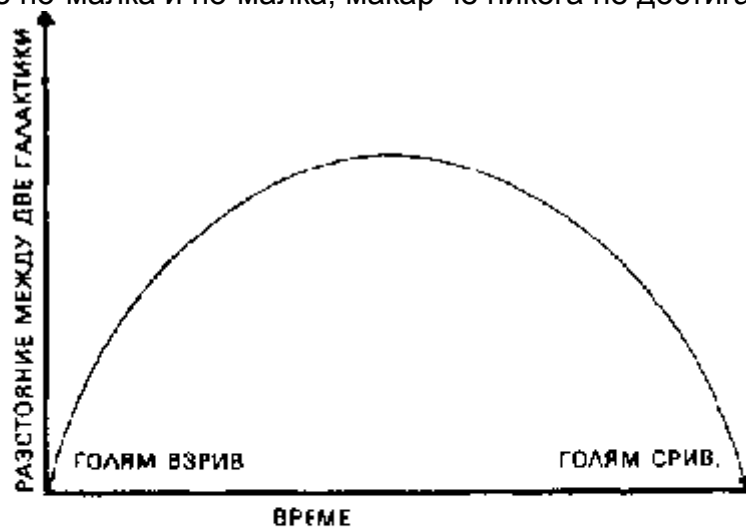
Почти по същото време двама американски физици от съседния университет в Принстън — Боб Дике и Джим Пийбълс — също се интересували от микровълните. Те работели по едно предположение на Джордж Гамов (бивш студент на Александър Фридман), според което ранната Вселена трябва да е

била много гореща и плътна, нажежена до бяло. Според Дике и Пийбълс ние и сега би трябвало да виждаме светенето на ранната Вселена, защото светлината от твърде отдалечените ѝ участъци едва сега стига до нас. Но разширението на Вселената означава тази светлина да е с такова голямо червено отместване, че сега да я възприемаме като микровълново излъчване. Дике и Пийбълс се готвели да потърсят такова излъчване, когато Пензиас и Уилсън чули за тяхната работа и разбрали, че вече са го открили. За откритието си Пензиас и Уилсън получиха Нобелова награда за 1978 г. (което беше малко тежичък удар за Дике и Пийбълс, да не говорим за Гамов!).

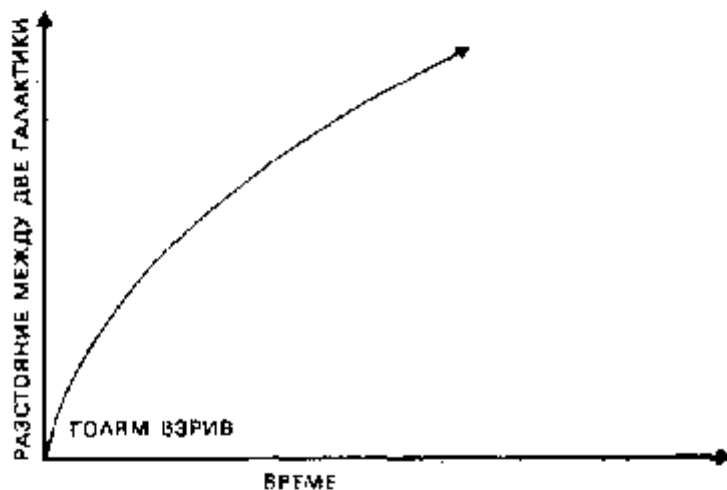
На пръв поглед доказателството, че Вселената изглежда еднаква накъдето и да погледнем, като че предполага мястото ни в нея да е малко по-специално. По-конкретно, ако наблюдаваме всички останали галактики да се разбягват от нас, би трябвало ние да сме в центъра на Вселената. Има обаче и друго обяснение: Вселената също изглежда една и съща във всички посоки и ако се гледа от друга галактика. Това, както видяхме, е второто предположение на Фридман. Доказателство в полза или против това предположение все още няма. Ние вярваме в него само от съображения за скромност: би било изключително странно Вселената да изглежда една и съща във всички посоки около нас, а да не е така и за други места от нея! В модела на Фридман всички галактики се отдалечават една от друга. Ситуацията напомня балон с множество нарисувани върху него петънца, който постоянно се надува. При разширението на балона разстоянието между всеки две петънца се увеличава, но не можем да кажем, че някое от петънцата е център на разширението. Нещо повече, колкото по-отдалечени са петънцата помежду си, толкова по-бързо ще се раздалечават. По същия начин в модела на Фридман скоростта, с която две галактики се раздалечават, е пропорционална на разстоянието между тях. Ето защо той предсказва червеното отместване на една галактика да е пропорционално на разстоянието ѝ от нас — точно това, което установи Хъбъл. Независимо от успеха на модела си и от предсказването на наблюденията на Хъбъл трудът на Фридман остана в голяма степен неизвестен на Запад до откриването на подобни модели от американския физик Хауърд Робъртсън и английския математик Артур Уокър през 1935 г. в отговор на откритото от Хъбъл еднородно разширение на Вселената.

Макар че Фридман установи само един модел, съществуват три различни модела, които удовлетворяват двете фундаментални предположения на Фридман. В първия модел (установен от Фридман) Вселената се разширява достатъчно бавно, което позволява на гравитационното привличане между различните галактики да забави разширението и накрая да го спре. След това галактиките започват да се приближават една към друга и Вселената се свива. На фиг. 3.2 е показано как разстоянието между две съседни галактики се променя с времето. Започва от нула, увеличава се до един максимум и отново намалява до нула. При втория вид решение разширяването на Вселената е толкова бързо, че гравитационното привличане никога не може да го спре, макар че малко го забавя. На фиг. 3.3 е показано разстоянието между съседни галактики по този модел. То започва от нула и накрая галактиките се раздалечават с постоянна скорост. Има и трети вид решение, при което

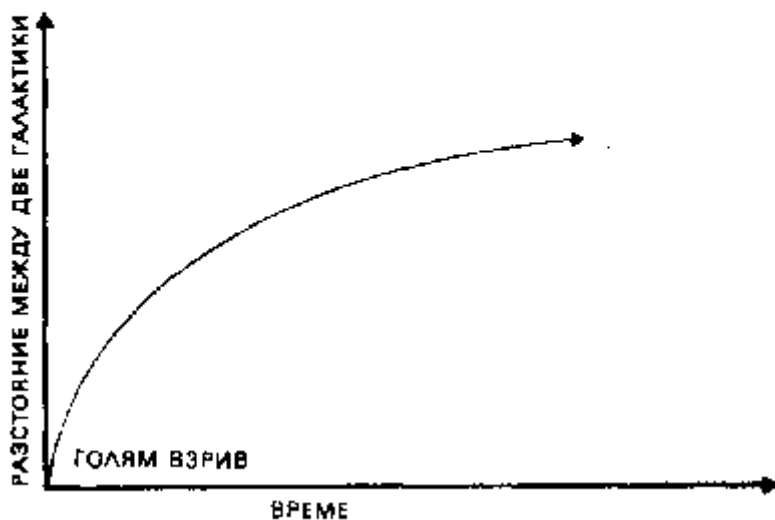
Вселената се разширява точно с такава скорост, която позволява да се избегне повторно свиване. При това раздалечаването, показано на фиг. 3.4, започва от нула и непрестанно расте. Скоростта на раздалечаване на галактиките обаче става все по-малка и по-малка, макар че никога не достига нула.



ФИГУРА 3.2



ФИГУРА 3.3



ФИГУРА 3.4

Едно забележително свойство на първия Фридманов модел е това, че Вселената не е безкрайна в пространството, но самото пространство няма граници. Гравитацията е толкова силна, че пространството е огънато около себе си и става нещо като земната повърхност. Ако тръгнем в дадена посока по земната повърхност, никога не достигаме някаква непреодолима бариера, нито падаме от ръба, а пак се връщаме там, откъдето сме тръгнали. В първия Фридманов модел пространството е точно такова, но за разлика от земната повърхност е тримерно. Четвъртото измерение, времето, е също крайно, но е като права с две гранични точки — начало и край. По-късно ще видим, че когато обединим общата теория на относителността с принципа за неопределеността от квантовата механика, това ще ни позволи пространството и времето да са крайни, но без граници.

Идеята, че можем да обиколим Вселената и да достигнем там, откъдето сме тръгнали, е добра тема за научна фантастика, но няма кой знае каква практическа стойност, защото можем да докажем, че преди да сме я обиколили, Вселената ще се е свила отново до нулев размер. За да стигнем там, откъдето сме тръгнали, преди Вселената да е загинала, ще трябва да се движим по-бързо от светлината, а това не е позволено!

В първия, Фридманов модел, при който Вселената се разширява и отново се свива, пространството е огънато около себе си подобно на земната повърхност. Поради това то е с крайни размери. При втория модел, който вечно се разширява, пространството е огънато по друг начин — като повърхност на седло. Така в този случай пространството е безкрайно. И накрая в третия Фридманов модел, с точно критична скорост на разширяване, пространството е плоско (и следователно също безкрайно).

Но кой Фридманов модел описва нашата Вселена? Ще спре ли някога Вселената да се разширява и ще започне ли да се свива, или ще продължи вечно да се разширява? За да отговорим на този въпрос, трябва да знаем сегашната скорост на разширение на Вселената и сегашната ѝ средна плътност. Ако плътността е по-малка от определена критична стойност, зависеща от скоростта на разширение, гравитационното привличане ще бъде твърде слабо, за да спре разширението. Ако плътността е над критичната стойност, гравитацията ще спре разширението в някой бъдещ момент и ще накара Вселената да се свие отново.

Сегашната скорост на разширение можем да определим, като измерим скоростите, с които другите галактики се разбягват от нас, използвайки Доплеровия ефект. Това може много точно да се направи. Разстоянията до галактиките обаче не са много добре известни, защото можем да ги измерим само косвено. Всичко, което знаем, е, че за всеки милиард години Вселената се разширява от 5 до 10%. Неувереността ни по отношение сегашната средна плътност на Вселената е още по-голяма. Ако сумираме масите на всички звезди, които можем да видим в нашата Галактика и в другите галактики, сумата е по-малка от една стотна от величината, необходима да спре разширението на Вселената даже за най-ниската оценка на скоростта на разширение. В нашата, а и в другите галактики обаче се съдържа голямо

количество „тъмна материя“, която непосредствено не можем да видим, но знаем, че трябва да съществува, от влиянието на нейното гравитационно привличане върху орбитите на звездите в галактиките. Освен това повечето галактики са в купове и по същия начин можем да заключим за наличието на още тъмна материя в пространството между галактиките в тези купове чрез нейното влияние върху движението на галактиките. Когато съберем цялата тази тъмна материя, все още стигахме едва до една десета от количеството, изискващо спиране на разширението. Не можем да изключим обаче вероятността да съществува някаква друга форма на материята, разпределена приблизително равномерно във Вселената, която още не сме открили и която да увеличи средната плътност на Вселената до критичната стойност, нужна да спре разширението. Следователно сегашните данни предполагат, че Вселената вероятно ще се разширява вечно, но единственото, в което можем да сме сигурни, е, че дори и да предстои повторно свиване на Вселената, това няма да стане по-рано от 10 млрд. години, след като тя вече се е разширявала поне толкова време. Не бива обаче излишно да се тревожим: по това време, ако пространството извън Слънчевата система не е колонизирано, човечеството отдавна ще е измряло, загинало заедно с нашето Слънце!

Всички Фридманови решения имат свойството, че в някакъв момент от миналото (преди 10–20 млрд. години) разстоянието между съседните галактики трябва да е било нула. В този момент, който ние наричаме Големия взрив, плътността на Вселената и кривината на пространство-времето би трябвало да са безкрайни. Понеже математиката не може да борава с безкрайни числа, това значи, че общата теория на относителността (на която се базират решенията на Фридман) предвижда съществуването на една точка във Вселената, където самата теория не важи. Тази точка е пример за това, което математиците наричат сингулярност. В действителност всички наши теории са формулирани при предположението, че пространство-времето е гладко и почти плоско, така че те не важат при сингулярността на Големия взрив, където кривината на пространство-времето е безкрайна. Това значи, че дори да е имало някакви събития преди Големия взрив, не можем да ги използваме, за да определим какво ще стане по-нататък, защото предсказуемостта ще изчезне в момента на Големия взрив. Съответно, ако както в този случай знаем само какво е станало след момента на Големия взрив, не можем да определим какво се е случило преди него. Колкото до самите нас, събитията преди Големия взрив не могат да имат последици, така че не биха представлявали част от научен модел за Вселената. Поради това можем да кажем, че времето започва от Големия взрив. На мнозина не им харесва идеята времето да има начало, вероятно защото напомня за божествена намеса. (От друга страна, Католическата църква възприе модела за Големия взрив и през 1951 г. официално обяви, че той е в съгласие с Библията.) Поради това бяха направени опити да се избегне изводът, че е имало Голям взрив. Най-широка подкрепа получи т.нар. теория за стационарната Вселена. Тя е предложена през 1948 г. от двамата бежанци от окупираната от нацистите Австрия — Херман Бонди и Томас Голд, заедно с англичанина Фред Хойл, работил с тях по развитието на радара по време на войната. Идеята ѝ е, че с разбягването на галактиките една от друга в

пространството между тях непрестанно се образуват нови галактики от материя, която непрекъснато се създава. Поради това Вселената трябва да изглежда приблизително една и съща по всяко време и от всички точки от пространството. Теорията за стационарната Вселена изисква видоизменяне на общата теория на относителността, за да позволи непрекъснато създаване на материя, но с много малка скорост (приблизително по една частица на кубичен километър за една година), така че да не противоречи на експеримента. Това е една добра научна теория в смисъла на описаното в глава 1: проста е и прави конкретни предсказания, които могат да се проверят чрез наблюдения. Едно от тези предсказания е, че броят на галактиките или на подобните на тях обекти в който и да е пространствен обем трябва да е един и същ накъдето и когато и да погледнем във Вселената. В края на петдесетте години и началото на шестдесетте група астрономи от Кеймбридж под ръководството на Мартин Райл (който също бе работил с Бонди, Голд и Хойл върху радара по време на войната) проведе изследване на източниците на радиовълни. Групата от Кеймбридж показва, че повечето от тези радиоизточници трябва да са извън нашата Галактика (наистина много от тях могат да се отъждествяват с други галактики), както и че слабите източници са много повече от мощните. Астрономите интерпретираха слабите източници като по-далечни, а мощните — като по-близки. Освен това се оказа, че за единица обем от пространството близките източници са по-малко от далечните. Това би могло да значи, че се намираме в центъра на голяма област от Вселената, където източниците са по-малко от другаде. Но би могло и да значи, че източниците са били по-малобройни в миналото, по времето, когато радиовълните са тръгнали към нас, отколкото сега. И двете обяснения противоречат на предсказанията на теорията за стационарната Вселена. Нещо повече, откриването на микровълновото излъчване от Пензиас и Уилсън през 1965 г. също показва, че Вселената трябва да е била много по-плътна в миналото. Ето защо теорията за стационарната Вселена трябваше да бъде изоставена.

Друг опит да се избегне изводът, че трябва да е имало Голям взрив, а оттам и начало във времето, бе предприет от двама руски учени — Евгени Лифшиц и Исак Халатников през 1963 г. Те предположиха, че Големият взрив може би е особеност само за моделите на Фридман, които в крайна сметка представляват само едно приближение към реалната Вселена. Може би сред всички модели, грубо приближени към действителната Вселена, само тези на Фридман могат да съдържат сингулярността на Големия взрив. В моделите на Фридман всички галактики се раздалечават една от друга, така че не е чудно по някое време в миналото всички те да са били на едно и също място. В действителната Вселена обаче галактиките не само се раздалечават директно една от друга, а те имат и малки странични скорости. Така че в действителност не се налага изобщо в миналото да са заемали точно едно и също място, а да са били много близо една до друга. Може би в такъв случай сегашната разширяваща се Вселена е резултат не от сингулярността на Големия взрив, а от една по-ранна фаза на свиване; когато Вселената е колапсирала, не всички нейни частици са се сблъскали, а са минали една край друга и след това са се раздалечили помежду си, водейки до сегашното разширение на Вселената. Как

да кажем тогава дали реалната Вселена е започнала от Големия взрив? Лифшиц и Халатников просто изследваха моделите на Вселената, които са приблизително като моделите на Фридман, но взеха предвид неправилните и случайни скорости на галактиките в реалната Вселена. Те показаха, че такива модели могат да започнат с Голям взрив, макар галактиките вече да не се раздалечават директно една от друга, но те твърдят, че това е възможно само в някои изключителни модели, в които галактиките се движат подредено. Според тях, след като, изглежда, съществуват безкрайно повече Фридманови модели без сингулярност в Големия взрив, отколкото със сингулярност, би трябвало да заключим, че в действителност не е имало Голям взрив. Впоследствие те осъзнаха, че съществува един много по-общ клас Фридманови модели, които имат сингулярност и в които галактиките не е задължително да се движат по някакъв особен начин. Поради това през 1970 г. те оттеглиха изискването си.

Трудът на Лифшиц и Халатников беше ценен, защото показва, че Вселената *би могла* да има сингулярност, Голям взрив, ако общата теория на относителността е коректна. Това обаче не реши ключовия въпрос: предсказва ли общата теория на относителността, че нашата Вселена *би трябвало да има* Голям взрив, начало във времето? Отговорът дойде от съвсем различен подход, въведен от английския математик и физик Роджър Пенроуз през 1965 г. Като използва поведението на светлинните конуси в общата теория на относителността, заедно с факта, че гравитацията е винаги привличаща, той показва, че когато една звезда колапсира под действие на собствената си гравитация, тя попада в област, чиято повърхнина в крайна сметка се свива до нулев размер. А понеже повърхнината на областта се свива до нула, това трябва да се отнася и за обема ѝ. Цялата материя на звездата ще бъде пресована в област с нулев обем, така че плътността на материята и кривината на пространство-времето ще станат безкрайни. С други думи, ще се получи сингулярност, съдържаща се в една област от пространство-времето, известна като черна дупка.

На пръв поглед резултатът на Пенроуз е приложим само за звезди; той не казва нищо по въпроса, дали цялата Вселена е имала сингулярност в Големия взрив от своето минало.

По времето, когато Пенроуз изведе своята теорема, аз бях аспирант, който безнадеждно търси проблем за дисертацията си. Две години по-рано ми бяха поставили диагноза на болен от болестта на Лу Гериг — заболяване на двигателния нерв, и ми беше дадено да разбера, че ми остават още една-две години. При тези обстоятелства едва ли беше особено смислено да работя по дисертацията си — не очаквах да оцелея толкова дълго. И въпреки това вече бяха минали две години, а аз не бях много по-зле. Всъщност нещата се развиваха твърде добре за мен и се бях сгодил за едно много симпатично момиче, Джейн Уайлд. Но за да се ожения, се нуждаех от работа, а за да получа работа, се нуждаех от дисертация.

През 1965 г. прочетох за теоремата на Пенроуз, че всяко тяло, което претърпява гравитационен колапс, трябва накрая да образува сингулярност. Скоро ми стана ясно, че ако обърнем посоката на времето в теоремата на Пенроуз, така че колапсът да стане разширение, условията на тази теорема ще

останат в сила, в случай че Вселената сега грубо наподобява Фридманов модел в едри мащаби. Теоремата на Пенроуз показва, че всяка колапсираща звезда *трябва* да завърши в сингулярност; аргументът с обърнатото време показва, че всяка фридманоподобна разширяваща се Вселена *трябва* да е започнала от сингулярност. По технически причини теоремата на Пенроуз изискваше Вселената да е безкрайна в пространството. Така че фактически аз можех да използвам теоремата, за да докажа, че би трябвало да има сингулярност само ако Вселената се разширява достатъчно бързо, за да избегне отново колапс (защото само тези Фридманови модели бяха безкрайни в пространството).

През следващите няколко години развих нова математическа техника, за да избегна това и други технически условия в теоремите, доказващи, че трябва да настъпят сингулярности. Окончателният резултат беше един труд, съвместен с Пенроуз през 1970 г., който накрая доказа, че трябва да е имало сингулярност в Големия взрив, но при условие че общата теория на относителността е коректна и Вселената съдържа толкова материя, колкото наблюдаваме. Нашият труд срещна доста опоненти, отчасти сред руснаците поради тяхното марксистко схващане за научния детерминизъм, отчасти сред хора, според които цялата идея за сингулярностите е отблъскваща и опорочава красотата на Айнщайновата теория. И все пак никой не може да спори с една математическа теорема. Накрая нашият труд бе всеобщо приет и днес почти всички приемат, че Вселената е започнала със сингулярност в Големия взрив. Може би е комично, че след като промених мнението си, сега се опитвам да убедя другите физици, че фактически не е имало сингулярност в началото на Вселената, но, както ще видим по-късно, тя може да изчезне, ако вземем предвид квантовите ефекти.

В тази глава видяхме как за по-малко от половин век представата ни за Вселената, формирана в продължение на хилядолетия, се е променяла. Изходна точка за това бяха откритието на Хъбъл, че Вселената се разширява, и осъзнаването на незначителността на нашата собствена планета в безкрая на Вселената. С натрупването на експериментални и теоретични доказателства ставаше все по-ясно, че Вселената трябва да е имала начало във времето, докато най-сетне през 1970 г. двамата с Пенроуз го доказахме на базата на общата теория на относителността на Айнщайн. Това доказателство показва, че общата теория на относителността е просто една непълна теория: тя не може да ни каже какво е началото на Вселената, защото предвижда, че всички физични теории, включително и самата тя, са неприложими за началото на Вселената. Но общата теория на относителността твърди да е само една частна теория, така че това, което теоремите за сингулярност наистина показват, е, че в твърде ранната Вселена е имало период, когато Вселената е била толкова малка, че повече не бихме могли да пренебрегнем дребномащабните ефекти от друга важна частна теория на двадесетото столетие — квантовата механика. В началото на осемдесетте години бяхме принудени да се насочим към разбирането на Вселената, преминавайки от теорията за изключително голямото към теорията за нищожно малкото. Тази теория, квантовата механика, ще опишем по-нататък, преди да се обърнем към

усилията за обединяване на двете частни теории в една-единствена квантова теория за гравитацията.

4. ПРИНЦИП НА НЕОПРЕДЕЛЕНОСТТА

Успехите на научните теории и особено на Нютоновата теория за гравитацията накарали френския учен маркиз Дьо Лаплас в началото на XIX в. да покаже, че Вселената е напълно детерминистична. Лаплас предположил, че трябва да съществува система от научни закони, които позволяват да предвидим всичко, което ще се случи във Вселената, ако знаем с точност състоянието на Вселената в даден момент. Ако например знаем положенията и скоростите на Слънцето и планетите в даден момент, можем да използваме законите на Нютон и да определим състоянието на Слънчевата система във всеки друг момент. В този случай детерминизмът изглежда твърде очевиден, но Лаплас не спрял дотук, а допуснал, че всичко, включително и поведението на човека, се управлява от подобни закони.

Доктрината за научен детерминизъм срещнала упоритата съпротива на мнозина, според които тя посяга на свободата на Бог да се намесва в света, но е останала като стандартно допускане в науката чак до началото на нашето столетие. Един от първите признаци, че това схващане трябва да се изостави, дойде от изчисленията на английските учени лорд Рейли и сър Джеймс Джийнс. Те предположиха, че едно горещо тяло или обект, като например една звезда, трябва да излъчва безкрайна енергия. Според законите, в които тогава вярвахме, едно горещо тяло трябва да освобождава електромагнитни вълни (например радиовълни, видима светлина или рентгенови лъчи) равномерно по всички честоти. Едно горещо тяло например трябва да излъчва едно и също количество енергия във вълни с честоти между един и два млрд. вълни в секунда, както и при честоти между два и три млрд. вълни в секунда. А щом броят вълни в секунда е неограничен, това значи, че общото количество излъчена енергия ще е безкрайно.

За да избегне този явно нелеп резултат, немският учен Макс Планк предположил през 1900 г., че светлинните, рентгеновите и другите вълни не могат да се излъчват произволно, а само на определени порции, които той нарича кванти. Освен това всеки квант притежава определено количество енергия, което е толкова по-голямо, колкото по-висока е честотата на вълните, така че при достатъчно висока честота излъчването на един-единствен квант би изисквало повече енергия от наличната. Така излъчването при високи честоти ще намалява, откъдето следва, че излъчената от тялото енергия ще бъде крайна.

Квантовата хипотеза обясни наблюдаваната степен на излъчване от горещи тела много добре, но нейните последици за детерминизма не бяха осъзнати до 1926 г., когато друг немски учен, Вернер Хайзенберг, формулира своя знаменит принцип на неопределеността. За да предскажем бъдещото положение и скоростта на една частица, трябва да можем точно да измерим сегашното ѝ положение и скорост. Най-простият начин да направим това е да

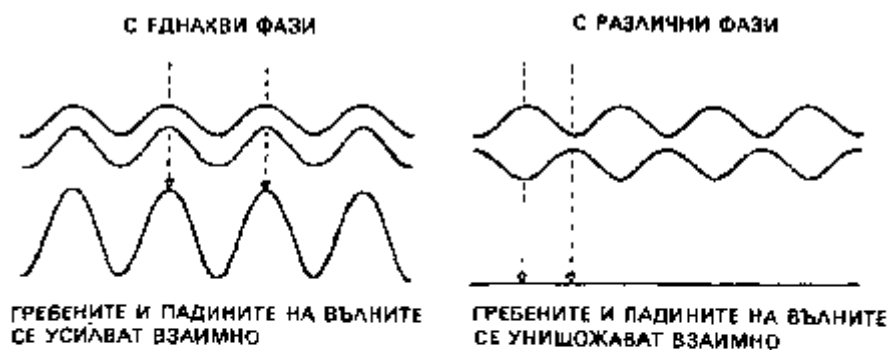
осветим частицата. Някои от светлинните вълни ще се разсеят от частицата и така ще определят нейното положение. Но ние няма да сме в състояние да определим положението на частицата по-точно, отколкото е разстоянието между гребените на светлинните вълни, така че ще трябва да използваме светлина с малка дължина на вълната, за да измерим по-точно положението на частицата. Според квантовата хипотеза на Планк обаче не можем да използваме произволно малко количество светлина; то трябва да е поне един квант. Но този квант ще наруши състоянието на частицата и ще промени скоростта ѝ по непредсказуем начин. Освен това, колкото по-точно измерваме положението, толкова по-къса трябва да е дължината на светлинната вълна, а следователно толкова по-висока трябва да е енергията на единичния квант. А тогава скоростта на частицата ще се промени в по-голяма степен. С други думи, колкото по-точно се опитваме да измерим положението на частицата, толкова по-неточно ще можем да измерим нейната скорост и обратно. Хайзенберг показва, че неопределеността в положението на частицата, умножена по неопределеността в нейната скорост и по масата на частицата никога не може да бъде величина, по-малка от една определена стойност, известна като Планкова константа. Нещо повече, това ограничение не зависи от начина, по който се опитваме да измерим положението или скоростта на частицата, нито от вида частица: принципът на неопределеността на Хайзенберг е фундаментално, неизбежно свойство на света.

Принципът на неопределеността има съществени следствия за начина, по който гледаме на света. И след повече от петдесет години те още не са напълно оценени от много философи и продължават да са обект на много противоречия. Принципът на неопределеността беляза края на мечтата на Лаплас за една научна теория, един модел на Вселената, които да са напълно детерминистични: човек, разбира се, не може да предвиди бъдещи събития точно, ако не е в състояние дори точно да измери сегашното състояние на Вселената! И все пак можем да си представим, че съществува система от закони, напълно определяща събитията за някое свръхестествено същество, което може да наблюдава сегашното състояние на Вселената, без да го нарушава. Но такива модели на Вселената не са особено интересни за нас, простосмъртните. Май е по-добре да използваме принципа на пестеливостта, известен като бръснача на Окам, и да отрежем всички свойства на теорията, които не могат да се наблюдават. Този подход накара Хайзенберг, Ервин Шрьодингер и Пол Дирак през двадесетте години да преформулират механиката в една нова теория, наречена квантова механика, основана върху принципа на неопределеността. В тази теория частиците вече нямат отделни, добре дефинирани положения и скорости, които да могат да се наблюдават. Вместо това те имат квантово състояние, което е комбинация от положение и скорост.

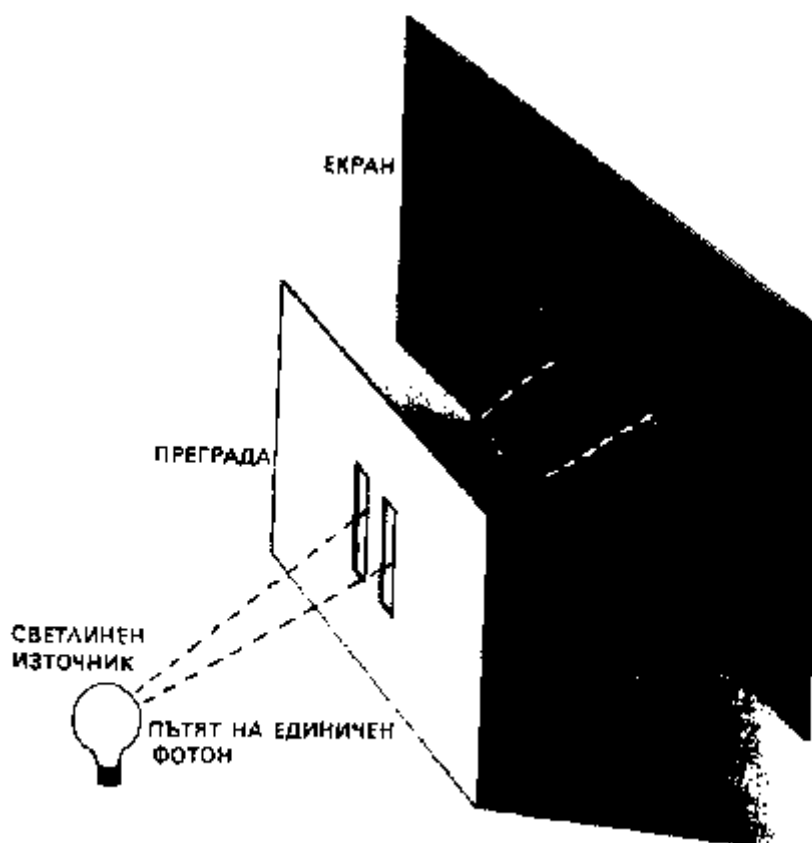
Обикновено квантовата механика не предсказва един-единствен конкретен резултат от едно наблюдение, а множество различни възможни изходи и ни казва колко вероятен е всеки от тях. Или с други думи, ако проведем едно и също измерване върху голям брой подобни системи, всички с еднакво изходно състояние, ще установим, че измерването ще даде A в

определен случай, *Б* в друг случай и т.н. Човек може да предвиди приблизителния брой пъти, когато резултатът ще бъде *А* или *Б*, но не може да предскаже конкретния резултат от едно отделно измерване. Поради това квантовата механика въвежда един неизбежен елемент на непредсказуемост или случайност в науката. Айнщайн се противопостави много енергично на това независимо от важната си роля в развитието на тези идеи. За своя принос към квантовата теория Айнщайн получи Нобелова Награда. И въпреки това той никога не прие, че Вселената се управлява от случайността: неговото отношение е синтезирано в известното му твърдение: „Бог не играе на зарове.“ Повечето от останалите учени обаче бяха готови да приемат квантовата механика, защото тя отлично се съгласуваше с експеримента. Всъщност това беше една изключително сполучлива теория и е залегнала в основите на почти цялата съвременна наука и технология. Тя управлява поведението на транзисторите и интегралните схеми, тези съществени компоненти на електронни устройства като телевизионните системи и компютрите, а освен това е основа на съвременната химия и биология. Единствените области от физиката, в които квантовата механика все още не е намерила подходящо място, са гравитацията и едро-машабната структура на Вселената.

Макар светлината да се състои от вълни, квантовата хипотеза на Планк ни казва, че понякога тя има поведението на частици: може да се излъчва или поглъща само на порции или кванти. Същевременно принципът на неопределеността на Хайзенберг налага поведението на частиците в някои отношения да е като това на вълни: те нямат определено положение, а са „размити“ с определено вероятностно разпределение. Теорията на квантовата механика се основава върху съвсем нова математика, която вече не описва реалния свят с помощта на частици и вълни; единствено наблюденията върху този свят могат да се опишат по този начин. И така в квантовата механика се явява дуализъм между вълни и частици: в някои случаи е целесъобразно да мислим за частиците като за вълни, а в други е по-добре да мислим за вълните като за частици. Едно важно следствие от това е, че не сме в състояние да наблюдаваме така наречената интерференция между две групи вълни или частици. С други думи, гребените на една група вълни могат да съвпадат с падините на другата група. Тогава двете групи вълни се унищожават взаимно, а не се сумират в по-голяма вълна, както можем да очакваме (фиг. 4.1). Познат пример за интерференцията на светлината са цветовете, които често се наблюдават в сапунени мехури. Бялата светлина се състои от вълни с всички възможни дължини на вълната или цветове. За определени дължини гребените на вълните, отразени от едната страна на сапунения филм, съвпадат с падините, отразени от другата страна. Цветовете, отговарящи на тези дължини на вълната, липсват в отразената светлина и поради това тя изглежда оцветена.



ФИГУРА 4.1



ФИГУРА 4.2

Поради дуалистичните представи, въведени от квантовата механика, интерференция може да настъпи и при частици. Известен пример в това отношение е експериментът с два процепа (фиг. 4.2). Да разгледаме една преграда с два тесни успоредни процепа. От едната страна на преградата е поставен източник на светлина с определен цвят (т.е. с определена дължина на вълната). По-голямата част от светлината ще попадне в преградата, но малка част ще премине през процепите. Да приемем сега, че сме поставили екран зад преградата. До всяка точка от екрана ще достигат вълни от двата процепа. В общия случай обаче разстоянието, което светлината трябва да измине от източника до екрана през двата процепа, ще бъде различно. Това означава, че фазите на вълните от двата процепа няма да са еднакви, когато стигнат до

екрана: в някои места вълните ще се унищожават, а в други взаимно ще се усилят. В резултат ще се получи характерно изображение от светли и тъмни ивици.

Забележителното в случая е, че ако заменим източника на светлина с източник на частици, например електрони с определена скорост (което означава, че съответните вълни са с определена дължина), ще получим пак същия тип ивици. Още по-странно е, че ако имаме само един процеп, няма изобщо да получим ивици, а просто равномерно разпределение на електроните върху екрана. Поради това можем да приемем, че с отварянето на още един процеп просто се увеличава броят електрони, достигащи всяка точка от екрана, а в резултат на интерференция той фактически намалява на някои места. Ако пускаме електроните един по един към процепите, можем да очакваме всеки електрон да премине през единия или другия процеп, така че поведението му да е точно такова, каквото би било, ако имаше само един процеп — да се получи равномерно разпределение върху екрана. В действителност обаче дори когато пускаме електроните един по един, ивиците пак се наблюдават. Излиза, че всеки електрон минава и през *двата* процепа едновременно!

Явлението интерференция между частици бе от решаващо значение за изясняване на строежа на атома — този основен градивен елемент в химията и биологията, градивната тухличка за самите нас и за всичко около нас.

В началото на нашия век се смяташе, че подобно на планетите, които обикалят около Слънцето, електроните (частици с отрицателен електричен заряд) в атома обикалят около едно централно ядро, което носи положителен електричен заряд. Предполагаше се, че привличането между положителния и отрицателния заряд задържа електроните по техните орбити, също както гравитационното привличане между Слънцето и планетите задържа планетите по техните орбити. Трудното тук е, че според законите на механиката и електричеството, предхождащи квантовата механика, електроните биха губили енергия и биха се движили по спирала, докато се сблъскат с ядрото. Това значи, че атомът, а фактически цялата материя, бързо биха колапсирали до състояние с много висока плътност. Едно частно решение на този проблем бе намерено от датския учен Нилс Бор през 1913 г. Според него електроните не могат да се движат по орбити на всякакво разстояние от ядрото, а само на определени характерни разстояния. Ако предположим, че на всяко от тези разстояния могат да се движат по орбита само един или два електрона, това би решило проблема за свиването на атома, тъй като електроните няма да могат при движението си по спирала да проникнат по-навътре и ще запълнят орбитите с най-малки разстояния и енергии.

Този модел обясни съвсем задоволително строежа на най-простия атом — водородния, който има само един електрон, обикалящ около ядрото. Но не стана ясно как да го приложим към по-сложни атоми. Освен това идеята за ограничен брой разрешени орбити изглеждаше твърде произволна. Новата теория квантова механика реши този проблем. Тя разкри, че електронът, обикалящ около ядрото, може да се разглежда като вълна, чиято дължина зависи от неговата скорост. За някои орбити дължината ще отговаря на цяло (а не дробно) число дължини на вълната на електрона. За тези орбити гребенът

на вълната ще бъде на едно и също място при всяка обиколка, така че вълните ще се сумират: тези орбити ще отговарят на разрешените орбити на Бор. При орбитите, дължините на които не са цяло число дължини на вълната, всеки гребен в крайна сметка ще се унищожи от падина при движението на електроните; тези орбити не са разрешени.

Един изискан начин да се онагледят дуализмът вълна/частица е така нареченото сумиране по траектории, въведено от американския учен Ричард Файнман. При този подход не се предполага частицата да има една единствена история или път в пространство-времето, както е според класическата некантова теория, а се предполага да минава от *A* в *B* по всички възможни пътища. С всеки от тези пътища са свързани две числа: едното представлява размера на вълната, а другото представлява положението в цикъла (т.е. дали е в гребен или в падина). Вероятността за минаване от *A* в *B* се намира, като се сумират вълните по всички пътища. Въобще, ако сравним множество от съседни пътища, фазите или положенията в цикъла значително ще се различават. Това значи, че вълните, свързани с тези пътища, почти точно ще се унищожават помежду си. За някои множества по съседни пътища обаче фазите няма да се менят значително за различните пътища. Вълните за тези пътища няма да се унищожават. Такива пътища отговарят на разрешените орбити на Бор.

С тези представи, изразени в конкретен математически вид, можем сравнително просто да изчислим разрешените орбити в по-сложни атоми, а дори и в молекули, които са изградени от известен брой атоми, свързани заедно чрез електрони, обикалящи около повече от едно ядро. Понеже строежът на молекулите и техните взаимодействия са в основата на цялата химия и биология, квантовата механика ни позволява по принцип да предскажем почти всичко, което виждаме около себе си, в границите, наложени от принципа на неопределеността. (На практика обаче изчисленията за системи с повече от няколко електрона са толкова сложни, че не можем да ги осъществим.)

Едромащабният строеж на Вселената, изглежда, се управлява от общата теория на относителността на Айнщайн. Това е една класическа теория, т.е. тя не взема предвид принципа на неопределеността от квантовата механика, както би трябвало, за да се съгласува с другите теории. Причината това да не води до каквото и да е несъгласие с наблюденията е, че всички гравитационни полета, с които обикновено се сблъскваме, са твърде слаби. Но теоремите за сингулярност, които вече разгледахме, показват, че гравитационните полета стават много силни поне в два случая: черните дупки и Големия взрив. В такива силни полета ефектите на квантовата механика са съществени. И така в известен смисъл класическата обща теория на относителността предсказва точки с безкрайна плътност, предсказва собствения си провал, също както класическата (т.е. некантовата) механика предсказва провала си с предположението, че атомите трябва да колапсират до безкрайна плътност. Досега нямаме завършена стройна теория, която да обединява общата теория на относителността и квантовата механика, но знаем някои от свойствата, които тя трябва да притежава. Следствията, които биха имали върху черните

дупки и Големия взрив, ще бъдат описани в следващите глави. За момента обаче ще се обърнем към съвременните опити да се обобщят нашите представи за останалите природни сили в една-единствена, единна квантова теория.

5. ЕЛЕМЕНТАРНИ ЧАСТИЦИ И ПРИРОДНИ СИЛИ

Според Аристотел цялата материя във Вселената се състои от четири основни елемента: земя, въздух, огън и вода. Върху тези елементи действат две сили: гравитацията, тенденцията на земята и водата да потъват, и левитацията, тенденцията на въздуха и огъня да се издигат. Това разделение на съдържанието на Вселената на материя и сили се използва и днес.

Според Аристотел материята е непрекъсната, т.е. можем да делим един къс материя на все по-малки и по-малки парченца безкрай и пак няма да стигнем до зрънце материя, което да не може да се дели по-нататък. Някои гърци обаче, например Демокрит, твърдели, че на материята е присъща зърнистостта и че всичко е изградено от голям брой различни по вид атоми. (Гръцката дума *атом* означава неделим.) Векове наред спорът продължил без никакво реално доказателство за едната или другата страна, докато през 1803 г. английският химик и физик Джон Далтон отбелязал факта, че химичните съединения винаги се свързват в определени пропорции, което може да се обясни с групирането на атоми и образуването на т.нар. молекули. Но спорът между двете философски школи не бил окончателно решен в полза на атомистите чак до началото на нашия век.

Едно от съществените физически доказателства бе дадено от Айнщайн. В своя труд, написан през 1905 г., няколко седмици преди знаменития труд за специалната теория на относителността, Айнщайн отбелязва, че т.нар. Брауново движение — неправилното, случайно движение на пращинките, суспендирани в течност — може да се обясни като сблъскване на атомите на течността с частиците на праха.

По това време вече съществували подозрения, че атомите въпреки всичко не са неделими. Няколко години по-рано изследователят от Тринити Колидж в Кеймбридж Дж. Дж. Томсън демонстрирал съществуването на материална частица, наречена електрон, чиято маса е под $1/1000$ от масата на най-лекия атом. Той използвал система, подобна на съвременния кинескоп: нагорещена до червено метална жичка освобождава електроните, а понеже те са заредени отрицателно, може да се използва електрично поле, което да ги ускорява към екран с фосфорно покритие. Когато се ударят в екрана, се генерират светлинни проблясъци. Скоро се установило, че тези електрони би трябвало да идват от самите атоми и през 1911 г. английският физик Ърнест Ръдърфорд най-сетне показал, че атомите на веществото наистина имат вътрешен строеж: те са изградени от съвсем мъничко, положително заредено ядро, около което обикалят електрони. Той стигнал до това заключение, като анализирал начина, по който алфа-частиците, които са положително заредени и се освобождават от радиоактивни атоми, се отклоняват при сблъскването си с атоми.

Първоначално се смятало, че атомното ядро е изградено от електрони и различен брой положително заредени частици, наречени протони от гръцкото „първи“, защото се приемало, че това са фундаменталните градивни елементи на материята. През 1932 г. обаче един колега на Ръдърфорд от Кеймбридж, Джеймс Чадуик, открил, че ядрото съдържа друга частица, наречена неутрон, който има почти еднаква маса с протона, но е без електричен заряд. За това откритие Чадуик получил Нобелова награда и бил избран за магистър в Гонвил енд Киз Колидж — Кеймбридж (колежът, в който сега съм сътрудник). Впоследствие той се отказал от степента магистър поради разногласия със сътрудниците. В колежа се водели ожесточени спорове от времето, когато завърнали се от войната млади сътрудници гласували вот на недоверие на много от старите сътрудници, които отдавна били в колежа. Това е било преди моето време; аз постъпих в колежа през 1965 г. и хванах края на ожесточенията, когато подобни несъгласия заставиха друг магистър, Нобелов лауреат — сър Нейвил Мот, да напусне.

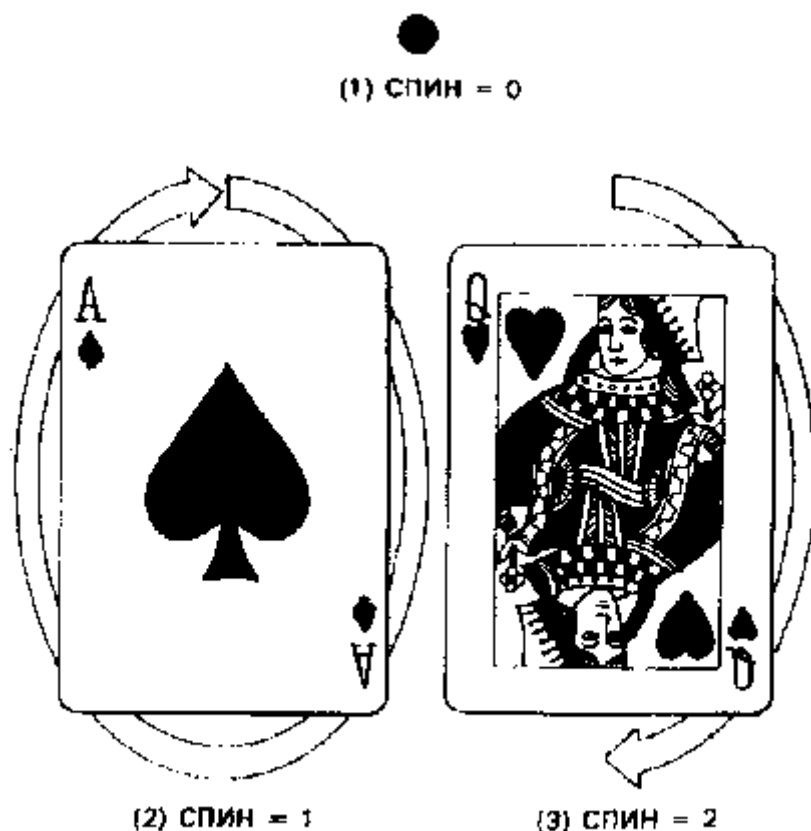
Допреди двадесетина години се смяташе, че протоните и неутроните са „елементарни“ частици, но експериментите, в които протони се сблъскваха с други протони или с електрони при високи скорости, показваха, че фактически те се състоят от по-малки частици. Тези частици бяха наречени кварки от физика Мюрай Гел-Ман (Калифорнийски технологичен институт), който получи Нобелова награда за 1969 г. за работата си върху тях. Названието идва от неточен цитат на фразата „Три кварка за Мъстър Марк!“ на Джеймс Джойс. Предполага се думата *кварк* да се произнася като *кварт*, накрая с *к* вместо *т*, но обикновено се свързва с *ларк* (чучулига).

Съществуват няколко разновидности на кварка: вероятно има поне шест „аромата“, като всеки „аромат“ се явява в три цвята — червен, зелен и син. (Трябва да отбележим, че това са просто названия: кварките са много по-малки от дължината на видимата светлина, така че нямат цвят в обикновения смисъл.) Изглежда, просто съвременните физици проявяват повече въображение и при наименоването на нови частици и явления вече не се ограничават с гръцкия! Един протон или неутрон се състои от три кварка, по един от всеки цвят.

Вече знаем, че нито атомите, нито протоните и неутроните в тях са неделими. Сега въпросът е: какво представляват истинските елементарни частици, тези основни градивни тухлички, от които е направено всичко? След като дължината на светлинната вълна е много по-голяма от размерите на един атом, ние не можем да се надяваме да „видим“ частите на един атом по обикновен начин. Налага се да използваме нещо с много по-малка дължина на вълната. Както видяхме в последната глава, квантовата механика ни казва, че всички частици са всъщност вълни и че колкото по-голяма е енергията на една частица, толкова по-къса е дължината на съответната вълна.

И така най-добрият възможен отговор на нашия въпрос зависи от това, колко голяма е енергията на частицата, с която разполагаме, защото това определя колко малка е скалата на дължините, която ще използваме. Тези енергии на частиците обикновено се измерват в единици, наречени електронволтове (eV). (При експериментите на Томсън с електрони видяхме, че той използва

електрично поле, за да ги ускори. Енергията, която придобива един електрон от електрично поле един волт е известна като електронволт.) През XIX в., когато единствените енергии на частици, които хората знаеха как да използват, бяха малките енергии от порядъка на няколко електронволта, получени в резултат на химични реакции като горенето например, се смяташе, че атомите са най-малките градивни частици. При експеримента на Ръдърфорд алфа-частиците притежаваха енергия от милион електронволтове. Неотдавна се научихме как да използваме електромагнитни полета за придаване енергия на частиците първоначално от милиони, а по-късно от милиарди електронволтове. Така разбрахме, че частици, които сме смятали преди двадесетина години за „елементарни“, са фактически съставени от по-малки частици. А може би, стигайки до още по-високи енергии, ще установим, че от своя страна и те са съставени от още по-малки частици? Това, разбира се, е възможно, но ние разполагаме с теоретични основания да вярваме, че сме стигнали или сме твърде близо до познаването на крайните градивни тухлички на природата.



ФИГУРА 5.1

Като използваме дуализма вълна/частица, разгледан в последната глава, можем да опишем всички във Вселената, включително светлината и гравитацията, с помощта на частици. Те притежават едно свойство, наречено спин. Един възможен начин да си представим спина е да мислим за частиците като за пумпалчета, които се въртят около една ос. Това обаче би ни заблудило, тъй като квантовата механика ни казва, че частиците нямат добре дефинирана ос. Това, което спинът действително ни казва, е как изглежда

частицата от различни посоки. Частица със спин 0 е като точка: тя изглежда еднаква от всички посоки (фиг. 5.1–1). А частица със спин 1 е като стрелкичка: тя изглежда различно от различни посоки (фиг. 5.1–2). Частицата изглежда една и съща само ако я завъртим на пълен оборот (360°). Частица със спин 2 е като двупосочна стрелка (фиг. 5.1–3): тя изглежда по същия начин, ако я завъртим на половин оборот (180°). Подобно частиците с по-голям спин изглеждат по същия начин, ако ги завъртим на по-малки части от един пълен оборот. Всичко това сякаш е много просто, но забележителен факт е, че има частици, които не изглеждат по същия начин, ако ги завъртим само на един пълен оборот: с тях трябва да направим два пълни оборота! За такива частици казваме, че имат спин $1/2$.

Всички познати частици във Вселената могат да се разделят на две групи: частици със спин $1/2$, които съставляват веществото във Вселената, и частици със спин 0, 1 и 2, които, както ще видим, пораждат взаимодействия между материалните частици.

Материалните частици се подчиняват на т.нар. принцип за забраната на Паули. Той е открит през 1925 г. от австрийския физик Волфганг Паули, за което му бе присъдена Нобелова награда за 1945 г. Паули е прототипът на физика-теоретик: говори се, че дори самото му присъствие в някой град е достатъчно да провали експериментите! Според принципа за забраната на Паули две еднакви частици не могат да съществуват в едно и също състояние, т.е. те не могат едновременно да заемат едно и също място и да имат една и съща скорост в границите, наложени от принципа на неопределеността. Принципът за забраната има решаващо значение, тъй като той обяснява защо материалните частици не колапсират до състояние на твърде голяма плътност под влияние на силите, пораждани от частиците със спин 0, 1 и 2: ако положенията на материалните частици са много близки, техните скорости трябва да се различават, което значи, че те няма дълго да се задържат на едно и също място. Ако светът бе създаден без принципа на Паули, кварките не биха образували отделни, добре дефинирани протони и неутрони. Нито пък те биха образували заедно с електроните отделни, добре дефинирани атоми. Те щяха да колапсират и да се получи една приблизително еднородна, гъста „супа“.

Изясняването на представата за електрона и останалите частици със спин $1/2$ стана едва през 1928 г., когато Пол Дирак, който впоследствие бе избран за Лукасова професура по математика в Кеймбридж (същата професура, заемана някога от Нютон, а сега и от мен), предложи една теория. Теорията на Дирак беше първата, която е в съгласие както с квантовата механика, така и със специалната теория на относителността. Тя обясни по математически път защо електронът има спин $1/2$, т.е. защо не изглежда по един и същ начин, когато го завъртим на един пълен оборот, а трябва да го завъртим на два пълни оборота. Освен това тя предсказа, че електронът трябва да има партньор: антиелектрон или позитрон. Откриването на позитрона през 1932 г. потвърди теорията на Дирак и му донесе Нобелова награда за физика за 1933 г. Ние вече знаем, че всяка частица има своя античастица, с която може да анихилира. (В случая с частици, пренасящи взаимодействие, античастиците са същите като самите частици.) Възможно е да съществуват цели антисветове и антихора от

античастици. Но ако срещнете своя анти-аз, не му подавайте ръка! И двамата ще изчезнете в огромно огнено кълбо!

Въпросът, защо частиците са толкова повече от античастиците около нас, е изключително важен и аз ще се върна на него по-нататък в тази глава.

В квантовата механика силите или взаимодействията между материалните частици се носят от частиците с цял спин — 0, 1 или 2. Всъщност материалната частица — например електрон или кварк — излъчва частица, пренасяща взаимодействие. Отскокът в резултат на това излъчване променя скоростта на материалната частица. Тогава частицата, пренасяща взаимодействие, се сблъсква с друга материална частица и бива погълната. Това сблъскване променя скоростта на втората частица, също както ако между двете материални частици действаше сила.

Съществено свойство на частиците, пренасящи взаимодействие, е, че те не се подчиняват на принципа за забраната на Паули. Това значи, че техният брой, който може да бъде обменян, не е ограничен и поради това те могат да породят силно взаимодействие. Ако обаче частиците, пренасящи взаимодействие, имат голяма маса, това ще затрудни образуването и обмена им на голямо разстояние. Поради това взаимодействията, които те носят, ще са само с малък обseg. От друга страна, ако частиците, пренасящи взаимодействие, нямат собствена маса, взаимодействията ще бъдат с голям обseg. Частиците, носещи взаимодействие, обменяни между материални частици, се наричат виртуални, тъй като за разлика от „реалните“ те не могат да бъдат непосредствено регистрирани с Детектор на частици. Но ние знаем, че те съществуват, защото имат измерваем ефект: те пораждаат взаимодействия между материалните частици.

Частиците със спин 0, 1 или 2 понякога съществуват и като реални частици и могат да бъдат директно регистрирани с детектор. Тогава те се явяват във вид на нещо, което класикът-физик би нарекъл вълна — например като светлините или гравитационните вълни. Понякога те се излъчват при взаимодействието между материални частици, при обмен на виртуални частици, пренасящи взаимодействие. (Например електрическата сила на отблъскване между два електрона се дължи на обмен на виртуални фотони, които никога не могат да бъдат непосредствено регистрирани с детектор; но когато един електрон прелита край друг, могат да се освободят реални фотони, които регистрираме като светлинни вълни.)

Частиците, пренасящи взаимодействие, могат да се групират в четири категории в зависимост от големината на взаимодействието, което носят, и частиците, с които взаимодействат. Трябва да отбележим, че това деление на четири групи е изкуствено: то е удобно при разработването на частни теории, но може и да не отговаря на нещо по-сериозно. В крайна сметка повечето физици се надяват да открият една единна теория, която да обясни четирите сили като различни прояви на една-единствена сила. Всъщност мнозина биха казали, че това е главна цел на физиката днес. Наскоро бяха направени успешни опити да се обединят три от четирите групи взаимодействия и аз ще ги опиша в тази глава. Въпросът за обединяването на останалата категория — гравитацията — ще оставим за по-нататък.

Първата категория е гравитационната сила. Тази сила е универсална, т.е. всяка частица изпитва силата на гравитация в зависимост от своята маса или енергия. Гравитацията е най-слабата от четирите сили; тя е толкова слаба, че ако не притежаваше две характерни свойства, изобщо не бихме я забелязали: тя може да действа на големи разстояния и е винаги притегляща. Това означава, че твърде малките гравитационни сили между отделните частици в две големи тела като Земята и Слънцето могат да се сумират и да породят една значителна сила. Другите три сили са или с малък обseg, или в някои случаи — сили на привличане, а в други на отблъскване, така че проявяват тенденция да се унищожават. При разглеждане на гравитационното поле от гледище на квантовата механика взаимодействието между две материални частици се представя чрез частица със спин 2, наречен гравитон. Гравитонът няма собствена маса и поради това носи взаимодействие с голям обseg. Гравитационната сила между Слънцето и Земята се обяснява с обмен на гравитони между частиците, от които са изградени тези две тела. Макар обменните частици да са виртуални, ефектът им без съмнение е измерим: те заставят Земята да се върти около Слънцето! Реалните гравитони образуват това, което класикът-физик би нарекъл гравитационни вълни. Те са толкова слаби и така трудни за регистриране, че никога не са били наблюдавани.

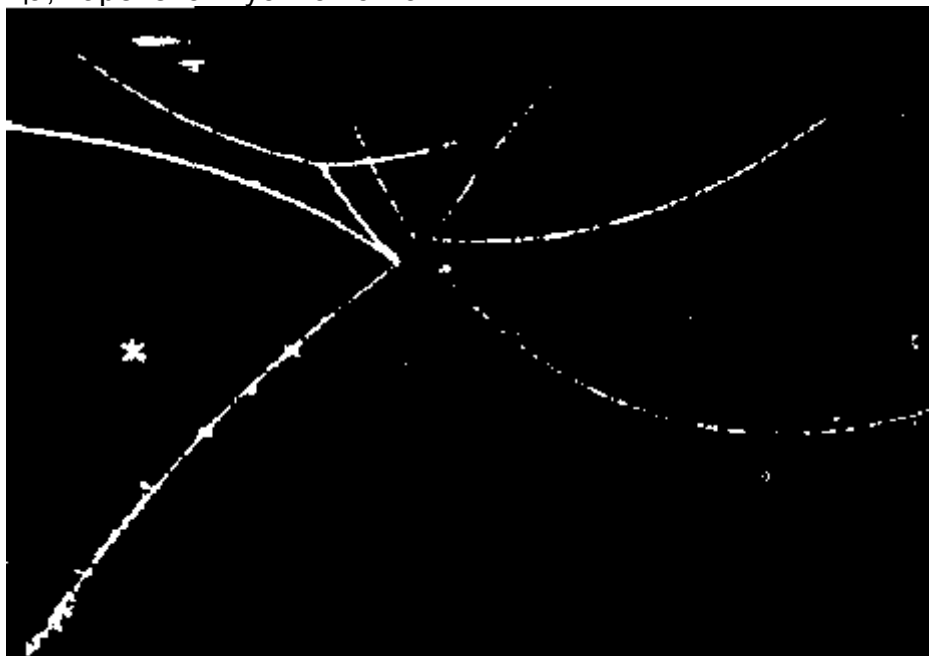
Следващата категория е електромагнитната сила, която взаимодейства с електрически заредените частици, каквито са електроните и кварките, но не и с незаредените, каквито са гравитоните. Тя е много по-голяма от гравитационната: електромагнитната сила между два електрона е почти 10^{42} пъти по-голяма от гравитационната. Съществуват обаче два вида електричен заряд — положителен и отрицателен. Силата между два положителни заряда е на отблъскване, каквато е и между два отрицателни заряда, докато силата между един положителен и един отрицателен заряд е на привличане. Едно толкова голямо тяло като Земята или Слънцето съдържа почти равен брой положителни и отрицателни заряди. Поради това силите на привличане и на отблъскване между отделните частици почти се унищожават и остатъчната електромагнитна сила е малка. Но при малките мащаби на атома и молекулата преобладават електромагнитните сили. Електромагнитното привличане между отрицателно заредените електрони и положително заредените протони в ядрото карат електроните да обикалят по орбити около ядрото на атома, също както гравитационното привличане заставя Земята да обикаля около Слънцето. Електромагнитното привличане се обяснява с обmena на голям брой виртуални безмасови частици със спин 1, наречени фотони. И в този случай фотоните, които се обменят, са виртуални частици. Но когато един електрон премине от една разрешена орбита към друга, по-близка до ядрото, се освобождава енергия и се излъчва реален фотон, който, ако е със съответната Дължина на вълната, може да се наблюдава като видима за човешкото око светлина или да се регистрира от фотонен приемник, какъвто е например фотографският филм. По-същия начин, когато един реален фотон се сблъска с атом, той може да придвижи един електрон от орбита, по-близка до ядрото, на друга, по-отдалечена. Това изразходва енергията на фотона, така че той се поглъща.

Третата категория се нарича слабо ядрено взаимодействие, на което се дължи радиоактивността и което действа върху всички материални частици със спин $1/2$, но не и върху частици със спин 0, 1 или 2 като фотоните и гравитоните. Слабото ядрено взаимодействие не бе съвсем ясно до 1967 г., когато Абдус Салам от Импириъл Колидж в Лондон и Стивън Уайнбърг от Харвард предложиха свои теории, които обединяват това взаимодействие с електромагнитната сила, също както Максвел бе обединил електричеството и магнетизма стотина години по-рано. Те предположиха, че освен фотона има три други частици със спин 1, познати общо като тежки векторни бозони, носители на слабото взаимодействие. Те се наричат W^+ , W^- и Z^0 и всеки от тях е с маса приблизително 100 GeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$). Теорията на Уайнбърг — Салам показва едно свойство, известно като спонтанно нарушаване на симетрията. Това значи, че ако при ниски енергии възприемаме няколко частици като напълно различни една от друга, в действителност те са един и същи тип, но в различни състояния. При високи енергии тези частици се отнасят като подобни. Ефектът е подобен на поведението на топчето за рулетка върху диска на рулетката. При високи енергии (когато завъртим диска бързо) топчето се държи само по един и същ начин — то продължава да се върти. Но когато движението на диска се забави, енергията на топчето намалява и накрая то пада в един от тридесет и седемте процепа на диска. С други думи, при ниски енергии има 37 различни състояния, в които топчето може да бъде. Ако по някакъв начин можем да наблюдаваме топчето само при ниски енергии, бихме сметнали, че има 37 различни вида топчета!

В теорията на Уайнбърг — Салам при енергии, много по-високи от 100 GeV, трите нови частици и фотонът биха имали подобно поведение. Но при по-ниски енергии на частиците, което е по-честият случай, тази симетрия между частиците ще се наруши. W^+ , W^- и Z^0 ще придобият големи маси, с което взаимодействията, които носят, ще станат с много малък обseg. По времето, когато Салам и Уайнбърг предложиха своята теория, малцина им повярваха, а ускорителите на частици не бяха достатъчно мощни, та да развият енергии от 100 GeV, необходими за получаването на реални W^+ , W^- и Z^0 частици. През следващите десетина години обаче останалите предсказания на теорията за ниските енергии така добре се съгласуваха с експеримента, че през 1979 г. Салам и Уайнбърг получиха Нобелова награда за физика заедно с Шелдън Глашоу, също от Харвард, който бе предложил подобни обединени теории за електромагнитното и слабото ядрено взаимодействие. На Нобеловата комисия бе спестено неудобството да е допуснала грешка, когато през 1983 г. в ЦЕРН (Европейския център за ядрени изследвания) бяха открити трите тежки партньора на фотона с точно предсказани маси и други свойства. Карло Рубиа, който ръководеше колектива от неколкостотин физици, автори на това откритие, получи Нобелова награда за 1984 г. заедно със Симон ван дер Меер — инженер от ЦЕРН, който бе автор на използваната система за натрупване на антиматерията. (Днес е много трудно да бъдеш забелязан в експерименталната физика, ако вече не си по върховете!)

Четвъртата категория е силното ядрено взаимодействие, което задържа кварките в протона и неутрона, а протоните и неутроните — в ядрото на атома.

Смята се, че носител на това взаимодействие е друга частица със спин 1, наречен глюон, който взаимодейства само със себе си и с кварките. Силното ядрено взаимодействие има едно любопитно свойство, наречено затваряне (конфайнмънт): то винаги свързва частиците в комбинации, които нямат цвят. Не може да има един-единствен кварк, защото той би бил с цвят (червен, зелен или син). В замяна един червен кварк трябва да се присъедини към един зелен и един син кварк чрез „струна“ от глюони (червен + син + зелен = бял). Такъв триплет представлява протон или неутрон. Друга възможност е да се образува двойка, съставена от кварк и антикварк (червен + античервен, или зелен + антизелен, или син + антисин = бял). Такива комбинации изграждат частиците, известни като мезони, които са нестабилни, понеже кваркът и антикваркът могат да анихилират, при което се получават електрони и други частици. По същия начин затварянето предотвратява съществуването на самостоятелен глюон, тъй като глюоните също имат цвят. Вместо това има колекция от глюони, чиито цветове се сумират до бял. Тази колекция образува една нестабилна частица, наречена глюонна топка.



ФИГУРА 5.2

Фактът, че свойството затваряне не позволява да се наблюдава отделен кварк или глюон, сякаш създава представата за кварките и глюоните като метафизични частици. Съществува обаче едно друго свойство на силното ядрено взаимодействие, високоенергетично сблъскване между протон и антипротон, при което се получават няколко почти свободни кварка наречено асимптотична свобода, с което концепцията за кварки и глюони се дефинира точно. При нормални енергии силното ядрено взаимодействие е наистина силно и свързва здраво кварките помежду им. Но експериментите с големи ускорители на частици показват, че при високи енергии силното взаимодействие значително намалява и поведението на кварките и глюоните става почти като на свободни частици. На фиг. 5.2 е показана фотография на сблъскване между високоенергетичен протон и антипротон. Получават се няколко почти свободни кварка и се дава начало на „струя“ от трекове.

Успешното обединяване на електромагнитното и слабото ядрено взаимодействие доведе до множество опити да се съчетаят тези две взаимодействия със силното ядрено взаимодействие в т.нар. теория на Великото обединение. Названието е малко пресилено: получените теории не са нито толкова велики, нито напълно обединени, тъй като не включват гравитацията. Те не са и в действителност завършени теории, защото съдържат някои параметри, чиито стойности не могат да се предскажат от теорията, а трябва така да се подберат, че да се съгласуват с експеримента. Въпреки всичко те са вероятно стъпка към една завършена, напълно обединена теория.

Основната идея на теорията на Великото обединение е следната: както споменахме по-горе, силното ядрено взаимодействие отслабва при високи енергии. От друга страна, електромагнитното и слабото взаимодействие, които не са асимптотично свободни, стават силни при високи енергии. При някаква много висока енергия, наречена енергия на Великото обединение, тези три взаимодействия биха имали една и съща сила и би се оказало, че са просто различни прояви на едно-единствено взаимодействие. Теориите на Великото обединение предсказват също, че при тази енергия различните материални частици със спин $1/2$, като кварки и електрони, биха били също почти едни и същи, с което би се постигнало още едно обединение.

Стойността на енергията на Великото обединение не е много добре известна, но вероятно би трябвало да е поне 10^{15} GeV. Сегашното поколение ускорители на частици позволява сблъскването на частици с енергия от порядъка на 100 GeV, а се проектират машини, които ще достигнат до няколко хиляди GeV. Но една машина, достатъчно мощна да ускори частици до енергиите на Велико обединение, ще трябва да е с размерите на Слънчевата система и би било невероятно да се финансира при сегашния икономически климат. Поради това е невъзможно теориите на Великото обединение да се проверят непосредствено в лабораторията. Но както и при теорията, обединяваща електромагнитното и слабото взаимодействие, и в този случай има нискоенергетични следствия от теорията, които могат да бъдат проверени.

Най-интересното от тях е предсказването, че протоните, от които е изградена повечето от масата на обикновената материя, могат спонтанно да се разпаднат на по-леки частици, каквито са антиелектроните. Причината това да е възможно е, че при енергията на Велико обединение няма съществена разлика между антикварк и антиелектрон. Трите кварка в протона обикновено нямат достатъчно енергия, за да се превърнат в антиелектрони, но много често един от тях може да придобие достатъчно енергия, за да направи прехода, тъй като според принципа на неопределеността енергията на кварките в протона не може точно да се фиксира. Тогава протонът би се разпаднал. Вероятността един кварк да придобие достатъчна енергия е толкова малка, че ще се наложи да чакаме поне 10^{30} години. Това е време, много по-дълго от времето, изминало след големия взрив, което е едва 10^{10} години. Човек би си помислил, че възможността за спонтанно протонно разпадане не би могла да се провери експериментално. Но шансовете ни да открием разпадането ще нараснат, ако наблюдаваме голямо количество вещество, съдържащо голям брой протони. (Ако например

наблюдаваме 10^{31} протони в продължение на една година, според най-простата теория на Великото обединение можем да очакваме да видим разпадането на повече от един протон.)

Проведени са няколко такива експеримента, но никой от тях не доведе до определено доказателство за разпадане на протон или неутрон. При един от експериментите бяха използвани 8000 тона вода и той бе проведен в солната мина „Мортън“ в Охайо (за да се избегне настъпването на други събития, причинени от космическите лъчи, които погрешно да сметнем за разпадане на протон). Тъй като никакво спонтанно разпадане на протони не бе наблюдавано по време на експеримента, може да се пресметне, че вероятният живот на протона трябва да е по-дълъг от 10^{31} години. Това е по-продължително от времето, предсказано по най-простата от теориите на Великото обединение, но има по-съвършени теории, предсказващи по-дълъг живот. За да ги проверим, ще са необходими още по-чувствителни експерименти с още по-голямо количество вещество.

Макар че наблюдаването на спонтанно разпадане на протона е много трудно, не е изключено самото ни съществуване да е следствие от обратния процес — образуване на протони, или по-просто — на кварки от едно начално състояние, при което кварките не са повече от антикварките, а това е естественият начин да си представим началото на Вселената. Материята на Земята е изградена главно от протони и неутрони, които от своя страна са съставени от кварки. Антипротони и антинеутрони, изградени от антикварки, няма освен няколкото, получени от физиците в големите ускорители на частици. Космическите лъчи са доказателство, че същото се отнася за цялата материя в нашата Галактика: няма антипротони, нито антинеутрони, с изключение на малкия брой, получени като двойка частица/античастица при високоенергетични сблъсквания. Ако в нашата Галактика съществуваша големи области от антиматерия, бихме могли да очакваме, че ще наблюдаваме големи количества лъчения от границите между областите от материя и антиматерия, където много частици биха се сблъскали със своите античастици и биха анихилирали с освобождаване на високо-енергетично излъчване.

Ние не разполагаме с директно доказателство дали материята в другите галактики е изградена от протони и неутрони, или от антипротони и антинеутрони, но вероятно е или едното, или другото: не може да има смес от двете в една галактика, защото в такъв случай пак бихме наблюдавали силно лъчение от аниhilации. Ето защо се предполага всички галактики да са съставени от кварки, а не от антикварки; представата някои галактики да са от материя, а други от антиматерия изглежда неправдоподобна.

А защо кварките са много повече от антикварките? Защо не са поравно? Несъмнено имаме късмет, че броят им не е равен, защото иначе почти всички кварки и антикварки биха анихилирали още в ранната Вселена и биха оставили Вселена, изпълнена с лъчение, но едва ли с някакво вещество. Тогава вероятно нямаше да има галактики, звезди или планети, на които да се развие човешки живот. За щастие теориите на Великото обединение може би ни дават обяснение защо Вселената сега съдържа повече кварки, отколкото антикварки, даже и в началото броят им да е бил равен. Както видяхме, теориите на

Великото обединение позволяват при високи енергии кварките да се превръщат в антикварки. Освен това те позволяват и обратните процеси — превръщане на антикварки в електрони и на електрони и антиелектрони в антикварки и кварки. Някога, в съвсем ранната Вселена, тя е била толкова гореща, че енергиите на частиците вероятно са били достатъчно високи за настъпването на тези превръщания. Но защо това е довело до повече кварки, отколкото антикварки? Причината е, че физичните закони не са съвсем същите за частиците и античастиците.

До 1956 г. се смяташе, че физичните закони се подчиняват на всяка от трите отделни симетрии, наречени C , P и T .

Симетрията C означава, че законите са едни и същи за частици и античастици. Симетрията P означава, че законите са едни и същи за всяка ситуация и нейното огледално изображение (огледалното изображение на една частица с дясно въртене е това на частица с ляво въртене). Симетрията T означава, че ако обърнем посоката на движение на всички частици и античастици, системата трябва да се върне в предишни състояния: с други думи, законите са еднакви както напред, така и назад във времето.

През 1956 г. двама американски физици — Дзун-Дао Ли и Чженин Янг, предположиха, че слабото взаимодействие фактически не се подчинява на P симетрията. С други думи, слабото взаимодействие би принудило Вселената да се развива различно от начина, по който би се развило нейното огледално изображение. Същата година тяхната колежка Цзин Сян Ву доказа, че предсказанието им е правилно. Тя направи това, като ориентира ядрата на радиоактивни атоми в магнитно поле така, че всички те да се въртят в една и съща посока, и показа, че в една посока се освобождават повече електрони, отколкото в друга. Следващата година Ли и Янг получиха Нобелова награда за своята идея. Освен това беше установено, че слабото взаимодействие не се подчинява на P симетрията, т.е. поведението на вселена, съставена от античастици, ще бъде различно от това на нашата Вселена. Въпреки това, изглежда, слабото взаимодействие спазва комбинираната CP симетрия, т.е. Вселената би се развивала по същия начин, както огледалното си изображение, дори ако всяка частица бъде заместена от своята античастица! През 1964 г. обаче други двама американци — Дж. У. Кронин и Вал Фич, откриха, че CP симетрията не се спазва дори при разпадането на определени частици, наречени K -мезони.

Накрая през 1980 г. Кронин и Фич получиха Нобелова награда за труда си. (Много са наградите, раздадени за посочването на факта, че Вселената не е така проста, както си я представяме!)

Има една математическа теорема, която твърди, че всяка теория, която се подчинява на квантовата механика и на относителността, трябва винаги да съблюдава и комбинираната CPT симетрия. С други думи, поведението на Вселената би трябвало да е едно и също, дори да заменим частиците с античастици, да вземем огледално изображение и да обърнем посоката на времето. Но Кронин и Фич показаха, че ако заменим частиците с античастици и вземем огледално изображение, а не обърнем посоката на времето,

поведението на Вселената не е същото. Ето защо, ако обърнем посоката на времето, физичните закони трябва да се променят; те не спазват T симетрията.

Ранната Вселена положително не се е подчинявала на T симетрия: с хода на времето напред Вселената се разширява; ако тече назад, Вселената би трябвало да се свива. А след като има сили, които не спазват T симетрията, следва, че с разширението на Вселената тези сили могат да предизвикат превръщането на повече антиелектрони в кварки, отколкото на електрони в антикварки. След това, когато Вселената се разширява и изстива, антикварките ще анихилират с кварките, но тъй като ще има повече кварки, отколкото антикварки, ще остане малък излишък от кварки. Именно те съставят материята, която виждаме днес и от която ние самите сме направени. Така самото ни съществуване може да се разглежда като потвърждение на теориите на Великото обединение, макар и само в качествено отношение; неопределеностите са такива, че не само не можем да предскажем броя на кварките, които ще останат след аниhilацията, а дори това, дали ще са кварки или антикварки. (Ако излишъкът е от антикварки обаче, просто ще трябва да наречем антикварките кварки, а кварките антикварки.)

Теориите на Великото обединение не включват гравитационното взаимодействие. Това няма особено значение, тъй като гравитацията е толкова слаба, че когато става дума за елементарни частици или атоми, обикновено можем да пренебрегнем нейните ефекти. Но фактът, че тя е едновременно с голям обсег и винаги привличаща, означава, че всички нейни ефекти се сумират. Поради това за достатъчно голям брой материални частици гравитационните сили могат да надделеят над останалите. Именно това е причината гравитацията да определя еволюцията на Вселената. Дори за обекти с размерите на звезда гравитационното привличане може да надделее над всички останали сили и да накара звездата да колапсира. Моята работа през 70-те години бе съсредоточена върху черните дупки, които могат да се получават от такъв звезден колапс, и върху силните гравитационни полета около тях. Именно те подсказаха за първи път как теориите на квантовата механика и общата теория на относителността могат да си оказват взаимно влияние — една бегла представа за предстоящата квантова теория на гравитацията.

6. ЧЕРНИ ДУПКИ

Терминът *черна дупка* се появи съвсем наскоро. Той бе изкован през 1969 г. от американския учен Джон Уилър като графично описание на една идея, която ни връща назад поне 200 години по времето, когато имаше две теории за светлината: едната, подкрепяна от Нютон, беше, че светлината е съставена от частици; другата — че е съставена от вълни. Ние вече знаем, че фактически и двете теории са правилни. С дуализма вълна/частица на квантовата механика светлината може да се разглежда и като вълни, и като частици. Според теорията, че светлината е съставена от вълни, не беше ясно как тя би реагирала на гравитацията. Но ако е съставена от частици, можем да очакваме

те да се влияят от гравитацията по същия начин както гюлетата, ракетите и планетите. Отначало хората смятали, че частиците на светлината се движат безкрайно бързо, така че гравитацията не е в състояние да ги забави, но откритието на Рьомер, че светлината се движи с крайна скорост, показва, че вероятно гравитацията играе важна роля.

През 1783 г. преподавателят от Кеймбридж Джон Мичъл публикувал своя работа върху това предположение в списанието на Лондонското кралско дружество „Философичъл Транзакшънс“. Той отбелязва, че една достатъчно масивна и компактна звезда би имала толкова силно гравитационно поле, че светлината не би могла да я напусне: всяка светлина, излъчена от звездната повърхност, ще бъде върната обратно от звездното гравитационно привличане, преди да се е отдалечила. Мичъл предполага, че може би съществува голям брой такива звезди. Макар че няма да можем да ги видим, защото светлината им не би стигнала до нас, все пак ще усетим тяхното гравитационно привличане. Сега наричаме тези обекти черни дупки, защото те са именно това: черни кухини в пространството. Подобно предположение е направено няколко години по-късно от френския учен маркиз Дьо Лаплас, очевидно независимо от Мичъл. Интересен е фактът, че Лаплас го е включил само в първото и второто издание на своята книга „Система на Света“, но не и в по-късните; може би е решил, че това е безумна идея. Освен това корпускулярната теория на светлината бе изпаднала в немилост през XIX в.; вълновата теория сякаш обясняваше всичко, но според нея не беше ясно дали гравитацията изобщо оказва влияние на светлината.

Всъщност едва ли е много смислено да третираме светлината както гюлето според Нютоновата теория за гравитацията, защото скоростта на светлината е постоянна. (Изстреляното нагоре гюле ще бъде забавяно от гравитацията и накрая ще спре и ще падне на земята; един фотон обаче ще продължи да се движи нагоре с постоянна скорост. Тогава как Нютоновата гравитация може да влияе на светлината?) Състоятелна теория за влиянието на гравитацията върху светлината липсваше чак до 1915 г., когато Айнщайн предложи своята обща теория на относителността. Но дори и тогава трябваше да мине доста време, преди да бъдат разбрани следствията от тази теория за масивни звезди.

За да разберем как може да се образува една черна дупка, първо трябва да познаваме цикъла на живот на една звезда. Една звезда се образува, когато голямо количество газ (най-вече водород) започне да се свива сам поради гравитационното си привличане. При това свиване атомите на газа се сблъскват помежду си все по-често и по-често и с все по-голяма скорост — газът се загрива. Накрая газът става толкова горещ, че когато водородните атоми се сблъскват, те вече не отскачат един от друг, а се сливат и образуват хелий. Освободената топлина при тази реакция, която е подобна на контролирана експлозия на водородна бомба, е причина звездата да започне да свети. Освен това тази допълнителна топлина също увеличава налягането на газа, докато то стане достатъчно да уравни гравитационното привличане, и газът преставя да се свива. Също както при балона — съществува равновесие между налягането на въздуха в него, което се опитва

да разшири балона, и спъването на каучука, което се опитва да направи балона по-малък. Звездата остава в това стабилно състояние дълго време, като топлината от ядрените реакции уравновесява гравитационното привличане. Накрая обаче звездата изразходва своя водород и другите си ядрени горива. Парадоксално е, че с колкото повече гориво започва една звезда, толкова побързо тя го изразходва. А това е така, защото колкото по-масивна е звездата, толкова по-гореща трябва да бъде, за да уравни своето гравитационно привличане. А колкото по-гореща е, толкова по-бързо ще изразходва горивото си. Вероятно нашето Слънце разполага с достатъчно гориво за следващите 5 млрд. години, но по-масивните звезди ще изразходват горивото си за по-малко от около 100 млн. години — много по-малко от възрастта на Вселената. Когато една звезда остане без гориво, тя започва да се охлажда и да се свива. Какво става с нея тогава, се изясни едва в края на двадесетте години.

През 1928 г. един дипломиран се студент от Индия, Субраманиян Чандрасекар, отплувал за Англия, за да учи в Кеймбридж при английския астроном сър Артур Едингтън — специалист по общата теория на относителността. (Разказват, че в началото на 30-те години някакъв журналист казал на Едингтън, че се говори, че има само трима души в света, които разбират общата теория на относителността. Едингтън замълчал, а после отвърнал: „Опитвам се да се сетя кой е третият.“) По време на пътешествието си от Индия Чандрасекар извел колко голяма може да е една звезда, за да устоява на собствената си гравитация, след като е изразходвала цялото си гориво. Идеята била такава: когато една звезда стане малка, материалните частици се приближават една до друга, така че според принципа за забраната на Паули скоростите им трябва да са твърде различни. Това ги кара да се раздалечат, което пък води до разширяване на звездата. Поради това една звезда може да запази постоянен радиуса си с уравновесяване на гравитационното привличане с отблъскването, възникващо от принципа за забраната, също както в по-раншния ѝ живот гравитацията се е уравновесявала от топлината.

Чандрасекар съзнавал обаче, че съществува една граница на отблъскването, което принципът за забраната може да осигури. Теорията на относителността ограничава максималната разлика в скоростите на материалните частици в звездата до скоростта на светлината. Това значи, че когато звездата стане достатъчно плътна, отблъскването, причинено от принципа на Паули, ще стане по-малко от гравитационното привличане. Чандрасекар изчислил, че хладна звезда с маса, по-голяма от около 1,5 пъти масата на Слънцето, не би могла да устои на собствената си гравитация. (Тази маса сега е известна като граница на Чандрасекар.) Подобно откритие било направено почти по същото време от руския учен Лев Давидович Ландау.

Откритието имало сериозни последици за окончателната съдба на масивните звезди. Когато масата на звездата е под границата на Чандрасекар, след време тя престава да се свива и се успокоява до възможно окончателно състояние като „бяло джудже“ с радиус няколко хиляди мили и плътност стотици тонове на кубичен инч. Съгласно принципа на Паули бялото джудже съществува поради отблъскване между електроните в неговото вещество. Ние наблюдаваме

голям брой бели джуджета. Едно от първите открити бели джуджета е звезда, обикаляща около Сириус — най-ярката звезда на нощното небе.

Ландау отбелязва, че съществува и друго възможно окончателно състояние за една звезда, също с гранична маса около един-два пъти по-голяма от тази на Слънцето, но и много по-малка по размери даже от бяло джудже. Съгласно принципа на Паули тези звезди съществуват поради отблъскването между неутрони и протони вместо между електрони. Поради това те са наречени неутронни звезди. Техният радиус е вероятно само около десет мили, а плътността им е стотици милиони тонове на кубичен инч. По времето, когато съществуването на неутронни звезди бе предсказано за първи път, нямаше как да се наблюдават. Всъщност такива звезди бяха открити доста по-късно.

От друга страна, звездите с маса над границата на Чандрасекар се изправят пред голям проблем, когато свършат горивото си. В някои случаи те се взривяват или успяват да изхвърлят достатъчно вещество, така че да намалят масата си под границата и така да избегнат катастрофалния гравитационен колапс, но трудно можем да повярваме, че това винаги става, независимо колко голяма е звездата. Как звездата разбира, че трябва да свали от теглото си? А дори всяка звезда да успее да се освободи от достатъчно маса, за да избегне колапс, какво би станало, ако добавим маса към едно бяло джудже или неутронна звезда и те надминат границата? Дали ще колапсират до безкрайна плътност?

Едингтън бил потресен от това следствие и отказал да повярва на резултата на Чандрасекар. Според Едингтън просто не било възможно една звезда да се свие до точица. Така смятали и повечето учени: самият Айнщайн написал един труд, в който твърдял, че звездите не могат да се свиват до нулев размер. Враждебността на другите учени и особено на Едингтън, предишния му учител и водещ специалист по въпроса за строежа на звездите, принудили Чандрасекар да се откаже от тази насока в дейността си и да се обърне към други проблеми в астрономията, каквито са движението на куповете от звезди. Нобеловата награда за 1983 г. му била присъдена поне отчасти за предишния труд по граничната маса на хладните звезди.

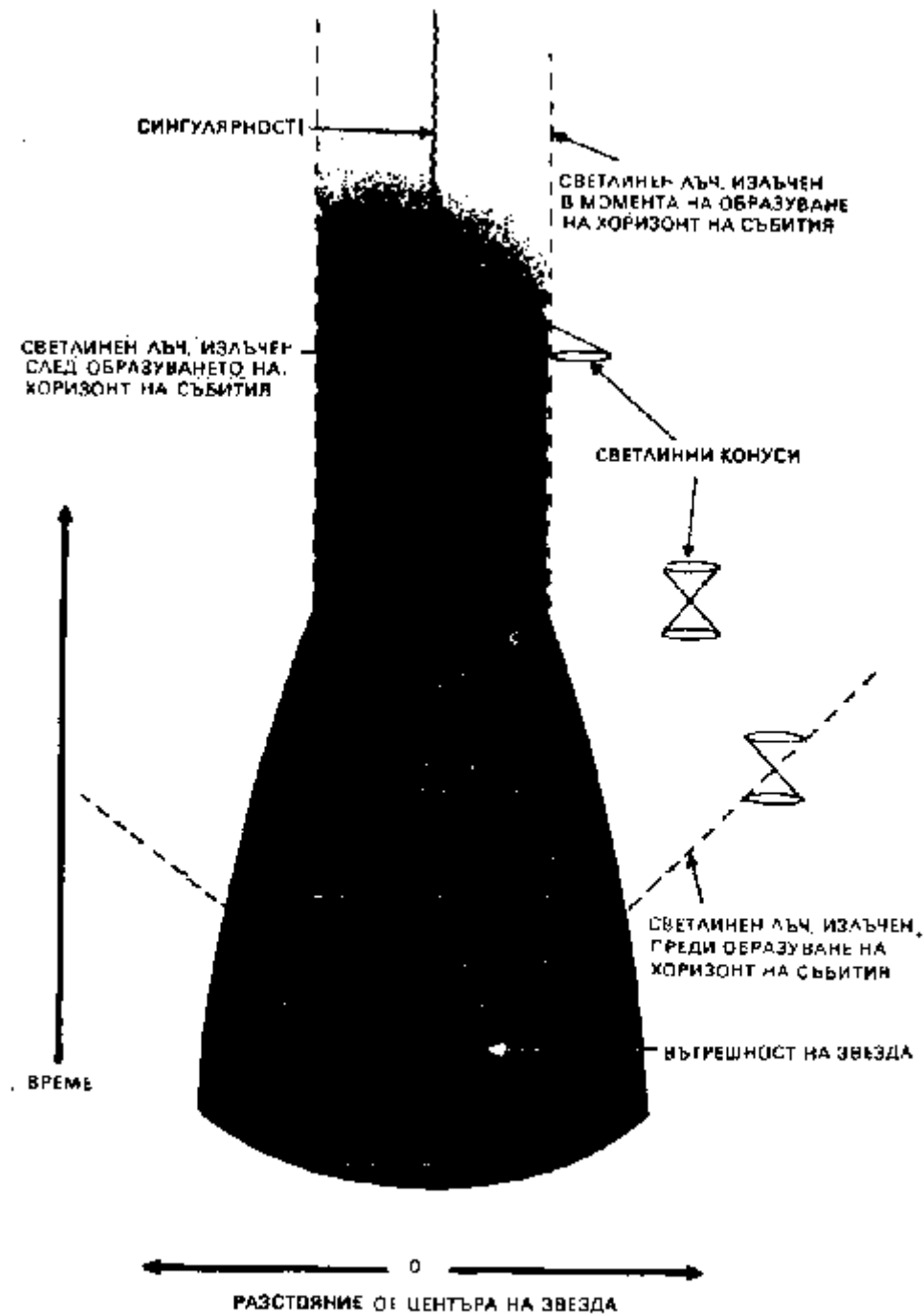
Чандрасекар показал, че принципът за забраната на Паули не може да попречи на колапса на звезда, по-масивна от границата на Чандрасекар, но проблемът по изясняването на въпроса, какво би станало с такава звезда според общата теория на относителността, бил решен за първи път от младия американски учен Робърт Опенхаймер през 1939 г. Получените от него резултати сочели обаче, че вероятно няма да има следствия, които да могат да се наблюдават със съществуващите по това време телескопи. Тогава настъпила Втората световна война и самият Опенхаймер бил плътно зает с проекта за атомна бомба. След войната проблемът за гравитационния колапс бил в голяма степен забравен, тъй като повечето учени били заети с въпроса, какво става на ниво атом и атомно ядро. През годините след 1960-а обаче интересът към едромасштабните проблеми в астрономията и космологията се възродил благодарение на нарасналите по брой и обхват астрономически наблюдения в резултат на

прилагането на модерна техника. Тогава трудът на Опенхаймер бил преоткрит и разширен от мнозина.

Представата, която вече имаме от труда на Опенхаймер, е следната: гравитационното поле на звездата отклонява пътя на светлинните лъчи в пространство-времето от този, който те биха имали, ако звездата не присъстваше. Светлинните конуси, които показват пътищата в пространството и времето чрез светлинни проблясъци, излъчени от техните върхове, са огънати леко навътре в близост до повърхността на звездата. Това може да се види в сгъването на светлината от далечни звезди, наблюдавано по време на слънчево затъмнение. Когато звездата се свива, гравитационното поле на повърхността ѝ става по-силно и светлинните конуси повече се огъват навътре. Това затруднява излизането на светлината от звездата и за далечен наблюдател светлината изглежда по-слаба и по-червена. Накрая, когато звездата се свие до определен критичен радиус, гравитационното поле при повърхността така нараства и светлинните конуси се огъват толкова навътре, че светлината вече не може да излезе (фиг. 6.1). Според теорията на относителността нищо не може да се движи по-бързо от светлината. А щом светлината не може да излезе, то и нищо друго не може: всичко се връща обратно от гравитационното поле. И така имаме множество от събития, една област в пространство-времето, от която не е възможно да се излезе, за да се стигне до далечен наблюдател. Тази област вече наричаме черна дупка. Нейната граница се нарича хоризонт на събитията и тя съвпада с пътищата на светлинните лъчи, които вече не могат да излязат от черната дупка.

За да разберем какво бихме видели, ако наблюдаваме звезден колапс да образува черна дупка, трябва да си припомним, че в теорията на относителността няма абсолютно време. Всеки наблюдател ще има собствено време. За някой, който е на звездата, времето ще се различава от това за някой на разстояние от нея поради гравитационното поле на звездата. Да предположим, че някой дързък астронавт е на повърхността на колапсираща звезда, колапсира с нея и изпраща ежесекундни сигнали по своя часовник към космическия си кораб, обикалящ около звездата. В някой момент по неговия часовник, да кажем в 11,00, звездата ще се свие под критичния радиус, когато гравитационното поле става толкова силно, че нищо не може да излезе навън от него, и сигналите от астронавта вече няма да достигат до кораба. С приближаването на 11,00 неговите спътници, наблюдаващи от космическия кораб, ще установят, че интервалите между последователните сигнали от астронавта ще стават все по-дълги и по-дълги, но този ефект ще е твърде слаб преди 10,50,50. Те ще трябва да чакат само малко повече от секунда между сигнала от 10,59,58 на астронавта и сигнала, който той изпраща, когато неговият часовник показва 10,59,59, но ще трябва вечно да чакат за сигнала 11,00. За хората на космическия кораб светлинните вълни, излъчени от повърхността на звездата между 10,59,59 и 11,00 по часовника на астронавта, ще се разпростират в един безкраен период от време. Времевият интервал между пристигането на последователните вълни до кораба ще става все по-голям и по-голям, така че светлината от звездата ще изглежда все по-червена и все по-слаба. Накрая звездата ще стане толкова слабичка, че вече няма да

може да се вижда от космическия кораб: всичко, което би останало, е само черна дупка в пространството. Звездата обаче ще продължи да упражнява същата гравитационна сила върху космическия кораб, който би продължил да обикаля около черната дупка.



ФИГУРА 6.1

Сценарият обаче не е съвсем реалистичен поради следната трудност. Колкото по-далеч сте от звездата, толкова по-слаба става гравитацията, така че гравитационната сила върху краката на дръзкия ни астронавт винаги ще бъде по-голяма от силата върху главата му. Тази разлика между силите ще разпъне нашия астронавт като макарон или ще го разкъса, преди звездата да

се е свила до критичния радиус, при който се образува хоризонтът на събитията! Ние смятаме обаче, че съществуват много по-големи обекти във Вселената, като например централните области на галактиките, които също могат да претърпят гравитационен колапс и да образуват черни дупки; на някои от тях астронавтът няма да бъде разкъсан, преди да се е образувала черната дупка. Фактически той няма да почувства нищо особено, когато достигне критичния радиус, и може да премине точката, от която няма връщане назад, без да забележи. Но само за няколко часа, докато областта продължава да колапсира, разликата между гравитационните сили върху главата и краката му ще стане толкова голяма, че пак ще го разкъса.

Съвместната ни работа с Роджър Пенроуз в периода между 1965 и 1970 г. показва, че според общата теория на относителността трябва да съществува сингулярност с безкрайна плътност и безкрайна кривина на пространство-времето в черната дупка. Това е нещо като Големия взрив в началото на времето, но в случая ще бъде край на времето за колапсиращото тяло и астронавта. В тази сингулярност научните закони и нашите възможности да предскажем бъдещето се провалят. Но всеки наблюдател извън черната дупка остава незасегнат от провалянето на предсказуемостта, тъй като нито светлината, нито какъвто и да било друг сигнал от сингулярността ще могат да стигнат до него. Този забележителен факт накара Роджър Пенроуз да предложи хипотезата за космическата цензура, която е нещо като парафразата „Бог ненавижда гола сингулярност“. С други думи, сингулярностите в резултат на гравитационен колапс настъпват само в места като черните дупки, където са благоприличие скрити от външен поглед чрез хоризонта на събития. Точно казано, това е известно като хипотезата за слаба космическа цензура: тя защитава наблюдателите, останали извън черната дупка, от последиците от провалянето на предсказуемостта, което настъпва в сингулярността, но съвсем не помага на бедния нещастен астронавт, който пада в дупката.

Съществуват решения на уравненията от общата теория на относителността, при които е възможно нашият астронавт да види гола сингулярност: може и да успее да избегне сингулярността и вместо в нея да попадне в „червоядина“ и да излезе в друга част на Вселената. Това би предложило чудесни възможности за пътешествия в пространството и времето, но за съжаление, изглежда, че всички тези решения са твърде неустойчиви: и най-малкото смущение, например присъствието на астронавт, може да ги измени така, че за астронавта да стане невъзможно да види сингулярността до момента, в който се сблъска с нея и времето му свърши. С други думи, сингулярността винаги ще се намира в неговото бъдеще и никога в миналото му. Силната версия на хипотезата за космическа цензура гласи, че в едно реалистично решение сингулярностите винаги ще са или изцяло в бъдещето (както сингулярностите от гравитационния колапс), или изцяло в миналото (както Големият взрив). Приятно е да се надяваме, че някоя от версиите на хипотезата е в сила, защото близо до голите сингулярности може да е възможно пътуване в миналото. Макар да е чудесно за писателите на научна фантастика, това би означавало ничий живот никога да не е в безопасност:

някой може да отиде в миналото и да убие баща ви или майка ви още преди да сте заченат!

Хоризонтът на събития, границата на пространство-времева област, от която не може да се избяга, действа като еднопосочна мембрана около черната дупка: обекти като непредпазливи астронавти могат да паднат през хоризонта на събития в черната дупка, но нищо не може никога да се измъкне от черната дупка през хоризонта на събитията. (Не забравяйте, че хоризонтът на събития е пътят на светлината в пространство-времето, която светлина се опитва да избяга от черната дупка, а нищо не може да се движи по-бързо от светлината.) За хоризонта на събития спокойно можем да цитираме казаното от Данте за входа на ада: „О, вий, кои пристъпате този праг, надежда всяка оставете“. Всичко или всеки, който падне през хоризонта на събития, скоро ще стигне областта с безкрайна плътност и края на времето.

Общата теория на относителността предсказва, че движещи се тежки обекти ще предизвикат излъчването на гравитационни вълни, набръчквания в кривината на пространството, които се движат със скоростта на светлината. Те са подобни на светлинните вълни, които са набръчквания на електромагнитното поле, но за разлика от тях много по-трудно се регистрират. Подобно на светлината те отнасят енергия от обектите, които ги излъчват. Поради това може да се очаква, че една система от масивни обекти накрая достига стационарно състояние, тъй като при всяко движение енергията ще се отнася с излъчването на гравитационни вълни. (Както при хвърляне на корк във вода: отначало той подскача нагоре-надолу, но тъй като вълните отнемат от енергията му, накрая достига стационарно състояние.) Например движението на Земята по орбитата ѝ около Слънцето създава гравитационни вълни. Ефектът от загубата на енергия се изразява в промяна на земната орбита така, че тя постепенно се приближава към Слънцето, докато накрая се сблъсква с него и достига до стационарно състояние. Скоростта на загуба на енергия в случая със Земята и Слънцето е твърде ниска: почти толкова, колкото е необходимата за малък електронагревател. Това означава, че Земята ще трябва да пътува до Слънцето за приблизително 10^{27} години, така че засега няма защо да се тревожим! Промяната в орбитата на Земята е твърде бавна, за да се наблюдава, но същият ефект е наблюдаван през последните години в системата, наречена PSR 1913 + 16 (където PSR означава „пулсар“ — специфична неутронна звезда, която регулярно излъчва радиовълнови импулси). Тази система съдържа две неутронни звезди, обикалящи една около друга, а енергията, която губят поради излъчване на гравитационни вълни, предизвиква движение по спирала една към друга.

При гравитационния колапс на звезда, когато се образува черна дупка, движенията ще са много по-бързи, така че скоростта, с която енергията се отнася, ще е много по-висока. Ето защо не след дълго тя ще достигне до стационарно състояние. Как ще изглежда този краен стадий? Може да се предположи, че той ще зависи от всички комплексни характеристики на звездата, от които е образувана — не само от нейната маса и скорост на въртене, но и от различните плътности на отделните области от звездата и от сложното движение на газовете във вътрешността ѝ. А ако черните дупки са толкова разнообразни, колкото

обектите, при чийто колапс се образуват, може би ще се окаже много трудно да направим изобщо никакви предсказания за черните дупки.

През 1967 г. обаче канадският учен Вернер Израел, роден в Берлин, израснал в Южна Африка и получил докторска степен в Ирландия, направи революция в изследването на черните дупки. Израел показа, че според общата теория на относителността невъзможните се черни дупки трябва да са твърде прости; те са идеално сферични, размерът им зависи само от тяхната маса и всеки две такива черни дупки с еднаква маса са идентични. Фактически те могат да се опишат с едно частно решение на Айнщайновите уравнения, известно още от 1917 г. и намерено от Карл Шварцшилд малко след откриването на общата теория на относителността. Първоначално мнозина, включително самият Израел, твърдяха, че след като черните дупки трябва да са идеално сферични, една черна дупка би могла да се образува само при колапса на идеално сферичен обект. Всяка реална звезда — която никога не би била *идеално* сферична — би трябвало само да колапсира, за да се образува гола сингулярност.

Има обаче и друга интерпретация на резултата на Израел, отстоявана в частност от Роджър Пенроуз и Джон Уилър. Те твърдят, че бързите движения при звездния колапс означават, че гравитационните вълни, отделяни от звездата, я правят по-сферична и когато достигне до стационарно състояние, тя трябва да е идеална сфера. Според това гледище всяка невъзможна се звезда, независимо колко сложни са формата и вътрешният ѝ строеж, след гравитационен колапс ще завърши с идеално сферична черна дупка, чийто размер ще зависи само от нейната маса. По-нататъшните изчисления подкрепиха това гледище и скоро то бе общоприето.

Резултатът на Израел се отнася до черни дупки, образувани само от невъзможни се тела. През 1963 г. новозеландецът Рой Кер намери множество решения на уравненията от общата теория на относителността, описващи въртящи се черни дупки. „Черните дупки на Кер“ се въртят с постоянна скорост, като размерът и формата им зависят само от тяхната маса и скорост на въртене. Ако въртенето е нулево, черната дупка е съвършено кръгла и решението е същото като решението на Шварцшилд. Когато въртенето е ненулево, черната дупка се издува около екватора си (също както Земята и Слънцето се издуват поради въртенето си) и колкото по-бързо се върти, толкова повече се издува.

И така, за да се разпростре решението на Израел и за въртящи се тела, прие се, че всяко въртящо се тяло, което колапсира до образуване на черна дупка, накрая достига стационарно състояние, описано от решението на Кер.

През 1970 г. един колега и мой аспирант от Кеймбридж — Брандън Картър — пое първата стъпка към доказване на това предположение. Той показа, че когато една стационарна въртяща се черна дупка има ос на симетрия подобно на въртящ се пумпал, размерът и формата ѝ ще зависят единствено от нейната маса и скорост на въртене. След това през 1971 г. аз доказах, че всяка стационарна въртяща се черна дупка всъщност има такава ос на симетрия. Накрая през 1973 г. Дейвид Робинсън от Кингс Колидж в Лондон използва получените от Картър и

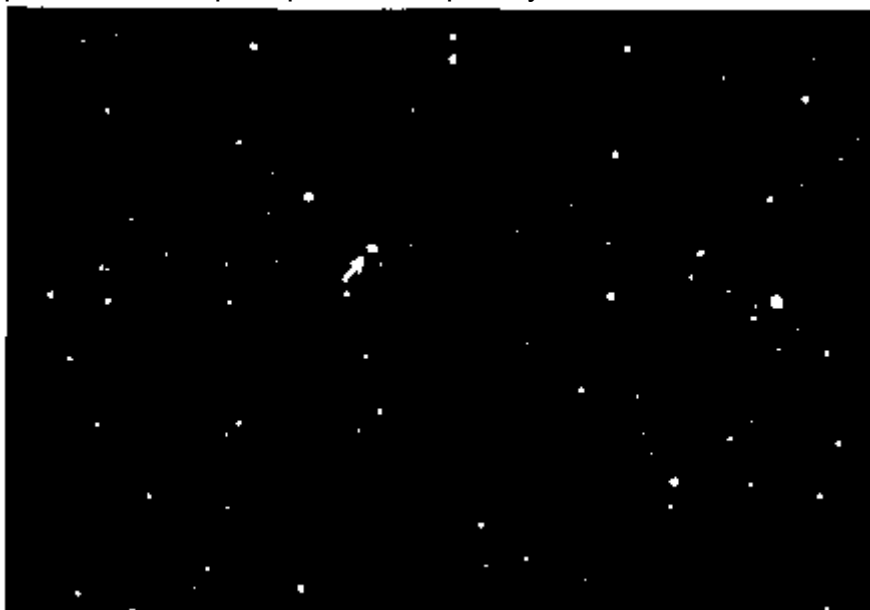
мен резултати, за да покаже, че догадката е правилна: такава черна дупка наистина трябва да е решението на Кер. И така след гравитационен колапс една черна дупка трябва да достигне до състояние, в което да може да се върти, но не и да пулсира. Нещо повече, размерът и формата ѝ ще зависят само от нейната маса и скорост на въртене, но не и от естеството на тялото, чийто колапс е довел до образуването ѝ. Този резултат стана известен с максимата „черната дупка няма коса“. Теоремата, че черните дупки нямат коса, е с голямо практическо значение, защото тя силно ограничава възможните видове черни дупки. Това ни позволява да направим подробни модели на обекти, които могат да съдържат черни дупки, и да сравним предсказанията на моделите с наблюденията. Това означава, че при образуването на черна дупка се губи голямо количество информация за тялото, което колапсира, защото впоследствие единственото, което можем да определим за това тяло, са неговата маса и скорост на въртене. Какво значение има това, ще видим в следващата глава.

Черните дупки са един от твърде малкия брой случаи в историята на науката, когато една теория бива развита в големи подробности като математически модел, преди да има наблюдателни доказателства, че е правилна. Фактически това се оказва главният аргумент на опонентите на черните дупки: как може да се вярва в обекти, за които единственото доказателство са изчисления на базата на съмнителната обща теория на относителността?

През 1963 г. обаче Мартен Шмит, астроном от Паломарската обсерватория в Калифорния, измери червеното отместване на един слаб звездopodobен обект в посоката на източника на радиовълни, наречен 3C273 (т.е. източник № 273 в Третия кеймбриджски каталог на радиоизточниците). Той установи, че отместването е прекалено голямо, за да се дължи на гравитационно поле: ако беше гравитационно червено отместване, обектът трябваше да е толкова масивен и толкова близо до нас, че би изменил планетните орбити в Слънчевата система. Това предполагаше, че червеното отместване се дължи на разширението на Вселената, което от своя страна означава, че обектът е на твърде голямо разстояние от нас. А за да е видим при такова огромно разстояние, обектът би трябвало да е твърде ярък, трябва, с други думи, да излъчва страхотно количество енергия. Единственият механизъм, който можехме да си представим, че ще даде такова огромно количество енергия, сякаш беше гравитационният колапс не просто на звезда, а на цяла централна област на галактика. Бяха открити и други подобни „квазизвездни обекти“, или квазари, всички с голямо червено отместване. Но всички те са много отдалечени и поради това твърде трудно могат да се наблюдават, за да се представят убедителни доказателства за черни дупки.

Допълнителна подкрепа за съществуването на черни дупки се появи през 1967 г. с откритието на аспирантката от Кеймбридж Джослин Бел на небесни обекти, които излъчват регулярни радиовълнови импулси. Първоначално Бел и нейният ръководител Антъни Хюиш мислели, че са установили контакт с чужда цивилизация от Галактиката! Фактически на семинара, когато обявиха своето откритие, си спомням, че нарекоха първите четири източника, които бяха

открили, LGM1—4, където LGM значи „малки зелени човечета“. Накрая обаче и те, и всички останали стихнахме до не така романтичния извод, че тези обекти, наречени *пулсари*, са всъщност въртящи се неутронни звезди, които излъчват радиовълнови импулси в резултат на сложно взаимодействие между техните магнитни полета и заобикалящата ги материя. Това разочарова авторите на космически уестърни, но много обнадежди малцината като нас, които вярваха в черните дупки по това време; то бе първото потвърждение, че неутронни звезди съществуват. Една неутронна звезда е с радиус около 10 мили — само няколко пъти над критичния радиус, при който звездата започва да става черна дупка. След като една звезда може да колапсира до такива малки размери, не бе неразумно да очакваме, че други звезди биха колапсирали до още по-малки размери и биха се превърнали в черни дупки.

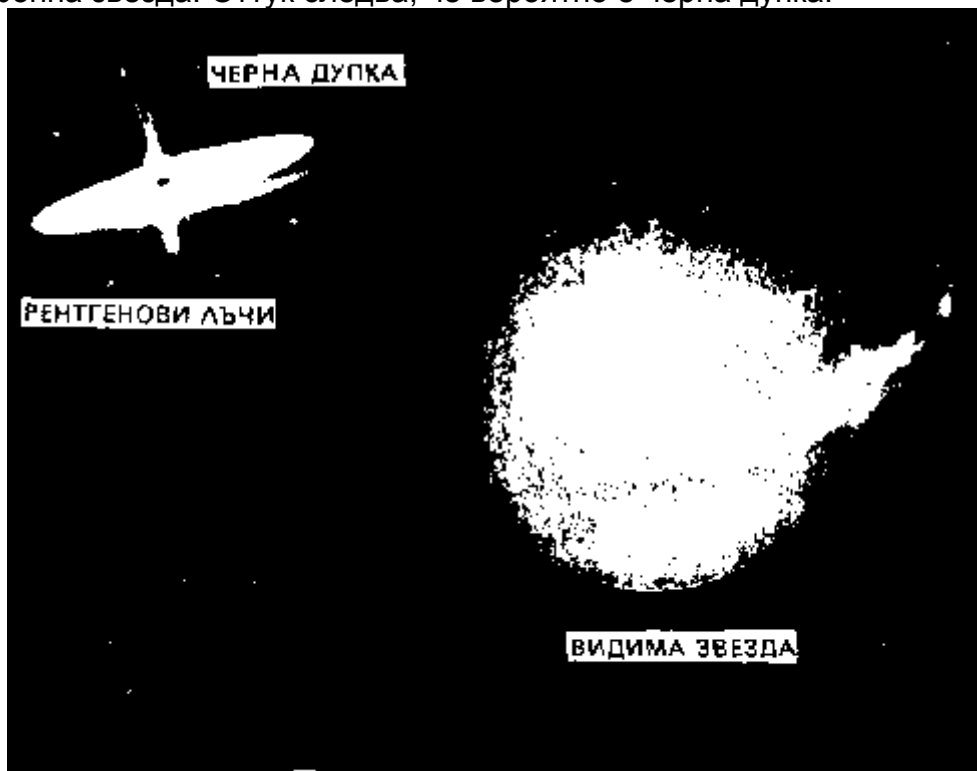


ФИГУРА 6.2

Към фигурата: *По-ярката от двете звезди почти в центъра на fotografiaта е Лебед X-1, за която се предполага, че се състои от черна дупка и нормална звезда, които обикалят една около друга*

Но как да очакваме да открием черна дупка, след като по дефиниция тя не излъчва никаква светлина? Може да ви се стори, че е все едно да търсим черна котка в мазе с въглища. За щастие, начин има. Както Джон Мичъл бе отбелязал в своята пионерска работа от 1783 г., черната дупка продължава да упражнява гравитационно действие върху съседните ѝ обекти. Астрономите са наблюдавали много системи, в които две звезди обикалят една около друга, привлечени помежду си от гравитацията. Освен това те наблюдават и системи, в които има само една видима звезда, обикаляща около някакъв невидим спътник. Разбира се, не можем веднага да решим, че спътникът е черна дупка: той може просто да е звезда, твърде слаба, за да е видима. Някои от тези системи обаче, като наречената Лебед X-1 (фиг. 6.2) са освен това силни източници на рентгенови лъчи. Най-доброто обяснение за това явление е, че от повърхността на видимата звезда се отнася материя. С падането си към невидимия спътник тя има спирално движение (подобно на вода, изтичаща от

вана), става много гореща и започва да излъчва рентгенови лъчи (фиг. 6.3). За да работи този механизъм, невидимият обект трябва да е много малък, например да е бяло джудже, неутронна звезда или черна дупка. От наблюдаваната орбита на видимата звезда може да се определи най-ниската възможна маса на невидимия обект. В случая с Лебед X-1 тя е около 6 пъти масата на Слънцето, която според резултата на Чандрасекар е твърде голяма, за да може видимият обект да е бяло джудже. Масата е твърде голяма и за неутронна звезда. Оттук следва, че вероятно е черна дупка.



ФИГУРА 6.3

Съществуват и други модели за обясняване на Лебед X-1, които не включват черна дупка, но всички те са прекалено умозрителни. Изглежда, че черната дупка е единственото наистина реално обяснение на наблюденията. И въпреки това аз се хванах на бас с Кип Торн от Калифорнийския технологичен институт, че фактически Лебед X-1 не съдържа черна дупка! Това е нещо като застрахователна полица за мен. Хвърлил съм много труд по черните дупки и всичко би било напразно, ако се окаже, че черните дупки не съществуват. А в такъв случай бих имал утехата, че съм спечелил баса, който щеше да ми осигури четиригодишен абонамент за списанието „Прайвит ай“. Ако черните дупки съществуват, Кип щеше да спечели едногодишен абонамент за „Пентхауз“. Когато се обзаложихме през 1975 г., бяхме сигурни 80%, че Лебед е черна дупка. Засега бих казал, че вече сме сигурни 95%, но басът си остава.

Вече имаме доказателство за няколко черни дупки в системи като Лебед X-1 в нашата Галактика и в двете съседни галактики, наречени Магеланови облаци. Броят на черните дупки обаче е почти сигурно много по-голям; в продължителната история на Вселената много са звездите, които трябва да са изразходвали ядреното си гориво и трябва да колапсират. Броят на черните дупки може би е дори по-голям от броя на видимите звезди, които само в нашата Галактика са общо 10^{11} . Допълнителното гравитационно привличане от

такъв голям брой черни дупки би могло да обясни скоростта на въртене на нашата Галактика: само масата на видимите звезди е недостатъчна за това. Имаме и известни доказателства, че съществува една много по-голяма черна дупка с маса около 100 000 пъти масата на Слънцето в центъра на нашата Галактика. Ако някои звезди в Галактиката се приближат твърде близо до тази черна дупка, ще бъдат разкъсани от разликата между гравитационните сили за близките и далечните им страни. Техните останки и газът, изхвърлен от други звезди, ще падат към черната дупка. Както при Лебед X-1 газът ще се движи навътре по спирала и ще се загрева, макар и не в такава степен. Той няма да стане достатъчно горещ, за да излъчва рентгенови лъчи, но би могъл да обясни твърде компактия източник на радиовълни и инфрачервени лъчи, наблюдаван в галактическия център.

Предполага се, че в центъра на квазарите съществуват подобни, но много по-големи черни дупки с маси около 10^8 слънчеви маси. Веществото, попаднало в такава свръхмасивна черна дупка, осигурява единствения източник на мощност, достатъчно голям, за да обясни невероятното количество енергия, излъчвано от тези обекти. С движението си по спирала към черната дупка веществото ще накара черната дупка да се върти в същата посока, с което ще създаде магнитно поле, твърде подобно на земното. Падащата навътре материя ще породи близо до черната дупка частици с много висока енергия. Магнитното поле ще е толкова силно, че ще фокусира тези частици в струи, изхвърляни навън по оста на въртене на черната дупка, т.е. в направление на нейния северен и южен полюс. Такива струи наистина са наблюдавани в някои галактики и квазари.

Съществува и възможността да има черни дупки с маса, много по-малка от слънчевата. Такива черни дупки не биха могли да се образуват при гравитационен колапс, понеже техните маси са под границата на Чандрасекар: звездите с такава малка маса успяват да устоят на гравитационната сила дори след като са изразходвали ядреното си гориво. Черни Дупки с малка маса могат да се образуват само ако материята бъде свита до невероятна плътност под въздействие на много голямо външно налягане. Такива условия могат да настъпят в една много голяма водородна бомба: физикът Джон Уилър бе пресметнал, че ако вземем цялата тежка вода от световните океани, можем да направим водородна бомба, която така да свие материята в центъра, че да образува черна дупка. (Разбира се, никой няма да оцелее; за да я види!) Една по-реална възможност е такива черни дупки с малка маса да са били образувани при високите температури и налягания на съвсем ранната Вселена. Черните дупки биха се образували само ако ранната Вселена не е била идеално гладка и еднородна, защото само една малка област, по-плътна от средното, би могла да се свие, за да образува черна дупка. Но ние знаем, че вероятно е имало някои неправилности, тъй като в противен случай материята във Вселената щеше и сега да е идеално равномерно разпределена, а нямаше да е групирана в звезди и галактики.

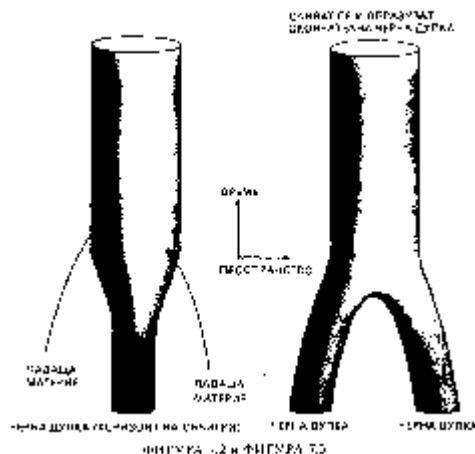
Дали неправилностите, изисквани за обясняване на звездите и галактиките, биха довели до образуването на значителен брой „първични“ черни дупки, несъмнено зависи от детайлите в състоянието на ранната Вселена.

Така че, ако бихме могли да определим колко първични черни дупки има сега, ще научим доста за съвсем ранните стадии на Вселената. Първични черни дупки с маса повече от 10^9 тона (масата на голяма планина) могат да се открият само по гравитационното им влияние върху друга, видима материя или върху разширението на Вселената. Но както ще научим в следващата глава, черните дупки всъщност не са наистина черни, те светят като горещо тяло и колкото по-малки са, толкова по-силно светят. Колкото и парадоксално да е, фактически ще се окаже, че е по-лесно да откриеш малка, отколкото по-голяма черна дупка!

7. ЧЕРНИТЕ ДУПКИ НЕ СА ТОЛКОВА ЧЕРНИ

През 1970 г. моите изследвания върху общата теория на относителността бяха съсредоточени главно върху въпроса, имало ли е или не сингулярност в Големия взрив. Но една вечер през ноември тази година, малко след раждането на дъщеря ми Луси, започнах да си мисля за черните дупки, докато се готвех да си легна. Поради недъга ми този процес е твърде бавен, така че имах време колкото си искам. Тогава все още нямаше точна дефиниция на това, кои точки в пространство-времето лежат в черна дупка и кои извън нея. Вече бях обсъждал с Роджър Пенроуз идеята за дефиниране на черна дупка като множество от събития, от които не е възможно да се избяга далеч — вече едно общоприето определение. То означава, че границата на черната дупка, хоризонтът на събития, се образува от пътищата на светлинните лъчи в пространство-времето, които вече не могат да избягат от черната дупка и започват вечно да кръжат по нейния ръб (фиг. 7.1). Все едно да бягаш от полицаи и да успяваш да запазиш крачка дистанция, но да не можеш да му убегнеш!

Изведнъж осъзнах, че пътищата на тези светлинни лъчи никога не могат да се сближат. Ако можеха, те трябваше накрая да се влеят един в друг. Все едно да срещнеш някой, който бяга от полицаи в противоположна посока — и двамата ще ви хванат! (Или в този случай — ще паднете в черна дупка.) Но ако тези светлинни лъчи бяха погълнати от черната дупка, те нямаше да са на границата на черната дупка. Следователно пътищата на светлинните лъчи в хоризонта на събитията трябваше винаги да са успоредни или раздалечени помежду си. Друг начин да погледнем на въпроса е, че хоризонтът на събития, границата на черната дупка, е като края на сянка — сянката на неизбежна гибел. Ако погледнете сянката, хвърлена от източник на голямо разстояние — например Слънцето, ще видите, че в края светлинните лъчи не се приближават един към друг.



Точната формулировка на тази идея се нарича втори закон на термодинамиката. Според него ентропията на една изолирана система винаги нараства, а когато съберем две системи в една, ентропията на обединената система става по-голяма от сумата от ентропиите на отделните системи. Да разгледаме например система от газови молекули в една кутия. Можем да си представим молекулите като малки билиардни топки, които непрекъснато се сблъскват помежду си и отскачат от стените на кутията. Колкото по-висока е температурата на газа, толкова по-бързо се движат молекулите и поради това толкова по-чести и по-силни са ударите им върху стените на кутията и толкова

по-високо налягането им върху стените. Да предположим, че първоначално всички молекули са затворени с помощта на преграда в лявата част на кутията. Ако след това махнем преградата, молекулите ще се стремят да се разстелят и да заемат и двете половини на кутията. На някакъв по-късен етап всички те могат случайно да се окажат в дясната половина или в задната лява половина, но е несравнимо по-вероятно броят им в двете половини да е почти еднакъв. Такова състояние е с по-малък ред или с по-голямо безредие в сравнение с първоначалното състояние, при което всички молекули са в едната половина. Поради това казваме, че ентропията на газа е нараснала. Да започнем от две кутии — едната с молекули кислород, а другата с молекули азот. Ако съберем двете кутии и махнем междинната стена, молекулите кислород и азот ще започнат да се смесват. След известно време най-вероятното състояние ще бъде една сравнително еднородна смес от кислородни и азотни молекули в двете кутии. Това състояние е по-малко подредено, а следователно има по-висока ентропия в сравнение с първоначалното състояние на двете отделни кутии.

Вторият закон на термодинамиката заема твърде различно място в сравнение с останалите научни закони като закона на Нютон за гравитацията, тъй като той не важи във всички случаи, а само в огромното болшинство случаи.

Вероятността всички газови молекули от първата кутия да се окажат в едната половина на кутията в по-късен момент е едно на милиони, но все пак съществува. Ако наоколо има черна дупка обаче, изглежда, ще е много по-лесно да се наруши вторият закон: достатъчно е да хвърлим някакво вещество с голяма ентропия, например кутията с газ, в черната дупка. Общата ентропия на материята извън черната дупка ще стане по-малка. Въпреки това пак можем да кажем, че общата ентропия, включително ентропията вътре в черната дупка, не е станала по-малка, но тъй като няма как да погледнем в черната дупка, не можем да видим колко е ентропията на материята в нея. Значи няма да е зле, ако черната дупка има някаква характеристика, но която наблюдателите извън нея да могат да определят нейната ентропия и която да нараства винаги когато в черната дупка попада материя, носеща ентропия. След откритието, описано по-горе, че площта на хоризонта на събития нараства винаги когато в черната дупка попадне материя, аспирантът в Принстън Джейкъб Бекенстейн предположи, че площта на хоризонта на събития е мярка за ентропията на черната дупка. С попадането на материя, носеща ентропия в черната дупка, площта на нейния хоризонт на събития нараства, така че сумата от ентропията на материята извън черната дупка и площта на хоризонтите никога не може да стане по-малка.

Това предположение, изглежда, в повечето случаи не допуска нарушаването на втория закон на термодинамиката. Но има един фатален недостатък. Ако черната дупка има ентропия, то тя трябва да има и температура. А тяло с определена температура би трябвало в някаква степен да излъчва. Всеизвестно е, че когато пхнем ръжена в огнището, той се нажежава до червено и започва да излъчва, но и телата с по-ниска температура също излъчват; човек просто не забелязва това, защото

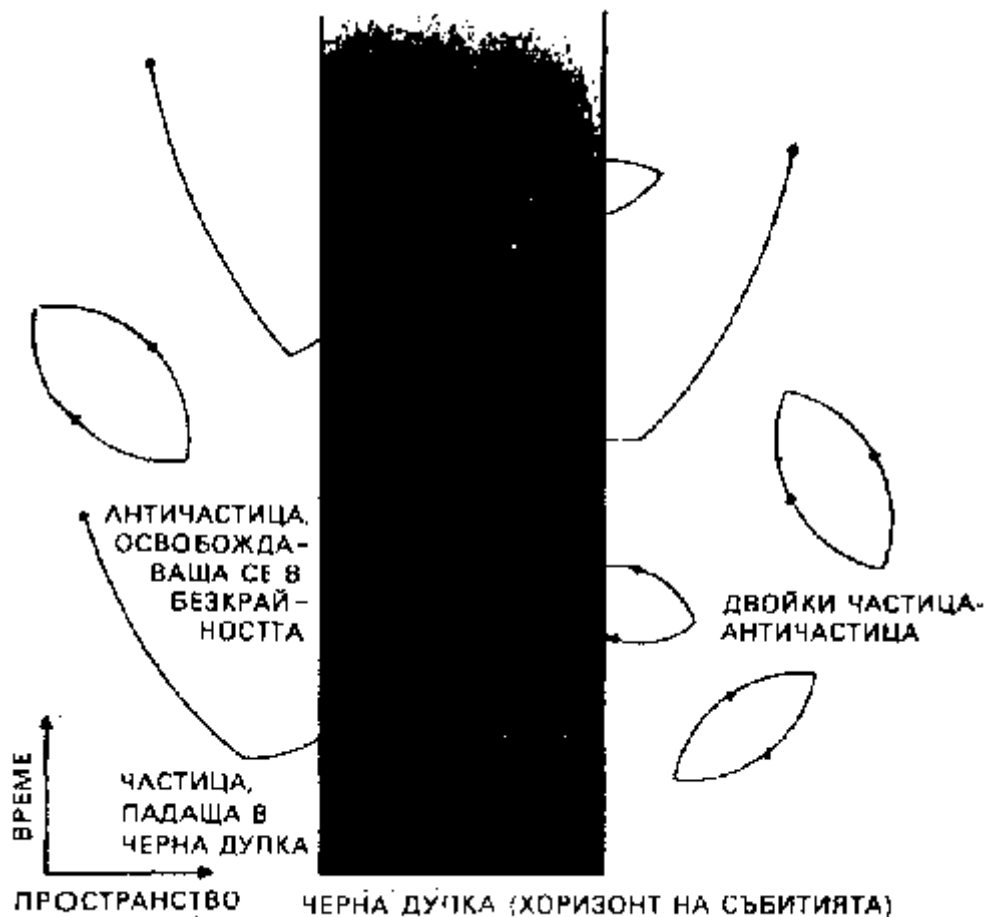
количеството е сравнително малко. Това излъчване се изисква с оглед да не се нарушава вторият закон на термодинамиката. Следователно черните дупки би трябвало да излъчват. Но по дефиниция черните дупки са обекти, за които не се предполага да излъчват каквото и да било. Ето защо не можем да разглеждаме площта на хоризонта на събития на една черна дупка като ентропия. През 1971 г. заедно с Брандън Картър и американския колега Джим Бардийн написахме един труд, в който посочихме, че макар да има голямо сходство между ентропията и площта на хоризонта на събития, съществува тази очевидно фатална трудност. Трябва да признаем, че при писането на този труд мотивацията ми отчасти бе обусловена от раздразнението ми от Бекенстейн, който според мен беше приложил погрешно моето откритие за нарастването на площта на хоризонта на събития. Оказа се обаче, че той е бил принципно прав, макар и по начин, който сигурно не е очаквал.

През 1973 г., докато бях на посещение в Москва, обсъждахме въпроса за черните дупки с двама водещи съветски специалисти — Яков Зелдович и Александър Старобински. Те ме убедиха, че съгласно принципа на неопределеността от квантовата механика въртящите се черни дупки би трябвало да създават и излъчват частици. Повярвах на физическите им аргументи, но не ми хареса математическият път, по който изчисляват излъчването. Затова се заех да намеря по-подходяща математическа трактовка, която описах на един неформален семинар в Оксфорд в края на ноември 1973 г. По това време още не бях направил изчисленията, за да намеря какво ще бъде излъчването. Очаквах да открия точно това излъчване, предсказано от Зелдович и Старобински за въртящи се черни дупки. Но когато направих изчислението, установих с учудване и яд, че даже невъртящи се черни дупки очевидно трябва да създават и излъчват частици с постоянна скорост. Първоначално сметнах, че това излъчване показва невалидността на едно от използваните от мен приближения. Уплаших се, че ако Бекенстейн разбере, ще го използва като още един аргумент в полза на своята идея за ентропията на черните дупки, която продължавах да не харесвам. Но колкото повече размишлявах, толкова повече се убеждавах, че приближенията наистина трябва да важат. Това, което окончателно ме убеди, че излъчването е действително, бе спектърът на излъчените частици — той беше точно такъв, какъвто се излъчва от горещо тяло — и че черната дупка излъчва частици точно така, за да предотврати нарушаването на втория закон. По-късно и други повториха по различни начини изчисленията. Всички потвърдиха, че една черна дупка трябва да излъчва частици и лъчение, както ако беше горещо тяло с температура, зависеща само от масата на черната дупка: колкото по-голяма е масата, толкова по-ниска ще е температурата.

Как е възможно черна дупка да излъчва частици, когато знаем, че нищо не може да избяга от нейния хоризонт на събития? Отговорът, казва квантовата теория, е, че частиците не идват от вътрешността на черната дупка, а от „празното“ пространство извън хоризонта на събития на черната дупка! Можем да разберем това по следния начин: пространството, което приемаме като „празно“, не е съвсем празно, защото това ще значи, че всички полета, например гравитационното и електромагнитното, ще трябва да са точно

нулеви. Но стойността на едно поле и неговата скорост на изменение с времето са като скоростта и положението на една частица: принципът на неопределеността твърди, че колкото по-точно знаем едната от тези две величини, толкова по-неточно ще знаем другата. Така че в празното пространство полето не може да бъде фиксирано точно на нулата, защото тогава би имало точна стойност (нула) и точна скорост на изменение (също нула). Трябва да има някакво минимално количество на неопределеност или квантови флуктуации в стойността на полето. Бихме могли да си представим тези флуктуации като двойка частици светлина или гравитация, които се явяват едновременно в някакъв момент, раздалечават се и после отново се сближават и анихилират една друга. Тези частици са виртуални, подобно на частиците, носещи гравитационното действие на Слънцето: за разлика от реалните частици те не могат да се наблюдават директно с детектор на частици. Но техните косвени влияния, като например малките изменения в енергията на електронните орбити в атома, могат да се измерят и се съгласуват изключително точно с теоретичните предсказания. Освен това принципът на неопределеността предсказва съществуването на подобни виртуални двойки от материални частици като електроните и кварките. В този случай обаче единият член на двойката ще е частица, а другият античастица (античастиците на светлината и гравитацията са еднакви с частиците).

Понеже енергията не може да се създава от нищо, единият от партньорите в двойката частица/античастица ще има положителна енергия, а другият — отрицателна. Този с отрицателна енергия е обречен да бъде краткотривееща виртуална частица, тъй като в нормални условия реалните частици имат винаги положителна енергия. Поради това той ще търси партньора си и ще анихилира с него. Но близо до едно масивно тяло една реална частица има по-малка енергия, отколкото ако е по-далече, защото ще е необходимо да поеме енергия, за да се отдалечи, преодолявайки гравитационното привличане на тялото. Обикновено енергията на частиците остава положителна, но гравитационното поле във вътрешността на една черна дупка е толкова силно, че там дори и реалната частица може да има отрицателна енергия. Поради това е възможно, ако съществува черна дупка, виртуалната частица с отрицателна енергия да падне в нея и да се превърне в реална частица или античастица. Тогава вече няма да анихилира със своя партньор. Нейният изоставен партньор също може да падне в черната дупка. Или пък, притежавайки положителна енергия, може да избяга от околността на черната дупка във вид на реална частица или античастица (фиг. 7.4). На далечен наблюдател ще му се стори, че тя е била излъчена от черната дупка. Колкото по-малка е черната дупка, толкова по-късо ще е разстоянието, което частицата с отрицателна енергия ще трябва да измине, преди да се превърне в реална частица, а следователно толкова по-голямо ще е излъчването и видимата температура на черната дупка.



ФИГУРА 7.4

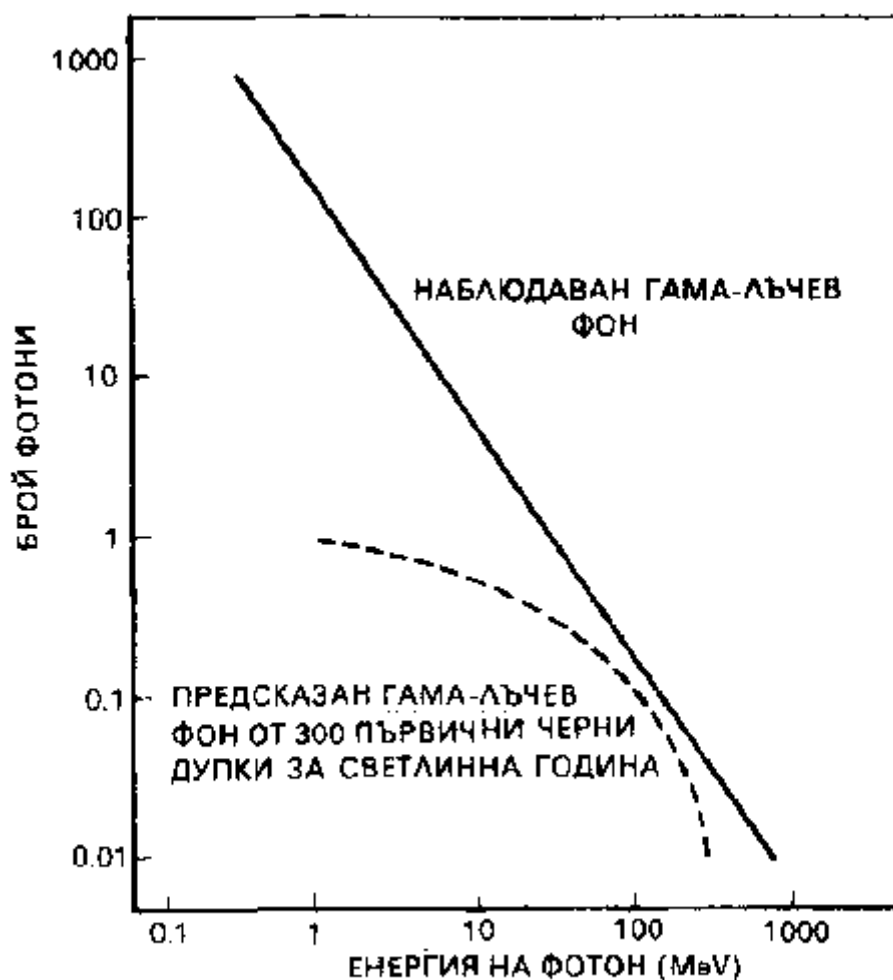
Положителната енергия на освобождаването излъчване ще се балансира от поток частици с отрицателна енергия към черната дупка. От уравнението на Айнщайн $E = mc^2$ (където E е енергията, m е масата, а c е скоростта на светлината) енергията е пропорционална на масата. Ето защо потокът от отрицателна енергия към черната дупка ще намали масата ѝ. Когато черната дупка губи маса, площта на хоризонта ѝ на събития става по-малка, но това намаление в ентропията на черната дупка е повече от компенсирано от ентропията на освободеното излъчване, така че вторият закон никога не се нарушава.

Освен това, колкото по-малка е масата на черната дупка, толкова по-висока е нейната температура. Така че, когато черната дупка губи маса, нейната температура и скорост на излъчване нарастват и тя започва по-бързо да губи маса. Какво става, когато масата на черната дупка стане изключително малка, не е съвсем ясно, но най-разумното предположение е, че тя напълно ще изчезне в един гигантски последен взрив, равностоеен на експлозията на милиони водородни бомби.

Температурата на една черна дупка с маса няколко пъти слънчевата би трябвало да е само с десет милионни от градуса по-висока от абсолютната нула. Тя е много по-ниска от температурата на микровълновото лъчение, изпълващо Вселената (около $2,7^\circ$ над абсолютната нула), така че черните дупки винаги излъчват по-малко, отколкото поглъщат. Ако съдбата на Вселената е да

продължава да се разширява вечно, температурата на микровълновото лъчение накрая ще спадне под температурата на такава черна дупка и тя ще започне да губи маса. Но дори и тогава нейната температура ще бъде толкова ниска, че ще са необходими приблизително 10^{66} години, за да се изпари напълно. Този срок е много по-дълъг от възрастта на Вселената, която е едва 1×10^{10} — 2×10^{10} години. От друга страна, както се спомена в глава 6, би трябвало да съществуват първични черни дупки с много по-малка маса, образувани от колапс на неправилностите в съвсем началните стадии на Вселената. Температурата на такива черни дупки би трябвало да е много по-висока и излъчването им да е много по-енергично. Животът на една първична черна дупка с начална маса 10^9 тона е приблизително равен на възрастта на Вселената. Първичните черни дупки с начални маси под тази стойност би трябвало вече да са напълно изпарени, но малко по-масивните от тях продължават да освобождават излъчване под формата на рентгенови и гамалъчи. Тези рентгенови и гама-лъчи са като светлинните вълни, но дължината им е много по-малка. Такива дупки едва ли заслужават прилагателното „черни“: всъщност те са *нажежени до бяло* и излъчват енергия около 10 000 мегавата.

Една такава черна дупка е в състояние да поддържа десет големи електроцентрали, само ако можем да впрегнем енергията ѝ. Това ще е много трудно обаче: масата на черната дупка ще е като планина, пресована в по-малко от 10^{-12} инча — размерът на атомното ядро! Ако на земната повърхност има една от тези черни дупки, по никакъв начин не можем да ѝ попречим да стигне центъра на Земята. Тя ще трепти около центъра на Земята дотогава, докато накрая достигне центъра. Следователно единственото място, където трябва да се постави такава черна дупка, за да можем да оползотворим излъчваната от нея енергия, ще е на орбита около Земята, а единственият начин да я накараме да се движи в орбита около Земята ще е да я примамим там, като струпаем огромна маса пред нея — нещо като морков пред магаре. Предложението не изглежда особено практично, поне за близкото бъдеще.



ФИГУРА 7.5

Но дори да не можем да впрегнем излъчването от тези първични черни дупки, какви са шансовете ни да ги наблюдаваме? Можем да търсим гамма-лъчите, които първичните черни дупки излъчват през по-голямата част от живота си. Макар лъчението от повечето от тях да е много слабо, защото са твърде далеч, може би общото количество от всички тях ще е откриваемо. Всъщност ние наблюдаваме такъв фон от гамма-лъчи: на фиг. 7.5 се вижда как наблюдаваният интензитет се различава за различните честоти (броят вълни в секунда). Но този фон би могъл да е и вероятно е генериран от процеси, различни от първичните черни дупки. Пунктираната линия на фиг. 7.5 показва как интензитетът трябва да варира с честотата за гамма-лъчите, освобождавани от първични черни дупки, ако те са средно 300 на кубична светлинна година. Поради това може да се каже, че наблюдаването на гамма-лъчевия фон не представлява някакво *положително* доказателство за първични черни дупки, но сочи, че средно те не могат да са повече от 300 на кубична светлинна година във Вселената. Тази граница означава, че първичните черни дупки вероятно представляват най-много една милионна от материята във Вселената.

След като първичните черни дупки са такава рядкост, изглежда неправдоподобно да има някоя, достатъчно близо до нас, за да я наблюдаваме като отделен източник на гамма-лъчи. А след като гравитацията би притегляла

първичните черни дупки към всяка материя, те би трябвало да са по-разпространени във и около галактиките. Така че, макар фонът на гама-лъчите да ни казва, че не може да има средно повече от 300 първични черни дупки на кубична светлинна година, той не говори нищо за това, колко разпространени могат да са те в нашата собствена Галактика. Ако, да кажем, те са милион пъти по-разпространени, то най-близката до нас черна дупка вероятно ще е на около 10^9 км или приблизително на колкото е Плутон — най-отдалечената позната планета. Но и за това разстояние ще е много трудно да се регистрира постоянното лъчение от една черна дупка, дори ако е от 10 000 мегавата. За да наблюдаваме една първична черна дупка, трябва да регистрираме няколко кванта, гама-лъчи, идващи от една и съща посока за разумно продължително време, например една седмица. В противен случай те може да са просто част от фона. Но квантовият принцип на Планк ни казва, че всеки квант гама-лъчи е с много висока енергия, тъй като честотата им е много висока, така че за излъчването дори на 10 000 мегавата няма да са нужни много кванти. А за наблюдаването на този малък брой кванти, идващи от разстоянието на Плутон, ще е необходим по-голям детектор за гама-лъчи, отколкото всички, построени досега. Нещо повече, детекторът ще трябва да е в Космоса, тъй като гама-лъчите не могат да проникват през атмосферата.

Разбира се, ако една черна дупка, толкова близка като Плутон, е към края на живота си и ѝ предстои да изчезне, лесно ще можем да установим последното избухване на излъчването. Но ако черната дупка е излъчвала в продължение на 10–20 млрд. години, шансът да достигне края на живота си през следващите няколко години, за разлика от няколко милиона години в миналото или бъдещето, е наистина твърде малък! Така че, за да имате шанса да наблюдавате една експлозия, преди да изтече срокът на изследванията ви, ще трябва да намерите начин да уловите всички импулси в границите на едно разстояние от около една светлинна година. И пак ще се сблъскате с проблема да разполагате с голям детектор за гама-лъчи, за да наблюдавате няколко кванта гама-лъчи от експлозията. В този случай обаче няма да е необходимо да определяте дали квантите идват от една и съща посока: достатъчно е да се установи, че всички те пристигат в кратък интервал от време, за да сме сигурни, че са от едно и също избухване.

Един детектор за гама-лъчи, годен да разпознае първични черни дупки, е цялата земна атмосфера. (Във всеки случай едва ли ще можем да построим поголям!) Когато високоенергетичен квант гама-лъчи срещне атоми в нашата атмосфера, той създава двойки електрони и позитрони (антиелектрони). При сблъскването им с други атоми те от своя страна създават още двойки електрони и позитрони и се получава така нареченият електронен порой. Резултатът е вид светлина, наречена Черенковско лъчение. Поради това можем да открием избухвания на гама-лъчи, като търсим просветвания в нощното небе. Разбира се, има множество други явления, като например светкавиците и отражението на слънчевата светлина от падащи спътници или отломки, които също могат да дават просветвания по небето. Гама-лъчевите избухвания могат да се разграничават от такива ефекти, като наблюдаваме просветванията едновременно от две или повече сравнително отдалечени места. Такова търсене бе проведено от

двама учени от Дъблин — Нийл Портър и Тревър Уийкс — с помощта на телескопи в Аризона. Те установиха множество просветвания, но не и такива, които могат определено да се припишат на гамалъчеви избухвания от първични черни дупки.

Макар търсенето на първични черни дупки да дава отрицателен резултат, както изглежда, то пак ще ни предостави важна информация за съвсем ранните стадии на Вселената. Ако ранната Вселена е била хаотична и неправилна или ако налягането на материята е било ниско, бихме могли да очакваме да се образуват много повече първични черни дупки от границата, вече поставена чрез нашите наблюдения на фона от гама-лъчи. Само ако ранната Вселена е била много изгладена и еднородна, с високо налягане, може да се обясни липсата на наблюдаем брой първични черни дупки.

Идеята за излъчването от черните дупки бе първият пример за едно предсказание, което съществено зависи и от двете големи теории на нашия век: общата теория на относителността и квантовата механика.

Първоначално тя срещна голяма съпротива, защото преобърна съществуващата представа: „Как е възможно една черна дупка изобщо да излъчва?“ Когато за първи път изложих резултатите от своите изчисления на конференция в лабораторията „Ръдърфорд — Апълтън“ близо до Оксфорд, срещнах всеобщо недоверие. В края на изложението ми председателят на сесията Джон Дж. Тейлър от Кингс Колидж — Лондон, заяви, че всичко това са безсмислици. Той дори написа работа за това. Но в крайна сметка повечето, включително и Джон Тейлър, стигнаха до извода, че черните дупки трябва да излъчват подобно на горещи тела, ако останалите ни представи за общата теория на относителността и квантовата механика са правилни. Така че, макар още да не сме успели да намерим първична черна дупка, почти всички са съгласни, че ако успеем, тя ще трябва обилно да излъчва гама- и рентгенови лъчи.

Съществуването на излъчване от черните дупки предполага гравитационният колапс да не е така окончателен и безвъзвратен, както някога мислехме. Ако един астронавт падне в черна дупка, нейната маса ще се увеличи, но енергийният еквивалент на тази допълнителна маса ще се върне на Вселената под формата на излъчване. Така в известен смисъл астронавтът ще бъде „възстановен“. Това обаче ще е неприятен вид безсмъртие, защото всяка лична представа на астронавта за време почти неизбежно ще свърши с разкъсването му във вътрешността на черната дупка! Дори видовете частици, които вероятно ще се излъчат от черната дупка, ще бъдат в общия случай различни от тези, изграждащи астронавта: единственото свойство на астронавта, което ще оцелее, ще бъде неговата маса или енергия.

Приближенията, с които си послужих при извеждането на излъчването от черните дупки, би трябвало да работят и когато масата на черната дупка е по-голяма от частица от грама. Но те ще се провалят в края на живота на черната дупка, когато нейната маса става твърде малка. Най-вероятния завършек, изглежда, е черната дупка просто да изчезне, поне в нашата област от Вселената, отнасяйки със себе си астронавта и всяка евентуална сингулярност в себе си, ако наистина има такава. Това бе първото указание, че квантовата

механика вероятно премахва сингулярностите, предсказани от общата теория на относителността. Но методите, които и аз, и другите използвахме през 1974 г., не бяха годни да отговорят на такива въпроси като ще се появят ли сингулярности в квантовата гравитация. Ето защо след 1975 г. започнах да разработвам един по-мощен подход към квантовата гравитация, базиран на идеята на Ричард Файнман за сумата по траектории. В следващите две глави ще опиша отговорите, които предполага този подход за произхода и съдбата на Вселената и за нейния състав, като например астронавта. Ще видим, че макар принципът на неопределеността да поставя ограничения върху точността на всички наши предсказания, същевременно той може да отстрани основната непредсказуемост, която съществува в сингулярността пространство-време.

8. ПРОИЗХОДЪТ И СЪДБАТА НА ВСЕЛЕНАТА

Общата теория на относителността на Айнщайн предсказва, че пространство-времето е започнало в сингулярността на Големия взрив и ще завърши в сингулярността на Големия срыв (ако цялата Вселена претърпи отново колапс) или в сингулярността на черна дупка (ако локална област като звезда колапсира). Всяка попаднала в дупката материя ще се разруши в сингулярността, а отвън ще продължи да се възприема само гравитационният ефект на нейната маса. От друга страна, когато отчетем квантовите ефекти, масата или енергията на материята вероятно накрая ще се върнат към останалата част от Вселената, а черната дупка заедно със сингулярността ще се изпари и накрая ще изчезне. Възможно ли е квантовата механика да има еднакво драматично въздействие върху сингулярностите на Големия взрив и Големия срыв? Какво става всъщност в най-ранните или късни стадии на Вселената, когато гравитационните полета са толкова силни, че квантовите ефекти не могат да се пренебрегнат? Има ли всъщност Вселената начало или край? И ако има — какви са те?

През седемдесетте години се занимавах предимно с изучаването на черните дупки, но през 1981 г., когато взех участие в конференция по космология, организирана от йезуитите във Ватикана, интересът ми към въпросите за произхода и съдбата на Вселената отново се събудиха. Католическата църква бе допуснала голяма грешка с Галилей, когато се опита да отрече закона върху научна основа, заявявайки, че Слънцето се върти около Земята. Сега, векове по-късно, тя бе решила да покани специалисти, за да ги съветва по космология. В края на конференцията всички участници бяхме приети от папата. Той ни каза, че няма нищо лошо в това да изучаваме еволюцията на Вселената след Големия взрив, но не бива да изследваме самия Голям взрив, защото това е моментът на Сътворението, а следователно е работа на Бога. Зарадвах се, че папата не знаеше темата на току-що изнесения от мен доклад на конференцията — вероятността пространство-времето да е крайно, но да няма граници, което означава, че не би имало начало, нито пък момент на Сътворението. Нямах желание да споделя съдбата

на Галилей, с когото ми се струва, че имам много общо отчасти поради съвпадението да съм се родил точно 300 години след неговата смърт!

За да обясня своята идея, споделяна и от други, за това, как квантовата механика може да влияе на произхода и съдбата на Вселената, се налага първо да разберем общоприетата история на Вселената според т.нар. „модел на горещ Голям взрив“. Това предполага, че Вселената се описва с Фридманов модел назад във времето чак до Големия взрив. Според тези модели в процеса на разширяване на Вселената всяка материя или излъчване стават все по-студени. (Когато Вселената удвои размерите си, температурата ѝ спада наполовина.) Тъй като температурата е просто мярка за средната енергия — или скорост — на частиците, ефектът от това охлаждане на Вселената значително ще повлияе върху материята. При много високи температури частиците ще се движат така бързо, че ще избегнат всякаво взаимно привличане помежду си под действие на ядрените или електромагнитните сили, но с охлаждането им ще можем да очакваме частиците, които се привличат помежду си, да започнат да се групират. Нещо повече, дори видовете частици, съществуващи във Вселената, ще зависят от температурата. При достатъчно високи температури частиците имат толкова много енергия, че при всеки техни сблъсък ще се получат най-различни двойки частица/античастица и макар някои от тях да анихилират при среща с античастици, те ще се образуват по-бързо, отколкото анихилират. При по-ниски температури обаче, когато енергията на сблъскващите се частици е по-ниска, двойките частица/античастица ще се образуват по-бавно и анихилирането ще стане по-бързо от образуването.

Смята се, че в момента на Големия взрив Вселената е имала нулев размер, така че е била безкрайно гореща. Но с разширението на Вселената температурата на излъчването намалява. Една секунда след Големия взрив тя ще е спаднала до около 10 млрд. градуса. Това е около хиляда пъти повече от температурата в центъра на Слънцето, но такива високи температури се достигат при експлозиите на водородни бомби. Тогава Вселената е трябвало да съдържа предимно фотони, електрони и неутрино (изключително леки частици, които се влияят само от слабото взаимодействие и гравитацията) и техните античастици, както и малко протони и неутрони. С продължаване на разширението на Вселената и спадането на температурата скоростта за образуване на двойките електрон/antieлектрон при сблъсъците ще спадне под скоростта, с която се разпадат чрез анихилиране. Така че повечето електрони и антиелектрони ще анихилират и ще образуват още фотони, като ще останат и малко електрони. Неутрино и антинеутрино обаче няма да анихилират, защото твърде слабо взаимодействат помежду си и с другите частици. Следователно те и днес трябва да са около нас. Ако можехме да ги наблюдаваме, това щеше да е една добра проверка на тази картина на много горещия ранен стадий на Вселената. За съжаление техните енергии днес ще са твърде ниски, за да ги наблюдаваме директно. Но ако частиците неутрино не са безмасови, а имат малка собствена маса, както се предполага от един непотвърден руски експеримент, проведен през 1981 г., вероятно ще можем косвено да ги регистрираме: може би те са тъмна материя, като споменатата по-рано, чието

гравитационно привличане е достатъчно да спре разширението на Вселената и отново да причини колапс.

Приблизително 100 сек. след Големия взрив температурата ще е паднала до 1 млрд. градуса, каквато е температурата във вътрешността на найгорещите звезди. При тази температура протоните и неутроните вече няма да имат достатъчно енергия да избегнат привличането от силното ядрено взаимодействие и ще започнат да се свързват и да образуват ядра на деутерий (тежък водород), съдържащ един протон и един неутрон. Ядрата на деутерия след това ще се свържат с повече протони и неутрони и ще образуват хелиеви ядра, съставени от два протона и два неутрона, както и малки количества от двата по-тежки елемента — литий и берилий. Можем да пресметнем, че в модела на горещия Голям взрив около една четвърт от протоните и неутроните ще са се превърнали в хелиеви ядра, заедно с малки количества тежък водород и други елементи. Останалите неутрони вероятно са се разпаднали на протони, които представляват ядра на обикновени водородни атоми.

Тази картина на горещ начален стадий на Вселената бе представена за първи път от Джордж Гамов в знаменитата работа, написана през 1948 г. заедно с неговия студент Ралф Алфър. Гамов имаше твърде силно развито чувство за хумор. Успя да убеди ядрения физик Ханс Бете да добави името си в публикацията, за да стане списъкът на авторите „Алфър, Бете, Гамов“ — подобно на първите три букви от гръцката азбука алфа, бета, гама — нещо особено подходящо като за труд върху началото на Вселената! В този труд те правят забележително предсказание, че излъчването (под формата на фотони) от твърде горещите начални стадии на Вселената и днес все още съществува, но температурата му е вече едва няколко градуса над абсолютната нула (-273°C). Именно това излъчване откриха Пензиас и Уилсън през 1965 г. По времето, когато Алфър, Бете и Гамов пишеха своята работа, не се знаеше твърде много за ядрените реакции на протоните и неутроните. Поради това предсказанията за съотношението на различните елементи в ранната Вселена бяха твърде неточни, но тези изчисления бяха повторени в светлината на по-точно познание и вече се съгласуват много добре с наблюденията ни. Освен това твърде трудно е да се обясни по друг начин защо във Вселената има толкова много хелий. Ето защо ние сме сравнително сигурни, че това е правилната картина, поне за времето от около една секунда след Големия взрив.

Само за няколко часа след Големия взрив образуването на хелий и други елементи трябва да е престанало. А след това, през следващите милиони години, Вселената просто е продължила да се разширява, без да се случва нещо особено. По-нататък, когато температурата е спаднала до няколко хиляди градуса и електроните и ядрата вече са нямали достатъчно енергия да преодолеят електромагнитното привличане помежду си, те са започнали да се свързват в атоми. Като цяло Вселената е продължила да се разширява и охлажда, но в областите с плътност малко над средната разширението се е забавяло от допълнителното гравитационно привличане. То трябва да е спряло разширението в някои области и е предизвикало техния повторен колапс. По време на колапса гравитационното привличане на материя извън тези области

би могло да причини тяхното бавно въртене. Когато колапсиращата област намалява, тя започва да се върти по-бързо — също както къркьорите се завъртат по-бързо, като приберат ръцете си. Когато една такава област стане достатъчно малка, тя се завърта толкова бързо, за да балансира гравитационното привличане, и по този начин се раждат дисковидните въртящи се галактики. Други области, които не са се завъртели, се превръщат в обекти с овална форма, наречени елиптични галактики. При тях областта ще спре да колапсира, защото отделни части от галактиката стабилно ще се завъртят около своя център, но галактиката като цяло няма да се върти.

С напредване на времето водородният и хелиевият газ в галактиките ще се разпаднат на по-малки облаци, които ще колапсират под действие на собствената си гравитация. По време на свиването им, когато атомите в тях се сблъскват помежду си, температурата на газа нараства, докато накрая стане достатъчно горещо, за да започнат реакции на ядрен синтез. Така водородът се превръща в хелий, а освободената топлина повишава налягането и по този начин спира по-нататъшното свиване на облаците. В това състояние те остават дълго време като звезди, подобни на нашето Слънце, изгарящи водорода в хелий и излъчващи получената енергия под формата на топлина и светлина. За да балансират по-силното си гравитационно привличане, по-масивните звезди трябва да бъдат по-горещи, поради което реакциите на ядрен синтез протичат много по-бързо и те изразходват водорода си само за 100 млн. години. Тогава те леко се свиват и като още се загряват, започват да превръщат хелия в по-тежки елементи като въглерод или кислород. При това обаче не се освобождава повече енергия, така че настъпва криза, както беше описано в главата за черните дупки. Какво става после, не е съвсем ясно, но вероятно централните области на звездата колапсират до състояние на много голяма плътност и се превръщат в неутронна звезда или черна дупка. Понякога външните области от звездата биват изхвърлени в гигантска експлозия, наречена свръхнова, която превишава по блясък всички звезди в галактиката. Някои от по-тежките елементи, получени към края на живота на звездата, биват изхвърлени обратно в газа от галактиката и се превръщат в суровина за следващото поколение звезди. Нашето собствено Слънце съдържа около 2% такива тежки елементи, защото е звезда от второ или трето поколение, образувана преди около 5 млрд. години от въртящ се облак газ, съдържащ останки от предишни свръхнови. По-голямата част от газа в този облак е отишла за образуването на Слънцето или е била изхвърлена, но малко количество от по-тежките елементи се е обединило и е образувало телата, които сега кръжат около Слънцето като планети, подобно на Земята.

Първоначално Земята е била много гореща и не е имала атмосфера. С течение на времето тя е изстинала и е придобила атмосфера от газовете, отделяни от скалите. Тази ранна атмосфера не е такава, в която бихме оцелели. Тя не е съдържала кислород, а голямо количество други, отровни за нас газове, като сероводород (газът, който мирише на развалени яйца). Има обаче други примитивни форми на живот, които процъфтяват в такива условия. Предполага се, че те са се развили в океаните вероятно в резултат на случайни комбинации от атоми в големи структури, наречени макромолекули, годни да свържат други

атоми в океана в подобни структури. Така те са се възпроизвели и умножили. В някои случаи е имало грешки във възпроизводството. Повечето от тези грешки са били такива, че макромолекулата не е могла да се възпроизведе и в края се е разпадала. Някои от тези грешки обаче са довели до образуването на нови, още по-добре възпроизвеждащи се макромолекули. Поради това те са имали предимство и са измествали първоначалните макромолекули. По този начин е започнал един еволюционен процес, довел до развитието на все по-сложни и по-сложни самовъзпроизвеждащи се организми. Първите примитивни форми на живот са консумирали различни материали, включително сероводород, а са освобождавали кислород. Така съставът на атмосферата постепенно се променил до днешния и позволил развитието на по-висши форми на живот, като риби, влечуги, бозайници и най-накрая — човека.

Тази картина на Вселена, започнала като много гореща и охлаждаща се с разширяването си, се съгласува с всички наблюдавателни доказателства, с които днес разполагаме. Независимо от това тя оставя много съществени въпроси без отговор:

1) Защо ранната Вселената е била толкова гореща?

2) Защо в големи мащаби Вселената е така еднородна? Защо изглежда една и съща от всички точки в пространството и във всички посоки? И по-конкретно защо температурата на микровълновото фоново лъчение е почти една и съща в различните посоки? Това е все едно да зададеш на изпит въпрос на няколко студента. Ако всички отговарят по съвсем един и същ начин, можеш да си съвсем сигурен, че са общували помежду си. И въпреки това в описания по-горе модел времето след Големия взрив не е било достатъчно за светлината да стигне от далечна област до друга, макар в младата Вселена те да са били близки една до друга. Според теорията на относителността, след като светлината не може да стигне от едно място до друго, и всяка друга информация не може. Така че няма начин различните области в младата Вселена да са имали една и съща температура, освен ако по необясними причини температурата при образуването им е била една и съща.

3) Защо Вселената е започнала със скорост на разширение, така близка до критичната, разделяща моделите с повторен колапс от вечно разширяващите се, така че дори сега, 10 млрд. години по-късно, тя продължава да се разширява с почти критичната скорост? Ако една секунда след Големия взрив скоростта на разширение би била по-ниска дори с една стотиленардна част, Вселената отново би колапсирала още преди да е достигнала сегашните си размери.

4) Независимо че в големи мащаби Вселената е така еднородна и хомогенна, тя съдържа местни неправилности като звездите и галактиките. За тях се предполага, че са се развили от малките различия в плътностите на отделни области в младата Вселена. Какъв е произходът на тези флуктуации в плътността?

Сама по себе си общата теория на относителността не може да обясни тези особености, нито да отговори на тези въпроси поради факта, че предвижда Вселената да е започнала от безкрайна плътност в сингулярността на Големия

взрив. В сингулярността както общата теория на относителността, така и всички други физични закони не важат: те не могат да предскажат какво ще излезе от сингулярността. Както вече обяснихме, това значи, че можем лесно да изведем Големия взрив и всички събития преди него извън теорията, защото не оказват влияние върху това, което наблюдаваме. Пространство-времето *би трябвало* да има граница — начало в Големия взрив.

Изглежда, че науката успя да разкрие група закони, които в границата на принципа на неопределеността ни казват как ще се развие Вселената с времето, ако познаваме състоянието ѝ в какъвто и да е момент. Може би тези закони са били предопределени от Бог; но изглежда, че той е оставил Вселената да се Развива според тях и вече не се намесва. Но как е подбрал началното състояние или конфигурацията на Вселената? Какви са били „граничните условия“ в началото на времето?

Един от възможните отговори е да кажем, че Бог е избрал началната конфигурация на Вселената по причини, които не можем да се надяваме да разберем. А това наистина е по силите на едно всемогъщо същество. Но ако е положил началото ѝ по такъв неразбираем начин, защо е избрал да се развива по закони, които можем да разберем? Цялата история на науката се състои от постепенното осъзнаване, че събитията не са резултат от случайността, а отразяват някакъв скрит ред, може би божествено дело, а може би не. Естествено е да предположим, че този ред би трябвало да е приложим не само за законите, а и за условията при границата на пространство-време, определяща началното състояние на Вселената. Може би съществува голям брой модели на Вселената с различни начални условия и всички те се подчиняват на законите. Но би трябвало да има някакъв принцип, който избира едно начално състояние, а следователно и един модел, който да представя нашата Вселена.

Една такава възможност са т.нар. хаотични гранични условия. Те безусловно приемат, че или Вселената е пространствено безкрайна, или съществуват безкрайно много вселени. При хаотични гранични условия вероятността да намерим която и да е определена област от пространството в която и да е определена конфигурация непосредствено след Големия взрив е в известен смисъл същата, както и да я намерим в която и да е друга конфигурация: началното състояние на Вселената е подбрано чисто случайно. Това означава, че младата Вселена вероятно е била твърде хаотична и неправилна, защото за Вселената съществуват много повече хаотични и неподредени конфигурации, отколкото изгладени и подредени. (Ако всяка от конфигурациите е равновероятна, по-правдоподобно е Вселената да е започнала от хаотично и неподредено състояние, просто защото тези състояния са много повече.) Трудно е да разберем как такива хаотични начални състояния биха могли да доведат до Вселена, която в големи мащаби е толкова изгладена и правилна като нашата днес. Бихме могли да очакваме, че плътностните флуктуации в такъв модел ще доведат до образуването на много повече първични черни дупки от горната граница, поставена от наблюденията върху фона от гама-лъчи.

Ако Вселената е наистина пространствено безкрайна или ако съществуват безкрайно много вселени, възможно е някъде да има големи области, които се образуват като изгладени и правилни. Това е нещо като познатата ни орда маймуни, чукащи на пишещи машини — в повечето случаи написаното ще се окаже безсмислица, но в някой много рядък случай, по чиста случайност, те ще напишат някой от сонетите на Шекспир. Също така, що се отнася до Вселената,

не живеем ли ние в област, която по чиста случайност е гладка и еднородна?

На пръв поглед това може да ни се стори твърде невероятно, защото броят на хаотичните и неправилините области е много по-голям от гладките области. Но да предположим, че само в гладките области са се образували галактики и звезди и е имало условия, подходящи за развитието на такива сложни самовъзпроизвеждащи се организми, каквито сме ние, които могат да задават въпроса „защо Вселената е толкова гладка?“. Това е пример за приложението на известния антропен принцип, който може да се перифразира като „Ние виждаме Вселената такава, каквата е, защото съществуваме“.

Антропният принцип има две версии: слаба и силна. Слабият антропен принцип гласи, че във Вселената, която е голяма или безкрайна в пространството и/или във времето, условията, необходими за развитието на разумен живот, ще бъдат удовлетворени само в определени области, ограничени в пространството и времето. Поради това разумните същества в тези области не би трябвало да се учудват, ако установят, че мястото им във Вселената удовлетворява условията, необходими за тяхното съществуване. По същия начин богаташът; който живее в заможено обкръжение, не вижда бедността.

Един пример за приложението на слабия антропен принцип е да „обясни“ защо Големият взрив е настъпил преди около 10 млрд. години: почти толкова е времето за развитие на разумен живот. Както обяснихме по-горе, първо е трябвало да се образува ранно поколение звезди. Тези звезди са превърнали част от първоначалния водород и хелий в елементи като въглерода и кислорода, от които сме изградени. После звездите са се взривявали като свръхнови, а останките им са отивали за образуване на други звезди и планети, сред които и тези от нашата Слънчева система, която е на възраст около 5 млрд. години. Първите един-два милиарда години от съществуването на Земята са били твърде горещи, за да позволят развитието на нещо по-сложно. Останалите около 3 млрд. години са отишли за бавния процес на биологична еволюция, довела от най-простите организми до същества, способни да измерят времето чак до Големия взрив.

Малцина биха спорили с валидността или ползата от слабия антропоен принцип. Някои обаче отиват по-далеч и предлагат силна версия на принципа. Според тази теория съществуват или много различни вселени, или много различни области от една-единствена вселена, всяка със своя собствена начална конфигурация и може би със собствена група научни закони. В повечето от тези вселени условията не са били подходящи за развитието на сложни организми; само в някои вселени, подобни на нашата, биха се развили разумни същества, които да попитат „Защо Вселената е такава, каквато я виждаме?“. Тогава отговорът е прост: ако беше друга, нямаше да сме тук!

Научните закони, каквито ги знаем сега, съдържат множество фундаментални числа като например електрическият заряд на електрона и отношението между масите на протона и електрона. Ние не сме в състояние, поне засега, да предскажем тези числа от теорията, а трябва да ги установим чрез наблюдения. Може би някой ден ще открием една свършена единна теория, която ще предскаже всичко това, но е възможно и някои от числата да се променят от вселена към вселена или в границите на една вселена. Забележителен факт е, че тези числа са много точно съгласувани, за да направят възможно развитието на живот. Ако например електричният заряд на електрона беше само малко по-различен, звездите или нямаше да могат да изгарят водород и хелий, или не биха се взривявали. Разбира се, би могло да има и други форми на разумен живот, за които не са мечтали дори авторите на научна фантастика, неизискващи нито светлината на звезда като Слънцето, нито по-тежки химични елементи, синтезирани в звездите и изхвърляни в пространството при взривяването на тези звезди. Независимо от това ясно е, че интервалът от тези числа, които биха позволили развитието на някаква форма на разумен живот, е сравнително малък. Повечето от числата биха произвели вселени, които, макар и много красиви, не биха позволили съществуването на някой, способен да се възхити на тази красота. Можем да приемем това или като доказателство за божествена умисъл на Сътворението и избора на научните закони, или като потвърждение на силния антропоен принцип.

Съществуват множество възражения срещу силния антропоен принцип като обяснение на наблюдаваното състояние на Вселената. Първо, в какъв смисъл можем да твърдим, че всички тези различни вселени съществуват? Ако те наистина са отделени една от друга, това, което става в някоя друга вселена, не би могло да има наблюдаеми следствия на нашата собствена Вселена. Следователно можем да приложим принципа на пестеливостта и да ги изключим от теорията. Ако, от друга страна, те са само различни области от една-единствена вселена, научните закони би трябвало да са еднакви за всяка област, защото иначе нямаше да можем непрекъснато да се движим от една област в друга. В този случай единствената разлика между областите ще бъдат техните начални конфигурации, поради което силният антропоен принцип ще се редуцира в слаб.

Второ възражение срещу силния антропен принцип е, че той върви срещу течението на цялата история на науката. Нашето развитие е минало от геоцентричната космология на Птолемей и неговите предшественици през хелиоцентричната космология на Коперник и Галилей до сегашната картина, в която Земята представлява една средна по размери планета, движеща се по орбита около една средна звезда във външната околност на една обикновена спирална галактика, която сама по себе си е само една от милиардите галактики в наблюдаемата Вселена. А силният антропен принцип твърди, че цялата необятна конструкция съществува само заради нас. Твърде трудно за вярване. Нашата Слънчева система е определено предпоставка за съществуването ни, а това може да се разшири до цялата наша Галактика, за да допусне по-ранно поколение звезди, които са създали по-тежките елементи. Но съвсем не се налага всички други галактики, нито Вселената да бъдат така еднородни и подобни в големи мащаби за всички посоки.

Щяхме да сме доволни от антропния принцип, поне от неговата слаба версия, ако можехме да покажем, че са се развили твърде голям брой различни начални конфигурации на Вселената, за да се стигне до Вселената, която наблюдаваме. Ако е така, една вселена, развила се от някакви случайни начални условия, би трябвало да съдържа области, които са гладки и еднородни и са подходящи за еволюцията на разумен живот. От друга страна, ако началното състояние на Вселената е трябвало да се подбере изключително внимателно, за да доведе до нещо, подобно на това, което ни заобикаля, невероятно би било Вселената да съдържа *каквато и да е* област, където би могъл да се появи живот. В описания по-горе модел на горещия Голям взрив за топлината в ранната Вселена не е имало достатъчно време, за да се пренесе от една област в друга. Това означава, че първоначалното състояние на Вселената би трябвало навсякъде да има точно една и съща температура, за да обясни факта, че температурата на микровълновия фон е еднаква във всички посоки. Освен това началната скорост на разширение също би трябвало да бъде много точно подбрана, така че и сега да е толкова близка до критичната скорост, необходима да се избегне повторен колапс. Това значи, че наистина началното състояние на Вселената трябва да е било много внимателно подбрано, ако, разбира се, моделът на горещия Голям взрив е коректен назад чак до началото на времето. Би било много трудно да обясним защо Вселената трябва да е започнала точно по този начин, освен ако приемем, че това е акт на Бога, който е възнамерявал да сътвори същества като нас.

В опита си да намери модел на Вселената, при който множество различни начални конфигурации са могли да доведат до нещо като сегашната Вселена, ученият от Масачузетския технологичен институт Алън Гът предположи, че ранната Вселена може би е преминала през период на много бързо разширение. Това разширение се нарича „инфлационно“ и означава, че някога Вселената се е разширявала с нарастваща скорост, а не с намаляващата скорост на сегашното ѝ разширение. Според Гът за нищожна частица от секундата радиусът на Вселената се е увеличил 10^{30} пъти.

Гът предполага, че Вселената е започнала от Големия взрив в много горещо, но твърде хаотично състояние. Високата температура означава, че частиците във Вселената са се движели много бързо и са имали високи енергии. Както вече стана дума, можем да очакваме, че при такива високи температури силното и слабото ядрено взаимодействие и електромагнитното взаимодействие ще се обединят в едно-единствено. С разширението си Вселената ще се охлажда и енергията на частиците ще намалява. Накрая ще настъпи т.нар. фазов преход и симетрията между взаимодействията ще се наруши: силното взаимодействие ще стане различно от слабото и от електромагнитното. Един познат пример за фазов преход е замръзването на водата при охлаждане. Течната вода е симетрична, една и съща във всяка точка и всяка посока. Когато обаче се образуват ледени кристали, те заемат определени положения и се ориентират в някаква посока. Това нарушава симетрията на водата.

Ако сме внимателни, можем да „преохладим“ водата, т.е. да понижим температурата ѝ под точката на замръзване (0°C), без да се образува лед. Гът предполага, че Вселената може да има подобно поведение: температурата може да падне под критичната стойност, без да се наруши симетрията между взаимодействията. Ако това се случи, Вселената би била в нестабилно състояние, с повече енергия, отколкото ако симетрията се беше нарушила. Може да се покаже, че тази допълнителна енергия има антигравитационен ефект: тя би действала също както космологичната константа, която Айнщайн въведе в общата теория на относителността при опита си да конструира статичен модел на Вселената. Тъй като Вселената вече ще е започнала разширението си точно както в модела на горещия Голям взрив, отблъскващото действие на космологичната константа би накарало Вселената да се разширява с още по-висока скорост. Дори в областите, където материалните частици са повече от средния брой, гравитационното привличане на материята ще бъде преодоляно от отблъскването на действащата космологична константа. Поради това и тези области също ще се разширяват по ускорително инфлационен начин. С разширението им, когато материалните частици се раздалечават помежду си, ще се стигне до разширяваща се Вселена, която почти не съдържа частици и е все още в свръхохладено състояние. Всички неправилности във Вселената просто ще се изгладят от разширението също както гънките на балона се изглаждат при надуването му. Така сегашното гладко и еднородно състояние на Вселената би могло да се яви като резултат от твърде различни нееднородни начални състояния.

В такава Вселена, където разширението се ускорява от космологичната константа, а не се забавя от гравитационното привличане на материята, за светлината ще има достатъчно време в ранната Вселена да премине от една област в друга. Това би решило въпроса, поставен по-рано, защо различни области в ранната Вселена имат едни и същи свойства. Нещо повече, скоростта на разширение на Вселената автоматично ще стане много близка до критичната скорост, определена от плътността на енергията във Вселената.

Така можем да си обясним защо скоростта на разширение е все още толкова близка до критичната скорост, без да трябва да приемаме, че началната скорост на разширение на Вселената е била много внимателно подбрана.

Идеята за инфлация също би обяснила защо във Вселената има толкова много материя. В областта от Вселената, която можем да наблюдаваме, има около 10^{80} частици. Откъде са дошли всички те? Отговорът е, че според квантовата теория частици могат да се образуват от енергия под формата на двойки частица/античастица. Но това пък поставя въпроса, откъде идва енергията. Отговорът е, че общата енергия на Вселената е точно нулева. Материята във Вселената е изградена от положителна енергия. Но цялата материя се привлича съгласно гравитацията. Два къса материя, които са близо един до друг, имат по-малко енергия, отколкото същите два къса на голямо разстояние помежду си, защото, за да ги разделим против гравитационната сила, която ги сближава, трябва да изразходваме енергия. Така в този смисъл гравитационното поле има отрицателна енергия. В този случай на вселена, приблизително еднородна в пространството, може да се покаже, че тази отрицателна гравитационна енергия точно унищожава положителната енергия, представена от материята. Поради това общата енергия на Вселената е нулева.

И така две по нула е също нула. От тук следва, че Вселената може да удвои количеството положителна енергия на материята и да удвои отрицателната гравитационна енергия, без да наруши закона за запазване на енергията. Това не се случва при нормалното разширение на Вселената, когато плътността на енергията на материята намалява с уголемяването на Вселената. То се случва обаче при инфлационното разширение, защото плътността на енергията при свръхохладеното състояние остава постоянна, докато Вселената се разширява: когато Вселената удвои размерите си, положителната енергия на материята и отрицателната гравитационна енергия се удвояват, така че общата енергия остава нула. По време на инфлационната фаза Вселената увеличава размерите си в много голяма степен. По този начин общото количество енергия за образуване на частици става много голямо. Както Гът забелязва: „казват, че няма такова нещо, като безплатен обяд. Но Вселената е най-големият безплатен обяд.“

Днес Вселената не се разширява по инфлационен начин. Така че трябва да има някакъв механизъм, който да елиминира действието на голямата космологична константа и така да промени скоростта на разширение от ускорено към забавяно от гравитацията, каквото имаме сега. При инфлационното разширение можем да очакваме, че симетрията между взаимодействията ще се наруши, както свръхохладената вода накрая винаги замръзва. Допълнителната енергия при състоянието на ненарушена симетрия тогава ще се освободи и отново ще нагрее Вселената до температура, която е точно под критичната за симетрия между взаимодействията. Така Вселената ще продължи да се разширява и охлажда също както по модела на горещия Голям взрив, но сега ще имаме обяснение защо Вселената се разширява точно с критичната скорост и защо различните области ще имат една и съща температура.

В първоначалното предположение на Гът фазовият преход се предполагаше да настъпва внезапно както появата на ледени кристали в много студена вода. Идеята е, че в старата фаза са се образували „мехурчета“ от новата фаза на нарушена симетрия подобно на мехурчета пара в кипяща вода. Предполага се, че тези мехурчета се разширяват и доближават помежду си, докато цялата Вселена премине в нова фаза. Бедата е, както беше отбелязано от мен и някои други, че Вселената се разширява толкова бързо, че дори ако мехурчетата нарастваха със скоростта на светлината, те пак щяха да се раздалечават помежду си, така че не биха могли да се слеят. Вселената би останала в крайно нееднородно състояние, като в някои области все още ще има симетрия между различните взаимодействия. Такъв модел на Вселената не би могъл да съответства на това, което виждаме.

През октомври 1981 г. посетих Москва за конференция по квантова гравитация. След конференцията изнесох семинар на тема инфлационния модел и свързаните с него проблеми в Астрономическия институт „Щернберг“. Преди това бях намерил човек, който да изнесе лекция вместо мен, защото повечето не могат да разберат гласа ми. Но не ми стигна времето да подготвя семинара, така че го проведох сам, като един мой дипломант повтаряше думите ми. Мина добре и ми осигури много по-тесен контакт с аудиторията. Сред присъстващите беше един млад руснак, Андрей Линде от института „Лебедев“ в Москва. Той каза, че трудността с мехурчетата, които не се сливат, може да се избегне, ако те са толкова големи, че едно-единствено мехурче да съдържа нашата област от Вселената. За да е така, преминаването от симетрия към нарушена симетрия би трябвало много бавно да настъпва във вътрешността на мехурчето, а това е съвсем възможно според теориите за Великото обединение. Идеята на Линде за бавно нарушаване на симетрията беше много добра, но впоследствие осъзнах, че неговите мехурчета трябва да са били по-големи от тогавашната Вселена! Аз показах, че вместо това е възможно симетрията да се нарушава едновременно навсякъде, а не само вътре в мехурчетата. Това би довело до еднородна Вселена, каквато наблюдаваме. Бях много развълнуван от тази идея и я споделих с един от своите студенти, Ян Мое. Като приятел на Линде обаче бях твърде смутен, когато впоследствие ми изпратиха неговия труд от едно научно списание и ме питаха дали е подходящ за публикуване. Отговорих, че има недостатък — мехурчетата трябва да са по-големи от Вселената, но че основната идея за бавното нарушаване на симетрията е много добра. Препоръчах да се публикува така, както е, защото на Линде щяха да са му необходими няколко месеца за корекция, тъй като всичко, което изпраща на Запад, трябваше да премине през съветската цензура, а тя не е нито особено умела, нито особено експедитивна с научните публикации. Вместо това заедно с Ян Мое публикувахме в същото списание кратко съобщение, в което посочихме проблема за размера на мехурчетата и как би могъл да бъде решен.

На следващия ден след връщането ми от Москва тръгнах за Филаделфия, където трябваше да получа медал от института „Франклин“. Моята секретарка, Джуди Фела, беше пуснала в ход своя не малък чар, за да убеди Британските авиолинии да осигурят на нея и на мен безплатни места на „Конкорд“ като

реклама. Но аз бях задържан по пътя към летището от силен дъжд и изпуснах самолета. Въпреки това накрая стигнах до Филаделфия и получих своя медал. После ме помолиха да изнеса семинар за инфлационната Вселена в университета „Дрексел“ във Филаделфия. Изнесох същия семинар, както в Москва.

Няколко месеца по-късно Пол Стайнхард и Андреас Албрехт от Пенсилванския университет независимо един от друг изложиха идея, твърде сходна с тази на Линде. Заедно с Линде и на тях двамата се отдава признанието за т.нар. „нов инфлационен модел“, основан на идеята за бавно нарушаване на симетрията. (Старият инфлационен модел бе първоначалното предположение на Гът за бързо нарушаване на симетрията с образуване на мехурчета.)

Новият инфлационен модел беше добър опит да се обясни защо Вселената е такава, каквато е. Но аз и неколцина други показахме, че поне в първоначалния си вид той предсказва много по-големи вариации в температурата на микровълновото фоново лъчение, отколкото са наблюдавани. Последвалата работа също хвърли сянка на съмнение за това, дали е могло да има такъв фазов преход в много ранната Вселена, какъвто се изисква. Моето лично мнение е, че новият инфлационен модел е вече мъртъв като научна теория, макар че доста хора, изглежда, не са чули за изоставянето му и продължават да пишат за него сякаш още е жизнен. Един по-добър модел, наречен хаотичен инфлационен модел, бе предложен от Линде през 1983 г. В него няма фазов преход, нито свръхохлаждане. Вместо тях има едно поле със спин 0, което поради квантови флуктуации би трябвало да има високи стойности в някои области от ранната Вселена. Поведението на енергията на полето в тези области е подобно на космологичната константа. Тя би трябвало да е с отблъскващ гравитационен ефект, поради което тези области ще се разширяват по инфлационен начин. С разширението им енергията на полето в тях бавно ще намалява, докато инфлационното разширение се смени с разширение като в модела на горещия Голям взрив. Една от тези области би се превърнала в това, което сега виждаме като наблюдаема Вселена. Този модел притежава всички предимства на предишните инфлационни модели, но не зависи от съмнителния фазов преход, а освен това дава приемливи размери за флуктуациите в температурата на микровълновия фон, които се съгласуват с наблюденията.

Тази работа върху инфлационните модели показва, че сегашното състояние на Вселената е могло да възникне от твърде голям брой различни начални конфигурации. Това е важно, защото показва, че началното състояние на част от Вселената, която населяваме, не е трябвало да се подбира с особено внимание. Така че можем, ако желаем, да използваме слабия антропен принцип, за да обясним защо Вселената изглежда такава, каквато е сега. Разбира се, не всяка начална конфигурация би довела до вселена като тази, която наблюдаваме. Това може да се покаже, като разгледаме едно много различно състояние на Вселената в наши дни, да кажем твърде неизгладено и неправилно състояние. Можем да си послужим с научните закони, за да върнем Вселената назад във времето и да определим нейната конфигурация за по-

ранни времена. Съгласно теоремите за сингулярност от класическата обща теория на относителността пак трябва да има сингулярност в Големия взрив. Ако такава вселена еволюира напред във времето според научните закони, ще стигнете до неизгладеното и неправилно състояние, откъдето сте тръгнали. Следователно трябва да е имало начални конфигурации, които не са довели до Вселена като тази, която виждаме днес. Така че даже инфлационният модел не ни казва защо началната конфигурация не е такава, че да ни дава нещо, твърде различно от това, което наблюдаваме. Трябва ли да се обърнем към антропния принцип за обяснение? Нима всичко е просто щастлива случайност? Това би значело да се отчаяме, да се отречем от всички надежди да разберем някога скрития ред на Вселената.

За да предскажем как е започнала Вселената, се нуждаем от закони, които са в сила за началото на времето. Ако класическата обща теория на относителността е коректна, то теоремите за сингулярност, които двамата с Пенроуз доказахме, показват, че началото на времето трябва да е точка с безкрайна плътност и безкрайна кривина на пространство-времето. В такава точка всички известни научни закони биха били невалидни. Бихме могли да предположим, че съществуват нови закони, които са в сила за сингулярности, но ще е много трудно дори да ги формулираме при точки с такова лошо поведение, а нямаме и насока от наблюденията като какви могат да са тези закони. Все пак това, което теоремите за сингулярност наистина сочат, е, че гравитационното поле става толкова силно, че квантовите гравитационни ефекти придобиват значение: класическата теория престава да бъде добро описание на Вселената. Поради това при обсъждане на най-ранните стадии на Вселената трябва да използваме квантовата теория на гравитацията. Както ще видим, възможно е квантовата теория да е в сила навсякъде за обикновените научни закони, включително и в началото на времето: не е необходимо да постулираме нови закони за сингулярността, защото в квантовата теория не се налагат каквито и да било сингулярности.

Засега все още нямаме завършена и състоятелна теория, която да съчетава квантовата механика и гравитацията. Но вече сме почти сигурни какви трябва да са някои от характеристиките на една такава единна теория. Първо, тя трябва да включва предложението на Файнман за формулиране на квантовата теория чрез сумиране по траектории. При такъв подход частицата не притежава само една траектория както в класическата теория. Вместо това се предполага да се следват всички възможни пътища в пространство-времето и че всеки от тях е свързан с двойка числа, едното представляващо големината на вълната, а второто — положението в цикъла (фазата). Вероятността частицата да преминава, да кажем, през някоя конкретна точка се намира чрез сумиране на вълните, свързани с всяка възможна траектория, преминаваща през тази точка. Когато обаче се опитаме да направим това сумиране, се сблъскваме с тежки технически проблеми. Единственият начин да ги избегнем е да спазваме предписанието: трябва да сумираме тези вълни за историята на частицата, които не са в „реалното“ време, което познаваме с вас, а се явяват в т.нар. имагинерно време. Имагинерното време може би ще ви звучи като научна фантастика, но всъщност то е едно добре дефинирано математическо

понятие. Ако вземем кое да е обикновено (или „реално“) число и го умножим само по себе си, ще получим положително число. (Например две по две е четири, но и -2 по -2 пак е 4 .) Съществуват обаче специални числа (наречени имагинерни), които, умножени сами на себе си, дават отрицателно число. (Например i , умножено само на себе си, дава -1 , $2i$, умножено само на себе си, дава -4 и т.н.). За да избегнем техническите трудности, свързани със сумирането на Файнман по траекториите, трябва да използваме имагинерно време. Или с други думи, за изчислението трябва да измерваме времето с имагинерни, а не с реални числа. Това поражда интересен ефект върху пространство-времето: различието между пространство и време напълно изчезва. За пространство-времето, в което събитията имат имагинерна стойност на времевата координата, казваме, че е Евклидово по името на древния грък Евклид, основоположник на геометрията на двумерните повърхнини. Това, което сега наричаме Евклидово пространство-време, е твърде подобно с тази разлика, че има четири измерения вместо две. В Евклидовото пространство-време няма разлика между посоката на времето и посоките в пространството. От друга страна, в реалното пространство-време, където събитията се отбелязват с обикновени, реални стойности на времевата координата, лесно можем да определим разликата — посоката на времето за всички точки лежи вътре в светлинния конус, а посоките в пространството са извън него. Във всеки случай, що се отнася до обикновената квантова механика, можем да разглеждаме използването на имагинерно време и Евклидовото пространство-време просто като математическо средство (или трик), за да намерим отговорите за реалното пространство-време.

Втора характеристика, за която считаме, че трябва да е част от окончателната теория, е Айнщайновата идея, че гравитационното поле се представя с изкривено пространство-време: частиците се стремят да следват път, най-близък до правата в едно изкривено пространство, но тъй като пространство-времето не е плоско, техните пътища изглеждат огънати както под действие на гравитационно поле. Когато приложим Файнмановата сума по траектории към Айнщайновата представа за гравитацията, аналогът на траекторията на една частица вече е едно изкривено пространство-време, представящо траекторията на цялата Вселена. За да избегнем техническите трудности при действителното сумиране по траектории, тези изкривени пространства-времена трябва да се приемат за Евклидови. Така времето е имагинерно и неразграничимо от посоките в пространството. За да изчислим вероятността за намиране на реално пространство-време с някакво конкретно свойство, като например това да изглежда едно и също от всяка точка и във всяка посока, сумираме вълните, свързани с всички траектории, които притежават това свойство.

В класическата обща теория на относителността има много различно възможни изкривени пространства-време, като всяко отговаря на различно начално състояние на Вселената. Ако знаехме началното състояние на нашата Вселена, бихме узнали и цялата ѝ история. По същия начин в квантовата теория на гравитацията има много различно възможни квантови състояния на Вселената. И отново, ако знаехме какво е поведението на Евклидовите

изкривени пространства-време сумата по траектории за началните стадии, бихме узнали квантовото състояние на Вселената.

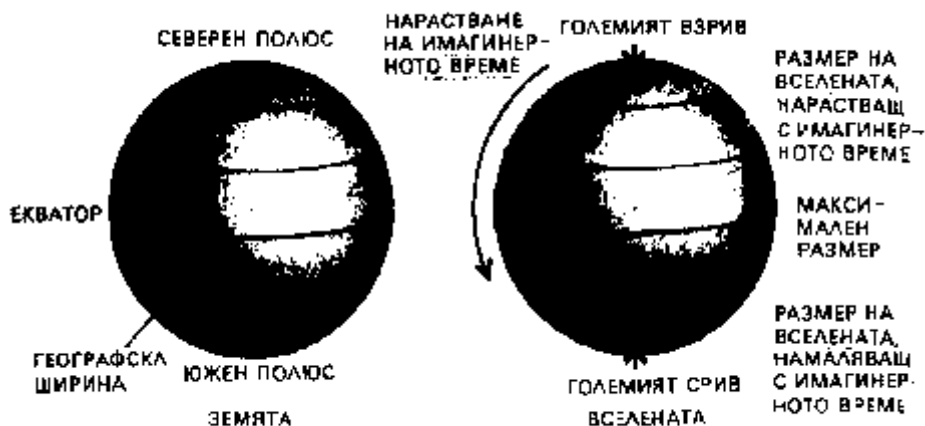
В класическата теория на гравитацията, която се базира на реално пространство-време, има само два възможни начина за поведение на Вселената: тя или е съществувала в продължение на безкрайно време, или е имала начало в някаква сингулярност в определен момент от миналото. От друга страна, в квантовата теория на гравитацията се явява и трета възможност. Тъй като използваме Евклидови пространства-време, в които посоката на времето има същата основа както посоките в пространството, възможно е пространство-времето да е крайно по протежение и все пак да няма сингулярности, образуващи граница или край. Пространство-времето ще бъде като земната повърхност, с тази разлика, че ще има две измерения повече. Земната повърхност е крайна по протежение, но няма граница или край: ако отплувате към залеза на Слънцето, няма да паднете от края или да попаднете в сингулярност. (Знам го, защото съм обикалял света!)

Ако Евклидовото пространство-време се простира назад до безкрайно имажинерно време или започва в сингулярност в имажинерно време, се сблъскваме със същия проблем както класическата теория при установяване на началното състояние на Вселената: може би Бог знае как е започнала Вселената, но ние не можем да предложим никаква специална причина, за да смятаме, че началото е било едно или друго. От друга страна, квантовата теория на гравитацията откри нова възможност, при която не би имало граница за пространство-времето, така че няма да се налага да установяваме поведението в тази граница. Тук няма да има сингулярности, в които научните закони се провалят, нито пък край на пространство-времето, при който да трябва да се обръщаме към Бог или към някой нов закон, който да постави граничните условия на пространство-времето. Бихме могли да кажем: „Граничното условие на Вселената е, че тя няма никаква граница.“ Вселената ще бъде съвършено самостоятелна и няма да зависи от нищо извън самата нея. Тя няма нито да бъде създавана, нито разрушавана. Тя просто **ЩЕ БЪДЕ**.

Именно на споменатата конференция във Ватикана аз за първи път изложих предположението, че може би времето и пространството заедно образуват една повърхнина, която е крайна по размери, но няма граница или край. Моят доклад обаче беше по-скоро математически, така че следствията му за ролята на Бог в създаването на Вселената не бяха изобщо осъзнати по онова време (и толкова по-добре за мен). По време на конференцията във Ватикана не знаех как да приложа идеята за „никаква граница“, за да направя предсказания за Вселената. Следващото лято обаче прекарах в Калифорнийския университет „Санта Барбара“. Там работихме с един мой приятел и колега, Джим Хартъл, и изведохме какви условия трябва да удовлетвори Вселената, ако пространство-времето няма граница. Когато се върнах в Кеймбридж, продължих да работя с двама мои аспиранти, Джулиън Лътърл и Джонатан Халиуел.

Тук трябва да отбележа, че идеята време и пространство да са крайни, но без граница, е само *предположение*: тя не може да се изведе от някакъв друг принцип. Както всяка научна теория първоначално тя можеше да се представи

от естетични или метафизични съображения, но реалното изпитание е дали тя прави предсказания, които се съгласуват с наблюденията. За квантова гравитация обаче това трудно може да се определи по две причини. Първо, както ще обясним в следващата глава, все още не сме съвсем сигурни коя теория успешно обединява общата теория на относителността с квантовата механика, макар да знаем доста за това, каква трябва да е една такава теория. Второ, всеки модел, който описва детайлно цялата Вселена, би бил прекалено сложен математически, за да можем да пресметнем точните предсказания. Поради това се налага да направим опростяващи допускания и приближения, но дори и тогава проблемът за предвижданията си остава много сериозен.



ФИГУРА 8.1

Всяка траектория в сумата по траектории ще описва не само пространство-времето, но и всичко в него, включително сложни организми като човешките същества, които могат да наблюдават траекторията на Вселената. Това е може би още едно оправдание за антропния принцип, защото, ако всички траектории са възможни, то след като ние съществуваме в една от траекториите, можем да си послужим с антропния принцип, за да обясним защо Вселената е такава, каквато е. Точно какъв смисъл можем да придадем на другите траектории, в които ние не съществуваме, не е ясно. Това гледище на квантовата теория на гравитацията би било много по-задоволително обаче, ако можехме да покажем, че като използваме сумата по траектории, нашата Вселена е не само една от възможните, но и една от най-вероятните траектории. За да направим това, трябва да извършим сумиране по траекториите за всички възможни Евклидови пространства-време, които нямат граница.

От идеята за никаква граница научаваме, че да установим коя от повече възможни траектории ще следва Вселената, има пренебрежимо малък шанс, но че има една особена фамилия от траектории, които са много по-вероятни от другите. Тези траектории можем да оприличим на земната повърхност, като разстоянието от Северния полюс представлява имажинерното време, а размерът на кръга на постоянно разстояние от Северния полюс представлява пространствената големина на Вселената. Вселената започва като точка в Северния полюс. Когато се движим на юг, кръговете на географската широчина при постоянно отстояние от Северния полюс стават по-големи, което отговаря

на вселена с разширяване в имагинерно време (фиг. 8.1). Вселената достига максимален размер при екватора и би се свила с нарастване на имагинерното време до точка в Южния полюс. Макар че Вселената ще има нулев размер в Северния и Южния полюс, тези точки са сингулярности не повече, отколкото самите Северен и Южен полюс върху земната повърхност са сингулярности. Научните закони ще са в сила и в тях, също както и в Северния и Южния полюс на Земята.

Траекторията на Вселената в реално време обаче ще изглежда съвсем различно. Преди около 10–20 млрд. години тя ще има минимален размер, равен на максималния радиус при траекторията в имагинерно време. В по-късно реално време Вселената ще се разширява като хаотичния инфлационен модел, предложен от Линде (но сега няма да се налага да приемаме, че Вселената е била сътворена по някакъв начин в правилно състояние). Вселената ще се разшири до много голям размер и накрая отново ще колапсира до нещо, подобно на сингулярност в реално време. Така, в известен смисъл, всички ще бъдем пак орисани, макар и да се пазим от черни дупки. Само ако успеем да представим Вселената чрез имагинерно време, ще избегнем сингулярностите.

Ако Вселената действително е в такова квантово състояние, няма да съществуват сингулярности в историята ѝ в имагинерно време. Оттук следва, изглежда, че по-новите ми работи напълно са обезсилили резултатите от предишните ми работи върху сингулярностите. Но, както посочих по-горе, действителното значение на теоремите за сингулярност е, че според тях гравитационното поле трябва да стане толкова силно, че да не може да се пренебрегнат квантовите гравитационни ефекти. Това от своя страна води до идеята, че Вселената Може да е крайна в имагинерно време, но без граници или сингулярности. Когато се върнем в реалното време, в което живеем, обаче, пак ще се натъкнем на сингулярности. Бедният астронавт, който пада в черна дупка, пак ще стигне до задънена улица; само ако живееше в имагинерно време, той нямаше да срещне сингулярности.

Това би предположило т.нар. имагинерно време всъщност да е реално време, а това, което наричаме реално време, да е просто фикция на въображението ни. В реално време Вселената има начало и край в сингулярностите, които образуват граница за пространство-времето и в които научните закони не важат. Но в имагинерно време няма нито сингулярности, нито граници. Така че може би това, което наричаме имагинерно време, е всъщност по-основното, а това, което наричаме реално, е просто една идея, която сме си измислили, за да ни помогне да опишем как си представяме Вселената. Но според подхода, който изложих в глава 1, научната теория е просто математически модел, който изграждаме, за да опишем нашите наблюдения: той съществува само в нашето съзнание. Така че е безсмислено да питаме: Кое е реално — „реалното“ или „имагинерното“ време? Въпросът е просто кое е по-подходящо за описанието.

Можем да използваме и сумата по траектории в съчетание с условието „без никаква граница“, за да определим кои от свойствата на Вселената могат да се проявят съвместно. Така например можем да изчислим вероятността

Вселената да се разширява с почти една и съща скорост във всички различни посоки в момента, когато плътността на Вселената има сегашната стойност. В опростените модели, изследвани досега, тази вероятност се оказва висока; т.е. предложеното условие „без никаква граница“ води до предсказването, че е изключително възможно сегашната скорост на разширение на Вселената да е почти една и съща във всички посоки. Това е в съгласие с наблюденията върху микровълновото фоново лъчение, които показват, че интензитетът му е почти точно един и същ във всички посоки. Ако Вселената се разширяваше по-бързо в някои посоки, отколкото в други, интензитетът на лъчението в тези посоки би станал по-малък поради допълнителното червено отместване.

Другите предсказания от условието „без никаква граница“ са в процес на уточняване. Един особено интересен проблем е големината на малките отклонения от еднородната плътност в ранната Вселена, които са причина за образуването първо на галактиките, след това на звездите и накрая на самите нас. Според принципа на неопределеността ранната Вселена не би могла да е напълно еднородна, защото трябва да е имало някои неопределености или флуктуации в положенията и скоростите на частиците. С помощта на условието „без никаква граница“ ние установяваме, че фактически Вселената трябва да е започнала с минималната възможна нееднородност, допустима от принципа на неопределеността. След това тя е преминала през период на рязко разширение както при инфлационните модели. През този период началните нееднородности трябва да са се усилвали, докато са станали достатъчно големи, за да обяснят произхода на структурите, които наблюдаваме около нас. В една разширяваща се Вселена, където плътността на материята леко се променя от място към място, гравитацията би причинила по-плътните области да забавят разширението си и да започнат да се свиват. Това води до образуването на галактики, звезди и най-сетне даже на такива нищожни същества като нас. Така всички сложни образувания, които виждаме във Вселената, могат да се обяснят чрез условието „без никаква граница“ за Вселената в съчетание с принципа на неопределеността от квантовата механика.

Идеята, че пространството и времето могат да образуват затворена повърхнина без граница, също има съществени следствия за ролята на Бог в работите на Вселената. Успешното описание на събитията с помощта на научни теории накара повечето да вярват, че Бог разрешава на Вселената да се развива според група закони и не се намесва във Вселената, за да нарушава тези закони. Законите обаче не ни казват как би изглеждала Вселената в началото. От Бог зависи да навие часовника и да избере началото ѝ. Доколкото Вселената има начало, можем да предполагаме, че има създател. Но ако Вселената е напълно самостоятелна, без граница или край, тя няма нито начало, нито край: тя просто съществува. Къде тогава е мястото на създателя?

9. СТРЕЛАТА НА ВРЕМЕТО

В предишните глави видяхме как нашите представи за природата на времето са се променяли с годините. Чак до началото на нашия век хората вярваха в абсолютното време. Така всяко събитие може да се означае с число, наречено „време“, по единствен начин и интервалът от време между две събития за всички точни часовници ще бъде един и същ. Откритието, че скоростта на светлината изглежда една и съща за всеки наблюдател независимо от това, как той се движи, доведе обаче до теорията на относителността, а в нея се наложи да се откажем от идеята за едно-единствено абсолютно време. Вместо него всеки наблюдател има собствена мярка за време, отчитана по неговия часовник, а часовниците на различни наблюдатели не непременно се съгласуват. Така времето се превърна в една по-лична представа, свързана с наблюдателя, който го измерва.

Когато се опитваме да обединим гравитацията с квантовата механика, се налага да въведем понятието „имагинерно“ време. Имагинерното време е неразграничимо от посоките в пространството. Ако вървим на север, можем да се обърнем и да тръгнем на юг; по същия начин, ако вървим напред в имагинерното време, би трябвало да можем да се обърнем и да тръгнем назад. Тава означава, че в имагинерното време не е възможно да има съществена разлика между посоките напред и назад. От друга страна, когато става въпрос за „реално“ време, както всички знаем, разликата между напред и назад е твърде голяма. Откъде идва тази разлика между минало и бъдеще? Защо помним миналото, а не бъдещето?

Научните закони не правят разлика между минало и бъдеще. По-точно, както вече обяснихме, научните закони не се променят при комбиниране на операциите или симетриите, познати като C , P и T (C означава смяна на частици с античастици. P значи огледално изображение, в което лявото и дясното са разменени. А T значи обръщане на посоката на движение на всички частици: всъщност движение в обратна посока, назад.) Научните закони, които управляват поведението на материята при всички нормални ситуации, не се променят при комбиниране на двете операции C и P сами по себе си. С други думи, животът на жителите на друга планета, които са наши огледални образи и са от антиматерия, а не от материя, ще бъде съвсем същият като нашия.

След като научните закони не се променят при комбиниране на операциите C и P , както и от комбинацията C , P и T , те би трябвало да не се променят и само при операция T . И въпреки това в обикновения живот в реално време съществува голяма разлика между посоките напред и назад. Да си представим чаша с вода, която пада от масата и се счупва на парченца на пода. Ако я заснемете, можете лесно да кажете дали се движи напред или назад. Ако пуснете филма обратно, ще видите как парченцата внезапно се слепват на пода и скачат обратно на масата като цяла чаша. Вие можете да кажете дали филмът се движи назад, защото този вид поведение никога не се наблюдава в обикновения живот. Ако не беше така, стъкларите щяха да станат излишни.

Обяснението, което обикновено се дава на въпроса, защо не виждаме как счупената чаша се слепва и скача обратно на масата, е, че това е забранено според втория закон на термодинамиката. Той твърди, че във всяка затворена

система хаосът, или ентропията, винаги нараства с времето. С други думи нещо като закона на Мърфи: Работите винаги вървят зле! Една здрава чаша на масата е състояние на пълен ред, но счупена чаша на пода е в състояние на безредие. Лесно можем да преминем от чаша на масата в миналото към счупена чаша на пода в бъдещето, но не и обратно.

Нарастването на хаоса, или ентропията, с времето е пример за т.нар. стрела на времето — нещо, което разграничава миналото от бъдещето и дава посока на времето. Съществуват поне три различни стрели на времето. Първо, термодинамичната стрела на времето — посоката на времето, в която хаосът, или ентропията, нараства. После — психологичната стрела на времето. Това е посоката, в която усещаме, че времето тече, посоката, в която помним миналото, но не и бъдещето. И накрая — космологичната стрела на времето. Това е посоката на времето, в която Вселената се разширява, а не се свива.

В тази глава ще се аргументирам за това, как условието „без никаква граница“ за Вселената, съчетано със слабия антропен принцип, може да обясни защо и трите стрели имат една и съща посока и нещо повече — защо изобщо съществува добре дефинирана стрела на времето. Ще обсъдя как психологичната стрела се определя от термодинамичната и защо тези две стрели по необходимост винаги имат една и съща посока. Ако приемем за Вселената условието „без никаква граница“, ще видим, че трябва да съществуват добре дефинирани термодинамична и космологична стрела на времето, но те няма да имат една и съща посока през цялата история на Вселената. Но аз ще се аргументирам, че само когато те имат една и съща посока, условията са подходящи за развитието на интелигентни същества, които могат да зададат въпроса: Защо хаосът нараства в същата посока на времето, както посоката, в която Вселената се разширява?

Ще се спра първо на термодинамичната стрела на времето.

Вторият закон на термодинамиката идва от факта, че състоянията на хаос са винаги много повече от състоянията на ред. Да разгледаме например два елемента от детска мозайка. Съществува едно и само едно подреждане, при което двата елемента участват в завършена картина. От друга страна, съществуват много голям брой подреждания, при които те са в хаотично състояние и не образуват завършена картина.

Да предположим, че една система тръгва от едно измежду малкия брой подредени състояния. С времето системата ще се развива по научните закони и нейното състояние ще се променя. На някакъв по-късен момент ще е по-вероятно системата да е в състояние на хаос, отколкото на ред, защото хаотичните състояния са повече. Така с времето състоянието на хаос ще се стреми да нараства, ако системата се подчинява на начално условие за по-висок ред. Да предположим, че първоначално двата елемента от мозайката са подредени в кутия и образуват завършена картина. Ако разклатите кутията, те ще заемат друго подреждане. Вероятно то ще е безредно и елементите няма да образуват картина просто защото хаотичните разположения са много повече. Някои групи от елементите ще образуват част от общата картина, но колкото повече разклащате кутията, толкова по-вероятно е тези групи да се

нарушат и елементите да се разбъркат така, че изобщо да не образуват никаква картина.

Така безредието в елементите вероятно ще нараства с времето, ако те се подчиняват на началното условие да са започнали от състояние на по-висок ред.

Да предположим обаче, че Бог е решил Вселената да завърши в състояние на пълен ред, но че няма значение от какво състояние е започнала. В ранни времена Вселената вероятно ще бъде в хаотично състояние. Това ще значи, че безредието *ще намалява* с времето. Ще станем свидетели на това, как счупената чаша събира парченцата си и скача на масата. Но всяко човешко същество, което наблюдава тази чаша, ще живее във вселена, в която безредието намалява с времето. Аз ще покажа, че за такова същество психологичната стрела на времето ще е обърната назад. Така то ще помни събитията от бъдещето, а не от тяхното минало. Когато чашата е счупена, за него тя ще е на масата, а когато е на масата, то няма да помни, че е била на пода.

Трудно е да се говори за човешката памет, защото не знаем как точно функционира мозъкът. Но знаем съвсем точно как функционира паметта на компютъра. Поради това ще разгледам психологичната стрела на времето за компютри. Смятам за логично да приемем, че стрелата за компютри е същата както за хора. Ако не беше така, щяхме да направим жесток удар на борсата с компютъра си, който би помнил утрешните цени!

Принципно паметта на компютъра е съставена от елементи, които са в едно от двете възможни състояния. Един прост пример е сметалото. В найпростия си вид то се състои от няколко телчета, върху всяко от които има топче, което може да се мести в едно от двете възможни положения. Преди да запишем елемент информация, паметта на компютъра е в състояние на безредие, с равни вероятности за двете възможни състояния. (Топчетата на сметалото са разпръснати безразборно върху телчетата.) След като паметта взаимодейства със системата за запамятаване, тя определено ще мине в едното или другото състояние в зависимост от състоянието на системата. (Всяко топче на сметалото е или отляво, или отдясно по телчето.) Така паметта преминава от състояние на безредие в състояние на порядък. Но за да сме сигурни, че паметта е в правилно състояние, е необходимо да използваме известно количество енергия (да придвижим топчето или да захраним компютъра например.) Тази енергия се разсейва под формата на топлина и увеличава степента на безредие във Вселената.

Можем да покажем, че това нарастване на безредието е винаги по-голямо от увеличаването на реда в самата памет. Така топлината, извеждана от вентилатора на компютъра, означава, че когато компютърът запамятава елемент информация, общото количество безредие във Вселената ще расте. Посоката на времето, в която компютърът запамятава миналото, е същата, в която нараства безредието.

Поради това нашето субективно усещане за посока на времето, психологичната стрела на времето, се определя в мозъка ни от термодинамичната стрела на времето. Също като компютъра ние трябва да

запомним нещата в реда на нарастване на ентропията. Това прави втория закон на термодинамиката почти тривиален. Безредието нараства с времето, защото ние измерваме времето в посоката, в която безредието нараства. По-добър залог от този няма!

Но защо изобщо трябва да съществува термодинамична стрела на времето? Или с други думи, защо Вселената трябва да е в състояние на пълен ред в единия край на времето, този, който наричаме минало? Защо не е винаги в състояние на пълен хаос? В края на краищата това би изглеждало по-вероятно. И защо посоката на времето, в която хаосът нараства, е същата, в която Вселената се разширява?

В класическата обща теория на относителността не можем да предскажем как е започнала Вселената, защото всички познати ни научни закони са били невалидни в сингулярността на Големия взрив. Вселената трябва да е започнала от много гладко и подредено състояние. Това би трябвало да доведе до добре дефинирани термодинамична и космологична стрела на времето, както наблюдаваме. Но еднакво добре би започнала и от много набръчкано и хаотично състояние. В този случай Вселената вече е била в състояние на пълен хаос, така че безредието не би могло да нараства с времето. То или би останало постоянно, в който случай няма да има добре дефинирана термодинамична стрела на времето, или ще намалява, в който случай термодинамичната стрела на времето ще сочи обратно на космологичната стрела. Никоя от тези вероятности не се съгласува с нашите наблюдения. Но, както видяхме, класическата обща теория на относителността предсказва собствения си крах. Когато кривината на пространство-времето стане голяма, придобиват значение квантовите гравитационни ефекти и класическата теория престава да е добро описание на Вселената. За да разберем началото на Вселената, трябва да използваме квантовата теория на гравитацията.

Както видяхме в последната глава, за да определим състоянието на Вселената в квантовата теория на гравитацията, пак трябва да можем да кажем какво ще е поведението на възможните траектории във Вселената на границата на пространство-времето в миналото. Можем да избегнем трудността да се налага да описваме нещо, което не знаем и не можем да знаем, само ако траекториите удовлетворяват условието „без никаква граница“: те са крайни по размер, но нямат никакви граници, край или сингулярности. В този случай началото на времето ще бъде една регулярна, гладка точка от пространство-времето и Вселената ще трябва да започне разширението си от едно много гладко и подредено състояние. Тя не би могла да е напълно еднородна, защото по този начин би се нарушил принципът на неопределеността от квантовата теория. Би трябвало да има малки флуктуации в плътността и скоростта на частиците. Условието „без никаква граница“ обаче налага тези флуктуации да са колкото е възможно по-малки в съгласие с принципа на неопределеността.

Вселената би започнала с период на експоненциално или „инфлационно“ разширение, при което размерът ѝ би трябвало да се увеличи с много голям фактор. По време на това разширение флуктуациите в плътността първоначално са оставали малки, но впоследствие са започнали да нарастват. Областите с плътност малко над средната е трябвало да се разширяват по-

бавно поради гравитационното привличане от допълнителната маса. Накрая тези области спират разширението си и колапсират, за да образуват галактики, звезди и същества като нас. Вселената започва от гладко и подредено състояние и с времето преминава в набръчкано и хаотично състояние. Това обяснява съществуването на термодинамичната стрела на времето.

Но какво ще стане, ако Вселената спре да се разширява и започне да се свива? Ще се обърне ли термодинамичната стрела и ще започне ли безредието да намалява с времето? Това би довело до най-различни възможности из областта на научната фантастика за хората, оцелели от разширяващата се до свиващата се фаза. Дали ще наблюдават как счупената чаша се вдига от пода и скача на масата? Ще могат ли да помнят утрешните цени и да натрупат състояние на борсата? Прекалено академично ще е да се тревожим за това, какво би станало, когато Вселената започне отново да колапсира, защото това няма да се случи поне през следващите 10 млрд. години. Но има един по-бърз начин да разберем какво ще стане: да скочим в черна дупка. Колапсът на една звезда да образува черна дупка е твърде сходен на по-късните стадии от колапса на цялата Вселена. Така че, ако безредието ще намалява във фазата на свиване на Вселената, бихме могли да очакваме да намалява и вътре в черната дупка. Тогава може би астронавтът, попаднал в черна дупка, ще успее да спечели на рулетка, като запомни къде е отишло топчето, преди да е заложил. (За съжаление обаче няма да му се удаде да играе дълго, преди да бъде превърнат в макарон. Не би могъл и да ни уведоми за обръщането на термодинамичната стрела, нито да вложи в банка печалбата си, защото ще бъде пленен зад хоризонта на събития на черната дупка.)

Първоначално мислех, че безредието ще намалява, когато Вселената отново колапсира, защото според мен Вселената трябва да се върне до гладко и подредено състояние, когато отново стане малка. Това би значело фазата на свиване да е подобна на обръщане на времето във фазата на разширение. Тогава хората във фазата на свиване щяха да живеят живота си назад: трябваше да умрат, преди да са се родили, и да стават все по-млади, колкото повече се свива Вселената.

Тази идея е примамлива, защото предоставя добра симетрия между фазите на разширение и свиване. Но не бихме могли да я приемем сама по себе си, независима от останалите идеи за Вселената. Въпросът е: налага ли се това по силата на условието „без никаква граница“, или не се съгласува с това условие? Както казах, отначало мислех, че условието „без никаква граница“ наистина налага намаляване на хаоса във фазата на свиване. Отчасти бях заблуден от аналогията със земната повърхност. Ако приемем Северния полюс за начало на Вселената, то краят на Вселената би трябвало да е подобен на началото, също както Южният полюс е подобен на Северния. Но Северният и Южният полюс отговарят на началото и края на Вселената в имагинерно време. Началото и краят в реално време могат да са много различни един от друг. Бях заблуден и от работата си върху един прост модел на Вселената, в който фазата колапс изглежда като времето, обърнато във фазата разширение. Но един мой колега, Дон Пейдж, от Пенсилванския университет отбеляза, че условието „без никаква граница“ не изисква фазата свиване непременно да е времето, обратно на

фазата разширение. След това един от моите студенти, Реймънд Лафлам, установи, че в малко по-сложен модел колапсът на Вселената е твърде различен от разширението. Разбрах, че съм допуснал грешка: условието „без никаква граница“ налага хаосът фактически да продължава да нараства по време на свиването. Термодинамичната и психологичната стрела на времето не се обръщат нито когато Вселената отново започне да се свива, нито във вътрешността на черна дупка.

Какво би направил човек, когато открие, че е допуснал подобна грешка? Някои никога не биха си признали, че са сбъркали, и биха продължили да търсят нови, често взаимно изключващи се аргументи в своя подкрепа — както Едингтън се противопостави на теорията на черните дупки. Други ще твърдят, че преди всичко никога не са поддържали неправилния възглед или ако са го подкрепяли, то е било само за да покажат, че е несъстоятелен. На мен ми се струва много по-подходящо и по-малко смущаващо, ако публично признаете грешката си. Един такъв добър пример е Айнщайн, който нарече космологичната константа, въведена от него при опит да изгради статичен модел на Вселената, най-голямата грешка в живота си.

Да се върнем към стрелата на времето. Остава въпросът: Защо ние наблюдаваме термодинамичната и космологичната стрела да имат една и съща посока? Или с други думи, защо хаосът расте в същата посока на времето, в която Вселената се разширява? Ако вярваме, че Вселената ще се разшири и после отново ще се свие, както изглежда налага условието „без никаква граница“, въпросът се превръща в: защо съществуваме във фазата на разширение, а не във фазата свиване. На този въпрос можем да отговорим въз основа на слабия антропен принцип. Условието във фазата свиване няма да са подходящи за съществуването на разумни същества, способни да запитат: Защо хаосът расте в същата посока на времето, в която Вселената се разширява? Инфлацията в ранните стадии на Вселената, която условието „без никаква граница“ предсказва, означава Вселената да трябва да се разширява със скорост, много близка до критичната, при която точно да се избегне повторният колапс, така че за дълго време няма да има повторен колапс. Дотогава всички звезди ще са изгаснали, а протоните и неутроните в тях ще са се разпаднали на леки частици и излъчване. Вселената ще бъде в състояние на почти пълен хаос. Вече няма да има силна термодинамична стрела на времето. Хаосът няма да може много да нараства, защото Вселената вече ще е достигнала състояние на почти пълно безредие. Но за да има разумен живот, трябва да действа силна термодинамична стрела. За да оцелеят, хората трябва да консумират храна, която е подредена форма на енергията, и да я превръщат в топлина, която е неподредена форма на енергията. Така разумен живот не би могъл да съществува във фазата свиване на Вселената. Това е обяснението на въпроса, защо термодинамичната и космологичната стрела на времето имат една и съща посока. Не разширението на Вселената причинява нарастването на хаоса. По-скоро условието „без никаква граница“ заставя безредието да нараства и създава условия, благоприятни за разумен живот само във фазата разширение.

Да резюмираме. Научните закони не правят разлика между посоките напред и назад във времето. Съществуват обаче поне три стрели на времето, които разграничават минало от бъдеще. Това са термодинамичната стрела — посоката на времето, в която хаосът нараства; психологичната стрела — посоката на времето, в която помним миналото, а не бъдещето; и космологичната стрела — посоката на времето, в която Вселената се разширява, а не се свива. Аз показах, че психологичната стрела е по същество една и съща с термодинамичната, така че двете винаги имат една и съща посока. Условието „без никаква граница“ за Вселената предсказва съществуването на добре дефинирана термодинамична стрела на времето, защото Вселената трябва да тръгва от гладко и подредено състояние. А причината да наблюдаваме съгласие между термодинамичната и космологичната стрела е, че разумни същества могат да съществуват само във фаза разширение. Фазата свиване ще бъде неподходяща, тъй като няма силна термодинамична стрела на времето.

Прогресът на човечеството в разбирането на Вселената е внесъл малко кътче на ред в една Вселена с нарастващо безредие. Ако запомните всяка дума от тази книга, в паметта ви ще се съхраняват около 2 млн. единици информация: редът в паметта ви ще се е увеличил с приблизително 2 млн. единици. Но докато сте чели книгата, вие сте преобразували поне хиляда калории енергия на реда във вид на храна в енергия на безредието под формата на топлина, която сте загубили във въздуха около вас чрез конвекция и потене. Тя ще увеличи хаоса във Вселената с около 2×10^{25} единици или около 10^{19} пъти повече от реда във вашия мозък, но само при условие че сте запомнили *всичко* прочетено. В следващата глава ще се опитам да подобря реда в нашата „джунгла“ още малко, като обясня как учените се опитват да „нагодят“ частните теории, които описах, една към друга, за да се получи завършена единна теория, която да обхваща всичко във Вселената.

10. ОБЕДИНЕНИЕТО НА ФИЗИКАТА

Както обяснихме в първа глава, създаването на една завършена единна теория за всичко във Вселената с един замах е много трудно. Ето защо прогресът се постига чрез намиране на частни теории, описващи ограничен обхват от събития, и чрез пренебрегване на останалите ефекти или численото им апроксимиране. (Химията например ни позволява да изчислим взаимодействия между атомите, без да познаваме вътрешния строеж на атомното ядро.) В крайна сметка обаче ние се надяваме да намерим една завършена, състоятелна, единна теория, която да включва всички тези частни теории като приближения и която не се налага да пригаждаме към фактите, подбирайки стойности за някои произволно избрани числа в теорията. Търсенето на такава теория е известно като „обединение на физиката“. Айнщайн прекара повечето от последните си години в безуспешно търсене на единна теория, но времето не беше дошло: съществуваха частни теории за гравитацията и електромагнитната сила, но за ядрените сили се знаеше твърде малко. Освен това Айнщайн отказа да повярва

в реалността на квантовата механика независимо от важната си роля в нейното създаване. И все пак, изглежда, че принципът на неопределеността е фундаментално свойство на Вселената, в която живеем. Поради това една успешна единна теория непременно трябва да включва този принцип.

Както ще опиша по-нататък, перспективите да се намери такава теория, изглежда, са вече много по-добри, тъй като вече знаем много повече за Вселената. Но трябва да се пазим от прекалена самоувереност: вече сме преживявали преждевременни радости! В началото на този век например се смяташе, че всичко може да се обясни чрез термини от свойствата на непрекъснатата материя като свойството еластичност или топлопроводимост. Откриването на строежа на атома и принципа на неопределеността постави категоричен край на това. Впоследствие, през 1928 г. физикът и Нобелов лауреат Макс Борн каза пред посетители в Гьотингенския университет: „Физиката, такава, каквато я познаваме, ще стигне до своя край за шест месеца.“ Неговата увереност се базираше на наскоро откритото от Дирак уравнение, управляващо електрона. Предположи се, че подобно уравнение би управлявало и протона, който по онова време беше единствената друга позната частица, и че това ще е краят на теоретичната физика. Откриването на неутрона и ядрените сили обаче ни нанесе поредния удар. Казвайки това, аз продължавам да вярвам, че предпоставки за умерен оптимизъм има и че може би сме достигнали края на търсенето на последните закони в природата.

В предишните глави описах общата теория на относителността, частната теория на гравитацията и частните теории, които управляват слабото, силното и електромагнитното взаимодействие. Последните три могат да се съчетаят в т.нар. теории на Великото обединение, които не са много удовлетворителни, защото не включват гравитацията и защото съдържат някои величини, като относителните маси на различните частици, които не могат да се предскажат теоретично, а се налага да бъдат подбирани така, че да съответстват на наблюденията. Основната трудност при намирането на теория, обединяваща гравитацията с останалите сили, е, че общата теория на относителността е „класическа“ теория, т.е. тя не включва принципа на неопределеността от квантовата механика. От друга страна, останалите частни теории съществено зависят от квантовата механика. Ето защо първата необходима стъпка е да съчетаем общата теория на относителността с принципа на неопределеността. Както видяхме, това може да доведе до някои забележителни последствия, като например черните дупки да не са чак толкова черни и Вселената да няма сингулярности, а да е напълно независима и без граница. Бедата е, както обясних в глава VII, че според принципа на неопределеността дори „празното“ пространство е изпълнено с двойки виртуални частица/античастица. Тези двойки притежават безкрайно количество енергия и поради това според знаменитото уравнение на Айнщайн $E = mc^2$ ще имат и безкрайна маса. Ето защо тяхното гравитационно привличане ще изкриви Вселената до безкрайно малък размер.

И в другите частни теории се наблюдават твърде сходни, наглед абсурдни безкрайности, но във всички тези случаи те могат да се отстранят чрез

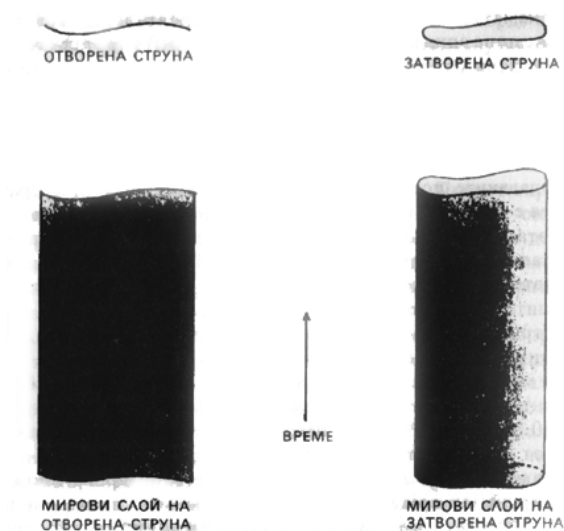
процедура, наречена пренормировка. Тя е свързана с унищожаване на безкрайностите чрез въвеждане на други безкрайности. Макар този метод да е твърде съмнителен от математическа гледна точка, изглежда, че на практика действа и е бил използван в тези теории за предсказания, които изключително точно се съгласуват с наблюденията. Пренормировката обаче има един сериозен недостатък по отношение опита да намерим една завършена теория, защото означава, че действителните стойности на масите и големината на силите не могат да се предскажат от теорията, а трябва така да се подберат, че да съответстват на наблюденията.

Когато се опитваме да въведем принципа на неопределеността в общата теория на относителността, има само две величини, които трябва да се подбират: гравитационната сила и стойността на космологичната константа. Но тяхното подбиране не е достатъчно да отстрани всички безкрайности. Излиза, че разполагаме с теория, която предсказва, че някои величини, като кривината на пространство-времето, са наистина безкрайни, а тези величини могат да се наблюдават и измерват и са крайни! Този проблем при съчетаването на общата теория на относителността с принципа на неопределеността беше подозиран от известно време, но окончателно бе потвърден от подробни изчисления през 1972 г. Четири години по-късно бе предложено едно възможно решение, наречено „супергравитация“. Идеята беше да се комбинира частицата със спин 2, наречена гравитон, която пренася гравитационното взаимодействие, с някои други нови частици със спин $3/2$, 1 , $1/2$ и 0 . В известен смисъл тогава всички частици могат да се разглеждат като различни прояви на една и съща „сврѳхчастица“, като по този начин ще се обединят материалните частици със спин $1/2$ и $3/2$ с частиците, пренасящи взаимодействие със спин 0 , 1 и 2 . Двойките виртуални частица/античастица със спин $1/2$ и $3/2$ ще имат отрицателна енергия, така че ще се стремят да унищожат положителната енергия на двойките виртуални частици със спин 2 , 1 и 0 . По този начин ще се унищожат много от възможните безкрайности, но се подозираше, че някои безкрайности биха могли да останат. Обаче изчисленията, необходими да се установи дали остават неунищожени безкрайности, са толкова продължителни и трудни, че никой не бе готов да се заеме с тях. Предполагаше се, че дори с компютър ще отнемат поне четири години, а вероятността човек да допусне поне една грешка, а може би и повече, е твърде голяма. Така че дали отговорът ще е верен, бихме разбрали само ако още някой повтори изчисленията и получи същия отговор, а това не изглеждаше твърде правдоподобно!

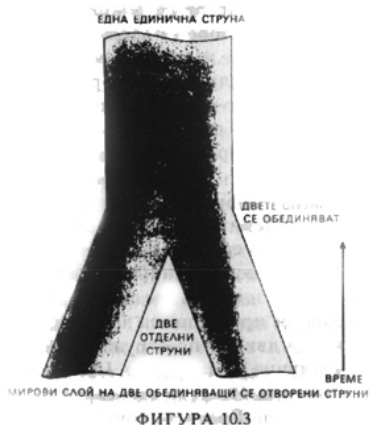
Независимо от тези проблеми и от факта, че частиците от теориите за супергравитацията, изглежда, не съответстваха на наблюдаваните, повечето учени смятаха, че вероятно супергравитацията е правилното решение на проблема по обединението на физиката. Тя бе приета като най-добрия начин за обединяване на гравитацията с другите взаимодействия. През 1984 г. обаче везните натежаха в полза на т.нар. струнни теории. В тези теории основните обекти не са частици, заемащи една-единствена точка в пространството, а обекти, които имат дължина, но не и друго измерение, подобни на безкрайно тънка част от струна. Тези струни могат да имат край (т.нар. отворени струни) или да бъдат свързани сами със себе си в затворени примки (затворени струни)

(фиг. 10.1 и фиг. 10.2). Една частица във всеки момент заема една точка от пространството. Така нейната траектория може да се представи с линия в пространство-времето („мирова линия“). Една струна, от друга страна, във всеки момент заема линия в пространството. Така нейната траектория в пространство-времето е двумерна повърхнина, наречена мирови слой. (Всяка точка от този мирови слой може да се опише с две числа: едното, определящо времето, а другото — положението на точката върху струната.) Мировият слой на една отворена струна е лента; нейните ръбове представляват траекториите на краищата на струната през пространство-времето (фиг. 10.1). Мировият слой на една затворена струна е цилиндър или тръба (фиг. 10.2); сечението през тръбата е кръг, представляващ положението на струната в даден момент.

Две части от струна могат да се свържат и да образуват единична струна; отворените струни просто свързват краищата си (фиг. 10.3), но когато са затворени, се получава нещо като двата крачола на панталон (фиг. 10.4). По същия начин парче от струна може да се раздели на две струни. В струнните теории това, което по-рано се приемаше за частици, сега се представя като вълни, които се движат по струната подобно на вълните по трептящата връвчица на хвърчило. Излъчването или поглъщането на една частица от друга отговаря на разделянето или свързването на струни. Гравитационната сила на Слънцето върху Земята например се представя в теориите на елементарните частици като резултат от излъчването на гравитон от частица на Слънцето и неговото поглъщане от частица на Земята (фиг. 10.5). В струнните теории този процес отговаря на тръба с профил H (фиг. 10.6). (В известен смисъл струнните теории са нещо като водопроводно дело.) Двете вертикални части на H отговарят на частиците в Слънцето и Земята, а напречната хоризонтална пресечка отговаря на гравитона, който се движи между тях.



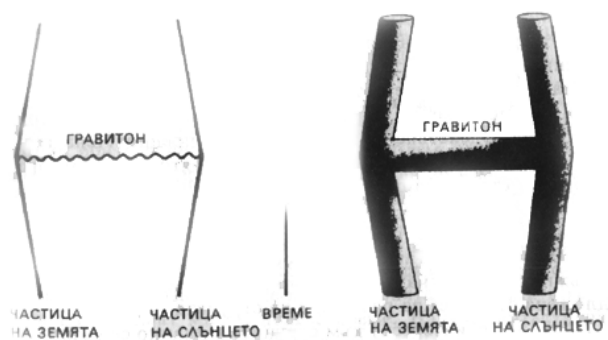
ФИГУРА 10.1 и ФИГУРА 10.2



ФИГУРА 10.3



ФИГУРА 10.4

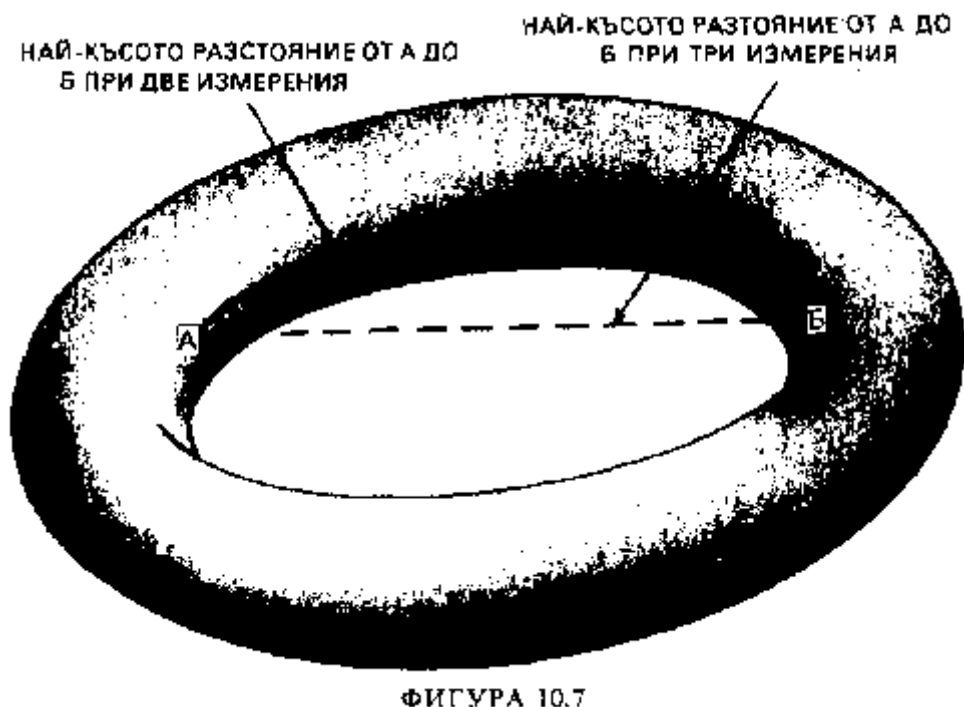


ФИГУРА 10.5 и ФИГУРА 10.6

Струнната теория има интересна история. Първоначално тя е изобретена в края на 60-те години при опит да се намери теория за описване на силното взаимодействие. Идеята е, че частици като протона и неутрона могат да се разглеждат като вълни по струна. Силните взаимодействия между частиците биха отговаряли на части от струна, които се вплитат между други нейни участъци подобно на паяжина. За да може тази теория да даде наблюдаваната стойност на силното взаимодействие между частиците, струните би трябвало да са като каучукови ремъци, с спъване около десет тона. През 1974 г. Жоел Шерк от Париж и Джон Шварц от Калифорнийския технологичен институт

публикуваха работа, в която показаха, че струнната теория може да опише гравитационната сила, но само ако разтягането на струната е много по-голямо — приблизително 1039 тона. Предсказанията на струнната теория при нормални по мащаб дължини са точно същите както при общата теория на относителността, но при съвсем малки разстояния, по-малки от 10^{-33} см, те ще се различават. На работата им обаче не бе обърнато особено внимание, защото почти по същото време първоначалната струнна теория при силното взаимодействие бе изоставена и бе предпочетена теорията, основана върху кварки и глюони, която сякаш много по-добре се съгласуваше с наблюденията. Шерк загина при трагични обстоятелства (той страдаше от диабет и изпадна в кома, когато нямаше никой край него, за да му постави инжекция инсулин). Така Шварц остана почти единственият поддръжник на струнната теория, но вече при много по-висока предложена стойност за разтягане на струната.

През 1984 г. интересът към струните внезапно се възроди, очевидно по две причини. Едната, че всъщност не беше постигнат особен напредък в доказването на крайния характер на супергравитацията, нито че с нейна помощ могат да се обяснят различните видове частици, които наблюдаваме. Другата бе публикацията на Джон Шварц и Майк Грийн от колежа „Куин Мери“ в Лондон, която показва, че може би теорията на струните ще успее да обясни съществуването на частици, притежаващи присъща лява ориентация като някои от частиците, които наблюдаваме. Независимо от причината голям брой учени скоро започнаха да работят по струнната теория и бе развит нов вариант — т.нар. хетеротична струна, който сякаш щеше да обясни видовете частици, които наблюдаваме.



ФИГУРА 10.7

Струнните теории също водят до безкрайности, но се смята, че всички те се унищожават при варианти като хетеротичната струна (макар че все още не е съвсем сигурно). Струнните теории обаче се сблъскват с голям проблем: те са състоятелни само ако пространство-времето е с 10 или 26 измерения, а не с

обикновените четири! Разбира се, допълнителните измерения на пространство-времето са нещо обичайно за научната фантастика; всъщност те са почти наложителни, защото иначе фактът, че относителността налага да не можем да се движим по-бързо от светлината, означава, че пътешествията до звезди и галактики ще отнемат много повече време. Научнофантастичната идея се крие в предположението, че е възможно да преминем направо през по-високо измерение. Това може да се представи по следния начин. Приемете, че пространството, в което живеем, има само две измерения и е изкривено като повърхността на спасителен пояс или тор (фиг. 10.7). Ако сте от вътрешната страна на пръстена и искате да стигнете до точка от отсрещната страна, трябва да се движите по вътрешната обиколка на пръстена. Но ако можете да пътувате в третото измерение, просто ще пресечете.

Защо не забелязваме всички тези допълнителни измерения, ако те наистина съществуват? Защо виждаме само три пространствени и едно времево измерение? Предположението е, че останалите измерения са изкривени в пространство с много малък размер, нещо като 10^{30} част от инча. То е толкова малко, че просто не го забелязваме; ние виждаме само едно времево измерение и три пространствени измерения, в които пространство-времето е почти плоско. Нещо като повърхността на портокал: ако я гледате отблизо, тя е обла и набръчкана, но от разстояние няма да виждате грапавините и тя ще изглежда гладка. Така е и с пространство-времето: в съвсем малки мащаби то е десетмерно и силно изкривено, но в по-големи мащаби няма да виждате кривината или допълнителните измерения. Ако тази картина е вярна, тя носи лоши новини за бъдещите космически пътешественици: допълнителните измерения ще бъдат прекалено малки, за да пропуснат космическия кораб. Тук обаче възниква друг голям проблем. Защо само някои, а не всички измерения да са свити до малка топка? Вероятно в съвсем ранната Вселена всички измерения са били изкривени. Защо едното измерение време и трите пространствени са се изгладили, докато другите са останали плътно навити?

Един възможен отговор е антропният принцип. Изглежда, че две пространствени измерения не са достатъчни за развитието на такива сложни организми като нас. Ако на едномерна земя живеят двумерни същества, те ще трябва да се прескачат, за да се разминат. Когато двумерното същество се храни, то няма да може да смели храната си напълно и ще трябва да изхвърля остатъците по същия път, по който е приело храната, защото, ако имаше канал през тялото му, той би разцепил съществото на две отделни части: нашето двумерно същество ще се раздели наполовина (фиг. 10.8). По същия начин трудно бихме си представили някакво кръвообращение в едно двумерно същество.

Ще срещнем проблеми и при пространство с повече от три измерения. Гравитационната сила между две тела ще намалява по-бързо с разстоянието, отколкото при три измерения. (При три измерения гравитационната сила спада до $1/4$ с увеличаване на разстоянието два пъти. При четири измерения тя ще спадне до $1/8$, при пет до $1/16$ и т.н.) В резултат на това орбитите около Слънцето на планети като Земята ще станат нестабилни: и най-малкото

отклонение от кръгова орбита, причинено от гравитационно привличане на други планети, ще застави Земята да се движи по спирала към Слънцето или в обратна посока. Тогава или ще изгорим, или ще замръзнем. Всъщност зависимостта на гравитацията от разстоянието при пространство с повече от три измерения означава, че Слънцето няма да може да съществува в стабилно състояние с равновесие между налягане и гравитация. То или ще се разпадне, или ще колапсира и ще образува черна дупка. И в двата случая то вече няма да е особено полезно като източник на топлина и светлина за живота на Земята. В по-малки мащаби електрическите сили, на които се дължи обикалянето на електроните по орбити около ядрото на атома, ще имат същото поведение както гравитационните сили. Така електроните или съвсем ще се откъснат от атома, или ще се придвижат по спирала към ядрото. И в двата случая това няма да са атомите, които познаваме.



ФИГУРА 10.8

Изглежда, е ясно, че животът, поне какъвто го познаваме, може да съществува само в такива области от пространство-времето, в които времето и трите пространствени измерения не са свити до малки размери. Това значи, че можем да се обърнем към слабия антропен принцип, при условие че покажем, че струнната теория поне позволява съществуването на такива области от Вселената, а, изглежда, тя наистина позволява. Може би има и други области от Вселената или други вселени (каквото и да значи *това*), в които всички измерения са свити до малки размери или където повече от четири измерения са почти плоски, но в такива области не би имало разумни същества, които да наблюдават различния брой действителни измерения.

Извън въпроса за броя измерения, които, изглежда, пространство-времето има, струнната теория поставя и някои други проблеми, които трябва да се

решат, преди да можем да я провъзгласим за окончателна единна теория на физиката. Все още не знаем дали всички безкрайности се унищожават взаимно, нито как точно да свържем вълните по струната с конкретния вид частици, които наблюдаваме. Въпреки това е възможно през следващите няколко години да намерим отговор на тези въпроси и към края на века да знаем дали струнната теория е наистина отдавна търсената обединена теория на физиката.

Но може ли наистина да има такава единна теория? Или просто гоним един мираж? Съществуват три възможности:

1) Действително има завършена единна теория, която някой ден ще открием, ако сме достатъчно находчиви.

2) Окончателна теория на Вселената няма. Съществува просто безкрайна поредица от теории, които все по-точно и по-точно описват Вселената.

3) Теория на Вселената няма; събитията не могат да се предскажат отвъд някаква степен, а настъпват случайно и произволно.

Някои биха пледирали в полза на третата възможност на основанието, че ако имаше една пълна система закони, това би попречило на Бог да промени решението си и да се намеси в света. Нещо като стария парадокс: може ли Бог да направи толкова тежък камък, че да не е в състояние да го вдигне? Но идеята, че Бог би желал да промени мнението си, е един пример за заблудата, отбелязана от св. Августин, представяйки Бог съществуващ във времето: времето е свойство само на Вселената, създадена от Бог. Вероятно е знаел какво има предвид, когато го е казал!

С появата на квантовата механика ние започнахме да осъзнаваме, че събитията не могат да се предвидят с абсолютна точност, а винаги има известна степен на неопределеност. Ако ви харесва, можете да припишете този случаен характер на намесата на Бог, но това би била една твърде странна намеса: няма доказателства тя да е преднамерена. И наистина, ако беше преднамерена, по дефиниция не би била случайна. Днес ние на практика сме премахнали третата възможност и сме дефинирали целта на науката: нашата задача е да формулираме група закони, която да ни позволи да предсказваме събитията само до границата, поставена от принципа на неопределеността.

Втората възможност, че съществува безкрайна поредица от все по-точни теории, се съгласува с целия ни досегашен опит. В много случаи ние сме увеличили чувствителността на нашите измервания или сме провели нови наблюдения само за да открием нови явления, които не се предсказват от съществуващата теория, и за да ги отчетем, е трябвало да развием по-съвършена теория. Тогава няма нищо чудно, ако сегашното поколение от теории на Великото обединение се окаже погрешно в твърдението си, че нищо принципино ново няма да се случи между енергията на обединеното електрослабо взаимодействие около 100 GeV и енергията на Великото обединение от около 10^{15} GeV. Бихме могли да очакваме да открием няколко нови пласта на структура, по-основна от кварките и електроните, които сега разглеждаме като „елементарни“ частици.

Но възможно е гравитацията да постави граница върху тази поредица от „кутии в кутии“. Ако има частица с енергия над т.нар. Планкова енергия от 10^{19}

GeV, масата ѝ ще бъде така концентрирана, че тя ще се откъсне от останалата Вселена и ще образува малка черна дупка. Следователно е възможно поредицата от все по-точни теории да има известна граница, когато се приближаваме към все по-високи енергии, така че би трябвало да има някаква окончателна теория на Вселената. Разбира се, Планковата енергия е много далеч от енергиите 100 GeV, които са максимумът, достижим в момента лабораторно. В обозримото бъдеще надали ще достигнем Планковата енергия! Най-ранните стадии на Вселената обаче са арена, където такива енергии трябва да се появяват. Според мен изследванията на ранната Вселена и изискванията на математическа състоятелност предоставят добър шанс да стигнем до завършена единна теория още приживе, при условие че преди това сами не се взривим.

Какво би значело, ако наистина открием окончателната теория на Вселената? Както беше обяснено в глава I, ние не можем никога да сме съвсем сигурни, че наистина сме открили правилната теория, тъй като теориите не могат да бъдат доказани. Но ако теорията е математически издържана и винаги дава предсказания, които се съгласуват с наблюденията, можем да сме почти сигурни, че тя е вярна. Това би довело до края на една дълга и славна глава в историята на интелектуалната битка на човека да разбере Вселената. Но ще доведе и до революция в разбиранията на обикновения човек за законите, които управляват Вселената. По времето на Нютон бе възможно един образован човек да има представа от цялото човешко познание, поне в общи линии. Но развитието на науката оттогава насам направи това невъзможно. Тъй като теориите постоянно се променят, за да отчитат новите наблюдения, те никога не са напълно „смляни“ или опростени, така че да са разбираеми за обикновения човек. Трябва да сте специалист, а дори и тогава можете само да се надявате истински да разберете малка част от научните теории. Освен това темпът на прогрес е така бърз, че това, което учим в училище или в университета, е винаги малко остаряло. Малцина са тези в крак с бързо напредващия фронт на познанието и те трябва да отдават цялото си време на това да специализират в тясна област. Останалите имат малка представа за постигнатите успехи и радостта от тях. Преди 70 години ако трябва да вярваме на Едингтън, общата теория на относителността е била разбираема само за двама. Сега се разбира от десетки хиляди висшисти, а милиони хора са поне запознати с основната идея. Ако бъде открита една завършена единна теория, само въпрос на време е тя да бъде „смляна“ и опростена по същия начин и да се преподава в училищата *поне в общи линии*. Тогава ще получим известна представа за законите, които управляват Вселената и на които дължим своето съществуване.

Но дори и да открием една завършена единна теория, това няма да значи, че ще можем да предсказваме всички събития изобщо поради две причини. Първата е ограничението, наложено от принципа на неопределеността от квантовата механика върху възможностите ни да предсказваме. Няма как да го избегнем. На практика обаче това първо ограничение не е така силно като второто. То идва от факта, че не можем да решим уравненията на теорията точно, освен за някои прости случаи. (Ние дори не можем да решим точно уравнението за

движение на три тела в Нютоновата теория на гравитацията, като трудността нараства с броя на телата и със сложността на теорията.)

Вече знаем законите, на които се подчинява материята при всички случаи с изключение на екстремните. По-конкретно, ние познаваме основните закони, залегнали в химията и биологията. И въпреки това съвсем не сме свели проблемите до равнището на решими задачи; все още успехите ни в предвиждане на човешкото поведение с математически уравнения са малки! Така че дори и да намерим завършена група основни закони, за следващите години пак ще остане предизвикателната за интелекта задача да разработим по-добри методи за апроксимиране, така че да можем да правим полезни предсказания за вероятния изход при сложни реални ситуации. Завършената, състоятелна единна теория е първата крачка: нашата цел е пълно *разбиране* на събитията, които ни заобикалят, както и на самото ни съществуване.

11. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Живеем в един объркан свят. Искаме да открием смисъла на това, което ни заобикаля, и да запитаем: Каква е природата на Вселената? Какво е нашето място в нея и къде сме и откъде идваме? Защо Вселената е такава, каквато е?

В опит да намерим отговор на тези въпроси си създаваме някаква „картина на света“. Такава картина е безкрайната кула от костенурки, на които се крепи плоската Земя; такава е и теорията на свръхструните. И двете са теории на Вселената, макар последната да е много по-математична и по-точна от първата. И на двете теории липсват наблюдателни доказателства: никой още не е виждал гигантска костенурка, върху чийто гръб е Земята, но никой не е виждал и свръхструна. Теорията с костенурката обаче не може да е добра научна теория, защото според нея човек може да падне от ръба на света. А това не се съгласува с опита, освен ако се окаже, че това е обяснението за хората, за които се предполага да са изчезнали в Бермудския триъгълник!

Най-ранните теоретични опити да се опише и обясни Вселената съдържат идеята, че събитията и природните явления се контролират от духове с човешки емоции, които действат по твърде сходен и непредвидим човешки начин. Тези духове населявали природни обекти като реките и планините, както и небесните тела като Слънцето и Луната. Те трябвало да бъдат предразполагани и да се търси благоволение им, за да се гарантира плодородието на почвата и смяната на сезоните. Постепенно обаче станало ясно, че съществуват някои закономерности: Слънцето винаги изгрявало от изток и залязвало на запад независимо от жертвоприношението пред бога-слънце. Нещо повече, Слънцето, Луната и планетите следвали точно определен ход по небето, който можел да се предвиди със значителна точност. Може би Слънцето и Луната пак са били божества, но божества, които спазват стриктни закони очевидно без каквито и да било изключения, ако пренебрегнем историите като тази, дето Слънцето спряло за Исус [Навин].

Първоначално тези регулярности и закони били очевидни само в астрономията и в малко други случаи. Но с развитието на цивилизацията и

особено през последните 300 години били откривани все нови и нови регулярности и закони. Успехът на тези закони довел Лаплас в началото на XIX в. до постулирането на научния детерминизъм, т.е. той предположил, че има група закони, които точно определят развитието на Вселената, ако в някой момент знаем нейното състояние.

Детерминизмът на Лаплас е непълен в две отношения. Той не казва как трябва да се изберат законите и не определя началното състояние на Вселената. Това било оставено на Бог. Бог трябвало да избере началното състояние на Вселената и законите, на които тя се подчинява, но след началото не бивало да се намесва в нея. Фактически Бог бил намесван в областите, неясни за науката на XIX в.

Ние вече знаем, че надеждите на Лаплас за детерминизъм не могат да се осъществят, поне по начина, който той е имал предвид. Принципът на неопределеността от квантовата механика налага някои двойки величини, като например положението и скоростта на една частица, да не могат едновременно да се предскажат с абсолютна точност.

Квантовата механика се справя с тази ситуация с помощта на клас от квантови теории, в които частиците нямат строго определени места и скорости, а се представят чрез вълна. Тези квантови теории са детерминистични в смисъл, че дават закони за изменение на вълната с времето. Така, ако знаем вълната в даден момент, можем да я изчислим и за всеки друг момент. Непредвидимият, случайностен елемент се явява само когато се опитваме да интерпретираме вълната в термините положения и скорости на частиците. Но може би тук ни е грешката: може би няма положения и скорости на частици, а само вълни. Може би просто се опитваме да нагодим вълните към предвижданията си за положения и скорости. Резултатът от несъответствието е причината за видимата непредсказуемост.

На практика ние дадохме нова дефиниция на задачите на науката: да открива закони, които да ни позволяват да предсказваме събитията чак до границите, наложени от принципа на неопределеността. Остава обаче въпросът: как или защо са избрани законите и началното състояние на Вселената?

В тази книга аз наблегнах особено на законите, които управляват гравитацията, защото именно тя оформя едромасщабната структура на Вселената, макар да е най-слабата от четирите категории сили. Законите на гравитацията са несъвместими с доскоро съществувалото схващане, че Вселената не се изменя с времето: фактът, че гравитацията винаги е привличаща, налага Вселената да е или разширяваща се, или свиваща се. Според общата теория на относителността в миналото трябва да е имало състояние на безкрайна плътност, Големият взрив, което състояние е фактическото начало на времето. Също така, ако цялата Вселена отново колапсира, ще трябва да настъпи друго състояние на безкрайна плътност в бъдеще, Големият срыв, който ще бъде краят на времето. Дори и цялата Вселена да не претърпи повторен колапс, пак ще има сингулярности в локализиран области, които ще колапсират и образуват черни дупки. Тези сингулярности ще бъдат краят на времето за всеки, попаднал в черна дупка. В

Големия взрив и в другите сингулярности всички закони престават да важат, така че Бог ще има пълната свобода да избира какво да става и какво да е началото на Вселената. Когато съчетаем квантовата механика с общата теория на относителността, изглежда, се явява една нова възможност, която не е съществувала преди: че пространството и времето заедно могат да образуват крайно, четири-мерно пространство без сингулярности или граници, подобно на земната повърхност, но с повече измерения. Може би тази идея ще обясни много от наблюдаваните свойства на Вселената като например едромасщабната нееднородност, а също и по-дребномасщабните отклонения от хомогенност като галактиките, звездите, а дори и човешките същества. Тя дори ще отчете стрелата на времето, на която сме свидетели. Но ако Вселената е съвсем самостоятелна, без сингулярности или граници и напълно се описва от единна теория, това би имало сериозни последици за ролята на Бог като създател.

Някога Айнщайн бе запитал: „Какъв избор е имал Бог при създаването на Вселената?“ Ако предположението „без никаква граница“ за Вселената е правилно, той въобще не е имал свобода при избора на началните условия. Но той пак би имал свободата да избере законите, на които се подчинява Вселената. Всъщност едва ли този избор е бил кой знае какъв: може би една или няколко завършени единни теории като тази на хетеротичната струна, които сами по себе си са състоятелни и позволяват съществуването на такива сложни творения като човешките същества, които могат да изследват законите на Вселената и да питат каква е природата на Бога.

Но дори да има само една възможна единна теория, тя е просто система от правила и уравнения. Кое вдъхва живот на уравненията и заставя една Вселена да съществува заради тях? Обикновеният научен подход при създаване на математически модел не може да отговори на въпросите, защо трябва да има Вселена, за да бъде описвана от този модел. Защо ѝ е на Вселената изобщо да се безпокои за съществуването си? Толкова ли е непреодолима тази единна теория, че да води до нейното съществуване? Или се нуждае от съществуването на Създателя и ако е така — упражнява ли той някакво друго влияние върху Вселената? А кой е неговият създател?

Досега повечето учени бяха заети с разработването на нови теории, описващи *какво* е Вселената, за да зададат въпроса *защо*. От друга страна, хората, чиято работа е да питат *защо*, философите, не бяха в състояние да следят развитието на научните теории. През XVIII в. философите разглеждаха цялото човешко познание, включително науката, като своя област и разискваха такива въпроси като: Има ли Вселената начало? През XIX и XX в. обаче науката твърде много се технизирала и математизирала за философите, както и за всички други с изключение на малкото специалисти. Философите стесниха обсега на търсенията си в такава степен, че Витгенщайн, най-известният философ на нашия век, каза: „Единствената задача, оставаща пред философите, е езиковият анализ.“ Какво падение за великите традиции на философията от Аристотел до Кант!

Но ако ние успеем да открием една завършена теория, тя своевременно трябва да стане разбираема като общо правило за всеки, а не само за неколцина учени. Тогава всички заедно, философи, учени и обикновени хора

ще могат да участват в обсъждането на въпроса, защо и ние, и Вселената съществуваме. Ако намерим отговор на този въпрос, това ще е окончателното тържество на човешкия разум, защото тогава ще знаем намеренията на Бога.

АЛБЕРТ АЙНЩАЙН

Връзката на Айнщайн със стратегията на атомната бомба е добре известна. Той подписа прочутото писмо до президента Франклин Рузвелт, принудило Съединените щати да приемат идеята сериозно, а после се ангажира в следвоенните усилия за предотвратяване на атомната война. Но това не бяха просто отделни действия на учен, въввлечен в световната политика. Животът на Айнщайн, да си послужим с неговите собствени думи, „е разделен между политиката и уравненията“.

Най-ранната политическа дейност на Айнщайн започва през Първата световна война, когато е професор в Берлин. Отвратен да гледа как се погубва човешкият живот, той се включва в антивоенните демонстрации. Неговата подкрепа на движението за гражданско неподчинение и откритото насърчаване към отказ от военна повинност малко допринасят за симпатията на колегите му. След войната той насочва усилията си към установяване на примирие и подобряване на международните отношения. И това не му донася популярност и скоро тези негови действия правят трудно посещението му в Съединените щати дори като лектор.

Втората голяма кауза на Айнщайн е ционизмът. Макар да е евреин по произход, Айнщайн отхвърля библейската идея за Бог. Нарастващата заплаха от антисемитизъм както преди, така и по време на Първата световна война обаче го карат постепенно да се идентифицира с еврейската общност и по-късно — да стане открит привърженик на ционизма. И отново липсата на популярност не му пречи да каже какво мисли. Неговите теории попадат под удари: учредява се дори анти-айнщайнова организация. Един човек бива осъден за подстрекателство към убийството на Айнщайн (и глобен само шест долара). Но Айнщайн е по природа флегматик. Когато излиза книгата със заглавие „100 автори срещу Айнщайн“, той отговаря: „Ако бях сбъркал, и един щеше да е достатъчен!“

През 1933 г. идва на власт Хитлер. Айнщайн е в Америка и заявява, че няма да се върне в Германия. Тогава нацистите обискрат дома му и конфискуват банковата му книжка, а в един берлински вестник се появява заглавието „Добри новини от Айнщайн — той няма да се върне“. Пред лицето на нацистката заплаха Айнщайн отхвърля пацифизма, а по-късно, опасявайки се, че немските учени ще създадат атомна бомба, предлага Съединените щати да построят своя.

Но още преди взривяването на първата атомна бомба той публично предупреждава за опасността от атомна война и предлага да се въведе международен контрол върху ядреното оръжие.

Усилията на Айнщайн през целия му живот за запазване на мира вероятно са дали малък, да не кажа никакъв резултат, а и не може да се каже, че са му

създали много приятели. Откритата му подкрепа на каузата на ционизма обаче намира признание през 1952 г., когато му предлагат поста президент на Израел. Той отказва, като заявява, че според него е твърде наивен за политик. Но вероятно действителната причина е друга. Да го цитирам отново: „Уравненията са по-важни за мен, защото политиката е за настоящето, а едно уравнение — за вечността.“

ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЙ

Може би повече, отколкото на всеки друг на Галилей се дължи раждането на съвременната наука. Известният конфликт с Католическата църква е в основата на неговата философия, защото Галилей е един от първите, твърдели, че човек може да се надява да разбере света около себе си, и нещо повече — може да постигне това, като наблюдава действителността.

Галилей вярвал в теорията на Коперник (че планетите обикалят около Слънцето) още от самото начало, но едва когато открил доказателство в подкрепа на тази идея, започнал открито да я поддържа. Публикувал труд за теорията на Коперник, и то на италиански език (а не, както било прието тогава, на латински), и скоро неговите възгледи намерили широка подкрепа извън средите на учените. Това разгневilo привържениците на Аристотел, които се съюзили срещу него и настояли Католическата църква да забрани учението на Коперник.

Разтревожен, Галилей заминал за Рим, за да говори с католическите власти. Твърдял, че Библията няма за цел да каже каквото и да било за научните теории и е нормално да приемем, че когато Библията влиза в конфликт с разума, в тази си част тя има алегоричен характер. Но църквата се страхувала от скандал, който би подкопал борбата ѝ срещу протестантството, и предприела репресивни мерки. През 1616 г. тя обявила учението на Коперник за „лъжливо и грешно“ и наредила на Галилей никога вече да не защитава или поддържа това учение. Галилей се примирил.

През 1623 г. един дългогодишен приятел на Галилей станал папа. Галилей веднага се опитал да отмени декрета от 1616 г. Не успял, но получил разрешение да напише книга, в която да разглежда както теорията на Аристотел, така и на Коперник, но при две условия: да не взима страна и заключението да бъде, че в никакъв случай човек не може да разбере как действа светът, защото Бог може да постигне същия резултат по начин, който изобщо не можем да си представим, а ние не можем да налагаме ограничения върху всемогъществото на Бог.

Книгата „Диалог за двете основни системи на света“ била завършена и публикувана през 1632 г. с пълната подкрепа на цензурата и веднага била приветствана в цяла Европа като литературен и философски шедевър. Разбирайки, че хората гледат на книгата като убедителен аргумент в полза на учението на Коперник, папата бързо отрекъл някога да е разрешавал нейното публикуване. Той посочил, че макар да е получила официалната благословия на цензурата, Галилей е престъпил декрета от 1616 г. Той изправил Галилей

пред Инквизицията, която го осъдила на доживотен домашен арест и му наредила публично да отрече теорията на Коперник. За втори път Галилей се примирил.

Галилей останал верен католик, но вярата му в независимостта на науката не била съкрушена. Четири години преди смъртта си през 1642 г., все още под домашен арест, ръкописът на втората му голяма книга бил тайно доставен на издател в Холандия. Именно този негов труд, наречен „Две нови науки“, повече и от подкрепата му на учението на Коперник, е началото на съвременната физика.

ИСАК НЮТОН

Исак Нютон не бил човек с лек характер. Отношенията му с останалите учени били всеизвестни. По-голямата част от живота си прекарал заплетен в горещи спорове. След публикуването на „Математически принципи“ — определено най-влиятелната книга, писана някога във физиката — Нютон бързо получил обществено признание. Бил издигнат за председател на Кралското дружество и станал първият учен със звание Лукасов професор.

Скоро след това Нютон се сблъскал с астронома Джон Фламстид от Кралското дружество, който по-рано му давал много необходими сведения за неговата книга „Математически принципи“, а сега отказвал да му осигури необходимата информация. Но Нютон не приемал току-така откази: обърнал се към управителния съвет на Кралската обсерватория и се опитал да наложи веднага публикуването на данните. Накрая уредил конфискацията на труда на Фламстид и подготовката му за публикация от смъртния враг на Фламстид — Едмънд Халей. Но Фламстид отнесъл въпроса до съд и своевременно получил съдебно решение, което забранявало разпространението на откраднатия труд. Нютон се вбесил и потърсил възмездие, като систематично премахнал всички позовавания на трудове на Фламстид в по-късните издания на „Математически принципи“.

Един по-сериозен спор възникнал с немския философ Готфрид Лайбниц. Лайбниц и Нютон били разработили независимо един от друг клон от математиката, наречен математически анализ, който е в основата на съвременната физика. Макар вече да знаем, че Нютон е открил математическия анализ години преди Лайбниц, той е публикувал труда си много по-късно. Настъпила голяма суматоха по въпроса, кой е първият, като учените енергично защитавали и двамата съперници. Забележителното в случая е, че повечето от публикациите в защита на Нютон първоначално били дело на собствената му ръка: те просто били подписани от името на негови приятели! С разрастването на скандала Лайбниц допуснал грешката да се обърне към Кралското дружество за решаване на спора. В качеството си на негов председател Нютон назначил една „безпристрастна“ комисия, случайно съставена само от негови приятели! И нещо повече: Нютон сам написал доклада, наредил Кралското дружество да го огласи, като публично обвинил Лайбниц в плагиатство. Все още неудовлетворен, той публикувал анонимно

резюме на доклада в списанието на Кралското дружество. Говори се, че след смъртта на Лайбниц, Нютон заявил дълбокото си удовлетворение, че е „успял да разбие сърцето на Лайбниц“.

По време на тези два спора Нютон вече бил напуснал Кеймбридж и академичните среди. Той бил активен противник на католицизма в Кеймбридж, а по-късно и в Парламента и в крайна сметка бил възнаграден с доходния пост началник на Кралския монетен двор. Тук той приложил таланта си на непочтен и язвителен човек по един социално по-приемлив начин, като успешно провел голяма кампания срещу фалшификаторите и дори изпратил неколцина на бесилката.

ИЗПОЛЗВАНИ ТЕРМИНИ

абсолютна нула: най-ниската възможна температура, при която веществото не съдържа топлинна енергия

античастица: всяка материална частица има съответна античастица. Когато една частица се сблъска със своята античастица, те анихилират, като остава само енергия

антропен принцип: ние виждаме Вселената такава, каквато е, защото ако беше друга, нямаше да сме тук, за да я наблюдаваме

атом: основната градивна единица на обикновената материя, състоящ се от малко ядро (съдържащо протони и неутрони), обкръжено от обикалящи електрони

бяло джудже: стабилна, хладна звезда, съществуваща благодарение на отблъскването между електрони съгласно принципа на Паули

виртуална частица: в квантовата механика — частица, която никога не може да бъде регистрирана директно, но чието съществуване има измерими ефекти

гама-лъчи: електромагнитни вълни с много малка дължина, получени при радиоактивно разпадане или при сблъскване на елементарни частици

геодезична линия: най-късото (или най-дългото) разстояние между две точки

гола сингулярност: сингулярност на пространство-времето, незаобиколена с черна дупка

Големият взрив: сингулярността в началото на Вселената

Големият срыв: сингулярността в края на Вселената

граница на Чандрасекар: максималната възможна маса на стабилна, хладна звезда, над която тя би колапсирала в черна дупка

дуализъм вълна/частица: схващането в квантовата механика, че между вълна и частица няма разлика; частиците понякога могат да се отнасят като вълна, а вълните — като частици

дължина на вълната: за една вълна — разстоянието между две съседни падини или два съседни гребена

електричен заряд: свойство на частицата да отблъсква (или привлича) други частици, чийто заряд е с еднакъв (или противоположен) знак

електрон: частица с отрицателен електричен заряд, която обикаля около ядрото на атома

електромагнитна сила: силата, която възниква между частици с електричен заряд; втората по големина от четирите основни сили

елементарна частица: частица, за която се смяташе, че е неделима

енергия на Великото обединение: енергията, над която се приема, че електромагнитното, слабото и силното взаимодействие стават неразличими

енергия на обединеното электрослабо взаимодействие: енергията (около 100 GeV), над която разликата между електромагнитното и слабото взаимодействие изчезва

запазване на енергията: закон в науката, според който енергията (или нейният масов еквивалент) не може да се създава, нито се губи

имагинерно време: време, измерено в имагинерни единици

квант: неделимото количество, в което вълните могат да се излъчват или поглъщат

квантова механика: теорията, изведена от квантовия принцип на Планк и от принципа на неопределеността на Хайзенберг

квантов принцип на Планк: идеята, че светлината (или всички останали вълни в класически смисъл) може да се излъчва само на дискретни порции (кванти), чиято енергия е пропорционална на тяхната честота

кварк: (заредена) елементарна частица, която се влияе от силно взаимодействие. Протоните и неутроните са съставени от по три кварка

координати: числа, които определят положението на точка в пространството и времето

космологична константа: математическо средство, което Айнщайн използва, за да премахне разширението на пространство-времето

космология: изследване на Вселената като цяло

маса: количеството материя в едно тяло; неговата инертност или съпротивлението му към ускоряване

магнитно поле: полето, отговорно за магнитните сили, което се включва заедно с електричното поле в електромагнитното поле

микровълново фоново лъчение: излъчването от горещата ранна Вселена, което сега има толкова голямо червено отместване, че се явява не като светлина, а като микровълни (радиовълни с дължина на вълната няколко см)

неутрино: изключително лека (почти безмасова) елементарна частица вещество, повлияваща се само от слабото взаимодействие и от гравитацията

неутрон: частица без заряд, много сходна с протона, каквито са почти половината частици в ядрата на повечето атоми

неутронна звезда: хладна звезда, поддържана от отблъскването между неутроните благодарение на принципа на Паули

обща теория на относителността: теорията на Айнщайн, в основата на която е идеята, че научните закони би трябвало да са едни и същи за всички наблюдатели независимо как се движат

позитрон: (положително заредената) античастица на електрона

поле: нещо, което съществува в пространството и времето, противоположно на частица, която съществува само в една точка в даден момент

принцип за забраната на Паули: две идентични частици със спин $1/2$ не могат (в границите на принципа на неопределеността) да имат едно и също положение и една и съща скорост

принцип на неопределеността: никога не можем да сме сигурни за положението и скоростта на една частица: колкото по-точно знаем едното, толкова по-неточно ще знаем другото

пропорция: „ X е пропорционално на Y “ означава, че когато Y се умножава с някакво число, X се умножава със същото; „ X е обратнопропорционално на Y “ означава, че когато Y се умножава с някакво число, X се разделя със същото

пространствено измерение: всяко от трите измерения на пространство-времето, които са пространствоподобни, т.е. с изключение на измерението време

пространство-време: четиримерното пространство, чиито точки са събития

протон: положително заредени частици, съставлящи приблизително половината частици в ядрото на повечето атоми

първична черна дупка: черна дупка, образувана в много ранната Вселена

радар: система, използваща импулсни радиовълни, за да определи положението на обекти чрез измерване на времето, необходимо за импулса да достигне до обекта и да се отрази обратно

радиоактивност: спонтанното разпадане на едно атомно ядро в друго

светлинен конус: повърхност в пространство-времето, която бележи възможните посоки на светлинните лъчи, преминаващи през дадено събитие

светлинна секунда (светлинна година): разстоянието, изминато от светлината за една секунда (година)

силно взаимодействие: най-голямата от четирите основни сили, най-близко действащата. Тя задържа кварките в протоните и неутроните и протоните и неутроните в атома

сингулярност: точка в пространство-времето, в която кривината на пространство-времето става безкрайна

слабо взаимодействие: втората най-слаба от четирите основни сили с много къс обseg на действие. Тя оказва влияние върху всички материални частици, но не и върху частиците, пренасящи взаимодействие

спектър: разлагането примерно на електромагнитна вълна на съставните ѝ честоти

специална теория на относителността: теория на Айнщайн, в основата на която е идеята, че научните закони би трябвало да са едни и същи за всички свободно движещи се наблюдатели независимо от тяхната скорост

спин: присъщо свойство на елементарните частици, което е свързано, но не е едно и също с познатата ни представа за спина

стационарно състояние: състояние, което не се променя с времето; сфера, която се върти с постоянна скорост, е стационарна, тъй като изглежда една и съща във всеки момент, даже и да не е статична

събитие: точка в пространство-времето, характеризираща се с време и място

тегло: силата, която гравитационното поле упражнява върху едно тяло. Тя е пропорционална на неговата маса, но не е същата

теорема за сингулярност: теорема, която показва, че сингулярността трябва да съществува при определени условия, и по-конкретно — че Вселената трябва да е започнала от сингулярност

теория на Великото обединение: теория, обединяваща електромагнитното, слабото и силното взаимодействие

ускорение: промяната на скоростта на дадено тяло

ускорител на частици: машина, която с помощта на електромагнити ускорява движещи се заредени частици, като им придава енергия

условие „без никаква граница“: идеята, че Вселената е крайна, но няма граница (в имагинерно време)

фаза: за вълна — положението ѝ в цикъла в определен момент; мярка за това, дали е във връх, падина или в точка между тях

фотон: квант светлина

хоризонт на събитията: границата на черна дупка

червено отместване: почервяването на светлината от звезда, отдалечаваща се от нас, което се дължи на Доплеровия ефект

черна дупка: област от пространство-времето, от която нищо, дори и светлината, не може да избяга, тъй като гравитацията е твърде силна

честота: за вълна — броят пълни цикли в секунда

ядрен синтез: процес, при който две ядра се сблъскват и обединяват в единично, по-тежко ядро

ядро: централната част на атома, съдържаща само протони и неутрони, задържани от силното взаимодействие

КРАЙ