

# Fizika

## (Enciklopediyalıq maqala)

### Mazmunı

Kirisiw.	3
§ 1. Fizikanıń predmeti.	4
§ 2. Ilimiy usıl.	4
§ 3. Fizikanıń sanlıq xarakteri.	6
§ 4. Fizikanıń tariyxi.	7
4.1. Eń ertedegi fizikalıq kóz-qaraslar.	8
4.2. Mesopotamiya hám Áyyemgi Mısır.	8
4.3. Áyyemgi Qıtay.	9
4.4. Áyyemgi Indiya.	10
4.5. Áyyemgi fizika.	10
4.5.1. Áyyemgi fizikanıń ózgeshelikleri.	10
4.5.2. Dáslepki elementler hám platonizm	11
4.5.3. Atomizm.	12
4.5.4. Aristoteldiń fizikası.	13
4.5.5. Kosmologiya.	14
4.5.6. Aleksandriya mektebi.	15
4.5.7. Klavdiy Ptolemy	17
4.5.8. Áyyemgi Pim	20
4.5.9. Islam elliři.	21
4.5.9.1. Ál-Beruniy.	22
4.5.10. Orta ásirlerdegi Evropa.	31
4.6. Fizikanıń tuwılıwi.	32
4.6.1. XVI ásir: texnikalıq progress hám ilimiý revolyuciyanıń baslanıwi.	32
4.6.2. Galilej: eksperimentallıq fizikanıń dóretiliwi.	33
4.6.3. XVII ásir.	34
4.6.4. Kepler hám Dekart.	35
4.6.5. Klassikalıq mexanikanıń dóretiliwi: Gyuygens penen Nyuton.	37
4.6.6. Optika: jaňa effektler.	39
4.6.7. Elektr hám magnetizm - birinshi izertlewler.	40
4.6.8. Gazler teoriyasınıń tuwılıwi hám basqa da jetiskenlikler.	41
4.6.9. XVIII ásir.	42
4.6.9.1. XVIII ásir fizikasınıń ulıwmalıq xarakteristikası.	42
4.6.9.2. Mexanika.	42
4.6.9.3. Elektr hám magnetizm.	45
4.6.9.4. Jıllılıq.	48
4.6.9.5. Akustika.	49
4.6.9.6. Optika.	50
4.6.10. XIX ásir.	50

4.6.10.1. XIX ásirdiń ulıwmalıq xarakteristikası.	50
4.6.10.2. Jaqtılıqtıń tolqınlıq teoriyası.	51
4.6.10.3. Elektrodinamika menen elektrotexnikanıń payda bolıwi.	54
4.6.10.4. Elektromagnit maydanınıń teoriyası.	56
4.6.10.5. Termodinamika, gazler, zattıń qurılısı.	60
4.6.10.6. Elektronniń ashılıwı, radioaktivlik.	64
4.6.10.7. Mexanika, optika, serpimlik teoriyası.	66
4.6.11. XX ásir.	66
4.6.11.1. XX ásirdiń ulıwmalıq xarakteristikası.	66
4.6.11.2. Calıstırmalıq teoriyası.	67
4.6.11.3. Atomnıń qurılısı.	70
4.6.11.4. Kvantlıq teoriya.	73
4.6.11.5. Astrofizika hám kosmologiya.	
4.6.11.6. Aerodinamika menen meteorologiya.	
4.6.11.7. Basqa da jetiskenlikler.	
4.6.11.8. XXI ásır hám jańa shegaralar.	
§ 5. Teoriyalıq hám eksperimentallıq fizika.	
§ 6. Ámeliy fizika.	
§ 7. Tiykarǵı teoriyalar.	
§ 8. Fizikanıń bólimleri.	
8.1. Makroskopiyalıq fizika.	
8.6. Hár qıylı ilimlerdiń shegarasındaǵı fizikanıń bólimleri.	
Paydalanylǵan ádebiyalardıń dizimi.	

## Kirisiw

**Fizika** (áyyemgi grek tilinde φυσική - "tábiyyiy", фúсic sózinen "tábiyat" mánisinde) - tábiyattanıwdıń oblastı: tábiyattiń eń ulıwmalıq nızamları, materiya, onıń strukturası, qozǵalısı hám transformaciyaları haqqındaǵı ilim. Fizikanıń túsinikleri hám onıń nızamları barlıq tábiyattanıwdıń tiykarında jatadı. Dál ilim bolıp tabıladı.

"Fizika" termini áyyemgi zamanlardaǵı eń ullı oyshıllardıń bırı bolǵan Aristoteldiń (biziń eramızǵa shekemgi IV ásır) shıgarmalarında birinshi ret orın aldı. Dáslepki waqtıları "fizika" menen "filosofiya" terminleri sinonimler sıpatında paydalanıldı. Cebebi usı eki pánnıń tiykarında Álemniń bar bolıwınıń nızamların túsındırıwge qaratılǵan umtılıwlar jattı. Biraq, XVII ásırdegi ilimiy revolyuciyanıń nátiyjesinde fizika óz aldına ilim sıpatında rawajlana basladı.

Házirgi waqtıları fizikanıń tutqan ornı oǵada ullı. Házirgi zaman adamzat jámiyetiniń burıngı adamzat jámiyetinen ózgeshelikleriniń barlıǵı fizikalıq ashılıwlardı ámelde paydalanıwdıń saldarınan júzege keldi. Mıslı, elektromagnetizm oblastındaǵı izertlewler telefonlardıń, keyinirek mobilli telefonlardıń payda bolıwına, termodinamikadaǵı ashılıwlardıń avtomobillerdiń dóretiliwine, elektronikanıń rawajlanıwı kompyuterlerdiń payda bolıwına alıp keldi. Fotonikanıń rawajlanıwı principialıq jaqtan jańa bolǵan fotonlıq kompyuterlerdiń hám basqa da fotonlıq texnikanıń payda bolıwına alıp kele alındı. Olardıń barlıǵı házirgi waqtıldaǵı elektronlıq texnikanı almastıradı. Gazodinamikanıń rawajlanıwı samoletlar menen vertoletlardıń payda bolıwın támiyinledi.

Tábiyatta júzege keletuǵın processlerdiń fizikasın biliw turaqlı türde keńeyip hám tereńlesip barmaqta. Jańa ilimiy ashılıwlardıń kóphıllıgi sanaatta yamasa adamzat xızmetiniń basqa da tarawlarında kóp uzamay texnikalıq-ekonomikalıq paydalanılıwın tabadı. Biraq, izertlewshilerdiń aldında turaqlı türde jańa máseleler tabıla beredi - túsındırıw hám túsiniw ushın jańa fizikalıq teoriyalar talap etiletuǵın jańa qubılıslar ashıladı. Toplangan bilimlerdiń kólemininiń oǵada úlken bolıwına qaramastan, házirgi zaman fizikası tábiyattiń barlıq qubılısların túsındırıwden ele ádewir alısta jaylasqan.

Fizikalıq usıllardıń ulıwmalıq ilimiy tiykarları biliw teoriyası menen ilimniń metodologiyasınıń tiykarında islep shıǵıladı.

Pus tilinde "fizika" sózi birinshi ret M.V.Lomonosov tárepinen kirgizildi. Ol fizika boyınsha Possiyadaǵı birinshi oqıwlıqtı baspadan shıǵardı. Bul oqıwlıq X.Volftiń nemis tilinen awdarılǵan "Volftiń eksperimentallıq fizikası" dep atalatuǵın kitabı edi (1746-jılı).

## § 1. Fizikanıń predmeti

Eń ulıwma türde aytqanda fizika tábiyat haqqındaǵı ilim bolıp tabıladı (tábiyattanıw, tábiyattanıwdıń bir bólimi). Onıń úyrenetuǵın predmetin materiya (zatlar menen maydanlar türindegi), onıń qozǵalısınıń ulıwmalıq formaları hám materiyanıń qozǵalısın basqaratuǵın tábiyattiń fundamentallıq óz-ara tásirlesiwleri qurayıdı.

Bazı bir nızamlıqlar barlıq materiallıq sistemalar ushın ulıwmalıq bolıp tabıladı (mıslı, energiyanıń saqlanıw nızamı). Olardı fizikalıq nızamlar dep ataydı.

Fizika matematika menen tiǵız baylanısqan: matematika fizikalıq nızamlardıń dál türde kórsetiliwine múmkınhılık beretuǵın apparattı beredi. Derlik barlıq waqtılarda fizikalıq teoriyalar matematikalıq teńlemeler türinde jazıladı. Fizikada basqa ilimlerdegilerge qaraǵanda matematikanıń quramalıraq bolǵan bólimleri paydalanıldı.

Usınıń menen bir waqıtta matematikanıń kóp oblastlarınıń rawajlanıwı fizika iliminiń zárúrlıklerine bayanıslı qáiplesti.

## § 2. Ilimiý usıl

Fizika - tábiyyiy ilim. Onıń ushın bilimlerdiń deregi ámeliy xızmet bolıp tabıldadı: baqlawlar, tábiyattıń qubılışların eksperimentallıq izertlewler, óndiristegi xızmet. Fizikalıq bilimlerdiń durıs yamasa nadurıs ekenligi óndiristegi xızmette ilimiý bilimlerdiń paydalangan halda eksperimentte tekserip kóriledi. Ilimiý baqlawlar menen eksperimenttiń nátiyjeleriniń ulıwmalastırılıwı fizikalıq nızamlar bolıp tabıldadı. Usı nızamlar tiykarında usı baqlawlar menen eksperimentler túsindiriledi. Fizika fundamentallıq hám en ápiwayı bolǵan qubılıslardı izertlewge jáne ápiwayı bolǵan sorawlarǵa juwap beriwge baǵdarlanǵan: materia nelerden turadı, materia bóleksheleri bir biri menen qalayınsha tásirlesedi, bólekshelerdiń qozǵalısları qanday qaǵıydalar hám nızamlar tiykarında júzege keledi h.t.b.

Fizikalıq izertlewlerdiń tiykarında *baqlaw menen eksperimenterde* tabılǵan faktlar jatadı. Eksperimentler jynagınıń maǵlıwmatların tallaw *nızamlıqtı* anıqlawǵa hám keltirip shıǵarıwǵa múmkinshilik beredi. Bul izertlewlerdiń birinshi etaplarında nızamlıqlar tiykarınan emperikalıq, fenomenologiyalıq xarakterge iye boladı, yaǵnyı qubılıs izertlengen denelerge yamasa zatlarga tán bolǵan belgili parametrlerdiń járdeminde sanlıq jaqtan táriyiplenedi. Alıńǵan faktler ideal obъektlerdi kirgiziw joli menen ápiwayıllastırıladı, ideallastırıladı. Ideallastırıwdıń tiykarında izertlengen obъektler menen qubılıslardıń modelleri dóretiledi. Fizikalıq obъektler, modeller hám ideal obъektler fizikalıq shamalar tiykarında táriyiplenedi. Bunnan keyin tábiyattıń qubılıslarınıń arasındańı bayanıslar tabıldadı hám fizikalıq nızamlar tiykarında ańlatıladı. Fizikalıq nızamlar oylap tabılǵan eksperimenttiń járdeminde tekserip kóriledi. Bunday eksperimentlerde qubılıstıń (fenomennıń) múmkın bolǵanınsha taza túrde kóriniwi hám basqa qubılıslar (fenomenler) menen quramalaspawı itibarǵa alındı. Nızamlıqlardı hám parametrlerdi tallap, fizikler fizikalıq teoriyalardı keltirip shıǵaradı, olar úyrenip atırǵan qubılıstı deneler menen zatlardıń qurılısı, olardıń quramlıq bólimleri arasındańı óz-ara tásirlesiwler tiykarında túsindiriwge múmkinshilik beredi. Óz gezeginde, fizikalıq teoriyalar dál eksperimentlerdi qoyıw ushın múmkinshilik jaratıp beredi. Bul eksperimentlerdi ótkeriwdıń barısında olardı paydalaniwdıń shekleri anıqlanadı. Jańa eksperimentallıq nátiyjeler joqarı dállikti yamasa qaytadan qarap shıǵıwdı talap etpegenshe ulıwmalıq fizikalıq teoriyalar ulıwmalıq haqıyqat dep esaplanatuǵın fizikalıq nızamlıqlardı keltirip shıǵarıwǵa múmkinshilik beredi.

Mısalı, Ctiven Grey elektr zaryadların hóllengen sabaqlardıń járdeminde ádewir úlken aralıqlarǵa jetkerip beriwdiń múmkın ekenligin ańgarǵan hám bul qubılıstı izertley baslaǵan. Georg Om ol ushın sanlı nızamlıqtı asha aldı. Bul nızamlıq boyınsha ótkizgishtegi toqtıń shaması kernewge tuwrı proporsional hám toqtı ótkizgishtiń qarsılığına keri proporsional. Bul nızamlıq Om nızamı ataması menen belgili. Álbette, bunday jaǵdayda Omnıń eksperimentleri jańa toq dereklerine hám elektr toǵınıń tásirin ólshewdiń jańa usıllarına tiykarlanǵan edi. Bul jaǵday toqtıń shamasın sanlıq jaqtan táriyiplewge múmkinshilik berdi. Bunnan bılay ótkerilgen izertlewlerdiń nátiyjeleri toqtı ótkizgishterdiń forması menen uzınlıǵın abstrakciyalawǵa hám usınıń saldarınan ótkizgishtiń salıstırmalı qarsılığı hám toqtıń dereginiń ishki qarsılığı túsinkleri sıyaqlı fenomenologiyalıq

xarakteristikalardı kirgiziwge mümkinshilik berdi. Om nızamı házirgi waqıtları da elektrotexnikanıň tiykarın qurayıdı. Biraq, izertlewler onıň qollanılıwınıň sheklerin ashıp kórsetti (sıziqlı emes volt-amperlik xarakteristikalarǵa iye bolǵan elektr shınjırınıń elementleri, solar menen birge belgili bolǵan jaǵdaylarda hesh qanday elektr qarsılığına iye bolmaǵan zatlar - asa ótkizgishler ashıldı). Zaryadlanǵan mikrobóleksheler bolǵan elektronlar (keyinirek protonlar hám basqa da bóleksheler) ashılğannan keyin elektr ótkizgishliktiň mikroskopiyalıq teoriyası ashıldı hám bul teoriya qarsılıqtıň temperaturadan górezligin elektronlardıň kristallıq pánjereniň terbelislerinde, qosımsha kirgizilgen atomlarda h.t.b. shashırawı arqalı túsindiretuǵın elektr ótkizgishliktiň mikroskopiyalıq teoriyası ashıldı.

Usınıň menen birge fizikanı tek emperikalıq jaqınlasiw óana rawajlandırıdı dep esaplaw durıs emes. Kóp sanlı áhmiyetli ilimiy ashılıwlар "qálemniň ushında" yaması teoriyalıq gipotezalardı eksperimentlerde tekserip kóriw joli menen júzege keldi. Mısalı, eń kishi tásır principin 1744-jılı Per Lui de Mopertyui ulıwmalıq kóz-qaraslar tiykarında keltirip shıǵardı hám bul principtiň universallıq xarakterge iye bolǵanlıǵı sebepli onıň durıslığın eksperimentlerde tekserip kóriwdiň mümkinshiliǵı joq<sup>1</sup>. Házirgi waqıtları klassikaliq hám kvantlıq mekanika, maydanlar teoriyası eń kishi háreket principine tiykarlańgan. 1899-jılı Maks Plank elektromagnit maydanınıň kvanti, háreket kvanti túsiniňin kirgizdi. Bul túsiniktiň kirgiziliwi de baqlawlar menen eksperimentlerdiň nátiyjesi emes, al tek taza teoriyalıq gipoteza bolıp tabıldır. 1905-jılı Albert Eynshteyn eń ulıwmalıq fizikalıq hám geometriyalıq kóz-qaraslar tiykarında deduktivlik jol menen qurılıǵan arnawlı salıstırmalıq teoriyası boyınsha jumısın baspadan shıǵardı. Fizikanıň ilimiy usılların júdá jaqsı túsinetuǵın matematik Anri Puankare fenomenologiyalıq jaqınlasiw da, oyda keltirip shıǵarıw usılı da óz aldına fizikalıq ilimdi táriyipley almaydı dep jazdı.

### § 3. Fizikanıň sanlıq xarakteri

**Fizika** - sanlıq ilim. Fizikalıq eksperiment ólshevlerge, yaǵníy izertlenetuǵın qubılıslardıň xarakteristikaların belgili bolǵan etalonlar menen salıstırıwǵa súyenedi. Usınday maqsette fizika ilimi fizikalıq birlikler menen ólshev ásbaplarıniň jiynaǵın rawajlandırdı. Ayırım fizikalıq birlikler fizikalıq birlikler sistemalarına birigedi. Ilimniň rawajlanıwınıň házirgi waqıtlardaǵı dáwirinde birliklerdiň xalıq aralıq sisteması (Cl)

---

<sup>1</sup> **Gamiltonniň eń kishi háreket principi** yaması **Gamilton principi** (dáliregi — hárekettiň stacionarlıq principi) - arnawlı funkcional bolǵan hárekettiň stacionar mánisin izlew joli menen fizikalıq sistemaniň qozǵalıs teńlemesin aliwdıń usılı. Uilyam Gamiltonniň húrmetine onıň atı menen atalıǵan. Ol bul principti klassikaliq mehanikadaǵı gamilton formalizmi dep atalatuǵın formalizmdi quriw ushın paydalındı.

Hárekettiň stacionarlıq principi - ekstremallıq principlerdiň semestvosındaǵı eń áhmiyetli princip bolıp tabıldır. Barlıq fizikalıq sistemalar usı princip tiykarında alınatuǵın qozǵalıs teńlemesine iye emes, biraq barlıq fundamentallıq tásirlesiwler oǵan baǵınadı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı bul princip házirgi zaman fizikasınıň eń tiykargı qaǵıydalarınıň biri bolıp tabıldır. Onıň járdeminde alınatuǵın qozǵalıs teńlemeleri Eyler-Lagranj teńlemeleri atamasına iye.

Principtiň birinshi anıqlamasın 1744-jılı P.Mopertyui berdi (francuzsha P. Maupertuis) hám ol principtiň universallıq tábiyatın, principti optika menen jaqtılıqtıň sıñısı ushın qollanıwǵa bolatuǵınlıǵıń dárhál kórsetti. Usı principtiň tiykarında ol jaqtılıqtıň shaǵılısıw hám sıñıw nızamların keltirip shıǵardı.

standart bolıp tabıldadı. Biraq, teoretiklerdiń kóphshiligi burıngısınsha birliklerdiń Gausslıq sistemasiń (CGC) paydalaniwdı maqlı kóredi.

Eksperimentallıq jollar menen alıngan sanlıq górezlikler matematikalıq usıllardıń járdeminde qaytadan islenedi. Nátiyjede úyreniletuǵın qubılıslardıń matematikalıq modellerin quriwdıń múmkinshiligi payda boladı.

Anaw yamasa mınaw qubılıslardıń tábiyatı haqqındaǵı kóz-qaraslardıń ózgeriwi menen fizikalıq shamalar ólshenetuǵın fizikalıq birlikler de ózgerislerge ushiraydı. Colardıń ishinde temperaturanı ólshew ushın dáslep iqtıyarlı túrdegi temperaturalar shkalaları usınıldı. Usı shkalalardı belgili bolǵan qubılıslardıń arasındaǵı temperaturanı shamasına bόldı (misali, suwdıń muzǵa aylanıw hám qaynawı arasındaǵı). Bunnan keyin bul shamanıń ózi kishkene bólimlerge bόlinip, olardı temperaturanı gradusları dep atadı. Jıllılıqtıń muǵdarın ólshew ushın suwdıń bir grammın bir gradusqa qızdırıw ushın kerek bolatuǵın jıllılıq muǵdarına teń kaloriya birligi kirgizildi. Biraq, házirgi zaman fizikası energiyaniń mexanikalıq hám jıllılıq formalarınıń arasındaǵı sáykeslikti ornattı. Nátiyjede, jıllılıqtıń birligi ushın dáslep ornatılǵan kaloriya birligi temperaturanıń birligi sıyaqlı artıqmash bolıp shıqtı. Jıllılıqtıń muǵdarın da, temperaturanı da mexanikalıq energiyaniń birliklerinde ólshewge boladı. Házirgi dáwirleri kaloriya menen gradus ámeliy paydalaniwdan qalǵan joq, biraq bul shamalar menen Djoullerdegi energiyaniń arasında dál sanlıq qatnas bar. Temperaturanı ólshew birligi sıpatında gradus CI sistemاسına kiredi, al temperaturalıq shamalardan energiyalıq shamalarǵa ótiwdıń koefficienti - Boltzman koefficienti fizikalıq turaqlı bolıp esaplanadı.

#### § 4. Fizikanıń tariyxı



Nyuton, Galiley hám Eynshteyn

Fizikanıń tariyxı fizikanıń evolyuciyasın izertleydi. Fizikanıń tariyxınıń predmeti fizikalıq bilimlerdiń rawajlanıw barısındaǵı tiykarǵı waqıyalar menen tendencyialardı ulıwmalastırıp tallawdan ibarat.

XVII ásirge shekem mexanika, fizika, ximiya, Jer haqqındaǵı ilim, astronomiya hám hátte fiziologiya "natural filosofiya" dep atalǵan "bilimler paketiniń" bir bólimi bolıp tabıldı. Bul "natural filosofiya" tábiyattaǵı qubılıslar haqqındaǵı pozitivlik maǵlıwmatlardı hám usınday qubılıslardıń júzege keliw sebepleri haqqındaǵı oylap tabılǵan fantaziyalar hám qáte juwmaqlardı (keńislik, waqıt, qozǵalıs, tábiyyiy nızamlıq ideyası, dýnyanıń sheksizligi, keńisliktiń kontinuumı, zattıń diskret strukturası h.b. haqqındaǵı) bir biri menen baylanıstırıldı.

Óz aldına ilim sıpatındaǵı fizikanıń tariyxı XVII ásirdegi Galiley menen onıń oqıwshılarıńıń tájiriybelerinen baslanadı. Klassikalıq fizikanıń teoriyalıq fundamentin Isaak Nyuton XVII ásirdiń aqırında döretti. XVIII-XIX ásirlerdegi texnologiyalıq rawajlanıwlardıń úlken tezlikler menen júriwi hám onı teoriyalıq jaqtan túsinigwe tırısıwlar tiykarǵı fizikalıq túsiniklerdi (massa, energiya, impuls, atomlar h.t.b.) hám eksperimentlerde jaqsı tekserip kórlıgen olardıń arasındaǵı óz-ara baylanıslardıń fundamentallıq nızamlarınıń ashılıwına alıp keldi.

XX ásirdiń basında bir waqıtta bir neshe oblastlardaǵı klassikalıq fizikanıń qollanılıw sferasınıń sheklengenligi tabıldı. Calıstırmalıq teoriyası, kvantlıq fizika, mikrobólekshelerdiń teoriyası payda boldı. Biraq, sheshilmegen fizikalıq mashqalalardıń sanı burıngısında úlken bolıp qala berdi hám bul fizikanıń bunnan bılay rawajlanıwına alıp keldi.

#### **4.1. Eń ertedegi fizikalıq kóz-qaraslar**

Eń áyyemgi dýnyada astronomiyanıń, optikanıń hám basqa da ilimlerdiń qáliplesiwi júzege keldi. Bul matematikanıń rawajlanıwına alıp keldi hám sonıń menen birge qáliplesken ilimlerdiń derlik barlıǵı matematikanıń rawajlanıwınan górezli boldı. Usınıń menen birge naturfilosofiya rawajlandı hám ol qubılıslardıń sebeplerin túsındiriwge tırısti (tiykarınan sapalıq jaqtan)<sup>2</sup>. Eger tábiyattıń qubılısınıń paydalı modelin ámeliy jaqtan dóretiwdiń múmkinshiliǵı bolmasa, onda onı diniy mifler almastırdı.

Teoriyalıq modellerdi tekserip kóretuǵın hám jerde hár kúni baqlanatuǵın qubılıslardıń modellerdiń qaysısınıń durıs ekenligin aniqlawǵa múmkinshilik beretuǵın qurallar dım az boldı. Col dáwirlerde jetkilikli dárejede dál ólshew múmkin bolǵan shamalardıń qatarına salmaq, uzınlıq hám müyeshti kirgiziwge boladı. Yaqıttıń etalonı bolıp sutka xızmet etti. Áyyemgi Mısırda sutkanı 24 saatqa emes, al 12 kúndızgi hám 12 túngı saatlarǵa bólgen. Usınıń nátiyjesinde eki túrli saat hám sonıqtan hár qıylı máwsimlerde saattıń uzınlığı hár qıylı bolǵan. Biraq, hátte bizge úyrenshikli bolǵan waqıttıń birligi aniqlanǵan jaǵdayda da, dál júretuǵın saatlardıń bolmaǵanlıǵı sebepli fizikalıq eksperimentlerdiń kóphsiligin ótkeriwdiń múmkinshiliǵı bolmaǵan. Conlıqtan, ilimiy maǵlıwmatlardıń ornına oylap tabılǵan yamasa mistikalıq tálimatlar payda boldı.

#### **4.2. Mesopotamiya hám Áyyemgi Mısır**

Biziń eramızǵa shekemgi III-I miń jılıqlardaǵı Áyyemgi Mısır menen Vavilonnan bizge kóp sanlı hújjetler jetip kelgen bolsa da, olardıń arasında fizikaǵa baylanıslı bolǵan maǵlıwmatlar joq. Eń rawajlanǵan teoriyalıq ilim ele astrologiyadan ajıralıp shıqpaǵan astronomiya bolıp tabıladı. Vavilonda astronomiya ushın waqıt penen müyeshlerdi ólshewdiń ádewir dál usılları islep shıǵıldı; Vavilon astronomiyalıq kesteleriniń dállıgi Mısır astronomiyalıq kesteleriniń dálliginen ádewir joqarı.

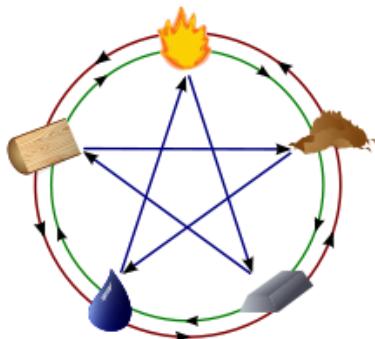
Kózge túsetuǵın qurılısları boyınsha mísırılılar menen vavilonlıqlar ádewir alǵa jılıjıǵan - olar qurılıslarda bloklardı, qıya tegisliklerdi, rıçaglardı, sinalardı, basqa da mexanizmlerdi

---

<sup>2</sup> **Naturfilosofiya** (latın tilinde *natura* — "tábiyat") — shama menen XVIII ásirge shekem tábiyat filosofiyasın ańǵartatuǵın tariixiy termin, tábiyat filosofiyası tábiyattanıwdıń eń ulıwmalıq nızamlarınıń pútin sisteması dep qaraydı.

sheberlik penen paydalana algan. Biraq olarda qanday da bir rawajlanğan fizikalıq teoriyanıń bar bolǵanlıǵı boyınsha hesh qanday belgiler joq.

#### 4.3. Áyyemgi Qıtay



Qıtay naturfilosofiyasındaǵı ilimniń elementleriniń arasındaǵı óz-ara baylanıstı sáwlelendiretuǵın pentagramma.



Xan dinastiyası dáwirindegi áyyemgi qıtay kompasınıń rekonstrukciyası.

Tábiyattaniwǵa baylanıslı bolǵan hám bizge jetip kelgen eń áyyemgi ilimiý jumıslar biziń eramızǵa shekemgi VII ásirge tiyisli. Onnan eskileriniń bolıwı da mümkin. Áyyemgi dáwirlerdiń ózinde Qıtay qurılıs penen ónermentshilikte ádewir joqarı qáddige kóterildi, qolǵa kirgizilgen tájiriyye tiykarında ilimiý tallawlar ótkerildi. Qıtay fizikasınıń gúlleniwi biziń eramızǵa shekemgi V-II ásirlerge tiyisli. Áyyemgi Qıtay alımlarınıń ilimiý miynetleriniń nátiyjeleri hár qıylı ulıwmafilosofiyalıq shıgarmalarǵa kirgizilgen. Olardıń ishinde Mo-czidıń hám onıń oqıwshılarıń ("moistlerdiń") miynetleri ayrılıp turadı.

"Moistlik kanonnıń" fizikalıq máseleler qaralǵan bóliminde tiykarǵı dıqqat mexanikaǵa awdarılǵan. Bul miynette inerciya nızamın keltirip shıgariwǵa qaratılǵan birinshi tırısız orın algan: "Qozǵalistıń toqtawı qarsı tásir etetuǵın kúshtiń tásirinde júzege keledi... Eger hesh qanday qarsılıq kúshi bolmasa, onda qozǵalıs hesh qashan toqtamaydı". Bunnan keyin bazı bir "kópir arqalı ótiw" esletilip ótiledi. Onı erkin qozǵalistıń tuwrı sızıqlı traektoriya menen bolatuǵınlıǵın tastıyıqlaw dep qarawǵa boladı. Qıtaydaǵı basqa shıgarmalarda tásir etiw hám qarsı tásir nızamı, rıçag nızamı, qızdırǵanda denelerdiń keńeyiwi menen salqınlatalıǵanda qısılıwı kórinedi (sapalıq formulirovkada).

Qıtaylılar geometriyalıq optikanıń nızamların ashıwdı ádewir alǵa jılıjdı. Mısalı, olarǵa kamera-obskura belgili edi, onıń islew principi pútkilley durıs táriyiplengen ("Mo-czin" traktatında). Biziń eramızǵa shekemgi shama menen VI ásirden baslap qıtaylıqlar kompastı ("túslikti kórsetkish ") paydalana basladı. Onıń jumıs islewin olar juldızlardıń tásrı dep túsindirdi jáne pal ashıwdı da paydalandı. Biz biletuǵın strelkası bar kompas ta Qıtayda XI ásirde payda boldı. Qıtay alımları muzıkanıń teoriyası (sonıń ishinde rezonans penen) hám akustika menen kóp shuǵıllandı.

Ulıwma aytqanda, áyyemgi qıtay fizikası ámeliy xarakterge iye boldı. Jıynalǵan kóp sanlı emperikalıq materiallardı ulıwmalastırıwǵa qaratılǵan tırısızlar metafizikalıq yaması hátte diniy, mistikalıq xarakterge iye boldı.

#### 4.4. Áyyemgi Indiya

Indiyalı naturfilosoflar dýnyaný bes elementten turadı dep esapladi: jer, ot, hawa, suw hám efir. Olar efirdi keňislikti tolträp turadı hám sesti alıp júriwshi boladı dep esapladi. Qalǵan elementlerdi hár qıylı seziw organları menen baylanıstırıldı. Biziń eramızǵa shekemgi VII ásirdiń átirapında indiyalı alımlar atomlar koncepciyasın keltirip shıǵardı hám rawajlandıra basladı. Bul teoriyanıń tárepdarları atomdı elementlerden turadı, al hár bir atomda 9 element boladı hám hár bir element 24 qásiyetke iye boladı dep esapladi.

Áyyemgi Indiyanıń fizikası menen mexanikası ayqın túrdegi metafizikalıq hám sapalıq xarakterge iye. Qozǵalıs haqqındaǵı másele ayriqsha tolıǵıraq qaraldı. Olar máńı qozǵalistı biykarladı.

#### 4.5. Áyyemgi fizika

##### 4.5.1. Áyyemgi fizikanıń ózgeshelikleri



Fales Miletksiy



Anaksagor



Demokrit



Arximed



Geron



Platon (Pafaeldiń "Afina mektebi" niń fragmentı)

Áyyemgi Greciyadaǵı áyyemgi ilim grek filosofları tárepinen dóretilgen mazmunlı hám pútin matematikalıq bilimler sistemасına. Bul matematikalıq bilimler sistemi albralıq hám geometriyalıq bilimler sistemi bolıp tabıldır. Pifagorshılar tábiyyiy qubılıslardı (mexanika, astronomiya, optika, muzıka hám basqlar) matematikalıq nızamlarǵa baǵınadı dep daǵazaladı. Bunday kóz-qaras bir qatar bahalı nátiyjelerdi alıwǵa mümkinshilik berdi, biraq kóp sanlı áyyemgi alımlardıń ózleriniń teoriyaların tekserip kóriwden alısta turıwı kóp sanlı adasıwlarǵa alıp keldi.

Áyyemgi fizikaniń tariyxı boyınsha áhmiyetli derekler sıpatında Platonniń, Aristoteliń (biziń eramızǵa shekemgi IV ásır), Arximedtiń (biziń eramızǵa shekemgi III ásır), Geronniń, Lukerciy Kardıń (biziń eramızǵa shekemgi I ásır), solar menen bir qatarda citatalar sıpatında tekstlerdiń fragmentleri túrinde saqlanıp qalǵan basqa da oyshıllardıń miynetlerin kórsetiwge boladı. Áyyemgi grek naturfilosoflarınıń Qıtay menen Indiyanıń oyshıllarınan ózgesheligi birden-bir hám ayqın túrde keltirip shıǵarılǵan principlerdiń tiykarında mifologiyalıq emes fizikalıq kóz-qaraslar sistemin islep shıǵıwdan ibarat. Bul principlerdiń kópshılıgi (mísali, Aristoteliń mexanikası) durıs bolmay shıqtı. Biraq, fizik-teoretik penen sheber injenerdiń qásiyetlerine iye bolǵan Arximed penen Geronniń ashqan jańalıqları jańa terminologiyalarda házirgi zaman iliminde de saqlanıp qaldı.

Ulıwma aytqanda, grek naturfilosofiyası ilimniň rawajlanıwına oǵada úlken tásirin tiygizdi hám XVII ásirge shekem konkurentlerge iye bolmadı. Áyyemgi fizikanıń áhmiyeti sonnan ibarat, ol materiyanıń qozǵalısı menen strukturası haqqındaǵı ayqın máselelerdi qoya aldi hám bul máselelerdi sheshiwdiń múmkin bolǵan jolların talladı.

#### **4.5.2. Dáslepki elementler hám platonizm**

En ertedegi áyyemgi fizikler Álemniń tiykarı sıpatında neni esaplawǵa bolatuǵınlığı, biz baqlap júrgen kóp túrli obъektler ushın birinshi elementtiń ne ekenligi haqqındaǵı hár qıylı gipotezalardı usındı. Fales usınday birinshi element sıpatında suwdı, Anaksimen hawani, Geraklit jalındı qabil etti. Anaksimandr bul stixiyalardıń barlıgınıń ekinshi nárse ekenligin, al birinshisi "apeyron" dep atalatuǵın substanciya bolıp tabıladı dep daǵazaladı. Anaksagordıń sistemasyndaǵı elementlerdiń sanı sheksız kóp. "Canlar dúnyanı basqaradı" degen uran astında islegen pifagorshılardıń payda bolıwı menen olardıń koncepciyası da bul básekege qatnastı hám matematikanı Álemniń nızamların biliwdegi dúnyanıń ideallıq skeleti hám oǵan qaratılǵan tuwrıdan-tuwrı jol dep qaraldı. Biraq, usınday jaǵdaydıń orın alıwına qaramastan áyyemgi fizikadaǵı dúnyanıń metafizikalıq modeli basım boldı.

Biziń eramızǵa shekemgi IV ásirdiń ullı fizigi Platon óziniń "Timey" dep atalatuǵın miynetinde usı máselege itibar berdi. Bul miynette bayanlangan ideyalardıń mistikalıq xarakterge iye bolsa da, ol ilim menen filosofiyanıń tariyxında óshpes iz qaldırdı. Platon materiallıq dúnya menen bir qatarda gózzallıq penen matematikanıń nızamları boyınsha qurılǵan "taza ideyalar" dan turatuǵın ideallıq dúnya bar dep boljadı. Onıń ideyası boyınsha bizdi qorshap turǵan haqıqıy dúnya ideallıq dúnyanıń bulıńǵır kopıyası bolıp tabıladı.

Platon tórt klassikalıq stixiyani moyınlaǵan: jerdi, suwdı, hawani hám ottı (jalındı), biraq olar menen bir qatarda jáne birinshi element bar hám ol durıs kóp mýyeshliklerge iye bolǵan durıs kóp qaptallı figuraǵa jaylasqan jaǵdayda tórt stixiyani payda etedi. Platon hátte qanday kóp jaqlıllardıń qanday stixiyalarǵa sáykes keletuǵınlığınıń súwretin de salǵan; misalı, kub jerge, al piramida bolsa otqa sáykes keledi. Usınday poziciyalarda turıp, Platon janıw, eriw, suwdıń fazalarınıń ózgerisleri, korroziya h.t.b. fizikalıq processlerdi tallaǵan hám túsindirgen.

#### **4.5.3. Atomizm**

Zenonniń aporiyiniń (oylarıniń) payda bolıwı oǵada qıyın bolǵan hám usı waqıtlargá shekem sheshilmegen mashqalanı payda etti: materiya bóline me, waqıt penen keńislık sheksiz be yamasa bóliniw ushın qanday da bir shekler bar ma? Bul sorawǵa juwaptıń bir variantı atomizm bolıp tabıladı (Demokrit, biziń eramızǵa shekemgi V ásir). Atomizm boyınsha hár qıylı deneler bir birinen quramı boyınsha emes, al qurılısı, yaǵníy olardaǵı bólinbeytuǵın atomlardıń strukturası boyınsha ajıraladı (hár qıylı tiptegi hám hár qıylı formaǵa iye atomlar boladı dep te esaplандı). Atomistler tábiyatta atomlar menen boşlıqtan basqa hesh nárse joq dep esaplادı. Atomlar bir biri menen jetkilikli dárejede bekkem birigip, zatlardı hám basqa da baqlanatuǵın fizikalıq qubılıslardı (jaqtılıq, jıllılıq, magnetizm, elektr effektleri) payda etedi. Hátte Epikur adamnıń erkiniń azat ekenligin atomlardıń qozǵalısınıń tosınnań bolatuǵın awıswılarǵa tap bolıwı menen baylanıstırdı.

Atomistler materiyaniń saqlanıw nızamı húkim süredi dep daǵazaladı. Bul nızam atomlardıń buzılmayıtuńlıǵı qásiyetinen tábiyyiy türde kelip shıǵadı. Bul nızamnıń anıqlamasın biziń eramızǵa shekemgi V ásirde birinshi ret Empedokl berdi (qánileger onı pifagorshı dep boljaydı) hám anıqlama shama menen bılayınsıha aytılıdı: Hesh nárse joqtan payda bolmaydı hám hesh nárse joq bolmaydı. Keyinirek tap usınday anıqlamanı Demokrit, Epikur, Aristotel hám basqa da naturfilosoflar berdi.

#### 4.5.4. Aristoteliń fizikası



Aristotel  
(P. Fidancıń gravyurası)



Aristoteliń "Fizika" kitabınıń birinshi beti.

Platoniń oqıwshısı, grek filosofi Aristotel (biziń eramızǵa shekemgi 384-322 jıllar) sol dáwırlerdegi bilimlerdiń tiykarında kóp sanlı fizikalıq teoriyalar menen gipotezalardı döretti. "Fizika" termininiń ózi de ilimge Aristotel tárepinen kírgizildi.

Aristoteliń jazba miynetlerin eki túrge bóliwge boladı: "ekzoterikalıq" - tiykarınan hár qıylı temalarǵa baǵışhlanǵan dialoglardan turatuǵın kóphsilikke arnalǵan shıǵarmalar hám "ekzoterikalıq" - lekciyalıq kurslar hám ilimiý traktatlar. Fizikanıń ózine "Fizika", "Aspan haqqında", "Payda bolıw menen joq etiliw", "Meteorologika" shıǵarmaları tiyisli. Andronik Podosskiy tárepinen jıynalǵan hám redaktorlanǵan Aristoteliń "Metafizika" ataması menen jarıq kórgen filosofiyalıq miynetleri fizika ilimine tiyisli emes. Biraq, bul kitapta keńislik, qozǵalıs, materia h.t.b. tallawlar orın algan.

Aristoteliń shıǵarmaları bir mánisli traktovkalanybaydı: bir tárepten onıń mektebinde emperikalıq ideyalar menen qánigelestiriw rawajlanǵan; biraq, ekinshi tárepten, shıǵarmalar kúshli platonlıq ruwhta traktovkalanyadi.

Aristoteliń fizikası tórt element (tórt stixiya) haqqındaǵı tálimatqa tiykarlanǵan. Aristoteliń miynetlerinde gáp tiykarınan usı tórt stixiyaniń arasındaǵı qatnas, olardıń rawajlanıwı, olardıń tábiyattıń qubılışlarına qalay aylanatuǵınlıǵı h.t.b. haqqında gáp etiledi.

Aristoteliń fizikasınıń tiykarǵı postulatları:

**1. Tábiyyiy orın** — hár bir element Jerdiń orayına, yaǵníy Álemlniń orayına salıstırǵanda qanday da bolıp jaylasqan óziniń tábiyyiy ornına tartıladı.

**2. Gravitaciya/Levitaciya** — obъektlerge olardı ózleriniń tábiyyiy ornına qaray qozǵaltatuǵın kúsh tásır etedi.

**3. Tuwrı sızıqlı qozǵalıs** — sol kúshke juwap sıpatında dene tuwrı sızıq boylap, turaqlı tezlik penen qozǵaladı.

**4. Tezliktiń tıǵızlıqtan górezligi** — tezlik ortalıqtıń tıǵızlığına keri proporsional.

**5. Vakuumnıń mümkin emes ekenligi** — sebebi vakuumdaǵı qozǵalıs tezliginiń shaması sheksiz úlken bolǵan bolar edi.

**6. Barlıq ortalıqlarǵa sińetuǵın efir** — keńisliktiń hár bir noqatı materiya menen tolǵan.

**7. Shekli álem** — álem shekli, yaǵníy tolıq dóretilip bolıngan, demek, jetilisken; dýnya sırttan hesh nárseni ózine kirgizbeydi, bunnan dýnyada orınnıń joq ekenligi kelip shıǵadı ("orınnıń bolıwı - ózine sırttan kirgizetüǵın dýnyanıń birinshi shegarası").

**8. Kontinuum teoriyası** — atomlardıń arasında vakuumnıń bolıwı kerek, sonlıqtan materiyanıń atomlardan turiwı mümkin emes.

**9. Efir** — Aydıń ústindegi dýnyanıń obъektleri jerdegidey materiyadan emes, al basqa túrli materiyadan soǵılǵan.

**10. Ózgermeytuǵın hám máńgi kosmos** — Quyash penen planetalar jetilisken, ózgermeytuǵın sferalar bolıp tabıldadı.

**11. SHEńber boyınsha qozǵalıs** — planetalar jetilisken sheńber boyınsha qozǵaladı.

### Aristoteliń elementleri

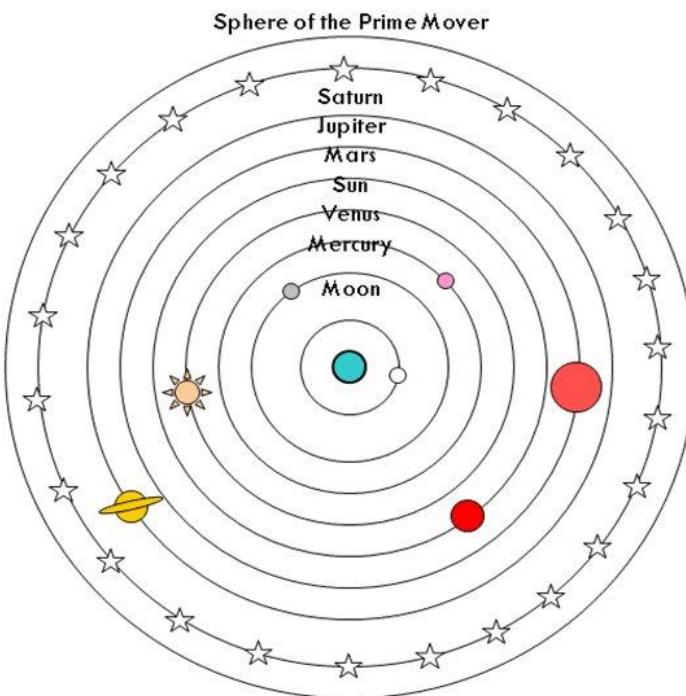
Element	Qızǵan/ salqın	blǵal/qurǵaq	Qozǵalısı	Zattıń házirgi waqıttaǵı halı
Jer	Calqın	Qurǵaq	Tómenge	Qattı
Cuw	Calqın	blǵal	Tómenge	Cuyıq
Hawa	blıssı	blǵal	Joqarıǵa	Gaz
Ot	blıssı	Qurǵaq	Joqarıǵa	Plazma
Efir	(qudaylıq zat)	-	Dóńgelek (aspanda)	Vakuum

#### 4.5.5. Kosmologiya

Tábiyat haqqındaǵı jiynaw mümkin bolǵan bilimlerdi biriktirip hám sistemäge salıp, Aristotel dýnyanıń kosmologiyalıq kartinasın dóretti. Ol óziniń "Aspan haqqında" kitabıń kosmologiyaǵa baǵıshladı.

Álemdi Aristotel úzliksiz dep boljadı. Cebebi, onıń tálimatı boyınsha barlıq denelerdi sheksiz bóle beriwge boladı. Pifagorshıllarǵa suyenip ol barlıq deneler ushın úsh ólshemniń zárúrli hám jetkilikli ekenligin táriyipledi.

Evdoksten keyin Aristotel Álemniń orayı bolǵan Jer shar tárizli formaǵa iye dep esapladi. Jerdiń shar tárizli ekenligin ol ay tutılıwlardıń xarakterinen kórdi. Ay tutılıwlarda Jerdiń aydaǵı sayasınıń shetleri dóńgelek formaǵa iye. Jer shar tárizli formaǵa iye bolǵan jaǵdayda óana sonday sayanıń payda bolıwı mümkin. Bir qatar áyyemgi matematiklerdiń tastıyıqlawlarına súyengen halda Aristotel Jer sheńberin 400 míń stadiye teń (shama menen 71200 km) dep esapladi. Usınıń menen birge Aristotel Aydıń fazaların úyreniwdiń tiykarında onıń formasınıń shar tárizli ekenligin birinshi bolıp dálilledi. Onıń "Meteorologika" shıǵarması fizikalıq geografiya boyınsha jazılǵan jumislardıń eń birinshilerinen bolıp esaplanadı.



Aristoteliń geooraylıq sisteması

Aristoteliń geooraylıq kosmologiyasınıń tásiri Kopernikke shekem saqlanıp keldi. Aristotel Evdoks Knidskiydiń astronomiyalıq modelin basshılıqqa aldı, biraq planetalıq sferalarǵa haqıqıy fizikalıq mánis berdi: Álem hár qıylı tezlikler menen qozǵalatuǵın bir qatar koncentrlik sferalardan turadı hám olar eń shetki qozǵalmayıtuǵın juldızlar sferasınıń tásirinde qozǵalısqa keledi.

Aristotel boyınsha aspan sferaları da, barlıq jaqtırtqıshlar da shar tárizli. Biraq, ol diniy hám basqa da idealistik koncepciyalardan kelip shıqqan halda bul ideyanı ol durıs emes dálilledi. Aspan jaqtırtqıshlarınıń shar tárizli ekenligin dálillew ushın ol "sfera" dep atalatuǵın figuranıń eń jetilisken formaǵa iye bolatuǵınlığına súyendi.

"Aydıń astındıǵı dýnya" Aydıń orbitası menen Jerdiń arasında jaylasqan bolıp, ol tártipsiz teń ólshewli bolmaǵan qozǵalıslar oblastı bolıp tabıladı. Bul oblasttaǵı barlıq zatlar tómengi tórt elementlerden (jerden, suwdan, hawadan hám ottan) turadı. Eń salmaqlı element sıpatında Jer oraylıq orındı iyeleydi. Onıń ústinde suwdan, hawadan, ottan turatuǵın qabıqlar izbe-iz jaylasqan.

"Aydıń ústindegi dýnya", yaǵníy Aydıń orbitası menen qozǵalmayıtuǵın juldızlardıń eń jaqın sferasınıń arasında oblast máńı teń ólshewli qozǵalıslar oblastı bolıp tabıladı, al juldızlardıń ózleri bolsa besinshi, eń jetilisken element bolǵan efirden turadı.

Efir (besinshi element yamasa quinta essentia) juldızlar menen aspannıń quramına kiredi. Bul qudaylıq hám basqa elementlerge pútkilley usamaytuǵın element bolıp tabıladı.

Aristotel boyınsha juldızlar aspanǵa qozǵalmayıtuǵın etip bekitilgen hám aspan menen birgelikte aylanadı, al "qozǵalatuǵın juldızlar" (planetalar) bolsa jeti koncentrlik dóńgelekler boyınsha aylanadı. Aspan qozǵalıslarınıń sebebi Quday bolıp tabıladı.

Aristoteliń kosmologiyalıq sisteması derlik eki miń jıl jasadı hám usı dáwirdiń ishinde bul sistema kóp sanlı túśindiriwlerge hám kommentariylerge ushıradı. Mısalı, deneniń salmaǵınıń jerdiń orayına jaqınlaǵan sayın qalayınsha ózgeretuǵınlığı kópshılıktıń arasında

Úlken básekeni payda etti: birewler Jerdiń orayına jaqınlaǵanda salmaq úlkeyedi, al ekinshi birewler nolge shekem kemeyedi dep esapladi.

#### 4.5.6. Aleksandriya mektebi

Biziń eramızǵa shekemgi IV ásirden keyin tájiriye menen jetkiliksiz túrde baylanısqan Afina mektebiniń ideyalıq sistemaları Aleksandriya mektebiniń ámelge jaqınraq bolǵan jaqınlasiwınıń saldarınan ádewir bayıdı. Aleksandriyalı grekler bir neshe sanlıq (matematikalıq túrde bayanlanǵan) teoriyalardı usındı hám olardı ámelde qollanıw jolların táriyipledi. Bul dáwirdegi alımlar menen oylap tabıwshılardıń arasında Arximed, Ktesibiy hám Geron Aleksandriyskiy ayriqsha dańqqa bólendi.

Arximed rıqag teoriyası menen mexanikalıq teń salmaqlıq teoriyasın ayqın túrde bayanladı hám mınaday juwmaqqa keldi: "shamalar salmaqlarına keri proporsional bolǵan uzınlıqlarda teń salmaqlıqqa keledi". Ol salmaq orayı túsinigine anıqlama berdi hám úsh mýyeshliktegi hám basqa da figuralardaǵı salmaq orayınıń ornın taptı. Arximed suyiqlıqtıń kóteriw kúshiniń shamasın esapladi (Arximed nızamı). Biziń eramızǵa shekemgi IV ásirde Gipatiydiń oqıwshısı Cineziy Kirenskiy Arximedtiń ilimiý ashılıwi tiykarında suyiqlıqlardıń salıstırmalı salmaǵın anıqlaw ushın areometrdi oylap taptı.



Geronniń puw turbinası.

Burınıraq Empedokl (biziń eramızdan burıńğı 490-430 jıllar) menen Anaksagor (biziń eramızdan burıńğı shama menen 500-428 jıllar) eksperimentte hawaniń serpimligin dálillegen edi. Gidravlıka boyınsa toplanǵan tájiriye menen ulıwmalastırıp Geron eki tomlıq "Pnevmatika" oqıwlığın jazdı. Ol gazdiń qısılıw qásiyeti onıń boslıq penen ayrırlıǵan bólekshelerden turatuǵınlıǵın dálilleydi dep jazdı. "Pnevmatikada" kóp sanlı texnikalıq dúzilisler táriyiplengen, olardıń ishinde birinshi puw turbinası (eolipil) bar. Teoriyalıq akustikaǵa hám muzıkaniń teoriyasına úlken úles qosıldı.

Ellinlikler (áyyemgi hám házirgi waqıtlardaǵı greklerdiń biziń ásirimizden burıńğı VII ásirinen baslap ózlerine qoyıp alǵan ataması) geometriyalıq optikanı tabıslı túrde rawajlandırdı. Áyyemgi grek matematigi, geometri, matematika boyınsa bizge shekem jetip kelgen teoriyalıq traktatlardıń avtorı Evklid (biziń eramızǵa shekemgi 325-265 jıllar) "Optika" hám "Katoptrika" kitaplarında aynalar teoriyası menen perspektivalar nızamıń tereń izertledi. Optika boyınsa úlken kólemge iye bolǵan basqa miynetti Arximed jazǵan, biraq ol bizge shekem jetip kelgen joq. Arximedtiń Quyashtiń mýyeshlik diametrin ólshegeni hám 27 menen 33 mýyeshlik minutlardıń arasındaǵı nátiyjeni alganı belgili. Geronda birinshi variaciyalıq princip - shaǵılısqan jaqtılıq ushın "eń kishi jol" ushırasadı.

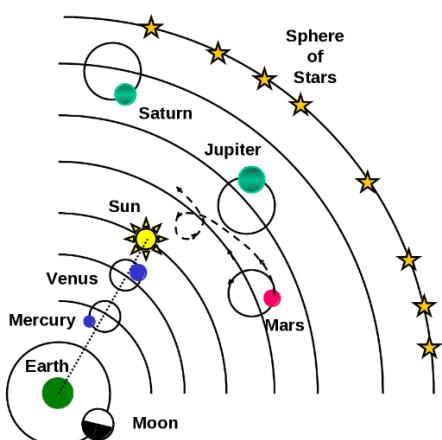
Cońğı ellinlik astronom, astrolog, matematik, mexanik, optik, muzikanıń teoretigi hám geograf Klavdiy Ptolemy (biziń ásimizdiń shama menen 100-170 jılları) óziniń "optika" traktatında astronomiyalıq refrakciyanı tolıq táriyipledi hám onıń jaqtırtqışlardıń kózge kórinetugin biyikligin kóteretuğının kórsetti. Biraq, sonday bolsa da, áyyemgi greklerdiń optikasında turpayı qáteler de boldı. Mısalı, sıniw múyeshiniń shamasın túsiw múyeshiniń shamasına tuwrı proporsional dep esaplandı (bul qátelikti hátte Kepler de bólisti). Kózdiń setçatkasındaǵı súwret ele ashılgan joq edi hám, sonıqtan, kóriw adamnıń hám haywanlardıń kózlerinen shıgatuğın ayrıqsha nurlar menen baylanıstırıldı. Jaqtılıqtıń tábiyatı menen reńler haqqındaǵı gipotezalardıń sanı kóp bolsa da, olardıń barlıǵı oyda oylap tabılǵan edi.

#### 4.5.7. Klavdiy Ptolemy

Klavdiy Ptolemy (eski grekshe. Κλαύδιος Πτολεμαῖος, latın tilinde Claudius Ptolemaeus, shama menen 100-jıl - shama menen 170-jıl) - keyingi ellinlik astronom, astrolog, matematik, mexanik, optik, muzika teoretigi hám geograf. Mısırdıǵı Aleksandriya qalasında jasadı, jumıs isledi (127-151 jılları ekenligi anıq), hám astronomiyalıq baqlawlar ótkerdi.

"Almagest" dep atalatuğın klassikalıq áyyemgi monografiyanıń avtorı. Bul monografiya áyyemgi aspan mexanikasınıń rawajlanıwınıń nátiyjesi bolıp tabıladı hám óziniń ishine sol waqıtları Greciya menen Jaqın SHıǵısta bar bolǵan barlıq astronomiyalıq bilimlerdi qamtiǵan. Bilimniń basqa da oblastları bolǵan optikada, matematikada, geografiyada hám astrologiyada tereń iz qaldırıdı.

Klavdiy Ptolemy ellinizmdegi eń iri tulǵalardıń biri. Gipparxtan (biziń eramızǵa shekemgi II ásır) Al-Biruniye shekem (biziń eramızdıń X-XI ásırleri) tolıq müń jıldını ishinde astronomiyada Ptolemeyge teń hesh kim bolmadı.



Ptolemy boyınscha Álemniń qurılısı.

Ptolemeydiń ómiri haqqında onıń zamanlasları hesh nárseni jazıp qaldırımaǵan. Biziń eramızdıń birinshi ásirindegi tariyxıy jumıslarda Klavdiy Ptolemeydi geypara waqıtları Ptolemylerdiń dinastiyası menen baylanıstırıdı. Biraq, házirgi waqıtlardaǵı tariyxshılar bunday maǵlıwmatlardı qáte dep esaplaydı.

**Astronomiya.** Ptolemeydiń tiykargı miynetü "On úsh kitabtan ibarat astronomiya boyınscha ullı matematikalıq quriw" (yamasa ápiwayı túrde "Ulli", grek tilinde "Megiste" dep ataladı) dep ataladı hám ol áyyemgi grek dýnyasınıń astronomiyalıq hám

matematikalıq bilimleriniń enciklopediyası bolıp tabıldadı. Greklerden arablar arqalı orta ásirlerdegi Evropaǵa qaray jılıwdıń barısında "Megale syntaxis" ("Ulli quriw") sózi "Almagest" ataması túrinde jetip keldi. Házirgi waqtları Ptolemeydiń bul kitabınıń ataması arab tiliniń tásirinde usınday atama menen belgili.

Ptolemey Almagestte Áyyemgi Greciya menen Vavilonnıń astronomiyalıq bilimleriniń jiynaǵın bayanladı hám dúnnyanıń júdá quramalı bolǵan geooraylıq modelin dóretti. Bul sistemani dóretkende ol ózin sheber matematik sıpatında kórsetti. Cebebi aspan deneleriniń teń ólshewli bolmaǵan qozǵalısların (geypara planetalardıń alǵa hám artqa qaray qozǵalatuǵınday bolıp kórinetuǵınlıǵı) sheńberler boyınsha bir neshe teń ólshewli qozǵalıslardıń kombinaciyası sıpatında kórsete aldı (epicikllar, deferentler, ekvantlar). Ilimniń amerikalıq tariyxshısı M. Klayn mınaday jaǵdaydı ańgardi: "Ptolemey teoriyasınıń oǵada zor mańızı onıń júdá quramalı hám júmbaq bolǵan fizikalıq qubılıslardı racionallıq túsinidə matematikanıń kúshin isenimli túrde demonstraciyalay alıwında".

Almagest juldızlar aspanınıń katalogına da iye. 48 shoq juldızdıń dizimi aspan sferasın tolıq tolırmadı. Cebebi, katalogta tek Ptolemey Aleksandriyasında turıp baqlay alatuǵın juldızlar ǵana bar.

Nikolay Kopernikiń geliooraylıq sistemasi dóretilgenshe Ptolemeydiń sistemasi batıs hám islam ellerinde bárshé tárepinen qabil etilgen sistemaǵa aylandı.

Ulıwmalastırıwshı hám fundamentallıq jaqınlısiwına baylanıslı Ptolemeydiń kitapları ózinen burıngı alımlardıń jumısların paydalaniwdan derlik tolıq qısıp shıǵardı. Olardıń kóphılıgi joǵalǵan bolıp shıqtı. Olardıń bir qanshaları tek Ptolemeydiń siltewleri menen belgili. Usınıń menen bir qatarda quriwdıń logikalıq hám didaktikalıq boliwi ushın Ptolemey geyde óziniń yamasa basqalardıń utımlı bolǵan baqlaw maǵlıwmatların arnawlı túrde saylap aldı yamasa ózine durıs bolıp kóringen teoriyalıq nátiyjelerge sáykes keliwi ushın baqlaw maǵlıwmatlarına sanalı túrde ózgerisler kirgizgen. Bul jaǵday ilimiý usıl haqqındaǵı házirgi zaman kóz-qaraslarına qarama-qarsı keledi. Usı jaǵdayǵa baylanıslı Ptolemeydiń metodologiyasınıń másseleleri menen burıngı alımlardıń nátiyjelerine salıstırǵandaǵı onıń jetiskenlikleri júdá quramalı hám bul másseleler keyingi izertlewshilerdiń arasındaǵı kóp kelispewshiliklerge alıp keldi. Bunday kelispewshiliklerdiń tariyxı IX ásirdegi arab alımlarınıń bergen maǵlıwmatlarının baslanadı. Mısalı, Ptolemeydiń juldızlar kestesi tiykarınan Gipparxiń bizge jetip kelmegen juldızlar kestesine súyenedi. Házirgi waqtındaǵı ilim tariyxshılarınıń ótkergen izertlewlerine sáykes, juldızlar kestesinde keltirilgen 1022 juldızdıń barlıǵın Gipparx Podostıń keńliginde baqlay alǵan<sup>3</sup>. Biraq kestede Podosqa salıstırǵanda túslıkte jaylasqan Aleksandriyada baqlanatuǵın, biraq Podosta baqlanbaytuǵın bir de juldız joq.

Pobert Nyuton óziniń 1977-jılı jarıq kórgen hám úlken shawqımları shıgarǵan "Klavdiy Ptolemeydiń jinayatı" atlı kitabında alımdı falsifikasiya menen plagiatta tuppantuwrı ayıpladı. Biraq, kóp sanlı iri astronomlar áyyemgi alımnıń tárepin aldı. Possiyalı astronomlar YU.N.Efremov penen E.K.Pavlovskaya tárepinen orınlıq Almagest shoq juldızınıń barlıq juldızlarınıń menshikli qozǵalısların esaplawlar olardıń haqıyqatında da tiykarınan biziń eramızǵa shekemgi II ásirinde baqlanǵanlıǵıń kórsetti. Demek, Ptolemey rásında da biziń eramızǵa shekemgi II ásirde Gipparx tárepinen dúzilgen juldızlar kestesin

---

<sup>3</sup> Áyyemgi grek astronomı Gipparx Greciyanıń aymağına kiretuǵın Podos atawında jasaǵan hám óziniń astronomiyalıq baqlawların ótkergen.

paydalangan hám ol precessiyadaǵı sistemalıq qáteniń shamasın ózi jasaǵan waqt ushin qaytadan, biraq ádewir úlken qátelik penen esaplaǵan (ol 100 jildaǵı precessiyani 1 gradusqa teń dep alǵan, al 1 graduslıq precessiya 72 jıldını ishinde júzege keledi). Usınıń nátiyjesinde juldızlardıń orınları haqqındaǵı Ptolemey tárepinen keltirilgen maǵlıwmatlar biziń eramızdıń 137-jılına emes, al biziń eramızdıń 60-jılına tiyisli bolıp shıqtı. Biraq, házirgi zaman alımları Ptolemeydi Robert Nyutonday bolıp plagiatta ayiplawdıń tárepinde turǵan joq, sebebi ol kitaptıń hesh bir betinde ózin baqlawlardıń avtorman dep atamaǵan. Onıń juldızlar kestesi spravochnik bolıp tabıladi, al biziń waqtılarımızda spravochniklerde materialdıń avtorları kórsetilmeydi.

Ptolemey armillyarlıq sferalardıń kombinaciyasınan turatuǵın ózi oylap tapqan "astrolyabon" ásbabınıń járdeminde (keyinirek onı astrolyabiya dep atay basladı) juldızlardı baqlaw menen de shuǵıllandı. Ol "trikvetrum" ásbabın da oylap taptı. Ol diywaldaǵı dóńgelektiń (kvadranttiń) proobrazo bolıp tabılatuǵın úsh sizgishtan turadı.

"Qolaylı kesteler" dep atalatuǵın jumısında Ptolemey bir qansha jetilistirilgen teoriyanıń tiykarında islep shıǵılgan ámelde qollanıw ushin Almageste keltirilgen kestelerge salıstırǵanda qolaylı bolǵan astronomiyalıq kestelerdi hám olardı paydalaniw boyınsha kórsetpelerdi keltirgen. Bul kesteler qálegen sánegegi planetalardıń orınları menen basqa da astronomiyalıq qubılıslardı esaplawǵa múmkinshilik berdi. Kestelerdiń jazılıw forması Jańa waqtılarǵa shekem astronomiyadaǵı standart forması bolıp keldi.

"Almagestiń" nátiyjeleriniń qısqasha ápiwayılastırılgan variantı tek arab tiline awdarması túrinde saqlanıp qalǵan "Planetalıq gipotezalar" dep atalatuǵın eki kitapta bayanlangan. Bul kitapta atronomiyalıq teoriyanıń bunnan bılay rawajlandırılıwı kórinedi. Tap usı jumısında Ptolemey hár qıylı jaqtırtqıshlar ushin dóretilgen ayırm geometriyalıq modellerge sáykes keletuǵın dúnyanıń baylanısqan mexanikalıq kartinasın dóretiwge tırısqan. Bul jumısta jaqtırtqıshlarǵa shekemgi qashıqlıqları hám olardıń ólshemlerin anıqlawdıń jańa usılları islep shıǵılgan.

Tek arab tiline awdarması túrinde saqlanıp qalǵan "Planisfera haqqında" dep atalatuǵın traktatında Ptolemey aspan sferasındaǵı sheńberlerdiń ekvator tegisligine túsırilgen proekciyaları haqqındaǵı máseleni qaraǵan. Bul jumıs eń kóp tarqalǵan Orta ásırlik astronomiyalıq ásbap tegis astrolyabiyanıń konstrukciyasınıń tiykarında jatadı. Bul quraldiń eń baslı xızmetiniń biri jaqtırtqıshıń shıǵıw hám batıw waqtıların anıqlaw bolǵanlıqtan Ptolemey traktatında usı máseleni arnawlı türde tallayıdı hám sonlıqtan usı ásbaptıń avtorlığı onıń ózine tiyisli bolsa kerek.

**Optika.** Bes kitaptan turatuǵın "Optika" traktatında kózler tárepinen shıǵarılatuǵın nurlar tárepinen kóriwdiń tábiyatı haqqındaǵı áyyemgi kóz-qaraslar bayanlangan. Bizge shekem jetip kelmegen birinshi kitapta kóriw hám jaqtılıq haqqındaǵı ulıwmalıq tallawlar keltirilgen. Ekinshi kitapta qabil etiw aspektleri menen jalǵan kóriwler máselesi keltirilgen. Colardıń ishinde, jaqtırtqıshlardıń gorizontqa jaqınlaǵandaǵı ólshemleriniń úlkeyiwiniń sebepleri haqqında "Almagest" miynetinde keltirilgen maǵlıwmatlarǵa salıstırǵanda duris maǵlıwmatlar berilgen. Úshinshi kitapta shaǵılısiw nızamları menen tegis hám oyis aynalardıń qásiyetleri, al kelesi kitapta basqa geometriyalargá iye bolǵan aynalardıń qásiyetleri táriyiplengen. Besinshisinde jaqtılıqtıń sıniw nızamı qaraladı hám "Almagestte" gáp etilmegen atmosferalıq refrakciya qubılısı sapalıq jaqtan táriyiplengen. Táriyiplengen sıniw nızamı kishi mýyeshlerde Cnell nızamına jaqın (sebebi, gáp mýyeshlerdiń

sinuslarınıń qatnası haqqında emes, al mýyeshlerdiń ózleriniń qatnası haqqında etilgen). Conlıqtan, Ptolemeydiń sínıw nızamı úlken mýyeshlerde durıs nátiyjeni bermeydi.

Mexanika. X ásirdegi "Cuda" atamasındağı Vizantiya enciklopediyasında Ptolemeydiń mexanika boyınsha úsh kitaptı jazǵanlıǵı haqqındaǵı maǵlıwmatlar bar. Biraq, olar biziń kúnlerimizge shekem jetip kelmedi.

#### **4.5.8. Áyyemgi Pim**

Pim imperiyası birinshi gezekte injenerlik ónerdiń joqarǵı qáddin uslap turdı (qurılıs, áskeriy texnika, vodoprovodlar hám basqalar). Ámeliy injeneriya boyınsha oqıw qurallarınıń ishinde Vitruviydiń (biziń eramızǵa shekemgi I ásir) "Arxitektura haqqındaǵı on kitabı" úlken qızıǵıwshılıq payda etedi hám onda bir qatar perspektivalı fizikalıq ideyalar orın alǵan. Vitruviy sesti hawadaǵı tolqın túrinde táriyipleydi, tábiyattaǵı suwdıń aylanısı haqqında jazdı (oniń kóp sanlı zamanlasları suwdı úngirlerdiń ishinde hawadan payda boladı dep esaplaytuǵın edi), samallar suw puwlarınıń kernewinen payda boladı dep tastıyıqladı.

Bir neshe rimli oyshıllardıń ayırımları greklerdiń tásirinde, al basqaları bolsa ózleri ótkergen izertlewler tiykarında teoriyalıq-fizikalıq mashqalalar boyınsha shıgarmaların qaldırdı. Óziniń kóz-qarası boyınsha epikurshı bolıp tabılatuǵın Tit Lukerciy Kar (biziń eramızǵa shekemgi I ásir) "Zatlardıń tábiyatı haqqında" poemasın jazdı. Poema Demokrittiń atomizminiń poziciyalarında turǵan halda kóp sanlı qubılıslardı (sonıń ishinde magnitlik tartısıwdı) túsındırıwge qaratılǵan tırısıwlarǵa iye. Atomizmniń rimli basqa tárepdarı Ceneka óziniń "Tábiyat haqqındaǵı izertlewler" atamasındaǵı jeti tomlıq miynetinde elektrlik qubılıslarǵa, aspan qubılıslarına, kometalarǵa, suwdıń, hawaniń hám jaqtılıqtıń qásiyetlerine túsinikler bergen. Cenekanıń túsinikleriniń kóphsiligi "jeńillik" penen berilgen. Mısalı, onıń pikiri boyınsha zatlardıń reńleri Quyashtiń jaqtılıǵı menen qarańǵı bultlardıń aralasiwınıń saldarınan payda boladı. Úlken Pliniydiń "Tábiyyiy tariyx" kitabındaǵı fantaziyalardıń sanı onnan da kóp. Mısalı, almaz magnitti ekranlay aladi, juldızlar korabllerdiń maçtalarına túsip "Áwliye Elmniń otların" payda etedi h.b. Ásker bası Cekst YUliy Frontindi (biziń eramızdiń I ásiri) jası ádewir úlken bolǵanda qalalıq "Pim vodoprovodları haqqında" dep atalatuǵın shıgarmasın qaldırǵan. Bul kitabında ol Torrićelliden bir yarım mıń jıl burın birinshi bolıp idistan suwdıń tesik arqalı aǵıp shıgıw tezliginiń tesikiń keńliginen emes, al idıstaǵı suwdıń qáddinen górezli ekenligin atap ótti.

#### **4.5.9. Islam elliři**

Islam ellişindegi ilimniń altın dáwiri shama menen IX ásirden XIV ásirdiń birinshi sheregine shekem dawam etti (mongollardıń shabıwilana shekem). Usı waqıtları grek hám hind alımlarınıń baslı miynetleri arab tiline awdarılǵan edi. Bunnan keyin arab, parsı hám türkiy oyshıllar bul miynetlerdi rawajlandırdı hám olardı ózlerinshe túsindirdi, al bir qatar jaǵdaylarda jańa fizikalıq modellerdi usındı. Islam alımları tiykarǵı dıqqattı optika menen texnikalıq mexanikaǵa qarattı (teoriyalıq mexanikada aytarlıqtay alǵa jılıw bolmadı).

"Danalıq tárezisi kitabı" nıń avtorı Abdurraxman al-Xazini (XII ásir) Arximedtiń rıčagli tárezisi hám salmaq orayları boyınsha izertlewlerin dawam etti. Kitapta bayanlanǵan principlerdiń kóp sanlı ámeliy qollanılıwı táriyiplengen. Colardıń ishinde zergerlerdiń jumıslarındaǵı aldawdiń aldın alıw, hár qıylı materiallardıń salıstırmalı salmaqlarınıń kestesi dıqqatqa ılayıq. Al-Xazini Arximedten de alǵa ketti hám onıń nızamın hawadaǵı

denelerge tarqattı: hawanı rezervuardan sorıp shıgarǵanda onıň ishinde turǵan denelerdiń salmaǵı artadı. Abdurrxman al-Xazinidiń kitabınıń qosımsısha artıqmashlıǵı oǵan salmaqtı dál ólshew menen salıstırmalı salmaqtı esaplaw boyınsha Omar Hayyam menen Al-Biruniydiń nátiyjeleriniń qosılıwı bolıp tabıladı.

Ptolemeyden keyingi optikanıń rawajlanıwına eń úlken úlesti "Optika kitabı" niń avtorı Ibn al-Xaysam (XI ásır, Evropada onı "Alxazen" dep ataydı) qostı. Alxazen eskiden kiyatırǵan kózden shıgatuǵın kóriw nurları gipotezasın biykarladı, kózdiń qurılısın hám binokulyar kóriwdi durıs táriyipledi. Biraq ol sırtqı predmetlerdiń súwretleri xrustalıktıń ishinde payda boladı dep nadurıs boljadı. Alxazen jaqtılıqtıń tezliginiń shekli ekenligi haqqındaǵı pikirde boldı hám kamera-obskura menen, jaqtılıqtıń sıniwi boyınsha hám aynalardıń hár qıylı túrleri menen eksperimentler ótkerdi. Ol qıysıq sıziqli aynada shaǵılısqan nurdıń túsiwshi nur menen betke túsirilgen normaldıń bir bette jatatuǵınlıǵıń taptı. Alxazenniń kóz-qarasları (onıń ismi atalmaǵan halda) Erazm Viteloniń (Vitelliydiń) 1271-jılı jarıq kórgen hám sol waqıtta kóphshilikke tarqalǵan kitabında tolıq bayanlangan, Bul kitap 300 jıl dawamında bir neshe ret basıp shıgarılǵan hám optikanıń Evropadagi rawajlanıwına úlken tásirin tiyigizgen.



"Optika kitabı" niń latın tiline awdarmasınıń birinshi beti.

Eń iri arab oylap tabıwshılarıńıń biri Al-Djazari (1136-1206) óziniń, odin iz krupneyshix arabskix izobretateley, v svoem sočinenii "Ármanlar kitabında" kolenchatıv valdı, klapanlı nasoslardı, suw kóteretuǵın mashinalardı, suw saatların, muzıkkallıq avtomatlardı hám basqalardı bayanladı. Al-Djazarige mınaday texnologiyalıq jańalıqlar da tiyisli: aǵashti laminaciyalaw, kodqa iye qulıplar, qálegen keńlik ushın kompas penen universallıq quyash saatınıń gibridi h.t.b.

#### 4.5.9.1. Ál-Beruniy

Ál-Beruniy jasaǵan X ásirdiń aqırı hám XI ásirdiń birinshi yarımı Oraylıq Aziyada birinshiden mádeniyattıń gúlleniwi, ekinshiden hár qanday mámleketler arasındaǵı basıp alıwshılıq baǵdarındaǵı urıs-jánjellerdiń kúsheyiwi menen sıpatlanadı. X ásirdiń ekinshi yarımina kelip paytaxtı Gurganj (házirgi Góne Úrgenish) qalası bolǵan arqa Xorezm hám paytaxtı Kát qalası bolǵan túslık Xorezm mámleketleri bir tekli rawajlanıwǵa eristi. Kát qalasında IX ásırde tiykarı salıngan Banıw Irak dinastiyasına kiretuǵın Xorezmshah, al Gurganjdı bolsa Oraylıq Aziya mámleketlerin VII ásırde basıp alǵan arablar tárepinen qoyılǵan ámirler basqardı.

995-jılı Gurganjlı ámir Mamun ibn Muxammed Kát qalasın bağındarıp, Xorezmniń barlıq bölimlerin biriktirdi, Xorezmshah óltirildi, ózin Xorezmshah, al Gurganj qalasın bolsa Xorezmniń paytaxtı dep daǵazaladı. Usı dáwirden baslap Gurganjda X ásirdiń úlgisinde iri saraylar qurıla basladı, qalada mádeniy oraylar qáliplesti hám bul jerlerdegi ótkerilgen májilislerde XI ásirdiń eń iri ilimpazları jıynaldı. Xorezm aymağında mádeniyattıń gúlleniwinde Mamun ibn Muxammedtiń ulı hám onıń aqlığı Áliy ibn Mamun hám Ábiw-l-Abbas Mamunlar úlken orın iyeledi.

Bul waqtları Xorezm bir jaǵınan Camarqandlı llekxanniń, ekinshi tárepten qúdireti ósip baratırǵan Maxmud ǵaznawiydiń qáwpi astında turdı. Usınıń aqıbetinde, ásirese Maxmud ǵaznawiydiń Xorezmdegi bolıp atırǵan mádeniy hám ekonomikalıq gúlleniwdi kóre almwınan 1017-jılı báhárde Hazarasp qalasındağı Mamunniń áskerleri menen til biriktirip, kóterilis shólkemlestiriw nátiyjesinde Xorezmshah óltirildi. Taxta Maxmudtíń atası Abdul-Xaris Muxammed ibn Áliy otırǵızıldı. Biraq onıń hákimlik etiwi úsh-tórt aydan aspadı, 1017-jılı jaz aylarında Xorezm ǵárezsizlikten ayrıldı hám tolıq ǵaznawiyelerdiń qol astına ötti.

Tiykarınan basqa elliń basıp alıwshılıq, talaw menen óziniń siyasatın júrgizgen hám Hindstan, Iran, Oraylıq Aziyanıń bir qansha aymaqların baǵındırǵan Maxmud ǵaznawiy 1030-jılı qaytıs boladı. Onıń ornına ákesinen tek kemshilikli táreplerin ózine miyras etip alǵan ulı Maśud taxta keledi. Basıp alıwshılıq siyasatı ǵaznawiyeler mámleketin hálsiretip, 1040-jılı Celjuqlar tárepinen qulatıladı. Usınıń sebebinen Xorezm qaytadan tolıq ǵárezsizlikke erisedi.

Minekey usınday awır, tınıshsız hám alasapıranlı tariyxıı waqıyalardıń barısında biziń ulı jerlesimiz Ál-Beruniy kámalǵa keldi hám óziniń ólmes miynetlerin dóretti.

Ábiw Payxan Muxammed ibn Axmed Beruniy (farsı tilinde arabsha أبو بريحان البيروني 973-jılı 4-sentyabr kúni Kát qalasınıń (Xorezm, Camanidler mámleketi) qasında tuwıldı. Onıń zamanlaslarınıń hám keyingi izertlewshilerdiń pikirlerlerine qaraǵanda Ál-Beruniy ismi "qala sırtınan kelgen adam" degen mánini bildiredi. Onıń genealogiyası belgisiz. Ábiw Payxan, Muxammed yamasa ákesiniń atı Axmed ayqın adam atları emes, al Ál-Beruniydiń ózi tárepinen oylap tabılǵan atlар bolsa kerek. Ol ata-anadan tolıq jetim qalǵanlıǵına qaramastan ayriqsha zeynliliǵı hám kitaplarǵa bolǵan intası arqasında tereń bilim alıwǵa erisken. Col waqtları Xorezmde bir grek ilimpazı jasaǵan. Ál-Beruniy oǵan hár qanday ósimlikler, tuqımlar, miyweler terip alıp kelip, olardıń atlarınıń grek tilinde qalay atalıwın hám jazılıwın úyrengен. Kishi jaslarında ol joqarida atı atalǵan Banıw Iraklar dinastiyasına kiriwshi bir qatar adamlardıń dıqqatın ózine qaratqan hám olardıń úylerinde tárbiyalanǵan. Colardıń ishinde astronomiya hám matematika boyınsha áhmiyetli ilimiý jumislardıń avtorı Ábiw Nasır Mánsúr ibn Irak Ál-Beruniydiń ilimpaz bolıp qáliplesiwine óziniń tikkeley tásırın tiygizdi. Ibn Irak Xorezmshahqa arnalǵan "SHah almagesti", "Azimutlar kitabı", "Matematikalıq tárbiya", "Aspanníń shar tárızlı ekenligi haqqında kitap" hám basqa da miynetlerdiń avtorı. Birinshiler qatarında ol tegis hám sferalıq úsh müyeshlikler ushın sinuslar teoremasın dálilledi. 16 jastan baslap Ál-Beruniy sol Ibn Iraktıń basshılıǵında báhárgı hám gúzgi kún teńlesiw waqtlarında Kát qalasındağı Quyashtiń biyikligin ólshegen. Bul nátiyjeler izsiz qalǵan joq, al alımnıń sońğı jazǵan kitaplarında óz ornın taptı. Al 17 jasına shıqqanda Ál-Beruniy óz betinshe izertlew jumısların basladı.

Tariyxshılar qaldırıp ketken miyraslarǵa qaraǵanda, sol dáwirlerde Kát qalasında áhmiyetli sawda jolları kesilisken, suwi tolǵan arnalardıń jaǵalarında bay hám iri bazarlar islep turǵan. Qalada hár qanday ilimiń hám mádeniy jańalıqlardı alıp keliwshi hám hámme ellerge taratiwshi sırt elli miymanlar kóp bolǵan. Mine, sonlıqtan da bunnan miń jıl burın házirgi Beruniy qalasınıń ornında turǵan Káttiń jer júzilik áhmiyetke iye siyasıy, ekonomikalıq hám mádeniy oray bolǵanlıǵı ayraqsha tilge alınadı. Tap usı jaǵdaylar keltirip shıgaratuǵın máselelerdi sheshiw zárúrlıǵı hám sol waqıtardaǵı adamlardıń bilim dárejesine bolǵan talaplar Ál-Beruniydiń ilimiń-dóretiwshilik miynetine baǵdar berdi. Alımnıń miynetleriniń nátiyjeleri eń áwelden baslap-aq adamzattıń álemdi kóriw gorizontların keńeytti hám jer júzi xalıqlarınıń iygilikleri ushın kóp ásirler dawamında xızmet etti.

Joqarıda sóz etilgendey, 995-jılı ámir Mamun ibn Muxammed tárepinen Kát basıp alınadı. Usıǵan baylanıslı taxttan túsirilgen hám qazalanǵan Xorezmshah penen tikkeley baylanıslı bolǵanlıǵı sebepli Ál-Beruniy Pey qalasına (házirgi Tegerannıń bir bólimi) qashıwǵa májbür boladı. Usı waqıyaǵa baylanıslı alım kóp jıllar ótkennen keyin bılay jazadı (bul maqalada alımnıń miynetlerinen úzindiler házirgi ádebiy tilge jaqınlastırıp awdarılǵan): "Hár qanday baxıtsızlıqlardan qáwipsizlikti hám tınıshlıqtı úmit etkenlikten alǵan nátiyjelerimdi yadlaǵanım joq. Olardı tek jazıp alıw menen sheklendim. Baxıtsızlıq kútilmegende basıma túskende jazıwlarmnıń barlıǵın hám meniń tırısıp islegen miynetlerimniń jemislerin tolıq joq etti"

Pey qalasında jas alım dáslep hár tárepleme qıyınhılıqlarǵa ushırasadı. Biraq, keyinshelik ol sol waqıtardaǵı belgili astronom, matematik hám astronomiyalıq ásbap-úskeneneler soǵıwshi, házirgi Tájikstanniń Xojent qalasınan shıqqan Ábiw Maxmud ál-Xojendiy menen tanısadı. Ol kisi haqqında Ál-Beruniy "Astrolyabiya hám basqa da astronomiyalıq ásbaplar soǵıwda óz dáwirindegi ayraqsha qubılıs" dep jazdı. Astronomiyalıq ásbaplar soǵıw boyınsa Ál-Xojendiydiń tálimatı XV ásirdegi Ulıgbek observatoriyasındaǵı sekstetti salıwda fundamentallıq tiykar boldı. Conlıqtan da Ál-Xojendiydi bolajaq ullı alımnıń tábiyattanıw ilimindegı qatań eksperimentallıq usıllandıń tiykarın salıwshılardıń biri bolıp jetilisiwine tikkeley tásırın tiygizdi dep esaplay alamız. Al Ál-Beruniydiń dóretken iliminiń ózi bolsa, eksperimentallıq jaqtan qatań tiykarlanǵanlığı menen ajıralıp turdı hám ılayıqlı bahalandı.

Aradan eki jıl ótkennen keyin ámir Mamun qaytıs boladı hám onıń ulı, jańa Xorezmshah Áliy ibn Mamunniń shaqırıwı menen Ál-Beruniy 997-jılı Kát qalasına qayıtp keledi. Tap usı waqitta onıń Buxara qalasında jasap atırǵan ózinen segiz jas kishi Ibn Cina menen xat jazısıwı arqalı Aristotel tálimatı boyınsa diskussiyası baslanadı. Bul xatlardan alımnıń filosofiya boyınsa da tereń bilimge iye, pikirleriniń keskin jáne ótkir ekenligi ayqın kórinedi. Conıń menen birge usı dáwirde Ál-Beruniydiń bizge jetip kelgen dáslepki "Cekstat", "Kartografiya" hám "Astrolyabiya" shıgarmaları dóretiledi.

Biraq, Kát qalasında ilim-izertlew islerin tereń hám keń túrde júrgiziwge imkaniyat bolmadı. Bul jerdegi ornatılǵan ilimiń ásbap-úskeneneler Ál-Beruniydi qanaatlandırmadı. Conıń aqıbetinde 999-jıldırıń basında ol óz watanın taslap Kaspiy teńiziniń qubla boylarına ketedi hám sol jerdegi Gurgan qalasında óziniń eń bas muǵallimi - astronom hám shipaker Ábiw Caxlem lysa ál-Masixiy menen ushırasadı. Usınıń menen birge Ál-Beruniy Gurgan hám Tabaristan ámiri Ziyarid Qabus ibn Ÿáshmgirdiń ǵamxorlıǵında boladı hám oǵan arnalıǵan óziniń kóp ásirler dawamında jer júzilik áhmiyetin joǵaltpaǵan "Xronologiya"

("Ótken áwladlardan qalǵan estelikler") atlı birinshi iri shıgarmasın dóretti. Bul kitaptıń jazılıwı pútkil SHıǵıs ilimi ushın úlken waqıya bolıp esaplanadı. Conlıqtan da kóphshilik tariyxshılar jer júzi iliminiń rawajlanıwındaǵı XI ásirdiń birinshi yarımin "Ál-Beruniy dawiri" dep ádıl türde ataydı.

Gurgan qalasında alım tárepinen altı jıl dawamında 15 ilimiý miynet, sonıń ishinde 2 kitap dóretildi. Bul waqıt alımnıń ilimdegi jedel túrdegi dóretiwshilik dawiriniń baslaması bolıp tabıladı.

1004-jıldırıń basında Xorezmshah Áliy ibn Mamunniń shaqırıwı menen Ál-Beruniy Gurganj qalasına jumıs islewge keledi. Al 1010-jıldan baslap taxtqa jańadan otırǵan Ábiw-I-Abbas Mamun ibn Mamunniń ilim máseleleri boyınsa bas keńesgøyı sıpatında alım mámlekетlik islerge aralasadı. Conıń menen qatar keyingi miynetlerinde óz sáwlesin tapqan astronomiyalıq, mineralogiyalıq hám matematikalıq izertlewlerin dawam etedi. Gurganjǵa Kát qalasınan matematik Ábiw Nasır Ibn Irak, Buxaradan Ibn Cina, basqa da aymaqlardan filosof Ábiw Caxl Masixiy, shıpaker Ábiw-I-Hasan Hammar hám basqa da belgili ilimpazlar kelip isley baslaydı. Nátiyjede bul aymaq Prezidentimiz I.Karimovtıń arnawlı pármanı menen 1997-jılı qayta tiklengen "Mamun akademiyası" dep atalatuǵın iri ilimiý orayǵa aylanadı. Ál-Beruniydiń "Calıstırmalı salmaqlar" ("Kólemi hám salmaǵı boyınsa metallar hám qımbat bahalı taslar arasında qatnaslar haqqında kitap") atlı miyneti jarıq kóredi. Bul ilimiý miynette Arximed tárepinen ashılgan hám onıń atı menen atalatuǵın belgili nızam tiykarında házirgi "Materialtanıw" iliminiń sol waqıtları biziń úlkemizde rawajlanıwına úlken salmaq qosılǵanlıǵıń kóremiz.

Gurganj qalasında jasaǵan dawirinde Ál-Beruniydiń qolında kóp sandaǵı jetilistirilgen ilimiý ásbap-úskeneler boldı. Ol ózindegı diametri 3 metrlik kvadrantıń járdeminde júrgizgen astronomiyalıq izertlewlerin toqtatpadı. Gidrologiyalıq hám fizikalıq izertlewler menen shuǵıllanıwdı basladı. Biraq joqarıda aytılǵanınday Xorezmdi Maxmud Óaznawiydiń basıp alıwına baylanıslı Ál-Beruniy 1017-jıldırıń jaz aylarında Gurganjdı taslap Óazna qalasına kóshıwge májbür boldı. Tutqınlar qatarında bolǵanlıǵına qaramastan, ol Óaznaǵa ózi menen tolıq ilimiý arxivin alıp ketedi hám ol jerge barıwı menen quramalı jáne qıyın jaǵdaylar orın algan bolsa da, teperishlik penen izertlew jumısların dawam etiwe kiristi.

Óz gezegidde Maxmud Óaznawiy zamanınıń aldıńǵı qatar bilimli adamlarınıń bıri edi. Ol óz átirapına belgili ilimpazlardı, shayırlardı, sayaxatshılardı jiynaǵan. Olardıń wazıypası tiykarınan Maxmud Óaznawiydiń dańqın mángilestiriwden ibarat bolǵan. Conıń sebebinen, mísali, orta ásirlerdegi belgili shayır Ferdawsiydiń "SHahnama" shıgarması dýnyaǵa keldi. Ál-Beruniydiń ózınıń jazıwı boyınsa onıń semyasındaǵı hayal-qızlar da bilimli bolǵan hám hâtte ilimiý isler menen de shuǵıllanǵan. Islam SHıǵısında birinshi ret Maxmud Óaznawiy 1018-1019 jılları mámlekетlik medrese saldırǵan hám oǵan kóplegen kitaplardı, qoljazbalardı jiynatqan. Conıń menen birge ol islam dinin endiriw sıltawı hám dinsizlerge qarsı ǵazawat bayraqı astında qońsı mámleketlerge bolǵan urısların toqtatqan joq. Biraq bul shin mánisinde basqıñshılıq urısları edi. Mísali 998-1030 jıllar aralığında Maxmud Hindstanǵa, tiykarınan onıń Penjap hám Káshmir wálayatlarına 17 ret topılıs jasadi.

Dáslepki waqıtları Óaznada Ál-Beruniye salqın qatnas jasalǵan. 1018-jılı onıń iqtıyarında hesh qanday astronomiyalıq ásbap bolmadı. Biraq, 1019-jılǵa kelip, Ál-Beruniy diametri 4.5 metrge teń joqarı dállikte ólsheytuǵın kvadrantqa iye boldı. Bunday ásbap sol

waqıtqa shekem onıń qolında bolmaǵan edi. Conıń menen birge Ál-Beruniy qosımsha ásbap-úskeneler soǵıp alıw múmkinhilige de iye boldı. Conlıqtan da, alımnıń Ǵazna qalasındaǵı ómiriniń ilimiý nátiyjeler menen tabıslı bolıwı ushın qolaylı sharayatlar jetkilikli dárejede jaratıldı dep boljap aytı alamız.

1022-1024 jıllarda Hindstanǵa bolǵan topılıslar dáwirinde Ál-Beruniy Maxmud Ǵaznawiydiń qasında boldı, al 1034-jılı óz watanına barıp qayıtw múmkinhilige eristi. Ol ómiriniń qalǵan bólimin tolıǵı menen Ǵazna qalasında ótkerdi. Alımnıń bul qaladaǵı ómirin tómendegidey úsh bólimge bóle alamız.

Dáslepki 1018-1029 jıllardı "Geodeziyalıq" dáwir dep ataymız. 1025-jılı onıń jer júzine taralǵan "Geodeziya" ("Elatlı punktler arasındaǵı qashıqlıqtı anıqlaw ushın orınlardıń shegaraların belgilew") atlı miyneti jarıqqa shıǵıp, onda 990-jıllardan baslap jıynaǵan hám ózi tárepinen alıngan ilimiý nátiyjelerdi ulıwmalastırıradı. Ál-Beruniy bul miyneti haqqında bılay jazadı : "Meniń sózimde (miynetimde) aytıwǵa umtilip atırǵan aqırğı maqsetim... belgili bolǵay. Egerde onı ulıwma túrde alsaq Jerdiń qálegen ornınıń koordinataların shıǵıs hám batıs arasındaǵı uzınlıq, arqa menen qubla arasındaǵı keńlik boyınsha, sonıń menen birge orınlar arasındaǵı qashıqlıqtı, azımutlardı bir birine salıstırıp anıqlaw usılların bayanlaw bolıp tabıladı".

"Geodeziya" miyneti úlken kirisiw bóliminen, bes teoriyalıq baptan hám ayqın geodeziyalıq máselelerdi sheshiwigə qaratılǵan misallardan turadı. Bul kitaptıń dórewinde Ál-Beruniydiń Jer sharınıń ólshemlerin anıqlaw boyınsha Hindstandaǵı Nandna qorǵanınıń qasında ótkergen esaplawlari ayrıqsha áhmiyetke iye. Onıń alǵan nátiyjeleri boyınsha Jer sharınıń radiusı 6613 km ge teń (házirgi zamandaǵı qabil etilgen mánisi 6371 km). Usı tiykarda Ál-Beruniy hár qanday qalalardıń yamasa berilgen orınlardıń astronomiyalıq usıllar menen anıqlanǵan keńlik hám uzınlıqları boyınsha sferalıq Jer betiniń qaysı noqatına sáykes keletüǵınlıǵıń anıq aytı alıdı. Biziń ullı jerlesimiz áyyemgi grek iliminde dástürge aylanǵan adamlar tek ǵana Jer şarı betiniń bir shereginde jasayıdı degen kóz-qarası menen pútktiley kelispedi. Evropanıń batısı menen Aziyanıń shıǵısınıń Jer sharınıń arǵı tárepi arqalı qanday qashıqlıqlardan keyin tutasatuǵınlıǵıń bahalay alıdı hám ol tárepte qurǵaqshılıqtıń bar ekenligin durıs boljadı. Álbette, bul boljaw keyinirek durıs bolıp shıqqan bolsa da Ál-Beruniydi Amerikanı birinshi bolıp ashti dep pikir aytıw haqıyqatlıqqa sáykes kelmeydi.

Ál-Beruniydiń "Geodeziya" sında Afrika materiginiń formaları, Baltıq, Aq teńiz, Qıtaydiń shıǵıs tárepleri haqqında jeke boljawların sıpatlaydı hám óziniń teńizler teoriyasın bayanlaydı. Bul miynette Ámiwdáryaniń Kaspiy teńizine quyǵanlıǵı haqqında maǵlıwmatlar keltirilgen. Conday-aq kitapta Ál-Beruniydiń 990-jılları Jerdiń yarımkınar túrindegi modelin (yarım globustı) dóretkenligin jazadı. Colay etip ullı alımmızdıń dúnyada birinshi bolıp globustı soqqanlıǵı haqqında maǵlıwmatqa iye bolamız.

Orta ásırlerdegi pútktıl arab geografiyası boyınsha ádebiyatta Ál-Beruniydiń "Geodeziya" hám basqa da miynetlerinde bayanlangan geografiya salmaqlı orın tutadı.

Ǵazna qalasında alımmız tárepinen 1030-jılı jarıqqa shıǵarılǵan hám Jer júzi ilimi menen pútktıl adamzat mádeniyatında kórnekli orın tutatuǵıń miynet "Hindstan" (tolıq atı "Aqılǵa muwapiq keletuǵıń yamasa biykarlanatuǵıń hindlerge tiyisli tálimatlardı túsındırıw") dep ataladı. Bul kitaptı jazıw ushın materiallardı alım Hindstanǵa bolǵan saparında, sonday-aq Maxmud Ǵaznawiydiń áskeŕlerine tutqıńga túsken ilimpazlardan, áskeŕbasılardan hám basqa da sawatlı adamlardan jıynaǵan. Bul haqqında Ál-Beruniy

"Men mûmkînshiligine qaray ózimniń barlıq kúshimdi hind kitapların tabıwǵa hám sol kitaplar jasırılǵan orınlardı biletuǵın adamlardı izlewge jumsadım" dep jazadı.

Hind ilimi menen mádeniyati jer júzi ilimi menen mádeniyatınıń rawajlanıwına áyyem zamanlardan berli óziniń unamlı tásirin tiygizip keldi. Colardıń ishinde, misali, házirgi waqtıları pútkil jer júzinde qabil etilgen arab cifrları dep atalatuǵın cifrlar (toǵız cifrǵá hám nolge tiykarlańǵan onlıq sistema) shın mánisinde VII ásirlerde tolıq qáliplesken, sońınan deslep arablarǵa, keyinshelik evropalılarǵa taralǵan hind cifrları bolıp tabıladı.

Ál-Beruniydiń "Hindstan" miynetinde Hindstannıń ruwhıy mádeniyatınıń ózgesheliklerin bayanlaw tiykarǵı orındı iyeleydi. Bul jerde avtordıń hindlerdiń geografiyalıq hám kosmologiyalıq kóz-qarasları menen tolıq tanıs ekenligi qálegen oqıwshını tańlandıradı. Kitaptıń 80 babınıń hámmeśinde de Ál-Beruniy óziniń ulıwma eskertiwlerinen keyin kóp sandaǵı hind avtorlarınıń jumıslarınan úzindiler keltirip, olardı musılmankardıń, áyyemgi greklerdiń, iranlılıardıń, qıtaylılıardıń hám basqa da xalıqlardıń teoriyaları hám óziniń jeke pikirleri menen salıstırıdı. Usınday jollar menen ilimdi túśindiriwdıń, basqa xalıqlarǵa jetkiziwdıń áhmiyetin hesh nárse menen salıstırıp bolmaydı.

Ál-Beruniy "Hindstan" kitabı menen bir qatarda 1029-jılı "Juldızlar haqqında ilim" degen miynetin de jazıp pitkerdi. Bul kitap astronomiya menen astrologiyani úyreniwshiler ushın oqıw quralı bolıp tabıladı hám col waqtıları áhmiyetli bolǵan 530 sorawǵa juwaptı óz ishine qamtıydı. Eń qızıǵı sonnan ibarat, avtor bul miynetin óziniń ana tili bolǵan xorezm tilinde emes, al arab hám parsı tillerinde jazǵan hám olar biziń dágwirimizge shekem tolıǵı menen kelip jetken. Ál-Beruniy usı kitaptıń kirisiw bóliminde "Ál-Beruniy aytı: oqıw hám qaytalaw arqalı álemeńiń dúzilisin biliw hám aspanniń, Jerdiń figurası qanday, olar arasında ne bar ekenligi úyreniw juldız sanaw óneri ushın júdá paydalı. Óytkeni usınday jollar menen tálım algan adam ǵana bul óner menen shuǵıllanıwshıllardıń paydalananatuǵın tilin úyrenedi hám sózleriniń mánisine túśinedi. Bul ónerdiń hár qanday sebeplerin hám dállilewlerin úyrenip oğan erkin oy juwirtıw arqalı qatnas jasaydı. Conlıqtan bul kitaptı ál-Hasanniń qızı xorezmli Payxanǵa onıń ótinishi boyınsha túśiniw jeńil bolıwı ushın soraw-juwap túrinde dúzdim..." dep jazǵan.

Oqılıwi jeńil bul kitapta alımnıń danışpanlığı ayrıqsha dárejede kórinedi. Kitap "Geometriya", "Arifmetika", "Astronomiya", "Geografiya", "Astrologiyalıq astronomiya", "Astrologiya" hám basqa da bólimlerden turadı jáne óziniń kórsetpeliligi menen hár bir oqıwshını tańlandıradı. Mısal retinde "Qus joli degen ne?" degen mazmundaǵı 167-sorawdı alıp qaraymız. Juwpta Qus jolınıń sırtqı formalarınıń qanday ekenligin hám qanday juldızlar toparı araqalı ótetüǵınlıǵın ayta kelip "Aristotel Qus jolın tútin túrinde shashıraǵan oǵada kóp sandaǵı juldızlardan turadı dep esapladi, olardı hawadaǵı dumanlar hám bultlar menen salıstırıdı" dep jazadı. Bul mısal danışpan alımmızdıń haqıqatlıqtı durıs kóre hám bahalay alganlıǵın ayqın dálilleydi.

1030-1037 jıllar Ál-Beruniy ómiriniń dóretiwshilik dágwiriniń eń joqarǵı shınıń bolıp tabıladı. Bul dágwirde taxta Maxmudtıń ulı Masıud otırdı. Elde Ál-Beruniye degen isenim hám húrmet arttı. Oğan jemisli miynet etiwi ushın tolıq jaǵdaylar jaratıldı. Usı waqtıları ol óziniń hesh qashan áhmiyetin joǵalpaytuǵın astronomiya hám matematika boyınsha enciklopediyalıq miynet bolǵan "Masıud kanon" in jarattı. Álbette, 1030-jılı 57 jasqa shıqqan alımnıń ózi astronomiyalıq hám basqa da ólshevler menen tikkeley shuǵıllana algan joq. Ol bul dágwirde tiykarınan óziniń zamanına shekemgi ilimdi (kitapta 490 alımnıń

bul tarawdagı jumısları haqqında málimleme keltirilgen), jas waqıtlarında algan ilimiý nátiyjelerin ulıwmalastırı hám kelesi áwladlar ushın kitaplar túrinde mángi miyras bolatuğın estelikler qaldırdı.

Dúnyalıq ilimiý ádebiyatta adamzat tariyxında tábiyattanıw boyınscha shıqqan hám onıń bunnan bılay rawajlanıwına óziniń tikkeley tásırın tiygizgen eń áhmiyetli eki-úsh miynettiń birewi grek ilimpazı Klavdiy Ptolemeydiń biziń eramızdını II ásirinde jazılǵan "Almagest" kitabı bolıp esaplanadı dep aytıw qabil etilgen. Biraq, ádillik ushın "Masıud kanonı" nıń "Almagest" ten mazmununuń tereńligi, keltirilgen ilimiý nátiyjelerdiń keńligi, anıqlığı hám dálligi boyınscha anaǵurlım joqarı turatuğınlıǵın ayrıqsha atap ótemiz. Conıń sebebinen, mísali, aradan 200 jıl ótkennen keyin dúnyaǵa belgili arab geografi YAkut "Masıud kanonı" nıń jer betindegi matematika hám astronomiya boyınscha barlıq kitaplardı almastırǵanlıǵın, al avtorınıń áhmiyetiniń Ptolemeydiń jer júzi iliminde tutqan áhmiyetinen de asıp ketkenligin dálillep kórsetti.

Kitaptıń kirisiw bóliminde avtor bılay jazadı "Men barlıq waqıtta matematikanıń bir tarawı menen (astronomiya menen - B.Á.) tígız baylanısta boldım, oǵan jarmastım, oǵan ózimdi baǵışladım. Bul taraw meni dúnyaǵa keliwimnen baslap-aq úzliksiz qızıqtırdı. Conlıqtan ózimdi danalıq móri basılǵan Masıudtuń kitaplar baylıǵına xızmet etiwimdi, Masıudtuń abıraylı, biyik atı menen atalatuğın astronomiya óneri boyınscha kanondı dúziw kerek dep taptım... Bul kitap basqa jazba estelikler arasında eń kóp jasaytuğın hám eger iǵbal alıp bara qoyǵan jaǵdaylarda Jer júzindegı hámme orınlarda paydalaniwǵa jaraytuğın qollanba boladı.

... Hár kimge óz tarawı boyınscha ne islewi kerek bolsa men de sol jol menen júrdim. Ózime shekemgi ilimpazlardiń miynetlerin húrmet penen qabil ettim, qátelikleri tabılǵan jaǵdaylarda tartınbay düzettim.... Men ullı hám mártebeli Alla-taalaǵa usı niyetimniń ámelge asıwında meni qollawın hám durıs jol kórsetiwin sorap tabınaman. Hár bir insanniń tábiyatına tán bolǵan qátelikler jiberiwden saqlaǵay dep Allaǵa sıyınaman".

Kitpta tiykar etip alıńǵan kóz-qaras boyınscha "Dúnya tutası menen alganda ishki bólimi qozǵalmayıǵın shekli sfera tárizli dene... SHeńber boyınscha qozǵalatuğın dúnyanıń bólimin joqarı dúnya, al turısı sızıq boyınscha qozǵalatuğın dúnyanı tómengi dúnya dep atawǵa boladı... SHeńber boyınscha qozǵalıwshi denelerdiń jiynaǵın ulıwma túrde efir dep ataymız... Efir jeti planeta boyınscha biri birine tiyip turatuğın jeti sferaǵa bólinedi. Jeti sferanıń ústinde barlıq qozǵalmayıǵın juldızlar ornalasqan segizinshi sfera jaylasadi.

Hár bir planeta dúnyanı tártipke salıp turiwshı jaratiwshınıń qúdiretliliǵı hám danalığı menen dóretilgen hám ózleri ushın anıqlanǵan wazıypalardı orınlaw ushın dúnyada ornatılgan nızamlar boyınscha qozǵalıp júredi", - dep jazadı alımıız.

Ál-Beruniy barlıq miynetlerinde, sonıń ishinde ayrıqsha "Masıud kanonı" kitabında ózine shekem qáliplesken tómendegidey kosmologiyalıq jaǵdaylardı tolıq qabil etken aspan óziniń pishinleri boyınscha da, qozǵalısı boyınscha da sferalıq, Jer óziniń forması boyınscha sfera tárizli, Jerdiń orayı pútkıl Álemniń orayına sáykes keledi, aspan sferasınıń ólshemlerine salıstırǵanda Jerdiń ólshemleri sezilerliktey úlken emes, Jerdiń ózi hesh qanday qozǵalısqa qatnaspayıdı, aspanda batıstan shıǵısqı qaray hám shıǵıstan batısqı qaray bolǵan qozǵalıslardıń eki túri ámelge asadı.

Álbette, házirgi zaman kóz-qarasları boyınscha birazı nadurıs bolǵan bunday kosmologiyalıq jaǵdaylardıń alım tárepinen qabil etiliwi fizika ilimindegi qozǵalıs

nızamlarınıń ol dáwirde ele ashılmaganlıgınıń sebebinen bolıp tabıladı. Bul nızamlar Ál-Beruniy zamanınan altı ásirden soń belgili astronomlar N.Kopernikiń geliooraylıq sistemasi jáne I.Keplerdiń atı menen atalatuǵın planetalardıń qozǵalıs nızamları tabılğannan keyin XVII ásirde I.Nyuton tárepinen tolıq ashıldı hám pútkil tábiyattanıwdı durıs jolǵa saldı. Biraq, bunday jaǵday alımniń bunnan derlik miń jıl burın jazılǵan miynetiniń qunın, gózzallıǵın, adamlardı ózine tarta alıw qábletliligin hesh qanday tómenlete almaydi.

Ágnawiyler mámleketi qulaǵannan keyingi 1040-1048 jılları Ál-Beruniy ǵazna qalasın taslap ketken joq. Bul aqırǵı dáwir onıń dóretiwshilik energiyasınıń tómenlew, kekseliktiń baslanıw, densawlıgınıń, ásirese kózleriniń kóriwiniń páseyiw dáwiri boldı. Alım astronomiya ilimi menen shugıllanıwdı pútkilley toqtatti, al onıń ornına mineralogiya hám farmakognoziya boyınsha jumıslarǵa tiykarǵı dıqqattı qarattı. Nátiyjede Ál-Beruniy bul waqıtları adamzat tariyxınıń ólmes estelikleri bolıp qalǵan "Mineralogiya" (tolıq atı "Qımbat bahalı zatlardı tanıw ushın arnalǵan málimelemelerdiń jiynaǵı") hám "Farmakogneziya" ("Medicinalıq dárlıler haqqında kitap") miynetinlerin dóretti. Alım shapaker bolǵan joq, sonıń menen birge dárlılik qásıyetleri bolǵan ósimliklerdiń, basqa da zatlardıń adam organizmine tásiri haqqında pikirlerin jazǵan joq. Al "Farmakogneziya" bolsa Ál-Beruniy zamanına shekemgi dárlılik zatlar haqqındaǵı jer júzilik tálimatti qamtıytuǵın enciklopediyalıq miynet bolıp tabıladı.

Ál-Beruniydiń fizika ilimine qosıqan úlesi haqqında tómendegilerdi atap ótiwge boladı.

Ál-Beruniy orta ásirlerdegi mexanikaǵa ilimiń usıldı endiriwge alıp keldi. Ol gidrostatikalıq balanstıń belgili bolǵan tipin qollanıw joli menen tiǵızlıqtı anıqlawdıń eksperimentalıq usılların islep shıqtı. Onıń gidrostatikalıq tárezini paydalaniw usılı dál usıl edi hám nátiyjede ol hár qıylı zatlardıń, solardıń ishinde qımbat bahalı metallardıń, qımbat bahalı taslardıń, hátte hawaniń tiǵızlıqların ólshey aldı.

Gidrostatikalıq balanstı islep shıǵıw menen birge ál-Beruniy tiǵızlıq temasında, sonıń ishinde tiǵızlıqtıń hár qıylı tipleri hám olardı ólshew haqqında kóp jazdı. Bul másele boyınsha onıń jumısları úlken tásırın tiygizdi hám, hátte Galiley, Nyuton siyaqlı alımlar óziniń izertlewlerinde paydalandı..

Ómiriniń aqırǵı kúnlerine shekem Ál-Beruniy 140 tan aslamıraq miynet jazdı. Colardıń ishindegi 113 miynettiń dizimin 1036-jılı ózi jazıp qaldırdı hám bul dizim biziń dáwirimizge shekem jetip keldi. Házirgi áwladtıń qollarına kelip jetken miynetleriniń sanı 26 hám olar alımniń eń áhmiyetli shıǵarmaların qurayıdı. Házirgi kúnleri Ál-Beruniydiń miyrasların izlep tabıw jáne qayta tiklew jumısları jer júzi masshtabında júrgizilip atır.

Ál-Beruniy 60 jılday jemisli miynetinen keyin 1048-jılı dekabr ayında ǵazna qalasında 75 jasında Masbuditıń ulı Máwdittiń kishkene ǵana sarayında qaytıs boldı. Ómiriniń aqırında onıń biyatlıq hám awır halınan xabardar bolǵanday ya bala-shaǵası, ya aǵayintuwǵanı bolǵan joq. Alımımızdıń qádir-qımbatın bilgen az sandaǵı saray ilimpazları, basqa da aldıńǵı qatar adamlar onı eń aqırǵı jolǵa shıǵarıp saldı hám basına elespesiz maqbara ornattı. Ÿaqıttıń ótiwi menen babamızdıń qábırı umıtıldı. Tek jaqında ǵana Babur atındaǵı xalıqaralıq qor aǵzalarınıń jankúyer shólkemlestiriwshik miynetiniń nátiyjesinde Ál-Beruniydiń jatırǵan jeri anıqlandi.

Colay etip biziń atı álemge belgili alımımız aqırǵı demi jetkenshe ózin ilimge baǵıshladı. Onıń nesiybesine awır ómir tiydi. Jaslıq shaǵı kisi esiginde, ómiriniń qalǵan bóleginiń derlik

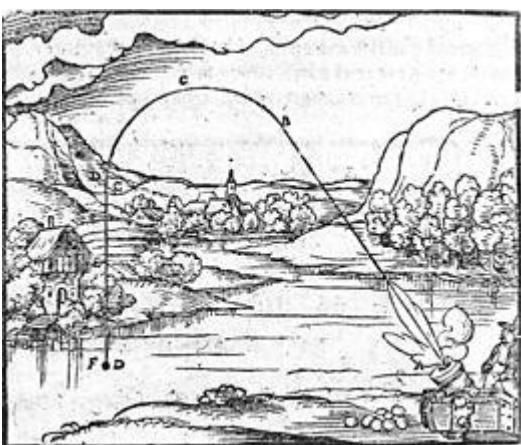
barlığı patshalar, xanlar saraylarında ótti. Conlıqtan da Ál-Beruniy babamız keyingi áwladqa óziniń kitaplarının basqa hesh nárse de qaldıra almadı.

Házirgi Beruniy qalasınıń qasındaǵı Kát qalasınıń qaldıqları turǵan jerde júrgenimizde bunnan mílaǵan jıl burın tuwılıp, dýnyaǵa keliwden ata-anadan jetim qalǵan, keyin pútkıl Jer júzine ózinen máńgi estelik qaldırǵan, hár qanday ósimliklerdiń tuqımların, miywelerin grek ilimpazı ushın jiynap júrgen jas balanıń sáwlesi kóz aldımızǵa eleslep, júrek tolǵanadı. Álbette, bul watanımızdıń qanday dárejede káramatlılıǵınıń hám ullılıǵınıń, babamız Ál-Beruniydiń sharapatlı ruwharınıń máńgi jasap atırǵanlıǵınıń ayqın belgisi. Biziń qádirli jerimizde ullı alımımızdıń máńgilik islerin dawam ettiretuǵın kóp sandaǵı áwladlardıń dýnyaǵa keletuǵınlıǵı hám ónip-ósetuǵınlıǵı sózsiz. Al házirgi waqtları jasap atırǵan watanımızdıń eń ullı alımınıń izin dawam ettiriwshi urpaqları ushın eń tiykarǵı másele "tábiyattıń qalay dúzilgenligin bilip ǵana qoymay, ne sebepten tábiyat basqasha emes, al tap biziń kórip turǵanımızday bolıp jaratılǵanlıǵın biliwge qaratılǵan, sırttan qaraǵanda ádewir turpayı jáne qıyalıı sıyaqlı hám mártrshe qoyılǵan sorawǵa juwap beriw" bolıp tabıladı. Usı maǵanadaǵı sózler XX ásırkıń eń ullı alımlarınıń biri A.Eynshteynge tiyisli.

#### 4.5.10. Orta ásirlerdegi Evropa

Xristian Evropada ilimiý izrtlewlər haqıyatında XIV ásırde baslandı. Usı dáwirlerge shekemgi jetiskenlikler sıpatında mınalardı atap ótiwge boladı: kóz áynek oylap tabıldı, raduga qubılısı durıs túsındırıldı, kompastı paydalaniw jolǵa qoyıldı. 1269-jılı francuz alımı Per de Marikur magnitlerdiń qásıyetlerin keń türde izrtlewlərdeń nátiyjelerin baspadan shıǵardı. Bul miynetinde ol magnitlengen predmetti qaytadan magnitlewge bolatuǵınlıǵın kórsetti hám magnetizmniń deregi aspandaǵı "dúnyanıń polyusleri" bolıp tabıladı dep juwmaq shıǵardı.

XI-XIV ásırlerde arab hám saqlanıp qalǵan grek tekstleriniń latın tiline awdarmaları payda boldı. Bul jumıslar orta ásirlerdegi Foma Akvinskiy sıyaqlı filosoflarǵa ádewir kúshli tásir etti. Orta ásirlerdegi sxolastlar áyyemgi filosofiyani xristian teologiyası menen sáykes keltiriw usılların izledi hám Aristoteldi áyyemgi dáwirlerdegi eń ullı oyshıl dep daǵazaladı. Bunday jaǵdaylarda Aristoteldiń fizikası shirkewdiń tálimatına qarama-qarsı kelmegen jaǵdaylarda fizikalıq túsındırıwlerdiń tiykarı etip alındı.



Orta ásirlerde pushkanıń yadrosınıń traektoriyasın tap usınday boladı dep boljadı.

Aristoteldiń tálimatına sáykes orta ásirler oyshılları denelerdi ózleriniń bolatuǵıń tábiyyiy orınlarına tartıladı dep esapladi. Mısalı, "awır" zatlar tómenge qaray, al "jeńil"

deneler joqarı qaray tartıladı. Joqarıda aytılıp ótilgenindey, qozǵalıp baratırǵan denege usı qozǵalistıń baǵıtında qanday da bir kúshler tásir etpese, ol toqtaydı. Bul model biziń eramızdıń VI ásiriniń ózinde Ioann Filopon tárepinen kúshli dállillerdiń járdeminde sínǵa alındı. Filopon Aristoteliń mexanikası durıs juwap bere almaytuǵın bir qatar máselelerdi usındı. Mısalı: qol menen joqarıǵa ılaqtırılǵan tas qoldan shıǵıp ketkennen keyin kúshtiń tásiri toqtaǵan bolsa da bir qansha waqıttıń dawamında joqarıǵa qaray qozǵalıwın dawam etedi. Nelikten? Aristoteliń pikiri boyinsha, eger ılaqtırılǵan deneniń qozǵalısın hawaniń uyıtqıwı saqlap turatuǵın bolsa, onda aylanısqa keltirilgen dóńgelektiń óziniń kósheriniń dógeregindegi aylanbalı qozǵalısın ne saqlap turadı? Bunday jaǵdayda qubılısqa hawaniń qatnasınıń joq ekenligi kórinip tur. Filopon Aristoteliń awır denelerdiń jeńil denelerge salıstırǵanda tezirek qulaytuǵınlıǵı haqqındağı pikirine de gúman menen qaradı.

Bul sorawlarǵa juwap beriw ushın orta ásirlerdegi alımlar (Filopon, keyinirek - Buridan) impetus teoriyasın islep shıqtı (kirgizilgen qozǵalıs kúshi). Bul túsinik inerciya koncepciyasına qaratılǵan qádem edi. Biraq onnan ádewir úlken ayırmaga iye boldı hám bul teoriyada ılaqtırılǵan denelerge bazı bir "miyras bolıp qalǵan" kúsh tásir ete beredi dep esaplandı.

XIV ásirde angliyalı bir topar alımlar (olardı "oksfordlı kalkulyatorlar" dep atadı) mexanikanıń sheshilmegen mashqalaların jańadan izertley basladı. Olar da Aristoteliń mexanikasın sínǵa aldı, tezlik ushın dál anıqlama berdi hám biz zamatlıq tezlik túsinigin kirgizdi, teń ólshewli tezleniwshi qozǵalistı egjey-tegjeyine deyin úyrendi. Bul jumıslardı Parijlı nuturfilosof Buridan hám onıń oqıwshıları Nikola Orem menen Albert Caksonskiyler (aylanıwdıń müyeshlik tezligi túsiniginiń avtorı) dawam etti. Buridannıń mektebi Aristoteliń ertedegi juwmaqların tek áshkaralap óana qoyǵan joq, al jańa mexanikaǵa qaray jılısti hám sonıń ishinde mexanikalıq salıstırmalıq principine jaqınlasti. Buridan bılay jazdı: impetus salmaq penen birigip deneniń túsiwin tezletedi; ol júdá abaylap jazılǵan sózler menen Jerdiń sutkalıq qozǵalısınıń bar ekenligin boljadi.

XV ásirdiń aqırında Leonardo da Vinči fundamentallıq súykelis nızamı menen kapillyarlıq qubılısin ashti. Ol bir neshe ret máńgi dvigateldi soǵıwǵa umtıldı hám bul máselede sátsızlikke ushıradı hám birinshilerden bolıp alıngan nátiyjeleri tiykarında usınday mexanizmniń bolıwınıń mümkin emes ekenligi haqqında pikirge keldi. Nemis filosofi Nikolay Kuzanskiy óz dáwirinen ozıp ketken bir qatar oylardı aytı. Ol Álemdi sheksiz, qálegen qozǵalıs salıstırmalı, jerdegi hám aspandaǵı deneler birdey materiyadan dóretilgen dep daǵazaladı.

#### **4.6. Fizikanıń tuwılıwi**

##### **4.6.1. XVI ásır: texnikalıq progress hám ilimiý revolyuciyanıń baslanıwi**

XVI ásirde kóp tarawlarda texnikalıq progress úlken tezlik penen júrdı. Kitap basatuǵın stanok, toqıw mashinası hám kóp sanlı basqa da quramalı bolǵan mexanizmler oylap tabıldı, materiallardı qayta isleytuǵın hár qıylı qurallar payda boldı; artilleriyarı soǵıwda, teńizde júziwdegi hám qurılıslardaǵı payda bolǵan zárúrlıkler fizikanıń rawajlanıwına alıp keldi. Kóp waqıtlar dawamında eksperimentlerdiń ótkeriliwine waqıttı dál ólshewdiń usılıniń joqlığı kesent berdi. Cebebi sol waqıtları bar bolǵan suw hám quyash saatları zárúrli bolǵan dállikti bere almadı (mısalı, waqitta ólshew ushın óziniń júreginiń soǵıwın paydalandy). XVI-XVII ásirlerde jańa hám jetilisken ólshew ásbapları payda bola basladı: mayatnikli mexanikalıq saatlar, termometr, barometr, dál ólsheytuǵın prujinalı táreziler

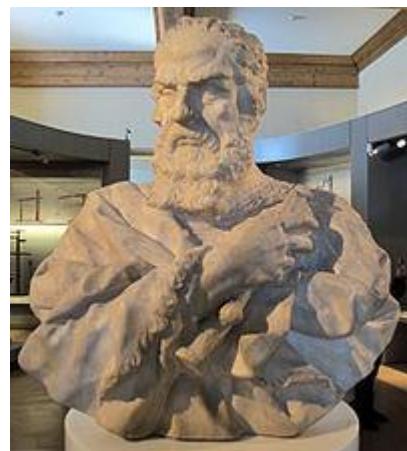
hám basqalar. Bul oylap tabıwlar fizikalıq gipotezalardıń durıs yamasa nadurıs ekenligin tekserip kóriwdiń mümkinshiliklerin ádewir keńeytti. Nátiyjede ótkerilgen haqıyqıy tájiriybelerdiń nátiyjeleriniń tábiyyiylimiý tartısıwlardaǵı eń joqarı sudyaniń xızmetin atqaratuǵınlıǵına isenim joqarılıdı. Bul haqqında Nikolay Kuzenskiy, Leonardo da Vinči, Frensis Bekon, basqa da iri alımlar menen filosoflar tabanlı türde jazdı. Áyyemgi alımlar menen islam elleriniń alımlarınıń ilimiý miyrasların ámeliy jaqtan ózlestiriw jáne bir áhmiyetli jetiskenliklerdiń biri bolıp tabıladi. Caqlanıp qalǵan barlıq kitaplar latın tiline awdarıldı hám Evropa alımları tárepinen úyrenildi.

Teoriyalıq ilimniń rawajlanıwında da úlken ózgerisler júz berdi. 1543-jılı Nikolay Kopernik sol waqtılarǵa shekem húkim etip kelgen dúnyanıń geooraylıq sistemasiń orına dúnyanıń geliooraylıq sistemasiń usındı hám usı jıldan baslap ilimiý revolyuciya baslandı dep esaplanadi. Óziniń "Aspan deneleriniń aylanıwı haqqında" dep atalatuǵın miynetinde Kopernik bir qatar jańa aristotellik emes ideyalardı keltirdi. Olardıń qatarına salıstırmalıq principin, inerciya nızamı hám pútkıl dúnyalıq tartılıs haqqındaǵı boljawlardı jatqarılwǵa boladı. Dúnyanıń onnan da batılıraq sistemasiń Djordano Bruno 1580-jılları usındı. Bul sistemada tek Jer emes, al Quyash ta qatardaǵı aspan denesi bolıp tabıladi.

Cimon Ctevin óziniń "Onıńshi" (1585), "Cstatikanıń baslaması" hám basqa kitaplarında onlıq bolsheklerdi paydalandi, Galileyden górezsiz qıya tegislikke túsıriletugın basım nızamıń, kúshler parallelogrammi qaǵıydasin keltirip shıǵardı, gidrostatika menen navigaciyanı algá jılıjitti. Qızıǵı sonnan ibarat, ol qıya tegisliktegi teń salmaqlıq formulasın máńgi dvigateldi soǵıwdıń mümkin emesliginen keltirip shıǵardı (oni aksioma dep esapladi).



Krakov qalasındaǵı Nikolay Kopernikiń byusti.



Karlo Marçelini soqqan Galileydiń byusti.  
Florenceyadaǵı Galileydiń muzeyi.

#### **4.6.2. Galiley: eksperimentallıq fizikanıń dóretiliwi**

Galileo Galileydiń atı teleskopı oylap tabıwshı sıpatında dańqqa bólendi. Teleskopıń járdeminde ol astronomiyadaǵı oǵada áhmiyetli bolǵan jańalıqlardı ashti. Biraq Galiley revolyuciyalıq túrlendiriwlerdi mehanika tarawında júzege keltirdi. Onıń derlik barlıq miynetleri mehanikanıń mashqalalarına baǵıshlanǵan, al eń sońǵı miyneti mehanikanı arnawlı türde óziniń ishine aladı. Galileydiń jumisları aristotellik mehanikanı jańa, haqıyqıy principler menen almastırıwda sheshiwshi orındı iyeleydi.

Galiley teoriyalıq mexanikanıń tiykari bolǵan salıstırmalıq principin, inerciya nızamın, erkin túsiwdiń kvadratlıq-tezleniwshi nızamın ashti. Ol gorizontqa mýyesh jasap ılaqtırılǵan qálegen deneniń parabola boyınsha ushatuǵınlıǵın dálilledi. Ol birinshi termometrди (shkalası joq) hám eń birinshi mikroskoplardıń birin oylap taptı, mayatniktiń terbelisiniń izoxronlıǵın ashti, hawanıń tıǵızlıǵın bahaladı. Galileydiń tallawlarınıń biri virtuallıq orın almastırıwlar principin tolıq emes keltirip shıǵarıw bolıp tabıladı. Óziniń juwmaqlarınıń kóphshiligin Galiley muqiyatlı türde jobalastırılǵan eksperimentlerdiń járdeminde isledi. Onıń tardıń terbelisleri boyınsha ótkergen tájiriybesi 1588-jılı Mersenne akustikanı bayıtıwǵa mümkinshilik berdi. Ol shıǵıp turǵan tondı tek tardıń uzınlığı menen emes (pifagorshılar sıyaqlı), al onıń terbelisleriniń jiyiliği hám keriliwi menen baylanıstırdı. Usınıń menen birge Mersenn hawadaǵı sestiń tezligin birinshi bolıp bahaladı (metrlık sistemada shama menen 414 m/s).

Galileydiń ilimiý ashılıwları ulıwma türde bolsa da, biraq ayqın hám isenimli türde jańa mexanikanı dóretiwge joldı ashıp berdi. Bir qatar jaǵdaylarda Galiley qátelesken bolsa da (mísali, tasıwlار menen qaytıwlardıń sebebin ol Jerdiń aylanıwi menen baylanıslı dep esapladi), sol qátelerdiń kóphshiligi onıń tekserip kóriw ushın tájiriybelerdi qoya almaǵanlıǵınıń sebebinen júzege kelgen.

Galileydiń oqıwshısı Torriyelli onıń qozǵalıs haqqındaǵı ideyaların rawajlandırdı, salmaq oraylarınıń qozǵalısınıń principin keltirip shıǵardı, gidrodinamika menen ballistikaniń bir qatar máselerelerin sheshti, solardıń ishinde Torriyellidiń fundamentallıq formulası dep atalatuǵın formulانı ashti (ıdistan sırtqa ağıp shıǵıp atırǵan suyuqlıqtıń tezligi ushın). Ol Galileydiń ideyalarına tiykarlangan artilleriyalıq kestelerdi baspadan shıǵardı. Biraq, hawanıń qarsılıǵın esapqa almawdıń sebebinen olarda jiberilgen qáteliktiń shaması paydalaniwǵa bolmaytuǵınday dárejede úlken boldı.

#### 4.6.3. XVII ásır



Johann Kepler



Xristian Gyuygens



Pene Dekart

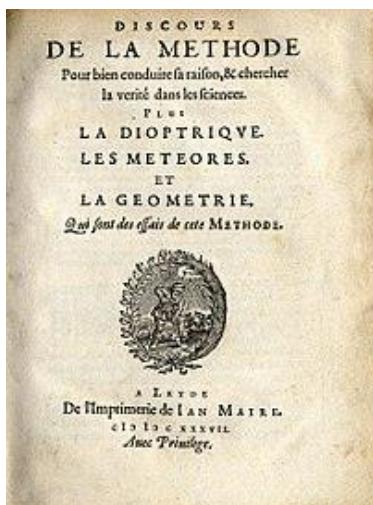


Isaak Nyuton

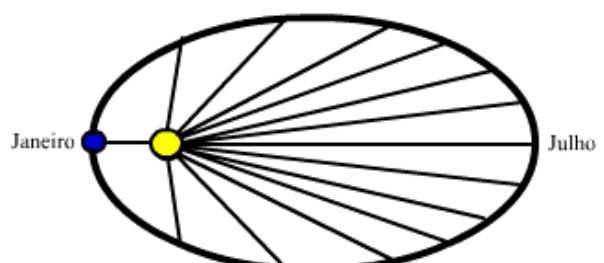
XVII ásirde Evropadağı tiykarǵı ellende fizikaǵa bolǵan qızıǵıwshılıq keskin türde ósti. Birinshi Ilimler Akademiyaları, birinshi ilimiý jurnallar payda boldı. Katolik shirkewdiń qarsılıǵına qaramastan atomizm ideyaları qaytadan tiklendi (Vatikanniń pikiri boyınsha bul ideyalar birlık qatnaslarınıń sırlına qarama-qarsı keledi). Pútkilley jańa ideyalar payda boldı hám ólshew ásbaplarınıń jetiliwi olardıń kóphsiliginıń durıs yamasa nadurıs ekenligin tekserip kóriwge múmkinshilik berdi. Optikanıń, fizikanıń hám ulıwma optikanıń tariyxında ayraqsha úlken orındı XVII ásırıń basında Gollandiyada kóriw trubasınıń oylap tabılıwı iyeleydi. Ol barlıq optikalıq izertlew qurallarınıń negizin qalawshi bolıp tabıladı.

#### 4.6.4. Kepler hám Dekart

1609-jılı logann Kepler "Jańa astronomiya" atamasındaǵı kitabıń baspadan shıǵardı. Bul kitabıńda ol ózi ashqan planetalardıń qozǵalısınıń eki nızamın bayanladı. Úshinshi nızamdı ol keyinirek shıqqan "Dúnyalıq garmoniya" (1619-jılı) kitabıńda keltirip shıǵardı. Kepler planetalardıń sheńber tárizli orbitalar boyınsha emes, al ellips tárizli orbitalar boyınsha qozǵalatuǵınlıǵıń aniqladı, bunday orbitalar boyınsha planetalar teń ólshewli qozǵalmayıdı eken, Quyashtan alıslaǵan sayın planetanıń tezligi kishireyedi. Usınıń menen birge Kepler inerciya nızamın (Galileyge salıstırǵanda ádewir anıq türde) keltirip shıǵardı: sırttan hesh qanday kúshler tásır etpeytugın qálegen dene tınıshlıqta turadı yamasa tuwrı sızıqlı teń ólshewli qozǵaladı. Biraq tómenirek aniqliqta ulıwmalıq tartılıs nızamı keltirip shıǵarılgan: planetalarǵa tásır etetuǵın kúsh Quyashtan shıǵadı hám onıń shaması onnan alıslaǵan sayın kemeyedi, usı jaǵday basqa barlıq aspan deneleri ushın da durıs. Kepleriń pikiri boyınsha bul kúshtiń deregi Quyashtiń hám planetalardıń ózleriniń kósheriniń dógeregindegi aylanıwları menen magnetizmniń qosındısı bolıp tabıladı. Usı aytılǵanlar menen bir qatarda Kepler optikanı, sonıń ishinde fiziologyalıq optikanı ádewir alǵa rawajlandırdı, xrustalliktiń tutqan ornın aniqladı, alıstan kórgishlik penen jaqınnan kórgishliktiń sebeplerin táriyiplegen. Ol linzalardıń teoriyasın biraz jetilstirdi, linzaniń fokusu menen optikalıq kósheri túsiniklerin kirgizdi, ol linzadan objeektke shekemgi qashıqlıq penen linzaniń fokus aralıǵın jáne linzadan objeektke shekemgi qashıqlıqtı baylanıstıratuǵın juwıq formulani taptı.



Dekarttiń "Usıl haqqında oylar" kitabıń bas beti



Planetanıń Kepler boyınsha qozǵalıwi

1637-jılı Pene Dekarttın "Geometriya", "Dioptrika", "Meteorlar" tirkemelerine iye "Usıl haqqında oylar" kitabı jarıq kórdi. Dekart keńislikti materiallıq, al qozǵalıstıń sebebin materiyaniń boslıqtı toltrıp turıw ushın yamasa denelerdiń aylanıwlarınıń sebebinen payda bolatuǵın quynıları bolıp tabıldadı dep esaplادı (boslıqtıń orın alıwın múmkin emes dep esaplادı, sebebi atomlardı ol moyınlamadı). "Dioptrikada" Dekart birinshi ret (Cnelliustan górezsiz) jaqtılıqtıń sıniw nızamın berdi. Ol analitikalıq geometriyani dóretti hám házirgi zaman matematikalıq simvolikanı kírgizdi. Dekart jerlik hám aspanlıq fizikanıń birligin daǵazaladı: "Álemdi quraytuǵın barlıq deneler bir materiyadan ibarat, ol sheksiz bólinedi hám haqıyatında kóp sanlı bólimlerge bólingen".

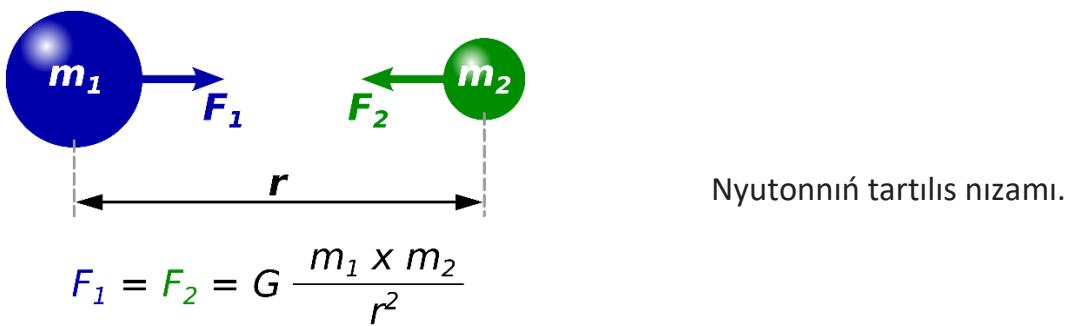
1644-jılı Pene Dekarttın "Filosofiyaniń baslamaları" atamasındağı kitabı jarıq kórdi. Bul kitapta materiyaniń halınıń ózgerisi tek basqa materiyaniń tásiri menen boladı. Bul ayqın túrdegi materiallıq alıp beriwshi bolmaǵan jaǵdaylardaǵı alıstan tásir etiwdi dárhál biykarlaydı. Kitapta inerciya nızamı menen qozǵalıs muǵdarınıń saqlanıw nızamı keltirilgen. Qozǵalıs muǵdarın "zattıń muǵdari" menen onıń tezligine proporsional dep durıs anıqlaǵan. Biraq, ol óziniń tallawlarında onıń vektorlıq baǵıtqa iye ekenligin esapqa almadi.

Dekart planetalardıń qozǵalısınıń tezleniwhı qozǵalıs ekenligin jaqsı túnsindi. Keplerden keyin Dekart bılay dep esaplادı: planetalar Quyashtiń tartıwi bar bolatuǵınday bolıp qozǵaladı. Tartılıstı túnsindiriw ushın ol Álemdi mehanizmin konstrukciyaladı. Bul mehanizm boyınsha barlıq deneler barlıq orınlarda bar bolǵan, biraq kórinbeytuǵın "juqa materiyaniń" tásirinde qozǵalısqa keledi. Boslıqtıń bolmaǵanlıǵı sebepli tuwrı sıziq boylap qozǵala almaytuǵın bul ortaǵıqtıń móldır aǵısları keńislikte úlken hám kishi bolǵan quynıldıń sistemaların payda etedi. Quynılar ádettegi zatlardıń kózge kórinetuǵın bólekshelerin ózi menen birge alıp júrip, aspan deneleriniń cikllıq qozǵalısların payda etedi, nátiyjede olardı aylandıradı hám orbitalar boyınsha qozǵalısqa keltiredi. Kishi quynınnıń ishinde Jer de jaylasqan. SHeńber tárizli aylanıs móldır quynıda sırtqa shıǵarıwǵa tırısadı, bunday jaǵdayda quynınnıń bóleksheleri kózge kórinetuǵın denelerdi Jerge qaray qıсадı. Dekart boyınsha bul tartılıs bolıp tabıldadı.

Dekarttın fizikası tábiyat qubılıslarınıń barlıq tiplerin mehanikalıq qozǵalıs túrinde birden-bir sistemada táriyiplewge, Álemdi birden-bir mehanizm sıpatında kórsetiwge baǵdarlangan birinshi tırısıw bolıp tabıldadı. Bul sistemadaǵı kóp jaǵdaylar (mísali, jaqınnan tásir etiw principi) házirgi kúnlerde de aktuallıq áhmiyetke iye. Biraq, Dekart metodologiyalıq qátelik te jiberdi: ol qubılıstı izertlewlerdiń barısında birinshi gezekte onıń "bas sebeplerin" anıqlawdı, al onnan keyin matematikalıq modeldi quriwdı talap etti. Bul artqa qaray qoyılǵan adım edi, usınday jaqınlasiwdıń saldarınan Dekarttın hám onıń izin dawam ettiriwshilerdiń ("kartezianshıldarıń") jumıslarında Aristoteldegige salıstırǵandaǵı qáteler menen oyda tabılǵan fantaziyalardıń sanı kem emes. Galiley menen Nyuton bolsa keri baǵitta háreket etti: baqlawlardıń tiykarında dáslep matematikalıq modeldi dúzdi, al onnan keyin óana (eğer maǵlıwmatlar jetkilikli bolsa) "eń birinshi sebepler" haqqında boljawlardı usıngan ("dáslep tallaw, onnan keyin sintez"). Bunday jaqınlasiw ádewir jemisli bolıp shıqtı. Mísali, Nyuton tárepinen tartısıwdıń matematikalıq modeli dúzilgennen baslap Eynshteyn tárepinen tartısıwdıń fizikalıq mánisi tabılaman degenshe eki júz jıldan kóbirek waqıt ótti.

#### 4.6.5. Klassikalıq mexanikanıń dóretiliwi: Gyuygens penen Nyuton

1673-jılı Xristian Gyuygenstiń "Mayatnikli saat" degen kitabı jarıq kórdi. Bul miynette Gyuygens sózler menen bir neshe áhmiyetli formulalardı keltirgen: mayatniktiń terbelisleriniń dáwiri hám orayǵa umtılıwshi tezleniw ushin; anıq emes túrde hátte inerciya momenti paydalanıladı. Gyuygens salmaq kúshiniń tezleniwiniń shamasın ádewir dál ólshedı hám bul tezleniwdiń baqlawshınıń túslık tárepke qaray jılıwınıń saldarınan nelikten kemeyetuǵınlıǵıń túsindirdi (bul jaǵdayda Jan Pishe 1676-jılı tapqan edi). 1669-jılı jarıq kórgen basqa jumısında Gyuygens birinshi bolıp dara jaǵday ushin soqlıǵısıwdagı energiyanıń saqlanıw nızamın keltirip shıǵardı: "Deneler soqlıǵısqanda olardıń shamalarınıń [salmaqlarınıń] tezlikleriniń kvadratlarına kóbeymesi soqlıǵıswandan burın da, soqlıǵıswandan keyin de birdey bolıp ózgerissiz qaladı ". Kinetikalıq energiyanıń ulıwmalıq saqlanıw nızamın (oni sol waqtıları "tiri kúsh" dep atadı) Leybnic 1686-jılı baspadan shıǵardı.



Klassikalıq mexanikanıń dóretiliwindegi eń aqırğı qádem Isaak Nyutonnıń 1687-jılı jarıq kórgen "Natural filosofiyaniń matematikalıq baslamalari" atlı kitabı bolıp tabıladı. Bul kitapta massa túsinigi kirgizilgen, mexanikanıń úsh nızamı menen pútkıl dúnyalıq tartılıs nızamı bayanlangan, olardıń tiykarında kóp sanlı ámeliy máseleler sheshilgen. Mısalı, Nyuton Keplerdiń nızamlarınıń úshewiniń de tartılıs nızamınan kelip shıǵatuǵınlıǵı qatań túrde dálilledi; ol planetalardıń qozǵalısınıń efirdiń quyınları tárepinen júzege keltiriletuǵınlıǵı haqqındaǵı Dekarttiń modeliniń Keplerdiń úshinshi nızamı menen sáykes kelmeytuǵınlıǵıń hám bul modeldi kometalardıń qozǵalısları ushin qollanıwǵa bolmaytuǵınlıǵıń kórsetti. Nyuton tárepinen dóretilgen dinamika ilimi ortalıqtıń qásiyetleri menen baslangısh shártler orınlangan jaǵdaylarda qálegen deneniń qozǵalısın principiallıq jaqtan anıqlawǵa múmkinshilik berdi. Bunday jaǵdayda payda bolatuǵın teńlemelerdi sheshiw ushin matematikalıq fizika úlken pátler menen rawajlana basladı.

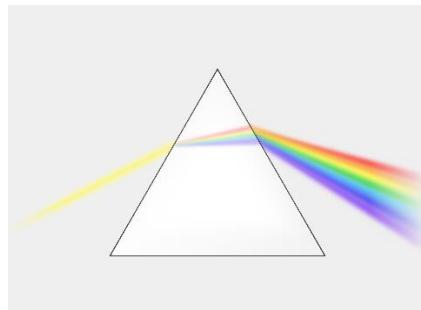
Óziniń oylarin onıń juwmaqların isenimli túrde tastıyıqlaytuǵın tájiriybeler menen baqlawlardı táriyiplew menen birge alıp júredi. Mexanika menen bir qatarda Nyuton optikanıń aspan mexanikasınıń, gidrodinamikanıń tiykarın qaladı, matematikalıq analizdi ashti hám ádewir algá qaray rawajlandırdı. Nyuton tárepinen bayanlangan nızamlar ulıwmalıq xarakterge iye, sonlıqtan fizikanı "jerlik" hám "aspanlıq" dep bóliw ushin tiykarlar joǵaldı, al Kopernik-Keplerdiń sisteması bekkem dinamikalıq tiykarǵa iye boldı. Bul tabıslar fiziklerdiń arasında tarqalǵan "álemdegi barlıq processler aqırğı esapta mexanikalıq xarakterge iye boladı" degen pikirdi tastıyıqladı.

Nyutonnıń fizikalıq koncepciyaları Dekarttiń koncepciyaları menen keskin túrde qarama-qarsı. Nyuton atomlardıń bar ekenligine isendi, "eń birinshi sebeplerdi izlewdi"

ashıw ushın eksperiment penen matematikalıq modeller talap etiletuǵın ekinshi dárejeli usıl dep esapladi. Usınday sebeplerge baylanıslı Nyutonnıń tartılıs nızamı (bul nızamda tartılıstıń orın alıwı ushın tásirdi alıp júriwshi materiallıq ortalıqtıń bolıwı talap etilmeydi hám bul nızamdı mexanikalıq kóz-qaraslar menen túsindiriwdiń múmkinshiligi joq) kóp waqtılar dawamında kontinentallıq Evropa elleriniń alımları tárepinen biykarlandı (ayrıqsha kartezianshilar tárepinen). Alistan tásır etetuǵın tartılıstı Gyuygens, Eyler sıyaqlı iri alımlar da biykarladı. Tek XVIII ásirdiń ekinshi yarımda óana Kleroniń Ay menen Galley kometasınıń qozǵalıslarınıń teoriyası dóretilgennen keyin kritika toqtadı. Metafizikalıq fantaziyalar ayırm orınlarda ushırasqan bolsa da, Galiley-Nyuton usılı XVIII ásirden baslap fizikadaǵı tiykarǵı usıl bolıp qaldı: tájiriybelerdi ótkeriw, olardıń nátiyjeleri boyınsha obъektivlik fizikalıq túsinklerdi (Nyuton aytqan "tábiyattıń kúshlerin") anıqlaw, bul túsinklerdiń arasındaǵı óz-ara baylanısları matematikalıq táriyiplew (kópshilik jaǵdaylarda differenciallıq teńlemeler formasında), alıngan modeldi teoriyalıq jaqtan tallaw hám tájiriybelerde tekserip kóriw.

#### 4.6.6. Optika: jańa effektler

Aq jaqtılıqtı hár qıylı reńli jaqtılıqlarǵa  
jayıw boyınsha Nyutonnıń tájiriybesi.



Áyyemgi optika ilimi oblastında XVII ásirde bir qatar fundamentallıq ilimiň ashılıwlar orın aldı. 1621-jılı Cnellius tárepinen jaqtılıqtıń sıniw nızamı ashıldı, al Ferma bolsa geometriyalıq optika ushın tiykarǵı princip bolǵan variaciyalıq principti ashti. 1676-jılı Ole Pémer jaqtılıqtıń tezliginiń shaması ushın birinshi bahanı aldı. Italiyalı fizik Grimaldi jaqtılıqtıń interferenciyası menen difrakciyası qubılışların taptı (onıń jumısları ol qaytis bolǵannan keyin 1665-jılı jarıq kórdi), 1668-jılı qos nur sindırıw, al 1678-jılı bolsa jaqtılıqtıń polyarizaciyası (Gyuygens) qubılışları ashıldı.

Jaqtılıqtıń korpuskulalıq hám tolqınlıq tábiyatı haqqındaǵı dawlar dawam etti. Gyuygens óziniń "Jaqtılıq haqqındaǵı traktat" miynetinde jaqtılıq tolqınınnıń birinshi sanlıq hám belgili bolǵan dárejede matematikalıq modelin döretti. Bul model jetilisken model emes edi, sebebi difrakciyanı da, interferenciyanı da, jaqtılıqtıń tuwrı sızıqlı tarqalıwın da túsindire almadı. Gyuygenstiń en baslı jetiskenligi tolqınlıq optikanıń tiykarında turatuǵın "Gyuygens principi" bolıp tabıldır. Bul princip tolqınnıń tarqalıwın kórgizbeli túrde túsindire aladı.

Optika menen astronomiyanıń rawajlanıwındaǵı áhmiyetli waqıya Nyuton tárepinen oyis sferalıq aynaǵa iye birinshi aynalı teleskopıń (reflektordıń) dóretiliwi bolıp tabıladı: bul teleskopıń linzalıq teleskoplardan ayırması xromatlıq aberraciyanıń bolmawında. Conıń menen birge Nyuton tájiriybelerde jaqsı tekserip kórilgen reńler teoriyasın baspadan shıǵardı hám Quyashtan shıqqan aq jaqtılıqtıń hár qıylı reńlerge iye

qurawshılardıń qosındısınan turatuǵınlıǵıń dálitledi. Jaqtılıqtıń qásiyetleri haqqındaǵı köz-qarasların (oniń tábiyatı máselesine ayriqsha dıqqat awdarmay) Nyuton 1704-jılı jarıq kórgen óziniń "Optika" atamalı kapitallıq monografiyasında bayanladı hám usınıń menen birge oniń avtorı bul ilimniń rawajlanıwin júzlegen jılǵa alǵa jılıstırıldı.

#### 4.6.7. Elektr hám magnetizm - birinshi izertlewler

XVI ásirdiń basında elektr hám magnetizm boyınsha bilimlerdiń tiykari mınalardan ibarat edi: súykelistiń nátiyjesinde elektrleniw, magnittiń temirdi tartıw qásiyeti, kompastıń magnitlengen strelkasınıń arqa-túslik baǵıtın kórsetetuǵınlıǵı. SHama menen XV ásirde (onnan burınraq bolıwı da múnkin) Evropalı teńizde júziwshiler kompastıń strelkasınıń dál arqaǵa qarap baǵıtlanbaǵanın, al oǵan bazı bir móyesh penen baǵıtlanatuǵınlıǵı anıqladı (oni "magnitlik eńkeyiw" dep ataydı). Xristofor Kolumb magnitlik eńkeyiwdiń shamasınıń geografiyalıq koordinatalardan górezli ekenligin taptı, al kartograflar bul effekttiń sebebiniń Jerdiń geografiyalıq polyusları menen sáykes kelmeytuǵın magnit polyuslarınıń bar ekenligin kórsetti. Bazı bir waqıtlar dawamında bul effektti ashıq teńizdegi uzınlıqtı anıqlaw ushın paydalaniw máselesin sheshiwge tırısti. Biraq bul máselede hesh kim tabısqı erise almadı. 1558-jılı italiyalı alximik Djambattista della Porta óziniń "Natural magiya" kitabında magnittiń bir neshe jańa qásiyetlerin atap ótti: magnit tásirlesiwi jetkilikli dárejedegi qalınlıqqı iye temir plastinka arqalı óte almaydı, al magnitti bazı bir joqarı temperaturaǵa shekem qızdırğında oniń magnitlik qásiyetleri joǵaladı hám salqınlatqanda qaytadan tiklenbeydi eken.



Elektrostatikalıq mashina  
(1750-jılǵa gravyura)

1600-jılı angliya korolevasınıń shipakeri Uilyam Gilbert elektrlik hám magnitlik qubılıslardı izertlew boyınsha óziniń 17 jıl dawamında orınlagań jumıslarınıń nátiyjelerin

basپadan shıǵardı. Ol Jerdiń magnit ekenligin tastıyıqladı. Gilbert magnitti qálegen túrde keskende alıńǵan fragmentlerde barlıq waqıtta eki polyustní bolatuǵınlıǵın demonstraciyaladı. Elektrlik qubılısları úyrengende Gilbert elektroskopı oylap taptı, onıń járdeminde barlıq zatlardı elektriklerge (házirgi waqıtları dielektrikler dep ataydı) hám "elektrik emeslerge" (mısali, zaryadları eksperimentatordıń qolı arqalı jerge ótip ketetuǵın ótkizkishler) bóldı. U.Gilbert "elektr" ("elektrıchestvo") terminin oylap taptı.

1672-jılı Otto fon Gerike 1672-jılı ózi ótkergen eksperimentlerdiń nátiyjelerin basپadan shıǵardı. Ol jetkilikli dárejede quwatlı bolǵan elektrostatikalıq mashinanı oylap taptı (qısıp uslap turatuǵın qol tárepinen elektrlenetuǵın kúkirtten soǵılǵan aylanatuǵın shar) hám elektrleniwdi zaryadlanǵan deneden úlken emes qashıqlıqta turǵan denelerge kontaktsız alıp beriletuǵınlıǵın birinshi bolıp atap kórsetti (yamasa birinshi dene menen kenep jip penen tutastırılgan). Gerike birinshi bolıp zaryadlanǵan denelerdiń tek bir biri menen tartılıspaytuǵınlıǵın, al bir birinen iyterilisetuǵınlıǵın da taptı.

Dekart magnetizmniń birinshi teoriyasın dóretti: magnittiń átirapında eki tipli efirlık bólekshelerdiń aǵısları qarama-qarsı baǵitta cirkulyaciyalanadı. Bul aǵıslar eki magnittiń arasındaǵı hawani qısıp shıǵaradı, usınıń saldarınan olar bir birine tartısadı; Dekart tap usıǵan uqsas túrde temirdiń magnitke tartılatuǵınlıǵın túsindirdi. Elektrostatikalıq qubılıslar ushın lenta tárizli formaǵa iye bóleksheler de juwapker. Dekarttiń modelinen jaqsıraq modeldiń bolmaǵanlıǵı sebepli, onı derlik XVIII ásirdiń aqırına shekem hesh kim biykarlangan joq.

#### **4.6.8. Gazler teoriyasınıń tuwılıwı hám basqa da jetiskenlikler**

Pobert Boyl.



1647-jılı Blez Paskal birinshi barometrdi sınaqtan ótkerdi (Torričelli tárepinen oylap tabılǵan barometrdi) hám hawaniń basımı biyiklikke baylanıslı kemeyedi dep boljadı. Bul gipotezanıń durıs ekenligi kelesi jılı onıń kúyew balası Floren Pere (Florin Périer) tárepinen dálillendi. Basımnıń biyiklik penen baylanıslı ekenliginiń dál formulirovkasın Edmund Galley 1686-jılı berdi. Col waqıtları eksponenciallıq funkciyanıń bolmaǵanlıǵı sebepli, ol óarezlikti bılayınsha bayanladı: biyiklik arifmetikalıq progressiya boyınsha ózgeretuǵın jaǵdayda atmosferalıq basım geometriyalıq progressiya boyınsha kemeyedi. 1663-jılı Paskal suyuqlıq penen gazdegi basımnıń tarqalıw nızamın basپadan shıǵardı.

1669-jılı Otto fon Gerike hawa nasosın oylap taptı hám effektivli bolǵan tájiriybeler seriyasın ótkerdi ("magdeburg yarım sharları"). Usınıń nátiyjesinde ol Aristoteliń "tábiyat boslıqtan qorqadı" degen pikirin pútkilley biykarladı. Torričelli tárepinen 1644-jılı ashılgan atmosferalıq basım usı momentten baslap kórgizbeli túrde dálillendi. Gerike niń

tájiriybeleri angliyalı fizikler Robert Boyl menen Robert Guktı qızıqtırıldı hám olar Grikeniń nasosın ádewir jetilistirdi jáne onıń járdeminde kóp sanlı ilimiý ashılıwlardı júzege keltirdi (gazdiń kólemi menen basımı arasındağı baylanış, yağníy Boyl-Mariott nızamı).

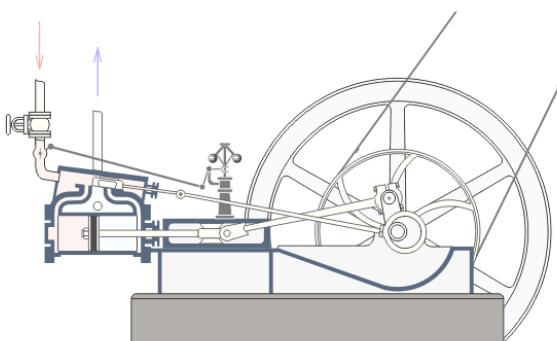
Basqa miynetlerinde Boyl materiya mayda bólekshelerden turadı dep tastıyıqladı (korpuskulalardan, házirgi waqıttaǵı terminologiya boyınsha molekulalardan). Onıń tálimatı boyınsha zatlardıń ximiyalıq qásiyetlerin sol bóleksheler anıqlaydı, al ximiyalıq reakciyalar bolsa usınday bólekshelerdiń orınlarınıń almasıwına alıp keledi. Boyl jıllılıqtıń kinetikalıq xarakterin de tiykarladı, yağníy jıllılıq penen deneniń bóleksheleriniń tártipsiz qozǵalısları arasında tereń baylanıstiń bar ekenligin boljadı: qızdırǵanda bul bólekshelerdiń tezlikleri úlkeyedi.

Boydiń "Hawaniń serpimligine tiyisli jańa fizikalıq-mexanikalıq eksperimentler" kitabı keńnen belgili boldı hám gazlerdiń qásiyetlerin izertlew jáne olardı ámelde qollanıw máseleleri menen Evropanıń eń iri fizikleri shuǵillana basladı. Deni Papen puw dvigateliniń ("Papenniń qazanı ") hám "puw arbasınıń" birinshi súwretin saldı. 1674-jılı Papen suwdıń qaynaw temperaturasınıń atmosferalıq basımnan górezli ekenligin de taptı.

XVII ásirdiń basqa eń áhmiyetli ashılıwlarınıń ishinde serpimli deneniń sozılıwın túskenn kúsh penen baylanıstıratuǵın Guk nızamın atap ótiwge boladı (1678-jıl).

#### 4.6.9. XVIII ásir

##### 4.6.9.1. XVIII ásir fizikasınıń ulywmalıq xarakteristikası



Puw mashinasınıń sxemasi.

XVIII ásirdegi eń baslı oylap tabıw puw mashinası bolıp tabıladı (1784-jıl). Bul kóp sanaat texnologiyalarınıń túrleniwlerine hám óndiristiń jańa qurallarınıń payda bolıwına alıp keldi. Metallurgiyaniń, mashina soǵıw menen áskeriy qurallar óndirisiniń tez pátler menen rawajlanıwına baylanıslı fizikaǵa bolǵan qızıǵıwshılıq ósti. Tek kóphilikke arnalǵan emes, al ilimniń belgili tarawları menen baylanıslı bolǵan ilimiý jurnallar shıgarıla baslaydı, ilimiý jurnallar menen ádebiyatlardıń túrleri menen sanı turaqlı túrde ósti. Ilimniń abıroyı kóterildi, kórnekli alımlardıń lekciyaları kóp sanlı qızıǵıwshılardı jiynadi.

Usı dáwirde fizik-eksperimentatorlar jetkilikli dálliktegi ólshew qurallarına hám jetpeytuǵın ásbap-úskenelerdi soǵıp alıw ushin arnalǵan qurallarǵa iye boldı. "Fizika" termininiń mánisi taraydı, bul ilimniń sferasınan astronomiya, geologiya, mineralogiya, texnikalıq mexanika, fiziologiya bólünip shıqtı. Boljawları tájiriybelerde tastıyıqlanbaǵan karteziانlıq óziniń tárepdarların tez joǵalttı. 1743-jılı Dalamber kartezianshılardı misqıllap, "derlik joq sekta" dep atadı. Mexanika menen jıllılıq haqqındaǵı tálimat joqarı

pátler menen rawajlandı. Ásirdiń ekinshi yarımında elektr menen magnetizmdi intensivli túrde úyreniw isleri baslandı. Dúnyanıń nyutonlıq sistemاسınıń sheklerinde jańa aspan mexanikası úlken tabıslar menen qálidesti. XVIII ásirdiń fizikası ushın tán bolǵan ózgeshelik fizikanıń, sonıń menen birge ximianıń hám astronomiyanıń barlıq bólimleriniń bir birinen górezsiz rawajlanıwı bolıp tabıldadı. Dekarttiń bilimlerdiń pútin bir sistemasiń payda etiwge tırısıwı sátsız tırısıw dep moyınlandı. Biraq tábiyyiy kúshlerdiń alıp júriwshileri sıpatında burıngısınsha dekartlıq kórinbeytuǵın, salmaǵı joq hám barlıq orınlargá sińetugıń "juqa materiyalar" dep esaplandı (teplorod, elektr hám magnit suyuqlıqları).

Dáslepki waqtları teoriyalıq hám ámeliy fizikalar ádewir dárejede bir birinen górezsiz rawajlandı. Mısalı, kóz áynekti oylap tabıwǵa teoretik-optikler qatnaspayı. XVIII ásirden baslap teoriya menen praktikanıń arasında óz-ara tásirlesiw intensivli bola basladı. Biraq, fizikanıń hár qıylı oblastlarında situaciyanıń hár qıylı bolǵanlıǵın atap ótiw kerek. Fizikanıń kóbirek rawajlanǵan bólimlerinde óz-ara tásirlesidiń ádewir sezilerliktey bolǵanı dıqqatqa ılayıq. Mısalı, termodinamika tek birinshi qádemelerin óana qoydı, al puw mashinası teoretiklerdiń járdemisiz qurıldı, al XVIII ásırdegi optikalıq ásbap soǵıwdıń rawajlanıwı teoriyanıń rawajlanıwına súyeniwdıń arqasında óana júzege keldi.

#### 4.6.9.2.Mexanika



Leonard Eyler



Jozef Lui Lagranj



Daniil Bernulli

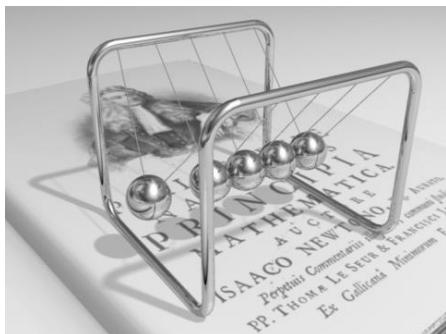


Per Lui de Mapertyui

Analitikalıq mexanikanı dóretiwdı Eyler 1736-jılı basladı. Keyinirek 1760-jılı ol tek materiallıq noqattıń qozǵalısın óana emes, al iqtıyarlı qattı deneniń qozǵalısın izertledi. D'Alamber "Dinamika" (1742-jılı) hám Lagranj "Analitikalıq mexanika" (1788-jılı) kitabında statika menen dinamikanı bir tutas tásıl menen biriktirdi ("D'Alamber principiniń" tiykarında) hám teoriyalıq mexanikanı matematikalıq tallawdıń bir bólimine aylanıwın juwmaqladı. Teoriyalıq mexanikanıń bunnan keyingi rawajlanıwı tiykarınan matematikanıń arnası menen júrdı.

Qozǵalistıń barısında qanday shamanıń saqlanatuǵınlıǵı ( $mv$  impuls pe yamasa "tiri kúsh"  $mv^2$  pa) XVIII ásirdiń ortasına shekem de Meran menen d'Alamber tárepinen mexatikalıq soqlıǵısıwlar ushın impulstıń saqlanıw nızamı menen energiyanıń saqlanıw nızamı tiykarlanaman degenshe qızǵın dawlardı payda etti. 1746-jılı Eyler menen Daniil Bernulli bir birinen górezsiz mexanikanıń jańa fundamentallıq nızamı bolǵan impuls momentiniń saqlanıw nızamın taptı. Mopertyui hám Eyler ilimde paydalaniw ushın

háreket túsinigin hám usı túsinikke tiykarlanǵan oǵada jemisli bolǵan variaciyalıq principti kírgizdi. XIX ásirdiń aqırınan baslap variaciyalıq eń kishi háreket principiniń tek mexanikalıq princip emes, al onıń fundamentallıq xarakterge iye ekenligi hám barlıq fizikaǵa kiretuǵınlıǵı ayqın boldı.



"Nyuton besigi" - impulstiń saqlanıw  
nızamınıń kórgizbeli türde  
illyustraciyalanıwi.

Dekarttan keyin tábiyattaǵı barlıq nızamlardı mexanikalıq nızamlarǵa alıp keliwe Adriatika teńiziniń boyındaǵı Dubrovnik qalasında jasaǵan alım Pudjer Boshkovıč shuǵıllandı. Ol ideyaların óziniń 1759-jılı jarıq kórgen "Tábiyatta bar bolǵan kúshlerdiń birden bir nızamına alıp kelingen natural filosofiya teoriyası" kitabında bayanladı. Onıń tálimatı boyınsha materiyanıń eń birinshi elementleri xızmetin sızıqlı ólshemleri úlken bolmaǵan materiallıq noqatlar atqaradı, bir birinen qashıqlıǵına baylanıslı olar bir bıri menen tartısadı yamasa iyterisedi (jaqın qashıqlıqlarda olar barqulla iyterisedi, al alıs qashıqlıqlarda bolsa tartısadı). Usı gipotezasınıń járdeminde Boshkovıč kóp sanlı fizikalıq qubılıslardı sapalıq jaqtan túsindire aldı. Óziniń metafizikalıq bolǵanlıǵına qaramastan onıń jumısları ideyalıq jaqtan bay ekenligi menen kózge tústi hám XIX ásirde fizikanıń rawajlanıwına úlken tásirin tiygizdi (mısali, Faradeyde fizikalıq maydan koncepciyasınıń qáliplesiwinde).

Cuyıqlıqlar menen gazlerdiń dinamikasınıń dóretiliwi Daniil Bernullidiń 1738-jılı jarıq kórgen "Gidrodinamika" kitabı menen baylanıslı. Bul jumısında Bernulli mexanikalıq kóz-qaraslarda turıp suyuqlıqlar menen gazlerdiń qozǵalışlarınıń hár qıylı túrlerin izertledi, óziniń fundamentallıq nızamın berdi, birinshi bolıp mexanikalıq jumıs túsinigin kírgizdi. Bernullidiń kóplegen oyları energiyaniń saqlanıw nızamına ("tiri kúshke") barıp tireledi. Onıń jumısların Eyler dawam etti hám ol 1755-jılı suyuqlıqlardıń analitikalıq mexanikasınıń tiykarın baspadan shıǵardı. Bernullidiń jumısların dawam ettiriwshilerdiń qatarına d'Alamber menen Klero da kiredi. Eyler ağıp turǵan suw tárepinen qozǵalısqa keltiriletuǵın turbinalardıń, qarazdıń dóngelekleriniń hám basqa da mexanizmlerdeń ulıwmalıq teoriyasın islep shıqtı; bul temadaǵı áhmiyetli ámeliy bolǵan jetistiktiwdi 1759-jılı angliyalı injeneri Djon Cmiton orınladı (1759). Bul dáwirde barlıq fizikalıq processler aqırǵı esapta zatlardıń mexanikalıq qozǵalışlarınıń kóriniwi degen pikir kóbirek tastıyıqlandı.

#### **4.6.9.3. Elektr hám magnetizm**



Bendjamin Franklin



SHarl Ogyusten de Kulon



Luidji Galvani



Alessandro Volta

XVIII ásirdiń birinshi ýarımında elektrdiń birden bir deregi súykelistiń járdeminde elektrlew bolıp tabıldı. Elektrostatikaǵa birinshi aytarlıqtay úlesti elektrdiń bir deneden ekinshi deňege ótiwin izertlegen Ctiven Grey qostı. Tájiriybelerdiń seriyasın ótkerip, ol elektrostatikalıq indukciyanı<sup>4</sup> ashti hám elektr zaryadlarınıń zaryadlanǵan denelerdiń betinde jaylasatuǵınlıǵın dálilledi. 1734 francuz alımı SHarl Fransa Dyufe elektrdiń eki túriniń bar ekenligin kórsetti" teris hám oń (oniń ózi "shiyshé" hám "smola" elektri terminlerin paydalandy). Dyufe góldirmama menen shaqmaqtıń elektrlik tábiyatqa iye ekenligi, usınıń menen bir qatarda elektrdiń fizikalıq processler haqqında jasırın, biraq áhmiyetli orındı iyeleytuǵınlıǵı haqqında birinshi boljawdı aytı. Tájiriye bazasınıń jarlı bolıwına baylanıslı sol waqıtları elektrdiń mánisi boyınsha aytarlıqtay teoriyalar payda bolǵan joq.



Bendjamin Franklinniń shaqmaq penen islegen eksperimenti.

1745-jılı elektrdiń kuwatlı deregi bolǵan Leyden bankası oylap tabılǵannan keyin is ózgerdi. Bul kondensatorlardı parallel jalǵaw qısqa waqıtlıq, biraq kúshli elektr toǵın

---

<sup>4</sup> Elektrostatikalıq indukciya - deňege sırtqı elektr maydanı tásir etkende óziniń menshikli elektr maydanına bolıw qubılısı.

payda etti. Dárhál kóp ellerde elektr toğınıń qásiyetlerin úyreniw baslandı. Ádewir tereń izertlewlerdi amerikalı siyasatshı hám fizik Bendjamin Franklin orınladı. Onıń "Elektr ústinen islengen tájiriybeler hám baqlawlar" kitabı sensaciyanı payda etti hám kóp sanlı evropalıq tillerge awdarıldı. Franklin Dyufeniń shaqmaqtıń elektrlik tábiyatqa iye ekenligin isenimli túrde dálilledi hám ózi oylap tapqan shaqmaqtı alıp ketiwshiniń járdeminde onnan qalay qutılıwdı túsindirdi. Ol qısqa waqittıń ishinde bolsa da, elektrdi mexanikalıq qozǵalısqı alıp keliwdi demonstraciyalagan birinshi alım bolıp tabıladı (Leyden bankası razryadlanaman degenshe waqittıń ishinde). 1749-jılı Franklin elektr menen magnetizmniń arasında qanday da bir baylanıstiń bar ekenligin boljadı. Cebebi shaqmaqtıń magnittiń polyusların ózgertken jaǵday da registraciyalanǵan edi.

Franklin birinshi teoriyanı da usındı: onıń pikirinshe elektr júdá mayda bolǵan bólekshelerdiń suyuqlıqqı usaǵan ayraqsha substanciyası bolıp tabıladı ("flyuid"). Ol ádettegi zatqa tartıladı hám onıń ishine kire aladı, biraq onıń ózi ózinen iyteriledi. Hár qıylı materiallar óziniń ishinde hár qıylı muǵdardaǵı elektrdi jaylastıra aladı, bunday jaǵdayda olar bazı bir "elektrlik atmosfera" menen qorshalǵan boladı. Bul teoriya boyınsha oń hám teris zaryadlar elektr substanciyasınıń sáykes artıqmashlıǵı hám jetispewine baylanıslı júzege keledi. Franklinniń teoriyası elektrden ayrılgan teris zaryadlangan denelerdiń nelikten oń zaryadlangan deneler sıyaqlı iyterisetuǵınlıǵıń túsindire almadı. Conlıqtan, kóp sanlı fizikler "elektrlik suyuqlıqlardıń" eki túrli bolatuǵınlıǵı jónindegi pikirge jaqın boldı.

Alımlardıń Franklin modeli haqqındaǵı pikirleri hár qıylı edi: keskin túrdegi áshkaralaw da orın aldı, biraq, teoriyanıń tárepdarları da boldı. Olardıń qatarına kórnekli nemis fizigi Epinus kiredi. Epinus piroelektrlikti ashqanlıǵı menen belgili edi. Ol Kulonnan 20 jıl burın Kulon nızamın boljadı. Epinus Leyden bankasınıń razryadı terbelmeli xarakterge iye boladı degen boljawdı da usındı. Eyler ayraqsha elektr suyuqlıǵına isengen joq hám elektrlik qubılıslardı efirdegi siyreksiw hám qısılıwlar menen baylanıslı dep esapladi.



Parij qalasında Volta óziniń oylap tapqan jańalıǵıń Napoleonǵa demonstraciyalap atır (1800-jıl).

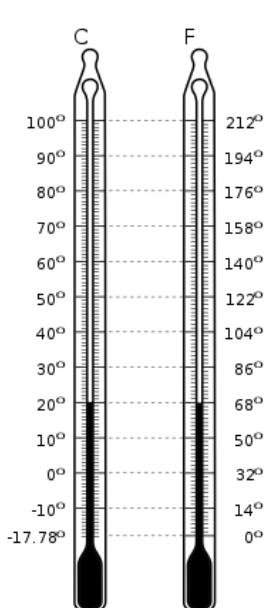
Ásirdiń aqırı elektr tariyxındaǵı eki etaplıq waqıyalarǵa iye boldı. 1785-jılı Kulonniń memuarlarınıń birinshisi jarıq kórdi. Bul memuarda ótkerilgen dál tájiriybelerdiń nátiyjesinde alıngan Kulon nızamı táriyiplendi hám onıń pútkıl dúnyalıq tartılıs nızamı menen uqsaslıǵı qısqa waqittıń ishinde (1828-jılgá shekem) elektrostatikanıń matematikalıq tiykarların pitkeriwe mümkinshilik berdi (oǵan burınıraq islep shıǵılǵan analitikalıq usıllardı qollanıwdıń saldarınan). 1791-jılı İtaliyalı shipaker Luidji Galvani ózi ashqan "haywanlar elektri" haqqındaǵı traktatın baspadan shıǵardı: temir reshetskaǵa latun ilgenshek penen ildirilgen qurbaqanıń ayaqları ózinen-ózi dirildey baslaǵan. İtaliyalı fizik Alessandro Volta bul tájiriybede qurbaqanıń ayağınıń tek toqtıń indikatori xızmetin atqaratugınlıǵıń taptı, al derektiń xızmetin elektrolittegi hár qıylı metallardıń arasındaǵı

kontakt atqaradı eken. Bir qatar tájiriybeler ótkeriwdiń nátiyjesinde 1800-jılı Volta turaqlı toqtıń quwatlı deregi hám birinshi elektr batareyası bolǵan "Volta baǵanasın" konstrukciyaladı. Onıń járdeminde kelesi XIX ásırde elektromagnit qásiyetlerdi ashıw boyınsha sheshiwhı ashılıwlar júz berdi.

Magnetizmdi úyreniw islerinde sezilerliktey progress baqlanbadı. Magnitlerdiń qásiyetlerin túsindiriwge baǵdarlanǵan bir neshe fenomenologiyalıq teoriyalar payda boldı. 1744-jılı Eyler magnetizm teoriyasın baspadan shıǵardı. Onıń kóz-qarası boyınsha magnetizm magnittegi hám temirdegi ayrıqsha túrdegi "magnit boslıqları" arqalı ağıp ótetugın bazı bir "magnit suyuqlığı" tárepinen payda etiledi dep boljadı. Tap usıǵan usaǵan suyuqlıq Franklin menen Epinustıń alternativlik teoriyalarında da orın aldı. Biraq, Epinus bul suyuqlıqtı elektr menen magnetizmdi alıp júriwshiler bolıp tabıldız dep boljadı. Kulon Epinustı qollap-quwatladı hám "magnit suyuqlığı aǵısı" teoriyaların biykarlağı. Cebebi bunday teoriyalar kompas strelkasınıń baǵıtınıń stabilligin támiyinley almaydı. 1784-jılı ol magnittiń tartısıwi menen iyterisiwi nyutonlıq tartısıw kúshine usaǵan kúsh tárepinen payda etiledi dep boljadı.

#### 4.6.9.4. Jıllılıq

Jıllılıqtı alıp júriwshı "ottıń juqa materiyası" kóz-qarasları XVIII ásırde saqlandı hám hátte keńeydi. Jıllılıqtı alıp júriwshı teplorodtıń bar ekenlige Galileyden baslap kóp fizikler isendi. Biraq, Pobert Boyl, Pobert Guk, Daniil Bernulli, Leonard Eyler hám M.V.Lomonosovlar kiretuǵın basqa lager molekulalıq-kinetikalıq gipotezaǵa súyendi: bul gipoteza boyınsha jıllılıq ishki mikrobólekshelerdiń qozǵalısı. Gipotezalardıń ekewi de sanlıq xarakterge iye boldı hám bul jaǵday olardı salistırıwǵa yamasa tekseriwge mümkinshilik bermedi (dawdı sheshken jıllılıqtıń mexanikalıq ekvivalenti haqqındaǵı túsinik tek kelesi ásırde payda boldı). Geypara alımlar jıllılıq, elektr hám magnetizm bir efirlik materiyanıń túri ózgertilgen formaları dep esapladi. Janıw processiniń haqıyqıy tábiyatın okisleniw reakciyası sıpatında tek Lavuaze 1780-jılları ashti.



Celsiya (shep tárepte) hám Farangeyt shkalaları arasındaǵı sáykeslik.



Bendjamin Tompson (graf Pumford).

Ásirdiń basında nemis fizigi Gabriel Farengeyt termometrdi oylap taptı (sınaplı yamasa spirtli tiykarda) hám Farengeyt shkalasın usındı (dáliregi ol shkalanıń birinshi variantın usındı, bul shkala keyinirek onıń ózi tárepinen korrekciyalandı). Ásirdiń aqırına shekem temperaturalıq shkalalardıń basqa da variantları payda boldı: Peomyur (1730-jılı), Celsiya (1742-jılı) hám basqalar. Usı momentten baslap jıllılıqtıń muğdarın dál ólshewdiń mümkinshiliği ashıldı. Bendjamin Tompson (graf Pumford) bir qatar dál ótkerilgen tájiriybelerdiń juwmaqları tiykarında denelerdi qızdırıw menen salqınlatıwdıń olardıń salmaǵına tásir etpeytuǵınlıǵıń kórsetti. Ol metaldı teskende ádewir jıllılıqtıń bólınıp shıǵatuǵınlıǵına itibar berdi. Teplorod teoriyasınıń tárepdarları bul effektti metaldan onıń qıygımları ajıralǵandaǵı teplorotıń tiǵızlıǵınıń úlkeyiwi menen baylanıslı dep túnsindirdi. Biraq, Pumford qıygımlardıń jıllılıq sıyımlıǵınıń sol qıygımlar ajıralıp shıqqan metaldıń jıllılıq sıyımlıǵı menen birdey ekenligin kórsete aldı. Usıday jaǵdaylarǵa qaramastan teplorod gipotezasi óziniń tárepdarların hátte XIX ásirdiń basında da saqlap qaldı.

Farengeyt mınaday mashqalani sheshiwge tırısti: birdey emes qızdırılǵan suwdıń eki porciyasın qosqan jaǵdayda payda bolǵan suwdıń temperaturası qanday boladı? Ol aralaspanıń temperaturası qurawshıllardıń temperurasınıń arifmetikalıq ortashasına teń boladı dep boljadı, biraq ótkerilgen tájiriybeler bul boljawdı biykarladı. Bul másele menen kóp sanlı fizikler shuǵıllanǵan bolsa da, mashqala ásirdiń aqırında jıllılıq sıyımlıǵı teoriyası dóretilgenshe hám jıllılıq penen temperaturanıń bir nárse ekenligin moynlaǵansha dawam etti. Bunday juwmaqqa tolıq keliw ushın eń aqırǵı argument Djozef Blektiń 1757-jılı ótkergen tájiriybeleri bolıp tabıldı. Ol balqıw menen puw payda bolıwdıń temperatura ózgermey qalsa da ádewir jıllılıqtı talap etetuǵınlıǵıń taptı. 1772-jılı Ýoxan Vilke jıllılıqtıń ózgeriw tezligi bolǵan kaloriyanı kirgizdi.

1703-jılı francuz fizigi Giyom Amonton hawaniń serpimliginiń temperaturadan górezligin izrtlewdiń barısında temperaturanıń absolyut noliniń bar ekenligi jóninde juwmaqqa keldi. Tájiriybelerde ol absolyut nol ushın  $-239,5^{\circ}\text{C}$  shamasın aldı. 1779-jılı Lambert Amontonniń nátiyjelerin tastıyiqlap, absolyut nol ushın  $-270^{\circ}\text{C}$  shamasın aldı. XVIII ásirdegi jıllılıqtıń qásiyetlerin izrtlewdiń juwmaqları sıpatında Lavuaze menen Laplastıń "Jıllılıq haqqındaǵı memuar" in kórsetiwge boladı. Bul miynette jıllılıq sıyımlıǵınıń teoriyası hám onıń temperaturadan górezligi bar jáne denelerdiń qızdırıǵanda keńeyiwi izertlengen.

#### **4.6.9.5. Akustika**

Matematikalıq tallawdıń dóretiliwi tardıń terbelislerin tolıq úyreniwge mümkinshilik berdi. Conlıqtan XVIII ásirde akustika mexanika sıyaqlı dál ilimge aylandı. Ásirdiń basında Jozef Covér barlıq muzıkalı tonlardıń tolqın uzınlıqların taptı hám obertonlardıń payda bolıwın túnsindirdi (obertonlar 1674-jılı ashılǵan edi). Eyler óziniń "Muzıkanıń jańa teoriyası boyınsha tájiriybede" (1739) miynetinde tardıń terbelisleriniń tolıq analitikalıq teoriyasıń berdi. Nemis fizik-eksperimentatorı Ernst Xladni ásirdiń aqırında sterjenler menen plastinkalardıń terbelislerin egjey tegjeyine shekem izertledi ("Xladni figuraları"). XIX ásirde Laplas, Puasson hám basqa da matematikler onıń baqlawların teoriyalıq jaqtan túnsindirdi.

#### **4.6.9.6. Optika**



Ultrafiolet nurlardaǵı minerallardıń luminescenciyası.

XVIII ásirde Eylerdiń, basqa da abıroylı alımlardıń qollap-quwatlawına qaramastan, Nyutonnıń kritikasınıń tásirinde optikada tolqınlıq teoriya óziniń tárepdarların derlik tolıq joǵalttı. Jańa jetiskenlikler sıpatında astronomiya ushın júdá áhmiyetli bolǵan fotometrдиń oylap tabılıwı bolıp tabıldadı (1740-jılı, 1995-jılı Pumford tárepinen jetilistirildi). Lambert optikanıń metrologiyasın islep shıqtı - jarıqlıq penen jaqtılandırılǵanlıq túsinkleriniń durıs anıqlamasın berdi, bettiń jaqtılandırılǵanlığınıń onıń maydanına hám qıyalıq mýyeshinen ǵárezligin taptı, jutıwshı ortalıqtaǵı jaqtılıqtıń intensivliginiń kemeyiw nızamın anıqladı.

1757-jılı Djon Dollond teleskop-refraktorlar menen mikroskoplardı soǵıw ushın júdá paydalı bolıp shıqqan birinshi axromat obъektivti oylap taptı. Ásirdiń aqırında Djon Gershel dispersiya boyınsha ótkerilgen tájiriybeleriniń barısında qásiyetleri kózge kórinetuǵın jaqtılıqtıń qásiyetlerine uqsas hám jıllılıqtı alıp beretuǵın infraqızıl nurlardı ashti. Kózge kórinetuǵın spektrdiń ekinshi tárepinde jaylasqan ultrafiolet nurları kóp uzamay 1801-jılı logann Vilgelm Pitter ashti.

#### **4.6.10. XIX ásir**

##### **4.6.10.1. XIX ásirdiń ulywmalıq xarakteristikası**

Canaattaǵı revolyuciya menen áskeriy texnika payda etken zárúrlik eksperimentallıq fizikanıń da, teoriyalıq fizikanıń da úlken pátler menen rawajlanıwın boldırdı. Endi fizikanıń aldında turǵan máseleler tábiyyiy kúshlerdi túsindiriw emes, al olardı basqarıwǵa aylandı. Dál ólsheytuǵın ásbaplar ámeliy jaqtan barlıq oblastlarda payda boldı hám XIX ásirde ótkerilgen fizikalıq tájiriybelerdiń nátiyjeleri kóbinese sanlıq xarakterge iye boldı. Baqlanatuǵın fizikalıq shamalardıń isenimligin bahalawǵa mümkinshilik beretuǵın ólshewler qátelikleriniń matematikalıq teoriyası islep shıǵıldı. Biraq, usınday jaǵdaylarga qaramastan qolǵa kirgizilgen kóp sanlı eksperimentallıq materiallardı túsindiriw ushın XIX ásirde ele de sapalıq metafizikalıq túsinkler menen oylap tabılǵan gipotezalardıń paydalılıwi dawam etti. Olardıń qatarına teplorod, elektrlik hám magnitlik suyuqlıqlar, "ses materiyası" h.t.b. kireti. Ásirdiń ishinde olardıń orınların jańa túsinkler menen fizikalıq modeller kire basladı: jaqtılıqtıń tolqınlıq teoriyası, jıllılıqtıń kinetikalıq teoriyası, energiyanıń saqlanıw nızamı, Maksvelldiń elektromagnit teoriyası, atomizmge tiykarlańǵan elementlerdiń dáwirlik sisteması. Ásirdiń aqırında barlıǵı birigip "klassikalıq fizika" dep atalatuǵın barlıq teoriyalar kóphilik tárepinen moyınlандı hám ámelde keńnen qollanıla basladı. Ayqın texnologiyalıq máselelerde effektivli türde sheshiwigə baǵdarlańǵan ámeliy fizika da payda boldı. XIX ásirdiń ekinshi yarımda elekrotexnika menen ishten janıw dvigatelei payda bolǵannan keyin ámelde islenip atırǵan jumislardıń teoriyalıq izertlewlerge tásiri júdá teperish bola basladı.

Tábiyattaǵı qubılıslardıń barlıǵınıń mexanikalıq qozǵalısqa tiykarlanbaǵanlıǵı haqqındaǵı pikirlerdiń qáliplesiwi usı dáwirdiń ayraqsha ózgesheligi bolıp tabıladı. Termodinamikanıń ekinshi baslamasın mexanikalıq jaqtan tiykarlawdıń mümkinshliginiń joq ekenligi belgili boldı. Cebebi ekinshi baslamadan bir qatar processlerdiń qaytımılı emes ekenligi kózge kórindi, al elektromagnetizmdi efirlik ortalıqtıń terbelisleri dep túsındırıwge tırısıwlar ótiwge bolmaytuǵın qıyınhılıqlarǵa ushıradı. Bul qıyınhılıq tek XX ásirdiń basında ǵana salıstırmalıq teoriyasınıń payda bolıwı hám alıp júriwshi ortalıq sıpatında efirdiń biykarlanıwı menen joq boldı.

XIX ásirde fizikanıń kóp sanlı jańa bólimleri payda boldı. Olardıń bir qanshası elektromagnetizm menen baylanıslı. Usınıń menen birge termodinamika, statistikaliq fizika, serpimlik teoriyası, radiofizika, meteorologiya, seysmologiya qáliplesti.

#### 4.6.10.2. Jaqtılıqtıń tolqınlıq teoriyası



Tomas Yung



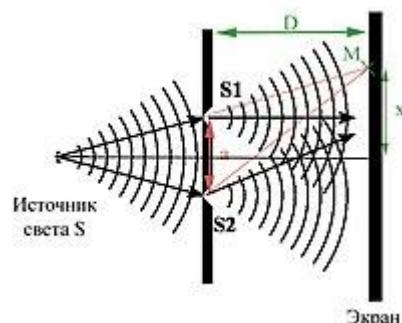
Ogyusten Jan Frenel



Arman Ippolit Lui Fizo

Nyuton tárepinen jaqtılıqtıń tolqınlıq teoriyası áshkaralanǵan "Natural filosofiyaniń matematikalıq baslamaları" payda bolǵannan júz jıldan keyin bul kóz-qaras tek Angliyadaǵı emes, al Evropanıń basqa da ellerindegi alımlar tárepinen moyınlандı. Bunday jaǵdaydıń orın alıwınıń bir sebebi tolqınlıq terbelislerdiń tolıq matematikalıq teoriyasınıń tek XIX ásirdiń basında (Fure tárepinen) dóretilgenligi menen baylanıslı. Jaqtılıqtı qanday da bir mayda korpuskulalardıń aǵısı dep esapladi.

Yungtıń interferenciya boyınsha tájiriýbesiniń sxeması.



Jaqtılıqtıń korpuskulalıq (emissiyalıq teoriyasına) birinshi soqqını fiziologıyalıq optika boyınsha qánige, angliyalı Toma Yung berdi. 1800-jılı Korol jámiyetiniń алдında shıgıp sóylewinde ol korpuskulalıq teoriyanıń sheshiw mümkin bolmaǵan qıyınhılıqların atap ótti: jaqtılıqtıń barlıq derekleri qanday sebeplerge baylanıslı birdey tezlik penen tarqalatuǵın korpuskulalardı shıgaradı? Denege túsetuǵın jaqtılıqtıń bir bólegi jutiladı, al bir bólegi shaǵılısadı yamasa shashıraydı, nelikten? Bul shıgıp sóylewinde Yung isenimli türde jaqtılıqtıń sınıwına, difrakciyasına hám interferenciyasına Nyutonnıń túsinkı bermegenligin atap ótti. Onıń ornına Yung ózi keltirip shıgarǵan superpoziciya principiniń tiykarında interferenciyanıń tolqınlıq teoriyasın islep shıqtı (bul terminniń ózin de ilimge Yung kirgizdi), tap usınday jollar menen difrakciyani da túsindirdi. Keyinirek "Yung tájiriybese" oqıwlıqlarǵa da kirdi. Óziniń tájiriybeleriniń nátiyjeleri boyınsha Yung hár qıylı reńler diapazonına kiretuǵın jaqtılıqtıń tolqın uzınlıqların dál bahaladı. Ol reńli kóriw menen akkomodiciyanıń durıs teoriyasın dóretti.

Yungtıń tolqınlıq teoriyası dushpanlıq penen kútip alındı. Qos nur sindırıw menen jaqtılıqtıń polyarizaciyası qubılısı tereń úyrenilgen waqıtta (1808-jılı Malyus, Laplas hám basqalar) bul qubılıslar emissiyalıq (korpuskulalıq) teoriyanıń sheshiwhı dálili túrinde qabil etildi. Biraq, tolqınlıq teoriyanı qollap-quwatlawshı sıpatında sol waqıtları Franciyada jol injeneri-qurılısshısi bolıp islep atırǵan Ogyusten Jan Frenel arenaǵa shıqtı. Bir qatar tereń aqıllılıq penen qoyılǵan tájiriybelerde ol korpuskulalıq teoriyanıń kóz-qarasları menen túsindırıw mümkin bolmaǵan taza tolqınlıq effektlerdi demonstraciyaladı. Al jaqtılıqtıń sol waqıtları belgili bolǵan barlıq qásiyetlerin dál sanlı ólshew menen olardıń matematikalıq modeli bayanlangan memuarı 1818-jılı Parij Ilimler Akademiyasınıń konkursında jeńimpaz boldı. Frenel Gyuygens principin ulıwmalastırıdı hám jaqtılıq tolqınıınıń tuwrı sızıq boyınsha tarqalatuǵınlıǵın qatań türde túsindire aldı.

Arago mınaday qızıqlı waqıyanı táriyipledi: akademiklerdiń komissiyasınıń májilisinde Puasson shıgıp sóylegen. Cebebi Freneldiń tálimatı tiykarında kúlkili bolǵan juwmaq kelip shıǵadı eken: belgili bolǵan sharayatlarda móldir bolmaǵan dóńgelektiń sayasınıń ortasında ashıq türde jaqtılandırılgan učastkanıń payda boliwı kerek. Bunnan keyingi májilislerdiń birinde Frenel menen Arago komissiyanıń aǵzaların bul effekti demonstraciyalaǵan hám sol jaqtılı učastkanı keyinirek "Puasson daǵı" dep ataǵan. Col waqıttan baslap Freneldiń difrakciya, sınıw hám interferenciya ushın jazılǵan formulaları fizika boyınsha barlıq sabaqlıqlarǵa kirdi. Yung ta, Frenel de jaqtılıqtı efirdiń koldeneń terbelisleri hám efirdiń zatlardaǵı tıǵızlıǵı vakuumdaǵı tıǵızlıǵınan úlken dep qaradı.

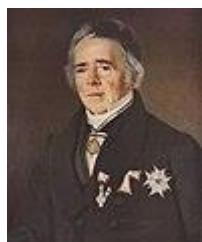


Jaqtılıqtıń polyarizaciyası: filtrdi burıw polyarizaciyalangان jaqtılıqtı ırkedi.

Endi polyarizaciyanıń mexanizmin túsiniw qaldı. 1816-jıldını ózinde Frenel efirdiń jaqtılıq terbelisleriniń boylıq emes, al koldeneń ekenligin talladı. Bul polyarizaciya qubilisın ańsat túsindirgen bolar edi. Biraq burınları koldeneń terbelisler tek qıslımaytuǵın qattı denelerde ǵana baqlandı, al efirdi óziniń qásiyetleri boyınsha gazge yamasa suyıqlıqqı jaqın dep esapladi. Poliarizaciyalanǵan jaqtılıqtıń shaǵılısıwin izertlew Freneldi jaqtılıq tolqınlarınıń koldeneńligi gipotezasına isendirdi. Bunnan keyin ol jańa tájiriybelerdi táriyipleytuǵın hám biziń kúnlerimizge shekem áhmiyetin joǵalpaǵan poliarizaciyanıń tolıq teoriyasına iye memuardı tayarladi. Bunnan keyingi derlik 100 jıl barlıq oblastlardaǵı tolqınlıq teoriyanıń triumfallıq tabısı túrinde belgilendi. Klassikalıq tolqınlıq optika tolıq qurıp bolındı. Biraq, usınıń menen juwabı oǵada qıyın bolǵan soraw payda boldı: efir degenimiz ne hám onıń qásiyetleri qanday?

Fizikanıń rawajlanıwına Fizo (1849-1851) tájiriybesi kúshli tásırın tiygizdi. Bul tájiriybe jaqtılıqtıń tezliginiń hawadaǵı tezligine salıstırǵanda sherek shamaǵa kishi ekenligin kórsetti (korpuskulalıq teoriya boyınsha tezliktiń úlken bolıwı kerek, bomasa jaqtılıqtıń sınıwi túsindirilmeydi).

#### 4.6.10.3. Elektrodinamika menen elektrotexnikanıń payda bolıwı



Xans Kristian Ersted



Andre Mari Amper



Maykl Faradey.

XVIII ásirdiń aqırında elektromagnit qubislardıń aktivinde Franklinniń atmosferalıq elektri hám Kulon nızamı boldı. Puassonnıń, Gausstiń hám Grinniń tırısıwlarınıń arqasında XIX ásirdiń birinshi shereginde elektrostatika tiykarınan dóretilgen edi. Puasson elektr potencialı menen bir qatarda statikalıq magnit maydanın esaplawǵa mümkinshilik beretuǵın magnit potencialın kirkizdi.

Bul nátiyjeler ushın teoriyalıq tiykar bolıp oń hám teris "elektr suyıqlığınıń" bar ekenligi esaplandı. Olardıń hár qaysısı basqa tiptegi bólekshelerdi tartadı, al ózindeyin iyteredı. Eger usı suyıqlıqtıń biri ekinhisinen kóp bolsa, onda dene zaryadlanǵan bolıp tabıldı.

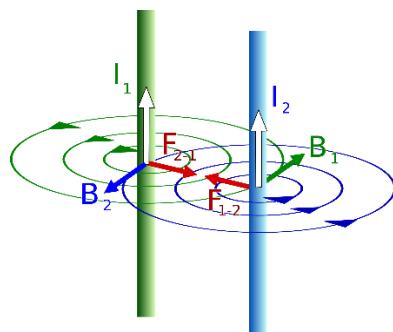
Elektr suyuqlıqlarınıń qozǵalıwına qarsılıq kórsetpeytugın materiallar ótkizgishler bolıp tabıladı. Tartılıs hám iyerilis kúshleriniń shamaları keri kvadratlar nızamına baǵınadı.

Joqarıda esletip ótilgenindey, 1800-jılı Volta birinshi "Volta baǵanasın" oylap taptı. Ol sol baǵananıń járdeminde tuyıq shınjirlardaǵı toqtı izertledi. Turaqlı toqtıń birinshi batareyasınıń járdeminde júdá áhmiyetli bolǵan eki ilimiý ashılıw júz berdi:

Elektroliz: Col 1800-jılı Nikolson menen Karlayl (William Nicholson, Anthony Carlisle) suwdı vodorod penen kislorodqa böldi, al Devi bolsa 1807-jılı kaliy menen natriydi ashti.

Elektr doğası: V.V.Petrov (1802-jılı) penen Devi ashti.

Amper tájiriybesi: eger toqlardıń baǵıtları birdey bolsa, onda bir birine parallel bolǵan ótkizgish bir birine tartılıdı.



Erń baslı sensaciyalıq waqıyalar 1820-jılı Erstedtiń elektr toǵınıń magnit strelkasına buriwshı tásır etetuǵınlıǵıń tapqannan keyin baslandı. Erstedtiń xabarı bárshé tárepinen qızıǵıwshılıq payda etti. Eki aydın ishinde Amper toq ótip turǵan eki ótkizgishtiń bir birine tásır etetuǵınlıǵını haqqında xabarladı, usınıń menen birge ol "elektrodinamika" hám "elektr toǵı" túsiniklerin usındı. Amper barlıq magnitlik qubılıslar materiyaniń ishinde magnittiń kósherine perpendikulyar tegisliklerde ótetüǵın toqlar tárepinen payda etiledi dep boljadı. Elektr menen magnetizmdi baylanıstıratuǵın birinshi teoriyanı sol jılı eski terminler tiykarında Bio, Cavar, keyinirek Laplaslar döretti.

Kóp waqt ótpay-aq ashılıwlardıń dúrkinin payda etti:

Birinshi elektrodvigatel (1821-jıl, Faradey);

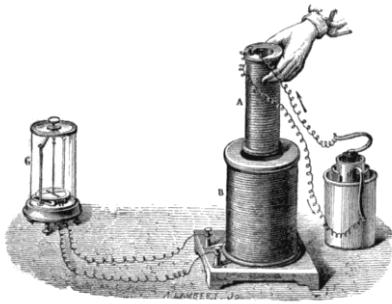
Termoelement (1821-jıl, Zeebek);

Toqtıń shamasın ólshew ushın arnalǵan birinshi sezgir galvanometr (1825-jıl, L.Nobili);

Om nızamı (1827-jıl).

1826-jılı Amper "Tek tájiriybelerden keltirip shıǵarılgan elektrodinamikalıq qubılıslardıń teoriyası" atamasındaǵı monografiyasın baspadan shıǵardı. Ol elektromagnitti (solenoid) ashti, elektr telegrafi ideyasın usındı. Toqtıń eki elementiniń óz-ara tásirlesiwi ushın Amper formulası oqıwlıqlarǵa kirdi. Maksvell Amperdi "elektrdiń Nyutoni" dep atadı.

Elektr menen magnetizmniń ólshew birliklerin aniqlaytuǵın birinshi metrologiyalıq standartlardı 1830-jılları Gauss penen Veber islep shıqtı. Elektrdi ámelij jaqtan paydalaniw baslandı. Usı waqtları D.F.Daniel menen B.C.Yakobidiń jumıslarına baylanıslı galvanoplastinka payda boldı. Ol tipografiyalıq islerdi, yuvelirlik texnologiyalardı, keyinirek plastinkalardaǵı audiojazıwlardı shıǵarıwdı ámelge asırıwdı pútkilley jańa túrge endirdi. 1830-jılları elektrotelegraftıń birinshi úlgileri payda boldı, 1844-jılı bolsa AQSH ta dúnýadaǵı birinshi kommercialıq telegraf tarmaǵı paydalaniwǵa berildi, al bir neshe jıl ótkennen keyin olardıń AQSH taǵı hám Evropadaǵı sanları onlaǵanǵa jetti.



Faradey tájiriybesi: sımnan islengen katushkanıñ ishinde toǵı bar solenoidtı qozǵaltqanda induktivlik toq payda boladı.

1831-jılı Maykl Faradey elektromagnitlik indukciya qubilısın ashti. Nátiyjede ol elektr menen magnetizmniń arasında óz-ara baylanıstiń bar ekenligin dálilledi. Tájiriybeler seriyasın ótkeriwdiń nátiyjesinde sóz júzinde elektromagnit maydannıń qásiyetlerin keltirip shıǵardı. Bul qásiyet keyinirek Maksvell tárepinen teoriyaǵa aylandırıldı: elektr toǵı óziniń baǵıtına perpendikulyar baǵıtta magnitlik tásir tiygizedi, al magnit aǵısınıń ózgerisi elektr qozǵawshı kúsh penen quyın tárizli elektr maydanın payda etedi.

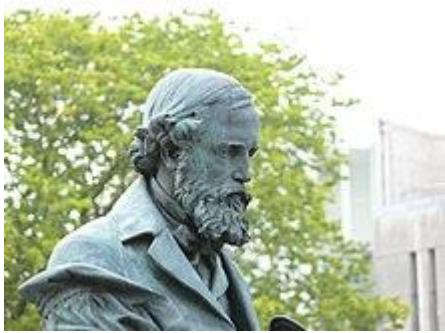
Faradey birinshi elektrodvigatel menen birinshi elektr generatorın soqtı hám usınıń menen ol elektrdi sanaatta qollanıwǵa jol ashıp berdi. Faradey elektroliz nızamların ashti hám mınaday terminlerdi kirkizdi: ion, katod, anod, elektrolit, diamagnetizm, paramagnetizm hám basqalar. 1845-jılı Faradey magnit maydanına jaylastırılǵan zattaǵı jaqtılıqtıń polyarizaciya tegisliginiń burılatuǵınlıǵıń taptı. Bul jaqtılıq penen elektromagnetizmniń tígız baylanısqan ekenligin ańǵarttı. Keyinirek Faradey 1832-jılı amerikalı alım Genri tárepinen ashılgan ózlik indukciya qubilısın, dielektriklerdiń qásiyetlerin hám gazlerdegi razryadlardı izertledi.

Elektrotexnikanıń teoriyası menen qollanılıwınıń rawajlanıwı dawam etti. 1845-jılı Kirxgof quramalı elektr shınjırlarındań toqlardıń tarqalıw nızamın ashti. 1874-jılı N.A.Umov iqtıyarlı ortalıqtaǵı energiyanıń aǵısı túsinigin izertledi, al 1880- jılı Poynting penen Xevisayd bul teoriyanı elektromagnit maydanı ushın rawajlandırdı.

Elektr dvigatelleri menen elektr generatorlarınıń sanaatlıq modelleri waqittıń ótiwi menen quwatlı hám joqarı texnologiyalıq bola basladı. Turaqlı toq ózgermeli toq penen almastırıldı. Ásirdiń aqırında fizik-teoretikler, eksperimentatorlar hám injenerlerdiń birgeliktegi tırısıwlarınıń arqasında elektrdiń tewsilmeituǵın múmkinshilikleri en keńnen qollanılıwın taptı. 1866-jılı Atlantik okeani arqalı elektrotelegraf ótkerildi, 1870- jılı telefon oylap tabıldı, 1880-jılı qızdırıw lampalarınıń keńnen qollanılıwı baslandı.

#### **4.6.10.4. Elektromagnit maydanınıń teoriyası**

Nyutondaǵı sıyaqlı, Amper tárepinen kírgizilgen kúshler alıstan tásir etetuǵın kúshler dep esaplandı. Bul jaǵdaydı Maykl Faradey keskin türde jaqladı. Ol isenimli tájiriybelerdiń járdeminde mınaday jaǵdaydıń orın alatuǵınlıǵıń kórsetti: elektr hám magnit kúshleri bir noqattan ekinshi noqatqa sáykes "elektr maydanı" menen "magnit maydanın" payda etip, úzliksiz aǵıp ótedi. Faradey tárepinen kírgizilgen "maydan" túsinigi onıń fizika ilimine qosqan bas úlesi bolıp tabıladı. Biraq, sol waqıtlardaǵı alıstan tásir etetuǵın Nyutonlıq tartılısqı úyrengен alımlar endi jaqınnan tásir etisiwge isenimsizlik penen qaray basladı.



Edinburg qalasındaǵı Djeyms Maksveldiń müsini.



Genrix Gerc.

Faradeydiń ilimiý ashılıwlarınan keyin elektromagnetizmniń eski modelleriniń (Amper, Puasson hám basqalar) aytarlıqtay tolıq emes ekenligi kórindi. Kóp uzamay uezqatan tásir etisiwge tiykarlanǵan Veberdiń teoriyası payda boldı. Biraq, usı waqıtlarǵa kele tartılıs teoriyasınań basqa barlıq fizika jaqınnan tásir etetuǵın kúshler menen is alıp bardı (optika, termodinamika, tutas ortalıqlar fizikası h.b.). Gauss, Piman hám basqa da alımlardıń bir qatarı jaqtılıq elektromagnit tábiyatqa iye degen isenimde boldı. Bunnan elektromagnitlik qubılıslardıń teoriyasınıń jaqınnan tásir etetuǵın teoriya bolıwınıń kerek ekenligi kelip shıqtı. Usı waqittaǵı áhmiyetli jaǵday sıpatında XIX ásirdiń ortalarına shekem tutas ortalıqlar ushın dara tuwındılı differentiallıq teńlemeler teoriyasınıń tereńnen islep shıǵılǵanın atap kórsetiw kerek. Demek maydan teoriyası ushın matematikalıq apparat tayar edi. Bul sharayatlarda Maksvell teoriyası payda boldı. Bul teoriyanı onıń avtorı Maksvell qarapayım türde Faradeydiń ideyaların matematikalıq qaytalaw dep atadi.

Tómende biz differentiallıq hám integrallıq formadaǵı Maksvell teńlemelerin tolıq türde beremiz.

Differentiallıq formadaǵı Maksvell teńlemeleri:

Ataması	CGC	CI	SHamalap sóz benen aytıw
Gauss nızamı	$\nabla \cdot \mathbf{D} = 4\pi\rho.$	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho.$	Elektr zaryadı elektr indukciyasınıń deregi bolıp tabıldı.
Magnit maydanı ushın Gauss nızamı.	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	Magnit zaryadları tabılǵan joq.
Faradeydiń indukciya nızamı.	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	Magnit indukciyasınıń ózgerisi quyın tárızlı elektr maydanın payda etedi.
Magnit maydanının cirkulyaciyası haqqındaǵı teorema.	$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	$\nabla \times \mathbf{H} = j + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	Elektr toǵı menen elektr indukciyasınıń ózgerisi quyın tárızlı magnit maydanın payda etedi.

Integrallıq formadaǵı Maksvell teńlemeleri:

Gauss nızamı:

CGC	Cl
$\int_s \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = 4\pi Q.$	$\int_s \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = Q.$

Mánisi: Tuyiq bet boyınsha elektr indukciyasınıń aǵısı usı bet shegaralar turǵan kólemdegi erkin zaryadtıń shamasına tuwrı proporsional.

Magnit maydanı ushın Gauss nızamı:

CGC	Cl
$\int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0.$	$\int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0.$

Mánisi: Tuyiq bet boyınsha magnit indukciyasınıń aǵısı nolge teń (magnit zaryadları tabılǵan joq).

Faradeydiń indukciya nızamı:

CGC	Cl
$\int_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{1}{c} \frac{d}{dt} \int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}.$	$\int_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_s \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}.$

Mánisi:  $s$  tuyiq emes beti arqalı ótetüǵın magnit indukciyasınıń aǵısınıń keri belgi menen alıńǵan ózgerisi  $l$  tuyiq konturındaǵı elektr maydanınıń cirkulyaciyasına proporsional, bul  $l$  tuyiq konturı  $s$  betiniń shegarası bolıp tabıladı.

Magnit maydanınıń cirkulyaciyası haqqındaǵı teorema:

CGC	Cl
$\int_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \frac{4\pi}{c} I + \frac{1}{c} \frac{d}{dt} \int_s \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s}.$	$\int_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I + \frac{d}{dt} \int_s \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s}.$

Mánisi: Erkin zaryadlardıń tolıq elektr toǵı ( $I$ ) hám tuyiq emes  $s$  beti arqalı ótetüǵın elektr indukciyasınıń aǵısı usı  $s$  betiniń shegarası bolǵan  $l$  tuyiq konturındaǵı magnit maydanınıń cirkulyaciyasına teń.\*

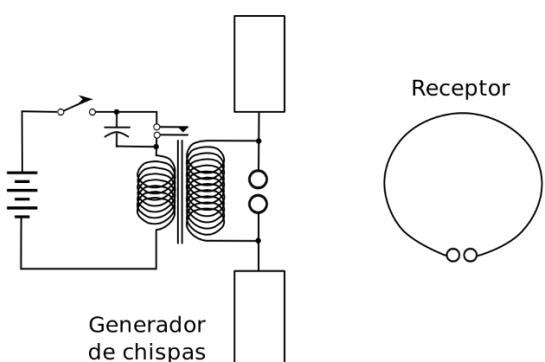
Birinshi jumısında (1855-1856) Maksvell turaqlı elektromagnit maydanı ushın gidrodinamikalıq model tiykarındaǵı (kúsh sızıqları toqtıń naylarına sáykes keledi) integrallıq formadaǵı teńlemeler qatarın berdi. Bul teńlemeler barlıq elektrostatikani, elektr ótkizgishlikti hám hátte polyarizaciyanı ózine sińdirdi. Magnitlik qubılışlar soǵan uqsas modellestiriledi. Jumısınıń ekinshi bóliminde ol hesh bir analogiyani keltirmey-aq elektromagnit indukciyanıń modelin qurdı. Bunnan keyingi jumıslarında Maksvell óziniń teńlemelerin differentialiqlıq formada keltirip shıgaradı hám awısır toǵın kirgizedi. Ol tezligi jaqtılıqtıń tezligine teń elektromagnit tolqınlarınıń bar ekenligin dálilleydi hám jaqtılıqtıń basımınıń bar ekenligin boljaydı. Maksveldiń eń juwmaqlaytuǵın miynetü "Elektr hám magnetizm haqqındaǵı traktat" dep ataladı (1873-jıl). Bul traktatta Xevisayd simvolikasındaǵı maydan teńlemeleriniń tolıq sisteması orın algan. Al Xevisayd bolsa onıń

ushın eń qolaylı apparat - vektorlıq tallawdı usındı. Maksvell teńlemelerine házirgi zaman túrin keyinirek Gerc penen Xevisayd berdi.

Dekart dálilley almaǵan tábiyyi kúshlerdiń birligi tıklendi. Elektr hám magnit suyuqlıqları haqqındaǵı gipotezalar ótmishte qaldı, olardıń ornında elektr, magnetizm hám jaqtılıqtı birlestiretuǵın jańa fizikalıq obъekt bolǵan elektromagnit maydanı payda boldı. Dáslepki waqtları bul maydandı serpimli efirdegi mexanikalıq processler sıpatında traktovkalandı.

Fiziklerdiń bir bólimi Maksvell teoriyasına qarsı shıqtı (awısız toǵı koncepciyası ayriqsha kóp qarsılıqlardı payda etti). Gelmgolc Veber menen Maksveldiń modellerine kompromislik teoriyasın usındı hám óziniń oqıwshısı Genrix Gercke onı tekseriwdi tapsırdı. Biraq, Gerctiń 1885-1889 jılları ótkerilgen tájiriybeleri Maksveldiń teoriyasınıń durıs ekenligin bir mánisli tastiyıqladı.

1887-jıldın ózinde Gerc dúnyadaǵı birinshi radiotaratqıshı soqtı (Gerctiń vibratorı). Qabillaǵısh xızmetin rezonator atqardı (ushları tutastırılmaǵan ótkizgish). Tap sol jılı Gerc dielektriktegi awısız toǵın taptı (usınıń menen birge fotoeffekti de ashti). Kelesi jılı Gerc turǵın elektromagnit tolqınların ashti, keyinirek jaqsı dállikte tolqınnıń tarqalıw tezligin ólshedi. Usınıń menen birge ol elektromagnit tolqınları ushın jaqtılıqta baqlanatuǵın shaǵılısıw, sınıw, interferenciya, polyarizaciya hám basqa da qubılıslardı taptı.



Gerctiń radio taratqıshınıń sxeması.

1890-jılı Branlı radiotolqınlardıń sezgir qabillaǵıshı bolǵan kogererde oylap taptı hám kúndelikli qollanıw ushın "radio" terminin kirgizdi. Kogerer radiotolqınlardı 40 metr qashıqlıqta tuta aldı (Oliver Lodj, 1894), al antennanı paydalanganǵanda bul qashıqlıqtıń shaması ádewir úlkeydi. Bir neshe jıldan keyin Popov penen Markoni kogererde elektr qońırawı menen tutastırıwdı usındı hám usınıń menen radiobaylanıś ushın birinshi apparattı dóretti. XX ásırde radio menen elektronikanıń dáwiri baslandı.

#### 4.6.10.5. Termodinamika, gazler, zattıń qurılısı



Djon Dalton



Djeyms Djoul



Rudolf Clausius



William Thomson (Lord Kelvin)



Ludwig Boltzmann

Ximiyanıń jetiskenlikleri menen ximiyalıq elementlerdiń bir birine aylanıwınıń mümkin emesligi ximiyalıq qásiyetlerdiń diskret birinshi alıp júriwshileri sıpatındaǵı molekulalardıń bar ekenligi haqqındaǵı Robert Boyleń ideyalarınıń durıs ekenligin ańǵarttı. Ximiyalıq reakciyalardıń qatnasiwshıları ushın bazı bir salmaqlıq hám kólemlik qatnaslardıń orınlınatıǵınlıǵı atap ótildi. Bul jaǵday tek ǵana janapay türde molekulalardıń bar ekenligin ańǵartıp ǵana qoyǵan joq, al olardıń qásiyetleri menen strukturası haqqında pikirler aytıwǵa mümkinshilik berdi. XIX ásirdı basında Djon Dalton molekulalıq teoriyanıń tiykarında parciallıq basımlar nızamın túsindirdi hám ximiyalıq elementlerdiń atomlıq salmaqlarınıń birinshi kestesin dúzdi. Biraq keyinirek bul kesteniń durıs emes ekenligi ayqın boldı, sebebi ol suw ushın  $H_2O$  formulasınıń ornına  $HO$  formulasın aldı, al bazı bir birikpelerdi elementler dep esapladi.

1802-jılı Gey-Lyussak penen Daltonlar gazdiń kólemi menen temperaturasınıń arasındaǵı baylanısti anıqladı. 1808-jılı Gey-Lyussak mınaday paradokstı taptı: gazler barlıq waqitta pútin san eselengen kólemlik qatnaslarda birigedi eken. Mısalı,  $C + O_2$  (bir kólemnen) =  $CO_2$  (eki kólem). Dalton teoriyası menen kelip shıǵatuǵın bul qarama-qarsılıqtı túsindiriw ushın Avagadro 1811-jılı atom menen molekula túsiniǵin ajıratıwdı usındı. Ol gazdiń birdey kóleminde molekulalardıń birdey sanı boladı dep te boljadı (Daltonnıń aytqanınday, atomlardıń birdey sanı emes). Biraq, sonda da atomlardıń bar ekenligi haqqındaǵı másele kóp waqıtlar dawamında sheshilgen joq.

XIX ásirdıń birinshi yarımindənki jıllılıq teoriyasında jıllılıq alıp beriwdiń sanlıq modelleri payda bolǵan bolsa da, burıngıśınsha teplorod saqlanıp qaldı. Kompromisslik variant ta talqılandı: jıllılıq zattıń bóleksheleriniń qozǵalısı bolıp tabıladı, biraq bul qozǵalıs teplorod arqalı alıp beriledi (geypara waqıtları efirge teńlestirilgen teplorod). 1822-jılı Fure "Jıllılıqtıń analitikalıq teoriyasın" basپadan shıǵardı. Bul kitapta jıllılıq ótkizgishliktiń teńlemesi payda boldı hám jıllılıqtıń aǵısı (Furede teplorodtıń aǵısı) temperaturanıń gradientine proporsional. Teplorod teoriyasınıń sheklerinde 1824-jılı Cadi Karnonıń "Ottıń qozǵaltıwshı kúshi haqqındaǵı oylar hám usı kúshti payda etiwge qábiletli mashinalar haqqında" atamasındaǵı kitabı basپadan shıqtı. Dáslep bul kitapqa hesh kim itibar bermegen. Biraq, bul jumısqa 1830-jılı durıs baha berildi hám ol fizikanıń rawajlanıwına úlken tásırın tiygizdi.

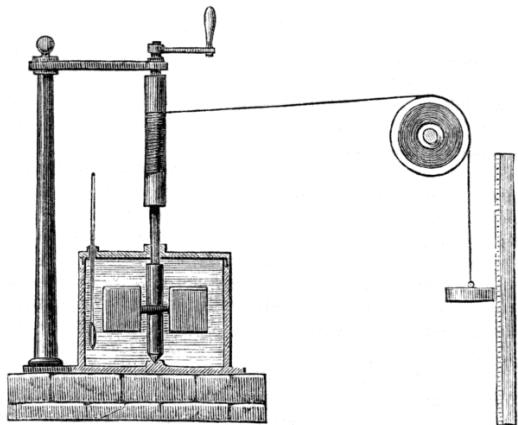
Usı waqıtları házirgi waqıtları qollanılatuǵın jumıs hám energiya túsinkleri qáliplese basladı (termin YUNG tárepinen 1807-jılı dáslep tek kinetikalıq energiya ushın usınıldı hám

bul usınıs Kelvin tárepinen 1849-jılı qollap-quwatlandı). 1829-jılı Koriolis jumıs penen "tiri kúshti" salıstırıp usı "tiri kúsh" ushın jazılǵan ańlatpaǵa  $\frac{1}{2}$  ni qostı hám kinetikalıq energiya óziniń házirgi zaman kórinisine iye boldı.

1843-jılı Djeyms Djoul elektr menen tájiriybeler seriyasın ótkerip mınaday juwmaqqqa keldi: "mexanikalıq kúsh jumsalatuǵın barlıq jaǵdaylarda barlıq waqıtta oǵan dál ekvivalent jíllılıq muǵdarı bólínip shıǵadı". Ol bul ekvivalenttiń shamasın esapladı: shama menen 460 kGm/kkal. Djoul elektr toǵı ushın bólínip shıǵatuǵın jíllılıqtıń toqtıń kúshınıń kvadratına hám qarsılıqqa tuwrı proporsional ekenligin aniqladı. Keyinirek Djoul óziniń juwmaqların gazlerdi qısıw boyınsha ótkergen eksperimentlerinde tastıyıqladı hám jíllılıq mexanikalıq qozǵalıs, al jíllılıqtı alıp beriw (ótkeriw) bolsa bul mexanikalıq qozǵalistıń basqa formalarǵa ótiwi dep daǵazaladı. Barlıq tájiriybelerde jíllılıqtıń mexanikalıq ekvivalentin bahalaw bir birine jaqın bolǵan mánislerdi berdi. Bul jumıslardı ulıwmalastırıp, Mayer menen Djoul energiyanıń saqlanıw nızamın keltirip shıǵardı, al Gelmgolc bolsa óziniń 1847-jılı jarıq kórgen monografiyasında bul nızamdı barlıq fizikaniń tiykarına jatqardi.



Cadi Karnonıń kitabı (1824-jıl)

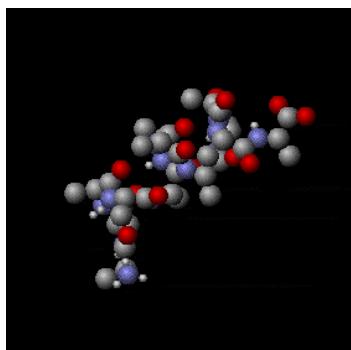


Jíllılıqtıń mexanikalıq ekvivalentin ólshew ushın arnalǵan Djouldıń dúzilisi (1847). Oń táreptegi júk suwǵa salıngan plastinkalardı aylandıradı hám sonıń nátiyjesinde suw qızadı.

XIX ásirdiń birinshi yarımında dıqqattan derlik shette qalǵan gazlerdiń kinetikası boyınsha jumıslardı bir birinen górezsiz túrde "ideal gazdıń hal teńlemesin" tiykarlaǵan Krénig (1856-jıl) hám Pudolf Klauzıus basladı. Klauzıus ideal gazdıń durıs modelin usındı, sistemaniń ishki energiyası túsinigin kirgizdi hám fazalıq ótiwlerdi túsinirdi. XIX ásirdiń ortasında Uilyam Tomson (lord Kelvin) menen Klauzıus ayqın túrde termodynamikanıń eki baslamaların (nızamın) keltirip shıǵardı. Teplorod túsinigi tolığı menen saplastırıldı. Penkin menen Tomson 1852-jılı onıń ornına tek kinetikalıq energiyadan ibarat bolmaǵan energiya túsinigin kirgizdi. Energiyanıń makroskopiyalıq denelerdegi aylanısların izertleytuǵın fizikanıń bólimi ushın "termodynamika" ataması Tomson tárepinen usınıldı. 1862-jıldan keyin Klauzıus mexanikalıq modelge sáykes kelmetyuǵın qaytımlı bolmaǵan processlerdi izertledi hám entropiya túsinigin usındı. Nátiyjede "Álemniń jíllılıq óliwi" mashqalasınıń

keń türde tallana basladı, sebebi entropiyanıń ósıw principi Álemniń sheksizligine sáykes kelmeydi.

1848-jılı Kelvin "absolyut nol" noqatında baslanatuǵın "temperaturanıń absolyut shkalasın usındı" (Kelvin shkalasın). 1860-jılı Maksvell gaz molekulalarınıń tezlikleriniń tarqalıwınıń statistikalıq nızamın keltirip shıǵardı, ishki súykelis penen diffuziya ushın formulalardı aldı, jıllılıq ótkizgishliktiń kinetikalıq teoriyasınıń eskizin dóretti.



Molekuladaǵı atomlardıń jıllılıq qozǵalısı.

Gazlardıń kinetikalıq teoriyası menen termodinamikanıń bunnan bılayǵı tabısları Lyudvig Bolcman menen Van-der-Vaalslerdiń isimleri menen baylanıslı. Basqa jumısları menen bir qatarda olar termodinamikanıń nızamların mexanikaniń tiykarında keltirip shıǵarıwǵa urındı. Bul tırısıwlardıń sátsız bolıwı 1872-jılı Bolcmandı termodinamikanıń ekinshi baslaması direktivlik-dál xarakterge iye emes, al statistikalıq xarakterge iye ekenlige iseniwge májbúrledi: jıllılıq salqın deneden qızǵan denege óte aladı, al oǵan qarama-qarsı processtiń itimallığı ádewir joqarı. 20 jıldan kóbirek waqt ishinde bul jaǵday fiziklerdiń arasında qızıǵıwdı payda etpedi. Shama menen 1900-jıldan baslap, ásirese Planktiń, Gibbstıń hám Erenfesttiń jumıslarınan soń Bolcmanniń ideyalarınıń durıs ekenligi moyınlандı. 1871-jıldan baslap Bolcman hám Maksvell statistikalıq fizikanı rawajlandıra basladı. Ergodikalıq gipoteza júdá jemisli nátiyjelerdi berdi (waqt boyınsa ortasha shama bóleksheler ansambli boyınsa ortasha shamaǵa sáykes keledi).

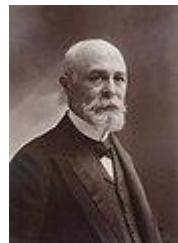
1897-jılı elektron ashıldı. Usınıń menen bir qatarda atomistikaniń paydası ushın sheshiwshi argumentti 1905-jılı Eynshteyn tárepinen ashılǵan broun qozǵalısınıń teoriyasın berdi. Bul teoriyanıń durıs ekenligin dálillegen Cmoluxovskiy menen Perrenniń jumıslarınan keyin hátte pozitivistler de atomlardıń bar ekenlige talaspadı. Atomlıq teoriya menen D.I.Mendeleev tárepinen 1869-jılı islep shıǵılǵan elementlerdiń dáwirlık sistemasiń sáykes keltiriw boyınsa birinshi tırısıwlар baslandı. Biraq, bul tarawdagı sezilerliktey tabıslar tek XX ásırde ǵana qolǵa kirgizildi.

Ásirdiń aqırında fazalıq ótiwler menen zatlardıń asa tómengi temperaturalardaǵı qásiyetlerin tereń izertlewler baslandı. 1888-jılı shotlandiyalı Djeyms Dyuar birinshi bolıp suyuq vodorodtı aldı, ol "Dyuar idisın" (termos) oylap taptı. 1870-jılı Gibbs fazalar qaǵıydاسın keltirip shıǵardı.

#### 4.6.10.6. Elektronniń ashılıwi, radioaktivlik



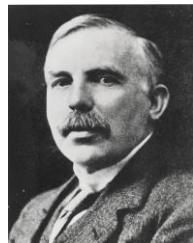
Djozef Djon Tomson



Anri Bekkerel



Robert Endryus Milliken



Ernst Pezerford

Atomlar haqqındaǵı gipotezanı elektrlik qubılıslar menen baylanıstırıw ushın Bercelius penen Faradeyler oń hám teris zaryadlarga iye bolǵan atomlardıń eki tipi bar dep boljadi. Bunnan eń kishi elektr zaryadınıń bar ekenligi kelip shıqtı. Coouni 1847-jılı "elektron" terminin usındı hám onıń zaryadı ushın jaman bolmaǵan bahanı berdi. Basqa da gipotezalar boldı. Mısalı, U.Praut minaday gipotezanı usındı: ximiyalıq elementlerdiń atomlıq salmaqlarınıń shamaları vodorodtiń atomlıq salmaǵınan pútin san ese úlken bolǵanlıqtan eń birinshi atom bar, ol - vodorod, al qalǵanlarınıń barlıǵı bir biri menen tutastırılgan birinshi atomnan turadı. Kruks nollık birinshi element - "protil" bar, al vodorod ta, basqa da atomlar usı "protil" den turadı. Uilyam Tomson bolsa atomdı efirdegi stabilli quyın dep esapladi.

Onnan da burınıraq, 1858-jılı gazdegi elektr razryadin izertlewdiń barısında katod nurları ashıldı. Uzaq dawam etken diskussiyalardan keyin alımlar katod nurları elektronlardıń aǵısınan turadı degen juwmaqqa keldi. 1897-jılı Dj.Dj.Tomson katod nurları ushın zaryadtıń massaǵa qatnasın ólschedi hám ol bul qatnastıń katodtıń materialınan hám tájiriybeniń basqa da shártlerinen górezsiz ekenligin dálilledi. Elektronniń zaryadınıń shaması sol waqıtları belgili bolǵan vodorod ionınıń zaryadına teń dep boljap, Tomson elektronniń massasın bahaladı. Bársheni hayran qaldırıǵan jaǵday elektronniń massasınıń vodorod atomınıń massasınan kóp kishi ekenligi boldı. Bercelius-Faradeydiń ideyasın biykarlawǵa tuwrı keldi. Usınıń menen birge Tomson fotoeffektte ushıp shıǵatuǵın bóleksheler ushın da zaryadtıń massaǵa qatnasınıń tap sonday ekenligin, yaǵníy olardıń elektronlar ekenligin kórsetti. Robert Millikenge 1910-jılı júdá aqillılıq penen ótkerilgen eksperimentlerde elektronniń zaryadı menen massasın anıqlawdıń sáti tústi.

1878-jılı Gendrix Lorenc ionlarga iye bolǵan qozǵalıwshı ortalıqlar ushın Maksvell teoriyasın ulıwmalastırıdı. Lorenctiń elektronlıq teoriyası diamagnetizmdi, elektrolitlerdegi processlerdi, metallardaǵı elektronlardıń qozǵalısın, sonıń menen birge

1896-jılı ashılgan Zeeman effektiń (jaqtılıq shıgarıp turǵan denelerdiń spektrindegi sızıqlardıń magnit maydanınıń tásirinde bir neshe sızıqlarǵa ajıralıwı) jaqsı túsindire aldı.



Magnit maydanındaǵı katod nurları.



V.K.Pentgen tárepinen túsirilgen Albert fon Kéllikerdiń qolınıń fotosuwreti.

Júdá áhmiyetli bolǵan ilimiy ashılıwlар 1895-jılı Vilgelm Konrad Pentgen tárepinen (rentgen nurları) hám 1896-jılı Anri Bekkerel (uranniń radioaktivligi) tárepinen júzege keltirildi. Pentgen nurlarınıń tolqınlıq qásiyeti 1912-jılı tastıyıqlandı (fon Laue, rentgen nurlarınıń kristallardaǵı difrakciyası). Al, radioaktivlik fiziklerdi bir qansha waqt dawamında ótiw mümkin bolmaǵan ótkelge alıp kelip iriki hám sonlıqtan onı teperish túrdegi izertlewler baslandı. Kóp uzamay radiy, toriy hám basqa da radioaktiv elementler jáne nurlanıwdıń bir tekli emes ekenligi (alfa- hám beta-nurların 1899-jılı Pezerford, al gamma-nurların 1900-jılı Villar ashti) ashıldı. Bekkerel beta nurları ushın zaryad/massa qatnasın ólshegende olardıń elektronlar ekenligi dárhál ayqın boldı. Alfa-bóleksheleriniń tábiyatın Pezerford tek 1909-jılı ǵana aniqladı.

1901-jılı Valter Kaufman elektronniń tezligi úlkeygende onıń Xevisayd hám Dj.Dj.Tomson tárepinen boljanǵan inert massasınıń úlkeyetuǵınlıǵın tapqanlıǵın xabarladı. Elektronniń qozǵalısınıń Lorenclik teoriyasın qayta qarap shıǵıw zárúrlıǵı payda boldı. Bul temadaǵı dawlar salıstırmalıq teoriyası payda bolǵannan keyin de dawam etti.

Padioaktiv nurlanıwdıń energiyasınıń ne ekenligi haqqındaǵı másele kóp dawlardı payda etti. 1902-jılı Pezerford penen Coddi "radioaktivlik ximiyalıq ózgerislerge alıp keletuǵın atomlıq qubılıs" degen juwmaq shıǵardı. 1903-jılı olar radioaktiv atomnıń idırawınıń eksponenciallıq nızamın ashti, sanlıq mánisi boyınsha qálegen ximiyalıq energiyadan salıstırmastay dárejede úlken bolǵan atomnıń ishindegi energiyaniń shamasın bahaladı hám olar usı energiyaniń Quyashtiń energiyasınıń deregi bolıp tabıladı degen mánistegi gipotezanı usındı. Pezerford, Uilyam Pamzay hám Coddi bir waqıtta elementlerdiń birinshi aylanısların taptı (radonniń geliye), al Dj. Dj. Tomson bolsa elementlerdiń dáwirlık sistemasın elektronlıq teoriya poziciyasında turıp tiykarladı.

#### **4.6.10.7. Mexanika, optika, serpimlik teoriyası**

1834-1835-jılları Uilyam Gamilton variaciyalıq principti baspadan shıǵardı, bul princip universallıq xarakterge iye boldı hám fizikanıń júdá hár qıylı bolǵan bólimlerinde tabıslı túrde paydalanyldı. Gamilton bul principti óziniń "Gamiltonlıq mexanikasınıń" tiykarına jatqardi. Biraq, "bul jumıslar XIX ásırdegi analitikalıq mexanikaniń rawajlanıwınıń tiykarında jattı".

Optikada spektrallıq analizdiń ashılıwı (1859-jıl) eń baslı waqıya bolıp tabıladı. 1842-jılı avstriyalı fizik Dopler qozǵalıwshı dereklerden shıǵatuǵın tolqınlardıń jiyiliği menen tolqın uzınlığınıń ózgeretuǵınlıǵın taptı. Bul effektlerdiń ekewi de ilimniń, ásirese astrofizikanıń eń áhmiyetli qurallarına aylandı. Ásirdiń ortasında jáne bir áhmiyetli oylap tabıw - fotografiya payda boldı.

1821-jılı Anri Nave serpimlilik teoriyasınıń teńlemeleriniń tiykarǵı sistemasın keltirip shıǵardi hám Guktiń bir ólshemli nızamın izotrop denelerdiń úsh ólshemli deformaciyalarınıń universallıq nızamına aylandırdı. Nave modeli 1823-jılı dárhál Koshidiń jumıslarında ulıwmalastırıldı. Ol izotroplıq qásiyetke sáykes keletuǵın shekti joq etti. Koshi teńlemeleriniń tiykarında Puasson ámeliy jaqtan áhmiyetli bolǵan kóp sanlı mäselelerdi sheshti.

#### **4.6.11. XX ásır**

##### **4.6.11.1. XX ásirdiń ulıwmalıq xarakteristikası**

XX ásirdiń basında quramalı mashqalalarǵa tap boldı - eski modeller menen tájiriybelerde alıngan maǵlıwmatlar arasında qarama-qarsılıqlar payda bola basladı. Mısalı, jaqtılıqtıń tezligin ólshewge tırısıwlarda klassikalıq mexanika menen elektrodinamikanıń arasında qarama-qarsılıqtıń payda bolatuǵınlıǵı baqlandı. Jaqtılıqtıń tezliginiń esaplaw sistemasınan górezsiz ekenligi anıqlandı. Col dáwirdegi fizika mikrodúnyadaǵı bazi bir effektlerdi táriyipley almadı. Olardıń qatarına nurlanıwdıń atomlıq spektri, fotoeffekt, zat penen elektromagnit nurlanıwdıń energiyalıq teń salmaqlığı, absolyut qara deneniń nurlanıwınıń spektri kiredi. Merkuriydiń qozǵalısın Nyutonnıń tartılıs teoriyasına sáykes kelmedi; "gravitaciyalıq paradoks" ushın da sheshim tabılmadı<sup>5</sup>. Eki ásirdiń ortasında tabılǵan jańa qubılıslar (radioaktivlik, elektron, rentgen nurları) teoriyalıq jaqtan túsinirdilmedi. 1900-jılı Puankare "Bar ekenlige hesh kim gúman etpegen pútkıl dýnya" dep daǵazaladı hám jańa dýnyanı túsiniw ushın eski fizikanı qaytadan qarap shıǵıwdıń zárúrlıǵı payda boldı.

XX ásirdiń fizikasınıń jáne bir áhmiyetli ózgesheligi tábiyyi kúshlerdiń birligi túsiniginiń keńeyiwi bolıp tabıladı. XIX ásirdiń ózinde universallıq energiya túsinigi payda boldı, al Maksvell optikani, elektr hám magnetizmdi biriktirdi. XX ásirde keńislik penen waqıttıń, zat penen nurlanıwdıń (bóleksheler hám tolqınlar), gravitaciya menen geometriyanıń, massa menen energiyanıń arasındań tereń baylanıslardıń bar ekenligi hám basqa da kóp sanlı óz-ara qatnaslar tabıldı. Fizikanıń kóp sanlı jańa bólimleri - salıstırmalıq teoriyası, kvantlıq mexanika, atom fizikası, elektronika, aerodinamika, radiofizika, plazma fizikası, astrofizika, kosmologiya hám basqalar payda boldı.

##### **4.6.11.2. Calıstırmalıq teoriyası**

---

<sup>5</sup> Gravitaciyalıq paradoks yaması Neyman-Zeligerdiń paradoksı - klassikalıq tartılıs nızamının kelip shıǵatuǵın hám bılayınsha aytılatuǵın tariyxıı kosmologiyalıq mashqala: Evklidlik geometriyaǵa iye bolǵan hám zattıń ortasha tıǵızlıǵı nolge teń bolmaǵan sheksiz Álemdeği barlıq orınlarda gravitaciyalıq potencial sheksiz úlken mániske iye boladı.



Albert Abraxam Maykelson



Xendrik Anton Lorenc

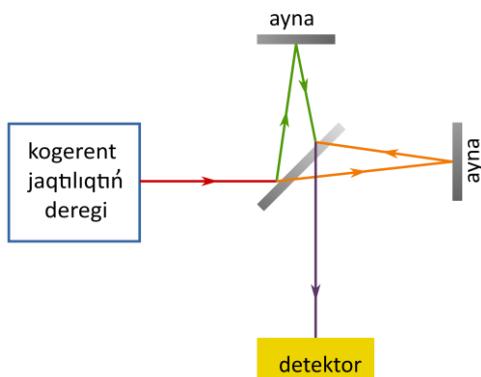


Anri Puankare



German Minkovskiy

1728-jılı angliyalı astronom Bredli jaqtılıqtıń aberraciyasın ashti<sup>6</sup>: aspanda barlıq juldızlar kishi dóngelekler boyınsha qozǵaladı, qozǵalıs dáwiri bir jıl. Jaqtılıqtıń efirlilik teoriyası boyınsha bul efirdiń qozǵalmaytuǵınlıǵıń hám kózge kórinetuǵıń awısıw (Jerdíń Quyashtiń dógeregineđegi qozǵalısında) superpoziciya principi boyınsha juldızdıń súwretin jılıstırıdı.



Maykelson-Morli tájiriybesiniń sxeması.

Biraq, Frenel, zattıń ishinde efir qozǵalıwshı materiya menen birge tolıq emes alıp júriledi dep esapladi. Bul kóz-qaras Fizonıń tájiriybelerinde tastıyıqlanǵanday bolıp kórindi (Fizonıń tájiriybesinde sundaǵı jaqtılıqtıń tezliginiń boslıqtaǵı jaqtılıqtıń tezliginen kishi ekenligi tabılǵan edi). 1868-jılı Maksvell sheshiwshi tájiriybeniń sxemasın usındı hám bul sxema boyınsha eksperimentti interferometr oylap tabılǵannan keyin 1881-jılı amerikalı

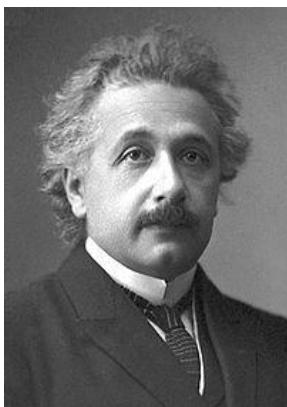
<sup>6</sup> Jaqtılıqtıń aberraciyası (latın tilinde *aberratio*, *ab* hám *errare* sózlerinen adasıw, awısıw) - bir esaplaw sistemasınan ekinshi esaplaw sistemасına ótkendegi jaqtılıqtıń (nurlanıwdıń) bağıtınıń ózgeriwi.

Astronomiyalıq baqlawlarda jaqtılıqtıń aberraciyası Jerdiń tezliginiń bağıtınıń ózgeriwine baylanıslı aspan sferasındaǵı juldızdıń turǵan ornınıń ózgeriwine alıp keledi. Jıllıq, sutkaliq hám ásırlik aberraciyalardı bir birinen ayıradı. Jıllıq aberraciya Jerdiń Quyashtiń dógeregineđegi qozǵalısınıń saldarınan kelip shıǵadı. Cutkaliq aberraciya Jerdiń óziniń kósheriniń sutkaliq aylanıwı menen baylanıslı. Ásırlik aberraciya Quyash sistemасınıń Galaktikanıń orayınıń dógeregineđegi qozǵalısı effektin esapqa aladı.

fizik Maykelson ámelge asırdı. Keyinirek Maykelson Morli menen birgelikte hár saparı joqarı bolǵan dállikte bir neshe ret qaytaladı. Basqa bir qatar fizikler basqa principlerge tiykarlangan onlaǵan tájiriybelerdi orınladı (mısali, Trouton menen Nobl ildirilgen kondensatordıń burılıwin ólshedı). Biraq kútilgen nátiyje alıngan joq - "efir samalı" espeydi eken.

1892-jılı Gendrik Lorenc hám (onnan górezsiz) Djordj Ficdjerald efirdi qozǵalmayıdı, al qálegen deneniń üznligi qozǵalıs baǵıtında qısqaradı dep boljadı. Bunday "lorenclik qısqarıw" barlıq qozǵalatuǵın móldır denelerde qos nur sindırıw effektine alıp keliwi kerek; biraq, tájiriybeler bunday effektiń joq ekenligin kórsetti. Usınıń nátiyjesinde Lorenc óziniń gipotezasın ózgertti: denelerdiń ózleri qısqarmayıdı, al olarǵa kiretuǵın elektronlar qısqaradı, qala berse barlıq baǵıtlarda qısqaradı, biraq qozǵalıs baǵıtında kóbirek qısqaradı. Lorenc tap usınday shamaǵa "efir samalın" kompensaciyalaytuǵınday bolıp qısqarıwdıń sebebin túsindire almadı.

Jáne bir úlken qıyınhılıq Maksvell teńlemeleriniń elektromagnitlik effektlerdiń tek salıstırmalı qozǵalistan górezli ekenlige qaramastan, Galileydiń salıstırmalıq principine sáykes kelmetyuǵınlıǵı boldı. Koordinatalardıń qanday túrlendiriywlerine qarata Maksvell teńlemeleriniń invariantlığı izrtlendi. Durıs formulalardı birinshi ret 1900-jılı Larmor hám 1905-jılı Puankare jazdı. Puankare olardıń gruppa qásiyetine iye ekenligin dálilledi hám olardı "Lorenc túrlendiriywleri" dep atawdı usındı. Óziniń 1905-jılı shıqqan "Elektronniń dinamikası haqqında" jumısında Puankare elektrodinamikanı da óziniń ishine alatuǵın salıstırmalıq principiniń ulıwmalıq formulirovkasın da berdi. Bul jumısta Minkovskiydiń tórt ólshemli intervalı da bar. Biraq, sóğan qaramastan, Puankare efirdi haqıqıy dep esaplawdı dawam etti, al ol islep shıqqan matematikalıq modeller obъektivlik fizikalıq mazmunǵa iye bolmadı.



Albert Eynstejn

Puankareniń modeliniń fizikalıq hám obъektivlik mánisi Eynsteynniń jumıslarınan soń ashıldı. 1905-jılı maqalasında Eynstejn eki postulattı qaradı: ulıwmalıq salıstırmalıq principi hám jaqtılıqtıń tezliginiń turaqlı ekenligi. Bul postulatlardan Lorenc túrlendiriywleriniń formulaları, lorenclik qısqarıw, bir waqıtılıqtıń salıstırmalığı hám efirdiń kerek emes ekenligi avtomat türde kelip shıqtı. Tezliklerdi qosıwdıń jańa nızamı, inerciyanıń tezlik penen úlkeyiwi h.t.b. keltirip shıgarıldı. Eynstejn fizikaniń barlıq nızamlarınıń Lorenc túrlendiriywlerine qarata invariant bolıwınıń kerek ekenligin kórsetti. Keyinirek bul teoriya "arnawlı salıstırmalıq teoriyası" atamasına iye boldı. Fizikadan efirdi quwıp shıgarǵannan keyin elektromagnit maydanı qosımsha mexikalıq alıp júriwshini

talap etpeytugın fizikalıq obiecttiń statusına iye boldı. Col jılı  $E = mc^2$  formulası payda boldı - inerciya energiya menen anıqlanadı eken.

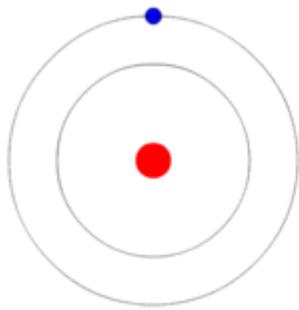
Alımlardıń bir bólimi arnawlı salıstırmalıq teoriyasın dárhál qabil etti: 1906-jılı Plank hám 1907-jılı Eynshteynniń ózi relyativistlik dinamikanı hám termodinamikanı dóretti, al Minkovskiy bolsa 1907-jılı arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń kinematikasınıń matematikalıq modelin tórt ólshemli evklidlik emes dúnyanıń geometriyası túrinde kórsetti hám bul dúnyanıń invariantları teoriyasın islep shıqtı.

1911-jıldan baslap A.Eynshteyn Nyutonniń tartılıs teoriyasın almastratuǵın ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasın dóretiw menen shuǵillana basladı hám bul jumısların 1915-jılı tamamladı. Eynshteynniń tartılıs teoriyasında uzaqtan tásir etiw joq hám tartılıstıń fizikalıq alıp júriwshisi bolǵan keńislik-waqıttıń geometriyasınıń modifikaciyası ayqın túrde kórsetilgen. Bul teoriya boljaytuǵın jańa effekti onlaǵan eksperimentlerdegi tájiriybelerde tekserip kóriw ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń boljawlarınıń baqlawlardıń nátiyjelerine tolıq sáykes keletuǵınlıǵın kórsetti. Eynshteynniń hám basqa da alımlardıń gravitaciyanı, elektromagntizmdi hám mikrodúnyanıń teoriyasın biriktirip ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasın keńeytiwge baǵdarlangan tırısıwlар tabıslargá erise almadi.

#### **4.6.11.3. Atomnıń qurılısı**

Elektron ashılgannan keyin atomnıń quramalı strukturaǵa iye bolatuǵınlıǵı belgili boldı hám usıǵan baylanıslı elektron atomda qanday orındı iyeleydi hám onıń menen birge qanday subatomlıq bóleksheler bar degen soraw payda boldı. 1904-jılı "júzimi bar puding" atamasına iye bolǵan atomnıń birinshi modeli payda boldı. Bul modelde atom elektronlar teń ólshemli aralasqan oń zaryadlanǵan dene túrine iye. Atomdaǵı elektronlardıń qozǵalatuǵınlıǵı yamasa qozǵalmayıǵınlıǵı máselesi ashıq qaldı. Tomson ximiyalıq elementlerdiń qásiyetleriniń atomdaǵı elektronlardıń tarqalıwına baylanıslı degen perspektivalıq gipotezanı usındı. Usınıń menen bir waqıtta yaponiyalı fizik Nagaoka planetarlıq modeldi usındı. Biraq Vin dárhál elektronlardıń dóńgelek orbitaları klassikalıq elektrodinamikaǵa sáykes kelmeytuǵınlıǵın kórsetti: tuwrı sıziqlı traektoriyadan qálegen awısılwda elektron energiyasın joǵaltadı.

1909-1910 jılları Pezerfordtıń bassılığında Geyger menen Marsdenler orınlıǵan juqa folgalardaǵı alfa-bóleksheleriniń shashırawın úyreniw boyınsha ótkerilgen eksperimentlerde atomnıń ishinde úlken emes kompaktlı struktura - oń zaryadlanǵan atom yadrosınıń bolatuǵınlıǵın kórsetti. "Puding modelinen" bas tartıwǵa tuwrı keldi. Pezerford atomnıń planetarlıq modelin usındı: yadronıń zaryadı elementtiń Mendeleev kestesindegi nomerine dál sáykes keledi (elektronnıń zaryadınıń birliklerindegi). Jańa teoriyanıń birinshi tabısı izotoplardıń bar ekenligin túsındırıwi bolıp tabıldı. Biraq atomnıń basqa da modelleri boldı. Mısalı, Dj.Dj.Tomson elektronlar menen yadrolardıń óz-ara tásirlesiwleri kulonlıq tásirlesiwden ózgeshe. Atomnıń kurılısı ushın salıstırmalıq teoriyasın hám hátte evklidlik emes geometriyanı paydalaniwǵa tırısıwlار da boldı.



Bor boyınsha vodorod atomı.

Vodorod atomınıń spektrin túsindire alatuǵın birinshi tabisli teoriyanı 1913-jılı Nils Bor döretti. Ol Pezerfordtń modelin klassikalıq emes xarakterdegi postulatlar menen tolıqtırıldı:

1. Elektron ornıqlı bolatuǵın orbitalar bar (bunday orbitalar boyınsha qozǵalatuǵın elektronlar energiyani nurlandırmayıdı). Bunday orbitalardı stacionar orbitalar dep ataydı.

2. Bir stacionar orbitadan ekinshi stacionar orbitaǵa ótkende elektron orbitalardıń energiyalarınıń ayırmasına teń energiyani nurlandıradı yamasa jutadı. Bor teoriyası vodorod atomınıń spektrin dál boljadı, biraq basqa atomlar ushın sáykeslik orın algan joq.

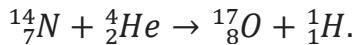
1915-jılı Bor teoriyası Zommerfeld hám Vilsonlar tárepinen tolıqtırıldı. Zeeman effekti menen vodorodtń spektriniń juqa strukturası túsindirildi. Bor óziniń postulatlarına sáykeslik principin qostı hám bul spektrallıq sıziqlardıń intensivliklerin anıqlawǵa mümkinshilik berdi. 1925-jılı Pauli elektronní spininiń bar ekenligi haqqındaǵı gipotezanı, al keyinirek qadaǵan etiw principin usındı. Bul princip boyınsha spindi esapqa alganda eki elektronní birdey kvant sanlarına iye bolıwı mümkin emes. Bunnan keyin elektronlardıń atomlardaǵı elektronlıq qabıqlar boyınsha (orbitalar boyınsha) qalayınsha hám nelikten tap sonday bolıp tarqalǵanlıǵı ayqın boldı. 1920-jılı metallardıń nelikten jaqsı elektr ótkizgishlikke iye ekenligin túsindire alatuǵın elektronlıq teoriyası tiykarınan dóretildi. 1930-jılı ferromagnetizm qubılısı túsindirildi.

SHeshilmegen mınaday mashqala qaldı: kulonlıq iyterilis kúshleriniń bar bolıwına qaramastan, atomniń yadrosındaǵı protonlardı qanday kúshler uslap turadı? Gamov yadrolarda suyiqliqtıń tamshısındaǵı bet kerimi kúshleri sıyaqlı bet kerimi kúshleri bar dep boljadı hám usınıń saldarınan jemisli bolǵan "yadronıń tamshı modeli" payda boldı. 1935-jılı Yaponiyaly fizik X.Yukava yadrolıq kúshlerdiń modelin islep shıqtı. Bunday kúshlerdiń kvantları ayrıqsha türdegi bóleksheler bolıp shıqtı. Bul bóleksheler 1947-jılı kosmoslıq nurlardıń quramında tabıldı hám pi-mesonlar atamasına iye boldı.

1932-jılı Çedvik Pezerford tárepinen 1920-jılları boljap aytılǵan neytrondı ashti. YAdronıń strukturası endi ayqın boldı. 1919-jılı Pezerford kóp sanlı elementlerdiń atomlarınıń yadrolarınıń idıraw ónimleriniń ishinde vodorod atomınıń yadrosın taptı.

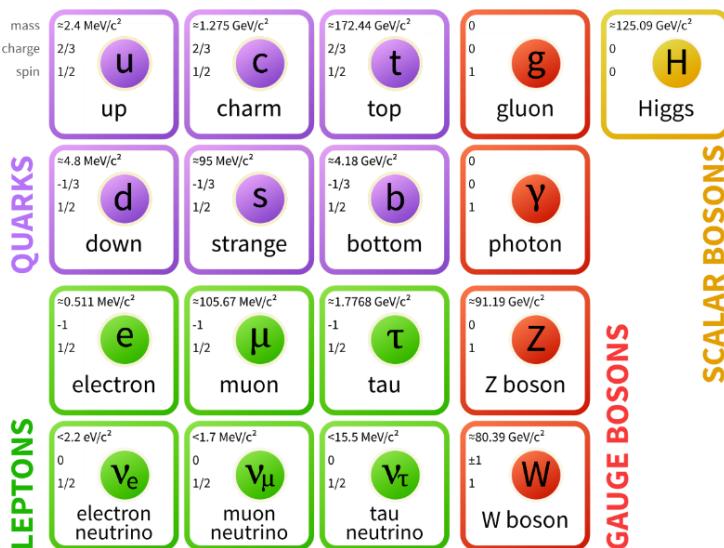
Ol hár qıylı nıshanalardaǵı  $\alpha$ -bóleksheleriniń shashırawı boyınsha eksperimentlerin dawam etiwdiń barısında azot atomlarınıń yadroların  $\alpha$ -bóleksheler menen bombalaǵanda olardan óń zaryadlanǵan bólekshelerdiń ushıp shıǵatuǵınlıǵıń baqladı. Bul bólekshelerdiń zaryadınıń absolyut shaması elektronní zaryadına teń ekenligi, al belgisiniń óń ekenligi belgili boldı. Bóleksheniń massası elektronní massasınan shama menen 2000 ese úlken bolıp shıqtı. Basqa nıshanalardı paydalanyıp tájiriybelerdi qaytalaǵanda óń zaryadlanǵan bólekshelerdiń basqa da atomlardıń yadrolarının ushıp

shıǵatuǵınlıǵı málım boldı. Protonlar eń dáslep tabılǵan yadrolıq reakciya bılayınsha jazılaǵı:



Pezerford bul bóleksheni 1920-jılı proton dep atadı hám protonlar barlıq atomlardıń yadrołarına kiredi dep boljadı.

1932-jılı amerikalı fizik Anderson tárepinen kosmoslıq nurlardı Vilson kamerasınıń járdeminde baqlawlardıń barısında fundamentallıq bólekshe bolǵan pozitron ashıldı. "Pozitron" atamasın Andersonniń ózi oylap taptı. Pozitronniń bar ekenligin 1928-jılı Pol Dirak óziniń relyativistlik tolqın teńlemeſiniń tiykarında boljaǵan edi. Dirak teoriyası teris elektr zaryadına iye bolǵan tek elektronıń gána táriyiplep qoýǵan joq, al zaryadı oń bolǵan tap sonday bóleksheni de táriyipledi. Tábiyatta usınday bóleksheniń joq ekenligi geypara alımlar tárepinen Dirak teńlemeſeleriniń "artıqmash sheshimleri" niń bar ekenligi túrinde qabil etildi. Biraq, qalay degen menen pozitronniń ashılıwı teoriyanı saltanatlı jeńisi bolıp tabıldı. 1934-jılı Enriko Fermi beta-ıdırıawdıń teoriyasın baspadan shıǵardı. Bul teoriya boyıńsha yadrodaǵı neytron elektronıń hám jáne qanday-da bir zaryadı joq bóleksheni (sol waqtıları ele tabılmaǵan) shıǵarıp protonǵa aylanadı. Col zaryadı joq bólekshe Fermi "neytrino" atamasın berdi. Neytronniń ıdırıawın teoriyalıq jaqtan tiykarlaw ushın joqarıda esletip ótilgen "kúshlı" tásirlesiw menen bir qatarda jáne bir (tórtinshi) fundamentallıq tásirlesiwdi kirgiziwdıń zárúrlıǵı payda boldı hám bul tásirlesiw "ázzi" tásirlesiw atamasına iye boldı.



Elementar bólekshelerdiń standart modeli: 12 fermion hám 5 bozon

1938-jılı Otto Gan menen Fric SHtrassmanlar uran yadrosınıń bólinetuǵınlıǵıń taptı. Usı waqıyadan hám yadrolıq bomba soǵılǵannan keyin fizika ilimi dúnýalıq tariyxtı qálipléstiretuǵıń qurallardıń birine aylandı.

1967-jılı Ctiven Vaynberg penen Adbus Calamlar SHeldon Li Gleshoudıń baspadan shıqqan "elektrázzi" modelin paydalانıp tórt fundamentallıq óz-ara tásirlesidiń úshewin (gravitaciyadan basqasın) biriktiretuǵıń "standart model" dep atalatuǵıń modeldi islep shıqtı. Standart model tárepinen bar ekenligi boljanǵan Xiggs bozonı ashılǵannan keyin onı mikrodúnýa haqqındaǵı házirgi zaman kóz-qaraslarınıń tiykarı dep esaplaydı (oniń

durıslığın tekserip kóretuğın hám onı qollanıwdıń shegaraların aniqlaytuǵın eksperimentler dawam etip atırǵan bolsa da).

#### 4.6.11.4. Kvantlıq teoriya



Maks Plank



Nils Bor



Lui de Broyl



Ervin SHrödinger



Pol Dirak

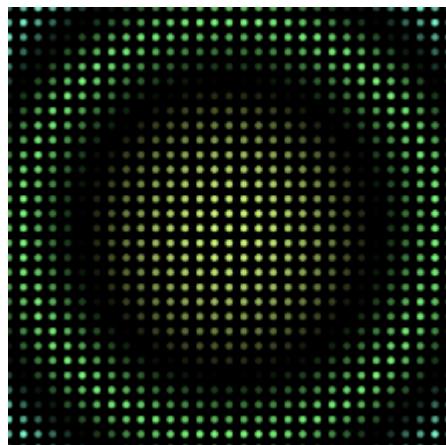
1880-jılı absolют qara deneniń nurlarıń spektri eksperimentlerde alındı. Energiyanıń jiyilikler boyınsha tarqalıwın, sonıń ishinde spektrdiń ayrıqsha uzın (infracızıl) tolqınları ushın sol waqtları bar bolǵan teoriyalardıń hesh qaysısı túsindire almadı. Durıs formulaniń 1900-jılı Maks Plank saylap ala aldı. Bir neshe hápteden keyin ol alıngan formulaniń eksperimentlerdiń nátiyjelerine dál sáykes keliwi ushın energiyanıń nurlarınlıwı menen jutılıwın porciyalar túrinde júzege keledi dep esaplardıń zárür ekenligin aniqladı. Bul porciyalardıń en kishi shaması tolqinnıń jiyiligine proporsional bolǵan bazı bir shamanadan (kvanttan) kishi bolmawı kerek eken. Planktıń ózi dáslep usınday modeldi tek matematikalıq hiylekerlik dep qaradı. Ol hátte biraz waqt ótkennen keyin de (1914-jılları) óziniń ilimge qosqan teoriyasın biykarlawǵa tırısti. Biraq bul mäsede tabisqa erise almadı.

Jaqtılıq kvantları gipotezasın dárhál qabil etti hám kvantlanıwdı jaqtılıqtıń zatlar menen tásir etisiwine ǵana tiyisli emes, al jaqtılıqtıń óziniń qásiyeti dep esapladi. Usı tiykarda ol 1905-jılı fotoeffekttiń teoriyasın, al 1907-jılı bolsa qattı denelerdiń jıllılıq sıyımlığınıń teoriyasın dóretti. Eynshteynge shekem tómengi temperaturalarda jıllılıq sıyımlığınıń teoriyası menen eksperimentlerdiń arasında sáykeslik bolmadı. 1912-jılı Debay menen Bornlar Eynshteynniń jıllılıq sıyımlığı teoriyasının dálligin joqarılıtta hám eksperimentlerdiń nátiyjeleri menen sáykes keliw támiyinlendi. Fotoeffekttiń Eynshteyn teoriyasınıń durıs ekenligi Milliken ótkergen tájiriybelerde 1914-1916-jılları tolıq dálillendi.

En aqırında, 1920-jılları klassikalıq kóz-qaraslar boyınsha túsindiriwdıń múmkinshiliği joq bir neshe kvantlıq qubılsılar ashıldı. Olardıń ishinde rentgen nurları jeńil gazlarda shashıraqanda baqlanatuǵın Kompton effekti ayrıqsha orındı iyeleydi. 1923-jılı Kompton Eynshteynniń 1917-jılı jumıslarınıń tiykarında bul qubılistıń teoriyasın islep shıqtı.

1911-jılı jáne bir kvantlıq qubılıs asa ótkizgishlik ashıldı. Bul qubılıs óziniń teoriyalıq jaqtan túsindiriliwin tek 1950-jılı ógana aldı (Ginzburg-Landau teoriyasında, bunnan keyin Bardin-Kuper-SHriffer teoriyasında).

Elektronlardıń difrakciyası.  
Elektron mikroskopındaǵı túri.



Colay etip, elektromagnit maydan ushın "korpuskulalıq-tolqınlıq dualizm" tán eken. 1923-jılı francuz fizigi Lui de Broyl usınday dualizm tek jaqtılıqqa emes, al zatlarga da tiyisli dep boljadı. Hár bir materiallıq bólekshege ol belgili jiyilikke iye bolǵan tolqındı sáykes keltirdi. Bul optikadaǵı Ferma principiniń nelikten Mopertyu principine uqsas ekenligin, al ornıqlı Bor orbitalarınıń nelikten ornıqlı bolıw sebebin túsindirdi: orbitanıń uzınlığında pútin san eselengen de Broyl tolqın uzınlığı jaylasadı eken. Col jılda júz bergen sátli sáykes keliw mınadan ibarat boldı: amerikalı fizikler Devisson menen Djermer elektronlardıń qattı denelerden shaǵılısıwın izertledi hám elektronlardıń de Broyl tárepinen boljanǵan difrakciyasınaptı. Onnan da burınraq, 1921-jılı elektronlardıń tolqınlıq qásiyetleri Pamzauer effektinde<sup>7</sup> tabıldı, biraq sol waqtları bul effektke jetkilikli dárejede itibar berilmedi. 1930-jılı Otto SHtern ótkergen juqa tájiriybelerde atomlar menen molekulalar ushın tolqınlıq effektler baqlandi.

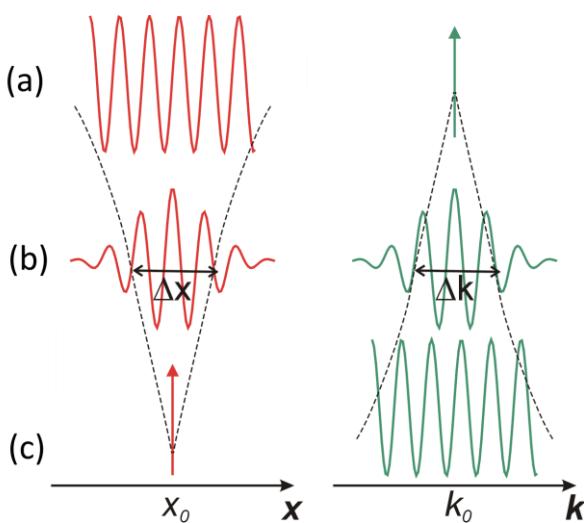
1925-jılı Verner Geyzenberg subatomlıq qubılıslardıń teoriyasında tek baqlanatuǵın shamalardı paydalaniwdı usındı (koordinatalar, orbitalar h.t.b. baqlanbaytuǵın shamalardıń qatarına kireti). Baqlanatuǵın shamalardı aniqlaw ushın ol kvantlıq mexanikanıń "matricalıq mexanika" dep atalatuǵın bólimin döretti. Maks Born menen Йordanlar klassikalıq shamalarǵa ermitlik matricanı sáykes keltiretuǵın qaǵıydalardı islep

<sup>7</sup> Pamzauer effekti (Pamzauer-Taunsend effekti ataması da qollanıladı) - neytral gazlerdiń atomlarındaǵı kishi tezlik penen qozǵalatuǵın elektronlardıń anomallıq túrdegi ázzi shashırawı qubılısı bolıp tabıladı. Birinshi ret 1921-jılı nemis fizigi Karl Pamzauer tárepinen elektronlardıń argondaǵı shashırawın izertlewdiń barısında baqlandi. Keyinirek bul effekt basqa da zatlarda baqlandi.

Bul effektti klassikalıq mexanikanıń kóz-qarasları tiykarında túsindiriwdiń mümkinshiliği joq, sonlıqtan onıń ashılıwi kvantlıq mexanikanıń qáliplesiwinde áhmiyetli orındı iyeledi. De Broyl gipotezası boyınsha elektron tolqınlıq qásiyetke iye boladı. Bunday jaǵdayda Pamzauer effekti optikadaǵı Puasson daǵına uqsas. Elektron ushın "ekrannıń" ornın atom iyeleydi. Eger de Broyl tolqınnıń uzınlığı atomnıń sızıqlı ólshemi menen salıstırıralıqtay bolsa, onda elektronnıń difrakciyasınıń saldarınan atomnıń artında elektronlıq tolqınnıń maksimumı payda boladı - elektron atomda shashıramay, onı "aylanıp" ótedi.

shıqtı. Nátiyjede klassikalıq mexanikanıń hár bir differentiallıq teńlemesi kvantlıq differentiallıq teńlemege aylandı.

De Broyl menen Geyzenbergtiń ideyalarınıń sintezin Ervin Shrédinger júzege keltirdi. Ol 1926-jılı jańa obъekt bolǵan tolqın funkciyası ushın ózi keltirip shıgarǵan Shrédinger teńlemesiniń bazasında "tolqınlıq mexanikası" dóretti. Shrédingerdiń ózi jańa tolqınlıq mexanikanıń matricalıq mexanikaǵa ekvivalent ekenligin kórsetti: Geyzenberg matricalarınıń elementleri kóbeytkishke shekemgi dállikte Gamilton operatorınıń menshikli funkciyaları, al energiya menshikli mánisler bolıp shıqtı. Bunday türdegi tolqınlıq mexanika matricalıq mexanikaǵa qaraǵanda qolaylı bolıp shıqtı hám sonlıqtan kóp uzamay ulıwma qabil etilgen mexanikaǵa aylandı. Dáslep Shrédinger tolqın funkciyasınıń amplitudasın zaryadtıń tígizligin táriyipleysi dep boljadı, biraq bul pikir kóp uzamay biykarlandı. 1926-jılı Bornnıń usınısı menen tolqın funkciyasınıń moduliniń kvadratı bóleksheni tabıwdıń itimallığınıń tígizligi sıpatında qabil etildi ("kopengagenlik interpretaciya").



Korpuskulalıq-tolqınlıq dualizm hám anıqsızlıq principi:

- (a) Tolqın, jiyilik belgili, orın anıqlanbaǵan;
- (b) Ulıwma jaǵday: jiyilik hám orın ushın anıqsızlıq bar;
- (c) Bóleksheniń orı belgisiz, jiyilik belgisiz.

1927-jılı Geyzenberg anıqsızlıq principin keltirip shıgardı: mikroobъekttiń koordinatası menen impulsin bir waqıtta dál anıqlaw mümkin emes, koordinatanıń mánisiniń dálligin joqarılatisı, biz tezliktiń mánisin anıqlawdıń dálligin tómenletiwge májbúrmız. Bor bul tezisti "qosımshalıq principi" ne shekem ulıwmalastırdı: qubılıstı korpuskulalıq hám tolqınlıq táriyiplew bir birin tolıqtırıdı; eger bizdi sebeplilik baylanısı qızıqtıratuǵın bolsa, onda korpuskulalıq táriyiplew, al eger bizdi keńisliklik-waqıtlıq kartına qızıqtıratuǵın bolsa, onda tolqınlıq táriyiplew qolaylı. Haqıyatında mikroobъekt bólekshe de, tolqın da emes. Bul klassikalıq túsiniklerdiń payda bolıwinıń sebebi biziń ásbaplarımızdıń klassikalıq shamalardı ólsheytuǵınlıǵı menen baylanıslı. Bor mektebinıń wákilleri atomnıń barlıq atributları obъektiv türde bolmaydı, al tek baqlawshı menen óz-ara tásirlesiwdiń nátiyjesinde góna payda boladı. "Baqlawdıń usılınan górezsiz bolǵan reallıq joq" (Bor). Kóp sanlı fizikler (Eynshteyn, Plank, de Broyl, Born h.b.) kopengagen interpretaciyasın basqa interpretaciya menen almastırıwǵa tırısti, biraq tabısqə erise algan joq.

Pol Dirak kvantlıq mexanikanıń relyativistlik variantın islep shıqtı (Dirak teńlemesi, 1928-jılı) hám usınıń nátiyjesinde pozitronnıń bar ekenligin boljadı. Bunday jumıslar kvantlıq elektrodinamikanıń payda bolıwına alıp keldi. 1920-jılı kvantlıq ximiya dep atalatuǵın jáne bir ilimniń fundamenti qalandı hám bul ilim valentlik penen ximiyaliq

baylanıstiń mánisin túsındırıp berdi. 1931-jılı zaryadlanǵan bólekshelerdiń birinshi izertlew tezletkishi (ciklotron) paydalaniwǵa berildi. 1935-jılı Eynshteyn-Podolskiy-Pozenniń belgili paradoksı baspadan shıqtı.

1950-jillardıń basında N.G.Basov, A.M.Proxorov hám Җ.Taunslar kvantlıq sistemalar tarepinen elektromagnit nurlarıwdı kúsheytiw menen generaciyalawdıń tiykargı principleri islep shıgıldı. Bunnan keyin bul radiojiyilikli (mazerler) hám optikalıq (lazerler) diapazonlardań nurlarıń principialıq jaqtan jańa derekleriniń döretiliwi ushın tiykargá aylandı. 1960-jılı Teodor Mayman rubin kristallınıń tiykärında birinshi lazerdi (optikalıq kvantlıq generatordı) döretti. Ol tolqın uzınlığı 694 nm bolǵan monoxromat nurlarıń impulslerin generaciyalaydı. Házirgi kúnlerge shekem xarakteristikaları hár qıylı bolǵan kóp sanlı lazerler soǵıldı (spektrdiń optikalıq diapazonınıń hár qıylı bólümleñindegi jaqtılıqtı nurlandıratuǵın gaz, qattı denelerdegi, yarım ótkizgishlerdegi lazerler).

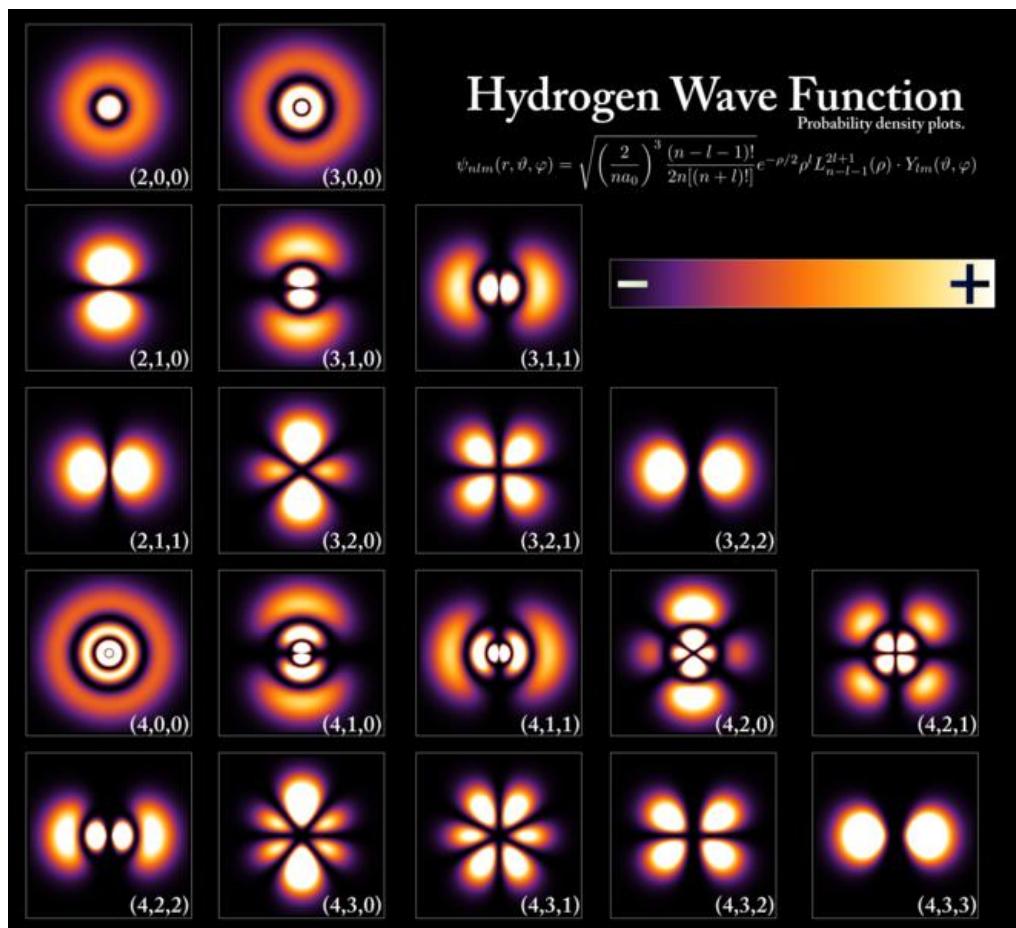
Maydanniń kvantlıq teoriyası döretildi hám eksperimentlerde tekserildi. Gravitaciyanı da esapqa alatuǵın barlıq fundamentallıq óz-ara tásirlesiwlerdi óziniń ishine qamtiytuǵın maydanniń ulıwmalıq teoriyasın izlew boyınsha keń kölemdegi jumıslar islenip atır. XX ásirdiń aqırına shekem gravitaciyanıń kvantlıq teoriyasın döretiw boyınsha jumıslar dawam etti. Olardıń tiykargıları sıpatında supertarlar teoriyası menen quriqlıq kvantlıq gravitaciyanı kórsetiwge boladı. Usınday teoriyanıń ornın iyelewge jáne bir talaban bolǵan M-teoriyanı (supertarlar teoriyasınıń jaqın waqtılar ishindegi rawajlanıwı) kórsetiwge boladı.

Maydanniń kvantlıq teoriyasınıń matematikalıq usılları teoriyalıq qattı deneler fizikasında da tabıslı türde qollanıldı.

**Qosımsha:**

Kvantlıq (tolqınlıq) mexanika tábiyattı atomlardıń hám subatomlıq bóleksheler mashtabında tábiyattı táriyipleytuǵın fundamentallıq fizikalıq teoriya bolıp tabıladı. Ol barlıq kvantlıq fizikanıń tiykärında jatadı (sonıń ishinde kvantlıq ximiya, maydanniń kvantlıq teoriyası, kvantlıq texnologiya hám kvantlıq informatika da bar).

Kvantlıq mexanika payda bolaman degenshe bar bolǵan teoriyalardıń jıynaǵı bolǵan klassikalıq fizika tábiyattıń kóp sanlı aspektlerin ádettegi mashtablarda táriyipleydi, biraq ol kishi mashtablarda (atomlıq hám subatomlıq) sol aspektlerdi sanlıq táriyiplew ushın jetkilikli emes. Klassikalıq fizikanıń teoriyalarınıń kóphsiligin kvantlıq mexanikadan úlken (makroskopiyalıq) mashtablarda durıs bolatuǵınday etip keltirip shıgariwǵa boladı.



Vodorod atomındaǵı hár qıylı energiya qáddilerindegi elektronniú tolqın funkciyaları.

Kvantlıq mexanika bóleksheniń keńisliktegi iyelegen ornın dál boljay almaydı, al keńisliktiń noqatınıń átiparındaǵı kishkene oblastta tabılıwınıń itimallıǵıń ayta aladı.

Jarıqlaw oblastlar elektronrådı tabıwdıń joqarı itimallıǵıń kórsetedı.

Kvantlıq mexanikanıń klassikalıq fizikadan ayırması mınadan ibarat: sistemaniń baylanısqan halınıń energiyası, impulsı, múyeshlik momenti hám basqa da shamalar iqtıyarlı mánislerge iye bola almaydı, al diskret mánisler menen sheklengen (kvantlanıw), objeektler bóleksheniń de, tolqınnıń da qásiyetlerine iye (korpuskulalıq-tolqınlıq dualizm) hám baslangısh shártlerdiń berilgen tolıq jiynaǵı bar bolǵan jaǵdayda fizikalıq shamanıń ólshewge shekemgi mánisin bizlerdiń dál boljawımızǵa qoyılatuǵın shekler orın aladı (anıqsızlıq principlsı).

Kvantlıq mexanika baqlawlardı klassikalıq fizikanıń túsinikleri menen sáykes kelmeytuǵın teoriyalardan izbe-izlik penen payda boldı. Bunday teoriyalardıń qatarına 1900-jılı Maks Planktıń absolyut qara deneniń jıllılıq nurlanıw mashqalasın sheshiwi hám Albert Eynsteynniń 1905-jılı jarıq kórgen fotoeffektti túnsindiriw ushın jaqtılıq kvantınıń energiyası menen jiyiliği arasındaǵı sáykeslikti ornatqan maqalasın kórsetiwge boladı. Házirgi waqtları "eski kvantlıq teoriya" ataması menen belgili bolǵan bul eń dáslepki tırısıwlар 1920-jıllardıń ortalarında Nils Bordıń, Ervin SHredingerdiń, Verner Geyzenbergtiń, Maks Bornníń hám basqalardıń jumıslarında kvantlıq mexanikanıń joqarı pátler menen rawajlanıwına alıp keldi. Házirgi teoriya arnawlı türde islep shıǵılǵan matematikalıq formalizmlerdi paydalaniw menen keltirip shıǵarıladı. Olardıń birinde tolqın funkciyası dep atalatuǵın matematikalıq mańız energiyası, impulsti hám

bóleksheniń basqa da fizikalıq qásiyetlerin ólshewler alıp keletugın nátiyjelerdiń itimallığınıń amplitudası túrindegi informaciyanı beredi.

### **SHolıw hám tiykargı túsinikler.**

Kvantlıq mexanika fizikalıq sistemalardıń qásiyetlerin esaplawǵa múmkinshilik beredi. Ádette onı mikroskopiyalıq sistemalar bolǵan molekulalar, atomlar hám subatomlıq bóleksheler ushın qollanadı. Kvantlıq mexanikanıń mívlaǵan atomları bar quramalı molekulalardı durıs táriyipleytuǵınlıǵı da kórsetildi. Biraq bul máselede ayırım adamlarda filosofiyalıq sorawlar hám paradokslar payda boladı. Olardıń qatarına Vignerdiń paradoksın jatqarıwǵa boladı. Ásirese onı Álem ushın paydalaniwǵa tırısıw tutası menen alganda spekulyaciyalıq háreketler bolıp tabıldadı.

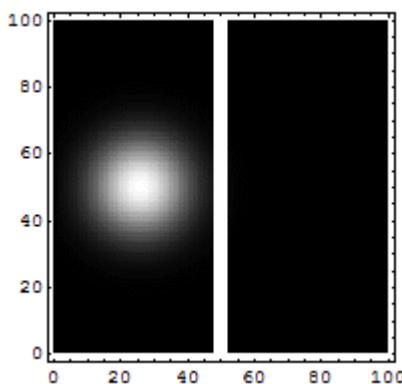
Vigner paradoksınıń SHrödingerdiń pıshıq penen ótkergen eksperimentiniń quramalı variantı bolıp tabıldadı hám bul haqqında keyinirek gáp etemiz.

Kvantlıq teoriyanıń fundamentallıq ózgesheligi onıń fizikalıq shamalardıń (dinamikalıq ózgeriwshilerdiń) mánislerin anıq aytı almawınan, al tek olardı ólshewdiń itimallığın beriwinen ibarat. Matematikalıq itimallıq "itimallıq amplitudası" ataması menen belgili bolǵan kompleksli sanniń absolyut mánisin kvadratqa kóteriw joli menen tabıldadı. Bul tastıyıqlaw Born qaǵıydası ataması menen belgili (Belgili fizik Maks Bornníń húrmetine). Mısalı, elektron sıyaqlı kvantlıq bóleksheshe keńisliktiń hár bir noqatında itimallıqtıń amplitudasın beretuǵın tolqın funkciyası menen táriyiplenedi. Bul amplitudalarǵa Bornníń qaǵıydasın paydalaniw bóleksheniń koordinatası ushın itimallıqtıń tıǵızlığınıń funkciyasın anıqlaydı (eger bóleksheniń koordinatasın ólshew boyınsha eksperiment qoyılatuǵın bolsa). Bul teoriya bere alatuǵın nátiyjeniń eń jaqsısı bolıp tabıldadı. Elektronniń qaysı orında tabılatuǵınlıǵın dál aytıwǵa bolmaydı. SHrödinger teńlemesi sistemanıń waqıt boyınsha evolyuciyasın táriyipleydi, yaǵnıı waqıttıń bir momentine tiyisli bolǵan amplitudalardıń jiynaǵın waqıttıń basqa momentine tiyisli bolǵan itimallıqlar amplitudalarınıń jiynaǵı menen baylanıstırıdı.

Hár qıylı ólshenetuǵın shamalardı anıqlaw barısındaǵı tırısıwlardaǵı kompromiss kvantlıq mexanikanıń matematikalıq qaǵıydalarınıń nátiyjeleriniń biri bolıp tabıldadı. Usınday kompromisstiń eń belgili forması anıqsızlıq princiþi. Bul princip boyınsha kvantlıq bóleksheniń halınıń qanday dárejede muqıyatlı tayarlanganlıǵınan, ólshewlerdiń qanshama sheberlik penen dálligi joqarı bolǵan ásbaplardıń járdeminde ótkerilgenliginen ǵárezsiz, waqıttıń bir momentindegi bóleksheniń koordinataları menen impulsiniń mánislerin anıqlawdıń múmkinshılıgi joq.

Kvantlıq mexanikanıń matematikalıq qaǵıydalarınıń jáne bir nátiyjesi kvantlıq interferenciya bolıp tabıldadı. Bunday interferenciyaǵa mísal sıpatında ádette eki sańlaqqa iye bolǵan tájiriybe alınadı. Bul eksperimenttiń bazalıq variantında jaqtılıqtıń kogerentli deregi (mısalı, lazer) bir birine parallel bolǵan eki sańlaqqa iye móldır bolmaǵan plastinkanı jaqtılındırادı hám sańlaqlar arqalı ótken jaqtılıq plastinkanıń artına jaylastırılgan ekranda baqlanadı. Jaqtılıqtıń tolqınlıq tábiyatı jaqtılıq tolqınlarınıń eki sańlaq arqalı ótetüǵınlıǵıń hám ekranda qarańğı hám jaqtılı jolaqlardan turatuǵın interferenciyalıq súwrettiń payda bolatuǵınlıǵıń ańǵartadı. Eger jaqtılıq klassikalıq bólekshelerden turatuǵın bolǵanda bunday nátiyje alınbágan bolar edi. Biraq, tájiriybeler barlıq waqitta jaqtılıqtıń ekrannıń ayırım noqatlarında ayırım bóleksheler túrinde (al tolqınlar túrinde emes) jutilatuǵınlıǵıń kórsetedi. Interferenciyalıq súwret bólekshelerdiń

túsiwiniń saldarınan fotoplastinkadaǵı payda bolǵan qara noqatlardıń hár qıylı tiǵızlıqlarǵa iye bolatuǵınlıǵı sebepli qáliplesedi. Usınıń menen birge, tájiriybeniń basqa variaciyalarında sańlaqlarǵa ornalastırılǵan detektorlar baqlanatuǵın hár bir fotonnıń klassikaliq bólekshe sıyaqlı tek bir sańlaq arqalı ótetüǵınlıǵın, al eki sańlaq arqalı ótpetyuǵınlıǵın (tolqın tárizli) kórsetedi. Bul eksperimentlerden bólekshelerdiń qaysı sańlaq arqalı ótetüǵınlıǵın anıqlaǵan jaǵdayda interferenciyalıq súwret payda bolmaydı dep juwmaq kelip shıǵadı. Elektronlar sıyaqlı atomlıq masshtablardaǵı basqa objeektler de eki sańlaǵı bar ekranǵa kelip túskende tap sonday qásiyetti kórsetedi. Mikroobjeektlerdiń usınday qásiyeti "korpuskulalıq-tolqınlıq dualizm" ataması menen belgili hám ol kvantlıq mexanikanıń fizikalıq tiykarı bolıp esaplanadı (geypara avtorlar bul dualizmdi kvantlıq mexanikanıń "júreginde jaylasqan" dep aytadı).



Tunnellik effekt.

Kvantlıq mexanika elektronlardıń potenciallıq barer arqalı óte alatuǵınlıǵın kórsetedi hám onıń durıs ekenligin eksperimentlerdiń nátiyjeleri tastıyıqlaydı. Al klassikaliq mexanika bolsa tunnellik effekttiń bolıwı mümkin emes dep esaplaydı.

Kvantlıq mexanikanıń kúndelikli tájiriybelerge qayshi keletuǵın jáne bir qubılısı kvantlıq tunnelleniw bolıp tabıldır. Bunday tunnelleniwde kinetikalıq energiyasınıń shaması potencialdıń maksimumınıń shamasınan kishi bolǵan jaǵdayda da potenciallıq barer menen soqlıǵısqanda bólekshe usı barer arqalı óte aladı. Klassikaliq mexanikada bul bólekshe barlıq waqitta barerde shaǵılısadı. Kvantlıq tunnelleniw kóp sanlı baqlanatuǵın nátiyjelerge iye. Olardıń ishine radioaktivlı ıdrıraw, juldızlardaǵı yadrolıq sintez kiredi. Conıń menen birge ol skanerlewshi tunnellik mikroskopiyaniń, tunnellik diodlardıń payda bolıwına alıp keldi.

Kvantlıq sistemalar bir biri menen tásirlesetuǵın jaǵdaylardıń nátiyjesi kvantlıq shatasıwdıń payda bolıwı mümkin: olardıń qásiyetleri sonday baylanısqan bolıp, olardı pútini menen ayırm bólimleriniń terminlerinde táriyiplew mümkin bolmaydı. SHrödinger shatasıwdı bılayınsha táriyipledi: "... kvantlıq mexanikanıń ózine tán belgisi - túsinidıń klassikaliq jollarınan tolıq bas tartıw" (inglizshe "... the characteristic trait of quantum mechanics, the one that enforces its entire departure from classical lines of thought").

Kvantlıq shatasıw kvantlıq psevdotelepatiyaniń aqılǵa sáykes kelmeytuǵın qásiyetlerin júzege keltiredi hám giltlerdiń kvantlıq tarqalıwı hám asa tiǵız kodlaw sıyaqlı baylanıs protokollarında júdá bahalı usılǵa aylana aladı. Ulıwma qáte túsinikke qaramastan, shatasıw signallardı jaqtılıqtıń tezliginen úlken tezlik penen jetkerip beriwegé mümkinshilik bermeydi. Bul jaǵdaydılın orın alatuǵınlıǵın baylanıstıń joqlıǵı haqqında teorema demonstraciyalay aladı.

SHatasıw tárepinen ashılatuǵın basqa mümkinshilik "jasırın ózgeriwshilerdi" tekserip kóriwden ibarat. Bul "jasırın ózgeriwshiler" kvantlıq teoriyanıń ózinde qaralatuǵın

shamalarǵa salıstırǵanda fundamentallıraq. Olardı biliw kvantlıq teoriya bere alatuǵın boljawlardan dálirek boljawlardı bergen bolar edi. Alınǵan nátiyelerdiń kópshılıgi, birinshi gezekte Bell teoreması jasırın parametrlerge iye bolǵan usınday teoriyalardıń haqıyatında kvantlıq mexanika menen úylespeytugınlıǵıń kórsetti. Bell teoremasına sáykes, eger tábiyat haqıyatında da lokallıq jasırın ózgeriwshilerdiń teoriyası menen táriyiplenetugıń bolsa, onda Bell teńsizliklerin tekserip kóriwdiń nátiyeleri sanlıq bahalawǵa bolatuǵınday dárejede sheklengen boladı. SHatasqan bólekshelerdi paydalangan halda Belldiń kóp sanlı testleri ótkerildi hám olardıń nátiyeleri lokallıq jasırın parametrler bar teoriyalar tárepinen qoyılatuǵın sheklerge sáykes kelmeytuǵın bolıp shıqtı.

Eger ayqın matematikanı paydalabasa bul túsinklerdi hátte ústirtin kóz aldıǵa keltiriwdiń múmkinshılıgi joq; kvantlıq mexanikanı túsiniw ushın kompleksli shamalar menen manipulyaciylar jetkilikli emes, al sızıqlı algebranı, differenciallıq teńlemelerdi sheshe alıwdı, gruppalar teoriyasın hám matematikanıń basqa da quramalı oblastların biliw talap etiledi. Fizik Djon K. Baez bılay dep eskertedi: "... kvantlıq mexanikanıń máselelerin sheshe almay turıp onıń interpretaciyaların túsiniwdiń múmkinshılıgi joq, bul teoriyanı túsiniw ushın onı paydalana biliw kerek (hám kerisinshe)" (inglizshe "... there's no way to understand the interpretation of quantum mechanics without also being able to solve quantum mechanics problems — to understand the theory, you need to be able to use it (and vice versa)").

Karl Cagan kvantlıq mexanikanıń "matematikalıq tiykarlawın" ulıwma türde sıpatlap, minalardı jazdı:

"Kóplegen fizik-studentler ushın bul olarǵa úshinshi klasstan baslap aspiranturaniń baslanıwına shekemgi waqıttı shama menen 15 jıldı alıwı múmkin. ( ... ). Ilimiń násiyatlawshınıń kvantlıq mexanika haqqında qanday da bir ideyanı usı etaptan ótpegen keń auditoriyaǵa jetkiziwge tırısatıuǵın jumısınıń kólemi qorqınıshlı bolıp kórinedi. Haqıyatında da, meniń oyımsha, kvantlıq mexanikanı kópshilik ushın túsinkli etip bayanlawdıń múmkinshılıgınıń joq ekenligi usı jaǵday menen baylanıslı".

Usıǵan sáykes, bul maqalada kvantlıq mexanikanıń matematikalıq formulirovkası keltirilgen hám onıń bazı bir paydalı hám jiyi úyreniletuǵın mísallardaǵı qollanılıwı qarap ótilgen.

### **Tariyxı.**

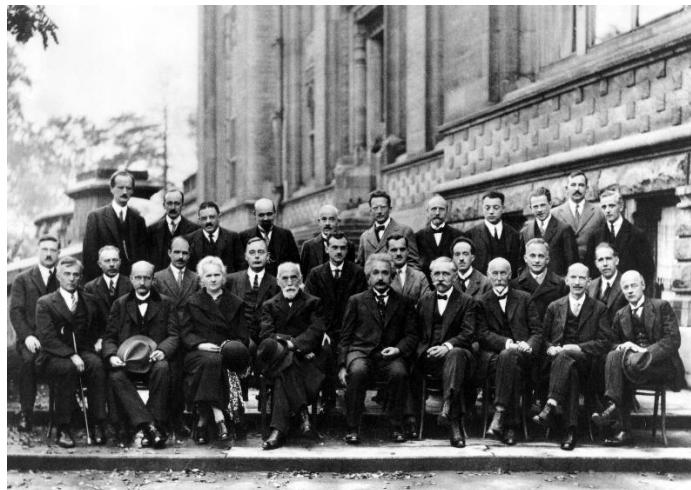
Kvantlıq mexanika 20-ásirdiń birinshi on jıllıqlarında klassikalıq jaqınlaşısıwdıń sheklerinde túsindiriw múmkin bolmaǵan qubılıslardı túsindiriw zárúrligine baylanıslı islep shıǵıldı. Jaqtılıqtıń tolqınlıq tábiyatın izertlew XVII hám XVIII ásirlerde baslandı. Usı waqıtları Robert Guk, Xristian Gyuygens hám Leonard Eyler sıyaqlı alımlar jaqtılıqtıń eksperimentallıq baqlawlarǵa tiykarlangan tolqınlıq teoriyasın usındı. 1803-jılı inglez eruditı Tomas YAng eki sańlaq penen ótkerilgen eksperimentti táriyipledi. Bul eksperiment jaqtılıqtıń tolqınlıq teoriyasınıń moyınlanıwında áhmiyetli orındı iyeledi.

19-ásirdiń basında Djon Daltonnıń hám Amedeo Avogadronıń ximiyalıq izertlewleri materiyanıń atomlıq teoriyasına salmaq berdi. Onıń tiykarında Djeyms Klerk Maksvell, Lyudvig Bolcman hám basqa da alımlar gazlardıń kinetikalıq teoriyasın dóretti. Kinetikalıq teoriyanıń tabislari materiyanıń atomlardan turatuǵınlıǵı haqqındaǵı ideyaǵa isenimdi jáne de bek kemledi, biraq bul teoriyanıń tek kvantlıq mexanikanıń rawajlanıwı menen

saplastırılıwı mûmkin bolǵan kemshilikleri de boldı. Grek filosofiyasındaǵı atomlardıń eski koncepciyasınday, sol waqıtları atomlardı bólinbeytuǵın birlikler sıpatında qabil etti. XIX ásirde subatomlıq struktura haqqındaǵı gipotezalar payda boldı. Bul máseledegi eń áhmiyetli ilimiý ashılıwlardıń biri Maykl Faradey tárepinen 1838-jılı tómengi basımǵa iye shiyshe trubkanıń ishinde elektr razryadı tárepinen payda etilgen jiltildı jaqtılıqtıń shıǵatuǵınlıǵınıń baqlanıwı bolıp tabıladı. YUlius Plyukker, logann Vilgelm Gittorf hám Oygen Goldshteyn Faradeydiń jumısın dawam etti hám jetiliştirdi. Nátiyjede olar katod nurların taptı. Al, Dj. Dj. Tomson bolsa katod nurlarınıń keyinirek elektronlar atamasına iye bolǵan subatomlıq bólekshelerden turatuǵınlıǵın kórsetti.



Maks Plankı kvantlıq teoriyanıń atası dep esaplaydı.



Bryussel qalasında 1927-jılı bolıp ótken Colvey konferenciyası fizika boyınsha besinshi jer júzilik konferenciya bolıp tabıladı.

Qara deneniń nurlanıw mashqalası Gustav Kirxgof tárepinen 1859-jılı ashıldı. 1900-jılı Maks Plank energiya "kvantlar" (yamasa energiya paketleri) túrinde nurlandırıladı hám jutıladı degen gipotezanı usındı. Bul absolyut qara deneniń nurlanıwınıń baqlanatuǵın spektrin túsındırıwge mûmkînshilik berdi. "Kvant" sózi latín sózi bolıp tabıladı hám ol "qansha" degen mánisti beredi. Plank boyınsha energiyanıń muǵdarın "elementlerge" bólingen dep qarawǵa boladı, energiyanıń hár bir "elementiniń" shaması ( $E$ ) olardıń jiyligine ( $\nu$ ) proporsional:

$$E = \hbar\nu.$$

Bul ańlatpadaǵı  $\hbar$  shaması Plank turaqlısı dep ataladı. Plank abaylap, bul jaǵdaydı nurlanıwdıń jutılıw hám nurlanıw processleriniń tek aspekti, al nurlanıwdıń fizikalıq ózgesheligi emes dep túsındırıwge tırısti. Ol haqıyatında óziniń kvantlıq gipotezasın tek matematikalıq hiylekerlik dep esaplaw menen zor ilimiý ashılıw dep qabil etiwdiń qaysısın saylap aliwdı bilmedi. Biraq, 1905-jılı Albert Eynshteyn Planktuń gipotezasın durıs interpretacyaladı hám onı fotoelektrlik effektı (fotoeffektı) túsındırıw ushın paydalandi. Fotoeffektte belgili materiallarga túskenn jaqtılıq usı materiallardan elektronlardı ushırıp shıǵara aladı. Bunnan keyin Nils Bor Planktuń nurlanıw haqqındaǵı ideyaların rawajlandırdı hám onı vodorod atomınıń modeline kírgizdi hám nátiyjede vodorotdıń spektrallıq sızıqların tabisli túrde boljay aldı. Jaqtılıq sıyaqlı elektromagnit tolqındı jiyilikten górezli bolǵan energiyanıń diskret mánisine iye bolatuǵın bólekshe (keyinirek foton atamasına

ije bolǵan) dep táriyiplewdiń múmkin ekenligin boljap, Eynshteyn bul teoriyanı jáne de rawajlandırdı. Óziniń "Nurlanıwdıń kvantlıq teoriyası" (ingliz tilinde "On the Quantum Theory of Radiation") maqalasında Eynshteyn atomlardıń energiyani jutıwı menen shıǵarıiwın túsindiriw ushın energiya menen materiyanıń arasında óz-ara baylanısti keńeytti. Col waqıtları bul ideya onıń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń sayasında qalıp qoýgan bolsa da, bul maqalada stimulyacyyalanǵan nurlanıwdıń tiykarında jatatuǵın mexanizm ashıldı. Keyinirek bul mexanizm lazerlerdiń islewineń tiykarǵı principine aylandı.

Kvantlıq teoriyanıń rawajlanıwınıń bul fazası eski kvantlıq teoriya sıpatında belgili. Bul teoriya hesh waqitta tolıq ta, qarama-qarsılıqsız da bolǵan joq, al shinında klassikalıq mexanika ushın evristikalıq jiynaǵınıń ǵana ornın iyeledi. Házirgi waqıtları eski teoriyanı házirgi zaman kvantlıq mexanikasına yarım klasslıq jaqınlasiw dep túsinedi. Usı dáwirdegi joqarıda aytılıp ótilgen Planktiń, Eynshteynniń hám Bordıń jumıslarınan basqa Eynshteyn menen Peter Debaydıń qattı denelerdiń jıllılıq sıyımlığı boyınsha, klassikalıq fizikanıń diamagnetizmdi túsindire almaytuǵınlığı jónindegi Bor menen Xendrik Йoxann van Leuvenniń jumısın hám Arnold Zommerfeldtiń Bor modelin relyativistlik effektlerdi qosıw menen keńeytilgenin kórsetiwge boladı.

1920-jillardıń ortasında atomlıq fizikanıń standart formulirovkasına aylanǵan kvantlıq mexanika islep shıǵıldı. 1923-jılı francuz fizigi Lui de Broyl materia tolgını teoriyasın usındı hám bóleksheler tolqınlıq qásiyetke, al tolqınlar bólekshelik xarakteristikalarǵa iye boladı dep daǵazaladı. De Broylıń ideyasına tiykarlangan házirgi kvantlıq mexanika 1925-jılı tuwıldı. Usı jılı nemis fizikleri Verner Geyzenberg, Maks Born hám Paskual Йordan matricalıq mexanikanı islep shıqtı, al avstriyalı fizik Ervin Shrédinger tolqınlıq mexanikanı oylap taptı. 1926-jılı iyul ayında Born Shrédingerdiń tolqın funkciyasınıń itimallıqtıń interpretaciyasın usındı. Colay etip, kvantlıq fizikanıń bir pútin oblastı payda boldı. Bul jaǵday 1927-jılı bolıp ótken besinshi Colvey konferenciyasında fizikanıń bul tarawınıń keń túrde moyınlaniwına alıp keldi.

1927-jılı V.Gaytler menen F.London vodorod molekulasınıń spektrin esapladi hám molekulalardaǵı ximiyalıq baylanıstiń payda bolıwın túsindirdi. F.Blox kristallıq pánjereniń dáwirlilik potencialındaǵı bólekshelerdiń qozǵalısınıń tiykarın qaladı. Col jılı V.Pauli Shrédinger teńlemesin spindi esapqa alıp ulıwmalastırıldı. 1928-jılı elektron ushın relyativistlik teńleme bolǵan Dirak teńlemesi keltirip shıǵarıldı hám bul teńlemenıń tiykarında antibólekshelerdiń bar ekenligi boljandi.

Eynshteyn kvantlıq mexanikanı tolıq dóretilip bolıngan teoriya, yaǵníy tábiyattı tolıq táriyipletyugın teoriya dep qabil etpedi. Conlıqtan, 1935-jılı shatasqan sistemada payda bolatuǵın paradoks haqqındaǵı maqala payda boldı. Házirgi waqıtları bul paradoksti Eynshteyn-Podolskiy-Pozen paradoksi (EPP-paradoksi) dep ataydı. Shrédinger EPP-paradoksi ideyasın qollap-quwatladı hám Shrédinger pişigín oylap taptı. Bul paradokslar kvantlıq mexanikanıń tiykarın izertlewshilerdiń dıqqatın ózine awdaradı.

Vodorod atomı ushın Shrédinger teńlemesiniń sheshimi analitikalıq formaǵa iye. Biraq, kóp elektronlı atom ushın sheshim belgisiz hám, sonlıqtan, tolqın funkciyasın esaplawdıń hár qıylı juwiq usılları dóretilgen. Mısalı, 1928-jılı ózin-ózi úylestiretuǵın maydan usılin D. Xartri usındı, al 1930-jılı V. A. Fok bul usıldı elektronniń spinin esapqa alıp keńeytti.

K 1930-jılı David Gilbert, Pol Dirak hám Djon fon Neyman tárepinen kvantlıq mexanika qosımsha túrde unifikasiyalandı hám formallastırıldı. Olar tiykarǵı dıqqattı ólshev

processin formallastırıwǵa, reallıq haqqındaǵı biziń bilimlerimizdiń statistikalıq tábiyatına hám "baqlawshı" haqqındaǵı filosofiyalıq tallawlarǵa awdardı<sup>8</sup>. Col dáwirlerden beri bul formallastırıw menen unifikasiyalar kóp sanlı pánlerge, solardıń ishinde kvantlıq ximyaǵa, kvantlıq optikaǵa hám kvantlıq informatikaǵa kirdi. Ol ximyalıq elementlerdiń házirgi waqtılardaǵı dáwirlik sistemasınıń ózgesheliklerin de túsindiredi hám ximyalıq baylanıs payda bolǵan waqittaǵı atomlardıń qanday qásiyetlerge iye bolatuǵınlıǵın hám yarım ótkizgishlerdegi elektronlar toǵın túsindiredi. Conlıqtan, házirgi waqtılardaǵı kóp sanlı texnologiyalarda sheshiwhı orındı iyeleydi. Kvantlıq mexanika dúnyanı júdá kishi mashtablarda táriyiplew ushın dóretilgen bolsa da, ol bazı bir makroskopiyalıq qubılıslardı túsindiriw ushın da zárúrli. Bunday makroskopiyalıq qubılıslardıń qatarına asa ótkizgishler hám asa aqqış suyuqlıqlar kiredi. Birinshi áwlad asa ótkizgishlik qubılısunıń teoriyasın 1957-jılı D. Bardin L. Kuper hám SHriffer döretti.

1954-jılı C. Taunstiń, N. G. Basovtıń hám A. M. Proxorovtıń jumıslarınıń nátyjesinde birinshi mikrotolqınlıq generatorlar bolǵan ammiaktaǵı mazerler payda boldı. Optikalıq diapazondaǵı nurlarıwdı kúsheytıw ushın T. Meyman tárepinen rubin paydalانıldı. 1963-jılı J. Alfërov birinshi yarım ótkizgish geterostrukturaların döretti. Olardiń tiykarında házirgi zaman yarım ótkizgish lazerler soǵıladı.

1980-jılı Pol Benioff kompyuterdiń birinshi kvantlıq-mexanikalıq modelin döretti. Bul jumısında P. Benioff kompyuterdiń kvantlıq mexanikanıń nızamlarına sáykes isley alatuǵınlıǵın kórsetti. Ol Tyuring mashinaların táriyiplew ushın SHrödinger teńlemesin paydalandı hám kvantlıq esaplawlar oblastında jumıslardıń bunnan bılay dawam etiliwi ushın tiykar jaratıp berdi. 1998-jılı yadrolıq magnitlik rezonans qubılısunıń isleytuǵın eki kubitlik kvantlıq kompyuterdiń birinshi eksperimentallıq demonstraciyasınıń ámelge asırǵanı haqqındaǵı xabardı tarqattı. 2019-jılı oktyabr ayında Google kompaniyası 53 kubitlik asa ótkzgish kvantlıq Sycamore processorın dóretkenin hám ádettegi kompyuterlerge salıstırǵandaǵı "kvantlıq artıqmashlıqtıń" bar ekenligin daǵazaladı.

### **Matematikalıq formulirovka.**

Kvantlıq mexanikanıń qatań túrdegi matematikalıq formulirovkasında kvantlıq-mexanikliq sistemaniń halın kompleksli  $\mathcal{H}$  gilbert keńisliginde berilgen  $\psi$  vektorı kórsetedi<sup>9</sup>. Bul vektor Gilbert keńisligindegi skalyar kóbeymege qarata normirovkalanǵan

---

<sup>8</sup> **Formalizaciya** - qanday da bir mazmunı bar oblasttı (tallawlardı, dállewlerdi, klassifikaciya proceduraların, informaciyalardı, ilimiý teoriyalardı izlewdi) formallıq sistema yamasa esaplawlar túrinde kórsetiw.

Matematikadaǵı formalizm - matematikanıń filosofiyasındaǵı fundamentallıq baǵdarlardıń bıri. Conıń menen birge "Formalizm" haqqında gáp etkende formallıq sistemani yamasa belgilewler sistemasiń názerde tutadı. Formallıq sistema bolsa sırtqı dúnja menen baylanıslı bolmaǵan abstrakt obъektlerdiń jiynaǵı bolıp tabıldadı. Qatań túrde táriyiplengen formallıq sistemalar Gilbert máselesi qoyılǵannan keyin payda boldı.

**Unifikasiya** (latın tilinde *unus* "bir" + *facio* "isleymen"; "birlestiriw") - bir gelki sistemaǵa yamasa formaǵa alıp keliw, bir túrge keltiriw.

<sup>9</sup> **Gilbert keńisligi** - sheksiz kóp ólshemlerge iye, skalyar kóbeymeden tuwilǵan metrika boyınsha tolıq keńislik bolıp, ol Evklid keńisliginiń ulıwmalastırılgan túrinen ibarat. David Gilberttiń hürmetine atalǵan.

dep boljanadı, yaǵníy  $\langle \psi, \psi \rangle = 1$  shártine baǵınadı hám ol moduli 1 ge teń bolǵan kompleksli san dálliginde korrektli anıqlanǵan yamasa basqa sózler menen aytqanda  $\psi$  hám  $e^{i\alpha}\psi$  halları bir fizikalıq sistemaǵa sáykes keledi. Múmkin bolǵan hallar ádette kompleksli proektlik keńislik dep atalatuǵın proektlik gilbert keńisliginiń noqatları bolıp tabıladı. Bul gilbert keńisliginiń dál tábiyatı qarap atırılǵan sistemadan górezli. Mısalı, bóleksheniń koordinataları menen impulsin táriyiplew ushın gilbert keńisligi  $L^2(\mathbb{C})$  kvadratı menen integrallanatuǵın kompleksli funkciyalardıń keńisligi bolıp tabıladı, bir bóleksheniń spinı ushın gilbert keńisligi ádettegidey skalyar kóbeymege iye eki ólshemli kompleksli  $\mathbb{C}^2$  vektorlardıń ádettegidey keńisligi bolıp tabıladı.

Bizdi qızıqtıratuǵın fizikalıq shamalar bolǵan koordinata, impuls, energiya, spin baqlanatuǵın shamalardıń qatarına kiredi. Olar gilbert keńisliginde háreket etetuǵın sızıqlı ermitlik (dáliregi ózi ózine túyinles bolǵan) operatorlar menen kórsetiledi. Kvantlıq haldıń ózi baqlanatuǵın shamanıń operatorı ushın menshikli vektor yamasa menshikli hal bolıwı múmkin. Al olar menen baylanıslı bolǵan menshikli mánis usı menshikli haldağı baqlanatuǵın shamanıń mánisi bolıp tabıladı. Ulıwmaraq mániste kvantlıq hal kvantlıq superpoziciya túrinde belgili bolǵan menshikli hallardıń sızıqlı kombinaciyası sıpatında beriledi. Baqlanatuǵın shamanı ólshegende alıngan nátiyje onıń diskretlik mánisleriniń biri bolıp tabıladı. Usı mánistiń alınıwınıń itimallıǵı Born qaǵıydasınıń járdeminde anıqlanadı: eń ápiwayı bolǵan jaǵdayda menshikli mánisi  $\lambda$  azǵıńgan emes, al itimallıq  $|\langle \vec{\lambda}, \psi \rangle|^2$  shamasına teń ( $\vec{\lambda}$  - onıń menshikli vektorı). Ulıwmaraq bolǵan jaǵdayda menshikli mánis azǵıńgan, al itimallıq  $\langle \psi, R_\lambda \psi \rangle$  ańlatpasınıń járdeminde anıqlanadı. Bul qawsırmazıń ishindegi  $R_\lambda$  - onıń menen baylanıslı bolǵan keńislikke proektor. Menshikli mánislerdiń úzliksiz spektri qaralatuǵın jaǵdaylarda bul formulalar itimallıqtıń tiǵızlığı túsinigin paydalananadı.

Eger ólshewden keyin  $\lambda$  nátiyjesi alıngan bolsa, onda azǵıńbaǵan jaǵdayda kvantlıq haldıń  $\vec{\lambda}$  óga, al ulıwma jaǵdayda  $R_\lambda \psi / \langle \psi, R_\lambda \psi \rangle$  óga shekem kollapsanadı. Colay etip, kvantlıq mexanikanıń itimallıqlıq xarakterge iye ekenligi ólshew processinen kelip shıǵadı. Bul kvantlıq sistemalardıń fizikalıq aspektlerin túsinıwdıń eń quramalı tárepin sáwlelendiredi. Bul Bor menen Eynshteyn arasındaǵı belgili bolǵan pikir talaslarınıń orayılıq máselesi boldı. Bul talaslarda eki alım bul fundamentallıq principleri oydaǵı eksperimentlerdiń járdeminde ayqınlastırıwǵa tırısti. Kvantlıq mexanika dóretilgennen keyin bir neshe on jılıqlar dawamında "ólshewdiń" ne ekenligi haqqındaǵı másele keńnen úyrenildi. Kvantlıq mexanikanıń házirgi zamanǵa sáykes keletuǵın interpretaciyaları islep shıǵıldı hám olar "tolqın funkciyasınıń redukciyası" koncepciyasınan qutıldı (mısal retinde qarańız" kóp ólshemli interpretaciya). Tiykarǵı ideya minadan ibarat: kvantlıq sistema ólshew ásbabı menen óz-ara táśirlesetuǵın bolsa, onda olardıń sáykes tolqın funkciyaları shatasadı, nátiyjede baslańısh kvantlıq sistema górezsiz tulǵa sıpatında ómir súriwdi toqtatadı.

---

Gilbert keńisliginde izertlenetuǵın eń áhmiyetli obъekt sızıqlı operatorlar bolıp tabıladı. Gilbert keńisligi túsiniginiń ózi Gilbert penen SHmidtıń integrallıq teńlemeler teoriyası boyınsha jumıslarında qáliplesti, al abstraktlıq anıqlama fon Neyman menen Ctounniń ermit operatorları teoriyası boyınsha islegen jumıslarında berildi.

Ýaqıtqa baylanıslı kvantlıq sistemanıń evolyuciyası Shrëdinger teńlemesiniń járdeminde táriyiplenedi:

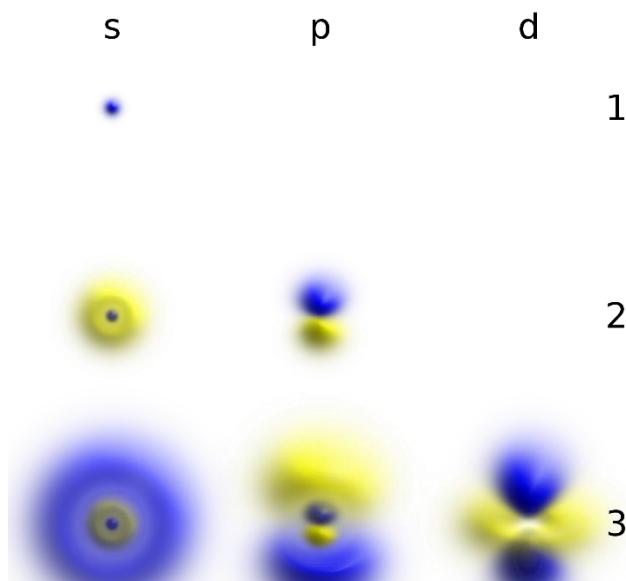
$$i\hbar \frac{d}{dt} \psi(t) = H\psi(t).$$

Bul ańlatpada  $H$  - sistemanıń gamiltonianı yamasa energiyanıń tolıq energiyasına sáykes keletuǵın baqlanatuǵın shamanıń operatorı,  $\hbar$  - Planktıń keltirilgen turaqlısı.  $i\hbar$  turaqlısı kvantlıq sistema óziniń qásiyetleri boyinsha sáykes klassikalıq modelge jaqın bolatuǵın jaǵdayda gamiltoniannıń klassikalıq gamiltonianǵa alıp keliniwi ushın qoyılǵan; belgili bolǵan sheklerde bunday jaqınlasiwdıń isleniwi sáykeslik principi dep ataladı.

Joqarida keltirilgen differenciallıq teńlemenıń formal túrindegi sheshimi mınaday ańlatpanıń járdeminde beriledi

$$\psi(t) = e^{-\frac{iHt}{\hbar}} \psi(0).$$

$U(t) = e^{-\frac{iHt}{\hbar}}$  ańlatpası evolyuciya operatorı sıpatında belgili hám júdá áhmiyetli bolǵan unitarlıq qásiyetke iye boladı. Bul jaǵdayda baslangısh  $\psi(0)$  kvantlıq hal aldın-ala belgili bolsa, onda  $\psi(t)$  funkciyası qálegen basqa waqtta kvantlıq halınıń evolyuciyasın beredi degen mániste determinaciyalanǵan boladı.



Belgili energia qáddilerine (súwrettiń joqarǵı bóliminen tómengi bóliminde  $n = 1, 2, 3$  ke shekem ósetuǵın) hám müyeshlik momentke (shepten ońga qaray  $s, p, d, \dots$  túrinde ósetuǵın) iye vodorod atomındaǵı elektronǵa sáykes keletuǵın itimallıqtıń tiǵızlıqları. Tiǵızıraq oblastlar orındı ólshegendegi itimallıqtıń joqarı tiǵızlıǵına sáykes keledi. Bunday tolqın funkciyaların klassikalıq fizikadaǵı terbelislerdiń akustikalıq modalarınıń Xladni figurası menen tikkeley salıstırıwǵa boladı<sup>10</sup>. Conıń menen birge belgili energiyaǵa hám oǵan sáykes keletuǵın jiyilikke iye terbelislerdiń modaları bolıp tabıladı. Múyeshlik

<sup>10</sup> **Xladni** figuraları - serpimli terbelip turǵan plastinkanıń betindegi mayda bólekshelerdiń (mísali, qumnıń) shuqırlarda hám túyinlik sızıqlardıń boyında jiynalıwinıń saldarınan payda bolǵan figuralar. Olardı tapqan nemis fizigi Erns Xladnidıń húrmetine atalǵan. Xladni figuralarınıń payda bolıw sebepleri kinematika tárepinen úyreniledi.

moment penen energiya kvantlanǵan hám tek diskret mánislerge iye bola aladı  
(akustikadaǵı rezonanslıq jiyiliklerdey).

Bazı bir tolqın funkciyaları gamiltonianniń menshikli mánisleri sıyaqlı waqıttanǵárezsiz bolǵan itimallıqlardıń tarqalıwin táriyipleydi. Klassikalıq mexanikada qaralatuǵın kóp dinamikalıq sistemalar usınday "stacionar" tolqın funkciyalarınıń járdeminde táriyiplenedi. Mısalı, qozbaǵan atomdaǵı bir elektron klassikalıq jaqtan atomnıń yadrosınıń dógeregide qozǵalatuǵın bólekshe túrinde sáwlelendiriledi, al kvantlıq mexanikada bolsa ol yadronı qorshap turatuǵın stacionar tolqın funkciyasınıń járdeminde táriyiplenedi. Mısalı, qozbaǵan vodorod atomı ushın elektronnıń tolqın funkciyası s-orbital túrinde belgili bolǵan sferalıq simmetriyaǵa iye funkciya bolıp tabıldır.

SHrédinger teńlemesiniń analitikalıq sheshimi júdá kóp bolmaǵan salıstırmalı ápiwayı modellik gamiltonianlar ushın ǵana belgili. Olardıń qatarına garmonikalıq oscillyator, potencial shuqırkıń ishindegi bólekshe, vodorodtıń molekulalıq ionı, vodorod atomı hám basqalar kiredi. Hátte tek eki elektronı bar geliy atomı ushın SHrédinger teńlemesiniń analitikalıq sheshimin tabıw qıyın máselelerdiń qatarına kiredi (teńlemede elektron-elektronlıq tásirlesiwge sáykes keletuǵın aǵzanıń bar bolıwınıń saldarınan).

Juwıq sheshimlerdi tabıwdıń usılları bar. Uyıtqıw teoriyası dep atalatuǵın usıl ápiwayı kvantlıq-mexanikalıq model ushın alıngan analitikalıq nátiyjeni oǵan uqsas, biraq biraz quramalıraq bolǵan model ushın, mısalı, kishi potenciallıq energiyani qosıw joli menen máseleni sheshedi.

### Anıqsızlıq princiپi.

Kvantlıq mexanikaniń formalizminiń nátiyjeleriniń biri anıqsızlıq princiپi bolıp tabıldır. Óziniń belgili bolǵan formasında ol kvantlıq bólekshe ushın bir waqıtta koordinata menen impulsı boljawǵa bolmaydı dep tastıyıqlaydı. Koordinata menen impuls baqlanatuǵın shamalar bolıp tabıldır, yaǵníy olardı ermitlik operatorlar menen kórsetiwge boladı. Koordinata operatorı  $\hat{X}$  penen impuls operatorı  $\hat{P}$  bir biri menen kommutaciyalanbaydı, al mınaday kanonikalıq kommunikaciyalıq qatnasti qanaatlandırıdı

$$[\hat{X}, \hat{P}] = i\hbar.$$

Berilgen kvantlıq halda Born qaǵıydası  $X$  penen  $P$  hám olardıń dárejeleri ushın matematikalıq kútiwlerdi esaplawǵa múmkinshilik beredi. Baqlanatuǵın shamanıń standart awısıwdıń formulası boyınsha anıqsızlıǵın berip, koordinata ushın

$$\sigma_X = \sqrt{\langle X^2 \rangle - \langle X \rangle^2}$$

ańlatpasın hám soǵan impuls ushın

$$\sigma_P = \sqrt{\langle P^2 \rangle - \langle P \rangle^2}$$

ańlatpaların jazıwǵa boladı.

### Anıqsızlıq princiپi

$$\sigma_X \sigma_P \geq \hbar/2$$

teńsizligi orın aladı dep tastıyıqlaydı. Principinde qálegen standart awısıwdı qansha bolsa da kishi etip alıwǵa boladı, biraq eki shamanı bir waqıtta kishi etip alıwǵa bolmaydı. Bul teńsizlik ózi ózine túyinles bolǵan  $A$  hám  $B$  operatorları ushın ulıwmalastırıldı. Anıqlama boyınsha bul eki operatorordıń kommutatori bılıyınsha jazıldı:

$$[A, B] = AB - BA.$$

Bul teńlik standart awıswılardıń kóbeymesi ushın tómengi shegaranı anıqlaydı.

Kanonikalıq kommutaciyalıq qatnastan koordinata menen impuls operatorlarınıń biriniń Fure túrlendiriwleri ekenligi kelip shıǵadı. Obъektti impulslik keńislikte táriyiplew onıń koordinatalıq táriyipiniń Fure túrlendiriwi menen beriledi. Impulsten górezliktiń koordinatalıq górezliktiń Fure túrlendiriwi bolıp tabılatuǵınlıǵı faktı impuls operatorınıń ( $i/\hbar$  kóbetiwshisine shekemgi dálliktegi) koordinata boyınsha tuwındı alıwǵa ekvivalent ekenligin ańǵartadı, sebebi Fure analizinde differentiallaw operaciyasına ekilik keńisliktegi kóbeytiw sáykes keledi. Conlıqtan, koordinatalıq kórinistegi kvantlıq teńlemelerde  $p_i$  impuls  $-i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$  ańlatpası menen almastırıladı. Dara jaǵdayda, koordinatalıq keńisliktegi SHrödingerdiń relyativistik emes teńlemesinde impulsıń kvadrati  $-\hbar^2$  qa kóbeytilgen laplasian menen almastırılgan.

### **Quramlıq sistemalar hám shatasıw.**

Hár qıylı bolǵan eki kvantlıq sistema birge qaralatuǵın bolsa, onda birikken sistemasınıń gilbert keńisligi eki qurawshınıń gilbert keńislikleriniń tenzorlıq kóbeymesi bolıp tabıladı. Meyli,  $A$  hám  $B$  lar  $\mathcal{H}_A$  hám  $\mathcal{H}_B$  gilbert keńisligine iye eki kvantlıq sistema bolsın. Bunday jaǵdayda quramlıq sistemaniń gilbert keńisligi bılayınsha jazıladı:

$$\mathcal{H}_{AB} = \mathcal{H}_A \otimes \mathcal{H}_B.$$

Eger birinshi sistema ushın hal  $\psi_A$  vektorı, al ekinshi sistema ushın hal  $\psi_B$  vektorı bolsa, onda quramlıq sistemaniń halı mınaday kóriniske iye boladı:

$$\psi_A \otimes \psi_B.$$

Eki gilbert keńisliginen ibarat gilbert keńisligindegi barlıq  $\mathcal{H}_{AB}$  halları bunday formada jazıwǵa bolmaydı. Cebebi superpoziciya principi bunday "bólinetuǵın" yamasa "quramlıq" hallarıń sızıqlı kombinaciyalarınıń mümkin ekenligin ańǵartadı. Mısalı, eger  $\psi_A$  menen  $\psi_B$  hallarınıń ekewi de  $A$  sistemaniń mümkin bolǵan halları, al  $\psi_B$  menen  $\phi_B$  bolsa  $B$  sistemaniń mümkin bolǵan halları bolsa, onda jańa

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_A \otimes \psi_B + \psi_A \otimes \phi_B)$$

halı mümkin bolǵan birgeliktegi haldı táriyipleydi hám bul eki halǵa ajıralmaytuǵın hal bolıp tabıladı. Ajıralmaytuǵın halları shatasqan yamasa baylanısqan hallar dep ataydı.

Eger quramlıq sistemaniń halı shatasqan bolsa, onda onıń qurawshı sistemiń bolǵan  $A$  sistemasiń da,  $B$  sistemasiń da hal vektorınıń járdeminde táriyipleyge bolmaydı. Onıń orına podsistemaniń tiǵızlığınıń matricaların anıqlawǵa boladı. Bul matricalardı sistemaniń qálegen bir qurawshısınıń ústinen ólshewler ótkeriw joli menen alıwǵa boladı. Biraq, bul informaciyanıń sózsiz joǵalıwına alıp keledi: ayırim sistemalardıń tiǵızlıqlarınıń matricaların biliw quramlıq sistemaniń halın tiklew ushın jetkiliksiz. Dál tap usı sıyaqlı, tiǵızlıq matricaları irirek bolǵan sistemaniń podsistemaniń halın anıqlaydı. Tap usınday jollar menen oń operatorlıq ólshemler (POVM) irirek bolǵan sistemada orınlangan ólshewdiń podsistemaǵa tásirin táriyipleydi. Informaciyanıń kvantlıq teoriyasında POVM keńnen qollanıladı.

Joqarıda bayanlanǵanday, kvantlıq shatasıw ólshew processiniń modelleriniń baslı ózgesheligi bolıp tabıladı. Bunday jaǵdayda detektor ólshenetuǵın sistema menen shatasadı. Olardı qorshaǵan ortalıq penen tásirlesetuǵın sistemalar ádette usı ortalıq penen shatasadı. Bul qubılıs kvantlıq dekogerenciya ataması menen belgili hám ol ámelde

makroskopiyalıq sistemalardaǵı kvantlıq effektlerdi baqlawdını nelikten qıyın ekenligin túśindire aladı.

### **Formulirovkalarǵıń ekvivalentligi.**

Kvantlıq mexanikanıń bir biri menen ekvivalent bolǵan kóp sanlı formulirovkaları bar. Eń eskileriniń hám teń tarqalǵanlarınıń biri Pol Dirak tárepinen usınılgan "túrlendiriwler teoriyası" bolıp tabıladı. Ol kvantlıq mexanikanıń eń dáslepki eki formulirovkası bolǵan matricalıq mexanika (Verner Geyzenberg tárepinen oylap tabılǵan) menen tolqınlıq mexanikanı (Ervin SHrödinger tárepinen oylap tabılǵan) biriktiredi hám ulıwmalastırıdı. Kvantlıq mexanikanı alternativlik türde Feynman traektoriyaları boyınsha formulirovkalarǵa boladı. Bunday formulirovkada kvantlıq-mexanikalıq amplituda baslangısh hám aqırǵı hallar arasındaǵı mümkin bolǵan barlıq klassikalıq hám klassikalıq emes jollardıń qosındısı túrinde qaraladı. Bul klassikalıq mexanikadaǵı eń kishi háreket principiniń kvantlıq-mexanikalıq analogı bolıp tabıladı.

### **Cimmetriyalar hám saqlanıw nızamları.**

$H$  gamiltonians waqt boyınsha evolyuciya generatorı sıpatında belgili. Cebebi ol waqt  $t$  nıń hár bir mánisi boyınsha evolyuciyanıń  $U(t) = e^{-iHt/\hbar}$  unitarlıq operatorın anıqlaydı.  $U(t)$  menen  $H$  tıń arasındaǵı usınday qatnastan  $H$  penen kommutaciyalanatuǵın qálegén  $A$  baqlanatuǵın shamanıń saqlanatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Cebebi onıń kútiletuǵın mánisi waqıttıń ótiwi menen ózgermeydi. Bul tastıyoqlaw bılayınsha ulıwmalastırıladı: qálegén  $A$  ermit operatorı  $t$  ózgeriwshisi boyınsha parametrlestirilgen unitarlıq operatorlardıń semeystvosın tuwdırıdı.  $A$  tárepinen tuwdırılgan evolyuciya degende usı  $A$  menen kommutaciyalanatuǵın qálegén  $B$  baqlanatuǵın shamasınıń saqlanatuǵınlıǵın túsinemiz. Onıń ústine, eger  $A$  tuwdırıǵan evolyuciyada  $B$  saqlanatuǵın bolsa, onda  $B$  tuwdırıǵan evolyuciyada  $A$  saqlanadı. Bul klassikalıq (lagranjlıq) mexanikada Emmi Néter tárepinen dálillengen nátiyjeniń kvantlıq versiyasın ańǵartadı: háreketti invariant etip qaldıratuǵın simmetriyaniń hár bir úzliksiz túrlendiriwi ushın sáykes saqlanıw nızamı bar boladı.

### **Mıſallar.**

#### **Erkin bólekshe.**

Koordinatalıq erkinlik dárejesine iye bolǵan kvantlıq sistema ushın eń ápiwayı mísal bir keńisliklik ólshemdegi erkin bólekshe bolıp tabıladı. Erkin bólekshe haqqında gáp etkende sırtqi tásır tiymeytuǵın bóleksheni názerde tutamız hám, sonlıqtan, onıń gamiltonianı tek kinetikalıq energiyadan turadı hám sáykes SHrödinger teńlemesi bılayınsha jazıladı:

$$\frac{\hbar}{i} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}.$$

Bul teńlemede  $i$  arqalı jormal birlik belgilengen,  $\hbar$  - keltirilgen Plank turaqlısı,  $m$  - bóleksheniń massası. Bul teńleme ózgeriwshilerdi ajıratıwǵa mümkinshilik beredi hám SHrödinger teńlemesiniń ulıwmalıq sheshimi qálegén jıynaqlı integral túrindegi ańlatpanıń járdeminde beriledi. Al bul ańlatpa bolsa ulıwma túrdegi tegis tolqınlardıń tolqın paketin táriyipleydi:

$$\psi(x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(k) e^{i(kx - \omega t)} dk.$$

Bul teńlikte  $\omega$  - jiyilik,  $k$  - tolqınlıq san hám integraldıń shekli bolıw shártı  $\alpha \geq 1$  bolǵan jaǵdayda  $C(k) \approx |k|^\alpha$  túrinde jazıladı. Gausslıq paket ushın dara jaǵdayda tolqınlıq san  $k_0$  ushın  $t = 0$  waqt momentindegi tolqın funkciyası mınaday túrge iye

$$\psi(x, 0) = A \exp\left(-\frac{x^2}{2a^2} - ik_0 x\right).$$

Bul ańlatpada  $a$  - tolqın paketiniń ólshemi,  $A$  - normirovkalawshı kóbeytiwshi. Bunday bólekshe ushın tezlik  $v_0 = \hbar k_0 / m$  ańlatpasınıń járdeminde esaplanadı.  $C(k)$  koefficientin tabıw ushın bul ańlatpanı tegis tolqınlar boyınsha jayıw kerek. Bunday jaǵdayda

$$C(k) = \frac{Aa}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}(k - k_0)\right]$$

ańlatpasına iye bolamız. Žaqıttıń qálegen momentindegi tolqın funkciyasınıń qásiyetin tabıw ushın integrallaw jetkilikli. Tiǵızlıq tolqın funkciyasınıń moduliniń kvadratı tárepinen beriledi. Qálegen waqt momentinde ol mınaǵan teń:

$$\rho(x, t) = |\psi(x, t)|^2 = \frac{|A|^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\hbar t}{ma^2}\right)^2}} \exp\left[-\frac{x - \frac{\hbar k_0}{m}t}{a^2 \left[1 + \left(\frac{\hbar t}{ma^2}\right)^2\right]}\right].$$

Gausslıq tolqın paketiniń orayı keńislikte hesh qanday kúshler tásir etpeytugın klassikalıq bólekshe siyaqlı turaqlı  $\frac{\hbar k_0}{m}$  tezligi menen qozǵaladı. Biraq, waqıttıń ótiwi menen tolqın paketi  $\frac{\hbar t}{ma}$  shamasına jayıladı, yaǵníy onıń ornı kem-kemnen anıq emes bola beredi. Bul usı bettegi animaciyada kórsetilgen.



Koordinatalıq keńisliktegi gausslıq tolqın paketiniń itimallığınıń tiǵızlığı (paket bir ólshemli erkin keńislikte qozǵaladı).

### **Qutıdaǵı bólekshe.**

Ótkermeytuǵın sheksiz diywallarǵa iye bolǵan bir ólshemli potencialdaǵı bólekshe energiyanıń qáddileriniń kvantlanıwına alıp keletuǵın matematikaliq jaqtan eń ápiwayı mísal bolıp tabıladı. Qutınıń ishindegi barlıq oblastlarda potenciallıq enerjiya nollık mániske iye, al qutınıń sırtındaǵı barlıq oblastlarda sheksiz úlken potenciallıq enerjiya bar.

$x$  bağılındagı bir ólshemli jaǵday ushın waqıttań gárezsiz bolǵan SHrödinger teńlemesi mınaday túrge iye:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = E\psi.$$

Eger

$$\hat{p}_x = -i\hbar \frac{d}{dx}$$

túrindegi differenciallıq operatordı qollanatuǵın bolsaq, onda aldińǵı teńleme  $\psi$  halındańı kinetikalıq energiyanıń klassikalıq analogın eske túsiredi:

$$\frac{1}{2m} \hat{p}_x^2 = E.$$

Bul jaǵdayda  $E$  energiyası bóleksheniń kinetikalıq energiyasına sáykes keledi. Qutıdańı bólekshe ushın SHrödinger teńlemesiniń ulıwma sheshimi mınaday túrge iye:

$$\psi(x) = A e^{ikx} + B e^{-ikx}.$$

Eger Eyler formulasın paydalansaq  $\psi(x)$  funkciyasın bılayınsa jazamız:

$$\psi(x) = C \sin(kx) + D \cos(kx).$$

Qutınıń ótkermeytuǵın diywalları belgisiz bolǵan  $C, D$  hám  $k$  koefficientleriniń mánisin anıqlawǵa múmkinshilik beredi.  $x = 0$  hám  $x = L$  noqatlarında  $\psi$  tolqın funkciyasınıń mánisi nolge teń bolıwı kerek. Colay etip,  $x = 0$  noqatında

$$\psi(0) = 0 = C \sin(0) + D \cos(0)$$

teńligi  $D = 0$  teńliginiń orınlı ekenligin, al

$$\psi(L) = 0 = C \sin(kL)$$

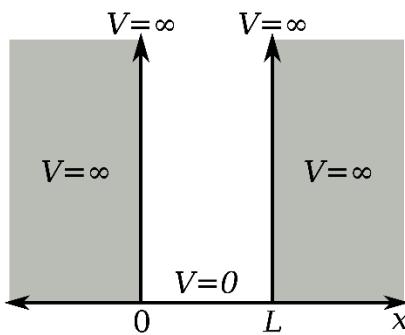
$C$  koefficientiniń nolge teń bolmaytuǵınlıǵıń kórsetedi. Eger  $C$  nolge teń bolsa, onda bul jaǵday  $\psi$  diń 1 ge teń normaǵa iye ekenligi haqqındańı postulatqa sáykes kelmegən bolar edi. Demek,  $C \sin(kL) = 0$  teńligi orınlı bolǵanlıqtan  $kL$  kóbeymesiniń shaması  $\pi$  eselengen pútin sanǵa teń bolıwı kerek. Demek,

$$k_n = \frac{n\pi}{L}, n = 1, 2, 3, \dots$$

$k$  ushın tabılǵan bul sheklew energiyanıń qáddilerine qoyılǵan shekti ańǵartadı hám ol mınanı beredi:

$$E_n = \frac{\hbar^2 \pi^2 n^2}{2mL^2} = \frac{n^2 \hbar^2}{8mL^2}.$$

Tuwrı müyeshli potenciallıq shuqır sheksiz tereń potenciallıq shuqırkı shekli tereńlikke iye bolǵan potenciallıq shuqırǵa ulıwmalastırıw bolıp tabıladı. SHekli potenciallıq shuqır mashqalası qutıdańı bólekshe mashqalasına salıstırǵanda matematikalıq jaqtan quramalıraq. Cebebi bunday jaǵdayda shuqırkıń diywallarında tolqın funkciyası nolge teń bolmaydı. Onıń orına tolqın funkciyasınıń quramalıraq bolǵan shegaralıq shártlerdi qanaatlandırıwı kerek. Cebebi ol shuqırkından sırttaǵı oblastlarda nolge teń bolmaydı. Usıǵan usaǵan mashqala tuwrı müyeshli potenciallıq barer menen baylanıslı. Ol fresh-este saqlaw hám skanerlewshi tunnellik mikroskopiya sıyaqlı házirgi zaman texnologiyalarınıń islewinde áhmiyetli orındı iyeleytuǵın kvantlıq tunnelleniw effektiniń modeli bolıp tabıladı.



Potenciallıq energiyanıň bir ólshemli qutısı (yamasa sheksiz tereń potenciallıq shuqır)

### Kvantlıq garmonikalıq oscillyator.

Kvantlıq garmonikalıq oscillyatordıň potencialı klassikalıq jaǵdaydaǵıday mınaday ańlatpanıň járdeminde anıqlanadı:

$$V(x) = \frac{1}{2}m\omega^2x^2.$$

Bul máseleni SHrödinger teńlemesin tikkeley sheshiw joli menen sheshiwge boladı hám bul quramalı emes másele bolıp tabıladı. Bul máseleni birinshi ret Pol Dirak tárepinen usınılgan sulıwıraq "baspaldaq" usılı menen de sheshiw mümkin. Kvantlıq garmonikalıq oscillyatordıň menshikli halları bilayinsha beriledi:

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{2^n n!}} \left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^{1/4} e^{-\frac{\lambda x^2}{2}} H_n(\sqrt{\lambda}x).$$

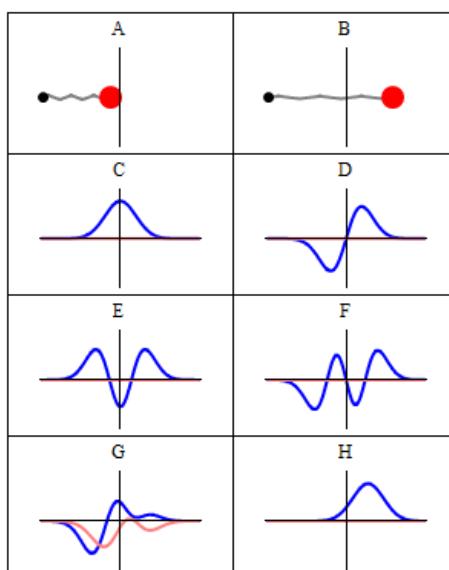
Bul ańlatpada  $\lambda = m\omega/\hbar$  hám  $n = 0, 1, 2, \dots$   $H_n$  - Ermit polinomları.

$$H_n(x) = (-1)^n e^{x^2} \frac{d^n}{dx^n} (e^{-x^2})$$

hám energiyanıň sáykes qáddileri diskret:

$$E_n = \hbar\omega \left(n + \frac{1}{2}\right).$$

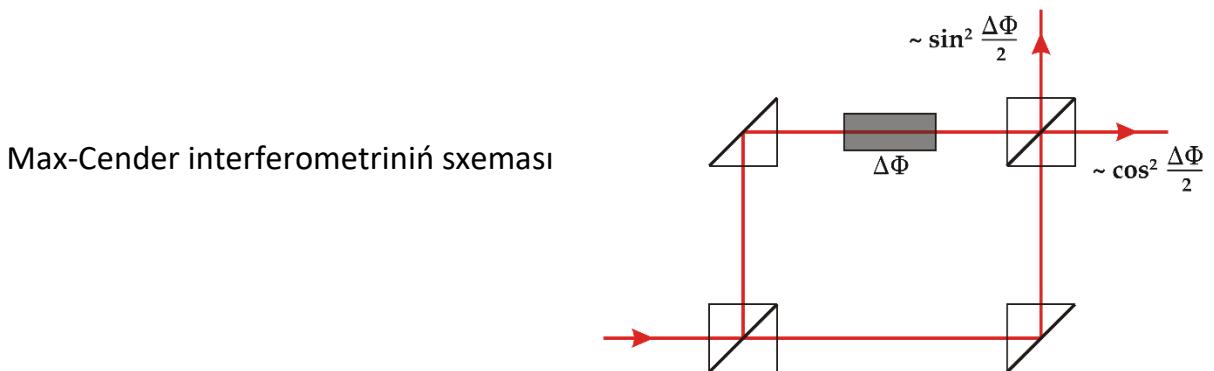
Bul baylanısqan hallar ushın energiyanıň diskretleniwine jáne bir misal bolıp tabıladi.



Garmonikalıq oscillyatordıň, yaǵníy prujinaǵa bekitilgen sharikiň bazi bir traektoriyaları. Klassikalıq mexanikadaǵı (AB) hám kvantlıq mexanikadaǵı (CH). Kvantlıq mexanikada sharikiň iyelegen ornı tolqın menen beriledi (tolqın funkciyası dep ataladı),

onıń reallıq bólimi kóp reń menen, al jormal bólimi qızıl reń menen kórsetilgen. Bazı bir traektoriyalar (mísali, C, D, E hám F) turǵın tolqınlarǵa sáykes keledi (yamasa "stacionar hallar"). Turǵın tolqınnıń hár bir jiyiliqi oscillyatordıń energiyasınıń mümkin bolǵan qáddine proporcional. Klassikalıq fizikada oscillyator qálegen energiyaǵa iye boladı hám energiyanıń usınday bolıp "kvantlanıwı" orın almaydı.

### Max-Cender interferometri.



Max-Cender interferometri differentiellıq teńlemelerdi paydalab, 2 ólshemli diskret keńisliktegi sızıqlı algebralı superpoziciya hám interferenciya koncepciyaların illyustraciyalayıdı. Onı eki sańlaǵı bar eksperimenttiń ápiwayılastırılıǵan versiyası dep qarawǵa boladı. Bul interferometrdiń, mísali, kvantlıq shatasıwdı izertlegende ádewir qızıǵıwshılıqtı payda etetuǵınlıǵın atap ótiwge boladı.

Eger interferometr arqalı ótetuǵıń fotondı qaraytuǵın bolsaq, onda hár bir noqatta ol tek eki joldıń superpoziciyasında tura aladı: shep tárepten baslanatuǵın "tómengi" joldıń, ol eki jaqtılıqtı bólгish arqalı ótedi hám joqarıda tamam boladı, ekinshisi tómennen baslanatuǵın "joqarǵı" jal, bul jal jaqtılıq bólгishtiń ekewi arqalı ótedi hám shep tárepte tamam boladı. Colay etip, fotonnıń halın  $\psi \in \mathbb{C}^2$  vektorı kórsetedi. Bul "tómengi" jal  $\psi_l = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$  hám "joqarǵı" jal bolǵan  $\psi_u = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$  díń superpoziciyası bolıp tabıladı yamasa  $\alpha$  hám  $\beta$  koefficientleri ushın  $\psi = \alpha\psi_l + \beta\psi_u$ .  $\langle \psi, \psi \rangle = 1$  postulatınıń orınlaniwı ushın  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$  teńliginiń orınlaniwı shárt.

Tómengi hám joqarıdaǵı jaqtılıq bólгishler

$$B_l = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ hám } B_u = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

matricaları menen beriledi. Bul foton jaqtılıqtı bólгish penen ushırasqanda tap sol jolda  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  shamasına teń itimallıqtıń amplitudası menen qalatuǵınlıǵın yamasa basqa jolǵa  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  shamasına teń itimallıqtıń amplitudası menen shaǵılısatuǵınlıǵın ańgartadı (fazanı  $\pi$  ge jılıjıwı menen). Ayna  $M = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$  matricası menen beriledi. Iyindegi fazanı aylandırǵısh  $P = \begin{pmatrix} e^{-\Delta\Phi} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$  unitarlıq matrica menen modellestiriledi. Bul "joqarǵı" joldaǵı fotonnıń  $\Delta\Phi$  salıstırmalı fazaga iye bolatuǵınlıǵın, al tómengi joldaǵı fotonnıń ózgerissiz qalatuǵınlıǵın ańgartadı.

Interferometrge shep tärepten kiretuǵın foton jaqtılıqtı bólgishtiń tásiri  $B_l$  ge, aynanıń,  $P$  fazanı aylandırıwshınıń hám jáne bir jaqtılıqtı bólgishtiń tásiri  $B_u$  ága ushıraydı hám

$$B_u PMB_l \psi_l = \frac{1}{2} \left( \frac{e^{i\Delta\Phi}}{e^{i\Delta\Phi} - 1} + 1 \right)$$

halında boladı. Onıń oń tärepte yamasa joqarida bolıw itimallığı sáykes

$$p(u) = |\langle \psi_u, B_u PMB_l \psi_l \rangle|^2 = \cos^2 \frac{\Delta\Phi}{2},$$

$$p(l) = |\langle \psi_l, B_u PMB_l \psi_l \rangle|^2 = \sin^2 \frac{\Delta\Phi}{2}.$$

Conlıqtan Max-Cender interferometrin fazalıq awısıwdı usı itimallıqlardı esaplaw joli menen paydalaniwǵa boladı.

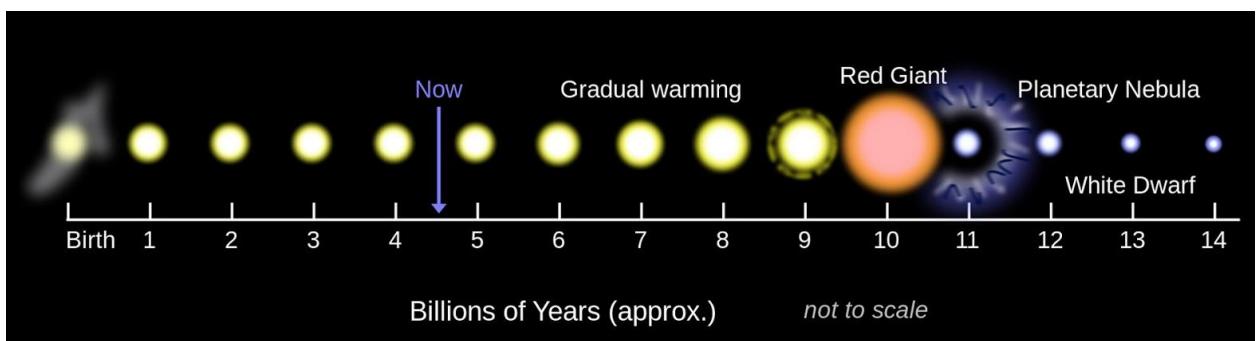
Eger foton jaqtılıq bólghishlerdiń arasındaǵı belgili anıqlıqta "joqarı" hám "tómengi" jollarda turǵan jaǵdayda nenıń bolatuǵınlıǵın da anıqlawǵa boladı. Bunı jollardıń birin blokirovkalaw yamasa usı blokirovkalaw menen bir bolǵan birinshi jaqtılıq bólgishti alıp taslaw (biziń qálewigizshe fotondı shep tärepten yamasa tómennen jiberiw) joli menen ámelge asırıladı. Eki jaǵdayda da jollardıń arasında interferenciya bolmaydı hám itimallıq  $p(u) = p(l) = 1/2$  teńlikleri boyınsha anıqlanadi. Bunnan birinshi jaqtılıq bólgishten keyin fotonniń anaw yamasa mınaw joldı saylap almayıǵınlıǵın hám eki joldıń haqıqıy kvantlıq superpoziciyasında boladı dep juwmaq shıǵaramız.

#### 4.6.11.5. Astrofizika hám kosmologiya

Fizika menen astronomiyaniń arasındaǵı birinshi "baylanıstı" Isaak Nyuton júzege keltirdi. Ol aspan deneleriniń qozǵalıslarınıń fizikalıq sebebin taptı (1687-jıl). Bunnan keyingi ásirlerdiń barısında alımlar jerden tıstaǵı fizika menen baylanıslı bolǵan mashqalalardı talladı. Olardıń ishine mınalar kiredi:

- Basqa aspan deneleriniń temperaturası hám olardaǵı fizikalıq sharayatlar, olardıń atmosferasınıń hám topıraqınıń quramı, magnit maydanınıń bar yamasa joq ekenligi.
- Juldızlardıń jarqınlıǵınıń deregi, olardıń strukturasınıń variantları, payda bolıw mexanizmleri hám bunnan keyingi evolyuciyasınıń mümkin bolǵan baǵdarları, planetalardı bar yamasa joq ekenligi.

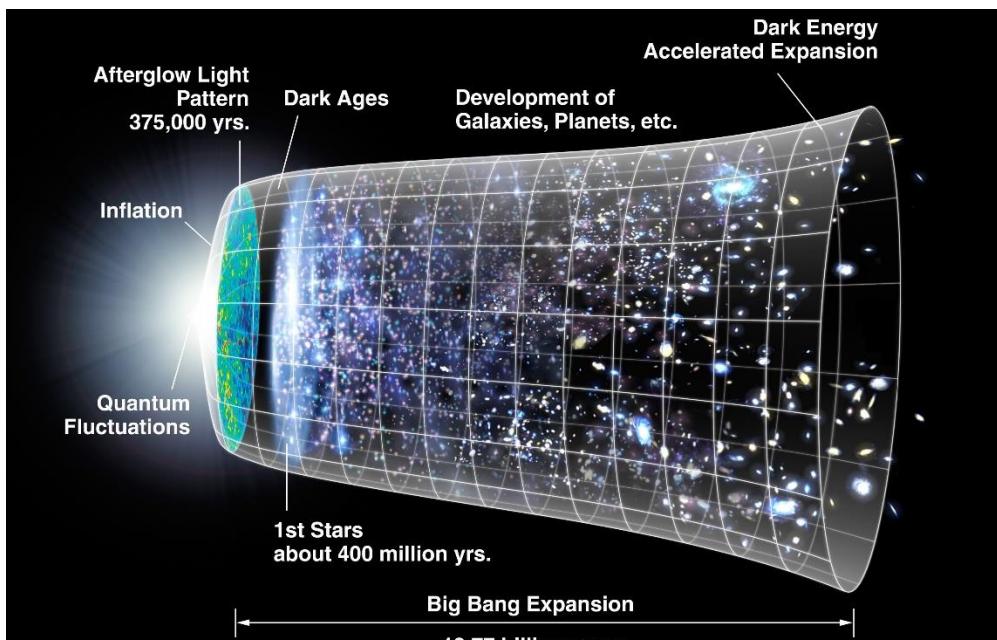
Astrofizika menen barlıq baqlanatuǵın Áleminiń qurılısı menen evolyuciyasın úyrenetuǵıñ kosmologiya tıǵız tutasadi.



Quyashtiń evolyuciyasınıń etapları (boljaw)

XVIII ásirde "planetogeneze", yañňy Quyash sistemasınıń qáliplesiwi mexanizmi haqqındaǵı gipotezanı 1732-jılı Cvedenborg (Dekart vixrları tiykarında), 1755-jılı Kant hám 1796-jılı Laplas (gaz-shań bulttıń qoyıwlasıwı) usındı. Cońğı ideya ádewir keńeytilgen hám islengen túrde házirgi waqıttaǵı planetogenez teoriyalarınıń tiykarında jattı. Biraq, basqa da versiyalar da boldı. Mısalı, 1919-jılı Dj.Djins mınaday gipotezanı usındı: bir waqıtları Quyashtiń qasınan massası úlken bolǵan juldız ótken. Usınıń nátiyjesinde Quyashtan zatlardıń shıǵıwı orın algan hám sol zatlar qoyıwlasıp planetalardı payda etken. Djinstıń 1904-jılı usıńǵan basqa ideyasınıń perspektivası joqarırıraq boldı: Quyashtiń energiyasınıń deregi atomnıń ishindegi energiya.

Cpektrallıq tallaw Jerdeñ tıstaǵı obъektlerdi ilimiý izertlewge múmkinshilik beretuǵın birinshi qural bolıp tabıldı (1859-jılı). Bul analiz juldızlardıń hám basqa da aspan deneleriniń ximiyalıq quramın anıqlawǵa múmkinshilik berdi. Nyuton waqıtları boljanǵanday, aspan deneleri de Jerde bar zatlardan turatuǵın bolıp shıqtı. 1869-jılı shved fizigi menen astronomı Andres Žonas Angstrem Quyashtiń spektriniń birinshi atlasın baspadan shıǵardı, al Andjelo Cekki 4 mıń juldızdıń spektrlerin izertledi hám klassifikasiyaladı. Tap sol waqıtları "astrofizika" termini paydalanaǵı baslaǵı (Céllner, 1865-jılı).



Álemleriń keńeyiwi

Astrofiziklerdiń ekinshi almastırıwǵa bolmaytuǵın quraldıń xızmetin Dopler effekti atqardı. Bul effekt astronomiyada tiykarınan juldızlardıń salıstırmalı radiallıq tezliklerin anıqlaw ushın qollanıldı. XX ásirdiń basında Vesto Clayfer, Edvin Xabbl taǵı basqa da astronomolar Dopler effektiň galaktikadan tıs obъektlerdiń de bolatuǵınlıǵıń hám olardıń barlıǵınıń Quyash sistemasınan qashıqlasıp baratırǵanlıǵıń dálillew ushın paydalandi. Angliyalı astrofizik Artur Eddington sol jillardaǵı ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń kosmologiyalıq modelleriniń tiykarında mınaday boljawdı usındı: Álem keńeyedi hám astronomiyalıq obъekt bizden qansha uzaqta jaylasqan bolsa, onda onıń salıstırmalıq tezligi úlken. Usınıń menen birge Eddington óziniń "The Internal Constitution of the Stars"

monografiyasında juldızdını ishki strukturasını birinshi modelin islep shıqtı. Perren menen birgelikte Eddington Quyashtıń energiyasınıń deregi sıpatında termoyadrolıq reakciya haqqındaǵı teoriyanı tiykarladı.

Áleminiń keńeyiwi - barlıq Áleminiń masshtablarındaǵı kosmoslıq keńisliktiń derlik bir tekli hám izotroplı keńeyiwi bolıp tabıldır. Áleminiń keńeyiwi Jerden kosmologiyalıq qızılǵa awısıw túrinde kórinedi.

Áleminiń keńeyiwi eksperimentlerde Xabbl nızamınıń orınlaniwi hám ekstremallıq túrdegi qashıqlıqlardaǵı "standart shamlardıń" (la tipindegi asa jańa juldızlardıń) jarqınlığınıń kemeyiwi túrinde tastıyıqlanadı. Úlken partlanıw teoriyasına sáykes, Álem eń dáslepki asa tiǵız jáne asa qızǵan haldan baslap keńeymekte. Usı baslanǵısh hal singulyarlıq pa, yamasa singulyarlıq emes pe máselesi teperish túrde tallanbaqta. Al gravitaciyanıń klassikalıq teoriyası bolǵan ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası boyınsha Álem eń dáslepki singulyarlıq haldan baslap keńeye baslaǵan. Bul máseleniń tolıq sheshiliwi ushın gravitaciyanıń kvantlıq teoriyasınıń dóretiliwi kerek.

Áleminiń keńeyiwshi Álem ekenligin teoriyalıq jaqtan birinshi ret 1922-jılları Áleminiń bir tekli ekenligi menen izotroplıgı haqqındaǵı filosofiyalıq kóz-qaraslardı paydalangan halda A.Fridman boljadı hám tiykarladı.

#### Áleminiń rawajlanıw dáwirleri

Dáwirlar	Evoluciya	Xabbl parametri
Inflyaciyalıq.	$a \propto e^{Ht}$ .	$H^2 = \frac{8\pi \rho_{vak}}{3 M_{Pl}^2}$ .
Padiaciya basım bolǵan dáwir.	$a \propto t^{\frac{1}{2}}$ .	$H = \frac{1}{2t}$ .
SHAŃ-tozań dáwiri.	$a \propto t^{\frac{2}{3}}$ .	$H = \frac{2}{3t}$ .
$\Lambda$ basım bolǵan dáwir.	$a \propto e^{Ht}$ .	$H^2 = \frac{8\pi}{3} G\rho_{\Lambda}$ .

WMAP hám Planck kosmoslıq apparatlarınıń maǵlıwmatları boyınsha kocmologiyalıq parametrlər

	WMAP	Planck
Áleminiń jası, mlrd jıl.	$13,75 \pm 0,13$	$13,801 \pm 0,024$
Xabbl parametri $H_0$ , (km/s)/Mpk	$71,0 \pm 2,5$	$67,37 \pm 0,54$
Barionlıq materiyanıń tiǵızlığınıń fizikalıq parametri $\Omega_B h^2$	$0,0226 \pm 0,0006$	$0,02233 \pm 0,00015$
Qarańǵı materiyanıń tiǵızlığınıń fizikalıq parametri $\Omega_c h^2$	$0,111 \pm 0,006$	$0,1198 \pm 0,0012$
Materiyanıń tiǵızlığınıń fizikalıq parametri $\Omega_m h^2 = (\Omega_B + \Omega_c) h^2$		$0,1428 \pm 0,0011$
Tıǵızlıqtıń ulıwmalıq parametri $\Omega_t$	$1,08^{+0,09}_{-0,07}$	
Barionlıq materiyanıń tiǵızlığınıń parametri $\Omega_B$	$0,045 \pm 0,003$	

Qarańǵı energiyanıń tıǵızlıgınıń parametri $\Omega_A$	$0,73 \pm 0,03$	$0,6847 \pm 0,0073$
Qarańǵı materiyanıń tıǵızlıgınıń parametri $\Omega_c$	$0,22 \pm 0,03$	
Materiyanıń tıǵızlıgınıń parametri $\Omega_{m+} = \Omega_B + \Omega_c$		$0,3147 \pm 0,0074$

Astrofizikanıń úlken pátler menen rawajlanıwı XX ásirdiń ekinshi yarımda baslandı. Bul waqtları astronomiyanıń baqlaw quralları keskin túrde rawajlandı: kosmoslıq teleskoplar, rentgen, ultraiolet, infraqızıl, neytrinolar hám gamma-nurlanıwlarınıń detektorları, planetalar aralıq zondlar payda boldı h.b. Quyash sistemasındaǵı iri denelerdiń tiykarǵı fizikalıq xarakteristikaları aniqlandı hám izertlendi, kóp sanlı ekzoplanetalar, jaqtırtqıshlardıń jańa tipleri tabıldı (pulsarlar, kvazarlar, radiogalaktikalar), reliktlik nurlanıw, gravitaciyalıq linzalanıw, gravitaciyalıq tolqınlar hám qara qurdımlar hám olarǵa jańa talabanlar tabıldı hám úyrenildi. Bir qatar sheshilmegen mashqalalar úyrenilmekte: qarańǵı materiya menen qarańǵı energiyanıń qásiyetleri, Álemniń keńeyiwiniń tezleniwiniń sebepleri. Baqlanatuǵın Álemniń evolyuciyasınıń baslangısh etapı sıpatındaǵı Úlken partlanıwdıń házirgi waqtları qabil etilgen bárshe tárepinen moyınlańǵan teoriyası dóretildi.

Teoriyalıq fizika ushın astronomiyalıq objeektlerdi úyreniw oǵada úlken mümkinshiliklerdi jaratıp beredi. Kosmoslıq processler ózleriniń masshtabı menen hár túrliliği boyınsha jerdegi laboratoriyada júzege keltiriletuǵın processlerden ádewir alǵa ketedi. Mısalı, astrofizikler Eynsteynniń tartılıs teoriyasınıń durısılıǵın tekserip kóriw hám onı qollanıwdıń shegaraların aniqlaw ushın kóp sanlı baqlawlardı ótkerdi. Baqlanatuǵın qubılıslardıń bir qatarın túsindiriw ushın (mısalı, neutron juldızlardı hám kosmologiyalıq effektlerdi) mikrodúnyanıń fizikası qollanıladı hám onıń durısılıǵı tekserip kóriledi.

#### 4.6.11.6. Aerodinamika menen meteorologiya

Aviaciyanıń payda bolıwı menen dál meteoboljawlardı keltirip shıǵarıwǵa zárúrlik aerodinamika menen ushıw teoriyasınıń tez pátler menen rawajlanıwına alıp keldi. Hawadaǵı hám basqa da qarsılıq kórsetetuǵın ortalıqlardaǵı qozǵalistı esaplawdıń ilimiý tiykarların Nyuton óziniń "Baslamaları" nıń II tomında bayanladı (1687-jılı). XVIII ásirde aerodinamikanıń rawajlanıwına úlken úlesti Daniil Bernulli hám Leonard Eyler, al XIX ásirde jabısqaqlıqtı esapqa alatuǵın ulıwmalıq Nave-Ctok teńlemesi keltirip shıǵarıldı.



Djordj Keyli

1799-jılı angliyalı alım hám oylap tabıwshı Djordj Keyli ózi jasaǵan waqıttan ádewir alǵa ozıp, hawadan salmaqlı bolǵan apparatlardıń ushiw teoriyasın baspadan shıǵardı. Ol apparattıń ushiwınıń tiykarǵı parametrlerin kirkizdi - salmaq, kóteriw kúshi, mańlay qarsılıǵı hám tartıw. Keyli bir neshe planerlerdi sınaqtan ótkerdi. Olarda motor bolmaǵanlıqtan, tartıw kúshin qaǵılatuǵın qanatlar payda etti. 1871-jılı dúnýadaǵı birinshi izertleytuǵın aerodinamikalıq klublar payda boldı.

XX ásirdiń basında quwatlı dvigateller payda boldı hám usıǵan baylanıslı hawadaǵı samolettı basqarıwdıń kelesi etapı onıń xarakteristikaların optimallastırıw hám isenimligin joqarılıtıw bolıp tabıldı. Ágalı-inili Paytlar ushiwdıń barısında samolettı basqarıwdı birinshi bolıp jolǵa qoýdı, ushiw aerodinamikasınıń kóp sanlı teoriyalıq aspektlerin islep shıqtı (olardıń ishine samolettıń aylanıwınıń úsh kósherin basqarıw hám aerodinamikalıq qarsılıqtı kishireytiwdiń usılları kiredi). XX ásirdiń birinshi eki on jıllıǵında ushiwdıń hám ámeliy aerodinamikanıń teoriyasınıń tiykarı qalandı. Bul islerde N.E.Jukovskiydiń miynetleri ullı.

Hawa rayın boljaw ushın birinshi tırısıwlar XVII ásirde júzege keldi. Biraq, sol waqıtları islengen boljawlardıń isenimligi kem boldı. Ulıwmalıq fizikalıq nızamlardıń tiykarındaǵı teoriyalıq meteorologiya XIX ásirde islep shıǵıldı. 1820-jılı kündelikli paydalaniw ushın sinoptikalıq kartalar kirkizildi. Júdá áhmiyetli bolǵan ciklon menen anticiklon túsiniklerin XIX ásirdiń ortasında Levere kirkizdi. XIX ásirdiń aqırına taman meteostanciyalardıń pútkıl dúnýalıq tarmaǵı iske tústi. Dáslep meteostanciyalar telegraf, keyinirek radio arqalı informaciyalar almasti. Bul boljawlardıń isenimliginiń joqarılıwına alıp keldi. 1917-jılı norvegiyalı meteorolog Vilgelm Berknes "atmosferalıq front" dep atalatuǵın jáne bir áhmiyetli túsinikti usındı.

Meteorologiyaniń nızamlarınıń ózine tán ózgeshelikleri (joqarı dinamizm, tásir etetuǵın faktorlardıń kóp sanlı ekenligi h.b.) hawa rayınıń ózgerislerin modellestiriw ushın quwatlı kompyuterlerdi paydalaniwǵa májbürleydi, biraq, hawa rayın kóp waqıtlar aldin boljaw mashqalası házirgi kúnlerge shekem aktuallıq mashqala bolıp qalmaqta.

#### 4.6.11.7. Basqa da jetiskenlikler

1918-jılı Emmi Néter fundamentallıq teoremanı dálilledi<sup>11</sup>: fizikalıq sistemanıń hár bir úzliksiz simmetriyasına bazı bir saqlanıw nızamı sáykes keledi. Mısalı, waqıttıń bir tekli

<sup>11</sup> Amaliya Emmi Néter (nemisshe Amalie Emmy Noether; 1882—1935) — nemis matematigi, óziniń abstrakt algebraga hám teoriyalıq fizikaǵa qosqan úlesleri menen kóbirek belgili. Pavel Aleksandrov, Albert Eynshteyn, Jan Dédonne, German Veyl hám Norbert Vinerler onı

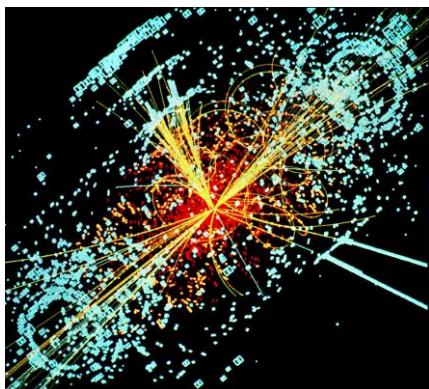
ekenlige energiyaniń saqlanıw nızamı sáykes keledi. Bul ilimiý ashılıw fizikadaǵı simmetriyanıń tutqan orına kópshiliktiń dıqqatın awdardı. Bul jaǵday ásirese atom fizikasında kóp jaǵdaylarǵa negizdiń ornın iyeledi.

Ásirdiń aqırında elektronika adamnıń xızmetiniń barlıq salaların ámeliy jaqtan qaytadan qurǵan fizikanıń rawajlanıwınıń eí baslı baǵdarlarınıń birine aylandı. XX ásirdiń basında birinshi elektronlıq lampalar bolǵan diodlar (1904-jıl, Fleming) hám triod (1907-jıl, Li de Forest) oylap tabıldı. Triod sónbeytuǵın terbelislerdi alıw menen toqtı kúsheytiwde almastırıwǵa bolmaytuǵın ásbapqa aylandı. Lampalıq tiykarda kóp uzamay sesli radio, televidenieniń dáslepki eskizleri, al urıstan keyin birinshi elektronlıq esaplaw mashinaları payda boldı. Elektronlıq dúzilislerdi miniatyurizaciyalawdiń tabısları, olardıń quwati menen isenimligin joqarılıatıw universallıq hám qanday da bir maqsetler ushin soǵılgan kompyuterlerdiń, qolaylı baylanıs qurallarınıń hám kúndelikli turmısta paydalaniw ushin "aqıllı" mexanizmlerdiń dóretiliwine alıp keldi.

Óz gezeginde kompyuterlerdiń keń tarqalıwı kompyuterlik modellestiriwdiń fizikadaǵı keń türde qollanılatuǵın quralına aylanıwına alıp keldi.

Fizikanıń XX ásirdiń aqırındaǵı hám XXI ásirdiń basındaǵı basqa tabısları sıpatında joqarıda esletip ótilgen joqarı temperaturalı asa ótkizgishlikti (1986-jıl) hám grafendi (2002-jıl) hám basqa da eki ólshemli kristallardı alıw texnologiyaların atap ótiwge boladı. Bul baǵdarlardıń ekewi de perspektivlik baǵdarlar dep esapanadı. Biraq olardıń keń türde paydalanılıwı ele aldımızda.

#### 4.6.11.8. XXI ásir hám jańa shegaralar



Eki protonnıń soqlığısıwında Xiggs bozonınıń tuwılıwı (kompyuterlik model).

1970-jillardan baslap teoriyalıq fizikada tınıshlıq baslandı, hátte bazı bir alımlar "fizikanıń krizi" yamasa hátte "ilimniń aqırı" baslandı dep ayta basladı. Biraq, bar teoriyalardıń ramkalarındaǵı izertlew jumısları dawam etip atır. Misali, gravitaciyalıq

matematikanıń tariyxındaǵı eí belgili hayal adam dep esapladi. XX ásirdegi ullı matematiklerdiń biri sıpatında, ol saqıynalar teoriyasın, maydanlar teoriyasın hám algebraclar teoriyasın túpkilikli türde ózgertti. Fizikada Néter teoreması birinshi bolıp tábiyattaǵı simmetriyalar menen saqlanıw nızamlarınıń arasındaǵı baylanısti ashti.

Néter Germaniyadaǵı Bavariya jerindegi Erlangen qalasında evrey shańaraǵında tuwıldı. Onıń ata-anası matematik Maks Néter hám Ida Amaliya Kaufman bay sawdagerler shańaraqlarında tuwilǵan. Néterdiń úsh inisi bolǵan: Alfred, Robert hám Fric. Fric Maksimilianovič Néter - belgili nemis hám sovet matematigi.

tolqınlar ashıldı<sup>12</sup>. V CEPN de joqarı energiyaǵa iye bólekshelerdiń soqlıǵısızın júzege keltiretuǵın Úlken adronlıq kollayder islep tur. Bul kollayderdiń ondaǵı islenip atırǵan izertlew jumısları menen bir qatarda supersimmetriya teoriyası menen standart modeldi tekserip kóriw ushın da járdem beriwi kerek. 2013-jılı kollayderdiń járdeminde Xiggs bozonınıń ashılganlıǵı rásimiy türde daǵazalandı. Bul standart modeldi tastıyıqlaydı hám juwmaqlaydı (Xiggs bozoni standart modeldiń ele ashılmagań eń sońǵı bólekshesi edi).

Li Cmolin fizikanı progressine alıp keletuǵın fundamentallıq áhmiyetke iye bolǵan bes aktuallıq mashqalasın ayırıp kórsetedi:

1. Gravitaciya teoriyasınıń kvantlıq variantın islep shıǵıw, "barlıǵınıń teoriyasın" dóretiw.
2. Kvantlıq mexanikanı fizikalıq (tek matematikalıq emes) tiykarlaw yamasa onı túsiniklirek fizikalıq mániske iye bolǵan teoriyaǵa shekem ulıwmalastırıw.
3. Bir teoriyada bólekshelerdi hám barlıq tórt fundamentallıq óz-ara tásirlesiwdi birelestiriw.
4. "Álemniń juqa nastroykasınıń" sebeplerin tabıw, onıń ushın fundamentallıq konstantalardıń sanın minimumǵa alıp keliw.
5. Qarańǵı materiya menen qarańǵı energiyanıń tábiyatın anıqlaw yamasa, eger olar joq bolsa, onda teoriyanıń boljawlarına qaramastan tartılıstıń nelikten júdá úlken aralıqlarda tásir etetuǵınlıǵıń anıqlaw. Kosmologianıń eksperimentallıq bazasın keńeytiw.

Cstandart modeldiń sheklerinen sırrta jatqan basqa áhmiyetli mashqalalardan tómendegilerdi atap ótiwge boladı:

Baqlanatuǵın Álemdegi materiya menen antimateriyanıń antisimmetriyası.

Neytrinolıq oscillyaciyalار.

Kúshli CP-mashqala.

## § 5. Teoriyalıq hám eksperimentallıq fizika

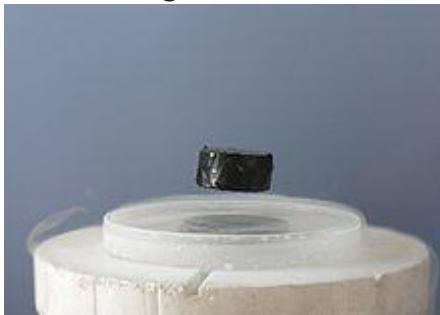



---

<sup>12</sup> Gravitaciyalıq tolqınlardıń ashılıwı olardı tuwrıdan-tuwrı detektorlaw joli menen 2015-jılı 14-sentyabr kúni LIGO hám VIRGO kollaboraciyaları tárepinen ámelge asırıldı. Bul haqqında 2016-jılı 11-fevral kúni daǵazalandı. Nátiyjeler Physical Review Letters jurnalında jariq kórdi. Ÿaqıya GW150914 belgileniwine iye boldı.

Gravitaciyalıq tolqınlardı ashqanlıǵı ushın 2017-jılı Rainer Weiss, Barry C. Barish hám Kip S. Thorne fizika boyınsha Nobel sıylığın alıwǵa miyasar boldı.

Erkin túsiwdegi kosmonavt hám Jer.



SHaqmaq elektr toǵı bolıp tabıldadı.

Asa ótkizgishtiń ústinde qalqıp turatuǵın magnit Meysner effektine misal bola aladı.

Fizika eksperimentallıq ilim bolıp tabıldadı: onıń barlıq nızamları menen teoriyaları tájiriybelerde alıńǵan maǵlıwmatlarǵa súyenedi. Biraq, kóp jaǵdaylarda jańa teoriyalar eksperimentlerdiń ótkeriliwine sebep boladı hám alıńǵan nátiyjeler jańa ilimiý ashılıwlardıń tiykarında jatadı. Conlıqtan eksperimentallıq hám teoriyalıq fizikanı bir birinen ajıratıw qabil etilgen.

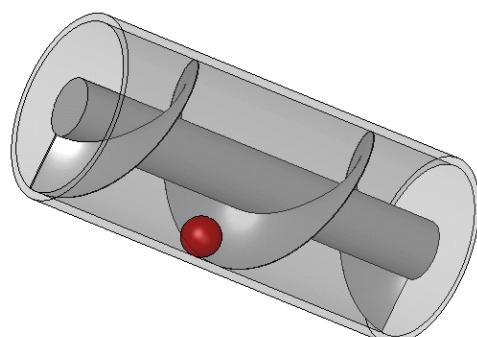
Eksperimentallıq fizika tábiyattıń qubılısların aldın-ala tayarlanǵan sharayatlarda izertleydi. Onıń aldında turǵan máselelerge burın belgili bolmaǵan qubılıslardı tabıw, fizikalıq teoriyalardı tastıiyıqlaw yamasa biykarlaw, fizikalıq konstantalardıń mánisleriniń dálligin joqarılıtıw kiredi. Fizikadaǵı kóp sanlı jetiskenlikler bar bolǵan teoriyalar menen táriyiplenbeytuǵın qubılıslardı eksperimentlerde tabıwdıń nátiyjesinde erisildi. Mısalı, fotoeffektti eksperimentte úyreniw kvantlıq mexanikanıń payda bolıwınıń sebepleriniń biri bolıp tabıldadı (kvantlıq mexanikanıń tuwılıwın nurlanıwdıń klassikalıq teoriyalıq fizikasınıń paradoksı bolǵan ultrafiolet katastrofanı sheshiw ushın arnalǵan Plank gipotezasınıń payda bolıwı menen baylanıstıratuǵın bolsa da).

Teoriyalıq fizikanıń máselelerine tábiyattıń ulıwmalıq nızamların keltirip shıǵarıw hám usı nızamlardıń tiykarında hár qıylı qubılıslardı túsındırıw hám usı waqıtlarǵa shekem belgisiz bolǵan qubılıslardı boljaw kiredi. Qálegen fizikalıq teoriyanıń durıs ekenligi eksperimentlerde tekseriledi: eger eksperimenttiń nátiyjeleri teoriyanıń boljawlarına sáykes keletugıń bolsa, onda teoriyanı adekvatlıq (berilgen qubılıstı jetkilikli dárejede dál táriyipleytuǵın) dep esaplaydı.

Qálegen qubılıstı úyrengende eksperimentallıq hám teoriyalıq aspektler birdey áhmiyetke iye.

## § 6. Ámeliy fizika

Arximed vinti - eń ápiwayı mexanizmge misal



Tuwılıwdan baslap fizika ámeliy áhmiyetke iye boldı hám adamzat óziniń mútájlıqları ushın paydalangan mashinalar hám mexanizmler menen birge rawajlandı. Fizika injenerlik

ilimlerde keňnen qollanıladı, kóp sanlı fizikler oylap tabıwshılar, al kóp sanlı oylap tabıwshılar fizikler boldı. Mexanika fizikanıń bir bólimi sıpatında teoriyalıq mexanika hám materiallardıń qarsılığı menen de, injenerlik ilimler menen de baylanıslı. Termodinamika jıllılıq texnikası menen hám jıllılıq dvigatellerin konstrukcikalaw menen tiǵız baylanıslı. Elektr elektrotexnika hám elektronika menen baylanıslı, onıń qáliplesiwi hám rawajlanıwı ushın qattı deneler fizikası boyınsha izertlewler júdá áhmiyetli. YAdrolıq fizikanıń jetiskenlikleri yadrolıq energetikaniń qáliplesiwine alıp keldi. Bunday misallardı dawam ete beriwe boladı.

Fizikanıń pánler aralıq keń baylanısları da bar. Fizika, ximiya hám injenerlik ilimlerdiń shegarasında materialtanıw sıyaqlı ilimniń tarawı payda boldı hám úlken tezlikler menen rawajlandı. Fizikalıq usıllar menen qurallar ximiya tárepinen de qollanıladı hám bul izertlewlerdiń fizikalıq ximiya hám ximiyalıq fizika dep atalatuǵın eki baǵdarınıń qáliplesiwine alıp keldi. Biologiya menen fizikanıń shegarasındaǵı izertlewler oblastı bolǵan biofizika kem-kemnen ilimniń quwatlı tarawına aylanbaqta. Biofizikada organikalıq zatlardıń atomlıq strukturasınan kelip shıqqan halda biologıyalıq processler úyreniledi. Geofizika geologıyalıq qubılıslardıń fizikalıq tábıyatın úyrenedi. Medicinada adamnıń organizminiń keselliklerin rentgen nurları menen ultrasestiń járdemindegi izertlewler paydalanylادı. YAdrolıq magnitlik rezonanstı diagnostika ushın, lazerler kóz awrıwların emlew ushın, yadrolıq nurlarıw onkologiyada keňnen paydalanylımaqtı.

### § 7. Tiykarǵı teoriyalar

Fizika kóp túrli sistemalar menen is alıp baratuǵın bolsa da, bazı bir fizikalıq teoriyalar fizikanıń úlken oblastlarında qollanıladı. Qosımsha qoyılatuǵın sheklerde bunday teoriyalar durıs dep esaplanadı. Mısalı, eger izertlenetuǵın objeektlerdiń ólshemleri atomlardıń ólshemlerinen ádewir úlken bolsa hám tezlikler jaqtılıqtıń tezliginen ádewir kishi, gravitaciyalıq kúshler kishi bolǵan jaǵdaylarda klassikalıq mexanika durıs. Bul teoriyalar elege shekem teperish túrde izertlenbekte. Mısalı, xaos teoriyası sıyaqlı klassikalıq mexanikanıń aspekti tek XX ásırde ógana ashıldı. Olar barlıq fizikalıq izertlewler ushın tiykardı payda etedi. Bul teoriyanıń sheklerinde M.V.Lomonosov zatlardıń agregat hallarınıń (qattı, suyuq hám gaz tárızlı hallar) sebeplerin túsindirdi hám jıllılıq teoriyasıń islep shıqtı.

Teoriya	Tiykarǵı bólimler	Túsinkler
Klassikalıq mexanika	Nyuton nızamları - Lagranj mexanikası - Gamilton mexanikası - Xaos teoriyası - Gidrodinamika - Geofizikalıq gidrodinamika - Tutas ortalıqlar mexanikası	Zat - Keńislik - Ÿaqıt - Energiya - Qozǵalıs - Massa - Uzınlıq - Tegislik - Kúsh - Quwat - Jumıs - Caqlanıw nızamı - Inerciya momenti - Múyeshlik moment - Kúsh momenti - Tolqın - Háreket - Ólshem
Elektromagnetizm	Elektrostatika - Elektr - Magnitostatika - Magnetizm - Maksvell teńlemeleri -	Elektr zaryadı - Kernew - Toq - Elektr maydanı - Magnit maydanı - Elektromagnit maydan -

	Elektrodinamika - Magnitlik gidrodinamika	Elektromagnit nurlanıw - Qarsılıq - Elektr qozǵawshı kúsh
Termodinamika hám statistikalıq fizika	Jıllılıq mashinası - Molekulalıq-kinetikalıq teoriya - Teń salmaqlı emes termodinamika	Calıstırmalı kólem (Tıǵızlıq) - Basım - Temperatura - Bolcman turaqlısı - Entropiya - Erkin energiya - Termodinamikalıq teń salmaqlıq - Cstatistikaliq summa - Mikrokanonikalıq tarqalıw - Úlken kanonikalıq tarqalıw - Jıllılıq muǵdarı
Kvantlıq mexanika	SHrödinger teńlemesi - Feyman integralı - Maydanniń kvantlıq teoriyası	Gamiltonian - Teppe-teń bóleksheler - Plank turaqlısı - Ólshaw - Kvantlıq oscillyator - Tolqın funkciyası - Nollık energiya - Perenormirovka
Calıstırmalıq teoriyası	Arnawlı salıstırmalıq teoriyası - Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası - Pelyativistlik gidrodinamika	Calıstırmalıq principi - 4-vektor - Keńislik-waqıt - Jaqtılıq konusu - Dúnyalıq sızıq - Jaqtılıqtıń tezligi - Bir waqtılıqtıń salıstırmalıǵı - Energiya-impuls tenzori - Keńislik- waqıttıń mayısıwı - Qara qurdım

## § 8. Fizikanıń bölimleri

### 8.1. Makroskopiyalyq fizika

Makroskopiyalyq fizika denelerdiń ólshemleri adamnıń ólshemleri menen barabar bolǵan dúnyadaǵı qubılsılar menen nızamlardı úyrenedi.

Mexanika.

Klassikalıq mexanika.

#### Pelyativistlik mexanika.

Materiallıq bólekshelerdiń qozǵalısın izertlegende biz eń kishi tásır principinen kelip shıǵamız. Bul principtiń mánisi mınadan ibarat: hár bir mexanikalıq sistema ushın tásır dep atalatuǵın  $S$  integralı bar bolıp, bul integral haqıqıy qozǵalıslarda minimumǵa iye boladı, al usıǵan baylanıslı onıń variaciyası  $\delta S$  nolge teń<sup>13</sup>.

Erkin materiallıq bólekshe ushın (bunday bólekshe qanday da bir sırtqı kúshlerdiń tásirinde bolmaydı) tásır integralın aniqlayımız.

Buniń ushın biz dáslep integraldıń anaw yamasa mınaw inercial esaplaw sistemاسınanǵárezli emes ekenligin, yaǵníy onıń Lorenc túrlendiriwlerine qarata invariant ekenligin ańgaramız. Demek bunnan bul integraldıń skalyardan alınıwınıń kerek ekenligi kelip shıǵadı. Conday-aq integral astında birinshi dárejeli differentiallardıń turıwı kerek ekenligi

<sup>13</sup> Qatań türde aytqanda eń kishi tásır principi  $S$  integralınıń integrallaw sızıǵınıń tek kishi učastkası boylap minimallıq mániske iye boladı dep tastıyıqlaydı. ılktyarlı uzınlıqtıǵı sızıq ushın  $S$  integralı minimum bolıp tabılıwı shárt emes ekstremumǵa iye boladı dep tastıyıqlawǵa boladı.

túsinkli. Biraq erkin materiallıq bólekshe ushın dúziw mümkin bolǵan usınday birden bir skalyar interval ds yamasa əds bolıwı kerek ( $\alpha$  arqalı bazı bir turaqlı belgilengen).

Colay etip erkin bólekshe ushın tásir mına túrge iye bolıwı kerek:

$$S = -\alpha \int_a^b ds.$$

Integral berilgen  $a$  hám  $b$  waqıyaları arasındań dýnyalıq sızıq boyınsha alınadı (bólekshe  $a$  hám  $b$  noqatlarında belgili bir  $t_1$  hám  $t_2$  waqt momentlerinde turadı, yaǵníy berilgen dýnyalıq noqatlar arasında dep esaplanadı);  $\alpha$  bolsa berilgen bóleksheni táriyipleytuǵın bazı bir turaqlı. Barlıq bóleksheler ushın  $\alpha$  nıń on shama bolatuǵınlıǵın ańsat kóriwge boladı. Haqıyatında da  $\int_a^b ds$  integralı dýnyalıq sızıq boylap tuwrı boyında maksimallıq mániske iye boladı, dýnyalıq sızıqtıń boyı boylap onı qálegenimizshe kishi etip alıwımızǵa boladı.

Colay etip on mánisi menen alıngan integral minimumǵa iye bolmaydı, al keri belgi menen alıngan integral dýnyalıq sızıq boylap minimumǵa iye boladı.

Tásirdi waqt boyınsha integral túrinde beriwge boladı:

$$S = \int_{t_1}^{t_2} L dt.$$

$dt$  aldındań koefficient  $L$  berilgen mexanikalıq sistema ushın *Lagranj funkciyası* dep ataladı.

Bir qansha belgilewler qabil etemiz. Meyli  $dt$  arqalı qozǵalmayıǵın esaplaw sistemasyndań (yaǵníy qozǵalmay turǵan bizler menen baylanısqan sistemadań) sheksiz kishi waqt aralığı, al  $dt'$  arqalı  $v$  tezligi menen qozǵalıwshi esaplaw sistemasyndań (qozǵalıwshi saattıń júriw tezligi)  $dt$  ga sáykes waqt aralığı belgilengen bolsın. Onday bolsa Lorenc túrlendiriwlerine sáykes

$$dt' = \frac{ds}{c} = dt \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Demek  $S = \int_{t_1}^{t_2} L dt$  formulasınıń járdeminde alamız:

$$S = - \int_{t_1}^{t_2} \alpha s \sqrt{1 - v^2/c^2} dt.$$

Bul ańlatpada  $v$  arqalı materiallıq bóleksheniń tezligi belgilengen. Demek bóleksheniń Lagranj funkciyası mınaǵan teń boladı eken:

$$L = -\alpha c \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Joqarıda aytılǵanınday  $\alpha$  shaması berilgen bóleksheni táriyipleydi. Klassikaliq mexanikada hár bir bólekshe  $m$  massası menen táriyiplenedi. Endi  $m$  hám  $\alpha$  shamaları arasındań baylanıstı anıqlaymız. Bul baylanıs  $c \rightarrow \infty$  sheginde biziń  $L$  ushın jazılǵan ańlatpamız klassikaliq ańlatpaǵa ótiwi kerek shártı tiykarında tabıldız:

$$L = \frac{mv^2}{2}.$$

Bul ótiwdi ámelge asırıw ushın  $L$  di  $v/c$  nıń dárejesi boyınsha qatarǵa jayamız. Bunday jaǵdayda joqarı tártipli aǵzalardı taslap ketip, alamız

$$L = -\alpha c \sqrt{1 - v^2/c^2} \approx -\alpha c + \frac{\alpha v^2}{2c}.$$

Lagranj funkciyasındaǵı turaqlı aǵzalar qozǵalıs teńlemelerinde sáwlelenbeydi hám sonıń ushın taslap ketiledi.  $L$  degi  $\alpha c$  ni taslap ketip hám klassikalıq ańlatpa  $L = mv^2/2$  menen salıstırıp  $\alpha = mc$  ekenlige iye bolamız.

Colay etip erkin bólekshe ushın tásir mınaǵan teń:

$$S = -mc \int_a^b ds, \quad (\text{rm1.1})$$

al Lagranj funkciyası bolsa

$$L = -mc^2 \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (\text{rm1.2})$$

### Energiya hám impuls.

Bóleksheniń impulsı dep  $\mathbf{p} = \partial L / \partial \mathbf{v}$  vektorına aytadı ( $\partial L / \partial \mathbf{v}$  jazıwi qurawshıları  $L$  den  $\mathbf{v}$  niń sáykes qurawshısı boyınsha alıńǵan tuwındıǵa teń vektordıń simvollıq belgileniwi bolıp tabıladi). (rm1.2) járdeminde tabamız:

$$\mathbf{p} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (\text{rm2.1})$$

Kishi tezliklerde ( $v \ll c$ ) yamasa  $c \rightarrow \infty$  sheginde bul ańlatpa klassikalıq  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$  ańlatpasına ótedi. Eger  $v = c$  bolsa impuls sheksizlikke aylanadı.

Impulsten waqt boyınsha alıńǵan tuwındı bólekshege tasır etiwshi kúshke teń. Meyli bóleksheniń tezligi tek baǵılı boyınsha ózgeretuǵın bolsın (yaǵníy kúsh tezlikke perpendikulyar baǵıtlangan). Onda

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \frac{d\mathbf{v}}{dt}. \quad (\text{rm2.2})$$

Eger tezlik shaması boyınsha ózgeretuǵın bolsa (yaǵníy kúsh tezlik baǵıtında túśirilgen)

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \frac{m}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2}} \frac{d\mathbf{v}}{dt}. \quad (\text{rm2.3})$$

Eki jaǵdayda kúshtiń tezlikke qatnasınıń birdey emes ekenligin kóremiz.

Bóleksheniń energiyası  $E$  dep belgilesek,

$$E = \mathbf{p}\mathbf{v} - L$$

shamasına aytamız.  $L$  hám  $\mathbf{p}$  ushın (rm1.2) hám (rm2.1) ańlatpaların qoyıp, alamız

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (\text{rm2.4})$$

Bul oǵada áhmiyetli formula relyativistlik mexanikada erkin bóleksheniń energiyasınıń tezlik nolge teń (yaǵníy  $v = 0$ ) bolǵanda da nolge teń bolmay, al

$$E = mc^2 \quad (\text{rm2.5})$$

shamasına teń bolatuǵınlıǵıń kórsetedi. Onı bóleksheniń *tinişliqtaǵı energiyası* (*tinişliq energiyası*) dep ataydı.

Kishi tezlikler ushın ( $v \ll c$ ) (rm2.4) ańlatpasın  $v/s$  niń dárejeleri boyınsha qatarǵa jaysaq, onda

$$E \approx mc^2 + \frac{mv^2}{2}$$

ańlatpasın alamız. Demek bul jaǵdayda alıńǵan formuladan  $mc^2$  tınıshlıq energiyasın alıp taslasaq, onda bólekshe ushın kinetikalıq energiyanı klassikalıq ańlatpasın alamız.

Biz joqarıda "bólekshe" haqqında gáp etip atırmız, biraq onıń "elementarlıǵı" hesh bir jerde paydalanylmadı. Conlıqtan alıńǵan formulalardı kóp bólekshelerden turatuǵın qálegen quramalı dene ushın qollanıw mümkin hám bul jaǵdayda m arqalı deneniń tolıq massası, al v arqalı onıń tutası menen qozǵalıw tezligi belgilengen. Mısalı (rm2.5) formulası qálegen tınıshlıqta turǵan tutas dene ushın durıs. Biz erkin deneniń energiyasınıń (yaǵníy qálegen tuyıq sistemaniń energiyasınıń) relyativistlik mexanikada belgili bir anıq mániske iye bolatuǵınlıǵın, barlıq waqıtta da oń mániske iye bolatuǵınlıǵın hám deneniń massası menen tikkeley baylanısı bar shama ekenligine itibar beriwimiz kerek. Usıǵan baylanıslı biz klassikalıq mexanikada deneniń energiyası tek iqtıyarlı additiv shama dálliginde anıqlanatuǵınlıǵın, onıń oń mániske de, teris mániske de iye bolatuǵınlıǵın eske túśirip ótemiz.

Tınıshlıqta turǵan deneniń energiyası onıń quramına kiretuǵın bólekshelerdiń tınıshlıq energiyasınan basqa sol bólekshelerdiń kinetikalıq energiyaların hám olardıń bir biri menen tásırlesiw energiyaların da óz ishine aladı. Basqa sóz benen aytqanda  $mc^2$  shaması  $\sum m_a c^2$  qa teń emes ( $m_a$  - bólekshelerdiń massası) hám sonlıqtan  $m$  niń mánisi  $\sum m_a$  ga teń emes. Colay etip relyativistlik mexanikada massanıń saqlanıw nızamı orın almaydı eken: quramalı deneniń massası onıń bólekleriniń massasınıń qosındısına teń emes. Buniń ornına tek energiyanıń saqlanıw nızamı orın alıp, buǵan bólekshelerdiń tınıshlıq energiyaları da kiredi.

(rm2.1) hám (rm2.4) ańlatpaların kvadratqa kóterip hám olardı salıstırıw arqalı iz bóleksheniń energiyası menen impulsı arasındaǵı mına qatnasti alamız:

$$\frac{E^2}{c^2} = p^2 + m^2 c^2. \quad (\text{rm2.6})$$

Impuls arqalı ańlatılıǵan energiyanıń Gamilton funkciyası  $H$  dep atalatuǵınlıǵı belgili:

$$H = c\sqrt{p^2 + m^2 c^2}. \quad (\text{rm2.7})$$

Kishi tezliklerde  $p \ll mc$  hám juwiq türde:

$$H \approx mc^2 + \frac{p^2}{2m},$$

yaǵníy eger tınıshlıq energiyasın alıp taslasaq Gamilton funkciyasınıń belgili klassikalıq ańlatpasın aladı ekenbiz.

(rm2.1) hám (rm2.4) ańlatpalarınan erkin bóleksheniń energiyası, impulsı hám energiyası arasındaǵı tómendegidey qatnas kelip shıǵadı:

$$\mathbf{p} = \frac{E\mathbf{v}}{c^2}. \quad (\text{rm2.8})$$

$v = c$  bolǵan bóleksheniń impulsı menen energiyası sheksizlikke aylanadı. Bul massası nolge teń bolmaǵan bólekshelerdiń jaqtılıqtıń tezligindey tezlik penen qozǵala almaytuǵınlıǵın bildiredi. Biraq relyativistlik mexanikada massası nolge teń hám jaqtılıqtıń tezligindey tezlik penen qozǵalatuǵın bólekshelerdiń bolıwı mümkin. Bunday bóleksheler ushın (rm2.8) den iye bolamız<sup>14</sup>:

$$p = \frac{E}{c}. \quad (\text{rm2.9})$$

---

<sup>14</sup> Jaqtılıq kvantları – fotonlar sonday bóleksheler bolıp tabıladı.

Juwıq türde tap usı formula massası nolge teń emes bóleksheler ushın bóleksheniń energiyası  $E$  onıń tınıshlıqtaǵı energiyası  $mc^2$  tan júdá úlken bolǵan *ultrarelyativistlik jaǵdaylarda* durıs boladı.

Endi barlıq alıńǵan qatnaslardı tórt ólshemli türde keltirip shıgaramız. Eń kishi tásir principine sáykes

$$\delta S = -mc\delta \int_a^b ds = 0.$$

$\delta S$  ushın ańlatpanı ashamız. Bunıń ushın  $ds = \sqrt{dx_i dx^i}$  ekenligin ańgaramız hám sonlıqtan

$$\delta S = -mc \int_a^b \frac{dx_i \delta dx^i}{ds} = -mc \int_a^b u_i d\delta x^i.$$

Bólimler boyınsha integrallap, tabamız:

$$\delta S = -mcu_i \delta x^i|_a^b = mc \int_a^b \delta x^i \frac{du_i}{ds} ds. \quad (\text{rm2.10})$$

Málim, qozǵalıs teńlemelerin tabıw ushın berilgen eki awhaldan ótetüǵın hár qıylı traektoriyalar salıstırıldı [yaǵníy  $(\delta x^i)_a = (\delta x^i)_b = 0$  sheklerindegi]. Haqıqıy traektoriya  $\delta S = 0$  shártinen anıqlanadı. Bunday jaǵdayda (rm2.10) formulasınan  $du^i/ds = 0$  teńlemesin algan bolar edik, yaǵníy tórt ólshemli türde erkin bóleksheniń tezliginiń turaqlılığı.

Koordinatalardıń funkciyası sıpatında tásirdiń variaciyasın tabıw ushın tek bir  $a$  noqatın berilgen dep esaplaw kerek, sonıń ushın  $(\delta x^i)_a = 0$ . Ekinshi noqattı ózgermeli dep esaplaw kerek, biraq tek haqıqıy noqatlardı óana, yaǵníy traektoriyanıń qozǵalıs teńlemelerin qanaatlandıratuǵın noqatlardı qaraw kerek. Conıń ushın (rm2.10) ańlatpasındaǵı integral  $\delta S$  ushın nolge teń.  $(\delta x^i)_b$  niń ornına tek  $\delta x^i$  dep jazamız hám solay etip tabamız:

$$\delta S = -mcu_i \delta x^i. \quad (\text{rm2.11})$$

4-vektor

$$p_i = -\frac{\partial S}{\partial x^i} \quad (\text{rm2.12})$$

4 *impuls* dep ataladı. Mexanikadan málim bolǵanınday,  $\partial S / \partial x, \partial S / \partial y, \partial S / \partial z$  bóleksheniń  $p$  impulsınıń úsh qurawshısı bolıp tabıladi, al  $\partial S / \partial t$  tuwındısı bolsa bóleksheniń energiyası  $E$  bolıp tabıladi. Conlıqtan 4 impulstıń kovariant qurawshıları  $p_i = (E/c, -p)$ , al kontravariant qurawshıları bolsa<sup>15</sup>

$$p^i = (E/c, -p). \quad (\text{rm2.13})$$

(rm2.11) den kórinip turǵanınday, erkin bóleksheniń 4 impulsınıń qurawshıları mınaǵan teń:

$$p^i = mcu^i. \quad (\text{rm2.14})$$

Bul ańlatpaǵa

<sup>15</sup> Fizikalıq 4-vektorlardı este saqlaw ushın miemonikalıq qaǵıydaǵa dıqqat awdaramız: kontravariant qurawshılar sáykes úsh ólshemli vektorlar menen ( $x^i$  ushın  $r$ ,  $p^i$  ushın  $p$  h.t.b.) "durıs", oń belgi arqalı baylanısqan.

$$u^i = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \frac{v}{c\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right)$$

formulasınan  $u^i$  diń mánisin qoysaq, onda  $\mathbf{p}$  hám  $E$  ushın (rm2.1) hám (rm2.4) ańlatpalarınıń alinatuǵınlığına isenemiz.

Colay etip relyativistik mehanikada impuls penen enerjiya bir 4-vektordıń qurawshıları bolıp tabıldır eken. Bunnan impuls penen energiyaniń bir esaplaw sistemasınan ekinshisine ótkendegi túrlewiw formulaları tikkeley shıǵadı. 4-vektordıń túrlewiwiniń ulıwmalıq formulaları bolǵan [(1.1)-formula]

$$A^0 = \frac{A'^0 + (V/c)A'^1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, A^1 = \frac{A'^1 + (V/c)A'^0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, A^2 = A'^2, A^3 = A'^3.$$

formulalarına (rm2.13) ti qoypıń mına formulalardı alamız:

$$p_x = \frac{p_x' + (V/c)E'}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, p_y = p_y', p_z = p_z', E = \frac{E' + (V/c)p_x'}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \quad (\text{rm2.15})$$

Bul ańlatpada  $p_x, p_y, p_z$  arqalı úsh ólshemli  $\mathbf{p}$  vektorınıń qurawshıları belgilengen.

4 impulstiń anıqlaması bolǵan (rm2.14) ten hám  $u^i u_i = 1$  teńliginen erkin bóleksheniń 4 impulsınıń kvadratı ushın iye bolamız:

$$p^i p_i = m^2 c^2. \quad (\text{rm2.16})$$

Bul ańlatpaǵa (rm2.13) ti qoypıń biz (rm2.6)-ańlatpaǵa qaytip kelemiz.

Kúsh ushın ádettegi anıqlamaǵa sáykes kúsh 4-vektorın mına tuwındı túrinde anıqlaw mümkin:

$$g^i = \frac{dp^i}{ds} = mc \frac{du^i}{ds}. \quad (\text{rm2.17})$$

Onıń qurawshıları  $g_{i^j} = 0$  teńligin qanaatlandıradı. Bul 4-vektordıń qurawshıları kúshtiń ádettegi úsh ólshemli  $\mathbf{f} = dp/dt$  vektorı arqalı bılayınsa ańlatıldı:

$$g^i = \left( \frac{\mathbf{f}v}{c^2 \sqrt{1 - v^2/c^2}}, \frac{\mathbf{f}}{c^2 \sqrt{1 - v^2/c^2}} \right) \quad (\text{rm2.18})$$

Ýaqıtlıq qurawshı kúshtiń jumısı menen baylanısqan bolıp shıǵadı.

### Pelyativistik mehanikaǵa matematikalıq qosımshalar.

#### Tórt ólshemli vektorlar.

Tórt ólshemli keńisliktegi waqıyanıń koordinatalarınıń  $(ct, x, y, z)$  jıynaǵın tórt ólshemli radius-vektordıń (bunnan bılay qısqalıq ushın 4 radius-vektor dep aytamız) qurawshıları sıpatında qarawǵa boladı. Onıń qurawshıların  $x^i$  arqalı ańlatamız. Bul jerde  $i$  indeksi 0, 1, 2, 3 mánislerine iye boladı, qala berse

$$x^0 = ct, x^1 = x, x^2 = y, x^3 = z.$$

4 radius vektordıń "uzınlığı" nıń kvadratı

$$(x^0)^2 - (x^1)^2 - (x^2)^2 - (x^3)^2$$

ańlatpası járdeminde beriledi. Onıń mánisi tórt ólshemli koordinatalar sistemasın qanshama burǵanda da ózgermeydi. Dara jaǵdayda Lorenc túrlendiriliwleri de usınday buriwlardıń biri bolıp tabıldırı.

Ulıwma alganda  $A^i$  tórt ólshemli vektorı dep (4-vektor dep)  $A^0, A^1, A^2, A^3$  tórt shamasınıń jıynaǵına aytılıp, olar tórt ólshemli koordinatalar sistemasın túrlendirilegende 4 radius-vektordıń qurawshıları  $x^i$  day bolıp túrlemedi. Lorenc túrlendiriliwlerinde

$$A^0 = \frac{A'^0 + (V/c)A'^1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, A^1 = \frac{A'^1 + (V/c)A'^0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, A^2 = A'^2, A^3 = A'^3. \quad (1.1)$$

Qálegen 4-vektordıń kvadratınıń shaması 4 radius-vektordıń kvadratı sıyaqlı aniqlanadı:

$$(A^0)^2 - (A^1)^2 - (A^2)^2 - (A^3)^2.$$

Usınday ańlatpalardı jazıwdı qolaylı etiw ushın 4-vektorlardıń qurawshılarıń eki "sort" in kirgizedi hám olarǵa joqarıdaǵı hám tómengi indeksler jazadı. Usınıń menen birge

$$A_0 = A^0, A_1 = A^1, A_2 = A^2, A_3 = A^3. \quad (1.2)$$

$A^i$  shamaların 4-vektordıń *kontravariant*, al  $A_i$  shamaların 4-vektordıń *kovariant* qurawshıları dep ataladı. Bunday jaǵdayda 4-vektordıń kvadratı mına túrde jazıladı

$$\sum_{i=1}^3 A^i A_i = A^0 A_0 + A^1 A_1 + A^2 A_2 + A^3 A_3.$$

Ádette summalarla  $\sum$  summalarlaw belgisin taslap ketip  $A^i A_i$  túrinde jazıw qabil etilgen<sup>16</sup>. Bunday jaǵdayda ańlatpadaǵı eki ret qaytalanatuǵın indeks boyınscha summalarlaw názerde tutılıp, summa belgisi jazılmayıdı. Al birdey indekstegi hár bir juptıń birewi joqarıda, al ekinshisi tómende turiwı kerek. Usınday gúń dep atalıwshı indeksler boyınscha summalarlaw júdá qolaylı hám formulalardı jazıwdı ádewir ápiwayılastırıdı.

Bul jumısta biz 0, 1, 2, 3 mánislerine iye tórt ólshemli indekslerdi i, k, l, ... latın hárıpleri menen belgileymiz.

4-vektordıń kvadratı sıyaqlı eki hár túrli 4-vektorlardıń skalyar kóbeymesi düziledi:

$$A^i A_i = A^0 A_0 + A^1 A_1 + A^2 A_2 + A^3 A_3.$$

Usınıń menen birge bul ańlatpanı  $A^i A_i$  dep te,  $A_i B^i$  dep te jazıwǵa boladı hám bunday ózgerislerde nátiye ózgermeydi. Ulıwma alganda gúń indekslerde barlıq waqitta da joqarǵı indeks penen tómengi indekslerdiń orınların ózgertip qoyıwǵa boladı<sup>17</sup>.

$A^i A_i$  kóbeymesi 4 skalyar bolıp tabıladı. Bul kóbeyme tórt ólshemli koordinatalar sistemaların buriwlargá qarata invariant. Bul jaǵdaydı tikkeley tekserip kóriw ańsat<sup>18</sup>, biraq onıń orın alatuǵınlıǵı barlıq 4-vektorlardıń birdey nızam boyınscha túrlendiriletuǵınlıǵına baylanıslı anıq túsinikli ( $A^i A_i$  kvadratı sıyaqlı).

4-vektordıń  $A^0$  qurawshısın waqıtlıq, al  $A^1, A^2, A^3$  qurawshılarıń keńisliklik dep ataydı (4-radius-vektorǵa sáykes). 4-vektordıń kvadratı oń mániske, teris mániske, sonıń menen birge nolge de teń bolıwı mümkin. Bunday jaǵdaylarda olardı sáykes *waqıtqa megzes*,

<sup>16</sup> Cummalarlaw belgisi  $\sum$  ni taslap ketip jazıw birinshi ret A.Eynshteyn tárepinen usınılgan hám 1916-jılı jarıq kórgen "Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń tiykarları" atlı miynette paydalanylıldı.

<sup>17</sup> Házırkı waqıtłardaǵı ádebiyatlardı tórt ólshemli vektorlardıń indekslerin pútkilley jazbaydı, al olardıń kvadratları menen skalyar kóbeymeleri  $A^2, AB$  túrinde jazadı. Bul jumısta biz bunday belgilewlerdi paydalanyamız.

<sup>18</sup> Usınıń menen birge kovariant qurawshılar menen ańlatılǵan 4-vektordıń túrlendiriliw nızamınıń kontravariant qurawshılarda ańlatılǵan tap sol nızamnıń ayrılatuǵınlıǵı (belgilerinde) barlıq waqitta da este saqlaw kerek. Usıǵan baylanıslı (1) diń ornına iye bolamız:

$$A_0 = \frac{A'_0 - (V/c)A'_1}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, A_1 = \frac{A'_1 - (V/c)A'_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}, A^2 = A'^2, A^3 = A'^3.$$

keńislikke megzes hám nollik 4-vektorlar dep ataydı (intervallar ushın arnalǵan terminologiyaǵa sáykes)<sup>19</sup>.

Keńisliklik buriwlarga (yaǵníy waqıt kósherine tiymeytuǵın) qatnasi boyınsha 4-vektordıń úsh keńisliklik koordinataları úsh ólshemli  $\mathbf{A}$  vektorın payda etedi. Al 4-vektordıń waqıtlıq qurawshısı (sol túrlendiriwlerge qatnasi boyınsha) úsh ólshemli skalyar bolıp tabıladi. 4-vektordıń qurawshılarıñ atap ótip biz olardı jiyi bılayınsha jazamız

$$A^i = (A^0, \mathbf{A}).$$

Usınıń menen birge sol 4-vektordıń kovariant qurawshıları  $A_i = (A_0, \mathbf{A})$ , al, 4-vektordıń kvadrati:  $A^i A_i = (A^0)^2 - \mathbf{A}^2$ . Colay etip 4 radius-vektor ushın:

$$x^i = (ct, \mathbf{r}), \quad x_i = (ct, -\mathbf{r}), \quad x^i x_i = c^2 t^2 - \mathbf{r}^2$$

teńlikleri orınlı boladı. Álbette, úsh ólshemli vektorlardı (qurawshıları  $x, y, z$  bolǵan) kontra- hám kovariant qurawshılargá ajıratıp otırıwdıń zárúrliği joq. Conlıqtan barlıq jaǵdaylarda (gúman payda etpeytuǵın orınlarda) biz olardıń qurawshılarıñ  $A_\alpha$  ( $\alpha = x, y, z$ ) túrinde indekslerin tómenge hám grek hárıpleri menen jazamız. Conıń menen birge eki ret qaytalanatuǵın grek indeksleri boyınsha  $x, y, z$  tiń úsh mánisi boyınsha summalaw názerde tutıladı (mísali  $\mathbf{AB} = A_\alpha B_\alpha$ ).

2-rangalı tórt ólshemli tenzor (4-tenzor) dep eki 4-vektordıń qurawshılarıní kóbeymesi túrinde túrleñetuǵın 16 dana  $A^{ik}$  shamalarınıń jiynaǵına aytamız. Tap usınday jollar menen joqarı rangalı 4-tenzorlar aniqlanadı.

2-rangalı 4-tenzordıń qurawshıları úsh túrde jazılıwi mûmkin: kontrvariant  $A^{ik}$  túrinde, kovariant  $A_{ik}$  túrinde hám aralas  $A^k_i$  túrinde (sońğı jaǵdayda  $A^i_k$  menen  $A_i^k$  shamaların ajıratıw kerek, yaǵníy joqarıda yamasa tómende birinshi indeks tur ma yamasa ekinshisi me). Qurawshılardıń hár qıylı túrleri arasında baylanıslar ulıwmalıq qaǵıdyda boyınsha aniqlanadı: waqıtlıq indeksti (0) kóteriw yamasa túsiriw hesh nárseni ózgertpeydi, al keńisliklik indekslerdi ( $x, y, z$ ) kóteriw yamasa tómenge túsiriw qurawshıını belgisin ózgertedi. Colay etip:

$$\begin{aligned} A_{00} &= A^{00}, A_{01} = -A^{01}, A_{11} = A^{11}, \dots, \\ A^0{}_0 &= A^{00}, A^1{}_0 = A^{01}, A^0{}_1 = -A^{01}, A^1{}_1 = -A^{11}, \dots \end{aligned}$$

Tek keńisliklik túrlendiriwlerge qatnasi boyınsha  $A^{11}, A^{12}, \dots$  toǵız qurawshısı úsh ólshemli tenzordı qurayıdı.  $A^{01}, A^{02}, A^{03}$  úsh qurawshısı hám  $A^{10}, A^{20}, A^{30}$  úsh qurawshısı úsh ólshemli vektorlardı payda etedi, al  $A^{00}$  qurawshısı úsh ólshemli skalyar bolıp tabıladi.

Eger  $A^{ik} = A^{ki}$  bolsa tenzor simmetriyalı hám  $A^{ik} = -A^{ki}$  bolsa tenzor antisimmetriyalı dep ataladı. Antisimmetriyalı tenzorda barlıq diagonallıq qurawshılar (yaǵníy  $A^{00}, A^{11}, \dots$  qurawshıları) nolge teń. Conlıqtan, mísali  $A^{00} = -A^{00}$ .  $A^{ik}$  simmetriyalıq tenzöründə aralas qurawshılar  $A^i{}_k$  hám  $A_k{}^i$  lerdıń bir birine sáykes keletuǵınlığı anıq. Usınday jaǵdaylarda bizler indekslerdi biriniń ústine ekinshisin jazamız (yaǵníy  $A_k^i$  túrinde).

Barlıq tenzorlıq teńlikte ańlatpalar eki tárepten de birdey hám birdey bolıp jaylasqan (joqarıda hám tómende) erkin, yaǵníy gúń emes indekslerge iye bolıwı kerek. Tenzorlıq teńliklerdegi erkin indekslerdiń orınlارın ózgertiw mûmkin (joqarıǵa yamasa tómenge), biraq bunday ózgertiwler teńlemenıń barlıq aǵzaları ushın bir waqıtta júrgiziledi. Hár qıylı tenzorlardıń kontra- hám kovariant qurawshılarıñ teńlestiriw "nızamlı emes", bunday

---

<sup>19</sup> Nollik 4-vektorlardı izotrop vektorlar dep te ataydı.

teńlik qanday da bir esaplaw sistemasında orınlantauǵın bolsa da, basqa esaplaw sistemalarında orınlantaydi.

$A^{ik}$  tenzorınıń qurawshılarıńan

$$A^i_i = A^0_0 + A^1_1 + A^2_2 + A^3_3$$

summasın dúziw arqalı skalyar payda etiwge boladı (bunday jaǵdayda, álbette  $A^i_i = A_i^i$ ). Bunday qosındını tenzordıń izi dep ataydı. Al onı payda etiwshi operaciya haqqında aytqanda tenzordı qısiw (*svertivanie*) yamasa ápiwayılastırıw haqqında aytılaǵı.

Joqarıda qarap ótilgen eki 4-vektordıń skalyar kóbeymesin dúziw de qısiw operaciyası bolıp tabılaǵı: bul  $A^i B_k$  tenzorınan  $A^i B_i$  skalyarınıń dórewi bolıwı bolıp tabılaǵı. Ulıwma alganda jup indeks boyınsha qálegen qısiw tenzordıń rangasın 2 ge túsiredi. Mısalı  $A^i_{kli}$  2-rangalı tenzor,  $A^i_k B_k$  bolsa 4-vektor,  $A^{ik}_{ik}$  skalyar bolıp tabılaǵı h.t.b.

Birlik 4-tenzor dep  $\delta_k^i$  tenzori aytılıp, ol ushın qálegen  $A^i$  4-vektori ushın mına teńlik orınlantadi:

$$\delta_k^i A^i = A^k. \quad (1.3)$$

Bul tenzordıń qurawshılarıńan

$$\delta_k^i A^i = \begin{cases} 1, & \text{eger } i = k \text{ bolsa,} \\ 0, & \text{eger } i \neq k \text{ bolsa.} \end{cases} \quad (1.4)$$

shamalarına teń bolatuǵınlıǵı aqıqın. Onıń izi  $\delta_i^i = 4$ .

$\delta_i^i$  tenzorındaǵı bir indeksti kótersek, yamasa ekinshisin tómenge túsirsek, biz kontrayamasa kovariant tenzor alamız hám bul tenzordı  $g^{ik}$  yamasa  $g_{ik}$  dep belgileymiz hám onı metrlik tenzor dep ataymız. Bul  $g^{ik}$  hám  $g_{ik}$  tenzorları birdey qurawshılarǵa iye boladı, olardı mına keste túrinde kórsetiw mümkin:

$$(g^{ik}) = (g_{ik}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}. \quad (1.5)$$

(0, 1, 2, 3 mánisleriniń tártibinde  $i$  indeksi qatardı, al  $k$  indeksi baǵanani nomerleydi).

$$g_{ik} A^k = A_i, g^{ik} A_k = A^i. \quad (1.6)$$

ekenligi aqıqın. Usıǵan baylanıslı eki 4-vektordıń skalyar kóbeymesin

$$A^i A_i = g_{ik} A_i A_k \quad (1.7)$$

túrinde jazıw mümkin.  $\delta_i^i$ ,  $g_{ik}$ ,  $g^{ik}$  tenzorlarınıń oǵada áhmiyetli ekenligi sonnan ibarat, olardıń qurawshıları barlıq koordinatalar sistemasında birdey mániske iye. Tap usınday qásiyetlerge tórtinshi rangalı antisimmetriyalı birlik 4-tenzor  $e^{iklm}$  de iye. Antisimmetriyalı birlik 4-tenzor dep qurawshıları qálegen eki indeksiniń orınların almastırıp qoyǵanda belgisin ózgertetuǵın, nolden ózgeshe qurawshıları  $\pm 1$  ge teń tenzorǵa aytamız. Antisimmetriyalıqtan bul tenzordıń eń keminde eki indeksi bir birine teń bolsa nolge teń bolatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Tek tórt indeksi de bir birine teń emes qurawshıları nolge teń emes. Aytayıq

$$e^{0123} = +1 \quad (1.8)$$

bolsın (usınıń menen birge  $e_{0123} = -1$ ). Demek  $e^{iklm}$  niń nolge teń emes qurawshılarıńıń barlıǵı da  $+1$  ge yamasa  $-1$  ge teń. Tenzordıń  $+1$  yamasa  $-1$  ge teń bolıwı  $i, k, l, m$  sanların 0, 1, 2, 3 izbe-izligine keltiriw mümkin bolǵan qayta qoyıwlardıń (perestanovkalar yamasa transpoziciyalardıń) jup yamasa taqlıǵına baylanıslı. Usınday qurawshılardıń sanı  $4! = 24$ . Conlıqtan

$$e^{iklm} e_{iklm} = -24. \quad (1.9)$$

Koordinata sistemasiń burılıwlara qatnasi boyinsha  $e^{iklm}$  shamaları tenzordiń qurawshılarınday qásiyetlerge iye boladı. Biraq bir yamasa úsh koordinataniń belgileri ózgergende barlıq koordinatalar sistemin ushın birdey bolıp anıqlanǵan  $e^{iklm}$  qurawshıları ózgermeydi, al tenzordiń qurawshıları bolsa belgisin ózgertken bolar edi. Conlıqtan  $e^{iklm}$  di haqıyatında tenzor emes, al psevdotenzor dep aytadı. Qálegen rangadaǵı psevdotenzorlar, dara jaǵdaylarda psevdoskalyarlar burıwlarǵa alıp keliniwi múmkın emes bolǵan koordinatalardıń barlıq túrlendiriwlerinde tenzorlardıń qásiyetindey qásiyet kórsetedi (yaǵníy burıwlarǵa alıp kelmeytuǵın koordinatalardıń belgileriniń ózgeriwi bolǵan shashırawlardan basqalarında).

$e^{iklm}e^{prst}$  kóbeymeleri 8-rangalı 4-tenzordı payda etedi. Qala berse bul tenzor haqıkyıkı tenzor bolıp tabıldır. Bir yamasa bir neshe indeksler jupları boyinsha ápiwayılastırıw arqalı 6-, 4- hám 2-rangalı tenzorlardı alıw múmkın. Bul tenzorlardıń barlıǵı da barlıq koordinatalar sisteminde birdey túrge iye boladı. Conlıqtan olardıń qurawshıları birlik tenzor  $\delta_i^i$  (qurawshıları barlıq sistemalarda birdey bolǵan birden bir haqıqıy tenzor) díń qurawshılarıń kóbeymesiniń kombinaciyası túrinde ańlatılıwı kerek. Bunday kombinaciyalardı dúziw ańsat hám olar indekslerdi qaytadan qoyıp shıǵıwǵa baylanıslı bolǵan simmetriya qásiyetinen kelip shıǵadı<sup>20</sup>.

Eger  $A^{ik}$  antisimmetriyalı tenzor bolsa, onda  $A^{ik}$  tenzori hám psevdotenzor  $A^{*ik} = (1/2)e^{iklm}$  bir birine duallıq tenzorlar dep ataladı. Tap usıǵan sáykes  $e^{iklm}A_m$  tenzori  $A^i$  tenzorına duallıq bolǵan 3-rangalı antisimmetriyalıq psevdotenzor bolıp tabıldır. Álbette duallıq tenzorlardıń  $A^{ik}A_{ik}^*$  kóbeymesi psevdoskalyar bolıp tabıldır.

Joqarıda aytılǵanlarǵa baylanıslı úsh ólshemli vektorlar menen tenzorlardıń sáykes qásiyetlerin eske salıp ketemiz. 3-rangalı antisimmetriyalı birlik psevdotenzor dep qálegen eki indeksiniń orınların almastırıp qoyǵanda belgisin ózgertetuǵın  $e_{\alpha\beta\gamma}$  shamalarınıń jıynaǵına aytamız. Indeksleriniń úshewi úsh túrli bolǵanda  $e_{\alpha\beta\gamma}$  nıń qurawshıları nolge teń bolmaydı. Usınıń menen birge  $e_{xyz} = 1$  dep qabil etemiz, al  $\alpha, \beta, \gamma$  izbe-izligin jup yamasa taq qayta qoyıp shıǵıwlardıń nátiyjesinde  $x, y, z$  izbe-izligine keliwdiń múmkinshiligne baylanıslı 1 ge yamasa -1 ge teń boladı<sup>21</sup>.

<sup>20</sup> Biz bul jerde maǵlıwmat ushın sáykes formulalardı keltiremiz:

$$e^{iklm}e_{prst} = - \begin{vmatrix} \delta_p^i & \delta_r^i & \delta_s^i & \delta_t^i \\ \delta_p^k & \delta_r^k & \delta_s^k & \delta_t^k \\ \delta_p^l & \delta_r^l & \delta_s^l & \delta_t^l \\ \delta_p^m & \delta_r^m & \delta_s^m & \delta_t^m \end{vmatrix}, \quad e^{iklm}e_{prst} = - \begin{vmatrix} \delta_p^i & \delta_r^i & \delta_s^i \\ \delta_p^k & \delta_r^k & \delta_s^k \\ \delta_p^l & \delta_r^l & \delta_s^l \end{vmatrix},$$

$$e^{iklm}e_{prst} = -2(\delta_p^i\delta_r^k - \delta_r^i\delta_p^k), \quad e^{iklm}e_{prst} = -6\delta_p^i.$$

Bul formulalardaǵı ulıwmalıq koefficientler polyar qısıwdıń nátiyjesi boyinsha tekseriledi. Bunday qısıwdı (1.9)-qaǵıydaniń beriwi kerek.

<sup>21</sup>  $e^{iklm}$  4-tenzorınıń qurawshılarıń 4-koordinatalar sistemin aylandırıwǵa, 3 tenzor bolǵan  $e_{\alpha\beta\gamma}$  nıń keńisliklik koordinata kósherlerin aylandırıwǵa qatnasi boyinsha ózgermey qalıwı ulıwmalıq qaǵıydaniń dara jaǵdayı bolıp tabıldır: Pangası keńisliktiń ólshemleri sanına teń hám usı keńislikte anıqlanǵan qálegen antisimmetriyalıq tenzor usı keńisliktegi koordinatalar sistemin aylandırıwlarǵa qarata invariant.

$e_{\alpha\beta\gamma}e_{\lambda\mu\nu}$  kóbeymeleri 6-rangalı úsh ólshemli tenzordı beredi hám sonlıqtan birlik úsh ólshemli  $\delta_{\alpha\beta}$  tenzorınıń qurawshılarıń kombinaciyası türinde ańlatılıdı<sup>22</sup>.

Koordinata sistemasiń shaǵılıstırǵanda, yaǵníy barlıq koordinatalardıń belgilerin ózgertkende, ádettegi úsh ólshemli tenzordıń qurawshıları da belgisin ózgertedi. Eki polyar vektordıń kóbeymesi türinde berile alatuǵın vektordıń qurawshıları shaǵılıstırıwda belgisin ózgertpeydi. Bunday vektorlardı *aksial vektorlar* dep atayız. Polyar hám aksial vektorlardıń skalar kóbeymesi haqıqıy emes, al psevdoskalyar bolıp tabıladi: koordinatalardı shaǵılıstırǵanda ol belgisin ózgertedi. Aksıallıq vektor antisimmetriyalı tenzorgá dual bolǵan psevdovektor bolıp tabıladi. Mısalı, eger  $C = [AB]$  bolsa, onda

$$C_\alpha = \frac{1}{2}e_{\alpha\beta\gamma}C_{\beta\gamma},$$

bul jerde  $C_{\beta\gamma} = A_\beta B_\gamma - A_\gamma B_\beta$ .

Endi 4-tenzorlarga qayıtip kelemiz.  $A^{ik}$  antisimmetriyalıq 4-tenzorınıń keńisliklik qurawshıları ( $i, k = 1, 2, 3$ ) tek keńisliklik túrlendiriwlerge qatnasi boyınsha úsh ólshemli antisimmetriyalıq tenzor bolıp tabıladi, al joqarıda aytılganlarga baylanıslı onıń qurawshıları úsh ólshemli aksial vektordıń qurawshıları arqalı ańlatılıdı.  $A^{01}, A^{02}, A^{03}$  qurawshıları bolsa sol túrlendiriwlerge qatnasi boyınsha úsh ólshemli polyar vektordı quraydı. Colay etip antisimmetriyalı 4-tenzordıń qurawshıların mına keste türinde kórsetiwge boladı:

$$(A^{ik}) = \begin{bmatrix} 0 & p_x & p_y & p_z \\ -p_x & 0 & -a_z & a_y \\ -p_y & a_z & 0 & -a_x \\ -p_z & -a_y & a_x & 0 \end{bmatrix} \quad (1.10)$$

Qala berse, keńisliklik túrlendiriwlerge qatnasi boyınsha  $\mathbf{p}$  menen  $\mathbf{a}$  polyar hám aksial vektorlar bolıp tabıladi. Antisimmetriyalıq 4-tenzordıń qurawshıların birim-birim aytip shıǵıw arqalı olardı mına türde jazamız:

$$A^{ik} = (\mathbf{p}, \mathbf{a}).$$

Bunday jaǵdayda sol tenzordıń kovariant qurawshıları mına türge iye:

$$A_{ik} = (-\mathbf{p}, \mathbf{a}).$$

Endi, aqırında tórt ólshemli tenzorlıq analizdiń bazı bir differenciallıq hám integrallıq operaciyaların qaraw ushın toqtap ótemiz.

$\phi$  skalyarınıń 4 gradienti mına 4-vektor bolıp tabıladi:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x^i} = \left( \frac{1}{c} \frac{\partial \phi}{\partial t}, \nabla \phi \right).$$

Usı jazılǵan tuwındillardıń 4-vektordıń kovariant qurawshıları ekenligin názerde tutıw zárúrli. Haqıyatında da skalyardıń differencialı

$$d\phi = \frac{\partial \phi}{\partial x^i} dx^i$$

<sup>22</sup> Maǵlıwmat ushın sáykes formulalardı keltiremiz:

$$e_{\alpha\beta\gamma}e_{\lambda\mu\nu} = \begin{vmatrix} \delta_{\alpha\lambda} & \delta_{\alpha\mu} & \delta_{\alpha\nu} \\ \delta_{\beta\lambda} & \delta_{\beta\mu} & \delta_{\beta\nu} \\ \delta_{\gamma\lambda} & \delta_{\gamma\mu} & \delta_{\gamma\nu} \end{vmatrix}.$$

Bul tenzordı indekslerdi bir, eki hám úsh jup boyınsha ápiwayılastırıp, alamız

$$e_{\alpha\beta\gamma}e_{\lambda\mu\nu} = \delta_{\alpha\lambda}\delta_{\beta\mu} - \delta_{\alpha\mu}\delta_{\beta\lambda}, e_{\alpha\beta\gamma}e_{\lambda\beta\gamma} = 2\delta_{\alpha\lambda}, e_{\alpha\beta\gamma}e_{\alpha\beta\gamma} = 6.$$

shaması da skalyar bolıp tabıladı; onıń túrinen (eki 4-vektordıń skalyar kóbeymesi) joqarıdaǵı tastıyıqlawdını durıslığı ayqın kórinedi.

Ulıwma  $x^i$ ,  $\partial/\partial x^i$  koordinatası boyınsha differentiallaw operatorları operatorlıq 4-vektordıń kovariant qurawshıları sıpatında qaralıwı kerek. Conlıqtan, misalı, kontravariant qurawshıları  $A^i$  differentiallanatugıń 4-vektordıń divergenciyası  $-\partial A^i/\partial x^i$  ańlatpası skalyar bolıp tabıladı<sup>23</sup>.

Úsh ólshemli keńislikte integrallawdı kólem, bet hám iymeklik boyınsha júrgiziw mümkin. Tórt ólshemli keńislikte bolsa sáykes tórt túrlı integrallawdı ámelge asırıw mümkin.

1) 4 keńisliktegi iymektik boyınsha integral. Integrallaw elementi uzınlıq elementi, yaǵníy  $dx^i$  4-vektorı bolıp tabıladı.

2) 4 keńisliktegi bet boyınsha (eki ólshemli) integral. Úsh ólshemli keńislikte paralelogramnıń  $dr$  hám  $dr'$  vektorlarında qurılǵan maydanınıń  $x_\alpha x_\beta$  koordinatalıq tegisligine túsirilgen proekciyası  $dx_\alpha dx'_\beta - dx_\beta dx'_\alpha$  ga teń ekenligi belgili. Tap sol sıyaqlı 4 keńislikte bettin sheksiz kishi fragmenti ekinshi rangalı  $df^{ik} = dx^i dx'^k - dx^k dx'^i$  antisimmetriyalı tenzori menen anıqlanadı, onıń qurawshıları elementtiń maydanınıń koordinatalıq tegislikke proekciyalarına teń. Úsh ólshemli keńislikte  $df_{\alpha\beta}$  tenzorınıń ornına bettiń elementi sıpatında  $df_{\alpha\beta}$  tenzorına duallıq bolǵan  $df_\alpha$  tenzori qollanıladı:  $df_\alpha = \frac{1}{2} e_{\alpha\beta\gamma} df_{\beta\gamma}$ . Geometriyalıq jaqtan bettiń elementine normal bolǵan vektor, al bul vektordıń absolyut shaması usı elementtiń maydanına teń. Tórt ólshemli keńislikte bunday vektordıń súwretin salıwǵa bolmaydı, biraq  $df^{ik}$  tenzorına duallıq bolǵan  $df^{*ik}$  tenzorınıń súwretin salıwǵa boladı, yaǵníy

$$df^{*ik} = \frac{1}{2} e^{iklm} df_{lm}. \quad (1.11)$$

Geometriyalıq jaqtan ol  $df^{ik}$  elementine teń hám "normal" bet elementin súwretleydi, onıń ústinde jatqan barlıq kesindiler  $df^{ik}$  elementi ústindegi barlıq kesindilerge ortogonal.  $df^{ik} df_{ik}^* = 0$  ekenligi ayqın.

3) Giperbet boyınsha integral, yaǵníy úsh ólshemli kóp túrlilik (mnogoobrazie) boyınsha. Úsh ólshemli keńislikte úsh vektordan dúzilgen parallelopipedtiń kólemi usı

<sup>23</sup> Eger "kovariant koordinata"  $x_i$  boyınsha differentiallaw júrgizilse, onda

$$\frac{\partial \phi}{\partial x_i} = g^{ik} \frac{\partial \phi}{\partial x_k} = \left( \frac{1}{c} \frac{\partial \phi}{\partial t}, -\nabla \phi \right)$$

4-vektordıń kontravariant qurawshıların dúzedi. Bunday jazıwlardı biz tek ayraqsha jaǵdaylardaǵana paydalananamız (misalı 4 gradienttiń kvadratı bolǵan  $\frac{\partial \phi}{\partial x^i} \frac{\partial \phi}{\partial x_i}$  di jazıw ushın). Ádebiyatta tuwındılardıń koordinataları boyınsha dara tuwındılardıń

$$\partial^i = \frac{\partial}{\partial x_i}, \quad \partial_i = \frac{\partial}{\partial x^i}$$

simvolları járdemindegi qısqasha jazılıwı jiyi qollanıladı. Differentiallaw operatorlarınıń jazılıwınıń usınday formasında olar tárepinen payda etiletuǵın shamalardıń kontra- hám kovariantlıq xarakteri anıq kórinedi. Tap usınday artıqmashlıqqa tómende keltirilgen tuwındılardıń basqa túrdegi qısqasha jazılıwı (útir belgisinen keyin indeks jazıw) iye:

$$\phi_{,i} = \frac{\partial \phi}{\partial x^i}, \quad \phi^{,i} = \frac{\partial \phi}{\partial x_i}.$$

vektorlardıń qurawshılarıńan dúzilgen úshinshi tártipli anıqlawshıǵa teń ekenligi málim. 4-keńislikte tap usınday jollar menen  $dx^i, dx'^i, dx''^i$  túrinde belgilengen 4-vektorlarda dúzilgen "parallelopipedtiń" kóleminiń proekciyaları aňlatılıdı. Olar mına anıqlawshı járdeminde kórsetiledi:

$$dS^{ikl} = \begin{vmatrix} dx^i & dx'^i & dx''^i \\ dx^k & dx'^k & dx''^k \\ dx^l & dx'^l & dx''^l \end{vmatrix}$$

Bul anıqlawshı úsh indeksi boyınsha antisimmetriyalı bolǵan 3-rangalı tenzordı dúzedi. Giperbet boyınsha integrallaw elementi sıpatında  $dS^{ikl}$  tenzorına duallıq bolǵan  $dS^i$  arqalı belgilengen 4-vektorın paydalangan qolaylı:

$$dS^i = -\frac{1}{6}e^{iklm}dS_{klm}, \quad dS_{klm} = e_{nklm}dS^n. \quad (1.12)$$

Usınıń menen birge

$$dS^0 = dS^{123}, \quad dS^1 = dS^{023}, \dots$$

Geometriyalıq jaqtan  $dS^i$  shaması jaǵınan giperbet elementiniń "maydanı" na teń, al bağıtı boyınsha usı elementke normal 4-vektor bolıp tabıladı (yaǵníy giperbet elementinde ótkerilgen barlıq tuwrıllarǵa perpendikulyar). Dara jaǵdayda  $dS^0 = dx dy dz$ , yaǵníy úsh ólshemli  $dV$  kóleminıń elementi bolıp tabıladı (giperbet elementiniń  $x^0 = const$  gipertegisligindegi proekciyası).

4) Tórt ólshemli kólem boyınsha integral; integrallaw elementi mına differenciallardıń kóbeymesi bolıp tabıladı:

$$d\Omega = dx^0 dx^1 dx^2 dx^3 = cdtdV. \quad (1.13)$$

Bul element skalyar bolıp tabıladı. 4 keńisliktiń učastkasınıń kóleminıń koordinatalar sistemasiń burǵanda ózgermeytuǵınlıǵı túsinikli<sup>24</sup>.

Úsh ólshemli vektorlıq analizdiń Gauss penen Ctoks teoremlarına sáykes tórt ólshemli integrallardı bir birine túrlendiriliwlerge mümkinshilik beretuǵın teoremlar bar.

Tuyıq giperbet boyınsha integraldı usı bet išhinde jaylasqan 4 kólem boyınsha  $dS_i$  integrallaw elementin

$$dS_i \rightarrow d\Omega \frac{\partial}{\partial x^i} \quad (1.14)$$

operatorına almastırıw arqalı túrlendiriliwge boladı. Mısalı  $A^i$  vektorınıń integralı ushın iye bolamız:

$$\oint A^i dS_i = \int \frac{\partial A^i}{\partial x^i} d\Omega. \quad (1.15)$$

Bul formula Gauss teoremasınıń ulıwmalıstırılıwı boladı.

<sup>24</sup> Integrallaw ózgeriwshileri bolǵan  $x^0, x^1, x^2, x^3$  lerdi jańa  $x'^0, x'^1, x'^2, x'^3$  ózgeriwshilerine túrlendirigende  $d\Omega$  integrallaw elementi  $Jd\Omega'$  ke almastırıladı. Bul jerde  $d\Omega' = dx'^0 dx'^1 dx'^2 dx'^3$ , al

$$J = \frac{\partial(x'^0 x'^1 x'^2 x'^3)}{\partial(x^0 x^1 x^2 x^3)}$$

shaması túrlendiriliw yakobianı bolıp tabıladı.  $x'^i = a_k^i x^k$  túrindegi sızıqlı túrlendiriliw ushın  $J$  yakobianı  $|a_k^i|$  anıqlawshısı menen sáykes keledi hám birge teń (koordinatalar sistemasiń burılıwları ushın), usınıń menen  $d\Omega$  nıń invariantlıǵı kelip shıǵadı.

Eki ólshemli bet boyınsha integral usı bet tárepinen qamtip alınatuğın giperbet boyınsha integralǵa  $df_{ik}^*$  integrallaw elementin

$$df_{ik}^* \rightarrow dS_i \frac{\partial}{\partial x^k} - dS_k \frac{\partial}{\partial x^i} \quad (1.16)$$

operatorına almastırıw arqalı túrlenedi. Mısalı  $A^{ik}$  antisimmetriyalı tenzorinan alıngan integral ushın iye bolamız:

$$\frac{1}{2} \oint A^{ik} df_{ik}^* = \frac{1}{2} \int \left( dS_i \frac{\partial A_i}{\partial x^k} - dS_k \frac{\partial A^{ik}}{\partial x^i} \right) = \int dS_i \frac{\partial A^{ik}}{\partial x^k}. \quad (1.17)$$

Tórt ólshemli tuyiq sızıq boyınsha alıngan integral usı sızıq tárepinen qamtip alıngan bet boyınsha integralǵa

$$dx^i \rightarrow df^{ki} \frac{\partial}{\partial x^k} \quad (1.18)$$

almastırıwı arqalı túrlendiriledi. Mısalı vektordan alıngan integral ushın

$$\oint A_i dx^i = \int df^{ki} \frac{\partial A_i}{\partial x^k} = \frac{1}{2} \int df^{ki} \left( \frac{\partial A_k}{\partial x^i} - \frac{\partial A_i}{\partial x^k} \right). \quad (1.19)$$

ańlatpasına iye bolamız. Bul ańlatpa Ctoks teoremasınıń ulıwmalastırılıwı bolıp tabıladı.

### Tórt ólshemli tezlik.

Ádettegi úsh ólshemli tezlik vektorinan tórt ólshemli tenzordı da túrlendiriw mümkin.

$$u^i = \frac{dx^i}{ds} \quad (2.1)$$

vektori bóleksheniń usınday 4 ólshemli tezligi (4 tezligi) bolıp tabıladı.

Onıń qurawshıların tabıw ushın

$$ds = cdt \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

ekenligin eske túsiremiz. Bul ańlatpada  $v$  arqalı bóleksheniń úsh ólshemli tezligi belgilengen. Conlıqtan

$$u^1 = \frac{dx^1}{ds} = \frac{dx}{cdt \sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{u_x}{c \sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

h.t.b. Colay etip

$$u^i = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \frac{v}{c \sqrt{1 - v^2/c^2}} \right). \quad (2.2)$$

4 tezliktiń ólshem birligi joq shama ekenligin atap ótemiz.

4 tezliktiń qurawshıları bir birinen górezsiz emes.  $dx_i dx^i = ds^2$  ekenligin eske alıp  $u^i u_i = 1$ . (2.3)

ańlatpasına iye bolamız. Geometriyalıq jaqtan  $u^i$  bóleksheniń dúnyalıq sızığına urınba bolǵan birlik 4-vektor.

4 tezliktiń anıqlamasına sáykes

$$w^i = \frac{d^2 x^i}{ds^2} = \frac{du^i}{ds}$$

tuwındısın 4 tezleniw dep ataw mümkin. (3) ti differentiallap

$$u_i w^i = 0. \quad (2.4)$$

ekenligin tabamız. Demek tezlik penen tezleniwdiń 4-vektorları óz-ara ortogonal eken.

Tutas ortalıqlar mexanikası.

Gidrodinamika.

Akustika.

Qattı deneler mexanikası.

Termodinamika.

Teń ólshewli emes termodinamika.

Optika.

Tolqınlıq optika.

Kristallooptika.

Molekulalıq optika,

Cızıqlı emes optika.

Elektrodinamika.

**Elektrodinamika** - fizikanıń bir bólimi bolıp, ol eń ulıwmalıq jaǵdaydaǵı elektromagnit maydanı (yaǵnyı waqttań gárezli bolǵan ózgermeli maydanlar qaraladı) menen onıń elektr zaryadına iye bolǵan deneler menen óz-ara tásirlesiwin (elektromagnit tásirlesiwin) úyrenedi. Elektrodinamikanıń predmeti óziniń ishine elektrlik hám magnit qubılışları arasındań baylanısti, elektromagnit nurlanıwdı (zat penen óz-ara tásir etiwdiń hár qıylı jaǵdayları menen erkin sharayatlardaǵı), elektr toǵın (ulıwma aytqanda ózgermeli toqtı) hám onıń elektromagnit maydanı menen tásirlesiwin (elektro toǵın qozǵalıwshı zaryadlanǵan bólekshelerdiń jıynaǵı sıpatında qarawǵa boladı) aladı. Házırkı zaman fizikasında zaryadlanǵan denelerdiń arasındań qálegen elektrlik hám magnitlik óz-ara tásir etisiwdi elektromagnit maydanı arqalı júzege keledi, sonlıqtan ol da elektrodinamikanıń predmeti bolıp tabıldadı dep esaplanadı.

Kóphsilik jaǵdayda elektrodinamika haqqında gáp etkende klassikalıq elektrodinamikanı túsinedi. Klassikalıq elektrodinamika Maksvell teńlemeleriniń járdeminde elektromagnit maydanınıń úzliksiz qásiyetlerin táriyipleydi. Házırkı waqıtları elektromagnit maydandı hám onıń zaryadlanǵan bóleksheler menen tásirlesiwin hám onıń kvantlıq teoriyasın belgilew ushın ádette ornıqlı bolıp qalǵan kvantlıq elektrodinamika terminin paydalananadi. "Elektrodinamika" terminin" Andre-Mari-Amper óziniń 1823-jılı jarıq kórgen "Elektrodinamikalıq qubılıslardıń teoriyasınıń konspekti" jumısında kírgizdi.

### Tiykarǵı túsinikler.

Elektrodinamika súyenetuǵın tiykarǵı túsinikler óziniń ishine mınalardı aladı:

- Elektromagnit maydanı elektrodinamikanıń úyrenetuǵın tiykarǵı predmeti bolıp tabıldadı. Elektromagnit maydanı zaryadlanǵan denelerdiń arasındań óz-ara tásir etisiwde júzege keletugıń materiyanıń túri bolıp tabıldadı. Tariyxıı jaqtan eki maydanǵa bólinedi:

- Elektr maydanı - qálegen zaryadlanǵan dene yamasa ózgermeli magnit maydanı tárepinen payda etiledi, qálegen zaryadlanǵan denege tásir etedi.

- Magnit maydanın qozǵalıwshı zaryadlanǵan deneler, spinge iye bolǵan zaryadlanǵan deneler hám ózgermeli elektr maydanı payda etedi, ol qozǵalatuǵın zaryadlarǵa hám spinge iye bolǵan zaryadlanǵan denelerge tásir etedi (Cpin túsinigi kvantlıq mexanikada bir biri menen teppe-teń bolǵan bólekshelerdiń almasıw tásirlesiwinde esapqa alınadı hám klassikalıq mexanikaǵa ótkende tolıq joq bolatuǵın taza kvantlıq effekt bolıp tabıldadı.

- Elektr zaryadı denelerdiń elektromagnit maydanları menen tásirlese alıw qásiyeti bolıp tabıldadı: deregi xızmetin atqarılısı menen usınday maydanlardı payda etiwi hám bul maydanlar tárepinen tásirge (kúshlik) ushırawı.
- Elektromagnitlik potencial - keńisliktegi elektromagnit maydanınıń tarqalıwın tolıq anıqlaytuǵın 4-vektorlıq fizikalıq shama. Elektrodinamikanıń úsh ólshemli formulirovkasında onnan mınalardı ayırıp kórsetedi:
  - a. Ckalyarlıq potencial - 4-vektordıń waqıtlıq qurawshısı;
  - b. Vektorlıq potencial - 4-vektordıń qalǵan qurawshılarınan payda etilgen úsh ólshemli vektor.
- Poynting vektorı - mánisi elektromagnit maydanınıń energiyasınıń aǵısınıń tígızlığı bolǵan vektorlıq shama.

### **Tiykarǵı teńlemeler.**

Elektromagnit maydanınıń qásiyetlerin hám onıń zaryadlanǵan deneler menen tásirlesiwın táriyipleytuǵın tiykarǵı teńlemeler mınalar bolıp tabıldadı:

- Maksvell teńlemeleri, olar erkin elektromagnit maydanınıń vakuumdaǵı hám ortalıqtaǵı qásiyetin, maydannıń derekler tárepinen generaciyasın táriyipleydi. Bul teńlemelerdiń ishinde tómendegilerdi ayırıp kórsetiwge boladı:
  - a. Elektr maydanı ushın Gauss teoreması (Gauss nızamı), ol zaryadlar tárepinen elektrostatikalıq maydannıń generaciyalanıwin táriyipleydi.
  - b. Magnit maydanınıń kúsh sızıqlarınıń tuyıq ekenligi nazımı (magnit maydanınıń solenoidallığı), bul magnit maydanı ushın Gauss teoreması bolıp tabıldadı.
  - c. Faradeydiń indukciya nızamı, ol ózgermeli magnit maydanı tárepinen elektr maydanın generaciyalawdı anıqlaydı.
  - d. Amper-Maksvell nızamı - Maksvell tárepinen kirgizilgen awısız toǵın qosıw menen magnit maydanınıń cirkulyaciyası haqqındaǵı teorema, qozǵalıwshi zaryadlar hám ózgermeli elektr maydanı tárepinen magnit maydanınıń generaciyasın anıqlaydı.
- Lorenc kúshi ushın ańlatpa. Bul ańlatpa elektromagnit maydanda jaylasqan zaryadqa tásir etetuǵın kúshti anıqlaydı.
- Djoul-Lenc nızamı elektr maydanı bolǵan jaǵdayda shekli ótkizgishlikke iye bolǵan ótkizgish ortalıqtaǵı jilliliqtıń joǵalıwınıń shamasın anıqlaydı.

Ayriqsha áhmiyetke iye bolǵan dara teńlemeler sıpatında mınalardı kórsetiw kerek:

- Kulon nızamı - elektrostatikada - noqatlıq zaryadtıń elektr maydanın (kernewligin hám/yamasa potencialın) anıqlaytuǵın nızam bolıp tabıldadı; sonıń menen birge Kulon nızamı dep eki noqatlıq zaryadtıń arasındaǵı elektrostatikalıq óz-ara tásirlesiwdi (kúshti yamasa potenciallıq energiyası) anıqlaytuǵın uqsas formulaǵa da aytadı.
  - Bio-Cavara-Laplas nızamı (yamasa Biot–Savart nızamı) - magnitostatikada - toq tárepinen magnit maydanınıń payda etiliwin táriyipleytuǵın tiykarǵı nızam (magnitostatikadaǵı óziniń tutqan ornı boyınsha elektrostatikadaǵı Kulon nızamınıń tutqan ornına uqsas).
  - Amper nızamı - magnit maydanına jaylastırılǵan elementar toqqa tásir etetuǵın kúshti anıqlaydı.
  - Poynting teoreması - elektrodinamikadaǵı energiyasınıń saqlanıw nızamın ańǵartadı.
  - Zaryadtıń saqlanıw nızamı.

### **Elektrordinamikanıń mazmuni.**

Klassikalıq elektrodinamikanıń tiykarǵı mazmuni elektromagnit maydanınıń qásiyetlerin táriyiplew menen onıń zaryadlanǵan deneler menen tásirlesiwinen ibarat (zaryadlanǵan deneler elektromagnit maydanın payda etedi, onıń "derekleri" bolıp tabıldadı, al elektromagnit maydanı bolsa óz gezeginde zaryadlanǵan denelerge tásir etedi hám usınday jollar menen elektromagnit kúshlerin payda etedi). Bul táriyiplew elektr zaryadı, elektr maydanı, magnit maydanı, elektromagnit potencial sıyaqlı anıqlamalardan basqa anaw yamasa mınaw túrdegi Maksvell teńlemelerine hám Lorenc kúshiniń formulasına alıp kelinedi, usınıń menen birge ol aralas bolǵan máselelerdi de (matematikalıq fizikaǵa tiyisli bolǵan, qosımsa shamalar menen toqtıń tígızlıǵı vektorınıń formulalarǵa h.t.b.) alıp keledi. Usınıń menen birge bul táriyiplew energiya menen impulsıń saqlanıwı menen elektromagnit maydanı tárepinen alıp júriliwine tiyisli (energiyanıń tígızlıǵı ushın formula, Poynting vektorı h.t.b.).

### **Elektrordinamikanıń arnawlı bólimleri.**

- Elektrostatika statikalıq elektr maydanınıń (waqtıń ótiwi menen ózgermeytuǵın yamasa "elektrodinamikalıq" effektlerdi esapqa almaytuǵın dárejede ástelik penen ózeretuǵın, yaǵníy Maksvell teńlemelerindegi waqt boyınsha tuwındılardı basqa shamalarǵa salıstırǵanda kishi bolıwına baylanıslı esapqa almawǵa bolatuǵın jaǵdaylardaǵı) qásiyetlerin hám onıń tınıshlıqtaǵı yamasa jetkilikli dárejede kishi tezlikler (úlken tezlikler menen qozǵalatuǵın, biraq zaryadınıń shaması júdá kishi) menen qozǵalatuǵın elektr zaryadına iye deneler (elektr zaryadları) menen tásirlesiwin úyretedi. Bunday jaǵdayda usı zaryadlar tárepinen payda etiletuǵın maydanlardı juwıq túrde statikalıq dep qarawdıń mümkinshılıgi tuwılıwı kerek. Ádette, bunday jaǵdaylarda magnit maydanlardıń bolmawi (yamasa magnit maydanınıń esapqa almastay dárejede kishi bolıwı) názerde tutıldı.
- Magnitostatika turaqlı toqlar (hám turaqlı magnitler) menen turaqlı magnit maydanlarıń (maydanlar waqtıń ótiwi menen ózgermeydi yamasa olardıń waqt boyınsha ózgeris tezligin esapqa almastay dárejede kishi bolǵan jaǵdaylarda) hám olardıń óz-ara tásirlesiwlerin izertleydi.
- Tutas ortalıqlar elektrodinamikası elektromagnit maydanlarınıń tutas ortalıqlardaǵı qásiyetlerin qarayıdı.
- Pelyativistik elektrodinamika qozǵalatuǵın ortalıqlardaǵı elektromagnit maydanlarıń qarayıdı.

### **Ámeliy áhmiyeti.**

Elektrodinamika fizikalıq optikanıń, radiotolqınlardıń tarqalıw fizikasınıń tiykarında jatadı. Conıń menen birge elektrodinamika barlıq fizika arqalı ótedi, sebebi fizikanıń derlik barlıq bólimlerinde elektr maydanı hám elektr zaryadları, olardıń tez ózgeriwi jáne qozǵalısları menen is alıp bariwǵa tuwrı keledi. Elektrodinamika órnek bolatuǵınay teoriya bolıp tabıldadı (óziniń klassikalıq hám kvantlıq variantlarında) hám ol óziniń esaplawları menen boljawlarınıń júdá joqarı dállicity menen ayrılp turadı. Elektrodinamikanıń rawajlanıw barısında qáliplesken ideyalardıń tásirinde teoriyalıq fizikanıń basqa oblastlarınıń rawajlanıw orın aldı.

Elektrodinamika texnikada oǵada úlken áhmiyetke iye bolıp, ol radiotexnikanıń, elektrotexnikanıń, baylanış penen radioniń hár kıylı tarawlarınıń tiykarında jatadı.

### **Tariyxı.**

Elektrlik hám magnitlik qubılıslardıń bir biri menen baylanıslı ekenligi 1819-1820 jılları Ersted tárepinen elektr toǵı tárepinen magnit maydanınıń payda bolatuǵınlığın menen dálillendi. Ol jetkilikli dárejede anıq emes formada bolsa da ótkizgishti qorshap turǵan keńisliktegi elektrlik hám magnitlik procesler arasındaǵı óz-ara tásirlesiw ideyasın usındı.

1831-jılı Maykl Faradey eksperimenterde elektromagnit qubılısı menen elektromagnit indukciya nızamın ashti. Bul elektr hám magnit maydanları arasındaǵı dinamikalıq óz-ara tásirlesiwdiń ayqın túrdegi óz-ara baylanıstıń bar ekenliginiń birinshi dálili bolıp tabıladı. Faradeydiń ózi elektr menen magnit maydanları ushın qollanıwǵa bolatuǵıñ fizikalıq maydan koncepciyasınıń tiykarın, fizikalıq maydanlardı táriyiplewge mümkinshilik beretuǵın bazı bir bazislik teoriyalıq kóz-qaraslardı islep shıqtı. Usınıń menen birge ol 1832-jılı elektromagnit tolqınlarınıń bar ekenligin boljadı.

1864-jılı Dj. K. Maksvell elektromagnitlik maydannıń evolyuciyasın hám onıń zaryadlar hám toqlar menen tásirlesiwin táriyipleytuǵın "klassikalıq elektrodinamikanıń" teńlemeleriniń tolıq sistemasin baspadan shıgardı. Ol jaqtılıqtıń elektromagnit tolqıń ekenligin teoriyalıq jaqtan tiykarlađı.

1895-jılı Lorenc klassikalıq elektrodinamikanıń qáliplesiwine aytarlıqtay úles qostı. Ol elektromagnit maydannıń qozǵalatuǵın noqatlıq zaryadlanǵan bóleksheler menen tásirlesiwin táriyipledi. Bul jumıslar oǵan Lorenc túrlendiriliwlerin keltirip shıgarıwǵa mümkinshilik berdi. Ol birinshi bolıp elektrodinamikanıń nyuton fizikasına qayshi keletuǵınlığın ańgardi.

1905-jılı A. Eynshteyn "Qozǵalatuǵın denelerdiń elektrodinamikasına" jumısın baspadan shıgardı hám bul jumısında ol arnawlı salıstırmalıq teoriyasın keltirip shıgardı. Calıstırmalıq teoriyası klassikalıq elektrodinamikaǵa tolıq sáykes keledi hám onıń qádiplesiwin logikalıq jaqtan juwmaqladı. Nátiyjede elektrodinamikanıń Minkovskiy keńisligindegi kovariantlıq formulirovkasın elektromagnit maydannıń 4-potencial hám 4-tenzor arqalı dóretti.

XX ásırdań ortasında kvantlıq elektrodinamika dóretildi. Ol házirgi zaman elementar bóleksheler fizikasınıń barlıq teoriyalıq tarawlarınıń fundamenti menen úlgisi bolıp xızmet etetuǵın eń dál fizikalıq teoriya bolıp tabıladı.

Tutas ortalıqlar elektrodinamikası.

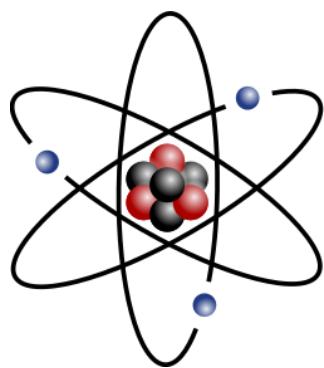
Magnitogidrodinamika.

Elektrogidrodinamika.

Terbelisler menen tolqınlar fizikası.

Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası.

### **Mikroskopiyalıq fizika**



Litiy atomınıň sxema túrindegi súwreti.

Mikroskopyyalıq fizika "mikrodúnyanı" izertleydi, bunday dúnyada denelerdiń ólshemleri adamlardıń ólshemlerinen kóp ese kishi.

- Atom fizikası.
- Cstatistikaliq fizika.
- Cstatistikaliq mexanika.
- Maydannıň statistikalıq teoriyası.
- Fizikalıq kinetika.
- Kvantlıq statistika.
- Kondensirlengen ortalıqlar fizikası.
- Qattı deneler fizikası.
- Cuyıqlıqlar fizikası.
- Atomlar menen molekulalardıń fizikası.
- Nanostrukturalar fizikası.
- Kvantlıq fizika.
- Kvantlıq mexanika.
- Maydannıň kvantlıq teoriyası.
- Kvantlıq elektrodinamika.
- Kvantlıq xromodinamika.
- Tarlar teoriyası.
- YAdrolıq fizika.
- Giperyadrolar fizikası.
- Elementar bóleksheler fizikası.
- Joqarı energiyalar fizikası.
- Molekulalıq fizika.

### **8.6. Hár qıylı ilimlerdiń shegarasındaǵı fizikanıń bólimleri**

- Agrofizika.
- Akustooptika.
- Astrofizika.
- Biofizika.
- Esaplaw fizikası.
- Gidrofizika.
- Geofizika.
- Petrofizika.
- Ceysmologiya.

Tektonofizika.

Geofizikalıq gidrodinamika.

Kosmologiya.

### **Inflyaciyalıq kosmologiyanı teoriyalıq tiykarları.**

### **Álemniń evolyuciyasınıń eń dáslepki dáwirlerindegi inflacyalıq keńeyiw.**

Házirgi waqtları Álemniń xronologiyası măselesi kóphshilikti qızıqtıratuğın hám internet tarmağında keńnen tarqalǵan măselelerdiń biri bolıp tabıladı. Mısal retinde internettegi Vikipediya ashıq enciklopediyasında keltirilgen inglez tilindegi "Álemniń xronologiyası" maqalasınan úzindi keltiremiz. Bul xronologiya óziniń ishine bes dáwirdi aladı: júdá ertedegi Álem, ertedegi Álem, Qarańğı dáwirler hám iri masshtablardaǵı strukturalardıń payda bolıwı, házirgi waqtılardaǵı Álem, bolajaq hám Álemniń aqırı. Eń ertedegi Álem jónindegi kesteniń bólimi mınaday:

Dáwir	Ýaqıt	Nurlanıw temperaturası (energiya)	Táriyipi
Plank dáwiri.	$<10^{-43}$ c.	$>10^{32}$ K ( $>10^{19}$ GeV)	Plank shkalası. Bunday dáwirde fizikalıq teoriyalar orın alǵan jaǵdaylardı táriyipley almaydı. Fizikler bul dáwirde kosmologiya menen fizikada gravitaciyanıń kvantlıq effektleri basım bolǵan dep boljaydı.
Ulli birlesiw dáwiri.	$<10^{-36}$ s.	$>10^{29}$ K ( $>10^{16}$ GeV)	Cstandart modeldiń úsh kúshi birikken, tábiyat Ulli birlesiw teoriyasınıń járdeminde táriyiplenedi (gravitaciyasız).
Inflyaciyalıq dáwir. Elektr-áazzi dáwiri.	$<10^{-32}$ s.	$>10^{28}-10^{22}$ K ( $>10^{15} - 10^9$ GeV)	$10^{36}$ s tan $10^{32}$ s qa shekem kosmoslıq inflacya keńislikti $10^{26}$ ese úlkeytedi. Álem $10^{27}$ K nen $10^{22}$ K ge shekem salqınlaǵan. Kúshli tásirlesiw menen elektr-áazzi tásirlesiw bir birinen ayrılgan.

Bul kestede keltirilgen maǵlıwmatlar magisterlik dissertaciyanıń bunnan keyingi maǵlıwmatları menen dál sáykes kelmeydi. Cebebi biz  $10^{-42}$  sekundtan  $10^{-36}$  sekundqa shekemgi waqt ishinde Álem óziniń rawajlanıwınıń inflacyalıq dáwirin bastan keshirdi dep boljaymız. Bul dáwirdiń tiykarǵı ózgesheligi zatlardıń maksimallıq kúshli teris basımınıń orın alıwınan ibarat. Bul teris basım vakuumnıń  $\rho = -p$  hal teńlemesine sáykes Álemniń kinetikalıq energiyası menen onıń ólshemleriniń keskin túrdegi úlkeyiwin támiyinleydi. Inflyacya dáwirinde Álemniń sızıqlı ólshemleri minimum  $10^{26}$  ese, al onıń kólemi minimum  $10^{78}$  ese úlkeygen.

Inflyaciyalıq model eski  $R(t) \sim t^{1/2}$  nızamın eksponenciallıq

$$R(t) \sim e^{H(t)t} \quad (9)$$

nızamı menen almastırıwdı boljaydı. Bul ańlatpada  $H(t)$  arqalı inflacyalıq dáwirdegi Xabbl parametri belgilengen. Onıń mánisi  $H(t) = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$  ańlatpasınıń járdeminde esaplanadı. Xabbl parametriniń mánisi inflacya dáwirinde  $10^{42} \text{ sek}^{-1} > H > 10^{36} \text{ sek}^{-1}$  shamasına teń (yaǵníy onıń házirgi waqtılardaǵı mánisinen salıstırmas dárejede úlken,

házigi waqtardaǵı mánisi  $(2,169 \pm 0,020) \cdot 10^{-18} \text{ cek}^{-1}$ ). Keńeyiwdiń usınday nızamı fizikalıq maydanlardıń halı ("inflatonlıq maydan" nıń)  $p = -\varepsilon$  hal teńlemesine sáykes keletuǵın, yaǵníy teris basımǵa sáykes keletuǵın halları tárepinen támiyinlenedi; bul dáwir inflacyalyq dáwir atamasına iye boldı (latın tilinde inflatio — úrleniw). Cebebi  $R(t)$  masshtablıq faktordıń shamasınıń úlkeyiwine qaramastan energiyaniń tígizligi  $\varepsilon$  turaqlı bolıp qaladı<sup>25</sup>.

Bunday jaǵdayda energiyaniń saqlanıw nızamı buzılmayıdı. Cebebi inflacyalyq keńeyiw dáwirindegi gravitacyjlıq energiya barlıq waqıtta Álemdegi zatlardıń oń energiyasına teń bolıp qaladı. Conlıqtan Álemniń tolıq energiyası barlıq waqıtta nolge teń bolıp qaladı.

Bunnan bılay júzege keletuǵın keńeyiwdiń barısında keńeyiwdiń inflacyalyq dáwirin támiyinleytuǵın maydannıń energiyası ádettegi bólekshelerdiń energiyasına aylanadı [33]: inflacyalyq modellerdiń kóphiligi bunday túrلنiewlerdi barionlardıń payda bolıwına alıp keletuǵın simmetriyaniń buzılıwı menen baylanıstıradi. Zatlar hám nurlanıw úlken temperaturaǵa iye boladı hám Álem keńeyiwdiń radiaciya basım bolǵan  $R(t) \sim t^{1/2}$  rejimine ótedi.

### **Qızǵan Álem modeliniń mashqalalarınıń inflacyalyq model sheklerinde sheshiliwi.**

1. Inflyacyalyq dáwirdegi keńeyiwdiń oǵada joqarı bolǵan templerine baylanıslı Álemniń iri masshtablardaǵı bir tekligi menen izotroplığı mashqalası sheshiledi: Álemniń baqlanatuǵın bólimniń barlıǵı inflacyaǵa shekemgi dáwirdegi sebep penen baylanısqan bir oblasttıń keńeyiwiniń nátiyjesi bolıp tabıldadı.

2. Inflyacyalyq dáwirde keńisliklik mayısqańlıqtıń radiusı sonshama úlkeyedi, házirgi waqtardaǵı  $\rho$  tígizliqtıń mánisi kritikalıq  $\rho_c$  tígizliqtıń shamasına avtomat türde jaqın boladı. Bul tegis Álem mashqalasın sheshedi.

3. Inflyacyalyq keńeyiwdiń barısında belgili amplitudaǵa hám spektriniń formasına iye bolǵan tígizliqtıń sonday fluktuciyaları qáliplesedi, tígizliqtıń bunday fluktaciyaları rawajlanıwdıń nátiyjesinde úlken masshtablardaǵı bir tekilik penen izotroplıqtı saqlagán halda Álemniń házirgi waqtları baqlanatuǵın strukturasın payda etedi. Bul jaǵday Álemniń iri masshtablardaǵı strukturası mashqalasın sheshedi.

**Peliktlik gravitacyjlıq tolqınlar hám reliktlik toqınlardıń polyarizasiyası.** Inflyacyalyq modelden barlıq tolqın uzınlıqlarına iye bolǵan reliktlik (eń dáslepki) gravitacyjlıq tolqınlardıń bar ekenligi kelip shıǵadı. Bunday gravitacyjlıq tolqınlar ushın eń uzın tolqın uzınlığı Álemniń usı kúnlerdegi ólshemine teń. Olardıń bar yamasa joq ekenligi máselesin reliktlik mikrotolqınlıq nurlanıwdıń polyarizasiyasınıń ózgeshelikleri boyınsha sheshiwge boladı. Eger gravitacyjlıq tolqınlar tabılsa, onda inflacyalyq modeldiń durıs ekenligi túpkilikli türde tastıyılınadı [35].

2014-jılı inflacyalyq modeldiń durıslığınıń dálili ushın janapay maǵlıwmatlar alındı. Bul dálil sıpatında birinshi gravitacyjlıq tolqınlardıń tásirindegi reliktlik nurlanıwdıń polyarizasiyası bolıwınıń mümkinshılıgi qabil etildi. Biraq, bir qansha waqıt ótkennen keyin "Plank" observatoriyasınıń járdeminde alıngan maǵlıwmatlar tiykarında ótkerilgen tallawlar bunday nátiyjeni galaktikalıq shańǵa tiyisli ekenligin kórsetti.

2019-jılǵa shekem reliktlik gravitacyjlıq tolqınlar tabılgan joq hám inflacyalyq model usı kúnlerge shekem tek jaqsı gipoteza bolıp qalmaqta.

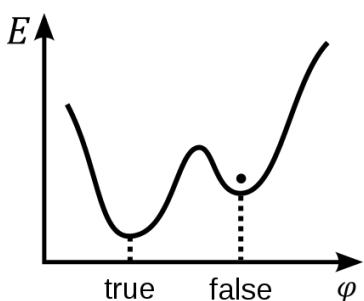
---

<sup>25</sup> Biz joqarıda masshtablıq faktordı  $a(t)$  arqalı belgilegen edik.

**Álemniń evolyuciyasınıń sońǵı dáwirlerindegi inflyaciya.** 1998-jılı Supernova Cosmology Project ramkalarında ótkerilgen la tipindegi asa jańa juldızlardı baqlawlar Xabbl parametriniń ózgeriwinin házirgi kúnlerdegi dáwirdegi Álemniń evolyuciyasınıń inflyaciyalıq xarakterge iye ekenligin (waqt boyınsha tezleniwshi keńeyiw) kórsetti. Bunday qásiyetti payda etetuǵın júmbaq faktor qarańğı energiya atamasına iye boldı. Álemniń tezleniw menen keńeyiwi bunnan 6-7 mlrd jıl burın baslańan. Házirgi waqıtları Álem hár 10 mlrd jilda uzınlıq eki ese úlkeyetuǵın tempte keńeyip atır. Házirgi waqıtları bar bolǵan maǵlıwmatlar bul tempiń derlik ózgermeytuǵınlıǵın kórsetedi.

### Jalǵan vakuum.

Maydanniń kvantlıq teoriyasında jalǵan vakuum dep globallıq minimallıq energiyaǵa iye bolmaǵan, al lokallıq minimumǵa sáykes keletuǵın halǵa aytadı. Bul hal belgili bolǵan waqittıń ishinde stabilli boladı (metastabililik), biraq haqıqıy vakuum halına "tunnellene aladı" (4-súwret).



4-súwret. Jalǵan vakuum halındaǵı skalyar maydan.  $E$  energiya haqıqıy vakuum halınıń (tiykarı hal) energiyasına salıstırǵanda joqarı. Biraq potencial barer maydanniń ótiwine tosqınlıq jasaydı. Colay etip, ótiwdiń maydanniń joqarı energiyasında yamasa kvantlıq-mexanikalıq tunnelleniw joli menen júzege keliwi mûmkin [36].

"Úrlenetuǵın Álem" gipotezalarınıń birinde Álem payda bolǵannan keyin jalǵan vakuumnan bir emes, al metagalaktikalardıń kópliginiń (solardıń ishinde biziń Álemniń) payda bolıwı mûmkin [36]. Bunday jaǵdayda Úlken partlanıw jalǵan vakuumnıń ádettegi vakuumǵa ótiwi bolıp tabıladı [37].

5-súwrette jalǵan vakuumnıń haqıqıy vakuumge ótiwindegi "kóbikiń" payda bolıwınıń sxeması kórsetilgen.

Ctandard modeldegi baqlanatuǵın Álem ushın metastabilli vakuumnıń jasaw waqıtın bahalaw  $10^{58}$  jıldan  $10^{241}$  jılǵa shekemgi nátiyjeni beredi (top kvark penen Xiggs bozonınıń massalarınıń dál anıklanbaǵanlıǵına baylanıslı) [38].

Bir qatar teoriyalar kosmoslıq inflyaciyanıń jalǵan vakuumnıń haqıqıy vakuumǵa idırawınıń nátiyjesi dep boljayıdı. Xaotikalıq inflyaciya teoriyası Álemdi jalǵan vakuum halında yamasa haqıqıy vakuum halında jaylasadı dep boljayıdı. Alan Gut [39] eń dáslepki kosmoslıq inflyaciya haqqındaǵı maqalasında inflyaciyanıń kvantlıq-mexanikalıq kóbik arqalı pitiwi mûmkin dep boljadı. Biraq, kóp uzamay bir tekli hám izotrop Álemniń tez júretuǵın tunnelleniw processinde saqlanıwınıń mûmkin emes ekenligin kórsetti. Bul Andray Linden [40] hám bir birinen górezsiz Andreas Albrekt penen Pol Cteynxardttı [41] "jańa inflyaciyanı" yamasa "ástelik penen ótetuǵın inflyaciyanı" usınıwǵa alıp keldi. Bunday inflyaciyada tunnelleniw orın almaydı, al onıń ornına inflyaciyalıq skalyar maydan úlken emes qıyalıqqa iye boladı.



5-súwret. Jalǵan vakuum halında jasaǵan álemdеги haqıqıy vakuumnıń kóbigi. "Teńdey haqıqqa iye bolmaǵan vakuumlar" teoriyasındaǵı jalǵan vakuumnıń haqıqıy vakuumǵa kvantlıq ıdırawı usınday kóbikten baslanadı [42].

2014-jılı Uxan qalasındaǵı Qıtay Ilimler akademiyasınıń fizika hám matematika institutınıń izertlewshileri Álemniń hesh nárseden payda bola alǵanlıǵın boljadı (keńislik te, waqıt ta, materiya da joq bolǵan haldan). Bunday jaǵdayda kvantlıq fluktuaciylar jalǵan vakuumnan haqıqıy vakuumnıń keńeiwshi kóbigin payda ete aladı [43].

### Ctarobinskiy inflyaciyası.

Aleksey Aleksandrovich Ctarobinskiy - Possiya Ilimler Akademiyasınıń akademigi, Landau atındaǵı Teoriyalıq fizika institutınıń (Chernogolovka) bas ilimiý xızmetkeri kosmologiyalıq inflyaciyanı túsindiriw ushın ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń arnawlı túrdegi modifikaciyasın islep shıqtı. Ol oǵada salmaqlı bolǵan vakuum qalay payda boladı? degen sorawǵa juwap bere aldı. Al A.Linde bolsa A.Guttiń modelin dúzetti.

A.A.Ctarobinskiy A.Gut hám A.Linde menen birgelikte de Citterlik inflyaciyalıq dáwirge iye bolǵan ertedegi Álem teoriyasınıń tiykarın salıwshı bolıp tabıladı. Bul oblasttaǵı eń áhmiyetli nátiyjeleri: inflyaciyalıq dáwirde generaciyanatuǵın gravitaciyalıq tolqınlardıń spektriniń birinshi esaplanıwı, inflyaciyalıq scenariyidiń birinshi izbe-iz modeli, stoxastikalıq inflyaciya teoriyası, inflyaciyalıq dáwirdiń aqırındaǵı Álemdеги materiyanıń qızıwı teoriyası, dáslepki geterogenlik haldıń klassikalıq halǵa ótiwiniń kvantlıq táriyipleniwi h.t.b. 2018-jıldın basında ol soavtorlar jámáátiniń quramında kosmologiyalıq turaqlınıń jańa táriyiplemesin berdi.

A.Ctarobinskiy ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasına kirgiziletuǵın kvantlıq dúzetiwlərdiń eń ertedegi Álem ushın júdá áhmiyetli ekenligin atap ótti. Kvantlıq dúzetiwlər Eynshteyn-Gilbert háreketindegi mayısqańlıqtıń kvadratına,  $f(R)$  modifikaciyalanǵan gravitaciyasınıń ayırim túrlere kirgiziledi. Mayısqańlıq úlken hám onıń kvadratında aǵzalar bolǵan jaǵdayda Eynshteyn teńlemeleriniń sheshimleri effektivlik kosmologiyalıq turaqlıǵa alıp keledi. Conlıqtan ol eń ertedegi Álem de Citterdiń inflyaciyalıq dáwirin basınan ótkerdi dep boljadı [44-45]. Bul kosmologiyalıq mashqalalardı sheshti hám mikrotolqınlıq fonlıq nurlanıwǵa qoyılatuǵın dúzetiwlərdi boljawǵa alıp keldi (bul dúzetiwlərdiń shaması keyinirek tolıq esaplandı). Ctarobinskiy

$$S = \frac{1}{2\kappa} \int \left( R + \frac{R^2}{6M^2} \right) \sqrt{|g|} d^4x \quad (10)$$

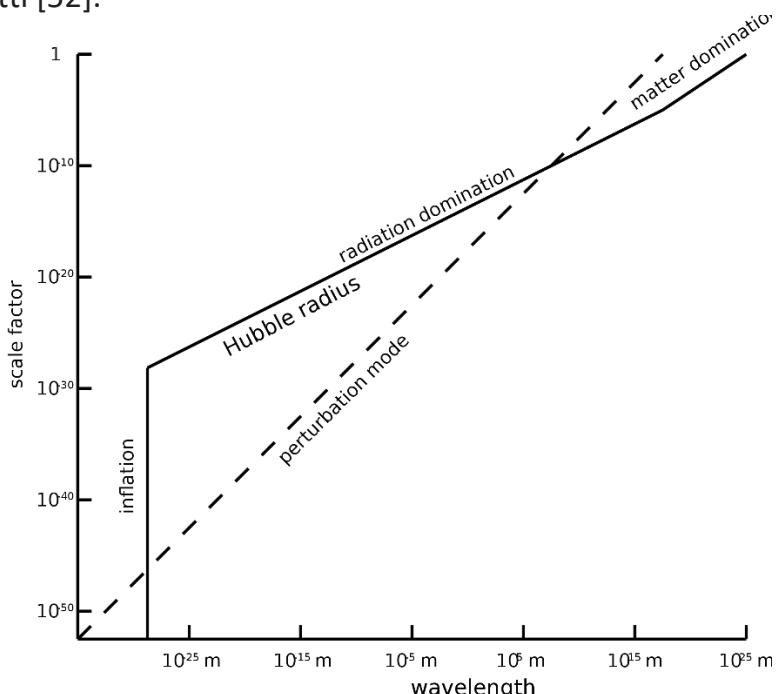
háreketin paydalandi. Bul teńlikte  $\kappa = 8\pi G/c^4$ , al  $R$  bolsa Píçci skalyarı. Bul háreket Eynshteyn teńlemeleriniń sheklerinde

$$V(\phi) = \Lambda^4 \left( 1 - e^{-\frac{\sqrt{2}\phi}{M_P}} \right)^2 \quad (11)$$

potencialına sáykes keledi. Usı potencial yaması  $R^2$  shamasına iye háreket penen baylanıslı bolǵan scenariy Ctarobinskiy inflacyası dep ataladı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı baslangısh hám sonıń menen birge tolıq kvantlıq effektivlik háreketlerdi paydalanatuǵın modellerdi bir birinen ayırıwǵa tuwrı keledi [46-47].

### **Eń dáslepki inflacyalyq modeller.**

Joqarıda esletilip ótilgenindey, magnit monopolleriniń joq ekenligin túsındiriw ushın 1981-jılı A.Gut inflacyanı usındı hám ol birinshi ret "inflacya" terminin usındı [48]. Tap usı waqıtta Ctarobinskiy gravitaciyaǵa kirkizilgen kvantlıq düzetiwlerdiń Álemniń eń dáslepki singulyarlıǵın de Citterdiń eksponenciallıq keńeyiwshi fazası menen almastıratuǵınlıǵın tastıyıqladı [49]. 1980-jılı oktyabr ayında Demosfen Kazanas eksponenciallıq keńeyiwdiń bóleksheler gorizontı mashqalasın sheshe alatuǵınlıǵın hám gorizont mashqalasın da sheshiwiniń mümkin ekenligin boljadı [50-51]. Conıń menen bir qatarda Cato eksponenciallıq keńeyiwdiń domenlik diywallar mashqalasın da sheshe alatuǵınlıń kórsetti [52].



5-súwret. Xabbl radiusınıń fizikalıq ólshemi (tutas sızıq) Álemniń sızıqlı keńeyiwiniń (tutas sızıq) funkciyası sıpatında. Kosmologiyalıq inflacya dáwirinde Xabbl parametriniń mánisi turaqlı. Conıń menen birge uyıtqıwdıń modasınıń fizikalıq uzınlıǵı da kórsetilgen (punktir sızıq). Grafikte kosmologiyalıq inflacya dáwirinde uyıtqıw modasınıń gorizonttıń sırtına qaytip keliw ushın nurlanıw basım bolǵan jaǵdayda tez ósetugıń gorizonttan qalayınsha úlken bolatuǵınlıǵı kórsetilgen. Eger kosmologiyalıq inflacya hesh waqıtta júzege kelmegen, al nurlanıwdıń basım bolıwı gravitaciyalıq singulyarlıqqa shekem dawam etkende bolsa, onda eń ertedegi Álemde gorizonttıń ishinde hesh waqıtta bolmaǵan jáne sebep-nátiyjelik baylanıs bolmaǵan bolar edi. Bul mexanizm uyıtqıwlardıń modasınıń masshtabında Álemniń bir tekli bolıwına kepillik bere aladı [62].

### **Ulıwma salıstırmalıq teoriyasınıń matematikalıq formulirovkasınan maǵlıwmatlar.**

Keńislik-waqıttıń úzliksiz ekenligi keńnen belgili. Matematikalıq jaqtan bul qásiyet keńislik-waqıttıń 4 ólshemli tegis differencialanıwshi  $M_4$  kópliginiń járdeminde

modellestiriletuğının ańǵartadı. Onıń ushın hár bir noqattıń átirapında tórt ólshemli Evklad keńsligi ótedi. Bul jerde "tegis" sózi differenciallıqtı ańǵartadı (házirshe onıń dárejesi haqqında dál türde hesh nárse aytıwdıń keregi joq). Usınıń menen birge arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń nızamları jaqsı dállikte orınlanańdı. Conlıqtan bunday kóplik ushın Lorenclik metrikanı jazıwǵa, yaǵníy signurası  $\{-, +, +, +\}$  yamasa  $\{+, -, -, -\}$  bolǵan azǵınbaǵan metrlik tenzordı paydalaniwǵa boladı.

Calıstırmalıq teoriyası paydalanatuğın Piman geometriyası ulıwmalastırılǵan ádettegi Evklid geometriyası bolıp tabıladı. Ádettegi Evklid keńsliginde A hám B noqatların alamız hám tuwrı sızıqlı koordinatalar sistemäsın kirgizemiz. Meyli A noqatınıń bul sistemadaǵı koordinataları  $x_A, y_A, z_A$ , al B noqatınıń koordinataları  $x_B, y_B, z_B$  bolsın. Bunday belgilewlerde AB arasındaǵı qashıqlıq analitikalıq geometriyanıń formulaları boyınsha

$$\bar{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 + (z_A - z_B)^2} \quad (12)$$

shamasına teń boladı. Eger tuwrı mýyeshli koordinatalardıń ornına biz qanday da bir basqasın alsoq (mísali sferalıq koordinatalar, ellipsoidallıq koordinatalar hám basqalar), onda noqatlar arasındaǵı aralıqtı esaplaw formulaları bir qansha quramalı boladı. Eger biz bir birine sheksiz jaqın jaylasqan noqatlardı alsoq másele ápiwayılasadı. Meyli  $x_A = x, y_A = y, z_A = z, x_B = x + dx, y_B = y + dy, z_B = z + dz$  bolsın. Bul ańlapalardaǵı  $dx, dy, dz$  ler sheksiz kishi shamalar. Eger bir birine sheksiz kishi jaylasqan A xám B noqatları arasındaǵı qashıqlıqtı ds arqalı belgilesek, onda (1)-formula mınanı beredi:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}. \quad (13)$$

Endi  $x, y, z$  koordinatalarınıń ornına qanday da jańa (tuwrı mýyeshli bolıwı shárt emes, al qálegen túrli bolıwı mýmkin)  $\lambda, \mu, \nu$  koordinataları paydalanılatuğın bolsın. Bunday jaǵdayda  $x, y, z$  koordinataları boyınsha  $\lambda, \mu, \nu$  koordinataların hám kericinshe  $\lambda, \mu, \nu$  koordinataları boyınsha  $x, y, z$  koordinataların esaplaw mýmkin. YAǵníy  $x, y, z$  shamalarınıń hár qaysısı  $\lambda, \mu, \nu$  shamalarınıń funkciyası túrinde bılıyınsha beriliwi mýmkin:

$$\begin{aligned} x &= f_1(\lambda, \mu, \nu), \\ y &= f_2(\lambda, \mu, \nu), \\ z &= f_3(\lambda, \mu, \nu). \end{aligned} \quad (14)$$

Bunnan

$$\begin{aligned} dx &= \frac{\partial f_1}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial f_1}{\partial \mu} d\mu + \frac{\partial f_1}{\partial \nu} d\nu, \\ dy &= \frac{\partial f_2}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial f_2}{\partial \mu} d\mu + \frac{\partial f_2}{\partial \nu} d\nu, \\ dz &= \frac{\partial f_3}{\partial \lambda} d\lambda + \frac{\partial f_3}{\partial \mu} d\mu + \frac{\partial f_3}{\partial \nu} d\nu \end{aligned} \quad (15)$$

ekenligi kelip shıǵadı. Bunı (2) ge qoysaq hám

$$\begin{aligned} g_{11} &= \left( \frac{\partial f_1}{\partial \lambda} \right)^2 + \left( \frac{\partial f_2}{\partial \lambda} \right)^2 + \left( \frac{\partial f_3}{\partial \lambda} \right)^2, \\ g_{22} &= \left( \frac{\partial f_1}{\partial \mu} \right)^2 + \left( \frac{\partial f_2}{\partial \mu} \right)^2 + \left( \frac{\partial f_3}{\partial \mu} \right)^2, \\ g_{33} &= \left( \frac{\partial f_1}{\partial \nu} \right)^2 + \left( \frac{\partial f_2}{\partial \nu} \right)^2 + \left( \frac{\partial f_3}{\partial \nu} \right)^2, \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
 g_{23} &= \frac{\partial f_1}{\partial \mu} \frac{\partial f_1}{\partial \nu} + \frac{\partial f_2}{\partial \mu} \frac{\partial f_2}{\partial \nu} + \frac{\partial f_3}{\partial \mu} \frac{\partial f_3}{\partial \nu} = g_{32}, \\
 g_{31} &= \frac{\partial f_1}{\partial \nu} \frac{\partial f_1}{\partial \lambda} + \frac{\partial f_2}{\partial \nu} \frac{\partial f_2}{\partial \lambda} + \frac{\partial f_3}{\partial \nu} \frac{\partial f_3}{\partial \lambda} = g_{13}, \\
 g_{12} &= \frac{\partial f_1}{\partial \lambda} \frac{\partial f_1}{\partial \mu} + \frac{\partial f_2}{\partial \lambda} \frac{\partial f_2}{\partial \mu} + \frac{\partial f_3}{\partial \lambda} \frac{\partial f_3}{\partial \mu} = g_{21}.
 \end{aligned} \tag{17}$$

belgilewlerdi qabil etsek biz minaǵan iye bolamız:

$$ds = \sqrt{g_{11}d\lambda^2 + g_{22}d\mu^2 + g_{33}dv^2 + 2g_{23}d\mu dv + 2g_{31}dv d\lambda + 2g_{21}d\lambda d\mu}. \tag{18}$$

Eger qolaylı bolıw ushın  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $v$  belgilewleriniň ornına jańa  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  belgilewlerin qabil etsek, onda bılay jaza alamız:

$$ds = \sqrt{\sum_{i,k=1}^3 g_{ik} dx_i dx_k}. \tag{19}$$

Uzınlıqtıń differencialı bolǵan (3)-ańlatpa bir birinen shekli qashıqlıqta turǵan A hám B noqatları arqalı ótkerilgen qálegen sızıqtıń uzınlıǵıń esaplawǵa mümkinshilik beredi. Bul uzınlıq A hám B noqatların tutastırıwshi iymeklik boyınscha alıngan

$$\int_A^B \sqrt{\sum_{i,k=1}^3 g_{ik} dx_i dx_k} \tag{20}$$

integralınıń járdeminde beriledi. Mıslı, eger bul iymeklik  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,  $x_3(t)$  túrindegi parametrik formada beriletugın bolsa, onda  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,  $x_3(t)$  lar  $t$  ózgeriwshileriniň funkciyaları bolıp, olar  $t = t_0$  mánisinde A noqatınıń koordinataları bolǵan  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  leri beredi, al basqa  $t = t_1$  mánisinde B noqatınıń koordinatalarına teń boladı. Al  $t$  nıń aralıqlıq mánislerinde iymekliktiń aralıqlıq noqatların beredi. Ulıwma aytqanda  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  lardıń funkciyaları bolǵan  $g_{ik}$  koefficientleri de  $t$  nıń funkciyaları boladı. Olardı biz  $g_{ik}(t)$  arqalı belgileymiz,  $dx_i$  dıń ornına  $\frac{dx_i}{dt} dt$  dep jazamız hám A dan B ǵa shekemgi iymekliktiń uzınlığı endi mina anıq integraldıń járdeminde esaplanadı:

$$\int_{t_0}^{t_1} \phi(t) dt. \tag{21}$$

Bul integralda

$$\phi(t) = \sqrt{\sum_{i,k=1}^3 g_{ik}(t) \frac{dx_i(t)}{dt} \frac{dx_k(t)}{dt}}. \tag{22}$$

$g_{11} = g_{22} = g_{33} = 1$  bolǵan dara jaǵdayda basqa barlıq  $g_{ik}$  lar nolge teń hám (3)-formula minanı beredi:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}. \tag{23}$$

Bul (2)-formulanıń ózi bolıp tabıladı.  $g_{ik}$  shamaları  $i = k$  bolǵanda bárhama 1 ge, al  $i \neq k$  bolǵanda 0 ge teń bolatuǵınday etip koordinatalar sistemasiń saylap alıw hámme waqıtta da jetkilikli hám zárúrli. Bunıń ushın mümkin bolǵan tuwrı mýyeshli koordinatalar sistemasiń birewin saylap alıw kerek. Bunday saylap alıwǵa Evklid keńisliginde hesh kim hesh qashan tıyım sala almaydı. Eger biz  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  koordinatalarınan góne

koordinatalardıń funkciyaları bolǵan jańa  $x_1'$ ,  $x_2'$ ,  $x_3'$  koordinatalarǵa ótetuǵın bolsaq onda

$$\begin{aligned} ds^2 &= \sum_{i,k=1}^3 g_{ik}' dx_i' dx_k' = \sum_{j,l,i,k=1}^3 g_{il} \frac{\partial x_j}{\partial x_i'} \frac{\partial x_l}{\partial x_k'} dx_i' dx_k' = \\ &= \sum_{j,l=1}^3 g_{il} \sum_{i=1}^3 \frac{\partial x_j}{\partial x_i'} dx_i' \sum_{k=1}^3 \frac{\partial x_l}{\partial x_k'} dx_k' = \sum_{j,l=1}^3 g_{jl} dx_j dx_l. \end{aligned} \quad (24)$$

teńlikleri orınlanańtuǵınday mına funkciyanı kırğızıw jetkilikli:

$$g_{ik}' = \sum_{j,l=1}^3 g_{il} \frac{\partial x_j}{\partial x_i'} \frac{\partial x_l}{\partial x_k'}. \quad (25)$$

Eger  $g_{ik}$  funkciyaları eski koordinatalar sistemasynda qanday orındı iyeleytuǵın bolsa  $g_{ik}'$  funkciyaları jańa koordinatalar sistemasynda sonday orındı iyeleydi. Conlıqtan (4)-formula  $g_{ik}$  funkciyalarınıń túrlendiriw nızamı bolıp tabıladi. Joqarıda aytılǵanlarǵa baylanıslı (4)-formulada  $i = k$  shártı orınlanganǵanda  $g_{ik}' = 1$ , al  $i \neq k$  bolǵanda  $g_{ik}' = 0$  orınlanańtuǵın jańa koordinatalar sistemasyń saylap alıwǵa barlıq waqıtta da boladı. Eger koordinatalar sistemasi berilgen bolsa (yańıń qálegen noqattı  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  úsh sannan turatuǵın sistema arqalı belgilew múmkın hám usı  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  ózgeriwshilerdiń funkciyaları bolǵan  $g_{ik}$  funkciyaları berilgen bolsa, onda (4)-formula kerekli bolǵan  $g_{ik}$  lardı beretuǵın  $x_i(x_1', x_2', x_3')$  ( $i = 1, 2, 3$ ) funkciyaların barlıq waqıtta da tabıw múmkın. Al  $g_{ik}$  lar usınday  $x_i(x_1', x_2', x_3')$  ( $i = 1, 2, 3$ ) funkciyaların taba almaytuǵın bolsa ne boladı? Bul jaǵdayǵa sáykes keliwshi Evklid keńisliginiń bolmaytuǵınlıǵı túsinkili. Colay etip biz pútkilley tábiyyiy hám ápiwayı túrde Evklidlik emes geometriya ideyasına kelemiz. Biziń gedey keńislik haqqındaǵı sezimlerimiz tárepinen sheklenilgen úlken áhmiyetke iye emes keńisliktiń ólshemler sanın alıp taslasaq boldı, biz Piman geometriyasınıń formulirovkasına kelemiz.

Piman keńisligi yamasa kontinuumı dep n dana  $x_1$ ,  $x_2$ , ...,  $x_n$  koordinataların beriwy menen xarakterlenetuǵın noqatlardıń jıynaǵına aytamız. Bul koordinatalardı belgili sheklerde (ádette  $-\infty$  den  $+\infty$  ge shekem) ózgertiw arqalı kontinuumnıń barlıq noqatların alamız. Usınıń menen qatar  $n^2$  dana (barlıq  $i$  hám  $k$  lar ushın  $g_{ik} = g_{ki}$  teńligi orınlanańtuǵın) usı koordinatalardıń  $g_{ik}$  ( $i, k = 1, 2, \dots, n$ ) funkciyaları berilip

$$g = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{n1} & g_{n2} & \dots & g_{nn} \end{vmatrix} \quad (26)$$

aniqlawshı kontinuumnıń hesh bir noqatında nolge aylanbawı kerek. A hám B noqatlarıń tutastıratuǵın noqatlardıń úzliksiz qatarı sızıq dep ataladı. Onıń uzınlığı sızıqtıń boyı arqalı alıńǵan integralǵa teń:

$$\int_A^B \sqrt{\sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k}. \quad (27)$$

Colay etip bunday jaǵdayda bir birine sheksiz jaqın eki  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  hám  $(x_1 + dx_1, x_2 + dx_2, \dots, x_n + dx_n)$  noqatları arasındaǵı qashıqlıq (ólshem aniqlaw yamasa interval)

$$ds^2 = \sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k \quad (28)$$

formulası járdeminde anıqlanadı. Al

$$g_{ik}' = \sum_{j,l}^n g_{jl} \frac{\partial x_j}{\partial x_i' \partial x_k'}, \quad (29)$$

formulası járdeminde  $x_1, x_2, \dots, x_n$  koordinatalar sistemasińan  $x_1', x_2', \dots, x_n'$  sistemasińa ótkende  $g_{ik}$  koefficientleriniń ornına jazılatuǵın  $g_{ik}'$  koefficientleri anıqlanadı. Eger  $i \neq k$  orinlanganda  $g_{ik}' = 0$  hám  $i = k$  shárti orin alganda  $g_{ik}' = 1$  bolatuǵın (6)-formula menen ólshem anıqlanatuǵın keńislik n ólshemli Evklid keńisligi dep ataladı. Biraq bunı barlıq jaǵdaylarda ámelge asırıw mümkin bolmaydı hám sonlıqtan Evklid geometriyası óziniń ishine oǵada kóp nárseni qamtiyuǵın Piman geometriyasınıń kishi ǵana dara jaǵdayı bolıp tabıladi.

Tartılıs nızamı menen ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasındaǵı jaqtılıqtıń tarqalıw nızamın keltirip shıgarmastan burın bunnan keyin bizge paydalaniw ushın kerek bolatuǵın bir teoremanı keltirip shıgaramız. Buniń ushın mınaday máseleni qaraymız: ólshem anıqlaw (6)-formula menen berilgen n ólshemli Piman keńisliginde A hám B noqatları berilgen bolsın. Bul noqatlardı eń qısqa sızıq penen tutastırıw kerek (geometriya nızamları kóz-qarasında sızıqtıń eń qısqa bolıwı ushın bul keńislikte

$$\int_A^B ds = \int_A^B \sqrt{\sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k} \quad (30)$$

integralı eń kishi mániske iye bolıwı kerek). Bul shárt tek

$$\delta \int_A^B ds = 0 \quad (31)$$

teńligi orinlanatuǵın sızıqlar ushın ǵana qanaatlandırıladı (yaǵníy olardıń uzınlıqları ekinshi tártipli sheksiz kishi shamaǵa shekemgi dállikte sol A hám B noqatların bir biri menen tutastırıtuǵın oǵan sheksiz jaqın bolǵan basqa sızıqtıń uzınlığına teń. (7) ni qanaatlandırıtuǵın sızıqlardı geodeziyalıq sızıqlar dep ataydı. Usıǵan baylanıslı endi geodeziyalıq sızıqtıń differencial teńlemelerin keltirip shıgaramız.

$$\begin{aligned} \delta(ds) &= \delta \sqrt{\sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k} = \frac{1}{2} \delta \frac{\sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k}{\sqrt{\sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k}} = \\ &= \frac{1}{2ds} \sum_{i,k=1}^n dx_i dx_k \delta g_{ik} + \frac{1}{2ds} \sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i \delta dx_k + \sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_k \delta dx_i = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n \left\{ \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \delta g_{ik} + g_{ik} \frac{dx_i}{ds} \frac{d}{ds} (\delta x_k) + g_{ik} \frac{dx_k}{ds} \frac{d}{ds} (\delta x_i) \right\} ds = \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2} \left\{ \sum_{i,j,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \frac{dx_{ik}}{dx_j} \delta x_j \right. \\
&\quad \left. + \sum_{k=1}^n \left( \sum_{i=1}^n g_{ik} \frac{dx_i}{ds} + \sum_{j=1}^n g_{jk} \frac{dx_j}{ds} \right) \frac{d}{ds} (\delta x_k) \right\} ds
\end{aligned}$$

ańlatpasına iye bolamız. Conlıqtan geodeziyalıq sızıq shártı mına túrge iye boladı:

$$\begin{aligned}
0 &= \delta \int_A^B ds = \int_A^B \delta(ds) = \\
&= \frac{1}{2} \int_A^B \sum_{i,j,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} \delta x_j ds + \\
&\quad + \frac{1}{2} \int_A^B \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^n g_{ij} \frac{dx_i}{ds} + \sum_{k=1}^n g_{jk} \frac{dx_k}{ds} \right) \frac{1}{ds} (\delta x_j) ds.
\end{aligned} \tag{33}$$

Cońğı integraldı bóleklerge bólip integrallaymız. Conıń menen birge dáslep berilgen iymeklikti usı iymeklikke sheksiz jaqın hám A jáne B noqatları arqalı ótetugın iymeklikler menen salıstırılıp atırǵanlıǵın umitpaymız. Basqa sóz benen aytqanda  $\delta x_j$  integrallaw jolınıń basında hám aqırında joq boladı. Conlıqtan bóleklerge bólip integrallaw mınanı beredi:

$$\begin{aligned}
0 &= \delta \int_A^B ds = \\
&= \frac{1}{2} \int_A^B \sum_{j=1}^n \left\{ \sum_{i,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} - \frac{d}{ds} \left( \sum_{i=1}^n g_{ij} \frac{dx_i}{ds} + \sum_{k=1}^n g_{jk} \frac{dx_k}{ds} \right) \right\} \delta x_j ds.
\end{aligned} \tag{34}$$

$\delta x_j$  variaciyaları bir birinen górezsiz bolǵanlıqtan integraldiń nolge teń bolıwı  $\delta x_j$  variaciyaları alındıǵı koefficientlerdiń integrallaw jolındaǵı barlıq noqatlarda nolge teń bolıwıń talap etedi. Basqa sóz benen aytqanda j tıń barlıq mánisleri ushin

$$\begin{aligned}
&\sum_{i,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} - \sum_{i=1}^n \frac{dg_{ij}}{ds} \frac{dx_i}{ds} - \sum_{i=1}^n g_{ij} \frac{d^2 x_i}{ds^2} - \\
&- \sum_{i=1}^n \frac{dg_{ik}}{ds} \frac{dx_k}{ds} - \sum_{k=1}^n g_{jk} \frac{d^2 x_k}{ds^2} = 0
\end{aligned} \tag{35}$$

teńliginiń orınlarıń kerek. Keyingi summanıń aqırınan sanaǵanda úshinshisine teń ekenligin ańlaw qıyın emes hám sonlıqtan

$$\frac{dg_{ij}}{ds} = \sum_{k=1}^n \frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k} \frac{dx_k}{ds} \frac{dg_{jk}}{ds} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial g_{jk}}{\partial x_i} \frac{\partial x_i}{ds} \tag{36}$$

ekenligi anıq teńlikti paydalansaq

$$-\frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \left( \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} - \frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{jk}}{\partial x_i} \right) + \sum_{i=1}^n g_{ij} \frac{d^2 x_i}{ds^2} = 0 \tag{37}$$

dep jazıwǵa boladı.

Endi mınaday belgilewlerdi kírgizemiz: g anıqlawlıshıdaǵı (26-formula)  $g_{ik}$  elementiniń algebralıq qosımsıhasın (anıqlawshınıń ózine bólingen)  $g^{ik}$  arqalı belgileymız (i hám k

belgileri joqarida jazılğan). Anıqlawshıldırıń elementar qásiyetlerinen eger  $i = l$  teńligi orınlanatuǵın bolsa, onda

$$\sum_{j=1}^n g^{lj} g_{ij} = 1,$$

al,  $i \neq l$  teńsizligi orınlanatuǵın bolsa, onda

$$\sum_{j=1}^n g^{lj} g_{ij} = 0$$

teńligine iye bolamız.

Eger fizikada qabil etilgendey  $i = l$  bolǵanda 1 ge, al  $i \neq l$  bolǵanda 0 ge teń bolatuǵın shamanı  $\delta_{il}$  arqalı belgilesek, onda

$$\sum_{j=1}^n g^{lj} g_{ij} = \delta_{il} \quad (38)$$

dep jazamız. (8)-formulaniń eki bólimin de  $g^{lj}$  qa kóbeytemiz hám  $j$  ( $= 1, 2, \dots, n$ ) boyinsha summalaýmız. Nátiyjede (9)-formulaniń járdeminde alamız:

$$-\frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \sum_{j=1}^n g^{ij} \left( \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} - \frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{jk}}{\partial x_i} \right) + \sum_{i=1}^n \delta_{il} \frac{d^2 x_i}{ds^2} = 0. \quad (39)$$

Cońğı summada  $i = l$  shártin qanaatlandırmaytuǵın aǵzalardırıń barlıǵı da joq boladı ( $\delta_{il}$  diń qásiyetlerine sáykes). Usı jaǵdaydı esapqaalsaq hám

$$\{ik\}_l = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n g^{lj} \left( \frac{\partial g_{jk}}{\partial x_i} + \frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} \right) \quad (40)$$

belgilewin paydalansaq biz geodeziyalıq sızıqtıń teńlemelerin alamız:

$$\frac{d^2 x_l}{ds^2} + \sum_{i,k=1}^n \{ik\}_l \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} = 1. \quad (41)$$

Bul formuladaǵı Xristofel qawsırmaları dep atalatuǵın  $\{ik\}_l$  shamaları (10)-formula járdeminde anıqlanadı. (10)-formuladan kórinip turǵanınday, Xristofel qawsırmaları  $x_1, x_2, \dots, x_n$  koordinatalarınıń funkciyaları bolıp tabıldırı hám bul koordinatalardırıń shamaları eger sol koordinatalardırıń funkciyaları bolǵan  $g_{ik}$  lar belgili bolsa esaplanadı.  $\{ik\}_l = \{ki\}_l$  teńligi barlıq waqıtta da orınlanatuǵın bolǵanlıqtan (10)-formuladan n ólshemli keńislikte bir birinen górezsiz bolǵan Xristofel qawsırmalarınıń sanı  $\frac{n^2(n+1)}{2}$  bolıwı kerek. Mısalı ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası ushın  $n = 4$  (tórt ólshemli kontinuum)  $\frac{4^2 \cdot 5}{2} = 40$  dana bir birinen górezsiz bolǵan Xristofel qawsırmalarına iye bolamız.

Matematikalıq fizika.

Materialtaniw.

Kristallografiya.

Medicinalıq fizika.

Metrologiya.

Padiofizika.

Kvantlıq radiofizika.  
 Cstatistikalıq radiofizika.  
 Texnikalıq fizika.  
 Terbelisler teoriyası.  
 Dinamikalıq sistemalardıń teoriyası.  
 Atmosfera fizikası.  
 Plazma fizikası.  
 Fizikalıq ximiya.  
 Ximiyalıq fizika.

### **Paydalanılǵan ádebiyalardıń dizimi**

1. Dorfman YA. G. Vsemirnaya istoriya fiziki. С древнейших времен до конца XVIII века. — Izd. 3-e. — M.: LKI, 2010. — 352 s.
2. Dorfman YA. G. Vsemirnaya istoriya fiziki. С начала XIX до середины XX века. — Izd. 3-e. — M.: LKI, 2011. — 317 s.
3. Istorya estestvoznaniya v Possii. — M.: Izd-vo AN CCCP, 1957—1960.
4. Kudryavcev P. C. Kurs istorii fiziki. — M.: Prosveshchenie, 1974.
5. Laue M. Istorya fiziki. — M.: GITTL, 1956. — 230 s.
6. Locci M. Istorya fiziki. — M.: Mir, 1970. — 464 s.
7. Ocherki razvitiya osnovnih fizicheskix idey / Pod red. A. T. Grigoryana i L. C. Polaka. — M.: Izd-vo AN CCCP, 1959.
8. Pozenberger F. Istorya fiziki. — M.—L.: GITTL, 1934.
9. Cpasskiy B. I. Istorya fiziki, v dvux tomakh. — Izd. 2-e. — M.: Vissaya shkola, 1977.
10. Fizika na rubeje XVII—XVIII vekov. — M.: Nauka, 1974.
11. Xramov YU. A. Fiziki. Biograficheskiy spravochnik. — Izd. 2-e, ispr. i dop. — M.: Nauka, 1983. — 400 s.
12. Landau L. D., Lifshic E. M. Teoreticheskaya fizika. — M.: Nauka, 1958. — 509 s.
13. Ivanov B. N. Zakoni fiziki. 3-e izd. — M.: Editorial UPCC, 2004. — 368 s. — ISBN 5-354-00640-6.
14. Puankare A. O nauke. 2-e izd. — M.: Nauka, 1990. — 736 s.
15. Zubov V.P., B.G. Kuznecov, D.D. Ivanenko. Ocherki razvitiya osnovnih fizicheskix idey. — M.: AN CCCP, 1959. — 511 s. — 5000 ekz.