

Fizika

(Enciklopediyalıq maqala)

Mazmunı

Kirisiw.	3
§ 1. Fizikanıń predmeti.	4
§ 2. İlimiy usıl.	4
§ 3. Fizikanıń sanlıq xarakteri.	6
§ 4. Fizikanıń tariyxı.	7
4.1. Eń ertedegi fizikalıq kóz-qaraslar.	8
4.2. Mesopotamiya hám Áyyemgi Mısır.	8
4.3. Áyyemgi Qıtay.	9
4.4. Áyyemgi İndiya.	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 Ptolemey	17
4.5.8. Áyyemgi Pim	20
4.5.9. İslam elleri.	21
4.5.9.1. Ál-Beruniy.	22
4.5.10. Orta ásirlerdegi Evropa.	31
4.6. Fizikanıń tuwılıwı.	32
4.6.1. XVI ásir: texnikalıq progress hám ilimiy revolyuciyanıń baslanıwı.	32
4.6.2. Galiley: eksperimentallıq fizikanıń dóretiliwi.	33
4.6.3. XVII ásir.	34
4.6.4. Kepler hám Dekart.	35
4.6.5. Klassikalıq mexikanıń dóretiliwi: Gyuygens penen Nyuton.	37
4.6.6. Optika: jańa efektler.	39
4.6.7. Elektr hám magnetizm - birinshi izertlewler.	40
4.6.8. Gazler teoriyasınıń tuwılıwı 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 ásirдің ulıwmalıq xarakteristikası.	50
4.6.10.2. Jaqtılıqtıń tolqınlıq teoriyası.	51
4.6.10.3. Elektrodinamika menen elektrotexnikanıń payda bolıwı.	54
4.6.10.4. Elektromagnit maydanınıń teoriyası.	56
4.6.10.5. Termodinamika, gazler, zattıń qurılısı.	60
4.6.10.6. Elektronnıń ashılıwı, radioaktivlik.	64
4.6.10.7. Mexanika, optika, serpimlik teoriyası.	66
4.6.11. XX ásir.	66
4.6.11.1. XX ásirдің 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 ásir hám jańa shegaralar.	
§ 5. Teoriyalıq hám eksperimentallıq fizika.	
§ 6. Ámeliy fizika.	
§ 7. Tiykargı teoriyalar.	
§ 8. Fizikanıń bólimleri.	
8.1. Makroskopiyalıq fizika.	
8.6. Hár qıylı ilimlerдің shegarasındaǵı fizikanıń bólimleri.	
Paydalanılǵan ádebiyalardıń dizimi.	

Kirisiw

Fizika (áyyemgi grek tilinde φυσική - "tábiyiy", φύσις sózinen "tábiyat" mánisinde) - tábiyattanıwdıń oblastı: tábiyattıń eń ulıwmalıq nızamları, materiya, onıń strukturası, qozǵalıǵı hám transformaciyaları haqqındaǵı ilim. Fizikanıń túsiniwleri hám onıń nızamları barlıq tábiyattanıwdıń tiykarında jatadı. Dál ilim bolıp tabıladı.

"Fizika" termini áyyemgi zamanlardaǵı eń ullı oyshılardıń biri bolǵan Aristoteldiń (biziń eramızǵa shekemgi IV ásir) shıǵarmalarında birinshi ret orın aldı. Dáslepki waqıtları "fizika" menen "filosofiya" terminleri sinonimler sıpatında paydalanıldı. Cebebi usı eki pánniń tiykarında Álemniń bar bolıwınıń nızamların túsindiriwge qaratılǵan umtılawlar jattı. Biraq, XVII ásirdegi ilimiy revolyuciyanıń nátiyjesinde fizika óz aldına ilim sıpatında rawajlana basladı.

Házirgi waqıtları fizikanıń tutqan ornı oǵada ullı. Házirgi zaman adamzat jámiyetiniń burıńǵı adamzat jámiyetinen ózgeshelikleriniń barlıǵı fizikalıq ashılıwlarǵı ámelde paydalanıwdıń saldarınan júzege keldi. Mısalı, elektromagnetizm oblastındaǵı izertlewler telefonlardıń, keyinirek mobilli telefonlardıń payda bolıwına, termodinamikadaǵı ashılıwlar avtomobillerdiń dóretiliwine, elektronikanıń rawajlanıwı kompyuterlerdiń payda bolıwına alıp keldi. Fotonikanıń rawajlanıwı principiallıq jaqtan jańa bolǵan fotonlıq kompyuterlerdiń hám basqa da fotonlıq texnikanıń payda bolıwına alıp kele aladı. Olardıń barlıǵı házirgi waqıtlardaǵı elektronlıq texnikanı albastıradı. Gazodinamikanıń rawajlanıwı samoletlar menen vertoletlardıń payda bolıwın támiyinledi.

Tábiyatta júzege keletuǵın processlerdiń fizikasın biliw turaqlı túrde keńeyip hám tereńlesip barmaqta. Jańa ilimiy ashılıwlardıń kópshiligi sanaatta yamasa adamzat xızmetiniń basqa da tarawlarında kóp uzamay texnikalıq-ekonomikalıq paydalanılıwın tabadı. Biraq, izertlewshilerdiń aldında turaqlı túrde jańa máseleler tabıla beredi - túsindiriw hám túsiniw ushın jańa fizikalıq teoriyalar talap etiletuǵın jańa qubılıslar ashıladı. Toplangan bilimlerdeń kóleminiń oǵada úlken bolıwına qaramastan, házirgi zaman fizikası tábiyattıń barlıq qubılısların túsindiriwden 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 túrde aytqanda fizika tábiyat haqqındaǵı ilim bolıp tabıladı (tábiyattanıw, tábiyattanıwdıń bir bólimi). Onıń úyrenetuǵın predmetin materiya (zatlar menen maydanlar túrindegi), onıń qozǵalıǵınıń ulıwmalıq formaları hám materiyanıń qozǵalıǵın basqaratuǵın tábiyattıń fundamentallıq óz-ara tásirlesiwleri quraydı.

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

Fizika matematika menen tıǵız baylanısqan: matematika fizikalıq nızamlardıń dál túrde kórsetiliwine múmkinshilik beretuǵın apparattı beredi. Derlik barlıq waqıtlarda fizikalıq teoriyalar matematikalıq teńlemeler túrinde jazıladı. Fizikada basqa ilimlerdegilerge qaraǵanda matematikanıń quramalıraǵı bolǵan bólimleri paydalanıladı.

Usınıń menen bir waqıtta matematikanıń kóp oblastlarınń rawajlanıwı fizika iliminiń zárúrlıklarına baylanıslı qalıplesti.

§ 2. Ilimiy usıl

Fizika - tábiyiy ilim. Onıń ushın bilimlerdiń deregi ámeliy xızmet bolıp tabıladı: baqlawlar, tábiyattıń qubılısların eksperimentallıq izertlewler, óndiristegi xızmet. Fizikalıq bilimlerdiń durıs yamasa nadurıs ekenligi óndiristegi xızmette ilimiy bilimlerdi paydalanǵan halda eksperimentte tekserip kóríledi. Ilimiy baqlawlar menen eksperimenttiń nátiyjeleriniń ulıwmalastırılıwı fizikalıq nızamlar bolıp tabıladı. Usı nızamlar tiykarında usı baqlawlar menen eksperimentler túsindiriledi. Fizika fundamentallıq hám eń ápiwayı bolǵan qubılıslardı izertlewge jáne ápiwayı bolǵan sorawlarǵa juwap beriwge baǵdarlanǵan: materiya nelerden turadı, materiya bóleksheleri bir biri menen qalayınsha tásirlesedi, bólekshelerdiń qozǵalısları qanday qaǵıydalar hám nızamlar tiykarında júzege keledi h.t.b.

Fizikalıq izertlewlerdiń tiykarında *baqlaw menen eksperimentlerde* tabılǵan faktlar jatadı. Eksperimentler jıynaǵınıń maǵlıwmatların tallaw *nızamlıqtı* anıqlawǵa hám keltirip shıǵarıwǵa múmkinshilik beredi. Bul izertlewlerdiń birinshi etaplarında nızamlıqlar tiykarınan emperikalıq, fenomenologiyalıq xarakterge iye boladı, yaǵnıy qubılıs izertlengen denelerge yamasa zatlarǵa tán bolǵan belgili parametrlerdıń járdeminde sanlıq jaqtan táriyiplenedi. Alınǵan faktler ideal obǵektlerdi kirgiziw jolı menen ápiwayılastırıladı, ideallastırıladı. Ideallastırıwdıń tiykarında izertlengen obǵektler menen qubılıslardıń modelleri dóretiledi. Fizikalıq obǵektler, modeller hám ideal obǵektler fizikalıq shamalar tiykarında táriyiplenedi. Bunnan keyin tábiyattıń qubılıslarınıń arasındǵı baylanıslar tabıladı hám fizikalıq nızamlar tiykarında ańlatıladı. Fizikalıq nızamlar oylap tabılǵan eksperimenttiń járdeminde tekserip kóríledi. Bunday eksperimentlerde qubılıstıń (fenomenniń) múmkin bolǵanınsha taza túrde kórinıwı hám basqa qubılıslar (fenomenler) menen quramalaspaıwı itibarǵa alınadı. Nızamlıqlardı hám parametrlerdı tallap, fizikler fizikalıq teoriyalardı keltirip shıǵaradı, olar úyrenip atırǵan qubılıstı deneler menen zatlardıń qurılısı, olardıń quramlıq bólimleri arasındǵı óz-ara tásirlesiwler tiykarında túsindiriwge múmkinshilik beredi. Óz gezeginde, fizikalıq teoriyalar dál eksperimentlerdi qoyıw ushın múmkinshilik jaratıp beredi. Bul eksperimentlerdi ótkeriwdiń barısında olardı paydalanıwdıń 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 múmkin ekenligin ańǵarǵan hám bul qubılıstı izertley baslaǵan. Georg Om ol ushın sanlı nızamlıqtı asha aldı. Bul nızamlıq boyınsha ótkizgishtegi toqtıń shaması kernewge tuwrı proporcional hám toqtı ótkizgishtiń qarsılıǵına kerı proporcional. Bul nızamlıq Om nızamı ataması menen belgili. Álbette, bunday jaǵdayda Omnıń eksperimentleri jańa toq dereklerine hám elektr toǵınıń tásinin 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 qarsılıǵı hám toqtıń dereginiń ishki qarsılıǵı túsinipleri sıyaqlı fenomenologiyalıq

xarakteristikalar dı kirgiziwge mımkinshilik berdi. Om nızamı házirgi waqıtları da elektrotexnikanıń tiykarın quraydı. Biraq, izertlewler onıń qollanıwınıń sheklerin ashıp kórsetti (sızıqlı emes volt-ampereklik xarakteristikalarǵa iye bolǵan elektr shınjırıń elementleri, solar menen birge belgili bolǵan jaǵdaylarda hesh qanday elektr qarsılıǵına iye bolmaǵan zatlar - asa ótkizgishler ashıldı). Zaryadlangan mikrobóleksheler bolǵan elektronlar (keyinirek protonlar hám basqa da bóleksheler) ashılǵannan keyin elektr ótkizgishliktiń mikroskopiyalıq teoriiyası ashıldı hám bul teoriya qarsılıqtıń temperaturadan ǵárezligin elektronlardıń kristallıq pánjereniń terbelislerinde, qosımsha kirgizilgen atomlarda h.t.b. shashırawı arqalı túsindiretuǵın elektr ótkizgishliktiń mikroskopiyalıq teoriiyası ashıldı.

Usınıń menen birge fizikanı tek emperikalıq jaqınlasıw ǵana rawajlandıradı dep esaplaw durıs emes. Kóp sanlı áhmiyetli ilimiy ashılıwlar "qálemniń ushında" yamasa teoriyalıq gipotezalar dı eksperimentlerde tekserip kóriw jolı menen júzege keldi. Mısalı, eń kishi tásir principin 1744-jılı Per Lui de Mopertyui ulıwmalıq kóz-qaraslar tiykarında keltirip shıǵardı hám bul princip tiń universallıq xarakterge iye bolǵanlıǵı sebepli onıń durıslıǵın eksperimentlerde tekserip kóriwdiń mımkinshiligi joq¹. Házirgi waqıtları klassikalıq hám kvantlıq mexanika, maydanlar teoriiyası eń kishi háreket principine tiykarlangan. 1899-jılı Maks Plank elektromagnit maydanınıń kvantı, háreket kvantı túsiniǵın kirgizdi. Bul túsiniktiń kirgiziliwi de baqlawlar menen eksperimentlerdiń nátiyjesi emes, al tek taza teoriyalıq gipoteza bolıp tabıladı. 1905-jılı Albert Eynshteyn eń ulıwmalıq fizikalıq hám geometriyalıq kóz-qaraslar tiykarında deduktivlik jol menen qurılǵan arnawlı salıstırmalıq teoriiyası boyınsha jumısın baspadan shıǵardı. Fizikanıń ilimiy usılların júdá jaqsı túsiretuǵın matematik Anri Puankare fenomenologiyalıq jaqınlasıw da, oyda keltirip shıǵarıw usılı da óz aldına fizikalıq ilimdi táriyipleı almaydı dep jazdı.

§ 3. Fizikanıń sanlıq xarakteri

Fizika - sanlıq ilim. Fizikalıq eksperiment ólshewlerge, yaǵnıy izertlenetuǵın qubılıslardıń xarakteristikaların belgili bolǵan etalonlar menen salıstırıwǵa súyenedi. Usınday maqsette fizika ilimi fizikalıq birlikler menen ólshew ásbaplarınń jıynaǵın rawajlandırdı. Ayırım fizikalıq birlikler fizikalıq birlikler sistemalarına birigedi. Ilimniń rawajlanıwınıń házirgi waqıtlardaǵı dáwirinde birliklerdiń xalıq aralıq sisteması (CI)

¹ **Gamiltonniń eń kishi háreket principı** yamasa **Gamilton principı** (dáliregi — hárekettiń stacionarlıq principı) - arnawlı funktsional bolǵan hárekettiń stacionar mánisin izlew jolı menen fizikalıq sistemaniń qozǵalıstıń teńlemesin alıwdıń usılı. Uilyam Gamiltonniń húrmetine onıń atı menen atalǵan. Ol bul princip ti klassikalıq mexanikadaǵı gamilton formalizmi dep atalatuǵın formalizmdi qurıw ushın paydalandı.

Hárekettiń stacionarlıq principı - ekstremallıq principlerdiń semeystvosındaǵı eń áhmiyetli princip bolıp tabıladı. Barlıq fizikalıq sistemalar usı princip tiykarında alınatuǵın qozǵalıstıń teńlemesine iye emes, biraq barlıq fundamentallıq tásirlesiwler oǵan baǵınadı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı bul princip házirgi zaman fizikasınıń eń tiykarǵı qaǵıydalarınń biri bolıp tabıladı. Onıń járdeminde alınatuǵın qozǵalıstıń teńlemeleri Eyler-Lagranj teńlemeleri atamasına iye.

Princip tiń birinshi anıqlamasın 1744-jılı P.Mopertyui berdi (francuzsha P. Maupertuis) hám ol princip tiń universallıq tábiyatın, princip ti optika menen jaqtılıqtıń sınırı ushın qollanıwǵa bolatuǵınlıǵın dárhál kórsetti. Usı princip tiń tiykarında ol jaqtılıqtıń shaǵılısıw hám sınırıw nızamların keltirip shıǵardı.

standart bolıp tabıladı. Biraq, teoretiklerdiń kópshiligi burıngısınsha birliklerdiń Gausslıq sistemasın (CGC) paydalanıwdı maqul kóredi.

Eksperimentallıq jollar menen alınǵan sanlıq ǵárezlikler matematikalıq usıllardıń járdeminde qaytadan islenedi. Nátiyjede úyreniletuǵın qubılıslardıń matematikalıq modellerin qurıwdıń múmkinshiligi payda boladı.

Anaw yamasa mınaw qubılıslardıń tábiyatı haqqındaǵı kóz-qaraslardıń ózgeriwi menen fizikalıq shamalar ólshenetuǵın fizikalıq birlikler de ózgerislerge ushıraydı. Colardıń ishinde temperaturanı ólshew ushın dáslep iqtıyarlı túrdegi temperaturalar shkalaları usınıldı. Usı shkalalardı belgili bolǵan qubılıslardıń arasındaǵı temperaturanıń shamasına bóldi (mısalı, suwdıń muzǵa aylanıw hám qaynawı arasındaǵı). Bunnan keyin bul shamanıń ózi kishkene bólimlerge bólinip, olardı temperaturanıń 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 energiyanıń 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 energiyanıń birliklerinde ólshewge boladı. Házirgi dáwirleri kaloriya menen gradus ámeliy paydalanıwdan qalǵan joq, biraq bul shamalar menen Djoullerdegi energiyanıń arasında dál sanlıq qatnas bar. Temperaturanı ólshew birligi sıpatında gradus CI sistemasına kiredi, al temperaturalıq shamalardan energiyalıq shamalarǵa ótiwdiń koefficienti - Bolcman 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 tendenciyalardı 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 fantaziya hám qáte juwmaqlardı (keńislik, waqıt, qozǵalı, tábiyiy nızamlıq ideyası, dúnyanıń sheksizligi, keńisliktiń kontinuumı, zattıń diskret strukturası h.b. haqqındaǵı) bir biri menen baylanıstırdı.

Óz aldına ilim sıpatındağı fizikanıń tariyxı XVII ásirdegi Galiley menen onıń oqıwshılarınıń tájiriýbelerinen baslanadı. Klassikalıq fizikanıń teoriyalıq fundamentin Isaak Nyuton XVII ásirdeń aqırında dóretti. XVIII-XIX ásirlerdegi texnologiyalıq rawajlanıwlarıń úlken tezlikler menen júriwi hám onı teoriyalıq jaqtan túsiniwge tırısıwlar tiýkarǵı fizikalıq túsiniqlerdi (massa, energiya, impuls, atomlar h.t.b.) hám eksperimentlerde jaqsı tekserip kórilgen olardıń arasındağı óz-ara baylanıslardıń fundamentallıq nızamlarınıń ashılıwına alıp keldi.

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

4.1. Eń ertedegi fizikalıq kóz-qaraslar

Eń áyyemgi dúnyada astronomiyanıń, optikanıń hám basqa da ilimlerdiń qalıplesiwi júzege keldi. Bul matematikanıń rawajlanıwına alıp keldi hám sonıń menen birge qalıplesken ilimlerdiń derlik barlıǵı matematikanıń rawajlanıwınan ǵárezli boldı. Usınıń menen birge naturfilosofiya rawajlandı hám ol qubılıslardıń sebeplerin túsindiriwge tırıstı (tiýkarınan sapalıq jaqtan)². Eger tábiyattıń qubılısınıń paydalı modelin ámeliy jaqtan dóretiwdiń múmkinshiligi bolmasa, onda onı diniy mifler albastırdı.

Teoriyalıq modellerdi tekserip kóretuǵın hám jerde hár kúni baqlanatuǵın qubılıslardıń modellerdiń qaysısınıń durıs ekenligin anıqlawǵa múmkinshilik beretuǵın qurallar dım az boldı. Col dáwirlerde jetkilikli dárejede dál ólshew múmkin bolǵan shamalardıń qatarına salmaq, uzınlıq hám múyeshti kirgiziwge boladı. Ğaqıttıń etalonı bolıp sutka xızmet etti. Áyyemgi Mısırdá sutkanı 24 saatqa emes, al 12 kúndizgi hám 12 túngi saatlarǵa bólgen. Usınıń nátiyjesinde eki túrli saat hám sonlıqtan hár qıylı máwsimlerde saattıń uzınlıǵı hár qıylı bolǵan. Biraq, hátte bizge úyrenshikli bolǵan waqıttıń birligi anıqlanǵan jaǵdayda da, dál júretuǵın saatlardıń bolmaǵanlıǵı sebepli fizikalıq eksperimentlerdiń kópshiligin ótkeriwdiń múmkinshiligi bolmaǵan. Conlıqtan, ilimiy maǵlıwmatlardıń ornına oylap tabılǵan yamasa mistikalıq tálimatlar payda boldı.

4.2. Mesopotamiya hám Áyyemgi Mısır

Biziń eramızǵa shekemgi III-I mıń jıllıqlardağı 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 múyeshlerdi ólshewdiń ádewir dál usılları islep shıǵıldı; Vavilon astronomiyalıq kesteleriniń dálligi Mısır astronomiyalıq kesteleriniń dálliginen ádewir joqarı.

Kózge túsetuǵın qurılısları boyınsha mısırlılar menen vavilonlıqlar ádewir alǵa jılıǵan - olar qurılıslarda bloklardı, qıya tegisliklerdi, rıyaglardı, sınılardı, basqa da mexanizmlerdi

² **Naturfilosofiya** (latın tilinde *natura* — "tábiyat") — shama menen XVIII ásirge shekem tábiyat filosofiyasın ańǵartatuǵın tariyxıy termin, tábiyat filosofiyası tábiyattanıwdıń eń ulıwmalıq nızamlarınıń pútın sisteması dep qaraydı.

sheberlik penen paydalana alǵan. Biraq olarda qanday da bir rawajlangan 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.

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

"Moistlik kanonınıń" fizikalıq máseleler qaralǵan bóliminde tiykarǵı dıqqat mexanikaǵa awdarılǵan. Bul miynette inerciya nızamın keltirip shıǵarıwǵa qaratılǵan birinshi tırısıw orın alǵan: "Qozǵalıstır toqtawı qarsı tásir etetuǵın kúshitiń tásirinde júzege keledi... Eger hesh qanday qarsılıq kúshi bolmasa, onda qozǵalısh hesh qashan toqtamaydı". Bunnan keyin bazı bir "kópir arqalı ótiw" esletilip ótiledi. Onı erkin qozǵalıstır tuwrı sızıqlı traektoriya menen bolatuǵınlıǵın tastıyıqlaw dep qarawǵa boladı. Qıtaydaǵı basqa shıǵarmalarda tásir etiw hám qarsı tásir nızamı, rıyag nızamı, qızdırganda denelerdiń keńeyiwi menen salqınlatılǵanda qısılwı kórinedi (sapalıq formulirovkada).

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

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

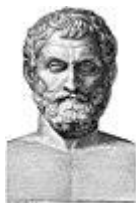
4.4. Áyyemgi Indiya

Indiyalı naturfilosoflar dúnyanı bes elementten turadı dep esapladi: jer, ot, hawa, suw hám efir. Olar efirdi keńislikti toltırıp turadı hám sesti alıp júriwshi boladı dep esapladi. Qalğan elementlerdi hár qıylı seziw organları menen baylanıstırdı. Biziń eramızǵa shekemgi VII ásirdeń átirapında indiyalı alımlar atomlar koncepciyasını 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. Qozǵalıw haqqındaǵı másele ayırıqsha tolıǵıraq qaraldı. Olar máńgi qozǵalıstı biykarladı.

4.5. Áyyemgi fizika

4.5.1. Áyyemgi fizikanıń ózgeshelikleri



Fales Miletskiy



Anaksagor



Demokrit



Arximed



Geron



Platon (Pafaeldiń "Afina mektebi" niń fragmenti)

Áyyemgi Greciyadaǵı áyyemgi ilim grek filosofları tárepinen dóretilgen mazmunlı hám pútin matematikalıq bilimler sistemasına. Bul matematikalıq bilimler sisteması algebralıq hám geometriyalıq bilimler sisteması bolıp tabıladı. Pifagorshılar tábiyiy qubılıslardı (mexanika, astronomiya, optika, muzika hám basqalar) matematikalıq nızamlarǵa baǵınadı dep daǵazaladı. Bunday kóz-qaras bir qatar bahalı nátiyjelerdi alıwǵa múmkinshilik berdi, biraq kóp sanlı áyyemgi alımlardıń ózleriniń teoriyaların tekserip kóriwden alısta turıwı kóp sanlı adasıwlarǵa alıp keldi.

Áyyemgi fizikanıń tariyxı boyınsha áhmiyetli derekler sıpatında Platonniń, Aristoteldiń (biziń eramızǵa shekemgi IV ásir), Arximedtiń (biziń eramızǵa shekemgi III ásir), Geronniń, Lukerciy Kardiń (biziń eramızǵa shekemgi I ásir), solar menen bir qatarda citatalar sıpatında tekstlerdiń fragmentleri túrinde saqlanıp qalğan basqa da oyshılardıń 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 sistemasın islep shıǵıwdan ibarat. Bul principlerdiń kópshiligi (mısalı, Aristoteldiń 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 ilimniń rawajlanıwına oǵada úlken tásirin tiygizdi hám XVII ásirge shekem konkurentlerge iye bolmadı. Áyyemgi fizikanıń áhmiyeti sonnan ibarat, ol materiyanıń qozǵalıǵı menen strukturası haqqındaǵı ayqın máselelerdi qoya aldı hám bul máselelerdi sheshiwdiń múmkin bolǵan jolların talladı.

4.5.2. Dáslepki elementler hám platonizm

Eń ertedegi áyyemgi fizikler Álemniń tiykarı sıpatında neni esaplawǵa bolatuǵınlıǵı, biz baqlap júrgen kóp túrli obǵektler ushın birinshi elementtiń ne ekenligi haqqındaǵı hár qıylı gipotezalarǵı usındı. Fales usınday birinshi element sıpatında suwdı, Anaksimend hawanı, Geraklit jalındı qabıl etti. Anaksimandr bul stixiyalardıń barlıǵınıń ekinshi nárse ekenligin, al birinshisi "apeyron" dep atalatuǵın substanciya bolıp tabıladı dep daǵazaladı. Anaksagordıń sistemasındaǵı elementlerdiń sanı sheksiz 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.

Bizniń eramızǵa shekemgi IV ásirdeń ullı fizigi Platon óziniń "Timey" dep atalatuǵın miynetinde usı máselege itibar berdi. Bul miynette bayanlanǵan ideyalardıń mistikalıq xarakterge iye bolsa da, ol ilim menen filosofianıń 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 haqıyqıy dúnya ideallıq dúnyanıń bulıńǵır kopiyası bolıp tabıladı.

Platon tórt klassikalıq stixianı moyınlaǵan: jerdi, suwdı, hawanı hám ottı (jalındı), biraq olar menen bir qatarda jáne birinshi element bar hám ol durıs kóp múyeshliklerge iye bolǵan durıs kóp qaptallı figuraǵa jaylasqan jaǵdayda tórt stixianı payda etedi. Platon hátte qanday kóp jaqlılardıń qanday stixiyalarǵa sáykes keletuǵınlıǵınıń 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 tallan hám túsindirgen.

4.5.3. Atomizm

Zenonniń aporiyiniń (oylarınıń) payda bolıwı oǵada qıyın bolǵan hám usı waqıtlarǵa shekem sheshilmegen mashqalanı payda etti: materiya bóline me, waqıt penen keńislik sheksiz be yamasa bóliniw ushın qanday da bir shekler bar ma? Bul sorawǵa juwaptıń bir variantı atomizm bolıp tabıladı (Demokrit, bizniń eramızǵa shekemgi V ásir). Atomizm boyınsha hár qıylı deneler bir birinen quramı boyınsha emes, al qurılısı, yaǵnıy olardaǵı bólinbeytuǵın atomlardıń strukturası boyınsha ajiraladı (hár qıylı tiptegi hám hár qıylı formaǵa iye atomlar boladı dep te esaplandı). Atomistler tábiyatta atomlar menen boslıqtan basqa hesh nárse joq dep esapladı. 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 erkininiń azat ekenligin atomlardıń qozǵalıǵınıń tosınan bolatuǵın awısıwlarǵa tap bolıwı menen baylanıstırdı.

Atomistler materiyanıñ saqlanıw nızamı húkim súredi dep daǵazaladı. Bul nızam atomlardıń buzılmaytuǵınlıǵı qásiyetinen tábiyyıy túrde kelip shıǵadı. Bul nızamnıń anıqlamasın biziń eramızǵa shekemgi V ásirde birinshi ret Empedokl berdi (qánileger onı pifagorshı dep boljaydı) hám anıqlama shama menen bılayınsha ayıladı: Hesh nársе joqtan payda bolmaydı hám hesh nársе joq bolmaydı. Keyinirek tap usınday anıqlamanı Demokrit, Epikur, Aristotel hám basqa da naturfilosoflar berdi.

4.5.4. Aristoteldiń fizikası



Aristotel
(P. Fidanctıń gravyrası)



Aristoteldiń "Fizika" kitabınıń birinshi beti.

Platonnıń oqıwshısı, grek filosofi Aristotel (biziń eramızǵa shekemgi 384-322 jıllar) sol dáwirlerdegi bilimlerdeń tiykarında kóp sanlı fizikalıq teoriyalar menen gipotezalardı dóretti. "Fizika" termininiń ózi de ilimge Aristotel tárepinen kirgizildi.

Aristoteldiń jazba miynetlerin eki túrge bóliwge boladı: "ekzoterikalıq" - tiykarınan hár qıylı temalardı baǵıshlangan dialoglardan turatuǵın kópshilikke arnalǵan shıǵarmalar hám "ekzoterikalıq" - lekciyalıq kurslar hám ilimiy traktatlar. Fizikanıń ózine "Fizika", "Aspan haqqında", "Payda bolıw menen joq etiliw", "Meteorologika" shıǵarmaları tiyisli. Andronik Podoskiy tárepinen jıynalǵan hám redaktorlangan Aristoteldiń "Metafizika" ataması menen jariq kórgen filosofiyalıq miynetleri fizika ilimine tiyisli emes. Biraq, bul kitapta keńislik, qozǵalı, materiya h.t.b. tallawlar orın alǵan.

Aristoteldiń shıǵarmaları bir mánisli traktovkalanbaydı: bir tárepten onıń mektebinde emperikalıq ideyalar menen qánigelestiriw rawajlangan; biraq, ekinshi tárepten, shıǵarmalar kúshli platonlıq ruwhta traktovkalanadı.

Aristoteldiń fizikası tórt element (tórt stixiya) haqqındaǵı tálimatqa tiykarlangan. Aristoteldiń miynetlerinde gáp tiykarınan usı tórt stixiyanıń arasındaǵı qatnas, olardıń rawajlanıwı, olardıń tábiyattıń qubılıslarına qalay aylanatuǵınlıǵı h.t.b. haqqında gáp etiledi.

Aristoteldiń fizikasınıń tiykarǵı postulatları:

1. Tábiyyıy orın — hár bir element Jerdiń orayına, yaǵnıy Álemnıń orayına salıstırǵanda qanday da bolıp jaylasqan óziniń tábiyyıy ornına tartıladı.

2. Gravitaciya/Levitaciya — ob'ektlerge olardı ózleriniń tábiyyıy ornına qaray qozǵaltatuǵın kúsh tásir etedi.

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

4. Tezliktiń tıǵızlıqtan ǵárezligi — tezlik ortalıqtıń tıǵızlıǵına kerı proporcional.

5. Vakuumnıń múmkin emes ekenligi — sebebi vakuumdaǵı qozǵalı tezliginiń shaması sheksiz úlken bolǵan bolar edi.

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

7. Shekli álem — álem shekli, yaǵnıy tolıq dóretilip bolıǵan, demek, jetiliskeń; dúnya sırttan hesh nárseni ózine kirgizbeydi, bunnan dúnyada orınnıń joq ekenligi kelip shıǵadı ("orınnıń bolıwı - ózine sırttan kirgizetuǵın dúnyanıń birinshi shegarası").

8. Kontinuum teoriiyası — atomlardıń arasında vakuumnıń bolıwı kerek, sonlıqtan materiyanıń atomlardan turıwı múmkin emes.

9. Efir — Aydıń ústindegi dúnyanıń obǵektleri jerdegidey materiyaadan emes, al basqa túrli materiyaadan soǵılǵan.

10. Ózgermeytuǵın hám máńgi kosmos — Quyash penen planetalar jetiliskeń, ózgermeytuǵın sferalar bolıp tabıladı.

11. Sheńber boyınsha qozǵalı — planetalar jetiliskeń sheńber boyınsha qozǵaladı.

Aristoteldiń elementleri

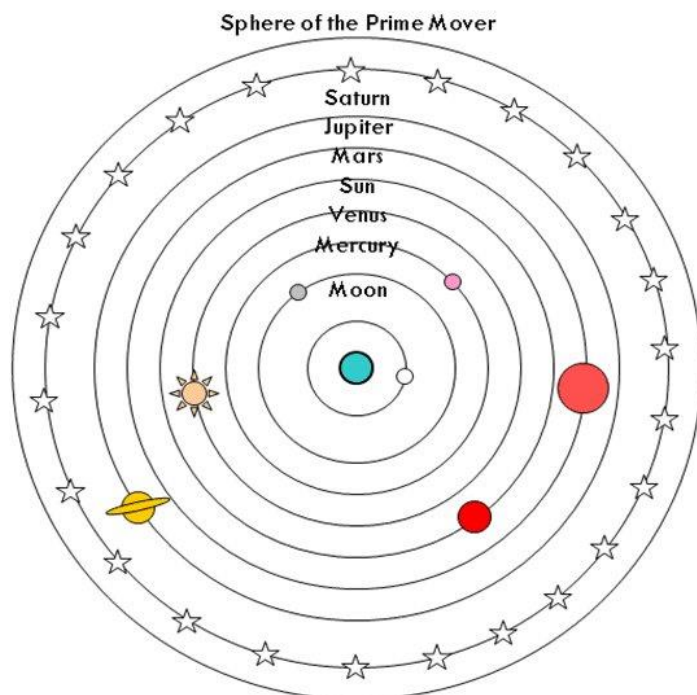
Element	Qızǵan/salqın	blǵal/qurǵaq	Qozǵalı	Zattıń házirgi waqıttaǵı halı
Jer	Calqın	Qurǵaq	Tómenge	Qattı
Cuw	Calqın	blǵal	Tómenge	Cuyıq
Hawa	blssı	blǵal	Joqarıǵa	Gaz
Ot	blssı	Qurǵaq	Joqarıǵa	Plazma
Efir	(qudaylıq zat)	-	Dóngelek (aspanda)	Vakuum

4.5.5. Kosmologiya

Tábiyat haqqındaǵı jıynaw múmkin bolǵan bilimlerde biriktirip hám sistemaǵa salıp, Aristotel dúnyanıń kosmologiyalıq kartinasın dóretti. Ol óziniń "Aspan haqqında" kitabın kosmologiyaǵa baǵıshladı.

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

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



Aristoteldiń georaylıq sisteması

Aristoteldiń georaylıq kosmologiyasınıń tásiiri Kopernikke shekem saqlanıp keldi. Aristotel Evdoks Knidskiydiń astronomiyalıq modelin bassılıqqa aldı, biraq planetalıq sferalardı haqıyqıy fizikalıq mánis berdi: Álem hár qıylı tezlikler menen qozǵalatuǵın bir qatar koncentrik sferalardan turadı hám olar eń shetki qozǵalmaytuǵın juldızlar sferasınıń tásirinde qozǵalısqı 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 jetiliskeń formaǵa iye bolatuǵınlıǵına súyendi.

"Aydıń astındaǵı dúnya" Aydıń orbitası menen Jerdiń arasında jaylasqan bolıp, ol tártipsiz teń ólshewli bolmaǵan qozǵalıslar oblastı bolıp tabıladı. Bul oblasttaǵı barlıq zatlar tómengi tórt elementlerden (jerdin, 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 dúnya", yaǵnıy Aydıń orbitası menen qozǵalmaytuǵın juldızlardıń eń jaqın sferasınıń arasındaǵı oblast máńgi teń ólshewli qozǵalıslar oblastı bolıp tabıladı, al juldızlardıń ózleri bolsa besinshi, eń jetiliskeń 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 qozǵalmaytuǵın etip bekitilgen hám aspan menen birgelikte aylanadı, al "qozǵalatuǵın juldızlar" (planetalar) bolsa jeti koncentrik dóńgelekler boyınsha aylanadı. Aspan qozǵalıslarınıń sebebi Quday bolıp tabıladı.

Aristoteldiń kosmologiyalıq sisteması derlik eki mıń jıl jasadı hám usı dáwirdiń ishinde bul sistema kóp sanlı túsindiriwlerge hám kommentariylerge ushıradı. Mısalı, deneniń salmaǵınıń jerdiń orayına jaqınlaǵan sayın qalayınsha ózgeretuǵınlıǵı kópshiliktiń arasında

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

4.5.6. Aleksandriya mektebi

Biziń eramızǵa shekemgi IV ásirde keyin tájiriybe menen jetkiliksiz túrde baylanısqan Afina mektebiniń ideyalıq sistemaları Aleksandriya mektebiniń ámelge jaqınaraq bolǵan jaqınlasıwınıń saldarınan ádewir bayıdı. Aleksandriyalı grekler bir neshe sanlıq (matematikalıq túrde bayanlangan) teoriyalardı usındı hám olardı ámelde qollanıw jolların táriyiledi. Bul dáwirdegi alımlar menen oylap tabıwshılardıń arasında Arximed, Ktesibiy hám Geron Aleksandriyskiy ayırıqsha dańqqa bólendi.

Arximed rıqag teoriyası menen mexanikalıq teń salmaqlıq teoriyasın ayqın túrde bayanladı hám mınaday juwmaqqa keldi: "shamalar salmaqlarına kerı proporcional bolǵan uzınlıqlarda teń salmaqlıqqa keledi". Ol salmaq orayı túsinigine anıqlama berdi hám úsh múyeshliktegi hám basqa da figuralardaǵı salmaq orayınıń ornın taptı. Arximed suyıqlıqtıń kóteriw kúshiniń shamasın esapladı (Arximed nızamı). Biziń eramızǵa shekemgi IV ásirde Gipatiydiń oqıwshısı Cineziy Kirenskiy Arximedtiń ilimiy ashılıwı tiykarında suyıqlıqlardıń salıstırmalı salmaǵın anıqlaw ushın areometrdi oylap taptı.



Geronnıń puw turbinası.

Burınaraq Empedokl (biziń eramızdan burınǵı 490-430 jıllar) menen Anaksagor (biziń eramızdan burınǵı shama menen 500-428 jıllar) eksperimentte hawanıń serpimligin dálillegen edi. Hidravlika boyınsha toplanǵan tájiriybeni ulıwmalastırıp Geron eki tomlıq "Pnevmatika" oqıwlıǵın jazdı. Ol gazdıń qısılıw qásiyeti onıń boslıq penen ayırılǵan bólekshelerden turatuǵınlıǵın dálilleydi dep jazdı. "Pnevmatikada" kóp sanlı texnikalıq dúzilisler táriyiplengen, olardıń ishinde birinshi puw turbinası (eolipil) bar. Teoriyalıq akustikaǵa hám muzıkanıń teoriyasına úlken úles qosıldı.

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

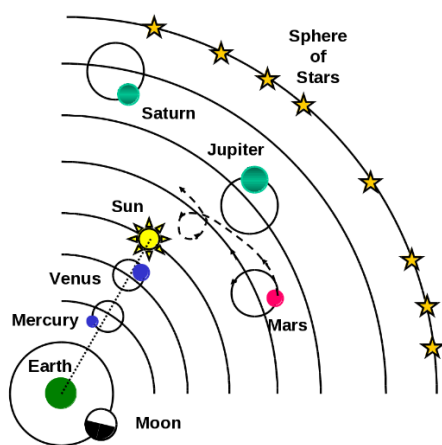
Coŋğı ellinlik astronom, astrolog, matematik, mexanik, optik, muzıkanın teoretigi hám geograf Klavdiy Ptolemey (biziń ásirimizdiń shama menen 100-170 jılları) óziniń "optika" traktatında astronomiyalıq refrakciyanı tolıq táriypledi hám onıń jaqtırtqıshlardıń kózge kórinetuǵın biyikligin kóteretuǵının kórsetti. Biraq, sonday bolsa da, áyyemgi greklerdiń optikasında turpayı qáteler de boldı. Mısalı, sınıw múyeshiniń shamasın túsiw múyeshiniń shamasına tuwrı proporcional dep esaplandı (bul qátelikti hátte Kepler de bólisti). Kózdiń setwatkasındaǵı súwret ele ashılǵan joq edi hám, sonlıqtan, kóriw adamnıń hám haywanlardıń kózlerinen shıǵatuǵın ayırıqsha nurlar menen baylanıstırıldı. Jaqtılıqtıń tábiyatı menen reńler haqqındaǵı gipotezalardıń sanı kóp bolsa da, olardıń barlıǵı oyda oylap tabılǵan edi.

4.5.7. Klavdiy Ptolemey

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

"Almagest" dep atalatuǵın 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 qamtıǵan. Bilimniń basqa da oblastları bolǵan optikada, matematikada, geografiyada hám astrologiyada tereń iz qaldırdı.

Klavdiy Ptolemey ellinizmdegi eń iri tulǵalardıń biri. Gipparxtan (biziń eramızǵa shekemgi II ásir) Al-Biruniyge shekem (biziń eramızdıń X-XI ásirleri) tolıq mıń jıldıń ishinde astronomiyada Ptolemeyge teń hesh kim bolmadı.



Ptolemey boyınsha Álemniń qurılısı.

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

Astronomiya. Ptolemeydiń tiykarǵı miyneti "On úsh kitaptan ibarat astronomiya boyınsha ullı matematikalıq qurıw" (yamasa ápiwayı túrde "Ullı", grek tilinde "Megiste" dep ataladı) dep ataladı hám ol áyyemgi grek dúnyasınıń astronomiyalıq hám

matematikalıq bilimleriniñ enciklopediyası bolıp tabıladı. Greklerden arablar arqalı orta ásirlerdegi Evropağa qaray jılıwdıń barısında "Megale syntaxis" ("Ullı qurıw") sózi "Almagest" ataması túrinde jetip keldi. Házirgi waqıtları Ptolemeydiń bul kitabınıñ ataması arab tiliniñ tásirinde usınday atama menen belgili.

Ptolemey Almagestte Áyyemgi Greciya menen Vavilonnıń astronomiyalıq bilimleriniñ jıynağın bayanladı hám dúnyanıń júdá quramalı bolğan geooraylıq modelin dóretti. Bul sistemanı dóretkende ol ózin sheber matematik sıpatında kórsetti. Cebebi aspan deneleriniñ teń ólshewli bolmağan qozǵalısların (geypara planetalardıń alğa hám artqa qaray qozǵalatuǵınday bolıp kórinetuǵınlıǵın) sheńberler boyınsha bir neshe teń ólshewli qozǵalıslardıń kombinaciyası sıpatında kórsete aldı (epicikllar, deferentler, ekvantlar). Ilimniñ amerikalıq tariyxshısı M. Klayn mınaday jaǵdaydı ańǵardı: "Ptolemey teoriyasınıń oǵada zor mańızınıń onıń júdá quramalı hám júmbaq bolğan fizikalıq qubılıslardı racionallıq túsiniwde matematikanıń kúshin isenimli túrde demonstraciyalay alıwında".

Almagest juldızlar aspanınıñ katalogına da iye. 48 shoq juldızdıń dizimi aspan sferasını tolıq toltırmadı. Cebebi, katalogta tek Ptolemey Aleksandriyasında turıp baqlay alatuǵın juldızlar ǵana bar.

Nikolay Koperniktiń geliooraylıq sisteması dóretilgenshe Ptolemeydiń sisteması batıs hám islam ellerinde bárshe tárepinen qabıl etilgen sistemaǵa aylandı.

Ulıwmalastırıwshı hám fundamentallıq jaqınlasıwına baylanıslı Ptolemeydiń kitapları ózinen burınǵı alımlardıń jumısların paydalanıwdan derlik tolıq qısıp shıǵardı. Olardıń kópshiligi joǵalǵan bolıp shıqtı. Olardıń bir qanshaları tek Ptolemeydiń siltewleri menen belgili. Usınıń menen bir qatarda qurıwdıń logikalıq hám didaktikalıq bolıwı ushın Ptolemey geyde óziniń yamasa basqalardıń utımlı bolğan baqlaw maǵlıwmatların arnawlı túrde saylap aldı yamasa ózine durıs bolıp kóringen teoriyalıq nátiyjelerge sáykes keliwi ushın baqlaw maǵlıwmatlarına sanalı túrde ózgerisler kirgizgen. Bul jaǵday ilimiy usıl haqqındaǵı házirgi zaman kóz-qaraslarına qarama-qarsı keledi. Usı jaǵdayǵa baylanıslı Ptolemeydiń metodologiyasınıń máseleleri menen burınǵı alımlardıń nátiyjelerine salıstırǵandaǵı onıń jetiskenlikleri júdá quramalı hám bul máseleler keyingi izertlewshilerdiń arasındaǵı kóp kelispewshiliklerge alıp keldi. Bunday kelispewshiliklerdiń tariyxı IX ásirdegi arab alımlarınıń bergen maǵlıwmatlarınan baslanadı. Mısalı, Ptolemeydiń juldızlar kestesi tiykarınan Gipparxtıń bizge jetip kelmegen juldızlar kestesine súyenedi. Házirgi waqıtlardaǵı ilim tariyxshılarınıń ótkergen izertlewlerine sáykes, juldızlar kestesinde keltirilgen 1022 juldızdıń barlıǵın Gipparx Podostıń keńliginde baqlay alǵan³. Biraq kestede Podosqa salıstırǵanda túslikte jaylasqan Aleksandriyada baqlanatuǵın, biraq Podosta baqlanbaytuǵın bir de juldız joq.

Pobert Nyuton óziniń 1977-jılı jarıq kórgen hám úlken shawqımlardı shıǵarǵan "Klavdiy Ptolemeydiń jinayatı" atlı kitabında alımdı falsifikaciya menen plagiatta tuppattı ayıpladı. Biraq, kóp sanlı iri astronomlar áyyemgi alımnıń tárepini aldı. Possiyalı astronomlar YU.N.Efremov penen E.K.Pavlovskaya tárepinen orınlangan Almagest shoq juldızınıń barlıq juldızlarınıń menshikli qozǵalısların esaplawlar olardıń haqıyqatında da tiykarınan biziń eramızǵa shekemgi II ásirinde baqlanǵanlıǵın kórsetti. Demek, Ptolemey rásinde da biziń eramızǵa shekemgi II ásirde Gipparx tárepinen dúzilgen juldızlar kestesi

³ Áyyemgi grek astronomı Gipparx Greciyanıń aymaǵına kiretuǵın Podos atawında jasaǵan hám óziniń astronomiyalıq baqlawların ótkergen.

paydalanğan hám ol precessiyadaǵı sistemalıq qátenin shamasın ózi jasaǵan waqıt ushın qaytadan, biraq ádewir úlken qátelik penen esaplaǵan (ol 100 jıldıǵı precessiyanı 1 gradusqa teń dep alǵan, al 1 graduslıq precessiya 72 jıldıń 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 Pobert Nyutonday bolıp plagiatta ayıplawdıń tárepinde turǵan joq, sebebi ol kitaptıń hesh bir betinde ózin baqlawlardıń avtorıman dep atamaǵan. Onıń juldızlar kestesi spravochnik bolıp tabıladı, al biziń waqıtlarımızda spravochniklerde materialdıń avtorları kórsetilmeydi.

Ptolemey armıllıyarlıq 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 (kvadranttıń) proobrazo bolıp tabılatuǵın úsh sızǵıshtan turadı.

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

"Almagesttiń" nátiyjeleriniń qısqaşa ápiwayılastırılǵan variantı tek arab tiline awdarması túrinde saqlanıp qalǵan "Planetalıq gipotezalar" dep atalatuǵın eki kitapta bayanlanǵan. Bul kitapta atronomiyalıq teoriyanıń bunnan bılay rawajlandırılıwı kórinedi. Tap usı jumısında Ptolemey hár qıylı jaqtırtqıshlar ushın dóretilgen ayırım geometriyalıq modellerge sáykes keletuǵın dúnyanıń baylanısqa mexanikalıq kartinasın dóretiwge tırısqa. Bul jumısta jaqtırtqıshlarǵa shekemgi qashıqlıqları hám olardıń ólshemlerin anıqlawdıń jańa usılları islep shıǵılǵan.

Tek arab tiline awdarması túrinde saqlanıp qalǵan "Planisfera haqqında" dep atalatuǵın traktatında Ptolemey aspan sferasındaǵı sheńberlerdiń ekvator tegisligine túsirilgen proekciyaları haqqındaǵı mäseleni qaraǵan. Bul jumıs eń kóp tarqalǵan Orta ásirlik astronomiyalıq ásbap tegis astrolyabiyanıń konstrukciyasınıń tiykarında jatadı. Bul quraldıń eń baslı xızmetiniń biri jaqtırtqıshtıń shıǵıw hám batıw waqıtların anıqlaw bolǵanlıqtan Ptolemey traktatında usı mäseleni arnawlı túrde tallaydı hám sonlıqtan usı ásbaptıń avtorlıǵı onıń ózine tiyisli bolsa kerek.

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

sinuslarını qatnası haqqında emes, al múyeshlerdiń ózleriniń qatnası haqqında etilgen). Conlıqtan, Ptolemeydiń sınıw nızamı úlken múyeshlerde durıs nátiyjeni bermeydi.

Mexanika. X ásirdegi "Cuda" atamasındaǵı 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 sestı hawadaǵı tolqın túrinde táriyipleydi, tábiyattaǵı suwdıń aylanısı haqqında jazdı (onıń kóp sanlı zamanlasları suwdı úńgirlerdiń 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 shıǵarmaların qaldırdı. Óziniń kóz-qarası boyınsha epikurshı bolıp tabılatuǵın Tit Lukerciy Kar (biziń eramızǵa shekemgi I ásir) "Zatlardıń tábiyatı haqqında" poemasını jazdı. Poema Demokrittiń atomizminiń poziciyalarında turǵan halda kóp sanlı qubılıslardı (sonıń ishinde magnitlik tartısıwdı) túsindiriwge qaratılǵan tırısıwlarǵa iye. Atomizmniń rimli basqa tárepdarı Ceneka óziniń "Tábiyat haqqındaǵı izertlewler" atamasındaǵı jeti tomlıq miynetinde elektrlik qubılıslarǵa, aspan qubılıslarına, kometalarǵa, suwdıń, hawanıń hám jaqtılıqtıń qásiyetlerine túsinipler bergen. Cenekanıń túsinipleriniń kópshiligi "jeńillik" penen berilgen. Mısalı, onıń pikiri boyınsha zatlardıń reńleri Quyashtıń jaqtılıǵı menen qarańǵı bultlardıń aralasıwınıń saldarınan payda boladı. Úlken Pliniydiń "Tábiyiy tariyx" kitabındaǵı fantaziyalardıń sanı onnan da kóp. Mısalı, almaz magnitti ekranlay aladı, juldızlar korabllerdiń maıttalarına túsip "Áwliye Elmniń otların" payda etedi h.b. Ásker bası Cekst YUliy Frontindi (biziń eramızdıń I ásiri) jası ádewir úlken bolǵanda qalalıq "Pim vodoprovodları haqqında" dep atalatuǵın shıǵarmasını qaldırǵan. Bul kitabında ol Torricelliden bir yarım mıń jıl burın birinshi bolıp ıdıstan suwdıń tesik arqalı aǵıp shıǵıw tezliginiń tesiktiń keńliginen emes, al ıdıstaǵı suwdıń qáddinen ǵárezli ekenligin atap ótti.

4.5.9. Islam elleri

Islam ellerindegi ilimniń altın dáwiri shama menen IX ásirden XIV ásirdiń birinshi sheregine shekem dawam etti (mongollardıń shabıwılana shekem). Usı waqıtları grek hám hind alımlarınıń baslı miynetleri arab tiline awdarılǵan edi. Bunnan keyin arab, parsı hám túrkiy 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 Abdurrahman al-Xazini (XII ásir) Arximedtiń rıwaǵı tárezisi hám salmaq orayları boyınsha izertlewlerin dawam etti. Kitapta bayanlanǵan principiplerdiń kóp sanlı ámeliy qollanıwı táriyiplengen. Colardıń ishinde zergerlerdiń jumıslarındaǵı aldawdıń 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 shıǵarganda onıń ishinde turǵan denelerdiń salmaǵı artadı. Abdurrahman al-Xazinidiń kitabınıń qosımsha artıqmashlıǵı oǵan salmaqı dál ólshew menen salıstırmalı salmaqı esaplaw boyınsha Omar Hayyam menen Al-Biruniydiń nátiyjeleriniń qosılıwı bolıp tabıladı.

Ptolemeyden keyingi optikanıń rawajlanıwına eń úlken úlesti "Optika kitabı" nıń avtorı Ibn al-Xaysam (XI ásir, Evropada onı "Alxazen" dep ataydı) qostı. Alxazen eskiden kiyatırǵan kózden shıǵatuǵın kóriw nurları gipotezasın biykarladı, kózdiń qurılısın hám binokulyar kóriwdi durıs táriypledi. Biraq ol sırtqı predmetlerdiń súwretleri xrustaliktiń ishinde payda boladı dep nadurıs boljadı. Alxazen jaqtılıqtıń tezliginiń shekli ekenligi haqqındaǵı pikirde boldı hám kamera-obskura menen, jaqtılıqtıń sınırı boyınsha hám aynalardıń hár qıylı túrleri menen eksperimentler ótkerdi. Ol qıysıq sıızıqlı aynada shaǵılısqan nurdiń túsiwshi nur menen betke túsirilgen normaldıń bir bette jatatuǵınlıǵın taptı. Alxazenniń kóz-qarasları (onıń ismi atalmaǵan halda) Erazm Vitelonıń (Vitelliydiń) 1271-jılı jarıq kórgen hám sol waqıtta kópshilikke tarqalǵan kitabında tolıq bayanlanǵan, Bul kitap 300 jıl dawamında bir neshe ret basıp shıǵarılǵan hám optikanıń Evropadaǵı rawajlanıwına úlken tásirin tiygizgen.



"Optika kitabı" nıń latın tiline awdarmasınıń birinshi beti.

Eń iri arab oylap tabıwshılarınıń biri Al-Djazari (1136-1206) óziniń , odın iz krupneyshix arabskix izobretateley, v svoem sochinenii "Ármanlar kitabında" kolenchatıy valdı, klapanlı nasoslardı, suw kóteretuǵın mashinalardı, suw saatların, muzıkallıq avtomatlardı hám basqalardı bayanladı. Al-Dजारige mınaday texnologiyalıq jańalıqlar da tiyisli: aǵashtı laminaciyalaw, kodqa iye qulıplar, qálegen keńlik ushın kompas penen universallıq quyash saatınıń gibriidi 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 arasındalıq basıp alıwshılıq baǵdarındaǵı urıs-jánjellerdiń kúsheyiwi menen sıpatlanadı. X ásirdiń ekinshi yarımına kelip paytaxtı Gurganj (házirgi Góne Úrgenish) qalası bolǵan arqa Xorezm hám paytaxtı Kát qalası bolǵan túslik Xorezm mámleketleri bir tekli rawajlanıwǵa eristi. Kát qalasında IX ásirde tiykarı salınǵan Banıw Irak dinastiyasına kiretuǵın Xorezmshah, al Gurganjdı bolsa Oraylıq Aziya mámleketlerin VII ásirde basıp alǵan arablar tárepinen qoyılǵan ámirler basqardı.

995-jılı Gurganjlı ámir Mamun ibn Muxammed Kát qalasın bağındarıp, Xorezmniń barlıq bólimlerin 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 qalıplesti hám bul jerlerdegi ótkerilgen májilislerde XI ásirdiń eń iri ilimpazları jıynaldı. Xorezm aymaǵında mádeniyattıń gúlleniwinde Mamun ibn Muxammedtiń ulı hám onıń aqlıǵı Áliy ibn Mamun hám Ábiw-l-Abbas Mamunlar úlken orın iyeledi.

Bul waqıtları Xorezm bir jaǵınan Camarqandlı Ilekxannıń, ekinshi tárepten qúdireti ósip baratırǵan Maxmud Ğaznawiydiń qáwpi astında turdı. Usınıń aqıbetinde, ásirese Maxmud Ğaznawiydiń Xorezmdegi bolıp atırǵan mádeniy hám ekonomikalıq gúlleniwdi kóre almawınan 1017-jılı báhárde Hazarasp qalasındaǵı Mamunniń áskerleri menen til biriktirip, kóterilis shólkemlestiriw nátiyjesinde Xorezmshah óltirildi. Taxtqa Maxmudtıń atalası Abdul-Xaris Muxammed ibn Áliy otırǵızıldı. Biraq onıń hákimlik etiwi úsh-tórt aydan aspadı, 1017-jılı jaz aylarında Xorezm ğárezsizlikten ayırıldı hám tolıq Ğaznawiylerdiń qol astına ótti.

Tiykarınan basqa ellerdi basıp alıwshılıq, talaw menen óziniń siyasatın júrgizgen hám Hindstan, Iran, Oraylıq Aziyanıń bir qansha aymaqların bağındırǵan Maxmud Ğaznawiy 1030-jılı qaytı boladı. Onıń ornına ákesinen tek kemshilikli táreplerin ózine miyras etip alǵan ulı Masʼud taxtqa keledi. Basıp alıwshılıq siyasatı Ğaznawiyler mámleketin hálsiretip, 1040-jılı Celjuqlar tárepinen qulatıladı. Usınıń sebebinen Xorezm qaytadan tolıq ğárezsizlikke erisedi.

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

Ábiw Payxan Muxammed ibn Axmed Beruniy (farsı tilinde ابوریحان بیرونی, arabsha أبو الريحان البيروني) 973-jılı 4-sentyabr kúni Kát qalasınıń (Xorezm, Camanidler mámleketi) qasında tuwıldı. Onıń zamanlaslarınń 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 atlar bolsa kerek. Ol ata-anadan tolıq jetim qalǵanlıǵına qaramastan ayırıqsha zeyinliliǵı hám kitaplardıń bolǵan intası arqasında tereń bilim alıwǵa erisken. Col waqıtları Xorezmde bir grek ilimpazı jasaǵan. Ál-Beruniy oǵan hár qanday ósimlikler, tuqımlar, miyweler terip alıp kelip, olardıń atlarınń grek tilinde qalay atalıwın hám jazılıwın úyrenen. Kishi jaslarında ol joqarıda atı atalǵan Banıw Iraklar dinastıyasına kiriwshi bir qatar adamlardıń dıqqatın ózine qaratqan hám olardıń úylerinde tárbiyalanǵan. Colardıń ishinde astronomiya hám matematika boyınsha áhmiyetli ilimiy jumislardıń avtorı Ábiw Nasır Mánásır ibn Irak Ál-Beruniydiń ilimpaz bolıp qalıplesiwine óziniń tikkeley tásirin tiygizdi. Ibn Irak Xorezmshahqa arnalǵan "SHah almagesti", "Azimutlar kitabı", "Matematikalıq tárbiya", "Aspannıń shar tárizli ekenligi haqqında kitap" hám basqa da miynetlerdiń avtorı. Birinshiler qatarında ol tegis hám sferalıq úsh múyeshlikler ushın sinuslar teoremasın dálilledi. 16 jastan baslap Ál-Beruniy sol Ibn Iraktıń basshılıǵında báhárgi hám gúzgi kún teńlesiw waqıtlarında Kát qalasındaǵı Quyashtıń biyikligin ólshegen. Bul nátiyjeler izsiz qalǵan joq, al alimniń sońǵı jazǵan kitaplarında óz ornın taptı. Al 17 jasına shıqqanda Ál-Beruniy óz betinshe izertlew jumisların basladı.

Tariyxshılar qaldırıp ketken miyraslarğa qarağanda, sol dáwirlerde Kát qalasında áhmiyetli sawda jolları kesilissen, suwı tolgan arnalarđın jağalarında bay hám iri bazarlar islep turğan. Qalada hár qanday ilimiy hám mádeniy jańalıqlardı alıp keliwshi hám hámme ellerge taratıwshı sırt elli miymanlar kóp bolğan. Mine, sonlıqtan da bunnan mıń jıl burın házirgi Beruniy qalasınıń ornında turğan Kátıń jer júzilik áhmiyetke iye siyasiy, ekonomikalıq hám mádeniy oray bolğanlıǵı ayırıqsha tilge alınadı. Tap usı jağdaylar keltirip shıǵaratuǵın máselelerdi sheshiw zárurlıǵı hám sol waqıtlardaǵı adamlardıń bilim dárejesine bolğan talaplar Ál-Beruniydiń ilimiy-dóretiwshilik miynetine baǵdar berdi. Alımınıń 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 qazalangán Xorezmshah penen tikkeley baylanıslı bolğanlıǵı sebepli Ál-Beruniy Pey qalasına (házirgi Tegerannıń bir bólimi) qashıwǵa májbúr boladı. Usı waqıyaǵa baylanıslı alım kóp jıllar ótkennen keyin bılay jazadı (bul maqalada alımınıń miynetlerinen úzindiler házirgi ádebiy tilge jaqınlastırıp awdarılǵan): "Hár qanday baxıtsızlıqlardan qawipsizlikti hám tınıshlıqtı úmit etkenlikten alǵan nátiyjelerimdi yadlaǵanıw joq. Olardı tek jazıp alıw menen sheklendim. Baxıtsızlıq kútilmegende basıma tuskende jazıwlarımınıń barlıǵın hám meniń tırısıp islegen miynetlerimniń jemislerin tolıq joq etti"

Pey qalasında jas alım dáslep hár tárepleme qıyınshılıqlarǵa ushırasadı. Biraq, keyinshelik ol sol waqıtlardaǵı belgili astronom, matematik hám astronomiyalıq ásbap-úskeneler soǵıwshı, házirgi Tájikstannıń Xojent qalasınan shıqqan Ábiw Maxmud ál-Xojendiy menen tanısadı. Ol kisi haqqında Ál-Beruniy "Astrolyabiya hám basqa da astronomiyalıq ásbaplar soǵıwda óz dáwirindegi ayırıqsha qubılıs" dep jazdı. Astronomiyalıq ásbaplar soǵıw boyınsha Ál-Xojendiydiń tálimatı XV ásirdegi Ulıǵbek observatoriyasındaǵı sekstetti salıwda fundamentallıq tiykar boldı. Conlıqtan da Ál-Xojendiydi bolajaq ullı alımınıń tábiyattanıw ilimindegi qatań eksperimentallıq usıllardıń tiykarın salıwshılardıń biri bolıp jetilisiwine tikkeley tásin tiygizdi dep esaplay alamız. Al Ál-Beruniydiń dóretken iliminiń ózi bolsa, eksperimentallıq jaqtan qatań tiykarlanganlıǵı menen ajralıp turdı hám ılayıqlı bahalandı.

Aradan eki jıl ótkennen keyin ámir Mamun qaytıw boladı hám onıń ulı, jańa Xorezmshah Áliy ibn Mamunınıń shaqırıwı menen Ál-Beruniy 997-jılı Kát qalasına qayıp keledi. Tap usı waqıtta onıń Buxara qalasında jasap atırǵan ózinen segiz jas kishi Ibn Cina menen xat jazısıwı arqalı Aristotel tálimatı boyınsha diskussiyası baslanadı. Bul xatlardan alımınıń filosofiya boyınsha 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" shıǵarmaları dóretiledi.

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

("Ótken áwladlardan qalğan estelikler") atlı birinshi iri shıǵarmasın dóretti. Bul kitaptıń jazılıwı pútkil SHıǵıs ilimi ushın úlken waqıya bolıp esaplanadı. Conlıqtan da kópshilik tariyxshılar jer júzi iliminiń rawajlanıwındaǵı XI ásirdiń birinshi yarımın "Ál-Beruniy dáwiri" dep ádil túrde ataydı.

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

1004-jıldıń basında Xorezmshah Áliy ibn Mamunnıń shaqırıwı menen Ál-Beruniy Gurganj qalasına jumıs islewge keledi. Al 1010-jıldan baslap taxtqa jańadan otırǵan Ábiw-l-Abbas Mamun ibn Mamunnıń ilim máseleleri boyınsha bas keńesgóyi sıpatında alım mámleketlik 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 ayaqlardan filosof Ábiw Caxl Masixiy, shıpaker Ábiw-l-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 ilimiy orayǵa aylanadı. Ál-Beruniydiń "Calıstırmalı salmaqlar" ("Kólemi hám salmaǵı boyınsha metallar hám qımbat bahalı taslar arasındǵı qatnaslar haqqında kitap") atlı miyneti jariq kóredi. Bul ilimiy miynette Arximed tárepinen ashılǵan hám onıń atı menen atalatuǵın belgili nızam tiykarında házirgi "Materialtanıw" iliminiń sol waqıtları biziń úlkemizde rawajlanıwına úlken salmaq qosılǵanlıǵın kóremiz.

Gurganj qalasında jasaǵan dáwirinde Ál-Beruniydiń qolında kóp sandaǵı jetilistirilgen ilimiy ásbap-úskenerler boldı. Ol ózindegi diametri 3 metrlik kvadranttıń járdeminde júrgizgen astronomiyalıq izertlewlerin toqtatpadı. Hidrologiyalıq hám fizikalıq izertlewler menen shuǵıllanıwdı basladı. Biraq joqarıda ayılǵanıday Xorezmdi Maxmud Ğaznawiydiń basıp alıwına baylanıslı Ál-Beruniy 1017-jıldıń jaz aylarında Gurganjdı taslap Ğazna qalasına kóshiwge májbúr boldı. Tutqınlar qatarında bolǵanlıǵına qaramastan, ol Ğaznaǵa ózi menen tolıq ilimiy arxivin alıp ketedi hám ol jerge bariwı menen quramalı jáne qıyın jaǵdaylar orın alǵan bolsa da, teperishlik penen izertlew jumısların dawam etiwge kiristi.

Óz gezegidde Maxmud Ğaznawiy zamanınıń aldırǵı qatar bilimli adamlarınıń biri edi. Ol óz átirapına belgili ilimpazlardı, shayırlardı, sayaxatshılardı jıynaǵan. Olardıń wazıypası tiykarınan Maxmud Ğaznawiydiń dańqın máńgilestiriwden ibarat bolǵan. Conıń sebebinen, misalı, orta ásirlerdegi belgili shayır Ferdawsiydiń "SHahnama" shıǵarması dúnyaǵa keldi. Ál-Beruniydiń óziniń jazıwı boyınsha onıń semyasındaǵı hayal-qızlar da bilimli bolǵan hám hátte ilimiy isler menen de shuǵıllanǵan. Islam SHıǵısında birinshi ret Maxmud Ğaznawiy 1018-1019 jılları mámleketlik medrese saldırǵan hám oǵan kóplegen kitaplardı, qoljazbalardı jıynatqan. Conıń menen birge ol islam dinin endiriw sıltawı hám dinsizlerge qarsı ǵazawat bayraǵı astında qońsı mámleketlerge bolǵan urısların toqtatqan joq. Biraq bul shın mánisinde basqınshılıq urısları edi. Misalı 998-1030 jıllar aralıǵında Maxmud Hindstanǵa, tiykarınan onıń Penjap hám Káshmir wálayatlarına 17 ret topılıs jasadı.

Dáslepki waqıtları Ğaznada Ál-Beruniyge 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-úskeler soǵıp alıw múmkinshiligine de iye boldı. Conlıqtan da, alımınń Ğazna qalasındaǵı ómiriniń ilimiy nátiyjeler menen tabıslı bolıwı ushın qolaylı sharayatlar jetkilikli dárejede jaratıldı dep boljap ayta alamız.

1022-1024 jıllarda Hindstanǵa bolǵan topılıslar dáwirinde Ál-Beruniy Maxmud Ğaznawıydıń qasında boldı, al 1034-jılı óz watanına barıp qaytıw múmkinshiligine eristi. Ol ómiriniń qalǵan bólimin tolıǵı menen Ğazna qalasında ótkerdi. Alımınń 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 qashılıqtı anıqlaw ushın orınlarıń shegaraların belgilew") atlı miyneti jariqqa shıǵıp, onda 990-jıllardan baslap jıynaǵan hám ózi tárepinen alınǵan ilimiy nátiyjelerdi ulıwmalastıradı. Ál-Beruniy bul miyneti haqqında bılay jazadı : "Meniń sózimde (miynetimde) aytıwǵa umtılıp atırǵan aqırǵı 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 qashılıqtı, azimutlardı bir birine salıstırıp anıqlaw usılların bayanlaw bolıp tabıladı".

"Geodeziya" miyneti úlken kirisiw bóliminen, bes teoriyalıq baptan hám ayqın geodeziyalıq máselelerdi sheshiwge qaratılǵan mısallardan turadı. Bul kitaptıń dórewinde Ál-Beruniydiń Jer sharınıń ólshemlerin anıqlaw boyınsha Hindstandaǵı Nandna qorǵanınıń qasında ótkergen esaplawları ayrıqsha áhmiyetke iye. Onıń alǵan nátiyjeleri boyınsha Jer sharınıń radiusı 6613 km ge teń (házirgi zamandaǵı qabıl etilgen mánisi 6371 km). Usı tiykarda Ál-Beruniy hár qanday qalalardıń yamasa berilgen orınlarıń astronomiyalıq usıllar menen anıqlanǵan keńlik hám uzınlıqları boyınsha sferalıq Jer betiniń qaysı noqatına sáykes keletuǵınlıǵın anıq ayta aldı. Biziń ullı jerlesimiz áyyemgi grek iliminde dástúrge aylanǵan adamlar tek ǵana Jer sharı betiniń bir shereginde jasaydı degen kóz-qarası menen pútkilley kelispedi. Evropanıń batısı menen Aziyanıń shıǵısınıń Jer sharınıń arǵı tárepi arqalı qanday qashılıqlardan keyin tutasatuǵınlıǵın bahalay aldı hám ol tárepte qurǵaqshılıqtıń bar ekenligin durıs boljadı. Álbette, bul boljaw keyinirek durıs bolıp shıqqan bolsa da Ál-Beruniydi Amerikanı birinshi bolıp ashtı dep pikir aytıw haqıyqatlıqqa sáykes kelmeydi.

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

Orta ásirlerdegi pútkil arab geografiyası boyınsha ádebiyatta Ál-Beruniydiń "Geodeziya" hám basqa da miynetlerinde bayanlanǵan geografiya salmaqlı orın tutadı.

Ğazna qalasında alımımız tárepinen 1030-jılı jariqqa shıǵarılǵan hám Jer júzi ilimi menen pútkil adamzat mádeniyatında kórnekli orın tutatuǵın miynet "Hindstan" (tolıq atı "Aqlǵa muwapıq keletuǵın yamasa biykarlanatuǵın hindlerge tiyisli tálimatlardı túsindiriw") dep ataladı. Bul kitaptı jazıw ushın materiallardı alım Hindstanǵa bolǵan saparında, sonday-aq Maxmud Ğaznawıydiń áskerlerine tutqınǵa túsken ilimpazlardan, áskerbasılardan hám basqa da sawatlı adamlardan jıynaǵan. Bul haqqında Ál-Beruniy

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

Hind ilimi menen mádeniyatı jer júzi ilimi menen mádeniyatınıń rawajlanıwına áyyem zamanlardan berli óziniń unamlı tásirin tiygizip keldi. Colardıń ishinde, mısalı, házirgi waqıtları pútkil jer júzinde qabıl etilgen arab cıfları dep atalatuǵın cıflar (toǵız cıfǵa hám nolge tiykarlangan onlıq sistema) shın mánisinde VII ásirlerde tolıq qalıplesken, sońınan deslep arablarǵa, keyinshelik evropalılarǵa taralǵan hind cıfları bolıp tabıladı.

Ál-Beruniydiń "Hindstan" miynetinde Hindstannıń ruwhıy mádeniyatınıń ózgesheliklerin bayanlaw tiykarǵı orındı iyeleydi. Bul jerde avtordıń hindlerdiń geografıyalıq hám kosmologiyalıq kóz-qarasları menen tolıq tanıs ekenligi qálegen oqıwshını tańlandıradı. Kitaptıń 80 babınıń hámмесinde de Ál-Beruniy óziniń ulıwma eskertiwlerinen keyin kóp sandaǵı hind avtorlarınıń jumıslarınan úzindiler keltirip, olardı musulmanlardıń, áyyemgi greklerdiń, iranlılardıń, qıtaylılardıń hám basqa da xalıqlardıń teoriyaları hám óziniń jeke pikirleri menen salıstıradı. Usınday jollar menen ilimdi túsindiriwdiń, basqa xalıqlarǵa jetkiziwdiń áhmiyetin hesh nárese menen salıstırıp bolmaydı.

Ál-Beruniy "Hindstan" kitabı menen bir qatarda 1029-jılı "Juldızlar haqqında ilim" degen miynetin de jazıp pitkerdi. Bul kitap astronomiya menen astrologiyanı úyreniwshiler ushın oqıw quralı bolıp tabıladı hám col waqıtları 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 dáwirimizge shekem tolıǵı menen kelip jetken. Ál-Beruniy usı kitaptıń kirisiw bóliminde "Ál-Beruniy ayttı: oqıw hám qaytalaw arqalı álemniń dúzilisin biliw hám aspannıń, Jerdiń figurası qanday, olar arasında ne bar ekenligi úyreniw juldız sanaw óneri ushın júdá paydalı. Óytkeni usınday jollar menen tálim alǵan adam ǵana bul óner menen shuǵıllanıwshılardıń paydalanatuǵın tilin úyrenedi hám sózleriniń mánisine túsinedi. Bul ónerdiń hár qanday sebeplerin hám dálillewlerin úyrenip oǵan erkin oy juwırtıw arqalı qatnas jasaydı. Conlıqtan bul kitaptı ál-Hasannıń qızı xorezmli Payxanǵa onıń ótinishi boyınsha túsiniw jeńil bolıwı ushın soraw-juwap túrinde dúzdım..." dep jazǵan.

Oqılıwı jeńil bul kitapta alımnıń danıshpanlıǵı 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 jolı degen ne?" degen mazmundaǵı 167-sorawdı alıp qaraymız. Juwapta Qus jolınıń sırtqı formalarınıń qanday ekenligin hám qanday juldızlar toparı araqalı ótetuǵınlıǵın ayta kelip "Aristotel Qus jolın tútin túrinde shashıraǵan oǵada kóp sandaǵı juldızlardan turadı dep esapladı, olardı hawadaǵı dumanlar hám bultlar menen salıstırdı" dep jazadı. Bul mısal danıshpan alımıımızdıń haqıyqatlıqtı durıs kóre hám bahalay alǵanlıǵın ayqın dálilleydi.

1030-1037 jıllar Ál-Beruniy ómiriniń dóretiwshilik dáwiriniń eń joqarǵı shıńı bolıp tabıladı. Bul dáwirde taxtta Maxmudtıń ulı Masʼud otırdı. Elde Ál-Beruniyge degen isenim hám húrmet arttı. Oǵan jemisli miynet etiwı ushın tolıq jaǵdaylar jaratıldı. Usı waqıtları ol óziniń hesh qashan áhmiyetin joǵalpaytuǵın astronomiya hám matematika boyınsha enciklopediyalıq miynet bolǵan "Masʼud kanon" ın jarattı. Álbette, 1030-jılı 57 jasqa shıqqan alımnıń ózi astronomiyalıq hám basqa da ólshepler menen tikkeley shuǵıllana alǵan joq. Ol bul dáwirde tiykarınan óziniń zamanına shekemgi ilimdi (kitapta 490 alımnıń

bul tarawdaǵı jumısları haqqında málimleme keltirilgen), jas waqıtlarında alǵan ilimiy nátiyjelerin ulıwmalastırdı hám kelesi áwladlar ushın kitaplar túrinde máńgi miyras bolatuǵın estelikler qaldırdı.

Dúnyalıq ilimiy ádebiyatta adamzat tariyxında tábiyattanıw boyınsha shıqqan hám onıń bunnan bılay rawajlanıwına óziniń tikkeley tásirin tiygizgen eń áhmiyetli eki-úsh miynettiń birewi grek ilimpazı Klavdiy Ptolemeydiń biziń eramızdıń II ásirinde jazılǵan "Almagest" kitabı bolıp esaplanadı dep aytıw qabil etilgen. Biraq, ádillik ushın "Masǘud kanonı" nıń "Almagest" ten mazmunınıń tereńligi, keltirilgen ilimiy nátiyjelerdiń keńligi, anıqlıǵı hám dálligi boyınsha anaǵurlım joqarı turatuǵınlıǵın ayırıqsha atap ótemiz. Conıń sebebinen, misalı, aradan 200 jıl ótkennen keyin dúnyaǵa belgili arab geografi YAkut "Masǘud kanonı" nıń jer betindegi matematika hám astronomiya boyınsha barlıq kitaplardı almasırǵanlıǵın, 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.) tıǵız baylanısta boldım, oǵan jarmastım, oǵan ózimdi baǵıshladım. Bul taraw meni dúnyaǵa keliwimnen baslap-aq úzliksiz qızıqtırdı. Conlıqtan ózimdi danalıq móri basılǵan Masǘudtıń kitaplar baylıǵına xızmet etiwimdi, Masǘudtıń abıraylı, biyik atı menen atalatuǵın astronomiya óneri boyınsha kanondı dúziw kerek dep taptım... Bul kitap basqa jazba estelikler arasında eń kóp jasaytuǵın hám eger iǵbal alıp bara qoyǵan jaǵdaylarda Jer júzindegi hámme orınlarda paydalanıwǵa jaraytuǵın qollanba boladı.

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

Kitapta tiykar etip alıńǵan kóz-qaras boyınsha "Dúnya tutası menen alǵanda ishki bólimi qozǵalmaytuǵın shekli sfera tárizli dene... SHEńber boyınsha qozǵalatuǵın dúnyanıń bólimin joqarı dúnya, al tuwrı sızıq boyınsha qozǵalatuǵın dúnyanı tómengi dúnya dep atawǵa boladı... SHEńber boyınsha qozǵalıwshı denelerdiń jıynaǵın ulıwma túrde efir dep ataymız... Efir jeti planeta boyınsha biri birine tiyip turatuǵın jeti sferaǵa bólinedi. Jeti sferanıń ústinde barlıq qozǵalmaytuǵın juldızlar ornalasqan segizinshi sfera jaylasadı.

Hár bir planeta dúnyanı tártipke salıp turıwshı jaratıwshınıń qúdiretililigi hám danalıǵı menen dóretilgen hám ózleri ushın anıqlanǵan wazıypalardı orınlaw ushın dúnyada ornatılǵan nızamlar boyınsha qozǵalıp júredi", - dep jazadı alımımız.

Ál-Beruniy barlıq miynetlerinde, sonıń ishinde ayırıqsha "Masǘud kanonı" kitabında ózine shekem qalıplesken tómendegidey kosmologiyalıq jaǵdaylardı tolıq qabil etken aspan óziniń pishinleri boyınsha da, qozǵalıwı boyınsha da sferalıq, Jer óziniń forması boyınsha sfera tárizli, Jerdiń orayı pútkil Álemniń orayına sáykes keledi, aspan sferasınıń ólshemlerine salıstırǵanda Jerdiń ólshemleri sezilerliktey úlken emes, Jerdiń ózi hesh qanday qozǵalısqı qatnaspaydı, aspanda batıstan shıǵısqı qaray hám shıǵıstan batısqı qaray bolǵan qozǵalıslardıń eki túri ámelge asadı.

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

nızamlarınıń ol dáwirde ele ashılmaǵanlıǵınıń sebebinen bolıp tabıladı. Bul nızamlar Ál-Beruniy zamanınan altı ásirde soń belgili astronomlar N.Koperniktiń geliooraylıq sisteması jáne I.Keplerdiń atı menen atalatuǵın planetalardıń qozǵalı nızamları tabılǵannan keyin XVII ásirde I.Nyuton tárepinen tolıq ashıldı hám pútkil tábiyattanıwdı durıs jolǵa saldı. Biraq, bunday jaǵday alımnıń bunnan derlik mıń jıl burın jazılǵan miynetiniń qunın, gózzallıǵın, adamlardı ózine tarta alıw qábilettiligin hesh qanday tómensele almaydı.

Ǵaznawiyler mámleketi qulaǵannan keyingi 1040-1048 jılları Ál-Beruniy Ǵazna qalasın taslap ketken joq. Bul aqırǵı dáwir onıń dóretilshilik energiyasınıń tómensele, kekseliktiń baslanıw, densawlıǵınıń, ásirese kózleriniń kóriwiniń páseyiw dáwiri boldı. Alım astronomiya ilimi menen shuǵıllanıwdı pútkillew toqtattı, 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 málimlemelerdiń jıynaǵı") hám "Farmakogneziya" ("Medicinalıq dáriler haqqında kitap") miynetinlerin dóretti. Alım shapaker bolǵan joq, sonıń menen birge dárilik qásiyetleri bolǵan ósimliklerdiń, basqa da zatlardıń adam organizmine tásiiri haqqında pikirlerin jazǵan joq. Al "Farmakogneziya" bolsa Ál-Beruniy zamanına shekemgi dárilik zatlar haqqındaǵı jer júzilik tálimattı qamtıytuǵın enciklopediyalıq miynet bolıp tabıladı.

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

Ál-Beruniy orta ásirlerdegi mexanikaǵa ilimiy usıldı endiriwge alıp keldi. Ol gidrostatikalıq balanstıń belgili bolǵan tipin qollanıw jolı menen tıǵızlıqtı anıqlawdıń eksperimentallıq usılların islep shıqtı. Onıń gidrostatikalıq tárezini paydalanıw usılı dál usıl edi hám nátiyjede ol hár qıylı zatlardıń, solardıń ishinde qımbat bahalı metallardıń, qımbat bahalı taslardıń, hátte hawanıń tıǵızlıqların ólsheı aldı.

Gidrostatikalıq balanstı islep shıǵıw menen birge ál-Beruniy tıǵızlıq temasında, sonıń ishinde tıǵızlıqtıń hár qıylı tipleri hám olardı ólsheıw haqqında kóp jazdı. Bul másele boyınsha onıń jumısları úlken tásin tiygizdi hám, hátte Galiley, Nyuton sıyaqlı 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 alımnıń eń áhmiyetli shıǵarmaların quraydı. 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 Masʼudtıń ulı Máwdittiń kishkene ǵana sarayında qaytı boldı. Ómiriniń aqırında onıń biytaplıq hám awır halınan xabardar bolǵanday ya bala-shaǵası, ya aǵayın-tuwǵanı bolǵan joq. Alımımızdıń qádir-qımbatın bilgen az sandaǵı saray ilimpazları, basqa da aldınǵı qatar adamlar onı eń aqırǵı jolǵa shıǵarıp saldı hám basına elespesiz maqbara ornattı. Yaqtıń ótiwi menen babamızdıń qábiri umııldı. Tek jaqında ǵana Babur atındaǵı xalıqaralıq qor aǵzalarınń jankúyer shólkemlestiriwshik miynetiniń nátiyjesinde Ál-Beruniydiń jatırǵan jeri anıqlandı.

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

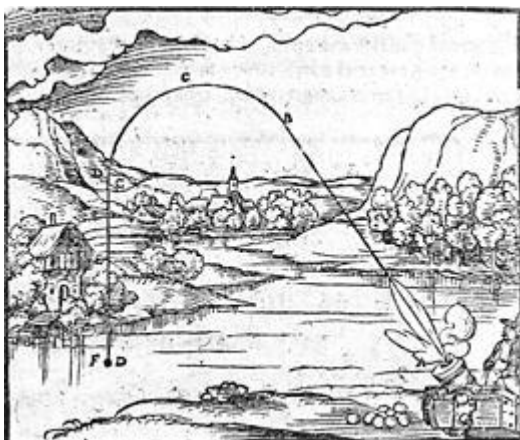
barlıǵı patshalar, xanlar saraylarında ótti. Conlıqtan da Ál-Beruniy babamız keyingi áwladqa óziniń kitaplarınan basqa hesh nársede qaldıra almadı.

Házirgi Beruniy qalasınıń qasındaǵı Kát qalasınıń qaldıqları turǵan jerde júrgenimizde bunnan mıńlaǵan jıl burın tuwılıp, dúnyaǵa keliwden ata-anadan jetim qalǵan, keyin pútkil Jer júzine ózinen máńgi estelik qaldırǵan, hár qanday ósimliklerdiń tuqımların, miywelerin grek ilimpazı ushın jıynap júrgen jas balanıń sáwlesi kóz aldımızǵa eleslep, júrek tolǵanadı. Álbette, bul watanımızdıń qanday dárejede káramatlılıǵınıń hám ullılıǵınıń, babamız Ál-Beruniydiń sharapatlı ruwqlarınıń máńgi jasap atırǵanlıǵınıń ayqın belgisi. Biziń qádirli jerimizde ullı alımımızdıń máńgilik islerin dawam ettiretuǵın kóp sandaǵı áwladlardıń dúnyaǵa keletuǵınlıǵı hám ónip-ósetuǵınlıǵı sózsiz. Al házirgi waqıtları 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 qıyalıy sıyaqlı hám mártlershe qoyılǵan sorawǵa juwap beriw" bolıp tabıladı. Usı maǵanadaǵı sózler XX ásirde eń ullı alımlarınıń biri A.Eynshteynge tiyisli.

4.5.10. Orta ásirlerdegi Evropa

Xristian Evropada ilimiy izertlewler haqıyqatında XIV ásirde baslandı. Usı dáwirlerge shekemgi jetiskenlikler sıpatında mınalardı atap ótiwge boladı: kóz áynek oylap tabıldı, raduga qubılısı durıs túsinirildi, kompastı paydalanıw jolǵa qoyıldı. 1269-jılı francuz alımı Per de Marikur magnitlerdiń qásiyetlerin keń túrde izertlewlerdiń 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 ásirlerde arab hám saqlanıp qalǵan grek tekstleriniń latin tiline awdarmaları payda boldı. Bul jumıslar orta ásirlerdegi Foma Akvinskiy sıyaqlı filosoflarǵa ádewir kúshli tásir etti. Orta ásirlerdegi sxolastlar áyyemgi filosofıyanı xristian teologıyası menen sáykes keltiriw usılların izledi hám Aristoteldi áyyemgi dáwirlerde eń ullı oyshıl dep daǵazaladı. Bunday jaǵdaylarda Aristoteldiń fizikası shirkewdiń tálimatına qarama-qarsı kelmegen jaǵdaylarda fizikalıq túsindiriwdiń tiykarı etip alındı.



Orta ásirlerde pushkanıń yadrosınıń traektorıyasın tap usınday boladı dep boljadı.

Aristoteldiń tálimatına sáykes orta ásirler oyshılları denelerdi ózleriniń bolatuǵın tábiyiy orınlarına tartıladı dep esapladı. Misalı, "awır" zatlar tómengen qaray, al "jeńil"

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

Bul sorawlarǵa juwap beriw ushın orta ásirlerdegi alımlar (Filopon, keyinirek - Buridan) impetus teoriyasın islep shıqtı (kirgizilgen qozǵalıw kúshi). Bul túsiniń inerciya koncepciyasına qaratılǵan qádem edi. Biraq onnan ádewir úlken ayırmaǵa 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 Aristoteldiń mexanikasın sına aldı, tezlik ushın dál anıqlama berdi hám biz zamatlıq tezlik túsiniń kirgizdi, teń ólshewli tezleniwshi qozǵalıstı egjey-tegjeiyine deyin úyrendi. Bul jumislardı Parijlı nuturfilosof Buridan hám onıń oqıwshıları Nikola Orem menen Albert Caksonskiylar (aylanıwdıń múyeshlik tezligi túsiniń avtorı) dawam etti. Buridannıń mektebi Aristoteldiń ertedege juwmaqların tek áshkaralap ǵana qoyǵan joq, al jańa mexanikaǵa qaray jılastı hám sonıń ishinde mexanikalıq salıstırmalıq principine jaqınlastı. Buridan bılay jazdı: impetus salmaq penen birigip deneniń túsiwin tezletedi; ol júdá abaylap jazılǵan sózler menen Jerdiń sutkalıq qozǵalıwınıń bar ekenligin boljadı.

XV ásirde Leonardo da Vinchi fundamentallıq súykelis nızamı menen kapıllırlıq qubılısın ashtı. Ol bir neshe ret máńgi dvigateldi soǵıwǵa umtıldı hám bul máselede sátsizlikke ushıradı hám birinshilerden bolıp alınǵan nátiyjeleri tiykarında usınday mexanizmniń bolıwınıń múmkin emes ekenligi haqqında pikirge keldi. Nemis filosofi Nikolay Kuzanskiy óz dáwirinen ozıp ketken bir qatar oylardı ayttı. Ol Álemdi sheksiz, qálegen qozǵalıw salıstırmalı, jerdegi hám aspandaǵı deneler birdey materiyadan dóretilgen dep daǵazaladı.

4.6. Fizikanıń tuwılıwı

4.6.1. XVI ásir: texnikalıq progress hám ilimiy revolyuciyanıń baslanıwı

XVI ásirde kóp tarawlarda texnikalıq progress úlken tezlik penen júrdi. Kitap basatuǵın stanok, toqıw mashinası hám kóp sanlı basqa da quramalı bolǵan mexanizmler oylap tabıldı, materiallardı qayta isleytuǵın hár qıylı qurallar payda boldı; artilleriyanı soǵıwda, teńizde júziwdegi hám qurılıslardaǵı payda bolǵan zárúrlilikler fizikanıń rawajlanıwına alıp keldi. Kóp waqıtlar dawamında eksperimentlerdiń ótkeriliwine waqıttı dál ólshewdiń usılınıń joqlıǵı kesent berdi. Cebebi sol waqıtları bar bolǵan suw hám quyash saatları zárúrli bolǵan dáliliktı bere almadı (mısalı, waqıtta ólshew ushın óziniń júreginiń soǵıwın paydalandı). XVI-XVII ásirlerde jańa hám jetiliske 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 múmkinshiliklerin ádewir keńeytti. Nátiyjede ótkerilgen haqıyqıy tájiriybelerdiń nátiyjeleriniń tábiyiy-ilimiy tartısıwlarдағы еń joqarı sudyanıń xızmetin atqaratuǵınlıǵına isenim joqarıladı. Bul haqqında Nikolay Kuzenskiy, Leonardo da Vinchi, Frensis Bekon, basqa da iri alımlar menen filosoflar tabanlı túrde jazdı. Áyyemgi alımlar menen islam elleriniń alımlarınıń ilimiy miyrasların ámeliy jaqtan ózlestiriw jáne bir áhmiyetli jetiskenliklerdiń biri bolıp tabıladı. Caqlanıp qalǵan barlıq kitaplar latin tiline awdarıldı hám Evropa alımları tárepinen úyrenildi.

Teoriyalıq ilimniń rawajlanıwında da úlken ózgerisler júz berdi. 1543-jılı Nikolay Kopernik sol waqıtlarǵa shekem húkim etip kelgen dúnyanıń geooraylıq sistemasınıń ornına dúnyanıń geliooraylıq sistemasın usındı hám usı jıldan baslap ilimiy revolyuciya baslandı dep esaplanadı. Óziniń "Aspan deneleriniń aylanıwı haqqında" dep atalatuǵın miynetinde Kopernik bir qatar jańa aristotellik emes ideyalardı keltirdi. Olardıń qatarına salıstırmalıq principin, inerciya nızamı hám pútkil dúnyalıq tartılıs haqqındaǵı boljawlardı jatqarıwǵa boladı. Dúnyanıń onnan da batılraq sistemasın Djordano Bruno 1580-jılları usındı. Bul sistemada tek Jer emes, al Quyash ta qatardaǵı aspan denesi bolıp tabıladı.

Cimon Ctevin óziniń "Onınshı" (1585), "Ctatikanıń baslaması" hám basqa kitaplarında onlıq bólsheklerdi paydalandı, Galileyden ǵárezsiz qıya tegislikke túsiriletuǵın basım nızamın, kúshler parallelogrammı qaǵıydasın keltirip shıǵardı, gidrostatika menen navigaciyanı alǵa jıljıttı. Qızıǵı sonnan ibarat, ol qıya tegisliktegi teń salmaqlıq formulasın máńgi dvigateldi soǵıwdıń múmkin emesliginen keltirip shıǵardı (onı aksioma dep esapladı).



Krakov qalasındaǵı Nikolay Koperniktiń byusti.



Karlo Marçelini soqqan Galileydiń byusti. Florenciyadaǵı Galileydiń muzeyi.

4.6.2. Galiley: eksperimentallıq fizikanıń dóretiliwi

Galileo Galileydiń atı teleskoptı oylap tabıwshı sıpatında dańqqa bólendi. Teleskoptıń járdeminde ol astronomiyadaǵı oǵada áhmiyetli bolǵan jańalıqlardı ashtı. Biraq Galiley revolyuciyalıq túrlendiriwlerdi mexanika tarawında júzege keltirdi. Onıń derlik barlıq miynetleri mexanikanıń mashqalalarına baǵışlangan, al eń sońǵı miyneti mexanikanı arnawlı túrde óziniń ishine aladı. Galileydiń jumisları aristotellik mexanikanı jańa, haqıyqıy principler menen almasırwıda sheshiwshi orındı iyeleydi.

Galiley teoriyalıq mexanikanıń tiykarı bolǵan salıstırmalıq principin, inerciya nızamın, erkin túsiwdiń kvadratlıq-tezleniwshi nızamın ashtı. Ol gorizontqa múyesh jasap ılaqtırılǵan qálegen deneniń parabola boyınsha ushatuǵınlıǵın dálilledi. Ol birinshi termometrdi (shkalası joq) hám eń birinshi mikroskoplardıń birin oylap taptı, mayatniktiń terbelisiniń izoxronlıǵın ashtı, hawanıń tıǵızlıǵın bahaladı. Galileydiń tallawlarınıń biri virtualıq orın almasırwlar principin tolıq emes keltirip shıǵarıw bolıp tabıladı. Óziniń juwmaqlarınıń kópshiligin Galiley muqıyatlı túrde jobalastırılǵan eksperimentlerdiń járdeminde isledi. Onıń tardıń terbelisleri boyınsha ótkergen tájiriybesi 1588-jılı Mersenge akustikanı bayıtıwǵa múmkinshilik berdi. Ol shıǵıp turǵan tondı tek tardıń uzınlıǵı menen emes (pifagorshılar sıyaqlı), al onıń terbelisleriniń jiyiligi hám keriliwi menen baylanıstırdı. Usınıń menen birge Mersenn hawadaǵı sestıń tezligin birinshi bolıp bahaladı (metrlik sistemada shama menen 414 m/s).

Galileydiń ilimiy ashılıwları ulıwma túrde bolsa da, biraq ayqın hám isenimli túrde jańa mexanikanı dóretiwge joldı ashıp berdi. Bir qatar jaǵdaylarda Galiley qátelesken bolsa da (mısalı, tasıwlar menen qaytıwlardıń sebebin ol Jerdiń aylanıwı menen baylanıslı dep esapladı), sol qátelerdiń kópshiligi onıń tekserip kóriw ushın tájiriybelerdi qoya almaǵanlıǵınıń sebebinen júzege kelgen.

Galileydiń oqıwshısı Torricelli onıń qozǵalıw haqqındaǵı ideyaların rawajlandırdı, salmaq oraylarınıń qozǵalıwınıń principin keltirip shıǵardı, gidrodinamika menen ballastikanıń bir qatar máselelerin sheshti, solardıń ishinde Torricellidiń fundamentallıq formulası dep atalatuǵın formulanı ashtı (ıdistan sırtqa aǵıp shıǵıp atırǵan suıqlıqtıń tezligi ushın). Ol Galileydiń ideyalarına tiykarlanǵan artilleriyalıq kestelerdi baspadan shıǵardı. Biraq, hawanıń qarsılıǵın esapqa almawdıń sebebinen olarda jiberilgen qáteliktiń shaması paydalanıwǵa bolmaytuǵınday dárejede úlken boldı.

4.6.3. XVII ásir



Jogann Kepler



Xristian Gyuygens



Pene Dekart

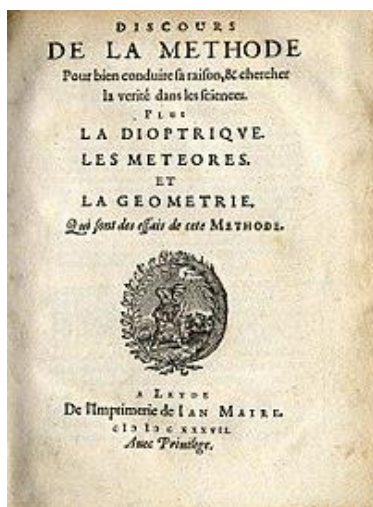


Isaak Nyuton

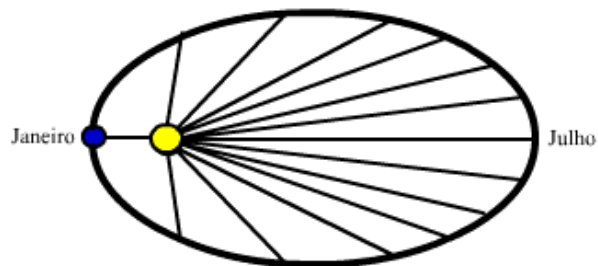
XVII ásirde Evropadağı tiykarǵı ellerde fizikaǵa bolǵan qızıǵıwshılıq keskin túrde ósti. Birinshi Ilimler Akademiyaları, birinshi ilimiy jurnallar payda boldı. Katolik shirkewdiń qarsılıǵına qaramastan atomizm ideyaları qaytadan tiklendi (Vatikannıń pikiri boyınsha bul ideyalar birlik qatnaslarınń sırtına qarama-qarsı keledi). Pútkilley jańa ideyalar payda boldı hám ólshew ásbaplarınń jetilisiwi olardıń kópshiliginiń durıs yamasa nadurıs ekenligin tekserip kóriwge múmkinshilik berdi. Optikanıń, fizikanıń hám ulıwma optikanıń tariyxında ayrıqsha úlken orındı XVII ásirdeń basında Gollandiyada kóriw trubasınıń oylap tabılıwı iyeleydi. Ol barlıq optikalıq izertlew qurallarınıń negizin qalawshı bolıp tabıladı.

4.6.4. Kepler hám Dekart

1609-jılı Iogann Kepler "Jańa astronomiya" atamasındaǵı kitabın baspadan shıǵardı. Bul kitabında ol ózi ashqan planetalardıń qozǵalıwınıń eki nızamın bayanladı. Úshinshi nızamdı ol keyinirek shıqqan "Dúnyalıq garmoniya" (1619-jılı) kitabında keltirip shıǵardı. Kepler planetalardıń sheńber tárizli orbitalar boyınsha emes, al ellips tárizli orbitalar boyınsha qozǵalatuǵınlıǵın anıqladı, bunday orbitalar boyınsha planetalar teń ólshewli qozǵalmaydı eken, Quyashtan alıslaǵan sayın planetanıń tezligi kishireydi. Usınıń menen birge Kepler inerciya nızamın (Galileyge salıstırǵanda ádewir anıq túrde) keltirip shıǵardı: sırttan hesh qanday kúshler tásir etpeytuǵın qálegen dene tınıshlıqta turadı yamasa tuwrı sızıqlı teń ólshewli qozǵaladı. Biraq tómennirek anıqlıqta ulıwmalıq tartılıs nızamı keltirip shıǵarılǵan: planetalardıń tásir etetuǵın kúsh Quyashtan shıǵadı hám onıń shaması onnan alıslaǵan sayın kemeyedi, usı jaǵday basqa barlıq aspan deneleri ushın da durıs. Keplerdiń pikiri boyınsha bul kúshtiń deregi Quyashtıń hám planetalardıń ózleriniń kósheriniń dógeregindegi aylanıwları menen magnetizmniń qosındısı bolıp tabıladı. Usı ayılǵanlar menen bir qatarda Kepler optikanı, sonıń ishinde fiziologiyalıq optikanı ádewir alǵa rawajlandırdı, xrustallıktıń tutqan ornın anıqladı, alıstan kórgishlik penen jaqınnan kórgishliktiń sebeplerin táriyiplegen. Ol linzalardıń teoriyasın biraz jetilistirdi, linzanıń fokusu menen optikalıq kósheri túsinińler kirgizdi, ol linzadan obʼyektke shekemgi qashıqlıq penen linzanıń fokus aralıǵın jáne linzadan obʼyektke shekemgi qashıqlıqtı baylanıstıratuǵın juwıq formulanı taptı.



Dekarttıń "Usıl haqqında oylar" kitabınıń bas beti



Planetanıń Kepler boyınsha qozǵalıwı

1637-jılı Pene Dekarttıń "Geometriya", "Dioptrika", "Meteorlar" tirkemelerine iye "Usıl haqqında oylar" kitabı jarıq kórdi. Dekart keńislikti materiallıq, al qozǵalıstıń sebebin materiyanıń boslıqtı toltırıp turıw ushın yamasa denelerdiń aylanıwlarınń sebebinen payda bolatuǵın quynları bolıp tabıladı dep esapladı (boslıqtıń orın alıwın múmkin emes dep esapladı, sebebi atomlardı ol moyınlamadı). "Dioptrikada" Dekart birinshi ret (Cnelliustan ǵárezsiz) jaqtılıqtıń sınıw nızamın berdi. Ol analitikalıq geometriyanı dóretti hám házirgi zaman matematikalıq simvolıkanı kirgizdi. Dekart jerlik hám aspanlıq fizikanıń birligin daǵazaladı: "Álemdi quraytuǵın barlıq deneler bir materiyanıń ibarat, ol sheksiz bólinedi hám haqıyqatında kóp sanlı bólimlerge bólingen".

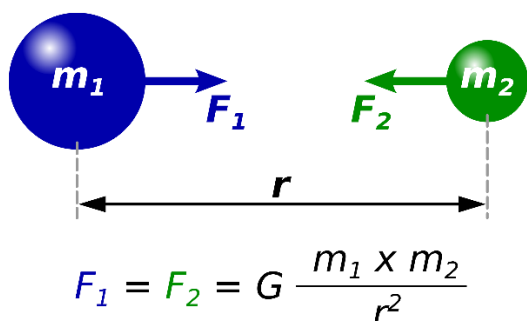
1644-jılı Pene Dekarttıń "Filosofıyanıń baslamaları" atamasındaǵı kitabı jarıq kórdi. Bul kitapta materiyanıń halınıń ózgerisi tek basqa materiyanıń tási menen boladı. Bul ayqın túrdegi materiallıq alıp beriwshi bolmaǵan jaǵdaylardaǵı alıstan tásir etiwdi dárhál biykarlaydı. Kitapta inerciya nızamı menen qozǵalıstıń muǵdarınıń saqlanıw nızamı keltirilgen. Qozǵalıstıń muǵdarın "zattıń muǵdarı" menen onıń tezligine proporcional dep durıs anıqlaǵan. Biraq, ol óziniń tallawlarında onıń vektorlıq baǵıtqa iye ekenligin esapqa almadı.

Dekart planetalardıń qozǵalıstıń tezleniwshi qozǵalıstı ekenligin jaqsı túsindi. Keplerden keyin Dekart bılay dep esapladı: planetalar Quyashtıń tartıwı bar bolatuǵınday bolıp qozǵaladı. Tartıstı túsindiriw ushın ol Álemdiń mexanizmin konstrukciyaladı. Bul mexanizm boyınsha barlıq deneler barlıq orınlarda bar bolǵan, biraq kórinbeytuǵın "juqa materiyanıń" tásirinde qozǵalıstı keledi. Boslıqtıń bolmaǵanlıǵı sebepli tuwrı sıziq boylap qozǵala almaytuǵın bul ortalıqtıń móldir aǵısları keńislikte úlken hám kishi bolǵan quynlardıń sistemaların payda etedi. Quynlar ádettegi zatlardıń kózge kórinetuǵın bólekshelerin ózi menen birge alıp júrip, aspan deneleriniń cikllıq qozǵalıstıń payda etedi, nátiyjede olardı aylandıradı hám orbitalar boyınsha qozǵalıstı keltiredi. Kishi quynnıń ishinde Jer de jaylasqan. Sheńber tárizli aylanıw móldir quyında sırtqa shıǵarıwǵa tırsadı, bunday jaǵdayda quynnıń bóleksheleri kózge kórinetuǵın denelerdi Jerge qaray qısaı. Dekart boyınsha bul tartılıs bolıp tabıladı.

Dekarttıń fizikası tábiyat qubılıslarınıń barlıq tiplerin mexanikalıq qozǵalıstıń túrinde birden-bir sistemada táriyiplewge, Álemdi birden-bir mexanizm sıpatında kórsetiwge baǵdarlangan birinshi tırısw bolıp tabıladı. Bul sistemadaǵı kóp jaǵdaylar (mısalı, 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 qurıwdı talap etti. Bul artqa qaray qoyılǵan adım edi, usınday jaqınlasıwdıń saldarınan Dekarttıń hám onıń izin dawam ettiriwshilerdiń ("kartezianshılardıń") jumıslarında Aristoteldegige salıstırǵandaǵı qáteler menen oyda tabılǵan fantaziyalardıń sanı kem emes. Galiley menen Nyuton bolsa keri baǵıtta háreket etti: baqlawlardıń tiykarında dáslep matematikalıq modeldi dúzdi, al onnan keyin ǵana (eger maǵlıwmatlar jetkilikli bolsa) "eń birinshi sebepler" haqqında boljawlardı usınǵan ("dáslep tallaw, onnan keyin sintez"). Bunday jaqınlasıw ádewir jemisli bolıp shıqtı. Mısalı, Nyuton tárepinen tartıswdıń matematikalıq modeli dúzilgennen baslap Eynshteyn tárepinen tartıswdıń fizikalıq mánisi tabılaman degenshe eki júz jıldan kóbirek waqıt ótti.

4.6.5. Klassikalıq mexanikanıń dóretiliwi: Gyuygens penen Nyuton

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



Nyutonniń tartılıs nızamı.

Klassikalıq mexanikanıń dóretiliwindegi eń aqırǵı qádem Isaak Nyutonniń 1687-jılı jarıq kórgen "Natural filosofiyanıń matematikalıq baslamaları" atlı kitabı bolıp tabıladı. Bul kitapta massa túsiniǵı kirgizilgen, mexanikanıń úsh nızamı menen pútkil dúnyalıq tartılıs nızamı bayanlanǵan, olardıń tiykarında kóp sanlı ámeliy máseleler sheshilgen. Mısalı, Nyuton Keplerdiń nızamlarınıń úshewiniń de tartılıs nızamınan kelip shıǵatuǵınlıǵı qatań túrde dálilledi; ol planetalardıń qozǵalıswınıń efirdiń quyınları tárepinen júzege keltiriletuǵınlıǵı haqqındaǵı Dekarttıń modeliniń Keplerdiń úshinshi nızamı menen sáykes kelmeytuǵınlıǵın hám bul modeldi kometalardıń qozǵalısları ushın qollanıwǵa bolmaytuǵınlıǵın kórsetti. Nyuton tárepinen dóretilgen dinamika ilimi ortalıqtıń qásiyetleri menen baslanǵısh shártler orınlanǵan jaǵdaylarda qálegen deneniń qozǵalıswın principiallıq jaqtan anıqlawǵa múmkinshilik berdi. Bunday jaǵdayda payda bolatuǵın teńlemelerdi sheshiw ushın matematikalıq fizika úlken pátler menen rawajlana basladı.

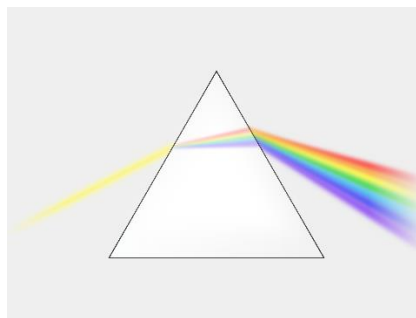
Óziniń oyların onıń juwmaqların isenimli túrde tastıyıqlaytuǵın tájiriybeler menen baqlawlardı táriyiplew menen birge alıp júredi. Mexanika menen bir qatarda Nyuton optikanıń aspan mexanikasınıń, gidrodinamikanıń tiykarın qaladı, matematikalıq analizdi ashtı hám ádewir alǵa qaray rawajlandırdı. Nyuton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

Nyutonniń fizikalıq koncepciyaları Dekarttıń 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 esapladı. Usınday sebeplerge baylanıslı Nyutonnıń tartılıs nızamı (bul nızamda tartılıstıń orın alıwı ushın tásirde alıp júriwshi materiallıq ortalıqtıń bolıwı talap etilmeydi hám bul nızamdı mexanikalıq kóz-qaraslar menen túsindiriwdiń múmkinshiligi joq) kóp waqıtlar dawamında kontinentallıq Evropa elleriniń alımları tárepinen biykarlandı (ayırıqsha karteziashılar tárepinen). Alistan tásir etetuǵın tartılıstı Gyuygens, Eyler sıyaqlı iri alımlar da biykarladı. Tek XVIII ásirde ekinshi yarımında ǵana Kleronıń Ay menen Galley kometasınıń qozǵalıslarınıń teoriiyası dóretilgennen keyin kritika toqtadı. Metafizikalıq fantaziyalar ayırım orınlarda ushırasqan bolsa da, Galiley-Nyuton usılı XVIII ásirde baslap fizikadaǵı tiykarǵı usıl bolıp qaldı: tájiriybelerdi ótkeriw, olardıń nátiyjeleri boyınsha obʼektivlik fizikalıq túsiniqlerdi (Nyuton aytqan "tábiyattıń kúshlerin") anıqlaw, bul túsiniqlerdiń arasındaqı óz-ara baylanıslardı matematikalıq táriyiplew (kópshilik jaǵdaylarda differenciallıq teńlemeler formasında), alıńǵan 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 ilimiy ashılıwlar orın aldı. 1621-jılı Cnellius tárepinen jaqtılıqtıń sınıw nızamı ashıldı, al Ferma bolsa geometriyalıq optika ushın tiykarǵı princip bolǵan variaciyalıq principni ashtı. 1676-jılı Ole Pëmer jaqtılıqtıń tezliginiń shaması ushın birinshi bahanı aldı. Italiyalı fizik Grimaldi jaqtılıqtıń interferenciyası menen difrakciyası qubılısların taptı (onıń jumısları ol qaytıw bolǵannan keyin 1665-jılı jarıq kórdi), 1668-jılı qos nur sındırıw, al 1678-jılı bolsa jaqtılıqtıń polarizaciyası (Gyuygens) qubılısları ashıldı.

Jaqtılıqtıń korpuskulalıq hám tolqınlıq tábiyatı haqqındaǵı dawlar dawam etti. Gyuygens óziniń "Jaqtılıq haqqındaǵı traktat" miynetinde jaqtılıq tolqınıń birinshi sanlıq hám belgili bolǵan dárejede matematikalıq modelin dóretti. Bul model jetiliske model emes edi, sebebi difrakciyanı da, interferenciyanı da, jaqtılıqtıń tuwrı sıızqlı tarqalıwın da túsindire almadı. Gyuygenstıń eń baslı jetiskeńligi tolqınlıq optikanıń tiykarında turatuǵın "Gyuygens principini" bolıp tabıladı. Bul princip tolqınıń tarqalıwın kórgizbeli túrde túsindire aladı.

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

qurawshılardıń qosındısınan turatuǵınlıǵın dálilledi. Jaqtılıqtıń qásiyetleri haqqındaǵı kóz-qarasların (onıń tábiyatı máselesine ayırıqsha dıqqat awdarmay) Nyuton 1704-jılı jarıq kórgen óziniń "Optika" atamalı kapitallıq monografiyasında bayanladı hám usınıń menen birge onıń avtorı bul ilimniń rawajlanıwın júzlegen jılǵa alǵa jılistırdı.

4.6.7. Elektr hám magnetizm - birinshi izertlewler

XVI ásirniń basında elektr hám magnetizm boyınsha bilimlerdiń tiykarı mınalardan ibarat edi: súkelistiń nátiyjesinde elektrleniw, magnittiń temirdi tartıw qásiyeti, kompastıń magnitlengen strelkasınıń arqa-túslik baǵıtın kórsetetuǵınlıǵı. SHama menen XV ásirde (onnan burınraq bolıwı da múmkin) Evropalı teńizde júziwshiler kompastıń strelkasınıń dál arqaǵa qarap baǵıtlanbaǵanın, al oǵan bazı bir múyesh penen baǵıtlanatuǵınlıǵın anıqladı (onı "magnitlik eńkeyiw" dep ataydı). Xristofor Kolumb magnitlik eńkeyiwdiń shamasınıń geografıyalıq koordinatalardan ǵárezli ekenligin taptı, al kartograflar bul effektiniń sebebinıń Jerdiń geografıyalıq polyusları menen sáykes kelmeytuǵın magnit polyuslarınıń bar ekenligin kórsetti. Bazı bir waqıtlar dawamında bul effektı ashıq teńizdegi uzınlıqtı anıqlaw ushın paydalanıw máselesin sheshiwge tırstı. Biraq bul máselede hesh kim tabısqa erise almadı. 1558-jılı italiyalı alximik Djambattista della Porta óziniń "Natural magiya" kitabında magnittiń bir neshe jańa qásiyetlerin atap ótti: magnit tásirlesiwı jetkilikli dárejedegi qalınlıqqa iye temir plastinka arqalı óte almaydı, al magnitti bazı bir joqarı temperaturaǵa shekem qızdırganda onıń magnitlik qásiyetleri joǵaladı hám salqınlatqanda qaytadan tiklenbeydi eken.



Elektrostatikalıq mashina
(1750-jılǵa gravıyura)

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

baspadan shıǵardı. Ol Jerdiń magnit ekenligin tastıyıqladı. Gilbert magnitti qálegen túrde keskende alınǵan fragmentlerde barlıq waqıtta eki polyustıń bolatuǵınlıǵın demonstraciyaladı. Elektrik qubılıslardı úyrengende Gilbert elektroskoptı oylap taptı, onıń járdeminde barlıq zatları elektriklerge (házirgi waqıtları dielektrikler dep ataydı) hám "elektrik emeslerge" (mısalı, zaryadları eksperimentatordıń qolı arqalı jerge ótip ketetuǵın ótkizgishler) bóldi. U.Gilbert "elektr" ("elektrichestvo") terminin oylap taptı.

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

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

4.6.8. Gazler teoriyasınıń tuwılıwı hám basqa da jetiskenlikler

Robert Boyle.



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

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

tájiriybeleri angliyalı fizikler Pobert Boyl menen Pobert Guktı qızıqtırdı hám olar Grikeniń nasosın ádewir jetilistirdi jáne onıń járdeminde kóp sanlı ilimiy ashılıwları júzege keltirdi (gazdıń kólemi menen basımı arasındaǵı baylanıs, yaǵnıy Boyl-Mariott nızamı).

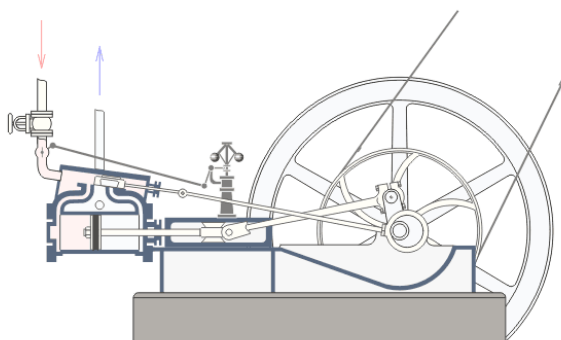
Basqa miynetlerinde Boyl materiya mayda bólekshelerden turadı dep tastıyıqladı (korpuskulalardan, házirgi waqıttaǵı terminologiya boyınsha molekulalardan). Onıń tálimatı boyınsha zatlardıń ximiyalıq qásiyetlerin sol bóleksheler anıqlaydı, al ximiyalıq reakciyalar bolsa usınday bólekshelerdiń orınlarınıń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

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

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

4.6.9. XVIII ásir

4.6.9.1. XVIII ásir fizikasınıń ulıwmalıq xarakteristikası



Puw mashinasınıń sxeması.

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. Metallurgıyanıń, mashina soǵıw menen áskeriy qurallar óndirisiniń tez pátler menen rawajlanıwına baylanıslı fizikaǵa bolǵan qızıǵıwshılıq ósti. Tek kópshilikke arnalǵan emes, al ilimniń belgili tarawları menen baylanıslı bolǵan ilimiy jurnallar shıǵarıla baslaydı, ilimiy jurnallar menen ádebiyatlardıń túrleri menen sanı turaqlı túrde ósti. Ilimniń abıroyı kóterildi, kórnekli alımlardıń lekciyaları kóp sanlı qızıǵıwshılardı jıynadı.

Usı dáwirde fizik-eksperimentatorlar jetkilikli dáliliktegi ólshew qurallarına hám jetpeytuǵın ásbap-úskenelerdi soǵıp alıw ushın arnalǵan qurallargá iye boldı. "Fizika" termininiń mánisi taraydı, bul ilimniń sferasınan astronomiya, geologiya, mineralogiya, texnikalıq mexanika, fiziologiya bólinip shıqtı. Boljawları tájiriybelerde tastıyıqlanbaǵan karteziyanlıq óziniń tárepdarların tez joǵalttı. 1743-jılı Dalamber karteziyanshılardı mısqıllap, "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 sistemasınıń sheklerinde jańa aspan mexanikası úlken tabıslar menen qalıplesti. XVIII ásirdiń fizikası ushın tán bolğan ózgeshelik fizikanıń, sonıń menen birge ximiyanıń hám astronomıyanıń barlıq bólimleriniń bir birinen gárezsiz rawajlanıwı bolıp tabıladı. Dekarttıń bilimlerdiń pútin bir sistemasın payda etiwge tırısıwı sátsiz tırısıw dep moyınlandı. Biraq tábiyiy kúshlerdiń alıp júriwshileri sıpatında burınǵısınsha dekartlıq kórinbeytuǵın, salmaǵı joq hám barlıq orınlargá sińetuǵın "juqa materiyalar" dep esaplandı (teplorod, elektr hám magnit suyıqlıqları).

Dáslepki waqıtları teoriyalıq hám ámeliy fizikalar ádewir dárejede bir birinen gárezsiz rawajlandı. Mısalı, kóz áynekti oylap tabıwǵa teoretik-optikler qatnaspadı. XVIII ásirde baslap teoriya menen praktikanıń arasındadı óz-ara tásirlesiw intensivli bola basladı. Biraq, fizikanıń hár qıylı oblastlarında situaciyanıń hár qıylı bolǵanlıǵın atap ótiw kerek. Fizikanıń kóbirek rawajlanǵan bólimlerinde óz-ara tásirlesiwdiń ádewir sezilerliktey bolǵanı dıqqatqa ılayıq. Mısalı, termodinamika tek birinshi qádemlerin ǵana qoydı, al puw mashinası teoretiklerdiń járdemisiz qurıldı, al XVIII ásirdegi optikalıq ásbap soǵıwdıń rawajlanıwı teoriyanıń rawajlanıwına súyeniwdiń arqasında ǵana júzege keldi.

4.6.9.2.Mexanika



Leonard Eyler



Daniil Bernulli



Jozef Lui Lagranj



Per Lui de Mapertyui

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

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

háreket túsiniġin hám usı túsiniġke tiykarlangán oġada jemisli bolġan variaciyalıq principiti kirgizdi. XIX ásirdeń aqırınan baslap variaciyalıq eń kishi háreket principiniń tek mexanikalıq princip emes, al onıń fundamentallıq xarakterge iye ekenligi hám barlıq fizikaġa kiretuġınlıġı ayqın boldı.



"Nyuton besigi" - impulstıń saqlanıw nızamınıń kórgizbeli túrde illyustraciyalanıwı.

Dekarttan keyin tábiyattaġı barlıq nızamlardı mexanikalıq nızamlarġa alıp keliwge Adriatika teńiziniń boyındaġı Dubrovnik qalasında jasaġan alım Pudjer Boshkovič shuġıllandı. Ol ideyaların óziniń 1759-jılı jariq kórgen "Tábiyatta bar bolġan kúshlerdiń birden bir nızamına alıp kelinggen natural filosofiya teoriiyası" kitabında bayanladı. Onıń tálimatı boyınsha materiyanıń eń birinshi elementleri xızmetin sıızqlı ólshemleri úlken bolmaġan materiallıq noqatlar atqaradı, bir birinen qashıqlıġına baylanıslı olar bir biri menen tartıadı yamasa iyterisedi (jaqın qashıqlıqlarda olar barqulla iyterisedi, al alıs qashıqlıqlarda bolsa tartıadı). Usı gipotezasınıń járdeminde Boshkovič kóp sanlı fizikalıq qubılıslardı sapalıq jaqtan túsindire aldı. Óziniń metafizikalıq bolġanlıġına qaramastan onıń jumısları ideyalıq jaqtan bay ekenligi menen kózge tústi hám XIX ásirde fizikanıń rawajlanıwına úlken tásirin tiygizdi (mısalı, Faradeyde fizikalıq maydan koncepciyasınıń qáliplesiwinde).

Cuyıqlıqlar menen gazlerdiń dinamikasınıń dóretiliwi Daniil Bernullidiń 1738-jılı jariq kórgen "Gidrodinamika" kitabı menen baylanıslı. Bul jumısında Bernulli mexanikalıq kóz-qaraslarda turıp suyıqlıqlar menen gazlerdiń qozǵalıslarınıń hár qıylı túrlerin izertledi, óziniń fundamentallıq nızamın berdi, birinshi bolıp mexanikalıq jumıs túsiniġin kirgizdi. Bernullidiń kóplegen oyları energiyanıń saqlanıw nızamına ("tiri kúshke") barıp tireledi. Onıń jumısların Eyler dawam etti hám ol 1755-jılı suyıqlıqlardıń analitikalıq mexanikasınıń tiykarın baspadan shıǵardı. Bernullidiń jumısların dawam ettiriwshilerdiń qatarına d'Alamber menen Klero da kiredi. Eyler aǵıp turġan suw tárepinen qozǵalısqı keltiriletuġın turbinalardıń, qarazdıń dóńgelekleriniń hám basqa da mexanizmlerdiń ulıwmalıq teoriiyasın islep shıqtı; bul temadaġı áhmiyetli ámeliy bolġan jetilistiriwdi 1759-jılı angliyalı injeneri Djon Cmıton orınladı (1759). Bul dáwirde barlıq fizikalıq processler aqırǵı esapta zatlardıń mexanikalıq qozǵalıslarınıń kórinıwi degen pikir kóbirek tastıyıqlandı.

4.6.9.3. Elektr hám magnetizm



Bendjamin Franklin



SHarl Ogyusten de Kulon



Luidji Galvani



Alessandro Volta

XVIII ásirniń birinshi yarımında elektrdiń birden bir deregi súykelistiń járdeminde elektrlew bolıp tabıldı. Elektrostatikağa birinshi aytarlıqtay úlesti elektrdiń bir deneden ekinshi denegge ótiwin izertlegen Ctiven Grey qostı. Tájiriybelardıń seriyasın ótkerip, ol elektrostatikalıq indukciyanı⁴ ashtı hám elektr zaryadlarınıń zaryadlangan denelerdiń betinde jaylasatuǵınlıǵın dálilledi. 1734 francuz alımı SHarl Fransua Dyufe elektrdiń eki túriniń bar ekenligin kórsetti" teris hám onıń ózi "shiyshe" hám "smola" elektr terminlerin paydalandı). Dyufe gúldirmama menen shaqmaqtıń elektrlik tábiyatqa iye ekenligi, usınıń menen bir qatarda elektrdiń fizikalıq processler haqqında jasırın, biraq áhmiyetli orındı iyeleytuǵınlıǵı haqqında birinshi boljawdı ayttı. Tájiriybe 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

⁴ Elektrostatikalıq indukciya - denegge sırtqı elektr maydanı tásir etkende óziniń menshikli elektr maydanına bolıw qubılısı.

payda etti. Dárhál kóp ellerde elektr toǵınıń 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 shaqmaqı alıp ketiwshiniń járdeminde onnan qalay qutılıwdı túsindirdi. Ol qısqa waqıttıń ishinde bolsa da, elektrdi mexanikalıq qozǵalısqı alıp keliwdi demonstraciyalaghan birinshi alim bolıp tabıladı (Leyden bankası razryadlanaman degenshe waqıttıń ishinde). 1749-jılı Franklin elektr menen magnetizmniń arasında qanday da bir baylanıstıń bar ekenligin boljadı. Cebebi shaqmaqıń magnittiń polyusların ózgerirken jaǵday da registraciyalanǵan edi.

Franklin birinshi teoriyanı da usındı: onıń pikirinshe elektr júdá mayda bolǵan bólekshelerdiń sıyıqlıqqa usaǵan ayrıqsha 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 on hám teris zaryadlar elektr substanciyasınıń sáykes artıqmashlıǵı hám jetispewine baylanıslı júzege keledi. Franklinniń teoriyası elektrden ayrılgan teris zaryadlangan denelerdiń nelikten on zaryadlangan deneler sıyaqlı iyterisetuǵınlıǵın túsindire almadı. Conlıqtan, kóp sanlı fizikler "elektrlik sıyıqlıqlardıń" 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 piroelektrlikte 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 ayrıqsha elektr sıyıqlıǵına isengen joq hám elektrlik qubılıslardı efirdegi siyrekisw hám qısılawlar menen baylanıslı dep esapladı.



Parij qalasında Volta óziniń oylap tapqan jańalıǵın Napoleongá demonstraciyalap atır (1800-jıl).

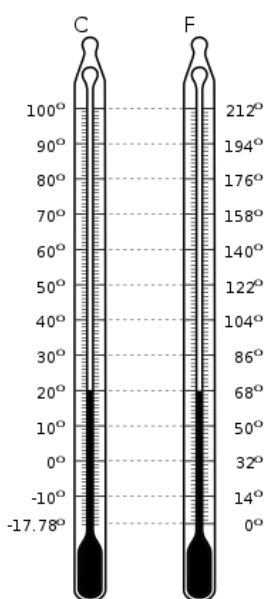
Ásirdiń aqırı elektr tariyxındaǵı eki etaplıq waqıyalargá iye boldı. 1785-jılı Kulonniń memuarlarınıń birinshisi jariq kórdi. Bul memuarda ótkerilgen dál tájiriybelerdiń nátiyjesinde alıńǵan Kulon nızamı táriyiplendi hám onıń pútkil dúnyalıq tartılıs nızamı menen uqsaslıǵı qısqa waqıttıń ishinde (1828-jılǵa shekem) elektrostatikaniń matematikalıq tiykarların pitkeriwge múmkinshilik berdi (oǵan burınraq islep shıǵılǵan analitikalıq usıllardı qollanıwdıń saldarınan). 1791-jılı Italiyalı shıpaker Luidji Galvani ózi ashqan "haywanlar elektr" haqqındaǵı traktatın baspadan shıǵardı: temir reshеткаǵa latun ilgenshek penen ildirilgen qurbaqanıń ayaqları ózinen-ózi dirildey baslaǵan. Italiyalı fizik Alessandro Volta bul tájiriybede qurbaqanıń ayaǵınıń tek toqtıń indikatorı xızmetin atqaratuǵınlıǵınaptı, al derektiń xızmetin elektrolittegi hár qıylı metallardıń arasındaǵı

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

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

4.6.9.4. Jıllılıq

Jıllılıqtı alıp júriwshi "ottırn juqa materiyası" kóz-qarasları XVIII ásirde saqlandı hám hátte keńeydi. Jıllılıqtı alıp júriwshi teplorodtıń bar ekenligine Galileyden baslap kóp fizikler isendi. Biraq, Pobert Boyl, Pobert Guk, Daniil Bernulli, Leonard Eyler hám M.V.Lomonosovlar kiretuǵın basqa lager molekualıq-kinetikalıq gipotezaǵa súyendi: bul gipoteza boyınsha jıllılıq ishki mikrobólekshelerdiń qozǵalıwı. Gipotezalırdıń ekewi de sanlıq xarakterge iye boldı hám bul jaǵday olardı salıstırıwǵa yamasa tekseriwge múmkinshilik bermedi (dawdı sheshken jıllılıqtıń mexanikalıq ekvivalenti haqqındaǵı túsiniq tek kelesi ásirde payda boldı). Geypara alımlar jıllılıq, elektr hám magnetizm bir efirlik materiyanıń túri ózgeritilgen formaları dep esapladı. Janıw processiniń haqıyqıy tábiyatın okisleniw reakciyası sıpatında tek Lavuaze 1780-jılları ashtı.



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 muǵdarın dál ólshewdiń múmkinshiligi ashıldı. Bendjamin Tompson (graf Pumford) bir qatar dál ótkerilgen tájiriybelerdiń juwmaqları tiykarında denelerdi qızdırıw menen salqınlatıwdıń olardıń salmaǵına tásir etpeytuǵınlıǵın kórsetti. Ol metaldı teskende ádewir jıllılıqtıń bólinip shıǵatuǵınlıǵına itibar berdi. Teplorod teoriyasınıń tárepdarları bul effektı metaldan onıń qıyqımları ajralǵandaǵı teplorodtıń tıǵızlıǵınıń úlkeyiwi menen baylanıslı dep túsindirdi. Biraq, Pumford qıyqımlardıń jıllılıq sıyımlıǵınıń sol qıyqımlar ajralıp shıqqan metaldıń jıllılıq sıyımlıǵı menen birdey ekenligin kórsete aldı. Usınday jaǵdaylarǵa qaramastan teplorod gipotezası óziniń tárepdarların hátte XIX ásirdiń basında da saqlap qaldı.

Farengeyt mınaday mashqalanı sheshiwge tırıstı: birdey emes qızdırılǵan suwdıń eki porciyasın qosqan jaǵdayda payda bolǵan suwdıń temperaturası qanday boladı? Ol aralaspanıń temperaturası qurawshılardıń temperaturasınıń 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 nárese ekenligin moynlaǵansha dawam etti. Bunday juwmaqqa tolıq keliw ushın eń aqırǵı argument Djozef Blektiń 1757-jılı ótkergen tájiriybeleri bolıp tabıladı. Ol balqıw menen puw payda bolıwdıń temperatura ózgermey qalsa da ádewir jıllılıqtı talap etetuǵınlıǵın taptı. 1772-jılı Ўoxan Vilke jıllılıqtıń ózgeriw tezligi bolǵan kaloriyanı kirgizdi.

1703-jılı francuz fizigi Giyom Amonton hawanıń serpimliginiń temperaturadan ǵárezligin izertlewdiń barısında temperaturanıń absolyut noliniń bar ekenligi jóninde juwmaqqa keldi. Tájiriybelerde ol absolyut nol ushın $-239,5^{\circ}\text{C}$ shamasın aldı. 1779-jılı Lambert Amontonnıń nátiyjelerin tastıyıqlap, absolyut nol ushın -270°C shamasın aldı. XVIII ásirdegi jıllılıqtıń qásiyetlerin izertlewdiń juwmaqları sıpatında Lavuaze menen Laplastıń "Jıllılıq haqqındaǵı memuar" ın kórsetiwge boladı. Bul miynette jıllılıq sıyımlıǵınıń teoriyası hám onıń temperaturadan ǵárezligi bar jáne denelerdiń qızdırǵanda keńeyiwi izertlengen.

4.6.9.5. Akustika

Matematikalıq tallawdıń dóretiliwi tardıń terbelislerin tolıq úyreniwge múmkinshilik berdi. Conlıqtan XVIII ásirde akustika mexanika sıyaqlı dál ilimge aylandı. Ásirdiń basında Jozef Covër barlıq muzıkalı tonlardıń tolqın uzınlıqların taptı hám obertonlardıń payda bolıwın túsindirdi (obertonlar 1674-jılı ashılǵan edi). Eyler óziniń "Muzıkanıń jańa teoriyası boyınsha tájiriybede" (1739) miynetinde tardıń terbelisleriniń tolıq analitikalıq teoriyasın 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 túsindirdi.

4.6.9.6. Optika



Ultrafiolet nurlardaǵı minerallardıń
lyuminescenciyası.

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 fotometrdiń oylap tabılıwı bolıp tabıladı (1740-jılı, 1995-jılı Pumford tárepinen jetilistirildi). Lambert optikanıń metrologiyasını islep shıqtı - jarıqlıq penen jaqtılandırılǵanlıq túsiniyeleriniń durıs anıqlamasın berdi, bettiń jaqtılandırılǵanlıǵınıń onıń maydanına hám qıyalıq múyeshinen 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 ob'ektivti oylap taptı. Ásirdiń aqırında Djon Gershel dispersiya boyınsha ótkerilgen tájiriybeleriniń barısında qásiyetleri kózge kórinetuǵın jaqtılıqtıń qásiyetlerine uqsas hám jıllılıqtı alıp beretuǵın infraqızıl nurlardı ashtı. Kózge kórinetuǵın spektrdiń ekinshi tárepinde jaylasqan ultrafiolet nurlardı kóp uzamay 1801-jılı Iogann Vilgelm Pitter ashtı.

4.6.10. XIX ásir

4.6.10.1. XIX ásirdiń ulıwmalıq 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 tábiyiy 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 múmkinshilik beretuǵın ólshewler qátelikleriniń matematikalıq teoriyası islep shıǵıldı. Biraq, usınday jaǵdaylarǵa qaramastan qolǵa kirgizilgen kóp sanlı eksperimentallıq materiallardı túsindiriw ushın XIX ásirde ele de sapalıq metafizikalıq túsiniyeler menen oylap tabılǵan gipotezalardıń paydalanılıwı dawam etti. Olardıń qatarına teplorod, elektrlik hám magnitlik suyıqlıqlar, "ses materiyası" h.t.b. kiredi. Ásirdiń ishinde olardıń orınların jańa túsiniyeler menen fizikalıq modeller kire basladı: jaqtılıqtıń tolqınlıq teoriyası, jıllılıqtıń kinetikalıq teoriyası, energiyanıń saqlanıw nızamı, Maksvelldiń elektromagnit teoriyası, atomizmge tiykarlangan elementlerdiń dáwirlik sisteması. Ásirdiń aqırında barlıǵı birigip "klassikalıq fizika" dep atalatuǵın barlıq teoriyalar kópshilik tárepinen moyınlandı hám ámelde keńnen qollanıla basladı. Ayqın texnologiyalıq máselelerdi effektivli túrde sheshiwge baǵdarlangan ámeliy fizika da payda boldı. XIX ásirdiń ekinshi yarımında elektrotexnika menen ishten janıw dvigateli payda bolǵannan keyin ámelde islenip atırǵan jumislardıń teoriyalıq izertlewlerge tási júdá teperish bola basladı.

Tábiyattağı qubılıslardıń barlıǵınıń mexanikalıq qozǵalısqqa tiykarlanbaǵanlıǵı haqqındaǵı pikirlerdiń qalıplesiwi usı dáwirdiń ayrıqsha ózgesheligi bolıp tabıladı. Termodinamikanıń ekinshi baslamasın mexanikalıq jaqtan tiykarlawdıń múmkinshliginiń joq ekenligi belgili boldı. Cebebi ekinshi baslamadan bir qatar processlerdiń qaytımlı emes ekenligi kózge kórindi, al elektromagnetizmdi efirlik ortalıqtıń terbelisleri dep túsindiriwge tırıswlar ótiwge bolmaytuǵın qıyınshılıqlarǵa ushıradı. Bul qıyınshılıq tek XX ásirde 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, statistikalıq fizika, serpimlik teoriyası, radiofizika, meteorologiya, seysmologiya qalıplesti.

4.6.10.2. Jaqtılıqtıń tolqınlıq teoriyası



Tomas YUng



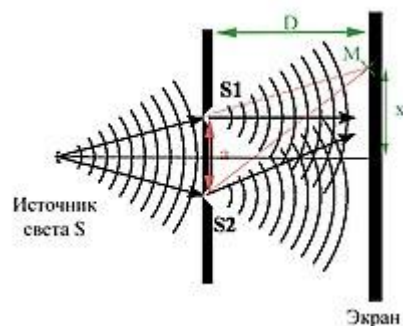
Ogyusten Jan Frenel



Arman Ippolit Lui Fizo

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

YUngtıń interferenciya boyınsha tájiriybesiniń sxeması.



Jaqtılıqtıń korpuskulalıq (emissiyalıq teoriyasına) birinshi soqqını fiziologiyalıq optika boyınsha qánige, angliyalı Toma YUng berdi. 1800-jılı Korol jámiyetiniń aldında shıǵıp sóylewinde ol korpuskulalıq teoriyanıń sheshiw múmkin bolmaǵan qıyınshılıqların atap ótti: jaqtılıqtıń barlıq derekleri qanday sebeplerge baylanıslı birdey tezlik penen tarqalatuǵın korpuskulalardı shıǵaradı? Denegе túsetuǵın jaqtılıqtıń bir bólegi jutıladı, al bir bólegi shaǵılısadı yamasa shashıraydı, nelikten? Bul shıǵıp sóylewinde YUng isenimli túrde jaqtılıqtıń sınıwına, difrakciyasına hám interferenciyasına Nyutonniń túsiniк bermegenligin atap ótti. Onıń ornına YUng ózi keltirip shıǵarǵan superpoziciya principiniń tiykarında interferenciyanıń tolqınlıq teoriyasın islep shıqtı (bul terminniń ózin de ilimge YUng kirgizdi), tap usınday jollar menen difrakciyanı da túsindirdi. Keyinirek "YUng tájiriybesi" 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 sındırıw menen jaqtılıqtıń polarizaciyası qubılısı tereń úyrenilgen waqıtta (1808-jılı Malyus, Laplas hám basqalar) bul qubılıslar emissiyalıq (korpuskulalıq) teoriyanıń sheshiwshi dálili túrinde qabıl etildi. Biraq, tolqınlıq teoriyanı qollap-quwatlawshı sıpatında sol waqıtları Franciyada jol injeneri-qurılısshısı bolıp islep atırǵan Ogyusten Jan Frenel arenaǵa shıqtı. Bir qatar tereń aqıllılıq penen qoyılǵan tájiriybelerde ol korpuskulalıq teoriyanıń kóz-qarasları menen túsindiriw múmkin bolmaǵan taza tolqınlıq effektlerdi demonstraciyaladı. Al jaqtılıqtıń sol waqıtları belgili bolǵan barlıq qásiyetlerin dál sanlı ólshew menen olardıń matematikalıq modeli bayanlanǵan memuarı 1818-jılı Parij Ilimler Akademiyasınıń konkursında jeńimpaz boldı. Frenel Gyuygens principin ulıwmalastırdı hám jaqtılıq tolqınınıń tuwrı sıziq boyınsha tarqalatuǵınlıǵın qatań túrde túsindire aldı.

Arago mınaday qızıqlı waqıyanı táriypledi: akademiklerdiń komissiyasınıń májilisinde Puasson shıǵıp sóylegen. Cebebi Freneldiń tálimatı tiykarında kúlkili bolǵan juwmaq kelip shıǵadı eken: belgili bolǵan sharayatlarda móldir bolmaǵan dóńgelektiń sayasınıń ortasında ashıq túrde jaqtılandırılǵan uıastkanıń payda bolıwı kerek. Bunnan keyingi májilislerdiń birinde Frenel menen Arago komissiyanıń aǵzaların bul effektти demonstraciyalaǵan hám sol jaqtılıq uıastkanı 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 kóldeneń terbelisleri hám efirdiń zatlardaǵı tıǵızlıǵı vakuumdaǵı tıǵızlıǵınan úlken dep qaradı.



Jaqtılıqtıń polarizaciyası: filtrdi burıw polarizaciyalanǵan jaqtılıqtı irkedi.

Endi polarizaciyanıń mexanizmin túsiniw qaldı. 1816-jıldıń ózinde Frenel efirdiń jaqtılıq terbelisleriniń boylıq emes, al kóldeneń ekenligin talladı. Bul polarizaciya qubılısın ańsat túsindirgen bolar edi. Biraq burınları kóldeneń terbelisler tek qısılmaytuǵın qattı denelerde ǵana baqlandı, al efirdi óziniń qásiyetleri boyınsha gazge yamasa suıqlıqqa jaqın dep esapladı. Polarizaciyalangan jaqtılıqtıń shaǵılısıwın izertlew Freneldi jaqtılıq tolqınlarınıń kóldeneńligi gipotezasına isendirdi. Bunnan keyin ol jańa tájiriybelerdi táriypleytuǵın hám biziń kúnlerimizge shekem áhmiyetin joǵaltpaǵan polarizaciyanıń tolıq teoriyasına iye memuardı tayarladı. 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 tásirin tiygizdi. Bul tájiriybe jaqtılıqtıń tezliginiń hawadaǵı tezligine salıstırǵanda sherek shamaǵa kishi ekenligin kórsetti (korpuskulalıq teoriya boyınsha tezliktiń úlken bolıwı kerek, bomasa jaqtılıqtıń sınırı túsindirilmeydi).

4.6.10.3. Elektrodinamika menen elektrotexnikanıń payda bolıwı



Xans Kristian Ersted



Andre Mari Amper



Maykl Faradey.

XVIII ásirdeń aqırında elektromagnit qubılıslardıń aktivinde Franklinniń atmosferalıq elektr hám Kulon nızamı boldı. Puassonniń, Gausstıń hám Grinniń tırısıwlarınıń arqasında XIX ásirdeń birinshi shereginde elektrostatika tiykarınan dóretilgen edi. Puasson elektr potencialı menen bir qatarda statikalıq magnit maydanın esaplawǵa múmkinshilik beretuǵın magnit potencialın kirgizdi.

Bul nátiyjeler ushın teoriyalıq tiykar bolıp oń hám teris "elektr suıqlıǵınıń" bar ekenligi esaplandı. Olardıń hár qaysısı basqa tiptegi bólekshelerdi tartadı, al ózindeyin iyteredi. Eger usı suıqlıqtıń biri ekinshisinen kóp bolsa, onda dene zaryadlangan bolıp tabıladı.

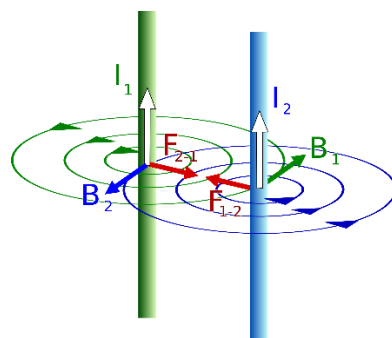
Elektr suyuqlıqlarının qozğalıwına qarsılıq kórsetpeytuǵın materiallar ótkizgishler bolıp tabıladı. Tartılıs hám iyterilis kúshleriniń shamaları keri kvadratlar nızamına baǵınadı.

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

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

Elektr doǵası: V.V.Petrov (1802-jılı) penen Devi ashtı.

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



Eń baslı sensaciyalıq waqıyalar 1820-jılı Erstedtiń elektr toǵınıń magnit strelkasına burıwshı tásir etetuǵınlıǵın tapqannan keyin baslandı. Erstedtiń xabarı bárshe tárepinen qızıǵıwshılıq payda etti. Eki aydın ishinde Amper toq ótip turǵan eki ótkizgishtiń bir birine tásir etetuǵınlıǵını haqqında xabarladı, usınıń menen birge ol "elektrodinamika" hám "elektr toǵı" túsinińler usındı. Amper barlıq magnitlik qubılıs materiyasınıń ishinde magnittiń kósherine perpendikulyar tegisliklerde ótetuǵın toqlar tárepinen payda etiledi dep boljadı. Elektr menen magnetizmdı baylanıstıratuǵın birinshi teoriyanı sol jılı eski terminler tiykarında Bio, Cavar, keyinirek Laplaslar dóretti.

Kóp waqıt ótpey-aq ashılıwlarıń dúrkinin payda etti:

Birinshi elektrodvigatel (1821-jıl, Faradey);

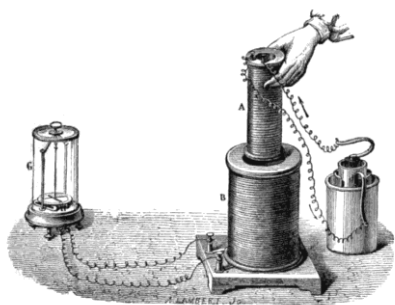
Termoelement (1821-jıl, Zeebek);

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

Om nızamı (1827-jıl).

1826-jılı Amper "Tek tájiriybelerden keltirip shıǵarılǵan elektrodinamikalıq qubılıslardıń teoriiyası" atamasındaǵı monografiyasın baspadan shıǵardı. Ol elektromagnitti (solenoid) ashtı, elektr telegrafı ideyasın usındı. Toqtıń eki elementiniń óz-ara tásirlesiwı ushın Amper formulası oqıwlıqlarǵa kirdi. Maksvell Amperdi "elektrdiń Nyutonı" dep atadı.

Elektr menen magnetizmniń ólshew birliklerin anıqlaytuǵın birinshi metrologiyalıq standartlardı 1830-jılları Gauss penen Veber islep shıqtı. Elektrdi ámeliy jaqtan paydalanıw baslandı. Usı waqıtları D.F.Daniel menen B.C.Yakobidiń jumıslarına baylanıslı galvanoplastinka payda boldı. Ol tipografiyalıq islerdi, yuvelirlik texnologiyalardı, keyinirek plastinkalardaǵı audiojazıwları shıǵarıwdı ámelge asırıwdı pútkilley jańa túrge endirdi. 1830-jılları elektrotelegraftıń birinshi úlgeri payda boldı, 1844-jılı bolsa AQSH ta dúnyadaǵı birinshi kommerciyalıq telegraf tarmaǵı paydalanıwǵa berildi, al bir neshe jıl ótkennen keyin olardıń AQSH taǵı hám Evropadaǵı sanları onlaǵanǵa jetti.



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

1831-jılı Maykl Faradey elektromagnetlik indukciya qubılısın ashtı. Nátiyjede ol elektr menen magnetizmniń arasındaǵı óz-ara baylanıstıń bar ekenligin dálilledi. Tájiriybeler seriyasın ótkeriwdiń nátiyjesinde sóz júzinde elektromagnet maydannıń qásiyetlerin keltirip shıǵardı. Bul qásiyet keyinirek Maksvell tárepinen teoriyaǵa aylandırıldı: elektr toǵı óziniń baǵıtına perpendikulyar baǵıtta magnetlik tásir tiygizedi, al magnet aǵısınıń ózgerisi elektr qozǵawshı kúsh penen quyn tárizli elektr maydanın payda etedi.

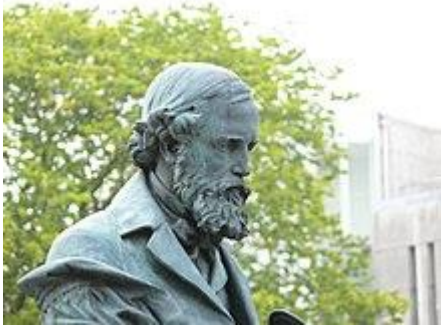
Faradey birinshi elektrodvigatel menen birinshi elektr generatorın soqtı hám usınıń menen ol elektrdi sanaatta qollanıwǵa jol ashıp berdi. Faradey elektroliz nızamların ashtı hám mınaday terminlerdi kirgizdi: ion, katod, anod, elektrolit, diamagnetizm, paramagnetizm hám basqalar. 1845-jılı Faradey magnet maydanına jaylastırılǵan zattaǵı jaqtılıqtıń polarizaciya tegisliginiń burılatuǵınlıǵın taptı. Bul jaqtılıq penen elektromagnetizmniń tıǵız baylanısqa ekenligin ańǵarttı. Keyinirek Faradey 1832-jılı amerikalı alım Genri tárepinen ashılǵan ózlik indukciya qubılısın, dielektriklerdiń qásiyetlerin hám gazlerdegi razryadlardı izertledi.

Elektrotexnikanıń teoriiyası menen qollanıwınıń rawajlanıwı dawam etti. 1845-jılı Kirxgof quramalı elektr shınjırlarındaǵı toqlardıń tarqalıw nızamın ashtı. 1874-jılı N.A.Umov ıqtıyarlı ortalıqtaǵı energiyanıń aǵısı túsiniǵin izertledi, al 1880- jılı Poynting penen Xevisayd bul teoriyanı elektromagnet maydanı ushın rawajlandırdı.

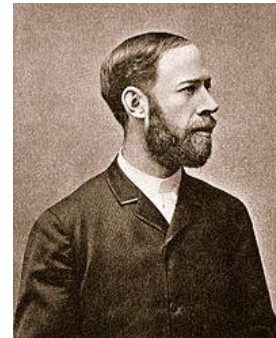
Elektr dvigatelleri menen elektr generatorlarınıń sanaatlıq modelleri waqıttıń ótiwi menen quwatlı hám joqarı texnologiyalıq bola basladı. Turaqlı toq ózgermeli toq penen almasırdı. Ásirdiń aqırında fizik-teoretikler, eksperimentatorlar hám injenerlerdiń birgeliktegi tırısıwlarınıń arqasında elektrdiń tewsilmeytuǵın múmkinshilikleri eń keńnen qollanıwın taptı. 1866-jılı Atlantik okeanı arqalı elektrotelegraf ótkerildi, 1870- jılı telefon oylap tabıldı, 1880-jılı qızdırıw lampalarınıń keńnen qollanıwı baslandı.

4.6.10.4. Elektromagnet maydanınıń teoriiyası

Nyutondaǵı sıyaqlı, Amper tárepinen kirgizilgen kúshler alıstan tásir etetuǵın kúshler dep esaplandı. Bul jaǵdaydı Maykl Faradey keskin túrde jaqladı. Ol isenimli tájiriybelerdiń járdeminde mınaday jaǵdaydıń orın alatuǵınlıǵın kórsetti: elektr hám magnet kúshleri bir noqattan ekinshi noqatqa saykes "elektr maydanı" menen "magnet maydanın" payda etip, úziksiz aǵıp ótedi. Faradey tárepinen kirgizilgen "maydan" túsiniǵi onıń fizika ilimine qosqan bas úlesi bolıp tabıladı. Biraq, sol waqıtlardaǵı alıstan tásir etetuǵın Nyutonlıq tartılısqa úyrengen alımlar endi jaqınnan tásir etisiwge isenimsizlik penen qaray basladı.



Edinburg qalasındaki Djeys Maksvelдің мүсіні.



Genrix Gerc.

Faradeyдің ilimiy ashılıwlarınan keyin elektromagnetizmniń eski modelleriniń (Amper, Puasson hám basqalar) aytarlıqtay tolıq emes ekenligi kórinde. Kóp uzamay uzaqtan tásir etisiwge tiykarlangan Veberdiń teoriiyası payda boldı. Biraq, usı waqıtlarǵa kele tartılıs teoriiyasınan 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 teoriiyasınıń jaqınnan tásir etetuǵın teoriya bolıwınıń kerek ekenligi kelip shıqtı. Usı waqıttaǵı áhmiyetli jaǵday sıpatında XIX ásirdeń ortalardıń shekem tutas ortalıqlar ushın dara tuwındılı differenciallıq teńlemeler teoriiyasınıń tereńnen islep shıǵılǵanın atap kórsetiw kerek. Demek maydan teoriiyası ushın matematikalıq apparat tayar edi. Bul sharayatlarda Maksvell teoriiyası payda boldı. Bul teoriyanı onıń avtorı Maksvell qarapayım túrde Faradeydiń ideyaların matematikalıq qaytalaw dep atadı.

Tómende biz differenciallıq hám integrallıq formadaǵı Maksvell teńlemelerin tolıq túrde beremiz.

Differenciallıq 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 tabıladı.
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 quyn tárizli elektr maydanın payda etedi.
Magnit maydanınıń cirkulyaciyası haqqındaǵı teorema.	$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	Elektr toǵı menen elektr indukciyasınıń ózgerisi quyn tárizli magnit maydanın payda etedi.

Integrallıq formadaǵı Maksvell teńlemeleri:

Gauss nızamı:

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

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

Magnit maydanı ushın Gauss nızamı:

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

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

Faradeydiń indukciya nızamı:

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

Mánisi: s tuyıq emes beti arqalı ótetuǵın magnit indukciyasınıń aǵısınıń keri belgi menen alınǵan ózgerisi l tuyıq konturındaǵı elektr maydanınıń cirkulyaciyasına proporcional, bul l tuyıq konturı s betiniń shegarası bolıp tabıladı.

Magnit maydanınıń cirkulyaciyası haqqındaǵı teorema:

CGC	CI
-----	----

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

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

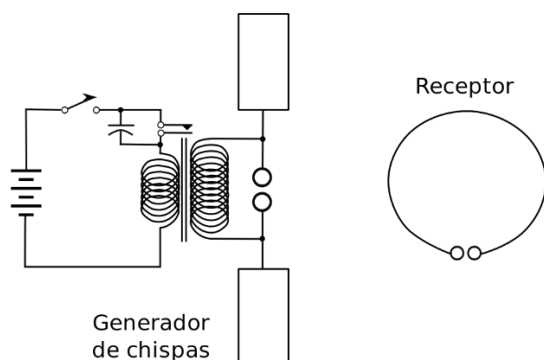
Birinshi jumısında (1855-1856) Maksvell turaqlı elektromagnit maydanı ushın gidrodinamikalıq model tiykarındaǵı (kúsh sıyıqları toqtırın naylarına sáykes keledi) integrallıq formadaǵı teńlemeler qatarın berdi. Bul teńlemeler barlıq elektrostatikani, elektr ótkizgishlikti hám hátte polyarizaciyanı ózine sińdirdi. Magnitlik qubılıslar soǵan uqsas modellestiriledi. Jumısınıń ekinshi bóliminde ol hesh bir analogiyanı keltirmey-aq elektromagnit indukciyanıń modelin qurdı. Bunnan keyingi jumıslarında Maksvell óziniń teńlemelerin differenciallıq formada keltirip shıǵaradı hám awısıw toǵın kirgizedi. Ol tezligi jaqtılıqtıń tezligine teń elektromagnit tolqınların bar ekenligin dálilleydi hám jaqtılıqtıń basımınıń bar ekenligin boljaydı. Maksveldiń eń juwmaqlaytuǵın miyneti "Elektr hám magnetizm haqqındaǵı traktat" dep ataladı (1873-jıl). Bul traktatta Xeyisayd simbolikasındaǵı maydan teńlemeleriniń tolıq sisteması orın alǵan. Al Xeyisayd bolsa onıń

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

Dekart dálilley almağan tábiyiy kúshlerdiń birligi tiklendi. Elektr hám magnit suyıqlıqları haqqındaǵı gipotezalar ótmishte qaldı, olardıń ornında elektr, magnetizm hám jaqtılıqtı birlestiretuǵın jańa fizikalıq obǵekt bolǵan elektromagnit maydanı payda boldı. Dáslepki waqıtları bul maydandı serpimli efirdegi mexanikalıq processler sıpatında traktovkalandı.

Fiziklerdiń bir bólimi Maksvell teoriyasına qarsı shıqtı (awısıw toǵı koncepciyası ayrıqsha 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 tastıyıqladı.

1887-jıldıń ózinde Gerc dúnyadaǵı birinshi radiotaratqıshtı soqtı (Gerctiń vibratori). Qabıllaǵısh xızmetin rezonator atqardı (ushları tutastırılmaǵan ótkizgish). Tap sol jılı Gerc dielektriktegi awısıw toǵın taptı (usınıń menen birge fotoeffektti de ashtı). Kelesi jılı Gerc turǵın elektromagnit tolqınların ashtı, keyinirek jaqsı dállikte tolqınıń tarqalıw tezligin ólshedi. Usınıń menen birge ol elektromagnit tolqınları ushın jaqtılıqta baqlanatuǵın shaǵılısw, sınıw, interferenciya, polyarizaciya hám basqa da qubılıslardı taptı.



Gerctiń radio taratqıshınıń sxeması.

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

4.6.10.5. Termodinamika, gazler, zattıń qurılısı



Djon Dalton



Djeyms Djoul



Pudolf Klauzius



Uilyam Tomson (lord Kelvin)



Lyudvig Bolcman

Ximiyaniń jetiskenlikleri menen ximiyalıq elementlerdiń bir birine aylanıwınıń múmkin emesligi ximiyalıq qásiyetlerdiń diskret birinshi alıp júriwshileri sıpatındaǵı molekulalardıń bar ekenligi haqqındaǵı Pobert Boyldiń ideyalarınıń durıs ekenligin ańǵarttı. Ximiyalıq reakciyalardıń qatnasıwshıları ushın bazı bir salmaqlıq hám kólemlik qatnaslardıń orınlanatuǵınlıǵı atap ótildi. Bul jaǵday tek ǵana janapay túrde molekulalardıń bar ekenligin ańǵartıp ǵana qoyǵan joq, al olardıń qásiyetleri menen strukturası haqqında pikirler aytıwǵa múmkinshilik berdi. XIX ásirde basında Djon Dalton molekulalıq teoriyanıń tiykarında parciallıq basımlar nızamın túsindirdi hám ximiyalıq elementlerdiń atomlıq salmaqlarınıń birinshi kestesiń 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 esapladı.

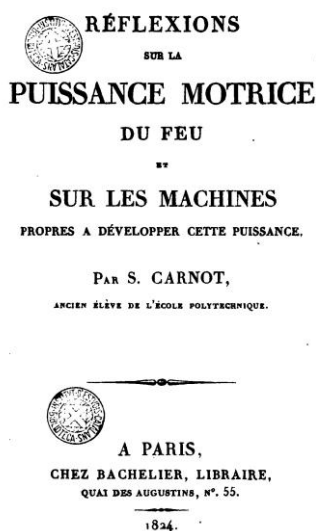
1802-jılı Gey-Lyussak penen Daltonlar gazdiń kólemi menen temperaturasınıń arasındaǵı baylanıstı anıqladı. 1808-jılı Gey-Lyussak mınaday paradokstı taptı: gazler barlıq waqıtta pútin san eselengen kólemlik qatnaslarda birigedi eken. Mısalı, $C + O_2$ (bir kólemnen) = CO_2 (eki kólem). Dalton teoriyası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

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

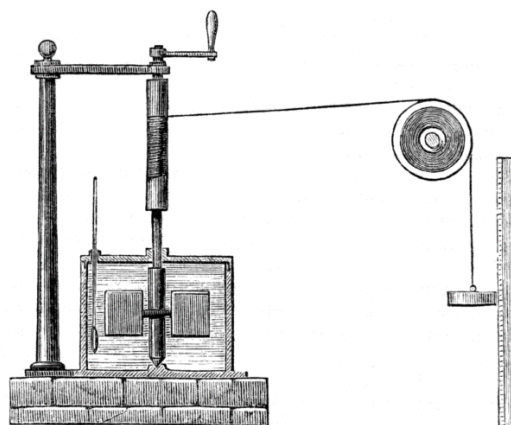
Usı waqıtları házirgi waqıtları qollanılatuǵın jumıs hám energiya túsiniikleri qalıplese basladı (termin YUng tárepinen 1807-jılı dáslep tek kinetikalıq energiya ushın usınıldı hám

bul usınıs Kelvin tárepinen 1849-jılı qollap-quwatlandı). 1829-jılı Koriolis jumıs penen "tiri kúshı" salıstırıp usı "tiri kúsh" ushın jazılğan 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 juwmaqqa keldi: "mexanikalıq kúsh jumsalatuǵın barlıq jaǵdaylarda barlıq waqıtta oǵan dál ekvivalent jıllılıq muǵdarı bólinip shıǵadı". Ol bul ekvivalenttiń shamasın esapladı: shama menen 460 kGm/kkal. Djoul elektr toǵı ushın bólinip shıǵatuǵın jıllılıqtıń toqtır kúshiniń kvadratına hám qarsılıqqa tuwrı proporcional ekenligin anıqladı. Keyinirek Djoul óziniń juwmaqların gazlerdi qısıw boyınsha ótkergen eksperimentlerinde tastıyıqladı hám jıllılıq mexanikalıq qozǵalı, al jıllılıqtı alıp beriw (ótkeriw) bolsa bul mexanikalıq qozǵalıstır basqa formalarǵa ótiwi dep daǵazaladı. Barlıq tájiriybelerde jıllılıqtıń mexanikalıq ekvivalentin bahalaw bir birine jaqın bolǵan mánislerdi berdi. Bul jumıslardı ulıwmalastırıp, Mayer menen Djoul energianıń saqlanıw nızamın keltirip shıǵardı, al Gelmgolc bolsa óziniń 1847-jılı jariq kórgen monografiyasında bul nızamdı barlıq fizikanıń tiykarına jatqardı.



Cadi Karnonıń kitabı (1824-jıl)

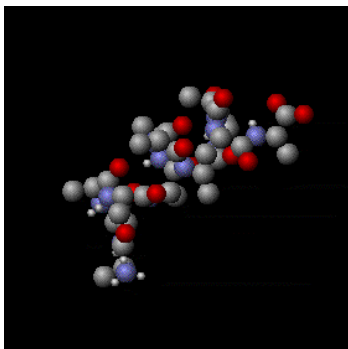


Jıllılıqtıń mexanikalıq ekvivalentin ólshew ushın arnalǵan Djouldiń dúzilisi (1847). Oń táreptegi júk suwǵa salınǵan plastinkalardı aylandıradı hám sonıń nátiyjesinde suw qızadı.

XIX ásirdiń birinshi yarımında dıqqattan derlik shette qalǵan gazlerdiń kinetika boyınsha jumıslardı bir birinen ǵárezsiz túrde "ideal gazdıń hal teńlemesin" tiykarlaǵan Krėnig (1856-jıl) hám Pudolf Klauzius basladı. Klauzius ideal gazdıń durıs modelin usındı, sistemanıń ishki energiyası túsiniǵın kirgizdi hám fazalıq ótiwlerdi túsindirdi. XIX ásirde ortasında Uilyam Tomson (lord Kelvin) menen Klauzius ayqın túrde termodinamikanıń eki baslamaların (nızamın) keltirip shıǵardı. Teplorod túsiniǵı tolıǵı menen saplastırıldı. Penkin menen Tomson 1852-jılı onıń ornına tek kinetikalıq energiyadan ibarat bolmaǵan energiya túsiniǵın kirgizdi. Energiyanıń makroskopiyalıq denelerdegi aylanısların izertleytuǵın fizikanıń bólimi ushın "termodinamika" ataması Tomson tárepinen usınıldı. 1862-jıldan keyin Klauzius mexanikalıq modelge sáykes kelmeytuǵın qaytımlı bolmaǵan processlerdi izertledi hám entropiya túsiniǵın usındı. Nátiyjede "Álemniń jıllılıq óliwi" mashqalasınıń

keń túrde tallana basladı, sebebi entropiyanıń ósiw principi Álemniń sheksizligine sáykes kelmeydi.

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



Molekuladaǵı atomlardıń jıllılıq qozǵalıǵı.

Gazlardıń kinetikalıq teoriyası menen termodinamikanıń bunnan bılayǵı tabısları Lyudvig Bolcman menen Van-der-Vaalslerdiń isimleri menen baylanıslı. Basqa jumsları menen bir qatarda olar termodinamikanıń nızamların mexanikanıń tiykarında keltirip shıǵarıwǵa urındı. Bul tırısıwlardıń sátsiz bolıwı 1872-jılı Bolcmandı termodinamikanıń ekinshi baslaması direktivlik-dál xarakterge iye emes, al statistikalıq xarakterge iye ekenligine iseniwge májbúrledi: jıllılıq salqın deneden qızǵan denegge óte aladı, al oǵan qarama-qarsı processtiń itimallıǵı ádewir joqarı. 20 jıldan kóbirek waqıt ishinde bul jaǵday fiziklerdiń arasında qızıǵıwdı payda etpedi. SHama menen 1900-jıldan baslap, ásirese Planktıń, Gibbstıń hám Erenfesttıń jumslarınan soń Bolcmannıń ideyalarınń durıs ekenligi moyınlandı. 1871-jıldan baslap Bolcman hám Maksvell statistikalıq fizikanı rawajlandıra basladı. Ergodikalıq gipoteza júdá jemisli nátiyjelerdi berdi (waqıt boyınsha ortasha shama bóleksheler ansambli boyınsha ortasha shamaǵa sáykes keledi).

1897-jılı elektron ashıldı. Usınıń menen bir qatarda atomistikanıń paydası ushın sheshiwshi argumentti 1905-jılı Eynshteyn tárepinen ashılǵan broun qozǵalıwınıń teoriyasın berdi. Bul teoriyanıń durıs ekenligin dálillegen Cmolutovskiy menen Perrenniń jumslarınan keyin hátte pozitivistler de atomlardıń bar ekenligine talaspadı. Atomlıq teoriya menen D.I.Mendeleev tárepinen 1869-jılı islep shıǵılǵan elementlerdiń dáwirlik sistemasın sáykes keltiriw boyınsha birinshi tırısıwlar baslandı. Biraq, bul tarawdaǵı sezilerliktey tabıslar tek XX ásirde ǵana qolǵa kirgizildi.

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

4.6.10.6. Elektronnıń ashılıwı, radioaktivlik



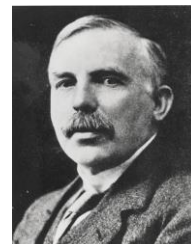
Djozef Djon Tomson



Pobert Endryus Milliken



Anri Bekkerel



Ernst Pezerford

Atomlar haqqındaǵı gipotezanı elektrlik qubılıslar menen baylanıstırıw ushın Bercelius penen Faradeyler oń hám teris zaryadlarǵa iye bolǵan atomlardıń eki tipi bar dep boljadı. 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 mınaday gipotezanı usındı: ximiyalıq elementlerdiń atomlıq salmaqlarınıń shamaları vodorodtıń atomlıq salmaǵınan pútin san ese úlken bolǵanlıqtan eń birinshi atom bar, ol - vodorod, al qalǵanlarınıń barlıǵı bir biri menen tutastırılǵan birinshi atomnan turadı. Kruks nollik birinshi element - "protil" bar, al vodorod ta, basqa da atomlar usı "protil" den turadı. Uilyam Tomson bolsa atomdı efirdegi stabilli quyın dep esapladı.

Onnan da burınraq, 1858-jılı gazdegi elektr razryadın izertlewdiń barısında katod nurları ashıldı. Uzaq dawam etken diskussiyalardan keyin alımlar katod nurları elektronlardıń aǵısına turadı degen juwmaqqa keldi. 1897-jılı Dj.Dj.Tomson katod nurları ushın zaryadtıń massaǵa qatnasın ólshedi hám ol bul qatnastıń katodtıń materialınan hám tájiriybeniń basqa da shártlerinen gárezsiz ekenligin dálilledi. Elektronnıń zaryadınıń shaması sol waqıtları belgili bolǵan vodorod ionınıń zaryadına teń dep boljap, Tomson elektronnıń massasın bahaladı. Bársheni hayran qaldırǵan jaǵday elektronnıń 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, yaǵnıy olardıń elektronlar ekenligin kórsetti. Pobert Millikenge 1910-jılı júdá aqıllılıq penen ótkerilgen eksperimentlerde elektronnıń zaryadı menen massasın anıqlawdıń sáti tústi.

1878-jılı Gendrix Lorenc ionlarǵa iye bolǵan qozǵalıwshı ortalıqlar ushın Maksvell teoriyasın ulıwmalastırdı. Lorenciń elektronlıq teoriyası diamagnetizmdi, elektrolitlerdegi processlerdi, metallardaǵı elektronlardıń qozǵalıwın, sonıń menen birge

1896-jılı ashılğan Zeeman effektin (jaqtılıq shıǵarıp 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 Kállikerdiń qolınıń fotosúwreti.

Júdá áhmiyetli bolǵan ilimiy ashılıwlar 1895-jılı Vilgelm Konrad Pentgen tárepinen (rentgen nurları) hám 1896-jılı Anri Bekkerel (urannıń radioaktivligi) tárepinen júzege keltirildi. Pentgen nurlarınıń tolqınlıq qásiyeti 1912-jılı tastıyıqlandı (fon Laue, rentgen nurlarınıń kristallardaǵı difrakciyası. Al, radioaktivlik fiziklerdi bir qansha waqıt dawamında ótiw múmkin bolmaǵan ótkelge alıp kelip irikti 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 ashtı) ashıldı. Bekkerel beta nurları ushın zaryad/massa qatnasın ólshegende olardıń elektronlar ekenligi dárhál ayqın boldı. Alfa-bóleksheleriniń tábiyatın Pezerford tek 1909-jılı ǵana anıqladı.

1901-jılı Valter Kaufman elektronnıń tezligi úlkeygende onıń Xevisayd hám Dj.Dj.Tomson tárepinen bolǵan inert massasınıń úlkeyetuǵınlıǵın tapqanlıǵın xabarladı. Elektronnıń qozǵalısqınıń Lorenclik teoriyasın qayta qarap shıǵıw zárúrligi payda boldı. Bul temadaǵı dawlar salıstırmalıq teoriyası payda bolǵannan keyin de dawam etti.

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

4.6.10.7. Mexanika, optika, serpimlik teoriyası

1834-1835-jılları Uilyam Gamilton variaciyalıq principni baspadan shıǵardı, bul princip universallıq xarakterge iye boldı hám fizikanıń júdá hár qıylı bolǵan bólimlerinde tabılısı túrde paydalanıldı. Gamilton bul principni óziniń "Gamiltonlıq mexanikasınıń" tiykarına jatqardı. Biraq, "bul jumıslar XIX ásirdegi analitikalıq mexanikanıń rawajlanıwınıń tiykarında jattı".

Optikada spektrallıq analizdiń ashılıwı (1859-jıl) eń baslı waqıya bolıp tabıladı. 1842-jılı avstriyalı fizik Dopler qozǵalıwshı dereklerden shıǵatuǵın tolqınlardıń jıyılıǵı menen tolqın uzınlıǵınıń 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 tiykargı sistemasın keltirip shıǵardı hám Guktiń bir ólshemli nızamın izotrop denelerdiń úsh ólshemli deformacijalarınıń 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 máselelerdi sheshti.

4.6.11. XX ásir

4.6.11.1. XX ásirdiń ulıwmalıq xarakteristikası

XX ásirdiń basında quramalı mashqalalarǵa tap boldı - eski modeller menen tájiriybelerde alınǵan 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 ǵárezsiz ekenligi anıqlandı. Col dáwirdegi fizika mikrodúnyadaǵı bazı bir effektlerdi táriyipleı almadı. Olardıń qatarına nurlanıwdıń atomlıq spektri, fotoeffekt, zat penen elektromagnit nurlanıwdıń energiyalıq teń salmaqlıǵı, absolyut qara deneniń nurlanıwınıń spektri kiredi. Merkuriydiń qozǵalıwın Nyutonnıń tartılıs teoriyasına sáykes kelmedi; "gravitaciyalıq paradoks" ushın da sheshim tabılmadı⁵. Eki ásirdiń ortasında tabılǵan jańa qubılıslar (radioaktivlik, elektron, rentgen nurları) teoriyalıq jaqtan túsindirilmedi. 1900-jılı Puankare "Bar ekenligine hesh kim gúman etpegen pútkil dúnya" dep daǵazaladı hám jańa dúnyanı túsiniw ushın eski fizikanı qaytadan qarap shıǵıwdıń zárúrliǵı payda boldı.

XX ásirdiń fizikasınıń jáne bir áhmiyetli ózgesheligi tábiyiy kúshlerdiń birligi túsiniǵiniń keńeyiwi bolıp tabıladı. XIX ásirdiń ózinde universallıq energiya túsiniǵı payda boldı, al Maksvell optikanı, elektr hám magnetizmdi biriktirdi. XX ásirde keńislik penen waqıttıń, zat penen nurlanıwdıń (bóleksheler hám tolqınlar), gravitaciya menen geometriyanıń, massa menen energiyanıń arasındaǵı 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

⁵ Gravitaciyalıq paradoks yamasa Neyman-Zeligerdiń paradoksı - klassikalıq tartılıs nızamınan kelip shıǵatuǵın hám bılayınsha aytılatuǵın tariyxıy kosmologiyalıq mashqala: Evklidlik geometriyaǵa iye bolǵan hám zattıń ortasha tıǵızlıǵı nolge teń bolmaǵan sheksiz Álemdegi barlıq orınlarda gravitaciyalıq potencial sheksiz úlken mániske iye boladı.



Albert Abraxam Maykelson



Xendrik Anton Lorenc

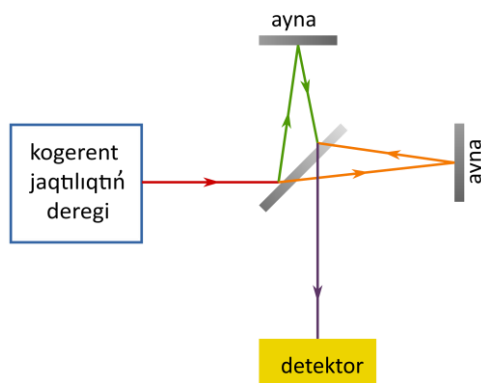


Anri Puankare



German Minkovskiy

1728-jılı angliyalı astronom Bredli jaqtılıqtıń aberraciyasın ashtı⁶: aspanda barlıq juldızlar kishi dóńgelekler boyınsha qozǵaladı, qozǵalıǵı dáwiri bir jıl. Jaqtılıqtıń efirlik teoriyası boyınsha bul efirdiń qozǵalmaytuǵınlıǵın hám kózge kórinetuǵın awısıw (Jerdiń Quyashtıń dógeregindegi qozǵalıǵında) superpoziciya principi boyınsha juldızdıń súwretin jılıstıradı.



Maykelson-Morli tájiriybesiniń sxeması.

Biraq, Frenel, zattıń ishinde efir qozǵalıwshı materiya menen birge tolıq emes alıp júreledi dep esapladı. Bul kóz-qaras Fizonıń tájiriybelerinde tastıyqlanganday bolıp kórindi (Fizonıń tájiriybesinde suwdaǵı 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

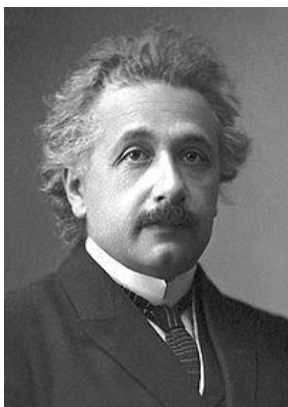
⁶ Jaqtılıqtıń aberraciyası (latin tilinde *aberratio*, *ab* hám *errare* sózlerinen adasıw, awısıw) - bir esaplaw sistemasınan ekinshi esaplaw sistemasına ótkendegi jaqtılıqtıń (nurlanıwdıń) baǵıtınıń ózgeriwı.

Astronomiyalıq baqlawlarda jaqtılıqtıń aberraciyası Jerdiń tezliginiń baǵıtınıń ózgeriwine baylanıslı aspan sferasındaǵı juldızdıń turǵan ornınıń ózgeriwine alıp keledi. Jıllıq, sutkalıq hám ásirlik aberraciylardı bir birinen ayıradı. Jıllıq aberraciya Jerdiń Quyashtıń dógeregindegi qozǵalıǵınıń saldarınan kelip shıǵadı. Cutkalıq aberraciya Jerdiń óziniń kósheriniń sutkalıq aylanıwı menen baylanıslı. Ásirlik aberraciya Quyash sistemasınıń Galaktikanıń orayınıń dógeregindegi qozǵalıǵı effektin esapqa aladı.

fizik Maykelson ámelge asırdı. Keyinirek Maykelson Morli menen birgelikte hár saparı joqarı bolğan dállikte bir neshe ret qaytaladı. Basqa bir qatar fizikler basqa principiierge tiykarlangan onlağan tájiriybelerdi orınladı (mısalı, Trouton menen Nobl ildirilgen kondensatordıń burılıwın ólshedi). Biraq kútilgen nátiyje alınğan joq - "efir samalı" espeydi eken.

1892-jılı Gendrik Lorenc hám (onnan gárezsiz) Djordj Fiddjerald efirdi qozǵalmaydı, al qálegen deneniń uzınlıǵı qozǵalıǵı baǵıtında qısqaradı dep boljadı. Bunday "lorenclik qısqarıw" barlıq qozǵalatuǵın móldir denelerde qos nur sındırıw effektine alıp keliwi kerek; biraq, tájiriybeler bunday effektiniń joq ekenligin kórsetti. Usınıń nátiyjesinde Lorenc óziniń gipotezasın ózgeretti: denelerdiń ózleri qısqarmaydı, al olarǵa kiretuǵın elektronlar qısqaradı, qala berse barlıq baǵıtlarda qısqaradı, biraq qozǵalıǵı baǵıtında kóbirek qısqaradı. Lorenc tap usınday shamaǵa "efir samalın" kompensaciyalaytuǵınday bolıp qısqarıwdıń sebebin túsindire almadı.

Jáne bir úlken qıyınshılıq Maksvell teńlemeleriniń elektromagnitlik effektlerdiń tek salıstırmalı qozǵalıstan gárezli ekenligine qaramastan, Galileydiń salıstırmalıq principine sáykes kelmeytuǵınlıǵı boldı. Koordinatalardıń qanday túrlendiriwlerine qarata Maksvell teńlemeleriniń invariantlıǵı izertlendi. Durıs formulalardı birinshi ret 1900-jılı Larmor hám 1905-jılı Puankare jazdı. Puankare olardıń gruppası qásiyetine iye ekenligin dálilledi hám olardı "Lorenc túrlendiriwleri" dep atawdı usındı. Óziniń 1905-jılı shıqqan "Elektronnıń dinamikası haqqında" jumısında Puankare elektrodinamikanı da óziniń ishine alatuǵın salıstırmalıq principiniń ulıwmalıq formulirovkasını da berdi. Bul jumısta Minkovskiydiń tórt ólshemli intervalı da bar. Biraq, soǵan qaramastan, Puankare efirdi haqıyqıy dep esaplawdı dawam etti, al ol islep shıqqan matematikalıq modeller obǵektivlik fizikalıq mazmunǵa iye bolmadı.



Albert Eynshteyn

Puankareniń modeliniń fizikalıq hám obǵektivlik mánisi Eynshteynniń jumıslarınan soń ashıldı. 1905-jılǵı maqalasında Eynshteyn eki postulattı qaradı: ulıwmalıq salıstırmalıq principini hám jaqtılıqtıń tezliginiń turaqlı ekenligi. Bul postulatlardan Lorenc túrlendiriwleriniń formulaları, lorenclik qısqarıw, bir waqıtılıqtıń salıstırmalıǵı hám efirdiń kerek emes ekenligi avtomat túrde kelip shıqtı. Tezliklerdi qosıwdıń jańa nızamı, inerciyanıń tezlik penen úlkeyiwi h.t.b. keltirip shıǵarıldı. Eynshteyn fizikanıń barlıq nızamlarınıń Lorenc túrlendiriwlerine qarata invariant bolıwınıń kerek ekenligin kórsetti. Keyinirek bul teoriya "arnawlı salıstırmalıq teoriiyası" atamasına iye boldı. Fizikadan efirdi quwıp shıǵargannan keyin elektromagnit maydanı qosımsha mexanikalıq alıp júriwshini

talap etpeytuǵın fizikalıq ob'ekttiń statusına iye boldı. Col jılı $E = mc^2$ formulası payda boldı - inerciya energiya menen anıqlanadı eken.

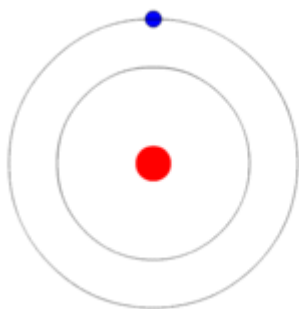
Alımlardıń bir bólimi arnawlı salıstırmalıq teoriyasın dárhál qabıl etti: 1906-jılı Plank hám 1907-jılı Eynshteynniń ózi relyativistlik dinamikani hám termodinamikani dóretti, al Minkovskiy bolsa 1907-jılı arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń kinematikasınıń matematikalıq modelin tórt ólshemli evklidlik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

1911-jıldan baslap A.Eynshteyn Nyutonniń tartılıs teoriyasın alıstıratuǵın ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasın dóretiw menen shuǵıllana basladı hám bul jumısların 1915-jılı tamamladı. Eynshteynniń tartılıs teoriyasında uzaqtan tásir etiw joq hám tartılıstır fizikalıq alıp júriwshisi bolǵan keńislik-waqıttır geometriyasınıń modifikaciyası ayqın túrde kórsetilgen. Bul teoriya boljaytuǵın jańa effektke onlaǵan eksperimentlerdegi tájiriybelerde tekserip kóriw ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń boljawlarınń baqlawlardıń nátiyjelerine tolıq sáykes keletuǵınlıǵın kórsetti. Eynshteynniń hám basqa da alımlardıń gravitaciyanı, elektromagnitizmdi hám mikrodúnyanıń teoriyasın biriktirip ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasın keńeytiwge baǵdarlangan tırıswlar tabıslarǵa erise almadı.

4.6.11.3. Atomnıń qurılısı

Elektron ashılǵannan 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 zaryadlangan dene túrine iye. Atomdaǵı elektronlardıń qozǵalatuǵınlıǵı yamasa qozǵalmaytuǵınlıǵı 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 awısıwda elektron energiyasın joǵaltadı.

1909-1910 jılları Pezerfordtıń bassılıǵında Geyger menen Marsdenler orınlaǵan juqa folgalardaǵı alfa-bóleksheleriniń shashırawın úyreniw boyınsha ótkerilgen eksperimentlerde atomnıń ishinde úlken emes kompaktlı struktura - oń zaryadlangan 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 túsindiriwi bolıp tabıldı. Biraq atomnıń basqa da modelleri boldı. Misalı, Dj.Dj.Tomson elektronlar menen yadrolardıń óz-ara tásirlesiwleri kulonlıq tásirlesiwden ózgeshe. Atomnıń qurılısı ushın salıstırmalıq teoriyasın hám hátte evklidlik emes geometriyanı paydalanıwǵa tırıswlar da boldı.



Bor boyınsha vodorod atomı.

Vodorod atomınıń spektrin túsindire alatuǵın birinshi tabıslı teoriyanı 1913-jılı Nils Bor dóretti. Ol Pezerfordtıń modelin klassikalıq emes xarakterdegi postulatlar menen tolıqtırdı:

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

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

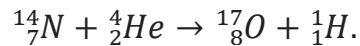
1915-jılı Bor teoriyası Zommerfeld hám Vilsonlar tárepinen tolıqtırıldı. Zeeman effekti menen vodorodtıń spektriniń juqa strukturası túsindirildi. Bor óziniń postulatlarına sáykeslik principin qostı hám bul spektrallıq sızıqlardıń intensivliklerin anıqlawǵa múmkinshilik berdi. 1925-jılı Pauli elektronnıń spininiń bar ekenligi haqqındaǵı gipotezanı, al keyinirek qadaǵan etiw principin usındı. Bul princip boyınsha spindi esapqa alǵanda eki elektronnıń birdey kvant sanlarına iye bolıwı múmkin 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, atomnıń yadrosındaǵı protonlardı qanday kúshler uslap turadı? Gamov yadrolarda suyıqlıqtıń tamshısındaǵı bet kerimi kúshleri sıyaqlı bet kerimi kúshleri bar dep boljadı hám usınıń saldarınan jemisli bolǵan "yadronıń tamshı modeli" payda boldı. 1935-jılı YAponiyalı fizik X.YUkava yadrolıq kúshlerdiń modelin islep shıqtı. Bunday kúshlerdiń kvantları ayrıqsha túrdegi bóleksheler bolıp shıqtı. Bul bóleksheler 1947-jılı kosmoslıq nurlardıń quramında tabıldı hám pi-mezonlar atamasına iye boldı.

1932-jılı Čedvik Pezerford tárepinen 1920-jılları boljap ayılǵan neytrondı ashtı. YAdronıń strukturası endi ayqın boldı. 1919-jılı Pezerford kóp sanlı elementlerdiń atomlarınıń yadrolarınıń ıdıraw ónimleriniń ishinde vodorod atomınıń yadrosın taptı.

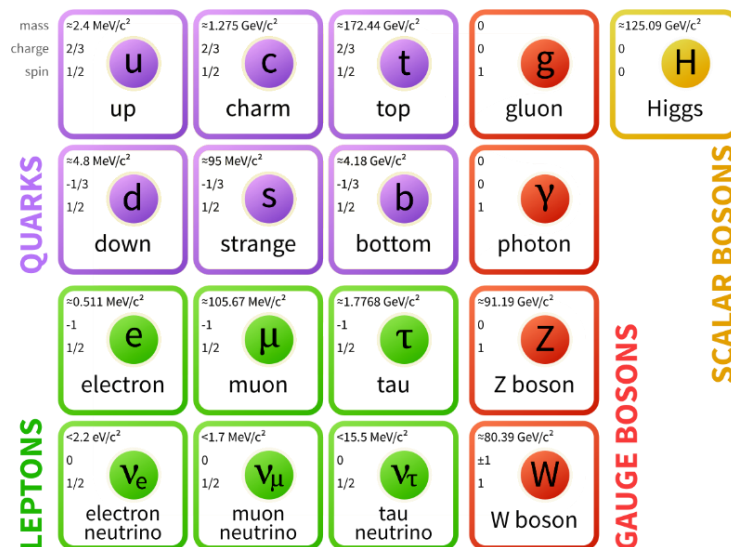
Ol hár qıylı nishanalardaǵı α -bóleksheleriniń shashırawı boyınsha eksperimentlerin dawam etiwdiń barısında azot atomlarınıń yadroların α -bóleksheler menen bombalaǵanda olardan oń zaryadlangan bólekshelerdiń ushıp shıǵatuǵınlıǵın baqladı. Bul bólekshelerdiń zaryadınıń absolyut shaması elektronnıń zaryadına teń ekenligi, al belgisiniń oń ekenligi belgili boldı. Bóleksheniń massası elektronnıń massasınan shama menen 2000 ese úlken bolıp shıqtı. Basqa nishanalardı paydalanıp tájiriýbelerdi qaytalaǵanda oń zaryadlangan bólekshelerdiń basqa da atomlardıń yadrolarınan ushıp

shıǵatugınlıǵı málim boldı. Protonlar eń dáslep tabılǵan yadroliq reakciya bılayınsha jazıladı:



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

1932-jılı amerikalı fizik Anderson tárepinen kosmoslıq nurlardı Vilson kamerasınıń járdeminde baqlawlardıń barısında fundamentallıq bólekshe bolǵan pozitron ashıldı. "Pozitron" atamasın Andersonnıń ózi oylap taptı. Pozitronnıń bar ekenligin 1928-jılı Pol Dirak óziniń relyativistlik tolqın teńlemesiniń tiykarında bolǵan edi. Dirak teoriyası teris elektr zaryadına iye bolǵan tek elektrondı ǵana táriyiplep qoǵan joq, al zaryadı oń bolǵan tap sonday bóleksheni de táriyipleđi. Tábiyatta usınday bóleksheniń joq ekenligi geypara alımlar tárepinen Dirak teńlemeleriniń "artıqmash sheshimleri" niń bar ekenligi túrinde qabıl etildi. Biraq, qalay degen menen pozitronnıń ashılıwı teoriyanı saltanatlı jeńisi bolıp tabıldı. 1934-jılı Enriko Fermi beta-ıdırawdıń teoriyasın baspadan shıǵardı. Bul teoriya boyınsha yadrodaǵı neytron elektrondı hám jáne qanday-da bir zaryadı joq bóleksheni (sol waqıtları ele tabılmaǵan) shıǵarıp protonǵa aylanadı. Col zaryadı joq bólekshege Fermi "neytrino" atamasın berdi. Neytronnıń ıdırawın teoriyalıq jaqtan tiykarlaw ushın joqarıda esletip ótilgen "kúshli" tásirlesiw menen bir qatarda jáne bir (tórtinshi) fundamentallıq tásirlesiwdi kirgiziwdiń zárúrligi 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 bólinetuǵınlıǵın taptı. Usı waqıyadan hám yadroliq bomba soǵılǵannan keyin fizika ilimi dúnyalıq tariyxtı qalıplestiretuǵın qurallardıń birine aylandı.

1967-jılı Ctiven Vaynberg penen Adbus Calamlar SHeldon Li Gleshoudıń baspadan shıqqan "elektrázzi" modelin paydalanıp tórt fundamentallıq óz-ara tásirlesiwdiń úshewin (gravitaciyaadan basqasın) biriktiretuǵın "standart model" dep atalatuǵın modeldi islep shıqtı. Cstandart model tárepinen bar ekenligi bolǵan Xiggs bozonı ashılǵannan keyin onı mikrodúnya haqqındaǵı házirgi zaman kóz-qaraslarınıń tiykarı dep esaplaydı (onıń

durılığın tekserip kóretuğın hám onı qollanıwdıń shegaraların anıqlaytuğın eksperimentler dawam etip atırğan bolsa da).

4.6.11.4. Kvantlıq teoriya



Maks Plank



Nils Bor



Lui de Broyl



Ervin SHrëdinger



Pol Dirak

1880-jılı absolyut qara deneniń nurlanıw spektri eksperimentlerde alındı. Energiyanıń jıyılıqlar boyınsha tarqalıwın, sonıń ishinde spektrdiń ayrıqsha uzın (infraqızıl) tolqınları ushın sol waqıtları bar bolğan teoriyalardıń hesh qaysısı túsindire almadı. Durıs formulanı 1900-jılı Maks Plank saylap ala aldı. Bir neshe hápteden keyin ol alınğan formulanıń eksperimentlerdiń nátiyjelerine dál sáykes keliwi ushın energiyanıń nurlandırılıwı menen jutılıwın porciyalar túrinde júzege keledi dep esaplawdıń zárúr ekenligin anıqladı. Bul porciyalardıń eń kishi shaması tolqınnıń jıyılıgine proporcional bolğan bazı bir shamadan (kvanttın) kishi bolmawı kerek eken. Planktıń ózi dáslep usınday modeldi tek matematikalıq hiylekerlik dep qaradı. Ol hátte biraz waqıt ótkennen keyin de (1914-jılları) óziniń ilimge qosqan teoriyasın biykarlawğa tırıstı. Biraq bul máselede tabısqa erise almadı.

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

Eń aqırında, 1920-jılları klassikalıq kóz-qaraslar boyınsha túsindiriwdiń múmkinshiligi joq bir neshe kvantlıq qubılıslar ashıldı. Olardıń ishinde rentgen nurları jeńil gazlarda shashıraǵanda baqlanatuğın Kompton effekti ayrıqsha orındı iyeleydi. 1923-jılı Kompton Eynshteynniń 1917-jılǵı jumıslarınıń tiykarında bul qubılıstıń teoriyasın islep shıqtı.

1911-jılı jáne bir kvantlıq qubılıs asa ótkizgishlik ashıldı. Bul qubılıs óziniń teoriyalıq jaqtan túsindiriliwin tek 1950-jılı ǵana aldı (Ginzburg-Landau teoriyasında, bunnan keyin Bardin-Kuper-SHrifferr 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 zatlarǵa 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 uzınlıǵında pútin san eselengen de Broyl tolqın uzınlıǵı jaylasadı eken. Col jıldı júz bergen sátlı sáykes keliw mınadan ibarat boldı: amerikalı fizikler Devisson menen Djermer elektronlardıń qattı denelerden shaǵılısıwın izertledi hám elektronlardıń de Broyl tárepinen bolǵan difrakciyasın taptı. Onnan da burınraq, 1921-jılı elektronlardıń tolqınlıq qásiyetleri Pamzauer effektinde⁷ tabıldı, biraq sol waqıtları bul effektke jetkilikli dárejede itibar berilmedi. 1930-jılı Otto SHtern ótkergen juqa tájiriybelerde atomlar menen molekular ushın tolqınlıq effektler baqlandı.

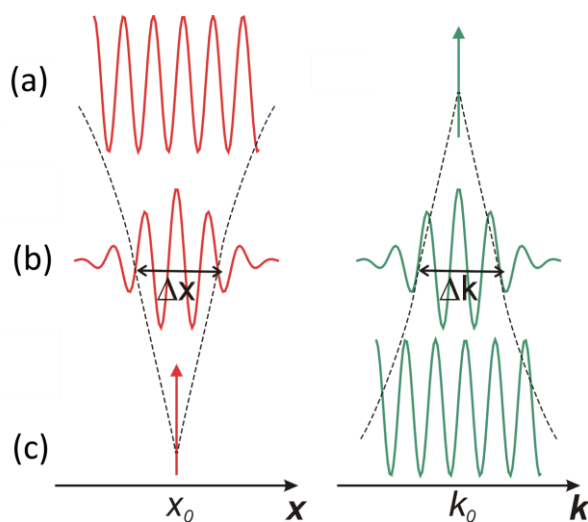
1925-jılı Verner Geyzenberg subatomlıq qubılıslardıń teoriyasında tek baqlanatuǵın shamalardı paydalanıwdı usındı (koordinatar, orbitalar h.t.b. baqlanbaytuǵın shamalardıń qatarına kiredi). Baqlanatuǵın shamalardı anıqlaw ushın ol kvantlıq mexanikanıń "matricalıq mexanika" dep atalatuǵın bólimin dóretti. Maks Born menen Ýordanlar klassikalıq shamalarǵa ermitlik matricanı sáykes keltiretuǵın qaǵıydalardı islep

⁷ 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 baqlandı. Keyinirek bul effekt basqa da zatlarda baqlandı.

Bul effektke klassikalıq mexanikanıń kóz-qarasları tiykarında túsindiriwdiń múmkinshiligi joq, sonlıqtan onıń ashılıwı kvantlıq mexanikanıń qalıplesiwinde 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 tolqınınıń uzınlıǵı atomnıń sızıqlı ólshemi menen salıstırarlıqtay bolsa, onda elektronnıń difrakciyasınıń saldarınan atomnıń artında elektronlıq tolqınınıń maksimumı payda boladı - elektron atomda shashıramay, onı "aylanıp" ótedi.

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

De Broyl menen Geyzenbergtiń ideyalarınń sintezin Ervin SHrédinger júzege keltirdi. Ol 1926-jılı jańa obǵekt bolǵan tolqın funkciyası ushın ózi keltirip shıǵarǵan SHrédinger teńlemesiniń bazasında "tolqınlıq mexanika" dóretti. SHrédingerdiń ózi jańa tolqınlıq mexanikanıń matricalıq mexanikaǵa ekvivalent ekenligin kórsetti: Geyzenberg matricalarınń elementleri kóbeytkishke shekemgi dállikte Gamilton operatorınıń menshikli funkciyaları, al energiya menshikli mánisler bolıp shıqtı. Bunday túrdegi tolqınlıq mexanika matricalıq mexanikaǵa qaraǵanda qolaylı bolıp shıqtı hám sonlıqtan kóp uzamay ulıwma qabil etilgen mexanikaǵa aylandı. Dáslep SHrédinger tolqın funkciyasınıń amplitudasın zaryadtıń tıǵızlıǵın táriyipleydi dep boljadı, biraq bul pikir kóp uzamay biykarlandı. 1926-jılı Bornnıń usınısı menen tolqın funkciyasınıń moduliniń kvadratı bóleksheni tabıwdıń itimallıǵınıń tıǵızlıǵı sıpatında qabil etildi ("kopengagenlik interpretaciya").



Korpuskulalıq-tolqınlıq dualizm hám anıqsızlıq principini:

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

1927-jılı Geyzenberg anıqsızlıq principin keltirip shıǵardı: mikroobǵekttiń koordinatası menen impulsın bir waqıtta dál anıqlaw múmkin emes, koordinatanıń mánisiniń dáligin joqarılalıp, biz tezliktiń mánisin anıqlawdıń dáligin tómendetiwge májbúrmiz. Bor bul tezisti "qosımshalıq principini" ne shekem ulıwmalastırdı: qubılıstı korpuskulalıq hám tolqınlıq táriyiplew bir birin tolıqtıradı; eger bizdi sebeplilik baylanısı qızıqtıratuǵın bolsa, onda korpuskulalıq táriyiplew, al eger bizdi keńisliklik-waqıtlıq kartına qızıqtıratuǵın bolsa, onda tolqınlıq táriyiplew qolaylı. Haqıyqatında mikroobǵekt bólekshede, tolqın da emes. Bul klassikalıq túsiniklerdiń payda bolıwınıń sebebi biziń ásbaplarımızdıń klassikalıq shamalardı ólsheytuǵınlıǵı menen baylanıslı. Bor mektebiniń wákilleri atomnıń barlıq atributları obǵektiv túrde bolmaydı, al tek baqlawshı menen óz-ara tásirlesiwdiń nátiyjesinde ǵana payda boladı. "Baqlawdıń usılınan ǵárezsiz bolǵan reallıq joq" (Bor). Kóp sanlı fizikler (Eynshteyn, Plank, de Broyl, Bom h.b.) kopengagen interpretaciyasın basqa interpretaciya menen almasırwǵa tırıstı, biraq tabısqa erise alǵan joq.

Pol Dirak kvantlıq mexanikanıń relyativistlik variantın islep shıqtı (Dirak teńlemesi, 1928-jıl) 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 ximiyalıq

baylanıstırn mánisin túsindirip berdi. 1931-jılı zaryadlangan bólekshelerdiń birinshi izertlew tezletkishi (ciklotron) paydalanıwǵa berildi. 1935-jılı Eynshteyn-Podolskiy-Pozenniń belgili paradoksı baspadan shıqtı.

1950-jıllardıń basında N.G.Basov, A.M.Proxorov hám Ҳ.Taunslar kvantlıq sistemalar tárepinen elektromagnit nurlanıwdı kúsheytiw menen generaciyalawdıń tiykarǵı principleri islep shıǵıldı. Bunnan keyin bul radiojiyilikli (mazerler) hám optikalıq (lazerler) diapazonlardaǵı nurlardıń principiallıq jaqtan jańa derekleriniń dóretiliwi ushın tiykarǵa aylandı. 1960-jılı Teodor Mayman rubin kristallınıń tiykarında birinshi lazerdi (optikalıq kvantlıq generatordı) dóretti. Ol tolqın uzınlıǵı 694 nm bolǵan monoxromat nurlardıń impulslerin generaciyalaydı. Házirgi kúnlerge shekem xarakteristikaları hár qıylı bolǵan kóp sanlı lazerler soǵıldı (spektrdiń optikalıq diapazonınıń hár qıylı bólimlerindegi jaqtılıqtı nurlandıratuǵın gaz, qattı denelerdegi, yarım ótkizgishlerdegi lazerler).

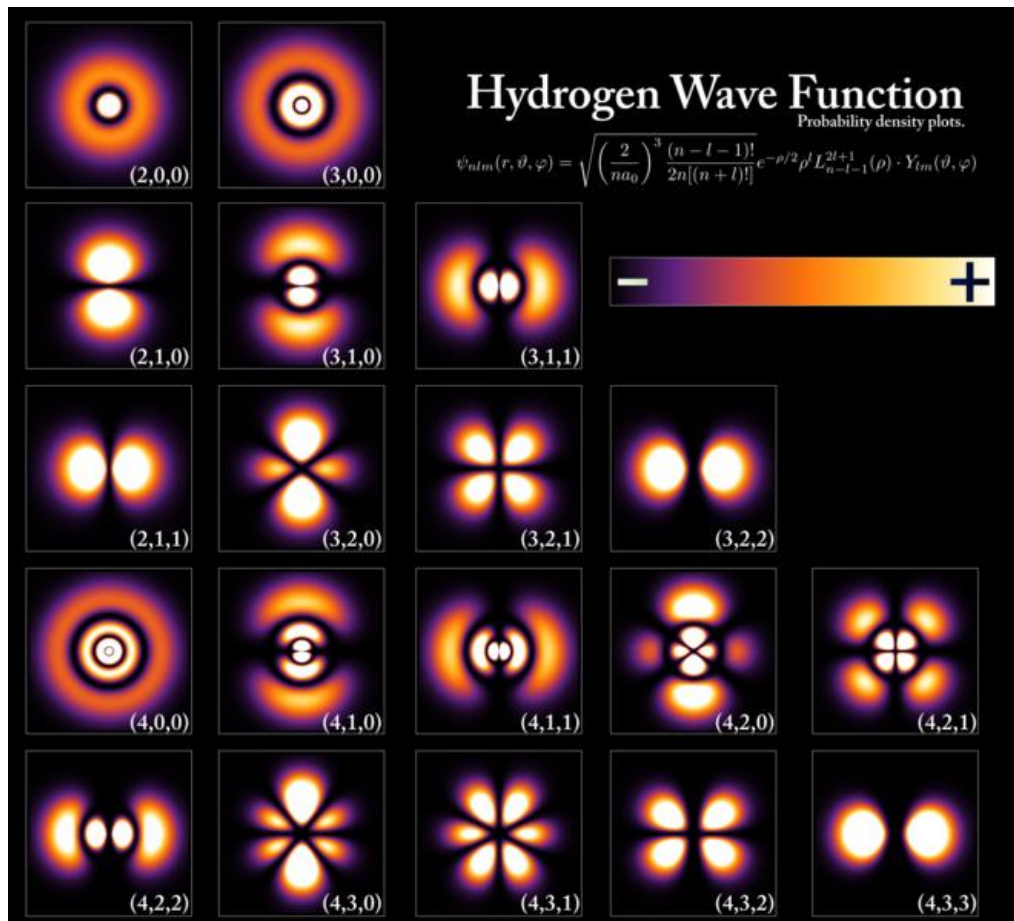
Maydannıń kvantlıq teoriyası dóretildi hám eksperimentlerde tekserildi. Gravitaciyanı da esapqa alatuǵın barlıq fundamentallıq óz-ara tásirlesiwlerdi óziniń ishine qamtıtuǵın maydannıń ulıwmalıq teoriyasın izlew boyınsha keń kólemdegi jumıslar islenip atır. XX ásirdiń aqırına shekem gravitaciyanıń kvantlıq teoriyasın dóretiw boyınsha jumıslar dawam etti. Olardıń tiykarǵıları sıpatında supertarlar teoriyası menen qurılıq kvantlıq gravitaciyanı kórsetiwge boladı. Usınday teoriyanıń ornın iyelewge jáne bir talaban bolǵan M-teoriyanı (supertarlar teoriyasınıń jaqın waqıtlar ishindegi rawajlanıwı) kórsetiwge boladı.

Maydannıń kvantlıq teoriyasınıń matematikalıq usılları teoriyalıq qattı deneler fizikasında da tabıslı túrde qollanıldı.

Qosımsha:

Kvantlıq (tolqınlıq) mexanika tábiyattı atomlardıń hám subatomlıq bóleksheler masshtabında tábiyattı táriyipleytuǵın fundamentallıq fizikalıq teoriya bolıp tabıladı. Ol barlıq kvantlıq fizikanıń tiykarında jatadı (sonıń ishinde kvantlıq ximiya, maydannıń 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 masshtablarda táriyipleydi, biraq ol kishi masshtablarda (atomlıq hám subatomlıq) sol aspektlerdi sanlıq táriyiplew ushın jetkilikli emes. Klassikalıq fizikanıń teoriyalarınıń kópshiligin kvantlıq mexanikadan úlken (makroskopiyalıq) masshtablarda durıs bolatuǵınday etip keltirip shıǵarıwǵa boladı.



Vodorod atomındaǵı hár qıylı energiya qáddilerindegi elektronnıń tolqın funkciyaları.

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

Jarıqlaw oblastlar elektrondı tabıwdır joqarı itimallıǵın kórsetedi.

Kvantlıq mexanikanıń klassikalıq fizikadan ayırması mınadan ibarat: sistemanıń baylanısqa halınıń energiyası, impulsı, múyeshlik momenti hám basqa da shamalar ıqtıyarlı mánislerge iye bola almaydı, al diskret mánisler menen sheklengen (kvantlanıw), obǵektler bóleksheniń de, tolqınınıń da qásiyetlerine iye (korpuskulalıq-tolqınlıq dualizm) hám baslanǵısh shártlerdiń berilgen tolıq jıynaǵı bar bolǵan jaǵdayda fizikalıq shamanıń ólshewge shekemgi mánisin bizlerdiń dál boljawımızǵa qoyılatuǵın shekler orın aladı (anıqsızlıq principini).

Kvantlıq mexanika baqlawlardı klassikalıq fizikanıń túsinipleri menen sáykes kelmeytuǵın teoriyalardan izbe-izlik penen payda boldı. Bunday teoriyalardıń qatarına 1900-jılǵı Maks Planktıń absolyut qara deneniń jıllılıq nurlanıw mashqalasın sheshiwi hám Albert Eynshteynniń 1905-jılı jarıq kórgen fotoeffektke túsindiriw ushın jaqtılıq kvantınıń energiyası menen jiyiligi arasındaǵı sáykeslikke ornatqan maqalasın kórsetiwge boladı. Házirgi waqıtları "eski kvantlıq teoriya" ataması menen belgili bolǵan bul eń dáslepki tırısıwlar 1920-jıllardıń ortalarında Nils Bordin, Ervin SHredingerdiń, Verner Geyzenbergtiń, Maks Bornnıń hám basqalardıń jumıslarında kvantlıq mexanikanıń joqarı pátler menen rawajlanıwına alıp keldi. Házirgi teoriya arnawlı túrde islep shıǵılǵan matematikalıq formalizmlerdi paydalanıw menen keltirip shıǵarıladı. Olardıń birinde tolqın funkciyası dep atalatuǵın matematikalıq mańız energiyanı, impulstı hám

bóleksheniń basqa da fizikalıq qásiyetlerin ólshepler alıp keletuǵın nátiyjelerdiń itimallıǵınıń amplitudası túrindegi informaciyanı beredi.

SHoliw hám tiykarǵı túsinikler.

Kvantlıq mexanika fizikalıq sistemalardıń qásiyetlerin esaplawǵa múmkinshilik beredi. Ádette onı mikroskopiyalıq sistemalar bolǵan molekulalar, atomlar hám subatomlıq bóleksheler ushın qollanadı. Kvantlıq mexanikanıń mınlaǵan 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 paydalanıwǵa tırısw tutası menen alǵanda spekulyaciyalıq háreketler bolıp tabıladı.

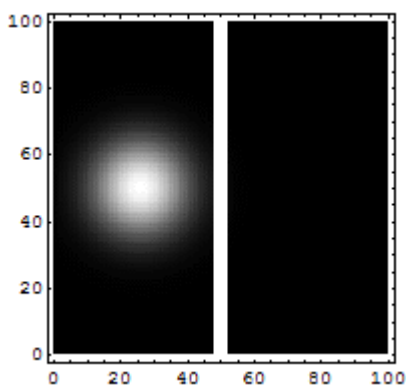
Vigner paradoksınıń SHrëdingerdiń pıshıq penen ótkergen eksperimentiniń quramalı variantı bolıp tabıladı hám bul haqqında keyinirek gáp etemiz.

Kvantlıq teoriyanıń fundamentallıq ózgesheligi onıń fizikalıq shamalardıń (dinamikalıq ózgeriwshilerdiń) mánislerin anıq ayta almawınan, al tek olardı ólshewdiń itimallıǵın beriwinen ibarat. Matematikalıq itimallıq "itimallıq amplitudası" ataması menen belgili bolǵan kompleksli sannıń absolyut mánisin kvadratqa kóteriw jolı menen tabıladı. Bul tastıyqlaw Born qaǵıydası ataması menen belgili (Belgili fizik Maks Bornnıń húrmetine). Mısalı, elektron sıyaqlı kvantlıq bóleksheler keńisliktiń hár bir noqatında itimallıqtıń amplitudasın beretuǵın tolqın funkciyası menen táriyiplenedi. Bul amplitudalarǵa Bornnıń qaǵıydasın paydalanıw bóleksheniń koordinatası ushın itimallıqtıń tıǵızlıǵınıń funkciyasın anıqlaydı (eger bóleksheniń koordinatasın ólshew boyınsha eksperiment qoyılatuǵın bolsa). Bul teoriya bere alatuǵın nátiyjeniń eń jaqsısı bolıp tabıladı. Elektronnıń qaysı orında tabılatuǵınlıǵın dál aytıwǵa bolmaydı. SHrëdinger teńlemesi sistemanıń waqıt boyınsha evolyuciyasın táriyipleydi, yaǵnıy waqıttıń bir momentine tiyisli bolǵan amplitudalardıń jıynaǵın waqıttıń basqa momentine tiyisli bolǵan itimallıqlar amplitudalarınıń jıynaǵı menen baylanıstıradı.

Hár qıylı ólshenetuǵın shamalardı anıqlaw barısındaǵı tırıswlardaǵı kompromiss kvantlıq mexanikanıń matematikalıq qaǵıydalarınıń nátiyjeleriniń biri bolıp tabıladı. Usınday kompromisstiń eń belgili forması anıqsızlıq principi. Bul princip boyınsha kvantlıq bóleksheniń halınıń qanday dárejede muqiyatlı tayarlanǵanlıǵınan, ólsheplerdiń qanshama sheberlik penen dálilgi joqarı bolǵan ásbaplardıń járdeminde ótkerilgenliginen gárezsiz, waqıttıń bir momentindegi bóleksheniń koordinataları menen impulsiniń mánislerin anıqlawdıń múmkinshiligi joq.

Kvantlıq mexanikanıń matematikalıq qaǵıydalarınıń jáne bir nátiyjesi kvantlıq interferenciya bolıp tabıladı. Bunday interferenciyaǵa mısál sıpatında ádette eki sańlaqqa iye bolǵan tájiriye alınadı. Bul eksperimenttiń bazalıq variantında jaqtılıqtıń kogerentli deregi (mısalı, lazer) bir birine parallel bolǵan eki sańlaqqa iye móldir bolmaǵan plastinkanı jaqtılandıradı hám sańlaqlar arqalı ótken jaqtılıq plastinkanıń artına jaylastırılǵan ekranda baqlanadı. Jaqtılıqtıń tolqınlıq tábiyatı jaqtılıq tolqınlarınıń eki sańlaq arqalı ótetuǵınlıǵın hám ekranda qarańǵı hám jaqtılıq jolaqlardan turatuǵın interferenciyalıq súwrettiń payda bolatuǵınlıǵın ańǵartadı. Eger jaqtılıq klassikalıq bólekshelerden turatuǵın bolǵanda bunday nátiyje alınbaǵan bolar edi. Biraq, tájiriyeler barlıq waqıtta jaqtılıqtıń ekrannıń ayırım noqatlarında ayırım bóleksheler túrinde (al tolqınlar túrinde emes) jutılatuǵınlıǵın kórsetedi. Interferenciyalıq súwret bólekshelerdiń

túsiwiniń saldarınan fotoplastinkadaǵı payda bolǵan qara noqatlardıń hár qıylı tıǵızlıqlarǵa iye bolatuǵınlıǵı sebepli qalıpleseı. Usınıń menen birge, tájiriýbeniń basqa variaciýalarında sańlaqlarǵa orıalastırılǵan detektorlar baqlanatuǵın hár bir fotonniń klassikalıq bólekshe sıyaqlı tek bir sańlaq arqalı ótetuǵınlıǵın, al eki sańlaq arqalı ótpeytuǵınlıǵın (tolqın tárizli) kórsetedi. Bul eksperimentlerden bóleksheleardıń qaysı sańlaq arqalı ótetuǵınlıǵın anıqlaǵan jaǵdayda interferenciýalıq súwret payda bolmaydı dep juwmaq kelip shıǵadı. Elektronlar sıyaqlı atomlıq masshtablardaǵı basqa obǵektler de eki sańlaǵı bar ekrangá kelip túskende tap sonday qásiyetti kórsetedi. Mikroobǵektlerdiń usınday qásiyeti "korporuskulalıq-tolqınlıq dualizm" ataması menen belgili hám ol kvantlıq mexikanıń fizikalıq tiykarı bolıp esaplanadı (geypara avtorlar bul dualizmdi kvantlıq mexikanıń "júreginde jaylasqan" dep aytadı).



Tunnellik effekt.

Kvantlıq mexanika elektronlardıń potenciallıq barer arqalı óte alatuǵınlıǵın kórsetedi hám onıń durıs ekenligin eksperimentlerdiń nátiýjeleri tastıyıqladı. Al klassikalıq mexanika bolsa tunnellik effektiniń bolıwı múmkin emes dep esaplaydı.

Kvantlıq mexikanıń kúndelikli tájiriýbelerge qayshı keletuǵın jáne bir qubılısı kvantlıq tunnelleniw bolıp tabıladı. Bunday tunnelleniwde kinetikalıq energiyasınıń shaması potencialdıń maksimumınıń shamasınan kishi bolǵan jaǵdayda da potenciallıq barer menen soqlıǵısqanda bólekshe usı barer arqalı óte aladı. Klassikalıq mexanikada bul bólekshe barlıq waqıtta barerde shaǵılısadı. Kvantlıq tunnelleniw kóp sanlı baqlanatuǵın nátiýjelerge iye. Olardıń ishine radioaktivli ıdıraw, juldızlardaǵı yadrolıq sintez kiredi. Conıń menen birge ol skanerlewshi tunnellik mikroskopiyanıń, tunnellik diodlardıń payda bolıwına alıp keldi.

Kvantlıq sistemalar bir biri menen tásirlesetuǵın jaǵdaylardıń nátiýjesi kvantlıq shatasıwdıń payda bolıwı múmkin: olardıń qásiyetleri sonday baylanısqa bolıp, olardı pútini menen ayırım bólimleriniń terminlerinde táriýiplew múmkin bolmaydı. SHrédinger shatasıwdı bılayınsha táriýipledi: "... kvantlıq mexikanıń ózine tán belgisi - túsiniwdiń klassikalıq 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 psevdotelepatıyanıń aqılǵa sáykes kelmeytuǵın qásiyetlerin júzege keltiredi hám gıltlerdiń kvantlıq tarqalıwı hám asa tıǵız kodlaw sıyaqlı baylanıs protokollarında júdá bahalı usılǵa aylana aladı. Ulıwma qáte túsinikke qaramastan, shatasıw signallardı jaqtılıqtıń tezliginen úlken tezlik penen jetkerip beriwge múmkinshilik bermeydi. Bul jaǵdaydıń orın alatuǵınlıǵın baylanıstıń joqlıǵı haqqında teorema demonstraciýalay aladı.

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

shamalarğa salıstırğanda fundamentallıraq. Olardı biliw kvantlıq teoriya bere alatuğın boljawlardan dálirek boljawlardı bergen bolar edi. Alınğan nátiyjelerdiń kópshiligi, birinshi gezekte Bell teoreması jasırın parametrlerge iye bolğan usınday teoriyalardıń haqıyqatında kvantlıq mexanika menen úylespeytuğınlıǵın kórsetti. Bell teoremasına sáykes, eger tábiyat haqıyqatında da lokallıq jasırın ózgeriwshilerdiń teoriiyası menen táriyiplenetuğın bolsa, onda Bell teńsizliklerin tekserip kóriwdiń nátiyjeleri sanlıq bahalawğa bolatuğında dárejede sheklengen boladı. SHatasqan bólekshelerdi paydalanğan halda Belldiń kóp sanlı testleri ótkerildi hám olardıń nátiyjeleri lokallıq jasırın parametrlar bar teoriyalar tárepinen qoyılatuğın sheklerge sáykes kelmeytuğın bolıp shıqtı.

Eger ayqın matematikanı paydalanbasa bul túsiniqlerdi hátte ústirtin kóz aldığa keltiriwdiń múmkinshiligi 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 interpretaciyların túsiniwdiń múmkinshiligi 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 túrde sıpatlap, mınalardı jazdı:

"Kóplegen fizik-studentler ushın bul olarğa úshinshi klasstan baslap aspiranturanıń baslanıwına shekemgi waqıttı shama menen 15 jıldı alıwı múmkin. (...). Ilimdi násiyatlawshınıń kvantlıq mexanika haqqında qanday da bir ideyanı usı etaptan ótpegen keń auditoriyağa jetkiziwge tırısatuğın jumısınıń kólemi qorqınshılı bolıp kórinedi. Haqıyqatında da, meniń oyımsha, kvantlıq mexanikanı kópshilik ushın túsiniqli etip bayanlawdıń múmkinshiliginiń joq ekenligi usı jaǵday menen baylanıslı".

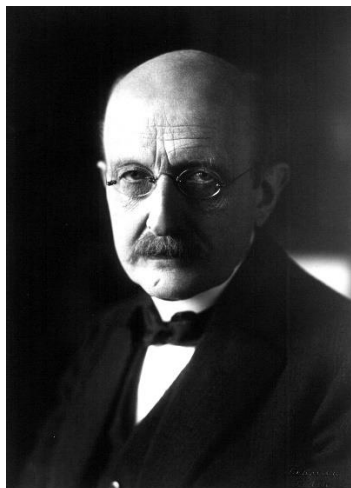
Usıǵan sáykes, bul maqalada kvantlıq mexanikanıń matematikalıq formulirovkası keltirilgen hám onıń bazı bir paydalı hám jiysi úyreniletuğın mısallardaǵı qollanıwı qarap ótilgen.

Tariyxı.

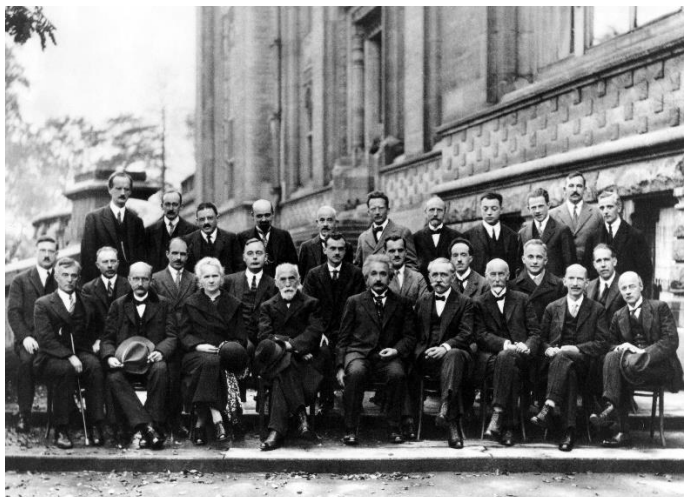
Kvantlıq mexanika 20-ásirdiń birinshi on jıllıqlarında klassikalıq jaqınlasıwdıń sheklerinde túsindiriw múmkin bolmağan qubılıslardı túsindiriw zárúrligine baylanıslı islep shıǵıldı. Jaqtılıqtıń tolqınlıq tábiyatın izertlew XVII hám XVIII ásirlerde baslandı. Usı waqıtları Pobert Guk, Xristian Gyuygens hám Leonard Eyler sıyaqlı alımlar jaqtılıqtıń eksperimentallıq baqlawlarğa tiykarlangan tolqınlıq teoriyasın usındı. 1803-jılı ingliz eruditi Tomas YAng eki sańlaq penen ótkerilgen eksperimentti táriyipleđi. 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 tabısları materiyanıń atomlardan turatuğınlıǵı haqqındaǵı ideyaǵa isenimdi jáne de bekkemledi, biraq bul teoriyanıń tek kvantlıq mexanikanıń rawajlanıwı menen

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



Maks Planktı kvantlıq teoriyanıń atası dep esaplaydı.



Bryussel qalasında 1927-jılı bolıp ótken Colvey konferenciya 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 túsindiriwge múmkinshilik berdi. "Kvant" sózi latin 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 jiyiligine (ν) proporcional:

$$E = h\nu.$$

Bul ańlatpadaǵı h shaması Plank turaqlısı dep ataladı. Plank abaylap, bul jaǵdaydı nurlanıwdıń jutılıw hám nurlanıw processleriniń tek aspekti, al nurlanıwdıń fizikalıq ózgesheligi emes dep túsindiriwge tırıstı. Ol haqıyqatında óziniń kvantlıq gipotezasın tek matematikalıq hiylekerlik dep esaplaw menen zor ilimiy ashılıw dep qabıl etiwdiń qaysısın saylap alıwdı bilmedi. Biraq, 1905-jılı Albert Eynshteyn Planktıń gipotezasın durıs interpretaciyaladı hám onı fotoelektrik effektı (fotoeffektı) túsindiriw ushın paydalandı. Fotoeffektte belgili materiallarǵa túsken jaqtılıq usı materiallardan elektronlardı ushırıp shıǵara aladı. Bunnan keyin Nils Bor Planktıń nurlanıw haqqındaǵı ideyaların rawajlandırdı hám onı vodorod atomınıń modeline kirgizdi hám nátiyjede vodorodtıń spektrallıq sıızqların tabısı túrde boljay aldı. Jaqtılıq sıyaqlı elektromagnit tolqındı jiyilikten gárezli bolğan energiyanıń diskret mánisine iye bolatuǵın bóleksheler (keyinirek foton atamasına

ie bolğan) dep táriyiplewdiń múmkin ekenligin boljap, Eynshteyn bul teoriyanı jáne de rawajlandırdı. Óziniń "Nurlanıwdıń kvantlıq teóriyası" (ingliz tilinde "On the Quantum Theory of Radiation") maqalasında Eynshteyn atomlardıń energiyanı jutıwı menen shıǵarıwın túsindiriw ushın energiya menen materiyanıń arasındaǵı óz-ara baylanıstı keńeytti. Col waqıtları bul ideya onıń ulıwmalıq salıstırmalıq teóriyasınıń sayasında qalıp qoyǵan bolsa da, bul maqalada stimulyaciyalanǵan nurlanıwdıń tiykarında jatatuǵın mexanizm ashıldı. Keyinirek bul mexanizm lazerlerdiń islewiniń tiykarǵı principine aylandı.

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

1920-jıllardıń ortasında atomlıq fizikanıń standart formulirovkasına aylanǵan kvantlıq mexanika islep shıǵıldı. 1923-jılı francuz fizigi Lui de Broyl materiya tolqını teóriyasın usındı hám bóleksheler tolqınlıq qásiyetke, al tolqınlar bólekshelik xarakteristikalarǵa iye boladı dep daǵazaladı. De Broyldıń ideyasına tiykarlanǵan házirgi kvantlıq mexanika 1925-jılı tuwıldı. Usı jılı nemis fizikleri Verner Geyzenberg, Maks Born hám Paskual Ýordan matricalıq mexanikanı islep shıqtı, al avstriyalı fizik Ervin SHrëdinger tolqınlıq mexanikanı oylap taptı. 1926-jılı iyul ayında Born SHrëdingerdiń tolqın funkciyasınıń itimallıqtıń interpretaciyasın usındı. Colay etip, kvantlıq fizikanıń bir pütün oblasti payda boldı. Bul jaǵday 1927-jılı bolıp ótken besinshi Colvey konferenciyasında fizikanıń bul tarawınıń keń túrde moyınlanıwına alıp keldi.

1927-jılı V.Gaytler menen F.London vodorod molekulasınıń spektrin esapladı hám molekulardaǵı ximiyalıq baylanıstıń payda bolıwın túsindirdi. F.Blox kristallıq pánjereniń dáwirlik potencialındaǵı bólekshelerdiń qozǵalıswınıń tiykarın qaladı. Col jılı V.Pauli SHrëdinger teńlemesin spindi esapqa alıp ulıwmalastırdı. 1928-jılı elektron ushın relyativistlik teńleme bolǵan Dirak teńlemesi keltirip shıǵarıldı hám bul teńlemenin tiykarında antibólekshelerdiń bar ekenligi boljandı.

Eynshteyn kvantlıq mexanikanı tolıq dóretilip bolınǵan teoriya, yaǵnıy tábiyattı tolıq táriyipleytuǵın teoriya dep qabıl etpedi. Conlıqtan, 1935-jılı shatasqan sistemada payda bolatuǵın paradoks haqqındaǵı maqala payda boldı. Házirgi waqıtları bul paradokstı Eynshteyn-Podolskiy-Pozen paradoksı (EPP-paradoks) dep ataydı. SHrëdinger EPP-paradoks ideyasın qollap-quwatladı hám SHrëdinger pıshıǵın oylap taptı. Bul paradokslar kvantlıq mexanikanıń tiykarın izertlewshilerdiń dıqqatın ózine awdaradı.

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

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

processin formallastırıwǵa, reallıq haqqındaǵı biziń bilimlerimizdiń statistikalıq tábiyatına hám "baqlawshı" haqqındaǵı filosofiyalıq tallawlarǵa awdardı⁸. Col dáwirlerden beri bul formallastırıw menen unifikaciya kóp sanlı pánlerge, solardıń ishinde kvantlıq ximiyaǵa, kvantlıq optikaǵa hám kvantlıq informatikaǵa kirdi. Ol ximiyalıq elementlerdiń házirgi waqıtlardaǵı dáwirlik sistemasınıń ózgesheliklerin de túsindiredi hám ximiyalıq baylanıs payda bolǵan waqıttaǵı atomlardıń qanday qásiyetlerge iye bolatuǵınlıǵın hám yarım ótkizgishlerdegi elektronlar toǵın túsindiredi. Conlıqtan, házirgi waqıtlardaǵı kóp sanlı texnologiyalarda sheshiwshi orındı iyeleydi. Kvantlıq mexanika dúnyanı júdá kishi masshtablarda táriyiplew ushın dóretilgen bolsa da, ol bazı bir makroskopiyalıq qubılıslardı túsindiriw ushın da zárúrli. Bunday makroskopiyalıq qubılıslardıń qatarına asa ótkizgishler hám asa aqqısh suyıqlıqlar kiredi. Birinshi áwlad asa ótkizgishlik qubılısınıń teoriyasın 1957-jılı D. Bardin L. Kuper hám SHriffer dóretti.

1954-jılı Ч. Таунсті́н, N. G. Басовті́н hám A. M. Прокхоровті́н jumıslarınıń nátiyjesinde birinshi mikrotolqınlıq generatorlar bolǵan ammiaktaǵı mazerler payda boldı. Optikalıq diapazondaǵı nurlanıwdı kúsheytıw ushın T.Meyman tárepinen rubin paydalanıldı. 1963-jılı J. Alfërov birinshi yarım ótkizgish geterostrukturaların dóretti. Olardıń tiykarında házirgi zaman yarım ótkizgish lazerler soǵıladı.

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

Matematikalıq formulirovka.

Kvantlıq mexanikanıń qatań túrdegi matematikalıq formulirovkasında kvantlıq-mexanikalıq sistemasınıń halın kompleksli $\mathcal{H}$ gilbert keńisliginde berilgen ψ vektorı kórsetedi⁹. Bul vektor Gilbert keńisligindegi skalyar kóbeymege qarata normirovkalangan

⁸ **Formalizaciya** - qanday da bir mazmunı bar oblasttı (tallawlardı, dálillewlerdi, klassifikaciya proceduraların, informaciylardı, ilimiy teoriyalardı izlewdi) formallıq sistema yamasa esaplawlar túrinde kórsetiw.

Matematikadaǵı formalizm - matematikanıń filosofiyasındaǵı fundamentallıq baǵdarlardıń biri. Conıń menen birge "Formalizm" haqqında gáp etkende formallıq sistemasını yamasa belgilewler sistemasın názerde tutadı. Formallıq sistema bolsa sırtqı dúnya menen baylanıslı bolmaǵan abstrakt ob'ektlerdiń jıynaǵı bolıp tabıladı. Qatań túrde táriyiplengen formallıq sistemalar Gilbert máselesi qoyılǵannan keyin payda boldı.

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

⁹ **Gilbert keńisligi** - sheksiz kóp ólshemlerge iye, skalyar kóbeymeden tuwılǵan metrika boyınsha tolıq keńislik bolıp, ol Evklid keńisliginiń ulıwmalastırılǵan túrinen ibarat. David Gilberttiń húrmetine atalǵan.

dep boljanadı, yaǵnıy $\langle \psi, \psi \rangle = 1$ shártine baǵınadı hám ol moduli 1 ge teń bolǵan kompleksli san dáliginde korrektli anıqlanǵan yamasa basqa sózler menen aytqanda ψ 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 ǵárezli. Mısalı, bóleksheniń koordinataları menen impulsın táriyiplew ushın gilbert keńisligi $L^2(\mathbb{C})$ kvadratı menen integrallanatuǵın kompleksli funkciyalardıń keńisligi bolıp tabıladı, bir bóleksheniń spini 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 haldaǵı baqlanatuǵın shamanıń mánisi bolıp tabıladı. Ulıwmaraq mániste kvantlıq hal kvantlıq superpoziciya túrinde belgili bolǵan menshikli hallardıń sızıqlı kombinaciyası sıpatında beriledi. Baqlanatuǵın shamanı ólshegende alınǵan nátiyje onıń diskretlik mánisleriniń biri bolıp tabıladı. Usı mánistiń alınıwınıń itimallıǵı Born qaǵıydasınıń járdeminde anıqlanadı: eń ápiwayı bolǵan jaǵdayda menshikli mánis λ azǵınǵan emes, al itimallıq $|\langle \vec{\lambda}, \psi \rangle|^2$ shamasına teń ($\vec{\lambda}$ - onıń menshikli vektorı). Ulıwmaraq bolǵan jaǵdayda menshikli mánis azǵınǵan, al itimallıq $\langle \psi, R_\lambda \psi \rangle$ ańlatpasınıń járdeminde anıqlanadı. Bul qawsırmanıń ishindegi R_λ - onıń menen baylanıslı bolǵan keńislikke proektor. Menshikli mánislerdiń úzliksiz spektri qaralatuǵın jaǵdaylarda bul formulalar itimallıqtıń tıǵızlıǵı túsiniǵın paydalanadı.

Eger ólshewden keyin λ nátiyjesi alınǵan bolsa, onda azǵınbaǵan jaǵdayda kvantlıq haldıń $\vec{\lambda}$ ǵa, al ulıwma jaǵdayda $R_\lambda \psi / \langle \psi, R_\lambda \psi \rangle$ ǵa shekem kollapslanadı. Colay etip, kvantlıq mexanikanıń itimallıqlıq xarakterge iye ekenligi ólshew processinen kelip shıǵadı. Bul kvantlıq sistemalardıń fizikalıq aspektlerin túsiniwdiń eń quramalı tárepin sáwlelendiredi. Bul Bor menen Eynshteyn arasındadı belgili bolǵan pikir talaslarınıń oraylıq máselesi boldı. Bul talaslarda eki alım bul fundamentallıq principleri oydaǵı eksperimentlerdiń járdeminde ayqınlastırıwǵa tırıstı. Kvantlıq mexanika dóretilgennen keyin bir neshe on jıllıqlar dawamında "ólshewdiń" ne ekenligi haqqındaǵı másele keńnen úyrenildi. Kvantlıq mexanikanıń házirgi zamánǵa sáykes keletuǵın interpretaciyaları islep shıǵıldı hám olar "tolqın funkciyasınıń redukciyası" koncepciyasınan qutıldı (mısıl retinde qarańız" kóp ólshemli interpretaciya). Tiykargı ideya mınadan ibarat: kvantlıq sistema ólshew ásbabı menen óz-ara tásirlesetuǵın bolsa, onda olardıń sáykes tolqın funkciyaları shatasadı, nátiyjede baslanǵısh kvantlıq sistema ǵárezsiz tulǵa sıpatında ómir súriwdi toqtatadı.

Gilbert keńisliginde izertlenetuǵın eń áhmiyetli obǵekt sızıqlı operatorlar bolıp tabıladı. Gilbert keńisligi túsiniǵiniń ózi Gilbert penen SHmidtıń integrallıq teńlemeler teoriiyası boyınsha jumıslarında qalıplesti, al abstraktlıq anıqlama fon Neyman menen Ctounniń ermit operatorları teoriiyası boyınsha islegen jumıslarında berildi.

Ÿaqıtqa baylanıslı kvantlıq sistemaniń evolyuciyası SHr dinger teńlemesiniń járdeminde táriyiplenedi:

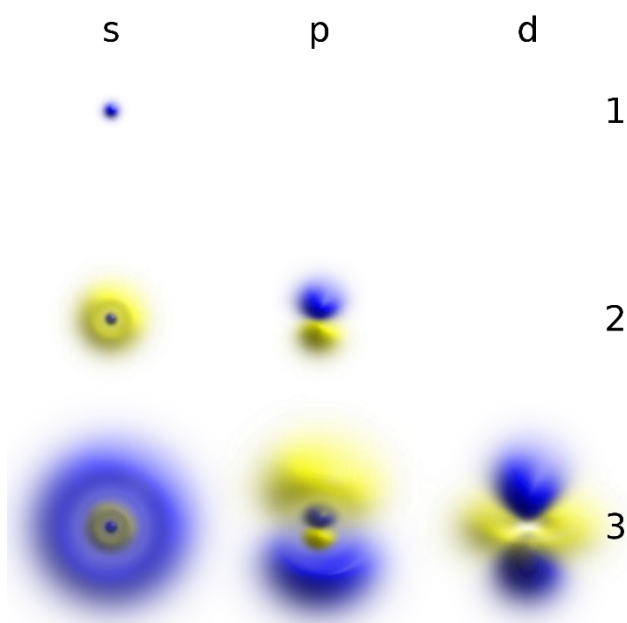
$$i\hbar \frac{d}{dt} \psi(t) = H\psi(t).$$

Bul ańlatpada H - sistemaniń gamiltonianı yamasa energiyanıń tolıq energiyasına sáykes keletuđın baqlanatuđın shamanıń operatori, $\hbar$ - Planktıń keltirilgen turaqlısı. $i\hbar$ turaqlısı kvantlıq sistema óziniń q sietleri boyınsha sáykes klassikalıq modelge jaqın bolatuđın jađdayda gamiltoniannıń klassikalıq gamiltonianǵa alıp keliniwi ushın qoyılǵan; belgili bolǵan sheklerde bunday jaqınlasıwdıń isleniwi sáykeslik principi dep ataladı.

Joqarıda keltirilgen differenciallıq teńlemenıń formal t rindegi sheshimi mınaday ańlatpanıń j rdeminde beriledi

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

$U(t) = e^{-\frac{iHt}{\hbar}}$ ańlatpası evolyuciya operatori sıpatında belgili h m j d   hmiyetli bolǵan unitarlıq q sietke iye boladı. Bul jağdayda baslanǵısh $\psi(0)$ kvantlıq hal aldın-ala belgili bolsa, onda $\psi(t)$ funkciyası q legen basqa waqıtta kvantlıq halınıń evolyuciyasın beredi degen m niste determinaciyalanǵan boladı.



Belgili energiya q ddilerine (s wrettiń joqarǵı b liminen t mengi b liminde $n = 1, 2, 3$ ke shekem  setuğın) h m m yeshlik momentke (shepten ońǵa qaray $s, p, d, \dots$ t rinde  setuğın) iye vodorod atomındaǵı elektronga s ykes keletuğın itimallıqtıń tıǵızlıqları. Tıǵızraq oblastlar orındı  lshegendegi itimallıqtıń joqarı tıǵızlıǵına sáykes keledi. Bunday tolqın funkciyaların klassikalıq fizikadaǵı terbelislerdiń akustikalıq modalarınıń Xladni figurası menen tikkeley salıstırıwǵa boladı¹⁰. Conıń menen birge belgili energiyaǵa h m oǵan sáykes keletuğın jiyilikke iye terbelislerdiń modaları bolıp tabıladı. M yeshlik

¹⁰ **Xladni** figuraları - serpimli terbelip turǵan plastinkanıń betindegi mayda b lekshelerdiń (mısalı, qumnıń) shuqırlarda h m t yinlik sıızılardıń boyında jıynalıwınıń saldarınan payda bolǵan figuralar. Olardı tapqan nemis fizigi Erns Xladnidiń hürmetine atalǵan. Xladni figuralarınıń payda bolıw sebepleri kinematika t repinen  yreniledi.

moment penen energiya kvantlangan hám tek diskret mánislerge iye bola aladı (akustikadağı rezonanslıq jiyiliklerdey).

Bazı bir tolqın funkciyaları gamiltoniannıń menshikli mánisleri sıyaqlı waqıttan gárezsiz bolǵan itimallıqlardıń tarqalıwın táriyipleydi. Klassikalıq mexanikada qaralatuǵın kóp dinamikalıq sistemalar usınday "stacionar" tolqın funkciyalarınń járdeminde táriyiplenedi. Mısalı, qozbaǵan atomdağı bir elektron klassikalıq jaqtan atomnıń yadrosınıń dógereginde 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 tabıladı.

SHrédinger teńlemesiniń analitikalıq sheshimi júdá kóp bolmaǵan salıstırmalı ápiwayı modellik gamiltonianlar ushın ǵana belgili. Olardıń qatarına garmonikalıq oscillyator, potencial shuqırdıń 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).

Juwiq sheshimlerdi tabıwdıń usılları bar. Uytıqıw teoriiyası dep atalatuǵın usıl ápiwayı kvantlıq-mexanikalıq model ushın alınǵan analitikalıq nátiyjeni oǵan uqsas, biraq biraz quramalıraq bolǵan model ushın, mısalı, kishi potenciallıq energiyanı qosıw jolı menen máseleni sheshedi.

Anıqsızlıq principi.

Kvantlıq mexanikanıń formalizminiń nátiyjeleriniń biri anıqsızlıq principi bolıp tabıladı. Óziniń belgili bolǵan formasında ol kvantlıq bólekshe ushın bir waqıtta koordinata menen impulsti boljawǵa bolmaydı dep tastıyıqlaydı. Koordinata menen impuls baqlanatuǵın shamalar bolıp tabıladı, yaǵnıy olardı ermitlik operatorlar menen kórsetiwge boladı. Koordinata operatorı $\hat{X}$ penen impuls operatorı $\hat{P}$ bir biri menen kommutaciyanbaydı, al mınaday kanonikalıq kommunikaciyalıq qatnastı qanaatlandıradı

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

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

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

anılatpasın hám soǵan impuls ushın

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

anılatpaların jazıwǵa boladı.

Anıqsızlıq principi

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

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 ulıwmalastırıladı. Anıqlama boyınsha bul eki operatordıń kommutatorı bılayınsha jazıladı:

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

Bul teńlik standart awısıwlarıń kóbeymesi ushın tómengi shegaranı anıqlaydı.

Kanonikalıq kommutaciyalıq qatnastan koordinata menen impuls operatorlarınıń bir biriniń Fure túrlendiriwleri ekenligi kelip shıǵadı. Obǵektti impulslik keńislikte táriyiplew onıń koordinatalıq táriyipiniń Fure túrlendiriwi menen beriledi. Impulsten ǵárezliktiń koordinatalıq ǵárezliktiń Fure túrlendiriwi bolıp tabılatuǵınlıǵı faktı impuls operatorınıń $(i/\hbar)$ kóbetiwshisine shekemgi dáliliktegi koordinata boyınsha tuwındı alıwǵa ekvivalent ekenligin ańǵartadı, sebebi Fure analizinde differenciallaw operaciyasına ekilik keńisliktegi kóbeytiw sáykes keledi. Conlıqtan, koordinatalıq kórinistegi kvantlıq teńlemelerde p_i impuls $-i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ ańlatpası menen almasırladı. Dara jaǵdayda, koordinatalıq keńisliktegi SHrëdingerdiń relyativistlik emes teńlemesinde impulstıń kvadratı $-\hbar^2$ qa kóbeytilgen laplasian menen almasırlan.

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 sistemanı gilbert keńisligi bılayınsha jazıladı:

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

Eger birinshi sistema ushın hal ψ_A vektorı, al ekinshi sistema ushın hal ψ_B vektorı bolsa, onda quramlıq sistemanıń halı mınaday kóriniske iye boladı:

$$\psi_A \otimes \psi_B.$$

Eki gilbert keńisliginen ibarat gilbert keńisligindegi barlıq $\mathcal{H}_{AB}$ hallardı bunday formada jazıwǵa bolmaydı. Cebebi superpoziciya principi bunday "bólinetuǵın" yamasa "quramlıq" hallardıń sıızılı kombinaciýalarınıń múmkin ekenligin ańǵartadı. Mısalı, eger ψ_A menen ψ_B hallarınıń ekewi de A sistemasınıń múmkin bolǵan halları, al ψ_B menen ϕ_B bolsa B sistemasınıń múmkin bolǵan halları bolsa, onda jańa

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

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

Eger quramlıq sistemanıń halı shatasqan bolsa, onda onıń qurawshı sisteması bolǵan A sistemasın da, B sistemasın da hal vektorınıń járdeminde táriyiplewge bolmaydı. Onıń ornına podsistemanıń tıǵızlıǵınıń matricaların anıqlawǵa boladı. Bul matricalardı sistemanıń qálegen bir qurawshısınıń ústinen ólshewler ótkeriw jolı menen alıwǵa boladı. Biraq, bul informaciyanıń sózsiz joǵalıwına alıp keledi: ayırım sistemalardıń tıǵızlıqlarınıń matricaların biliw quramlıq sistemanıń halın tiklew ushın jetkiliksiz. Dál tap usı sıyaqlı, tıǵızlıq matricaları irirek bolǵan sistemanıń podsistemasınıń halın anıqlaydı. Tap usınday jollar menen oń operatorlıq ólshemler (POVM) irirek bolǵan sistemada orınlangan ólshewdiń podsistemaǵa tásirin táriyipleydi. Informasiyanıń kvantlıq teoriyasında POVM keńnen qullanıladı.

Joqarıda bayanlanganday, 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 dekoherenciya ataması menen belgili hám ol ámelde

makroskopiýalıq sistemalardaǵı kvantlıq effektlerdi baqlawdıń nelikten qıyın ekenligin túsindire aladı.

Formulirovkalardıń ekvivalentligi.

Kvantlıq mexanikanıń bir biri menen ekvivalent bolǵan kóp sanlı formulirovkaları bar. Eń eskileriniń hám teń tarqalǵanlarınń biri Pol Dirak tárepinen usınılǵan "túrlendiriwler teoriyası" bolıp tabıladı. Ol kvantlıq mexanikanıń eń dáslepki eki formulirovkası bolǵan matricalıq mexanika (Verner Geyzenberg tárepinen oylap tabılǵan) menen tolqınlıq mexanikanı (Ervin SHrëdinger tárepinen oylap tabılǵan) biriktiredi hám ulıwmalastıradı. Kvantlıq mexanikanı alternativlik túrde Feynman traektoriyaları boyınsha formuliroklawǵa boladı. Bunday formulirovkada kvantlıq-mexanikalıq amplituda baslanǵısh hám aqırǵı hallar arasındalığı múmkin 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 waqıt boyınsha evolyuciya generatorı sıpatında belgili. Cebebi ol waqıt t nıń hár bir mánisi boyınsha evolyuciyanıń $U(t) = e^{-iHt/\hbar}$ unitarlıq operatorın anıqlaydı. $U(t)$ menen H tıń arasındalığı usınday qatnastan H penen kommutaciyalanatuǵın qálegen A baqlanatuǵın shamanıń saqlanatuǵınlıǵı kelip shıǵadı. Cebebi onıń kúiletuǵın mánisi waqıttıń ótiwi menen ózgermeydi. Bul tastıyıqlaw bılayınsha ulıwmalastırıladı: qálegen A ermit operatorı t ózgeriwshisi boyınsha parametrlestirilgen unitarlıq operatorlardıń semeystvosın tuwdıradı. A tárepinen tuwdırılǵan evolyuciya degende usı A menen kommutaciyalanatuǵın qálegen B baqlanatuǵın shamasınıń saqlanatuǵınlıǵın túsinemiz. Onıń ústine, eger A tuwdırǵan evolyuciya B saqlanatuǵın bolsa, onda B tuwdırǵan evolyuciya A saqlanadı. Bul klassikalıq (lagranjlıq) mexanikada Emmi Nëter tárepinen dálillengen nátiyjeniń kvantlıq versiyasın ańǵartadı: háreketti invariant etip qaldıratuǵın simmetriyanıń hár bir úzliksiz túrlendiriwi ushın sáykes saqlanıw nızamı bar boladı.

Mısallar.

Erkin bólekshe.

Koordinatalıq erkinlik dárejesine iye bolǵan kvantlıq sistema ushın eń ápiwayı misal bir keńisliklik ólshemdegi erkin bólekshe bolıp tabıladı. Erkin bólekshe haqqında gáp etkende sırtqı tásir tiymeytuǵın bóleksheni názerde tutamız hám, sonlıqtan, onıń gamiltonianı tek kinetikalıq energiyadan turadı hám sáykes SHrëdinger 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 ajratıwǵa múmkinshilik beredi hám SHrëdinger teńlemesiniń ulıwmalıq sheshimi qálegen 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 ω - 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 $t = 0$ waqıt 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. Yaǵıttıń qálegen momentindegi tolqın funkciyasınıń qásiyetin tabıw ushın integrallaw jetkilikli. Tıǵızlıq tolqın funkciyasınıń moduliniń kvadratı tárepinen beriledi. Qálegen waqıt 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 etpeytuǵın klassikalıq bólekshe sıyaqlı turaqlı $\frac{\hbar k_0}{m}$ tezligi menen qozǵaladı. Biraq, waqıttıń ótiwi menen tolqın paketi $\frac{\hbar t}{ma}$ shamasına jayıladı, yaǵnıy onıń ornı kem-kemnen anıq emes bola beredi. Bul usı bettegi animaciya kórsetilgen.



Koordinatalıq keńisliktegi gausslıq tolqın paketiniń itimallıǵınıń tıǵızlıǵı (paket bir ólshemli erkin keńislikte qozǵaladı).

Qutıdaǵı bólekshe.

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

x bağıtındaғы bir ólshemli jaǵday ushın waqıttan ǵárezsiz bolǵan SHrédinger 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 operatorı qollanatuǵın bolsaq, onda aldınıǵı teńleme ψ halındaǵı kinetikalıq energiyanıń klassikalıq analogın eske túsiredi:

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

Bul jaǵdayda E energiyası bóleksheniń kinetikalıq energiyasına sáykes keledi. Qutıdaǵı bólekshe ushın SHrédinger teńlemesiniń ulıwma sheshimi mınaday túrge iye:

$$\psi(x) = Ae^{ikx} + Be^{-ikx}.$$

Eger Eyler formulasın paydalansaq $\psi(x)$ funkciyasın bılayınsha 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 ψ 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

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

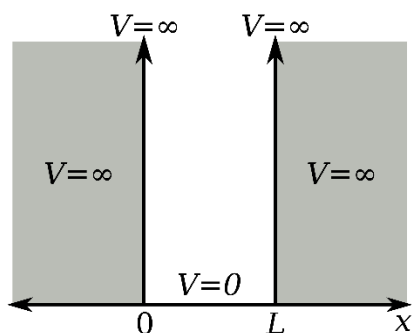
C koefficientiniń nolge teń bolmaytuǵınlıǵın kórsetedi. Eger C nolge teń bolsa, onda bul jaǵday ψ diń 1 ge teń normaǵa iye ekenligi haqqındaǵı postulatqa sáykes kelmegen bolar edi. Demek, $C \sin(kL) = 0$ teńligi orınlı bolǵanlıqtan kL kóbeymesiniń shaması π eselengen pútin sanǵa teń bolıwı kerek. Demek,

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

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 múyeshli potenciallıq shuqır sheksiz tereń potenciallıq shuqırdı shekli tereńlikke iye bolǵan potenciallıq shuqırǵa ulıwmalastırıw bolıp tabıladı. Shekli potenciallıq shuqır mashqalası qutıdaǵı bólekshe mashqalasına salıstırǵanda matematikalıq jaqtan quramalıraq. Cebebi bunday jaǵdayda shuqırdıń diywallarında tolqın funkciyası nolge teń bolmaydı. Onıń ornına tolqın funkciyasınıń quramalıraq bolǵan shegaralıq shártlerdi qanaatlandırıwı kerek. Cebebi ol shuqırdan sırttaǵı oblastlarda nolge teń bolmaydı. Usıǵan usaǵan mashqala tuwrı múyeshli potenciallıq barer menen baylanıslı. Ol fresh-este saqlaw hám skanerlewshi tunnellik mikroskopiya sıyaqlı házirgi zaman texnologiyalarınń islewinde áhmiyetli orındı iyeleytuǵın kvantlıq tunnelleniw effektiniń modeli bolıp tabıladı.



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

Kvantlıq garmonikalıq oscillyator.

Kvantlıq garmonikalıq oscillyatordıń potencialı klassikalıq jaǵdaydaǵıday mınaday ańlatpanıń járdeminde ańıqlanadı:

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

Bul máseleni SHrëdinger teńlemesin tikkeley sheshiw jolı menen sheshiwge boladı hám bul quramalı emes másele bolıp tabıladı. Bul máseleni birinshi ret Pol Dirak tárepinen usınılǵan sulıwıraq "baspaldaq" usılı menen de sheshiw múmkin. Kvantlıq garmonikalıq oscillyatordıń menshikli halları bılayınsha beriledi:

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

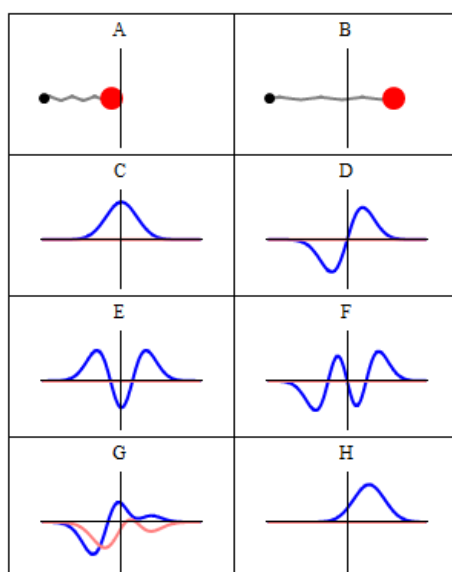
Bul ańlatpada $\lambda = m\omega/\hbar$ hám $n = 0, 1, 2, \dots$ H_n - Ermit polinomları.

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

hám energiyaniń sáykes qáddileri diskret:

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

Bul baylanısqa hollar ushın energiyaniń diskretleniwine jáne bir misal bolıp tabıladı.

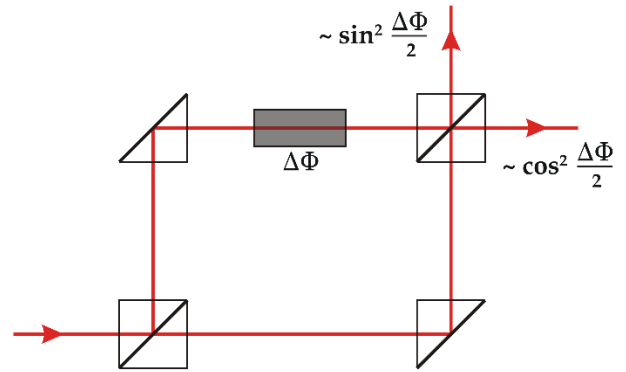


Garmonikalıq oscillyatordıń, yaǵnıy prujınaǵa bekitilgen shariktiń bazı bir traektoriyaları. Klassikalıq mexanikadaǵı (AB) hám kvantlıq mexanikadaǵı (CH). Kvantlıq mexanikada shariktiń iyelegen ornı tolqın menen beriledi (tolqın funkciyası dep ataladı),

onıń reallıq bólimi kóp reń menen, al jormal bólimi qızıl reń menen kórsetilgen. Bazı bir traektoriyalar (mısalı, C, D, E hám F) turǵın tolqınlarǵa sáykes keledi (yamasa "stacionar hallar"). Turǵın tolqınınıń hár bir jıyılıǵı oscıllıyatordıń energiyasınıń múmkin bolǵan qáddine proporcional. Klassikalıq fizikada oscıllıyator qálegen energiyaǵa iye boladı hám energıyanıń usınday bolıp "kvantlanıwı" orın almaydı.

Max-Cender interferometri.

Max-Cender interferometriniń sxeması



Max-Cender interferometri differencialıq teńlemelerdi paydalanbay, 2 ólshemli diskret keńisliktegi sıızılıq algebralı superpoziciya hám interferenciya koncepciyaların illyustraciyalaydı. Onı eki sańlaǵı bar eksperimenttiń ápiwayılastırılǵan versiyası dep qarawǵa boladı. Bul interferometrdiń, mısalı, kvantlıq shatasıwdı izertlegende ádewir qızıǵıwshılıqtı payda etetuǵınlıǵın atap ótiwge boladı.

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

Tómengi hám joqarıdaǵı jaqtılıq bólgishler

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

matricaları menen beriledi. Bul foton jaqtılıqtı bólgish 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 ańǵartadı (fazanıń π ge jıljıwı menen). Ayna $M = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$ matricası menen beriledi. Iyindegi fazanı aylandırǵısh $P = \begin{pmatrix} e^{-i\Delta\Phi} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ unitarlıq matrica menen modellestiriledi. Bul "joqarǵı" joldaǵı fotonnıń $\Delta\Phi$ salıstırmalı fazaǵa iye bolatuǵınlıǵın, al tómengi joldaǵı fotonnıń ózgerissiz qalatuǵınlıǵın ańǵartadı.

Interferometrge shep tárepten kiretuǵın foton jaqtılıqtı bólgishtiń tási B_l ge, aynanıń, P fazanı aylandırıwshınıń hám jáne bir jaqtılıqtı bólgishtiń tási B_u ǵa ushıraydı hám

$$B_u P M B_l \psi_l = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} e^{i\Delta\Phi} + 1 \\ e^{i\Delta\Phi} - 1 \end{pmatrix}$$

halında boladı. Onıń oń tárepte yamasa joqarıda bolıw itimallıǵı sáykes

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

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

Conlıqtan Max-Cender interferometrin fazalıq awısıwdı usı itimallıqlardı esaplaw jolı menen paydalanıwǵa boladı.

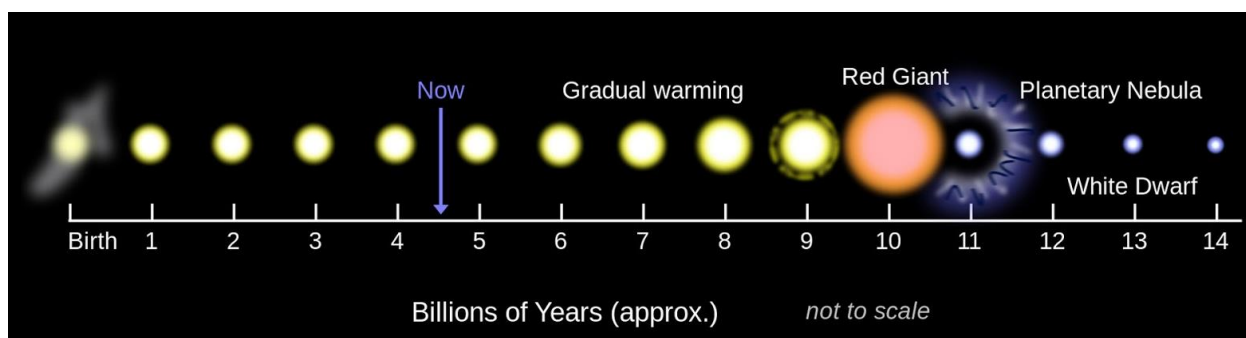
Eger foton jaqtılıq bólgishlerdiń arasındaǵı belgili anıqlıqta "joqarı" hám "tómengi" jollarda turǵan jaǵdayda neniń bolatuǵınlıǵın da anıqlawǵa boladı. Bunı jollardıń birin blokirovkalaw yamasa usı blokirovkalaw menen bir bolǵan birinshi jaqtılıq bólgishti alıp taslaw (biziń qálewimizshe fotondı shep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

4.6.11.5. Astrofizika hám kosmologiya

Fizika menen astronomiyanıń arasındaǵı birinshi "baylanısı" 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 topıraǵınıń quramı, magnit maydanınıń bar yamasa joq ekenligi.
- Juldızlardıń jarqınlıǵınıń deregi, olardıń strukturasınıń variantları, payda bolıw mexanizmleri hám bunnan keyingi evolyuciyasınıń múmkin bolǵan baǵdarları, planetalardı bar yamasa joq ekenligi.

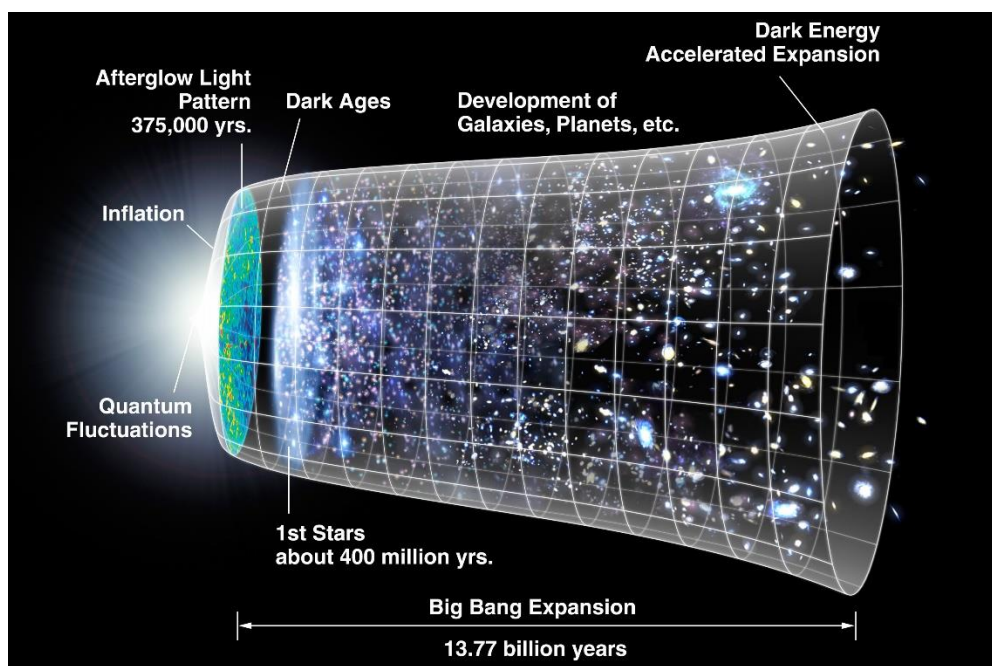
Astrofizika menen barlıq baqlanatuǵın Álemniń qurılısı menen evolyuciyasın úyrenetuǵın kosmologiya tıǵız tutasadı.



Quyashtıń evolyuciyasınıń etapları (boljaw)

XVIII ásirde "planetogeneze", yaǵnıy Quyash sistemasınıń qalıplesiwi mexanizmi haqqındaǵı gipotezanı 1732-jılı Cvedenborg (Dekart vixrları tiykarında), 1755-jılı Kant hám 1796-jılı Laplas (gaz-shań bulıtıń qoyıwlasıwı) usındı. Cońǵı 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 Quyashtıń qasınan massası úlken bolǵan juldız ótken. Usınıń nátiyjesinde Quyashtan zatlardıń shıǵıwı orın alǵan hám sol zatlar qoyıwlasıp planetalardı payda etken. Djinstiń 1904-jılı usınǵan basqa ideyasınıń perspektivası joqarıraq boldı: Quyashtıń energiyasınıń deregi atomnıń ishindegi energiya.

Cpektrallıq tallaw Jerden tıstaǵı obǵektlerdi ilimiy izertlewge múmkinshilik beretuǵın birinshi qural bolıp tabıldı (1859-jılı). Bul analiz juldızlardıń hám basqa da aspan deneleriniń ximiyalıq quramın anıqlawǵa múmkinshilik berdi. Nyuton waqıtları bolǵanday, aspan deneleri de Jerde bar zatlardan turatuǵın bolıp shıqtı. 1869-jılı shved fizigi menen astronomı Andres Ёonas Angstrom Quyashtıń spektriniń birinshi atlasın baspadan shıǵardı, al Andjelo Cekki 4 mın juldızdıń spektrlerin izertledi hám klassifikaciyaladı. Tap sol waqıtları "astrofizika" termini paydalanıla basladı (Cöllner, 1865-jıl).



Álemniń keńeyiwi

Astrofiziklerdiń ekinshi almasıwǵa bolmaytuǵın quraldıń xızmetin Dopler effekti atqardı. Bul effekt astronomiyada tiykarınan juldızlardıń salıstırmalı radiallıq tezliklerin anıqlaw ushın qollanıldı. XX ásirdeń basında Vesto Clayfer, Edvin Xabbl taǵı basqa da astronomlar Dopler effektin galaktikadan tıs obǵektlerdiń de bolatuǵınlıǵın hám olardıń barlıǵınıń Quyash sistemasınan qashıqlasıp baratırǵanlıǵın dálillew ushın paydalandı. Angliyalı astrofizik Artur Eddington sol jıllardaǵı ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń kosmologiyalıq modelleriniń tiykarında mınaday boljawdı usındı: Álem keńeyedi hám astronomiyalıq obǵekt bizden qansha uzaqta jaylasqan bolsa, onda onıń salıstırmalıq tezligi úlken. Usınıń menen birge Eddington óziniń "The Internal Constitution of the Stars"

monografiyasında juldızdın ishki strukturasınıń birinshi modelin islep shıqtı. Perren menen birgelikte Eddington Quyashtın energiyasınıń deregi sıpatında termoyadrolıq reakciya haqqındaǵı teoriyanı tiykarladı.

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

Álemniń keńeyiwi eksperimentlerde Xabbl nızamınıń orınlanıwı hám ekstremallıq túrdegi qashıqlıqlardaǵı "standart shamlardıń" (Ia tipindegi asa jańa juldızlardın) jarqınlıǵınıń kemeyiwi túrinde tastıyqlanadı. Úlken partlanıw teoriyasına sáykes, Álem eń dáslepki asa tıǵız 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.

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

Álemniń rawajlanıw dáwirleri

Dáwirler	Evolyuciya	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.	$a \propto t^{\frac{2}{3}}$.	$H = \frac{2}{3t}$.
Λ basım bolǵan dáwir.	$a \propto e^{Ht}$.	$H^2 = \frac{8\pi}{3} G\rho_{\Lambda}$.

WMAP hám Planck kosmoslıq apparatlarınıń maǵlıwmatları boyınsha kocmologiyalıq parametrler

	WMAP	Planck
Álemniń 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 tıǵızlıǵınıń fizikalıq parametri $\Omega_B h^2$	$0,0226 \pm 0,0006$	$0,02233 \pm 0,00015$
Qarańǵı materiyanıń tıǵızlıǵınıń fizikalıq parametri $\Omega_c h^2$	$0,111 \pm 0,006$	$0,1198 \pm 0,0012$
Materiyanıń tıǵızlıǵınıń fizikalıq parametri $\Omega_m h^2 = (\Omega_B + \Omega_c) h^2$		$0,1428 \pm 0,0011$
Tıǵızlıqtıń ulıwmalıq parametri Ω_t	$1,08^{+0,09}_{-0,07}$	
Barionlıq materiyanıń tıǵızlıǵınıń parametri Ω_B	$0,045 \pm 0,003$	

Qarańǵı energıyanıń tıǵızlıǵınıń parametri Ω_A	$0,73 \pm 0,03$	$0,6847 \pm 0,0073$
Qarańǵı materiyanıń tıǵızlıǵınıń parametri Ω_c	$0,22 \pm 0,03$	
Materiyanıń tıǵızlıǵınıń parametri $\Omega_{m+} = \Omega_B + \Omega_c$		$0,3147 \pm 0,0074$

Astrofizikanıń úlken pátler menen rawajlanıwı XX ásirde ekinshi yarımında baslandı. Bul waqıtları astronomiyanıń baqlaw quralları keskin túrde rawajlandı: kosmoslıq teleskoplar, rentgen, ultrafiolet, infraqızıl, neytrinolar hám gamma-nurlanıwlarınń detektorları, planetalar aralıq zondlar payda boldı h.b. Quyash sistemasındaǵı iri denelerdiń tiykargı fizikalıq xarakteristikaları anıqlandı 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 energıyanıń qásiyetleri, Álemniń keńeyiwiniń tezleniwiniń sebepleri. Baqlanatuǵın Álemniń evolyuciyasınıń baslanǵısh etapi sıpatındaǵı Úlken partlanıwdıń házirgi waqıtları qabıl etilgen bárshe tárepinen moyınlangan teoriyası dóretildi.

Teoriyalıq fizika ushın astronomiyalıq ob'ektlerdi úyreniw oǵada úlken múmkinshiliklerdi jaratıp beredi. Kosmoslıq processler ózleriniń masshtabı menen hár túrliligi boyınsha jerdegi laboratoriyada júzege keltiriletuǵın processlerden ádewir alǵa ketedi. Mısalı, astrofizikler Eynshteynniń tartılıs teoriyasınıń durıslıǵın tekserip kóriw hám onı qullanıwdıń shegaraların anıqlaw ushın kóp sanlı baqlawlardı ótkerdi. Baqlanatuǵın qubılıslardıń bir qatarın túsindiriw ushın (mısalı, neytron juldızlardı hám kosmologiyalıq effektlerdi) mikrodúnyanıń fizikası qullanıladı hám onıń durıslıǵı tekserip kóreledi.

4.6.11.6. Aerodinamika menen meteorologiya

Aviaciyanıń payda bolıwı menen dál meteoboljawlardı keltirip shıǵarıwǵa zárúrlilik aerodinamika menen ushıw teoriyasınıń tez pátler menen rawajlanıwına alıp keldi. Hawadaǵı hám basqa da qarsılıq kórsetetuǵın ortalıqlardaǵı qozǵalıstı esaplawdıń ilimiy 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 jasağan waqıttan ádewir alğa ozıp, hawadan salmaqlı bolğan apparatlarıń ushıw teoriyasın baspadan shıǵardı. Ol apparatıń ushıwınıń tiykarǵı parametrlerin kirgizdi - salmaq, kóteriw kúshi, mańlay qarsılıǵı hám tartıw. Keyli bir neshe planerlerdi sınaqtan ótkerdi. Olarda motor bolmaǵanlıqtan, tartıw kúshin qaǵılatuǵın qanatlar payda etti. 1871-jılı dúnyadaǵı birinshi izertleytuǵın aerodinamikalıq klublar payda boldı.

XX ásirdeń basında quwatlı dvigateller payda boldı hám usıǵan baylanıslı hawadaǵı samoletti basqarıwdıń kelesi etapı onıń xarakteristikaların optimallastırıw hám isenimligin joqarılatıw bolıp tabıldı. Aǵalı-inili Paytlar ushıwdıń barısında samoletti basqarıwdı birinshi bolıp jolǵa qoydı, ushıw aerodinamikasınıń kóp sanlı teoriyalıq aspektlerin islep shıqtı (olardıń ishine samolettiń aylanıwınıń úsh kósherin basqarıw hám aerodinamikalıq qarsılıqtı kishireytiwdıń usılları kiredi). XX ásirdeń birinshi eki on jıllıǵında ushıwdıń hám ámeliy aerodinamikanıń teoriyasınıń tiykarı qalandı. Bul islerde N.E.Jukovskiydiń miynetleri ullı.

Hawa rayın boljaw ushın birinshi tırıswlar XVII ásirde júzege keldi. Biraq, sol waqıtları isengen boljawlardıń isenimligi kem boldı. Ulıwmalıq fizikalıq nızamlardıń tiykarındaǵı teoriyalıq meteorologiya XIX ásirde islep shıǵıldı. 1820-jılı kúndelikli paydalanıw ushın sinoptikalıq kartalar kirgizildi. Júdá áhmiyetli bolğan ciklon menen anticiklon túsiniklerin XIX ásirdeń ortasında Levere kirgizdi. XIX ásirdeń aqırına taman meteostanciyalardıń pútkil dúnyalıq tarmaǵı iske tústi. Dáslep meteostanciyalar telegraf, keyinirek radio arqalı informaciyalar alması. Bul boljawlardıń isenimliginiń joqarılawına alıp keldi. 1917-jılı norvegiyalı meteorolog Vilgelm Berknes "atmosferalıq front" dep atalatuǵın jáne bir áhmiyetli túsinikti usındı.

Meteorologiyanıń nızamlarınıń ózine tán ózgeshelikleri (joqarı dinamizm, tásir etetuǵın faktorlardıń kóp sanlı ekenligi h.b.) hawa rayınıń ózgerislerin modellestiriw ushın quwatlı kompyuterlerdi paydalanıwǵa májbúrleydi, biraq, hawa rayın kóp waqıtlar aldın boljaw mashqalası házirgi kúnlerge shekem aktualıq mashqala bolıp qalmaqta.

4.6.11.7. Basqa da jetiskenlikler

1918-jılı Emmi Nėter fundamentallıq teoremanı dálilledi¹¹: fizikalıq sistemanıń hár bir úzliksiz simmetriyasına bazı bir saqlanıw nızamı sáykes keledi. Mısalı, waqıttıń bir tekli

¹¹ Amaliya Emmi Nėter (nemisshе Amalie Emmy Noether; 1882—1935) — nemis matematigi, óziniń abstrakt algebraǵa hám teoriyalıq fizikaǵa qosqan úlesleri menen kóbirek belgili. Pavel Aleksandrov, Albert Eynshteyn, Jan Dėdonne, German Veyl hám Norbert Vinerler onı

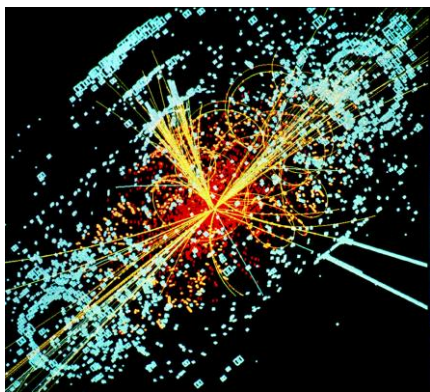
ekenligine energiyaniń saqlanıw nızamı sáykes keledi. Bul ilimiy ashılıw fizikadaǵı simmetriyanıń tutqan ornına kópshiliktiń dıqqatın awdardı. Bul jaǵday ásirese atom fizikasında kóp jaǵdaylarǵa negizdiń ornın iyeledi.

Ásirdiń aqırında elektronika adamnıń xızmetiniń barlıq salaların ámeliy jaqtan qaytadan qurǵan fizikanıń rawajlanıwınıń eń baslı baǵdarların birine aylandı. XX ásirde birinshi elektronlıq lampalar bolǵan diodlar (1904-jıl, Fleming) hám triod (1907-jıl, Li de Forest) oylap tabıldı. Triod sónbeytuǵın terbelislerdi alıw menen toqtı kúsheytiwde almasıwǵa bolmaytuǵın ásbapqa aylandı. Lampalıq tiykarda kóp uzamay sesli radio, televidenienıń dáslepki eskizleri, al urıstan keyin birinshi elektronlıq esaplaw mashinaları payda boldı. Elektronlıq dúzilislerdi miniaturizaciyalawdıń tabısları, olardıń quwatı menen isenimligin joqarılatıw universallıq hám qanday da bir maqsetler ushın soǵılǵan kompyuterlerdiń, qolaylı baylanıs qurallarınıń hám kúndelikli turmısta paydalanıw ushın "aqıllı" mexanizmlerdiń dóretiliwine alıp keldi.

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

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

4.6.11.8. XXI ásir hám jańa shegaralar



Eki protonnıń soqlıǵısıwında Xiggs bozonınıń tuwılıwı (kompyuterlik model).

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

matematikanıń tariyxındaǵı eń belgili hayal adam dep esapladı. XX ásirdegi ullı matematiklerdiń biri sıpatında, ol saıyınalar teoriyasın, maydanlar teoriyasın hám algebralar teoriyasın túpkilikli túrde ózgeritti. Fizikada Nėter teoreması birinshi bolıp tábiyattaǵı simmetriyalar menen saqlanıw nızamlarınıń arasındaǵı baylanıstı ashtı.

Nėter Germaniyadaǵı Bavariya jerindegi Erlangen qalasında evrey shańaraǵında tuwıldı. Onıń ata-anası matematik Maks Nėter hám Ida Amaliya Kaufman bay sawdagerler shańaraqlarında tuwılǵan. Nėterdiń úsh inisi bolǵan: Alfred, Pobert hám Fric. Fric Maksimilianoviç Nėter - belgili nemis hám sovet matematigi.

tolqınlar ashıldı¹². V CEPN de joqarı energiyağa iye bólekshelerdiń soqlıǵısıwın júzege keltiretuǵın Úlken adronlıq kolları islep tur. Bul kollarıderdiń ondaǵı islenip atırǵan izertlew jumısları menen bir qatarda supersimmetriya teoriiyası menen standart modeldi tekserip kóriw ushın da járdem beriwı kerek. 2013-jılı kollarıderdiń járdeminde Xiggs bozonınıń ashılǵanlıǵı rásimiy túrde daǵazalandı. Bul standart modeldi tastıyıqlaydı hám juwmaqlaydı (Xiggs bozonı standart modeldiń ele ashılmaǵan eń sońǵı bólekshesi edi).

Li Cmolın fizikanıń progressine alıp keletuǵın fundamentallıq áhmiyetke iye bolǵan bes aktuallıq mashqalasın ayırıp kórsetedi:

1. Gravitaciya teoriiyasınıń kvantlıq variantın islep shıǵıw, "barlıǵınıń teoriiyasın" dóretiw.

2. Kvantlıq mexanikanı fizikalıq (tek matematikalıq emes) tiykarlaw yamasa onı túsiniqlirek fizikalıq mániske iye bolǵan teoriiyaǵa shekem ulıwmalastırıw.

3. Bir teoriiyada bólekshelerdi hám barlıq tórt fundamentallıq óz-ara tásirlesiwdi birlestiriw.

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 teoriiyanıń boljawlarına qaramastan tartılıstıń nelikten júdá úlken aralıqlarda tásir etetuǵınlıǵın anıqlaw. Kosmologiyanıń eksperimentallıq bazasın keńeytiw.

Ctandard modeldiń sheklerinensırtta jatqan basqa áhmiyetli mashqalalardan tómendegilerdi atap ótiwge boladı:

Baqlanatuǵın Álemdegi materiya menen antimateriyanıń antisimmetriyası.

Neytrinoliq oscillıyacıyalar.

Kúshli CP-mashqala.

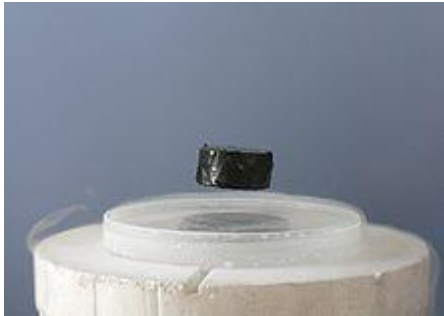
§ 5. Teoriyalıq hám eksperimentallıq fizika



¹² Gravitaciyalıq tolqınlardıń ashılıwı olardı tuwrıdan-tuwrı detektorlaw jolı menen 2015-jılı 14-sentyabr kúni LIGO hám VIRGO kollaboracıyaları tárepinen ámelge asırıldı. Bul haqqında 2016-jılı 11-fevral kúni daǵazalandı. Nátiyjeler Physical Review Letters jurnalında jariq kórdi. Yaǵıya GW150914 belgileniwine iye boldı.

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

Erkin túsiwdegi kosmonavt hám Jer.



SHAqmaq elektr toǵı bolıp tabıladı.

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

Fizika eksperimentallıq ilim bolıp tabıladı: onıń barlıq nızamları menen teoriyaları tájiriybelerde alınǵan maǵlıwmatlarǵa súyenedi. Biraq, kóp jaǵdaylarda jańa teoriyalar eksperimentlerdiń ótkeriliwine sebep boladı hám alınǵan nátiyjeler jańa ilimiy ashılıwlarıń tiykarında jatadı. Conlıqtan eksperimentallıq hám teoriyalıq fizikanı bir birinen ajratıw qabıl etilgen.

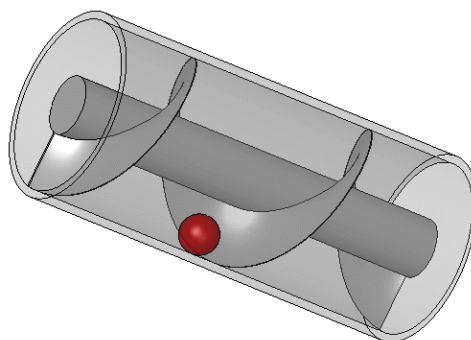
Eksperimentallıq fizika tábiyattıń qubılısların aldın-ala tayarlanǵan sharayatlarda izertleydi. Onıń aldında turǵan máselelerge burın belgili bolmaǵan qubılıslardı tabıw, fizikalıq teoriyalardı tastıyıqlaw yamasa biykarlaw, fizikalıq konstantalardıń mánisleriniń dáliligin joqarılatıw kiredi. Fizikadaǵı kóp sanlı jetiskenlikler bar bolǵan teoriyalar menen táriyiplenbeytuǵın qubılıslardı eksperimentlerde tabıwdıń nátiyjesinde erisildi. Mısalı, fotoeffektte eksperimentte úyreniw kvantlıq mexanikanıń payda bolıwıń sebepleriniń biri bolıp tabıladı (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 túsindiriw hám usı waqıtlarǵa shekem belgisiz bolǵan qubılıslardı boljaw kiredi. Qálegen fizikalıq teoriyanıń durıs ekenligi eksperimentlerde tekseriledi: eger eksperimenttiń nátiyjeleri teoriyanıń boljawlarına sáykes keletuǵın 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
mısál



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

ilimlerde keńnen qollanıladı, kóp sanlı fizikler oylap tabıwshılar, al kóp sanlı oylap tabıwshılar fizikler boldı. Mexanika fizikanıń bir bólimi sıpatında teoriyalıq mexanika hám materiallardıń qarsılıǵı menen de, injenerlik ilimler menen de baylanıslı. Termodinamika jıllılıq texnikası menen hám jıllılıq dvigatellerin konstrukciyalaw menen tıǵız baylanıslı. Elektr elektrotexnika hám elektronika menen baylanıslı, onıń qalıplesiwi hám rawajlanıwı ushın qattı deneler fizikası boyınsha izertlewler júdá áhmiyetli. YAdrolıq fizikanıń jetiskenlikleri yadrolıq energetikanıń qalıplesiwine alıp keldi. Bunday misallardı dawam ete beriwege 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 qalıplesiwine alıp keldi. Biologiya menen fizikanıń shegarasındaǵı izertlewler oblastı bolǵan biofizika kem-kemnen ilimniń quwatlı tarawına aylanbaqta. Biofizikada organikalıq zatlardıń atomlıq strukturasını kelip shıqqan halda biologiyalıq processler úyreniledi. Geofizika geologiyalıq qubılıslardıń fizikalıq tábiyatın úyrenedi. Medicinada adamnıń organizminiń keselliklerin rentgen nurları menen ultrasestiń járdemindegi izertlewler paydalanıladı. YAdrolıq magnitlik rezonanstı diagnostika ushın, lazerler kóz awrıwların emlew ushın, yadrolıq nurlandıraw onkologiyada keńnen paydalanılmaqta.

§ 7. Tiykargı 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 obǵektlerdiń 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 ásirde ǵana ashıldı. Olar barlıq fizikalıq izertlewler ushın tiykardı payda etedi. Bul teoriyanıń sheklerinde M.V.Lomonosov zatlardıń agregat hallarınıń (qattı, suyıq hám gaz tárizli hallar) sebeplerin túsindirdi hám jıllılıq teoriyasın islep shıqtı.

Teoriya	Tiykargı bólimler	Túsiniqler
Klassikalıq mexanika	Nyuton nızamları - Lagranj mexanikası - Gamilton mexanikası - Xaos teoriyası - Hidrodinamika - Geofizikalıq gidrodinamika - Tutas ortalıqlar mexanikası	Zat - Keńislik - Ğaqıt - Energiya - Qozǵalı - Massa - Uzunlıq - 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 - Ctatistikalıq summa - Mikrokanonikalıq tarqalıw - Úlken kanonikalıq tarqalıw - Jıllılıq muǵdarı
Kvantlıq mexanika	SHrédinger teńlemesi - Feynman integralı - Maydannıń kvantlıq teoriyası	Gamiltonian - Teppe-teń bóleksheler - Plank turaqlısı - Ólshew - Kvantlıq oscillyator - Tolqın funkciyası - Nollık energiya - Perenormirovka
Calıstırmalıq teoriyası	Arnawlı salıstırmalıq teoriyası - Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası - Pelyativistlik gidrodinamika	Calıstırmalıq principi - 4-vektor - Keńislik-waqıt - Jaqtılıq konusı - Dúnyalıq sızıq - Jaqtılıqtıń tezligi - Bir waqıtlıqtıń salıstırmalıǵı - Energiya-impuls tenzorı - Keńislik- waqıttıń mayısıwı - Qara qurdım

§ 8. Fizikanıń bólimleri

8.1. Makroskopiyaalıq fizika

Makroskopiyaalıq fizika denelerdiń ólshemleri adamnıń ólshemleri menen barabar bolǵan dúnyadaǵı qubılıslar menen nızamlardı úyrenedi.

Mexanika.

Klassikalıq mexanika.

Pelyativistlik mexanika.

Materiallıq bólekshelerdiń qozǵalısnı izertlegende biz eń kishi tásir principinen kelip shıǵamız. Bul principitiń mánisi mınadan ibarat: hár bir mexanikalıq sistema ushın tásir dep atalatuǵın S integralı bar bolıp, bul integral haqıyqıy qozǵalıslarda minimumǵa iye boladı, al usıǵan baylanıslı onıń variaciyası δS nolge teń¹³.

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

Bunıń ushın biz dáslep integraldıń anaw yamasa mınaw inercial esaplaw sistemasınan ǵárezli emes ekenligin, yaǵnıy onıń Lorenc túrlendiriwlerine qarata invariant ekenligin ańǵaramız. Demek bunnan bul integraldıń skalyardan alınıwınıń kerek ekenligi kelip shıǵadı. Conday-aq integral astında birinshi dárejeli differenciallardıń turıwı kerek ekenligi

¹³ Qatań túrde aytqanda eń kishi tásir principi S integralınıń integrallaw sızıǵınıń tek kishi uıastkası boylap minimallıq mániske iye boladı dep tastıyıqlaydı. Bıqtıyarlı uzınlıqtaǵı sızıq ushın S integralı minimum bolıp tabılıwı shárt emes ekstremumǵa iye boladı dep tastıyıqlawǵa boladı.

túsinikli. Biraq erkin materiallıq bólekshe ushın dúziw múmkin bolǵan usınday birden bir skalyar interval ds yamasa αds bolıwı kerek (α 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 arasındagı dúnyalıq sızıq boyınsha alınadı (bólekshe a hám b noqatlarında belgili bir t_1 hám t_2 waqıt momentlerinde turadı, yaǵnıy berilgen dúnyalıq noqatlar arasında dep esaplanadı); α bolsa berilgen bóleksheni táriyipleytuǵın bazı bir turaqlı. Barlıq bóleksheler ushın α nıń oń shama bolatuǵınlıǵın ańsat kóriwge boladı. Haqıyqatında da $\int_a^b ds$ integralı dúnyalıq sızıq boylap tuwrı boyında maksimallıq mániske iye boladı, dúnyalıq sızıqtıń boyı boylap onı qálegenimizshe kishi etip alıwımızǵa boladı.

Colay etip oń mánisi menen alınǵan integral minimumǵa iye bolmaydı, al kerı belgi menen alınǵan integral dúnyalıq sızıq boylap minimumǵa iye boladı.

Tásirdi waqıt boyınsha integral túrinde beriwge boladı:

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

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

Bir qansha belgilewler qabıl etemiz. Meyli dt arqalı qozǵalmaytuǵın esaplaw sistemasındaǵı (yaǵnıy qozǵalmay turǵan bizler menen baylanısqa sistemadaǵı) sheksiz kishi waqıt aralıǵı, al dt' arqalı v tezligi menen qozǵalıwshı esaplaw sistemasındaǵı (qozǵalıwshı saattıń júriw tezligi) dt ǵa sáykes waqıt aralıǵı belgilengen bolsın. Ondaı 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 ayılǵanınday α shaması berilgen bóleksheni táriyipleydi. Klassikalıq mexanikada hár bir bólekshe m massası menen táriyiplenedi. Endi m hám α shamaları arasındagı baylanıstı anıqlaymız. Bul baylanıs $c \rightarrow \infty$ sheginde biziń L ushın jazılǵan ańlatpamız klassikalıq ańlatpaǵa ótiwi kerek shárti tiykarında tabıladı:

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

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 qozǵalıstı teńlemelerinde sáwlelenbeydi hám sonıń ushın taslap ketiledi. L degi αc nı taslap ketip hám klassikalıq ańlatpa $L = mv^2/2$ menen salıstırıp $\alpha = mc$ ekenligine 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 ($\partial L / \partial \mathbf{v}$ jazıwı qurawshıları L den $\mathbf{v}$ nıń sáykes qurawshısı boyınsha alınǵan tuwındıǵa teń vektordıń simvolıq belgileniwı bolıp tabıladı). (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 waqıt boyınsha alınǵan tuwındı bólekshege tasir etiwshi kúshke teń. Meyli bóleksheniń tezligi tek baǵıtı boyınsha ózgeretuǵın bolsın (yaǵnıy kúsh tezlikke perpendikulyar baǵıtlanǵan). 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 (yaǵnıy kúsh tezlik baǵıtında túsirilgen)

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

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 (yaǵnıy $v = 0$) bolǵanda da nolge teń bolmay, al

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

shamasına teń bolatuǵınlıǵın kórsetedi. Onı bóleksheniń *tınıshlıqtaǵı energiyası* (*tınıshlıq energiyası*) dep ataydı.

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

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

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

Biz joqarıda "bólekshe" haqqında gáp etip atırmız, biraq onıń "elementarlıǵı" hesh bir jerde paydalanılmadı. Conlıqtan alınǵan formulalardı kóp bólekshelerden turatuǵın qálegen quramalı dene ushın qollanıw múmkin 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 (yaǵnıy qálegen tuyıq sistemanıń 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 dáliliginde anıqlanatuǵınlıǵın, onıń oń mániske de, teris mániske de iye bolatuǵınlıǵın eske túsirip ótemiz.

Tınıshlıqta turǵan deneniń energiyası onıń quramına kiretuǵın bólekshelerdiń tınıshlıq energiyasınan basqa sol bólekshelerdiń kinetikalıq energiyaların hám olardıń bir biri menen tásirlesiw 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 $\sum m_a$ ǵa teń emes. Colay etip relyativistlik mexanikada massanıń saqlanıw nızamı orın almaydı eken: quramalı deneniń massası onıń bólekleriniń massasınıń qosındısına teń emes. Bunıń 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 qatnastı alamız:

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

Impuls arqalı ańlatılǵan 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 juwıq túrde:

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

yaǵnıy 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 múmkin. Bunday bóleksheler ushın (rm2.8) den iye bolamız¹⁴:

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

¹⁴ Jaqtılıq kvantları – fotonlar sonday bóleksheler bolıp tabıladı.

Juwiq túrde 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 túrde keltirip shıǵaramız. Eń kishi tásir principine sáykes

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

δS ushın ańlatpanı ashamız. Bunıń ushın $ds = \sqrt{dx_i dx^i}$ ekenligin ańǵaramız hám sonlıqtan

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

Bólimler boyınsha integrallap, tabamız:

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

Málim, qozǵalıstı teńlemelerin tabıw ushın berilgen eki awhaldan ótetuǵın hár qıylı traektoriyalar salıstırıladı [yaǵnıy $(\delta x^i)_a = (\delta x^i)_b = 0$ sheklerindegi]. Haqıyqıy traektoriya $\delta S = 0$ shártinen anıqlanadı. Bunday jaǵdayda (rm2.10) formulasınan $du^i/ds = 0$ teńlemesin alǵan bolar edik, yaǵnıy tórt ólshemli túrde erkin bóleksheniń tezliginiń turaqlılıǵı.

Koordinatalardıń funkciyası sıpatında tásirdeń 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 haqıyqıy noqatlardı ǵana, yaǵnıy traektoriyanıń qozǵalıstı teńlemelerin qanaatlandıratuǵın noqatlardı qaraw kerek. Conıń ushın (rm2.10) ańlatpasındaǵı integral δS ushın nolge teń. $(\delta x^i)_b$ nıń ornına tek δx^i dep jazamız hám solay etip tabamız:

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

4-vektor

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

4 *impuls* dep ataladı. Mexanikadan málim bolǵanıday, $\partial S/\partial x, \partial S/\partial y, \partial S/\partial z$ bóleksheniń $\mathbf{p}$ impulsınıń úsh qurawshısı bolıp tabıladı, al $\partial S/\partial t$ tuwındısı bolsa bóleksheniń energiyası E bolıp tabıladı. Conlıqtan 4 impulstıń kovariant qurawshıları $p_i = (E/c, -\mathbf{p})$, al kontravariant qurawshıları bolsa¹⁵

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

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

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

Bul ańlatpaǵa

¹⁵ 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 baylanısqa.

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

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

Colay etip relyativistlik mexanikada impuls penen energiya bir 4-vektordıń qurawshıları bolıp tabıladı eken. Bunnan impuls penen energiyanıń bir esaplaw sistemasınan ekinshisine ótkendegi túrleniw formulaları tikkeley shıǵadı. 4-vektordıń túrleniwiniń 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 qoyıp 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 impulstıń anıqlaması bolǵan (rm2.14) ten hám $u^i u_i = 1$ teńliginen erkin bóleksheniń 4 impulsınıń kvadrattı ushın iye bolamız:

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

Bul ańlatpaǵa (rm2.13) ti qoyıp biz (rm2.6)-ańlatpaǵa qaytıp kelemiz.

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

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

Onıń qurawshıları $g_i u^i = 0$ teńligin qanaatlandıradı. Bul 4-vektordıń qurawshıları kústıń ádettegi úsh ólshemli $\mathbf{f} = d\mathbf{p}/dt$ vektorı arqalı bılayınsha ańlatıladı:

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

Ǵaqıtlıq qurawshı kústıń jumısı menen baylanısqa bolıp shıǵadı.

Pelyativistlik mexanikaǵa matematikalıq qosımshalar.

Tórt ólshemli vektorlar.

Tórt ólshemli keńisliktegi waqıyanıń koordinatalarınıń (ct, x, y, z) jıynaǵın tórt ólshemli radius-vektordıń (bunnan bılay qısqaqlıq 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 "uzınlıǵı" nıń kvadrattı

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

ańlatpası járdeminde beriledi. Onıń mánisi tórt ólshemli koordinatalar sistemasın qanshama burǵanda da ózgermeydi. Dara jaǵdayda Lorenc túrlendiriwleri de usınday burıwlarıń biri bolıp tabıladı.

Ulıwma alǵanda A^i tórt ólshemli vektorı dep (4-vektor dep) A^0, A^1, A^2, A^3 tórt shamasınıń jıynaǵına aytıp, olar tórt ólshemli koordinatalar sistemasın túrlendirgende 4 radius-vektordıń qurawshıları x^i day bolıp túrlenedi. Lorenc túrlendiriwlerinde

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

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

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

Usınday ańlatpalardı jazıwdı qolaylı etiw ushın 4-vektorlardıń qurawshılarınıń 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 summalarda $\sum$ summalar belgisin taslap ketip $A^i A_i$ túrinde jazıw qabıl etilgen¹⁶. Bunday jaǵdayda ańlatpadaǵı eki ret qaytalanatuǵın indeks boyınsha summalar názerde tutılıp, summa belgisi jazılmaydı. Al birdey indekstegi hár bir juptıń birewi joqarıda, al ekinshisi tómende turıwı kerek. Usınday gún dep atalıwshı indeksler boyınsha summalar júdá qolaylı hám formulalardı jazıwdı ádewir ápiwayılastıradı.

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

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

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

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 alǵanda gún indekslerde barlıq waqıtta da joqarǵı indeks penen tómengi indekslerdiń orınların ózgertip qoyıwǵa boladı¹⁷.

$A^i A_i$ kóbeymesi 4 skalyar bolıp tabıladı. Bul kóbeyme tórt ólshemli koordinatalar sistemaların burıwlarǵa qarata invariant. Bul jaǵdaydı tikkeley tekserip kóriw ańsat¹⁸, biraq onıń orın alatuǵınlıǵı barlıq 4-vektorlardıń birdey nızam boyınsha túrlendiriletuǵınlıǵına baylanıslı anıq túsiniwli ($A^i A_i$ kvadratı sıyaqlı).

4-vektordıń A^0 qurawshısın waqıtlıq, al A^1, A^2, A^3 qurawshıların keńisliklik dep ataydı (4-radius-vektorga sáykes). 4-vektordıń kvadratı óń mániske, teris mániske, sonıń menen birge nolge de teń bolıwı múmkin. Bunday jaǵdaylarda olardı sáykes *waqıtqa megez*,

¹⁶ Cummalaw belgisi $\sum$ ni taslap ketip jazıw birinshi ret A.Eynshteyn tárepinen usınılǵan hám 1916-jılı jarıq kórgen "Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń tiykarları" atlı miynette paydalanıladı.

¹⁷ Házirgi waqıtlardaǵı ádebiyatlardı tórt ólshemli vektorlardıń indekslerin pútkilley jazbaydı, al olardıń kvadratları menen skalyar kóbeymeleri A^2, AB túrinde jazadı. Bul jumısta biz bunday belgilewlerdi paydalanbaymız.

¹⁸ Usınıń menen birge kovariant qurawshılar menen ańlatılǵan 4-vektordıń túrlendiriliw nızamınıń kontravariant qurawshılarda ańlatılǵan tap sol nızamınıń ayrılatuǵınlıǵın (belgilerinde) barlıq waqıtta 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 arnalğan terminologiyaǵa sáykes)¹⁹.

Keńisliklik burılıwlarǵa (yaǵnıy waqıt kósherine tiymeytuǵın) qatnası boyınsha 4-vektordıń úsh keńisliklik koordinataları úsh ólshemli $\mathbf{A}$ vektorın payda etedi. Al 4-vektordıń waqıtlıq qurawshısı (sol túrlendiriwlerge qatnası boyınsha) úsh ólshemli skalyar bolıp tabıladı. 4-vektordıń qurawshıların atap ótip biz olardı jiıy 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 orınly boladı. Álbette, úsh ólshemli vektorlardı (qurawshıları x, y, z bolǵan) kontra- hám kovariant qurawshılarǵa ajıratıp otırıwdıń zárúrliǵı joq. Conlıqtan barlıq jaǵdaylarda (gúman payda etpeytuǵın orınlarda) biz olardıń qurawshıların A_α ($\alpha = x, y, z$) túrinde indekslerin tómengge hám grek háripleri menen jazamız. Conıń menen birge eki ret qaytalanatuǵın grek indeksleri boyınsha x, y, z tiń úsh mánisi boyınsha summaw názerde tutiladı (mısalı $\mathbf{AB} = A_\alpha B_\alpha$).

2-rangalı tórt ólshemli tenzor (4-tenzor) dep eki 4-vektordıń qurawshılarınıń kóbeymesi túrinde túrlenetuǵın 16 dana A^{ik} shamalarınń jıynaǵına aytamız. Tap usınday jollar menen joqarı rangalı 4-tenzorlar anıqlanadı.

2-rangalı 4-tenzordıń qurawshıları úsh túrde jazılıwı múmkin: kontrvariant A^{ik} túrinde, kovariant A_{ik} túrinde hám aralas A^k_i túrinde (sońǵı jaǵdayda A^i_k menen A_i^k shamaların ajıratıw kerek, yaǵnıy joqarıda yamasa tómende birinshi indeks tur ma yamasa ekinshisi me). Qurawshılardıń hár qıylı túrleri arasındǵı baylanıslar ulıwmalıq qaǵıyda boyınsha anıqlanadı: waqıtlıq indeksti (0) kóteriw yamasa túsiriw hesh nárseni ózgertpeydi, al keńisliklik indekslerdi (x, y, z) kóteriw yamasa tómengge túsiriw qurawshınıń belgisin ózgertedi. Colay etip:

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

Tek keńisliklik túrlendiriwlerge qatnası boyınsha $A^{11}, A^{12}, \dots$ toǵız qurawshısı úsh ólshemli tenzordı quraydı. 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 tabıladı.

Eger $A^{ik} = A^{ki}$ bolsa tenzor simmetriyalı hám $A^{ik} = -A^{ki}$ bolsa tenzor antisimmetriyalı dep ataladı. Antisimmetriyalıq tenzorda barlıq diagonallıq qurawshılar (yaǵnıy $A^{00}, A^{11}, \dots$ qurawshıları) nolge teń. Conlıqtan, mısalı $A^{00} = -A^{00}$. A^{ik} simmetriyalıq tenzorında aralas qurawshılar A^i_k hám A_k^i lerdiń bir birine sáykes keletuǵınlıǵı anıq. Usınday jaǵdaylarda bizler indekslerdi biriniń ústine ekinshisin jazamız (yaǵnıy A^i_k túrinde).

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

¹⁹ Nollik 4-vektorlardı *izotrop vektorlar* dep te ataydı.

teńlik qanday da bir esaplaw sistemasında orınlanatuǵın bolsa da, basqa esaplaw sistemalarında orınlanbaydı.

A^{ik} tenzorınıń qurawshılarının

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

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 *qısıw (svertivanie)* yamasa *ápiwayılastırıw* haqqında aytıladı.

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

Birlik 4-tenzor dep δ^i_k tenzori aytılıp, ol ushın qálegen A^i 4-vektori ushın mına teńlik orınlanadı:

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

Bul tenzordıń qurawshılarınıń

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

shamalarına teń bolatuǵınlıǵı ayqın. Onıń izi $\delta^i_i = 4$.

δ^i_i tenzorındaǵı bir indeksti kótersek, yamasa ekinshisin tómengen túsirsek, biz kontra-yamasa 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 qurawshılarga iye boladı, olardı mına keste túrinde kórsetiw múmkin:

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

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

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

ekenligi ayqın. Usıǵan baylanıslı eki 4-vektordıń skalyar kóbeymesin

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

túrinde jazıw múmkin. δ^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 almasıwıp qoyǵanda belgisin ózǵertetuǵın, nolden ózgeshe qurawshıları ± 1 ge teń tenzorga 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 qurawshılarınıń 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 múmkin bolǵan qayta qoyıwlarıń (perestanovkalar yamasa transpoziciyalardıń) jup yamasa taqlıǵına baylanıslı. Usınday qurawshılardıń sanı $4! = 24$. Conlıqtan

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

Koordinata sistemasınıń burılıwlarına qatnası boyınsha e^{iklm} shamaları tenzordıń qurawshılarında qásiyetlerge iye boladı. Biraq bir yamasa úsh koordinatanıń belgileri ózgergende barlıq koordinatalar sistemasın ushın birdey bolıp anıqlanǵan e^{iklm} qurawshıları ózgermeydi, al tenzordıń qurawshıları bolsa belgisin ózgartken bolar edi. Conlıqtan e^{iklm} di haqıyqatında tenzor emes, al *pseudotenzor* dep aytadı. Qálegen rangadaǵı *pseudotenzorlar*, dara jaǵdaylarda pseudoskalyarlar burılıwlarǵa alıp keliniwi múmkin emes bolǵan koordinatalardıń barlıq túrlendiriwlerinde tenzorlardıń qásiyetindey qásiyet kórsetedi (yaǵnıy burılıwlarǵa alıp kelmeytuǵın koordinatalardıń belgileriniń ózgeriwi bolǵan shashırawlardan basqalarında).

$e^{iklm}e_{prst}$ kóbeymeleri 8-rangalı 4-tenzordı payda etedi. Qala berse bul tenzor haqıyqıy tenzor bolıp tabıladı. Bir yamasa bir neshe indeksler jupları boyınsha ápiwayılastırıw arqalı 6-, 4- hám 2-rangalı tenzorlardı alıw múmkin. Bul tenzorlardıń barlıǵı da barlıq koordinatalar sistemasında birdey túrge iye boladı. Conlıqtan olardıń qurawshıları birlik tenzor δ_i^i (qurawshıları barlıq sistemalarda birdey bolǵan birden bir haqıyqıy tenzor) dıń qurawshılarınıń kóbeymesiniń kombinaciyası túrinde ańlatılıwı kerek. Bunday kombinaciyalardı dúziw ańsat hám olar indekslerdi qaytadan qoyıp shıǵıwǵa baylanıslı bolǵan simmetriya qásiyetinen kelip shıǵadı²⁰.

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

Joqarıda ayılǵanlarǵa baylanıslı úsh ólshemli vektorlar menen tenzorlardıń sáykes qásiyetlerin eske salıp ketemiz. 3-rangalı antisimmetriyalı birlik pseudotenzor dep qálegen eki indeksiniń orınların almasıwıp qoyǵanda belgisin ózgetetuǵın $e_{\alpha\beta\gamma}$ shamaların nıń jıynaǵına aytamız. Indeksleriniń úshewi úsh túrli bolǵanda $e_{\alpha\beta\gamma}$ nıń qurawshıları nolge teń bolmaydı. Usınıń menen birge $e_{xyz} = 1$ dep qabıl etemiz, al α, β, γ izbe-izligin jup yamasa taq qayta qoyıp shıǵıwıların nátıyjesinde x, y, z izbe-izligine keliwdiń múmkinshiligine baylanıslı 1 ge yamasa -1 ge teń boladı²¹.

²⁰ 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 nátıyjesi boyınsha tekseriledi. Bunday qısıwdı (1.9)-qaǵıydanıń beriwı kerek.

²¹ e^{iklm} 4-tenzorınıń qurawshılarınıń 4-koordinatalar sistemasın aylandırıwǵa, 3 tenzor bolǵan $e_{\alpha\beta\gamma}$ nıń keńisliklik koordinata kósherlerin aylandırıwǵa qatnası boyınsha ózgermey qalıwı ulıwmalıq qaǵıydanıń dara jaǵdayı bolıp tabıladı: Pangası keńisliktiń ólshemleri sanına teń hám usı keńislikte anıqlanǵan qálegen antisimmetriyalıq tenzor usı keńisliktegi koordinatalar sistemasın 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 qurawshılarınıń kombinaciyası túrinde ańlatıladi²².

Koordinata sistemasın shaǵılastırǵanda, yaǵnıy barlıq koordinatalardıń belgilerin ózǵertkende, ádettegi úsh ólshemli tenzordıń qurawshıları da belgisin ózǵertedi. Eki polyar vektordıń kóbeymesi túrinde berile alatuǵın vektordıń qurawshıları shaǵılastırılǵanda belgisin ózǵertpeydi. Bunday vektorlardı *aksial vektorlar* dep ataymız. Polyar hám aksial vektorlardıń skalyar kóbeymesi haqıyqıy emes, al psevdoskalyar bolıp tabıladi: koordinatalardı shaǵılastırǵanda ol belgisin ózǵertedi. Aksiallıq vektor antisimmetriyalı tenzorga 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-tenzorlarǵa qayıtıp kelemiz. A^{ik} antisimmetriyalıq 4-tenzorınıń keńisliklik qurawshıları ($i, k = 1, 2, 3$) tek keńisliklik túrlendiriwlerge qatnası boyınsha úsh ólshemli antisimmetriyalıq tenzor bolıp tabıladi, al joqarıda ayılǵanlarǵa baylanıslı onıń qurawshıları úsh ólshemli aksial vektordıń qurawshıları arqalı ańlatıladi. A^{01}, A^{02}, A^{03} qurawshıları bolsa sol túrlendiriwlerge qatnası boyınsha úsh ólshemli polyar vektordı quraydı. Colay etip antisimmetriyalı 4-tenzordıń qurawshıların mına keste túrinde 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 qatnası boyınsha $\mathbf{p}$ menen $\mathbf{a}$ polyar hám aksial vektorlar bolıp tabıladi. Antisimmetriyalıq 4-tenzordıń qurawshıların birim-birim aytıp shıǵıw arqalı olardı mına túrde jazamız:

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

Bunday jaǵdayda sol tenzordıń kovariant qurawshıları mına túrge iye:

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

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

ϕ 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 tuwındılardıń 4-vektordıń kovariant qurawshıları ekenligin názerde tutıw zárúrli. Haqıyqatında da skalyardıń differencialı

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

²² 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) joqarıdağı tastıyıqlawdıń durıslıǵı ayqın kórinedi.

Ulıwma x^i , $\partial/\partial x^i$ koordinatası boyınsha differenciallaw operatorları operatorlıq 4-vektordıń kovariant qurawshıları sıpatında qaralıwı kerek. Conlıqtan, mısalı, kontravariant qurawshıları A^i differenciallanatuǵın 4-vektordıń divergenciyası $-\partial A^i/\partial x^i$ ańlatpası skalyar bolıp tabıladı²³.

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

1) 4 keńisliktegi iymektik boyınsha integral. Integrallaw elementi uzınlıq elementi, yaǵnıy dx^i 4-vektori 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 $dx_\alpha dx'_\beta - dx_\beta dx'_\alpha$ ǵa 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 tenzorı 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_α tenzorı 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, yaǵnıy

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

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, yaǵnıy úsh ólshemli kóp túrlilik (mnogoobrazie) boyınsha. Úsh ólshemli keńislikte úsh vektordan dúzilgen parallelopipedtiń kólemi usı

²³ Eger "kovariant koordinata" x_i boyınsha differenciallaw 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 jazıwları biz tek ayrıqsha jaǵdaylarda ǵana paydalanamız (mısalı 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 jıy qollanıladı. Differenciallaw operatorlarınń 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 qurawshılarının 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 ańlatıladı. 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 paydalangán 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 baǵıtı boyınsha usı elementke normal 4-vektor bolıp tabıladı (yaǵnıy giperbet elementinde ótkerilgen barlıq tuwrılarǵa perpendikulyar). Dara jaǵdayda $dS^0 = dxdydz$, yaǵnıy úsh ólshemli dV kólemnıń elementi bolıp tabıladı (giperbet elementiniń $x^0 = \text{const}$ gipertegisligindegi proekciyası).

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

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

Bul element skalyar bolıp tabıladı. 4 keńisliktiń uıastkasınıń kóleminiń koordinatalar sistemasın burǵanda ózgermeytuǵınlıǵı túsiniكلي²⁴.

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

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

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

operatorına almasırw arqalı túrlendiriwge 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 ulıwmalısırwılıwı boladı.

²⁴ Integrallaw ózgeriwshileri bolǵan x^0, x^1, x^2, x^3 lerdi jańa x'^0, x'^1, x'^2, x'^3 ózgeriwshilerine túrlendirgende $d\Omega$ integrallaw elementi $J d\Omega'$ ke almasırwıladı. 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 túrlendiriw yakobiani bolıp tabıladı. $x'^i = \alpha_k^i x^k$ túrindegi sızıqlı túrlendiriw ushın J yakobiani $|\alpha_k^i|$ anıqlawshısı menen sáykes keledi hám birge teń (koordinatalar sistemasınıń burılıwları ushın), usınıń menen $d\Omega$ nıń invariantlıǵı kelip shıǵadı.

Eki ólshemli bet boyınsha integral usı bet tárepinen qamtıp alınatuǵın 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 almasıw arqalı túrlenedi. Mısalı A^{ik} antisimmetriyalı tenzorınan alınǵan 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 tuyıq sızıq boyınsha alınǵan integral usı sızıq tárepinen qamtıp alınǵan bet boyınsha integralǵa

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

almasıwı arqalı túrlendiriledi. Mısalı vektordan alınǵan integral ushın

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

añlatpasına iye bolamız. Bul añlatpa Ctoks teoremasınıń ulıwmalastırılıwı bolıp tabıladı.

Tórt ólshemli tezlik.

Ádettegi úsh ólshemli tezlik vektorınan tórt ólshemli tenzordı da túrlendiriw múmkin.

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

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

Onıń qurawshıların tabıw ushın

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

ekenligin eske túsiremiz. Bul añlatpada 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 birliği joq shama ekenligin atap ótemiz.

4 tezliktiń qurawshıları bir birinen gárezsiz emes. $dx_i dx^i = ds^2$ ekenligin eske alıp

$$u^i u_i = 1. \quad (2.3)$$

añlatpasına 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 múmkin. (3) ti differenciallap

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

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

Tutas ortalıqlar mexanikası.

Gidrodinamika.

Akustika.

Qattı deneler mexanikası.

Termodinamika.

Teñ ólsheuli emes termodinamika.

Optika.

Tolqınlıq optika.

Kristallooptika.

Molekulalıq optika,

Cızıqlı emes optika.

Elektrodinamika.

Elektrodinamika - fizikanıń bir bólimi bolıp, ol eń ulıwmalıq jaǵdaydaǵı elektromagnit maydanı (yaǵnıy waqıttan ǵárezli bolǵan ózgermeli maydanlar qaraladı) menen onıń elektr zaryadına iye bolǵan deneler menen óz-ara tásirlesiwın (elektromagnit tásirlesiw) úyrenedi. Elektrodinamikanıń predmeti óziniń ishine elektrlik hám magnit qubılısları arasındǵı baylanıstı, 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 tásirlesiwın (elektr toǵın qozǵalıwshı zaryadlangan bólekshelerdiń jıynaǵı sıpatında qarawǵa boladı) aladı. Házirgi zaman fizikasında zaryadlangan denelerdiń arasındǵı qálegen elektrlik hám magnitlik óz-ara tásir etisiwdi elektromagnit maydanı arqalı júzege keledi, sonlıqtan ol da elektrodinamikanıń predmeti bolıp tabıladı dep esaplanadı.

Kópshilik jaǵdayda elektrodinamika haqqında gáp etkende klassikalıq elektrodinamikanı túsinedi. Klassikalıq elektrodinamika Maksvell teńlemeleriniń járdeminde elektromagnit maydanınıń úziksiz qásiyetlerin táriyipleydi. Házirgi waqıtları elektromagnit maydandı hám onıń zaryadlangan bóleksheler menen tásirlesiwın hám onıń kvantlıq teoriyasın belgilew ushın ádette ornıqlı bolıp qalǵan kvantlıq elektrodinamika terminin paydalanadı. "Elektrodinamika" terminin "Andre-Mari-Amper óziniń 1823-jılı jarıq kórgen "Elektrodinamikalıq qubılıslardıń teoriyasınıń konspekti" jumısında kirgizdi.

Tiykarǵı túsinikler.

Elektrodinamika súyenetuǵın tiykarǵı túsinikler óziniń ishine mınalardı aladı:

- Elektromagnit maydanı elektrodinamikanıń úyrenetuǵın tiykarǵı predmeti bolıp tabıladı. Elektromagnit maydanı zaryadlangan denelerdiń arasındǵı óz-ara tásir etisiwde júzege keletuǵın materiyanıń túri bolıp tabıladı. Tariyxıy jaqtan eki maydanǵa bólinedi:

- Elektr maydanı - qálegen zaryadlangan dene yamasa ózgermeli magnit maydanı tárepinen payda etiledi, qálegen zaryadlangan denegе tásir etedi.

- Magnit maydanın qozǵalıwshı zaryadlangan deneler, spinge iye bolǵan zaryadlangan deneler hám ózgermeli elektr maydanı payda etedi, ol qozǵalatuǵın zaryadlarǵa hám spinge iye bolǵan zaryadlangan 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 tabıladı.

- Elektr zaryadı denelerdiń elektromagnit maydanları menen tásirlese alıw qásiyeti bolıp tabıladı: deregi xızmetin atqarıwı menen usınday maydanlardı payda etiwı hám bul maydanlar tárepinen tásirge (kúshlik) usırawı.
- Elektromagnitlik potencial - keńisliktegi elektromagnit maydanınıń tarqalıwın tolıq anıqlaytuǵın 4-vektorlıq fizikalıq shama. Elektrodinamikanıń úsh ólshemli formulirovkasında onnan mınalardı ayırıp kórsetedi:
 - a. Skalyarlıq potencial - 4-vektordıń waqıtlıq qurawshısı;
 - b. Vektorlıq potencial - 4-vektordıń qalǵan qurawshılarınınan payda etilgen úsh ólshemli vektor.
- Poynting vektory - mánisi elektromagnit maydanınıń energiyasınıń aǵısınıń tıǵızlıǵı bolǵan vektorlıq shama.

Tiykargı teńlemeler.

Elektromagnit maydanınıń qásiyetlerin hám onıń zaryadlangan deneler menen tásirlesiwın táriyipleytuǵın tiykargı teńlemeler mınalar bolıp tabıladı:

- Maksvell teńlemeleri, olar erkin elektromagnit maydanınıń vakuumdagı hám ortalıqtaǵı qásiyetin, maydannıń derekler tárepinen generaciyasını táriyipleydi. Bul teńlemelerdiń ishinde tómendegilerdi ayırıp kórsetiwge boladı:
 - a. Elektr maydanı ushın Gauss teoreması (Gauss nızamı), ol zaryadlar tárepinen elektrostatikalıq maydannıń generaciyalanıwın táriyipleydi.
 - b. Magnit maydanınıń kúsh sıziqlarınıń tuyıq ekenligi nazımı (magnit maydanınıń solenoidallıǵı), bul magnit maydanı ushın Gauss teoreması bolıp tabıladı.
 - c. Faradeydiń indukciya nızamı, ol ózgermeli magnit maydanı tárepinen elektr maydanın generaciyalawdı anıqlaydı.
 - d. Amper-Maksvell nızamı - Maksvell tárepinen kirgizilgen awısıw toǵın qosıw menen magnit maydanınıń cirkulyaciyası haqqındaǵı teorema, qozǵalıwshı zaryadlar hám ózgermeli elektr maydanı tárepinen magnit maydanınıń generaciyasını 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 jıllılıqtıń joǵalıwınıń shamasın anıqlaydı.
- Ayrıqsha áhmiyetke iye bolǵan dara teńlemeler sıpatında mınalardı kórsetiw gerek:
- Kulon nızamı - elektrostatikada - noqatlıq zaryadtıń elektr maydanın (kernewligin hám/yamasa potencialın) anıqlaytuǵın nızam bolıp tabıladı; sonıń menen birge Kulon nızamı dep eki noqatlıq zaryadtıń arasındagı elektrostatikalıq óz-ara tásirlesiwdi (kúshti yamasa potenciallıq energiyanı) anıqlaytuǵın uqsas formulaǵa da aytadı.
 - Bio-Cavara-Laplas nızamı (yamasa Biot-Savart nızamı) - magnitostatikada - toq tárepinen magnit maydanınıń payda etiliwin táriyipleytuǵın tiykargı 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 energiyanıń saqlanıw nızamın ańǵartadı.
 - Zaryadtıń saqlanıw nızamı.

Elektrodinamikanıń mazmunı.

Klassikalıq elektrodinamikanıń tiykargı mazmunı elektromagnit maydanınıń qásiyetlerin táriyiplew menen onıń zaryadlangan deneler menen tásirlesiwinen ibarat (zaryadlangan deneler elektromagnit maydanın payda etedi, onıń "derekleri" bolıp tabıladı, al elektromagnit maydanı bolsa óz gezeginde zaryadlangan 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 minaw túrdegi Maksvell teńlemelerine hám Lorenc kúshiniń formulasına alıp kelinedi, usınıń menen birge ol aralas bolğan máselelerdi de (matematikalıq fizikağa tiyisli bolğan, qosımsha shamalar menen toqtır tıgızlıǵı vektorınıń formulalarǵa h.t.b.) alıp keledi. Usınıń menen birge bul táriyiplew energiya menen impulstıń saqlanıwı menen elektromagnit maydanı tárepinen alıp júriliwine tiyisli (energiyanıń tıgızlıǵı ushin formula, Poynting vektori h.t.b.).

Elektrodinamikanıń arnawlı bólimleri.

- Elektrostatika statikalıq elektr maydanınıń (waqıttır ótiwi menen ózgermeytuǵın yamasa "elektrodinamikalıq" effektlerdi esapqa almaytuǵın dárejede ástelik penen ózeretuǵın, yaǵnıy Maksvell teńlemelerindegi waqıt boyınsha tuwındılardı basqa shamalarǵa salıstırǵanda kishi bolıwına baylanisli 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 tásirlesiwini úyretedi. Bunday jaǵdayda usı zaryadlar tárepinen payda etiletuǵın maydanlardı juwıq túrde statikalıq dep qarawdıń múmkinshiligi tuwılıwı kerek. Ádette, bunday jaǵdaylarda magnit maydanlardıń bolmawı (yamasa magnit maydanınıń esapqa almastay dárejede kishi bolıwı) názerde tutiladı.
- Magnitostatika turaqlı toqlar (hám turaqlı magnitler) menen turaqlı magnit maydanların (maydanlar waqıttır ótiwi menen ózgermeydi yamasa olardıń waqıt boyınsha ózgeris tezligin esapqa almastay dárejede kishi bolğan jaǵdaylarda) hám olardıń óz-ara tásirlesiwlerin izertleydi.
- Tutas ortalıqlar elektrodinamikası elektromagnit maydanlarınıń tutas ortalıqlardaǵı qásiyetlerin qaraydı.
- Pelyativistlik elektrodinamika qozǵalatuǵın ortalıqlardaǵı elektromagnit maydanların qaraydı.

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 barıwǵa tuwrı keledi. Elektrodinamika órnek bolatuǵınay teoriya bolıp tabıladı (óziniń klassikalıq hám kvantlıq variantlarında) hám ol óziniń esaplawları menen boljawlarınıń júdá joqarı dálligi menen ayrılıp turadı. Elektrodinamikanıń rawajlanıw barısında qalıplesken ideyalardıń tásirinde teoriyalıq fizikanıń basqa oblastlarınıń rawajlanıwı orın aldı.

Elektrodinamika texnikada o'g'ada úlken áhmiyetke iye bolıp, ol radiotexnikanıń, elektrotexnikanıń, baylanıs penen radionıń 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 bolatuǵınlıǵın menen dálillendi. Ol jetkilikli dárejede anıq emes formada bolsa da ótkizgishti qorshap turǵan keńisliktegi elektrlik hám magnitlik procesler arasındaqı óz-ara tásirlesiw ideyasın usındı.

1831-jılı Maykl Faradey eksperimentlerde elektromagnit qubılısı menen elektromagnit indukciya nızamın ashtı. Bul elektr hám magnit maydanları arasındaqı dinamikalıq óz-ara tásirlesiwdiń ayqın túrdegi óz-ara baylanıstıń bar ekenliginiń birinshi dálili bolıp tabıladı. Faradeydiń ózi elektr menen magnit maydanları ushın qollanıwǵa bolatuǵın fizikalıq maydan koncepciyasınıń tiykarın, fizikalıq maydanlardı táriyiplewge múmkinshilik 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 evolyuciyasını hám onıń zaryadlar hám toqlar menen tásirlesiwın táriyipleytuǵın "klassikalıq elektrodinamikanıń" teńlemeleriniń tolıq sistemasın baspadan shıǵardı. Ol jaqtılıqtıń elektromagnit tolqın ekenligin teoriyalıq jaqtan tiykarladı.

1895-jılı Lorenc klassikalıq elektrodinamikanıń qalıplesiwine aytarlıqtay úles qostı. Ol elektromagnit maydannıń qozǵalatuǵın noqatlıq zaryadlangan bóleksheler menen tásirlesiwın táriyiledi. Bul jumıslar oǵan Lorenc túrlendiriwlerin keltirip shıǵarıwǵa múmkinshilik berdi. Ol birinshi bolıp elektrodinamikanıń nyuton fizikasına qayshı keletuǵınlıǵın ańǵardı.

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

XX ásirdiń 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.

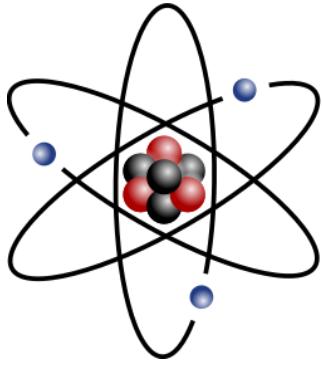
Magnitogidrodinamika.

Elektrogidrodinamika.

Terbelisler menen tolqınlar fizikası.

Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası.

Mikroskopiyalıq fizika



Litiy atominiń sxema túrindegi súwreti.

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

Atom fizikası.

Statistikalıq fizika.

Statistikalıq mexanika.

Maydanniń statistikalıq teoriiyası.

Fizikalıq kinetika.

Kvantlıq statistika.

Kondensirlengen ortalıqlar fizikası.

Qattı deneler fizikası.

Cuyıqlıqlar fizikası.

Atomlar menen molekulalardıń fizikası.

Nanostrukturalar fizikası.

Kvantlıq fizika.

Kvantlıq mexanika.

Maydanniń kvantlıq teoriiyası.

Kvantlıq elektrodinamika.

Kvantlıq xromodinamika.

Tarlar teoriiyası.

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 kosmologianıń teoriyalıq tiykarları.

Álemniń evolyuciyasınıń eń dáslepki dáwirlerindegi inflyaciyalıq keńeyiw.

Házirgi waqıtları Álemniń xronologiyası máselesi kópshilikti qızıqtıratuǵın hám internet tarmaǵında keńnen tarqalǵan máselelerdiń biri bolıp tabıladı. Mısal retinde internettegi Vikipediya ashıq enciklopediyasında keltirilgen ingliz tilindegi "Álemniń xronologiyası" maqalasınan úzindi keltiremiz. Bul xronologiya óziniń ishine bes dáwirdi aladı: júdá ertedegi Álem, ertedegi Álem, Qarańǵı dáwirler hám iri masshtablardaǵı strukturalardıń payda bolıwı, házirgi waqıtlardaǵı Álem, bolajaq hám Álemniń aqırı. Eń ertedegi Álem jónindegi kesteniń bólimi mınaday:

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

Bul kestede keltirilgen maǵlıwmatlar magisterlik dissertaciyanıń bunnan keyingi maǵlıwmatları menen dál sáykes kelmeydi. Cebebi biz 10^{-42} sekundtan 10^{-36} sekundqa shekemgi waqıt ishinde Álem óziniń rawajlanıwınıń inflyaciyalıq dáwirin bastan keshirdi dep boljaymız. Bul dáwirdiń tiykarǵı ózgesheligi zatlardıń maksimallıq kúshli teris basımınıń orın alıwınan ibarat. Bul teris basım vakuumnıń $p = -p$ hal teńlemesine sáykes Álemniń kinetikalıq energiyası menen onıń ólshemleriniń keskin túrdegi úlkeyiwın támiyinleydi. Inflyaciya dáwirinde Álemniń sıızqlı 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 almasırdı boljaydı. Bul ańlatpada $H(t)$ arqalı inflyaciyalıq dáwirdegi Xabbl parametri belgilengen. Onıń mánisi $H(t) = \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}$ ańlatpasınıń járdeminde esaplanadı. Xabbl parametriniń mánisi inflyaciya dáwirinde $10^{42} \text{ sek}^{-1} > H > 10^{36} \text{ sek}^{-1}$ shamasına teń (yaǵnıy onıń házirgi waqıtlardaǵı mánisinen salıstırmas dárejede úlken,

házirgi waqıtlardağı 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, yaǵnıy teris basımǵa sáykes keletuǵın halları tárepinen támiyinlenedi; bul dáwir inflyaciyalıq dáwir atamasına iye boldı (latın tilinde inflatio — úrleniw). Cebebi $R(t)$ masshtablıq faktordıń shamasınıń úlkeyiwine qaramastan energiyanıń tıǵızlıǵı ε turaqlı bolıp qaladı²⁵.

Bunday jaǵdayda energiyanıń saqlanıw nızamı buzılmaıdı. Cebebi inflyaciyalıq keńeyiw dáwirindegi gravitaciyalıq 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 inflyaciyalıq dáwirin támiyinleytuǵın maydanniń energiyası ádettegi bólekshelerdiń energiyasına aylanadı [33]: inflyaciyalıq modellerdiń kópshiligi bunday túrleniwlerdi barionlardıń payda bolıwına alıp keletuǵın simmetriyanıń buzılıwı menen baylanıstıradı. 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 inflyaciyalıq model sheklerinde sheshiliwi.

1. Inflyaciyalıq dáwirdegi keńeyiwdiń oǵada joqarı bolǵan templerine baylanıslı Álemniń iri masshtablardağı bir tekligi menen izotroplıǵı mashqalası sheshiledi: Álemniń baqlanatuǵın bólimniń barlıǵı inflyaciyaǵa shekemgi dáwirdegi sebep penen baylanısqa bir oblasttıń keńeyiwiniń nátiyjesi bolıp tabıladı.

2. Inflyaciyalıq dáwirde keńisliklik mayısqaqlıqtıń radiusı sonshama úlkeyedi, házirgi waqıtlardağı ρ tıǵızlıqtıń mánisi kritikalıq ρ_c tıǵızlıqtıń shamasına avtomat túrde jaqın boladı. Bul tegis Álem mashqalasın sheshedi.

3. Inflyaciyalıq keńeyiwdiń barısında belgili amplitudaǵa hám spektriniń formasına iye bolǵan tıǵızlıqtıń sonday fluktuacıaları qalıplesedi, tıǵızlıqtıń bunday fluktuacıaları rawajlanıwıń nátiyjesinde úlken masshtablardağı bir teklik penen izotroplıqtı saqlaǵan halda Álemniń házirgi waqıtları baqlanatuǵın strukturasını payda etedi. Bul jaǵday Álemniń iri masshtablardağı strukturası mashqalasın sheshedi.

Peliktlik gravitaciyalıq tolqınlar hám reliktlik toqınlardıń polyarizaciyası. Inflyaciyalıq modelden barlıq tolqın uzınlıqlarına iye bolǵan reliktlik (eń dáslepki) gravitaciyalıq tolqınlardıń bar ekenligi kelip shıǵadı. Bunday gravitaciyalıq tolqınlar ushın eń uzın tolqın uzınlıǵı Álemniń usı kúnlerdegi ólshemine teń. Olardıń bar yamasa joq ekenligi máselesin reliktlik mikrotolqınlıq nurlanıwıń polyarizaciyasınıń ózgeshelikleri boyınsha sheshiwge boladı. Eger gravitaciyalıq tolqınlar tabılsa, onda inflyaciyalıq modeldiń durıs ekenligi túpkilikli túrde tastıyqlanadı [35].

2014-jılı inflyaciyalıq modeldiń durıslıǵınıń dálili ushın janapay maǵlıwmatlar alındı. Bul dálil sıpatında birinshi gravitaciyalıq tolqınlardıń tásirindegi reliktlik nurlanıwıń polyarizaciyası bolıwınıń múmkinshiligi qabıl etildi. Biraq, bir qansha waqıt ótkennen keyin "Plank" observatoriyasınıń járdeminde alınǵan maǵlıwmatlar tiykarında ótkerilgen tallawlar bunday nátiyjeni galaktikalıq shańǵa tiyisli ekenligin kórsetti.

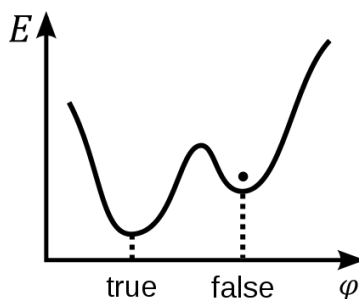
2019-jılǵa shekem reliktlik gravitaciyalıq tolqınlar tabılǵan joq hám inflyaciyalıq model usı kúnlerge shekem tek jaqsı gipoteza bolıp qalmaқта.

²⁵ Biz joqarıda masshtablıq faktordı $a(t)$ arqalı belgilegen edik.

Álemniń evolyuciyasınıń sońǵı dáwirlerindegi inflyaciya. 1998-jılı Supernova Cosmology Project ramkalarında ótkerilgen Ia tipindegi asa jańa juldızlarǵı baqlawlar Xabbl parametriniń ózgeriwiniń házirgi kúnlerdegi dáwirdegi Álemniń evolyuciyasınıń inflyaciyalıq xarakterge iye ekenligin (waqıt boyınsha tezleniwshi keńeyiw) kórsetti. Bunday qásiyetti payda etetuǵın júmbaq faktor qarańǵı energiya atamasına iye boldı. Álemniń tezleniw menen keńeyiwı bunnan 6-7 mlrd jıl burın baslanǵan. Házirgi waqıtları Álem hár 10 mlrd jılǵa uzınlıq eki ese úlkeyetuǵın tempte keńeyip atır. Házirgi waqıtları bar bolǵan maǵlıwmatlar bul temptiń derlik ózgermeytuǵınlıǵın kórsetedi.

Jalǵan vakuum.

Maydannıń kvantlıq teoriyasında jalǵan vakuum dep globalıq minimallıq energiyaǵa iye bolmaǵan, al lokallıq minimumǵa sáykes keletuǵın halǵa aytadı. Bul hal belgili bolǵan waqıttıń ishinde stabilli boladı (metastabillik), biraq haqıyqıy vakuum halına "tunnellene aladı" (4-súwret).



4-súwret. Jalǵan vakuum halındaǵı skalyar maydan. E energiya haqıyqıy vakuum halınıń (tiykargı hal) energiyasına salıstırǵanda joqarı. Biraq potencial barer maydannıń ótiwine tosqınlıq jasaydı. Colay etip, ótiwdiń maydannıń joqarı energiyasında yamasa kvantlıq-mexanikalıq tunnelleniw jolı menen júzege keliwi múmkin [36].

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

5-súwrette jalǵan vakuumnıń haqıyqıy vakuumge ótiwindegi "kóbiktiń" 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 anıqlanbaǵanlıǵına baylanıslı) [38].

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



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

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

Ctarobinskiy inflyaciyası.

Aleksey Aleksandrovich Ctarobinskiy - Possiya Ilimler Akademiyasınıń akademigi, Landau atındaǵı Teoriyalıq fizika institutınıń (Chernogolovka) bas ilimiy 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 generaciyalanatuǵın gravitaciyalıq tolqınlardıń spektriniń birinshi esaplanıwı, inflyaciyalıq scenariydiń birinshi izbe-iz modeli, stoxastikalıq inflyaciya teoriyası, inflyaciyalıq dáwirdiń aqırındaǵı Álemdegi materiyanıń qızıwı teoriyası, dáslepki geterogenlik haldıń klassikalıq halǵa ótiwiniń kvantlıq táriyipleniwi h.t.b. 2018-jıldıń basında ol soavtorlar jámáátiniń quramında kosmologiyalıq turaqlıńın jańa táriyipleme sin berdi.

A.Ctarobinskiy ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasına kirgiziletuǵın kvantlıq dúzetiwlerdiń eń ertedegi Álem ushın júdá áhmiyetli ekenligin atap ótti. Kvantlıq dúzetiwler Eynshteyn-Gilbert háreketindegi mayısqanlıqtıń kvadratına, $f(R)$ modifikaciyalanǵan gravitaciyasınıń ayırım túrlerine kirgiziledi. Mayısqanlıq 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 dúzetiwlerdi boljawǵa alıp keldi (bul dúzetiwlerdiń shaması keyinirek tolıq esaplandı). Ctarobinskiy

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

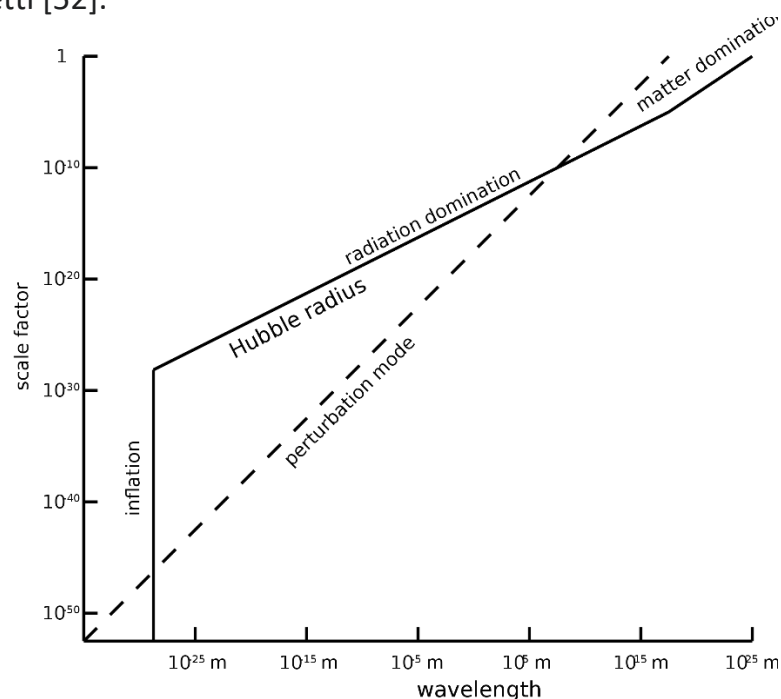
háreketin paydalandı. Bul teńlikte $\kappa = 8\pi G/c^4$, al R bolsa Pıçchi skalyarı. Bul háreket Eynshteyn teńlemeleriniń sheklerinde

$$V(\phi) = \Lambda^4 \left(1 - e^{-\frac{\sqrt{\frac{2}{3}}\phi}{M_P}} \right)^2 \quad (11)$$

potencialına sáykes keledi. Usı potencial yamasa R^2 shamasına iye háreket penen baylanıslı bolǵan scenariy Ctarobinskiy inflyaciya dep ataladı. Usı jaǵdayǵa baylanıslı baslanǵısh hám sonıń menen birge tolıq kvantlıq effektivlik háreketlerdi paydalanatuǵın modellerdi bir birinen ayırıwǵa tuwrı keledi [46-47].

Eń dáslepki inflyacialıq modeller.

Joqarıda esletilip ótilgenindey, magnit monopolleriniń joq ekenligin túsindiriw ushın 1981-jılı A.Gut inflyaciyanı usındı hám ol birinshi ret "inflyaciya" terminin usındı [48]. Tap usı waqıtta Ctarobinskiy gravitaciyaǵa kirgizilgen kvantlıq dúzetiwlerdiń 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 múmkin ekenligin boljadı [50-51]. Conıń menen bir qatarda Cato eksponenciallıq keńeyiwdiń domenlik diywallar mashqalasın da sheshe alatuǵınlıǵın kórsetti [52].



5-súwret. Xabbl radiusınıń fizikalıq ólshemi (tutas sızıq) Álemniń sızıqlı keńeyiwiniń (tutas sızıq) funkciyası sıpatında. Kosmologiyalıq inflyaciya dáwirinde Xabbl parametriniń mánisi turaqlı. Conıń menen birge uyıtqıwdıń modasınıń fizikalıq uzınlıǵı da kórsetilgen (punktir sızıq). Grafikte kosmologiyalıq inflyaciya dáwirinde uyıtqıw modasınıń gorizonttıń sırtına qayıp keliw ushın nurlanıw basım bolǵan jaǵdayda tez ósetuǵın gorizonttan qalayınsha úlken bolatuǵınlıǵı kórsetilgen. Eger kosmologiyalıq inflyaciya 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-nátıyjelik baylanıs bolmaǵan bolar edi. Bul mexanizm uyıtqıwlarıń 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 differenciallanıwshı M_4 kópliginiń járdeminde

modellestiriletuǵınlıǵın ańǵartadı. Onıń ushın hár bir noqattıń átirapında tórt ólsheмли Evklad keńisligi ótedi. Bul jerde "tegis" sózi differenciallıqtı ańǵartadı (házirshe onıń dárejesi haqqında dál túrde hesh nárese aytıwdıń keregi joq). Usınıń menen birge arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń nızamları jaqsı dálilikte orınlanadı. Conlıqtan bunday kóplik ushın Lorenclik metrikası jazıwǵa, yaǵnıy signaturası $\{-, +, +, +\}$ yamasa $\{+, -, -, -\}$ bolǵan azǵınbaǵan metrlik tenzordı paydalanıwǵa boladı.

Calıstırmalıq teoriyası paydalanıwǵın Piman geometriyası ulıwmalastırılǵan ádettegi Evklid geometriyası bolıp tabıladı. Ádettegi Evklid keńisliginde A hám B noqatların alamız hám tuwrı sıızılıq koordinatalar sistemasın 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

$$\bar{A}\bar{B} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 + (z_A - z_B)^2} \quad (12)$$

shamasına teń boladı. Eger tuwrı múyeshli koordinatalardıń ornına biz qanday da bir basqasın alsaq (mısalı sferalıq koordinatalar, ellipsoidalıq koordinatalar hám basqalar), onda noqatlar arasındaǵı aralıqtı esaplaw formulaları bir qansha quramalı boladı. Eger biz bir birine sheksiz jaqın jaylasqan noqatlardı alsaq 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 ańlapalardıǵı 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 múyeshli bolıwı shárt emes, al qálegen túrli bolıwı múmkin) λ, μ, ν koordinataları paydalanılatuǵın bolsın. Bunday jaǵdayda x, y, z koordinataları boyınsha λ, μ, ν koordinataların hám kerisinshe λ, μ, ν koordinataları boyınsha x, y, z koordinataların esaplaw múmkin. YAǵnıy x, y, z shamalarınıń hár qaysısı λ, μ, ν shamalarınıń funkciyası túrinde bılayınsha beriliwi múmkin:

$$\begin{aligned} x &= f_1(\lambda, \mu, \nu), \\ y &= f_2(\lambda, \mu, \nu), \\ z &= f_3(\lambda, \mu, \nu). \end{aligned} \quad (14)$$

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 qabıl etsek biz mınağan iye bolamız:

$$ds = \sqrt{g_{11}d\lambda^2 + g_{22}d\mu^2 + g_{33}d\nu^2 + 2g_{23}d\mu d\nu + 2g_{31}d\nu d\lambda + 2g_{21}d\lambda d\mu}. \tag{18}$$

Eger qolaylı bolıw ushın λ , μ , ν belgilewleriniń ornına jańa x_1 , x_2 , x_3 belgilewlerin qabıl etsek, onda bılay jaza alamız:

$$ds = \sqrt{\sum_{i,k=1}^3 g_{ik} dx_i dx_k}. \tag{19}$$

Uzunlıqtıń differencialı bolğan (3)-ańlatpa bir birinen shekli qashıqlıqta turğan A hám B noqatları arqalı ótkerilgen qálegen sızıqtıń uzunlıǵın esaplawǵa múmkinshilik beredi. Bul uzunlıq A hám B noqatların tutastırıwshı iymeklik boyınsha alınǵan

$$\int_A^B \sqrt{\sum_{i,k=1}^3 g_{ik} dx_i dx_k} \tag{20}$$

integralınıń járdeminde beriledi. Misalı, eger bul iymeklik $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ túrindegi parametrlik formada beriletuǵın bolsa, onda $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ lar t ózgeriwshilerininiń funkciyaları bolıp, olar $t = t_0$ mánisinde A noqatınıń koordinataları bolğan x_1 , x_2 , x_3 lerdı 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 bolğan 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 uzunlıǵı endi mına anıq integraldıń járdeminde esaplanadı:

$$\int_{t_0}^{t_1} \phi(t) dt. \tag{21}$$

Bul integralda

$$\phi(t) = \sqrt{\sum_{i,k=1}^3 g_{ik}(t) \frac{dx_i(t)}{dt} \frac{dx_k(t)}{dt}}. \tag{22}$$

$g_{11} = g_{22} = g_{33} = 1$ bolğan dara jaǵdayda basqa barlıq g_{ik} lar nolge teń hám (3)-formula mınanı beredi:

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}. \tag{23}$$

Bul (2)-formulanıń ózi bolıp tabıladı. g_{ik} shamaları $i = k$ bolǵanda báhama 1 ge, al $i \neq k$ bolǵanda 0 ge teń bolatuǵınday etip koordinatalar sistemasın saylap alıw hámme waqıtta da jetkilikli hám zárúrli. Bunıń ushın múmkin bolğan tuwrı múyeshli koordinatalar sistemasınıń 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

$$\begin{aligned} ds^2 &= \sum_{i,k=1}^3 g_{ik}' dx_i' dx_k' = \sum_{j,l,i,k=1}^3 g_{il} \frac{\partial x_j}{\partial x_i'} \frac{\partial x_l}{\partial x_k'} dx_i' dx_k' = \\ &= \sum_{j,l=1}^3 g_{jl} \sum_{i=1}^3 \frac{\partial x_j}{\partial x_i'} dx_i' \sum_{k=1}^3 \frac{\partial x_l}{\partial x_k'} dx_k' = \sum_{j,l=1}^3 g_{jl} dx_j dx_l. \end{aligned} \quad (24)$$

teńlikleri orınlanatuǵında yasaq funkciyanı kirgiziw jetkilikli:

$$g_{ik}' = \sum_{j,l=1}^3 g_{jl} \frac{\partial x_j}{\partial x_i'} \frac{\partial x_l}{\partial x_k'}. \quad (25)$$

Eger g_{ik} funkciyaları eski koordinatalar sistemasında qanday orındı iyeleytuǵın bolsa g_{ik}' funkciyaları jańa koordinatalar sistemasında sonday orındı iyeleydi. Conlıqtan (4)-formula g_{ik} funkciyalarınǵa túrlendiriw nızamı bolıp tabıladı. Joqarıda ayılǵanlarǵa baylanıslı (4)-formulada $i = k$ shártı orınlanǵanda $g_{ik}' = 1$, al $i \neq k$ bolǵanda $g_{ik}' = 0$ orınlanatuǵın jańa koordinatalar sistemasın saylap alıwǵa barlıq waqıtta da boladı. Eger koordinatalar sisteması berilgen bolsa (yaǵnıy qálegen noqattı x_1, x_2, x_3 úsh sannan turatuǵın sistema arqalı belgilew múmkin 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 múmkin. 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 túsiniqli. Colay etip biz pútkilley tábiyiy 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 $x_1, x_2, \dots, x_n$ koordinataların beriw menen xarakterlenetuǵın noqatlardıń jıyınǵına 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 orınlanatuǵın) usı koordinatalardıń g_{ik} ($i, k = 1, 2, \dots, n$) funkciyaları berilip

$$g = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{n1} & g_{n2} & \dots & g_{nn} \end{vmatrix} \quad (26)$$

anıqlawshı kontinuumnıń hesh bir noqatında nolge aylanbawı kerek. A hám B noqatların tutastıratuǵın noqatlardıń úzliksiz qatarı sıziq dep ataladı. Onıń uzınlıǵı sıziqtıń 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 arasındǵı qashıqlıq (ólshem anıqlaw yamasa interval)

$$ds^2 = \sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k \quad (28)$$

formulası járdeminde anıqlanadı. Al

$$g_{ik}' = \sum_{j,l} g_{jl} \frac{\partial x_j}{\partial x_i' \partial x_k'} \quad (29)$$

formulası járdeminde $x_1, x_2, \dots, x_n$ koordinatalar sistemasınan $x_1', x_2', \dots, x_n'$ sistemasına ótkende g_{ik} koefficientleriniń ornına jazılatuǵın g_{ik}' koefficientleri anıqlanadı. Eger $i \neq k$ orınlanganda $g_{ik}' = 0$ hám $i = k$ shárti orın alganda $g_{ik}' = 1$ bolatuǵın (6)-formula menen ólshem anıqlanatuǵın keńislik n ólshemli Evklid keńisligi dep ataladı. Biraq buni barlıq jaǵdaylarda ámelge asırıw múmkin bolmaydı hám sonlıqtan Evklid geometriyası óziniń ishine oǵada kóp nárseni qamtıytuǵın Piman geometriyasınıń kishi ǵana dara jaǵdayı bolıp tabıladı.

Tartılıs nızamı menen ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasındaǵı jaqtılıqtıń tarqalıw nızamın keltirip shıǵarmastan burın bunnan keyin bizge paydalanıw ushın kerek bolatuǵın bir teoremanı keltirip shıǵaramız. Bunıń ushın mınaday mäseleni 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 orınlanatuǵın sızıqlar ushın ǵana qanaatlandırıladı (yaǵnıy olardıń uzınlıqları ekinshi tártipli sheksiz kishi shamaǵa shekemgi dálilikte sol A hám B noqatların bir biri menen tutastıratuǵın oǵan sheksiz jaqın bolǵan basqa sızıqtıń uzınlıǵına teń. (7) ni qanaatlandıratuǵın sızıqlardı geodeziyalıq sızıqlar dep ataydı. Usıǵan baylanıslı endi geodeziyalıq sızıqtıń differential teńlemelerin keltirip shıǵaramız.

$$\begin{aligned} \delta(ds) &= \delta \sqrt{\sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k} = \frac{1}{2} \delta \frac{\sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k}{\sqrt{\sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i dx_k}} = \\ &= \frac{1}{2ds} \sum_{i,k=1}^n dx_i dx_k \delta g_{ik} + \frac{1}{2ds} \sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_i \delta dx_k + \sum_{i,k=1}^n g_{ik} dx_k \delta dx_i = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n \left\{ \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \delta g_{ik} + g_{ik} \frac{dx_i}{ds} \frac{d}{ds} (\delta x_k) + g_{ik} \frac{dx_k}{ds} \frac{d}{ds} (\delta x_i) \right\} ds = \end{aligned} \quad (32)$$

$$= \frac{1}{2} \left\{ \sum_{i,j,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \frac{dx_{ik}}{dx_j} \delta x_j + \sum_{k=1}^n \left(\sum_{i=1}^n g_{ik} \frac{dx_i}{ds} + \sum_{j=1}^n g_{jk} \frac{dx_j}{ds} \right) \frac{d}{ds} (\delta x_k) \right\} ds$$

añlatpasına iye bolamız. Conlıqtan geodeziyalıq sızıq shártı mına túrge iye boladı:

$$\begin{aligned} 0 &= \delta \int_A^B ds = \int_A^B \delta(ds) = \\ &= \frac{1}{2} \int_A^B \sum_{i,j,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} \delta x_i ds + \\ &+ \frac{1}{2} \int_A^B \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^n g_{ij} \frac{dx_i}{ds} + \sum_{k=1}^n g_{jk} \frac{dx_k}{ds} \right) \frac{1}{ds} (\delta x_j) ds. \end{aligned} \quad (33)$$

Conıǵı integraldı bóleklerge bólip integrallaymız. Conıń menen birge dáslep berilgen iymeklikti usı iymeklikke sheksiz jaqın hám A jáne B noqatları arqalı ótetuǵın iymeklikler menen salıstırılıp atırǵanlıǵın umıtpaymız. Basqa sóz benen aytqanda δx_j integrallaw jolınıń basında hám aqırında joq boladı. Conlıqtan bóleklerge bólip integrallaw mınanı beredi:

$$\begin{aligned} 0 &= \delta \int_A^B ds = \\ &= \frac{1}{2} \int_A^B \sum_{j=1}^n \left\{ \sum_{i,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} - \frac{d}{ds} \left(\sum_{i=1}^n g_{ij} \frac{dx_i}{ds} + \sum_{k=1}^n g_{jk} \frac{dx_k}{ds} \right) \right\} \delta x_j ds. \end{aligned} \quad (34)$$

δx_j variaciyaları bir birinen ǵárezsiz bolǵanlıqtan integraldıń nolge teń bolıwı δx_j variaciyaları aldındaǵı koefficientlerdiń integrallaw jolındaǵı barlıq noqatlarda nolge teń bolıwın talap etedi. Basqa sóz benen aytqanda j tıń barlıq mánisleri ushın

$$\begin{aligned} &\sum_{i,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} - \sum_{i=1}^n \frac{dg_{ij}}{ds} \frac{dx_i}{ds} - \sum_{i=1}^n g_{ij} \frac{d^2 x_i}{ds^2} - \\ &- \sum_{i=1}^n \frac{dg_{ik}}{ds} \frac{dx_k}{ds} - \sum_{k=1}^n g_{jk} \frac{d^2 x_k}{ds^2} = 0 \end{aligned} \quad (35)$$

teńliginiń orınlanıwı kerek. Keyingi summanıń aqırınan sanaǵanda úshinshisine teń ekenligin añlaw qıyın emes hám sonlıqtan

$$\frac{dg_{ij}}{ds} = \sum_{k=1}^n \frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k} \frac{dx_k}{ds} \frac{dg_{jk}}{ds} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial g_{jk}}{\partial x_i} \frac{dx_i}{ds} \quad (36)$$

ekenligi anıq teńlikti paydalansaq

$$- \frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \left(\frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} - \frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{jk}}{\partial x_i} \right) + \sum_{i=1}^n g_{ij} \frac{d^2 x_i}{ds^2} = 0 \quad (37)$$

dep jazıwǵa boladı.

Endi mınaday belgilewlerdi kirgizemiz: g anıqlawıshındaǵı (26-formula) g_{ik} elementiniń algebralıq qosımshasın (anıqlawshınıń ózine bólingen) g^{ik} arqalı belgileybiz (i hám k

belgileri joqarıda jazılğan). Anıqlawshılardıń 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 qabıl etilgendey $i = l$ bolǵanda 1 ge, al $i \neq l$ bolǵanda 0 ge teń bolatuǵın shamanı δ_{il} arqalı belgilesek, onda

$$\sum_{j=1}^n g^{lj} g_{ij} = \delta_{il} \quad (38)$$

dep jazamız. (8)-formulanıń eki bólimin de g^{lj} qa kóbeytemiz hám $j (= 1, 2, \dots, n)$ boyınsha summalaymız. Nátiyjede (9)-formulanıń járdeminde alamız:

$$-\frac{1}{2} \sum_{i,k=1}^n \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} \sum_{j=1}^n g^{ij} \left(\frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} - \frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{jk}}{\partial x_i} \right) + \sum_{i=1}^n \delta_{il} \frac{d^2 x_i}{ds^2} = 0. \quad (39)$$

Cońǵı summada $i = l$ shártin qanaatlandırmaytuǵın aǵzalardıń barlıǵı da joq boladı (δ_{il} dıń qásiyetlerine sáykes). Usı jaǵdaydı esapqa alsaq hám

$$\left\{ \begin{matrix} ik \\ l \end{matrix} \right\} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n g^{lj} \left(\frac{\partial g_{jk}}{\partial x_i} + \frac{\partial g_{ij}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{ik}}{\partial x_j} \right) \quad (40)$$

belgilewin paydalansaq biz geodeziyalıq sızıqtıń teńlemelerin alamız:

$$\frac{d^2 x_l}{ds^2} + \sum_{i,k=1}^n \left\{ \begin{matrix} ik \\ l \end{matrix} \right\} \frac{dx_i}{ds} \frac{dx_k}{ds} = 1. \quad (41)$$

Bul formuladaǵı Xristofel qawsırmaları dep atalatuǵın $\left\{ \begin{matrix} ik \\ l \end{matrix} \right\}$ shamaları (10)-formula járdeminde anıqlanadı. (10)-formuladan kórinip turǵanıday, Xristofel qawsırmaları $x_1, x_2, \dots, x_n$ koordinatalarınıń funkciyaları bolıp tabıladı hám bul koordinatalardıń shamaları eger sol koordinatalardıń funkciyaları bolǵan g_{ik} lar belgili bolsa esaplanadı. $\left\{ \begin{matrix} ik \\ l \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} ki \\ l \end{matrix} \right\}$ teńligi barlıq waqıtta da orınlanatuǵın bolǵanlıqtan (10)-formuladan n ólshemli keńislikte bir birinen gárezsiz bolǵan Xristofel qawsırmaların ıń 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 gárezsiz bolǵan Xristofel qawsırmalarına iye bolamız.

Matematikalıq fizika.

Materialtanıw.

Kristallografiya.

Medicinalıq fizika.

Metrologiya.

Padiofizika.

Kvantlıq radiofizika.
 Ctatistikalıq 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. C drevneyshix vremën do konca XVIII veka. — Izd. 3-e. — M.: LKI, 2010. — 352 s.
2. Dorfman YA. G. Vsemirnaya istoriya fiziki. C nachala XIX do seredinı XX veka. — Izd. 3-e. — M.: LKI, 2011. — 317 s.
3. Istoriya estestvoznaniya v Possii. — M.: Izd-vo AN CCCP, 1957—1960.
4. Kudryavcev P. C. Kurs istorii fiziki. — M.: Prosveщenie, 1974.
5. Laue M. Istoriya fiziki. — M.: GITTL, 1956. — 230 s.
6. Locci M. Istoriya fiziki. — M.: Mir, 1970. — 464 s.
7. Oчерki razvitiya osnovnix fiziçeskix idey / Pod red. A. T. Grigoryana i L. C. Polaka. — M.: Izd-vo AN CCCP, 1959.
8. Pozenberger F. Istoriya fiziki. — M.—L.: GITTL, 1934.
9. Cpasskiy B. I. Istoriya fiziki, v dvux tomax. — Izd. 2-e. — M.: Vısshaya shkola, 1977.
10. Fizika na rubeje XVII—XVIII vekov. — M.: Nauka, 1974.
11. Xramov YU. A. Fiziki. Biografiçeskiy spravочnik. — Izd. 2-e, ispr. i dop. — M.: Nauka, 1983. — 400 s.
12. Landau L. D., Lifshic E. M. Teoretıçeskaya fizika. — M.: Nauka, 1958. — 509 s.
13. Ivanov B. N. Zakonı 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. Oчерki razvitiya osnovnix fiziçeskix idey. — M.: AN CCCP, 1959. — 511 s. — 5000 ekz.