

**ÓZBEKISTAN RESPUBLIKASI JOQARI HÁM ORTA ARNAWLI
BILIM MINISTRILIGI**

BAS ILIMIY-METODIKALÍQ ORAY

**BERDAQ ATINDAĞI QARAQALPAQ MÁMLEKETLIK
UNIVERSITETINIŃ JANINDAĞI PEDAGOGIKALIK KADRLARDI
QAYTA TAYARLAW HÁM QÁNIGELIGIN JETILISTIRIW
AYMAQLIQ ORAYI**

**"JOQARI ENERGIYALAR FIZIKASI HÁM ASTROFIZIKANIŃ
HÁZIRGI ZAMANDAĞI JAĞDAYLARI" MODULI BOYINSHA**

OQIW-METODIKALIQ KOMPLEKS

Nókis 2017

Bul oqıw-metodikalıq kompleks Joqarı hám orta arnawlı bilim ministrliginiń 2017 jıl «__»-____dag'i __-sanlı buyırığı menen tastıyqlanǵan oqıw reje hám dástúr tiykarında tayarlandı.

Dúziwshi:

prof. B.Abdikamalov

Pıkir bildiriwshi:

docent U.Nasırov

Oqıw-metodikalıq kompleks QQMU dın 2017-jıl «__»-____dagı _-sanlı qararı menen baspaǵa usınıdı

MAZMUNÍ

OQIW BAĞDARLAMASÍ	4
LEKCIYALAR MATERIALLARÍ.....	13
ÁMELİY SABAQLAR MATERIALLARI.....	61
ÁDEBIYATLAR DIZIMI	95

**ÓZBEKISTAN RESPUBLIKASI JOQARI HÁM ORTA ARNAWLI
BILIM MINISTRILIGI**

**BERDAQ ATINDAĞI QARAQALPAQ MÁMLEKETLIK
UNIVERSITETINIŃ JANINDAĖI PEDAGOGIKALIK KADRLARDI
QAYTA TAYARLAW HÁM QÁNIGELIGIN JETILISTIRIW
AYMAQLIQ ORAYI**

"Tastiyıqlayman"

Oraydıń direktorı

_____ Q.Ubaydullaev

" _____ " _____ 2017 jil

**"JOQARI ENERGIYALAR FIZIKASI HÁM ASTROFIZIKANIŃ
HÁZIRGI ZATAN JAĞDAYLARI" MODULI BOYINSHA**

OQIW BAĖDARLAMASI

Nókis 2017

<ul style="list-style-type: none"> • Joqarı energiyalar fizikası menen astrofizikanıń házirgi zamalardaǵı jetiskenlikleri hám teoriyalıq jáne eksperimentallıq mashqalaları. 	<ul style="list-style-type: none"> • Joqarı energiyalar fizikası menen astrofizikanıń házirgi zaman jetiskenlikleri menen áhmiyetli mashqalaların fizikalıq kóz-qaraslar boyınsha túsindire aladı.
<ul style="list-style-type: none"> • Joqarı energiyalar fizikası menen astrofizikanıń házirgi zamanlardaǵı jetiskenlikleri menen mashqalaları. Xiggs bozonları menen gravitaciyalıq tolqınlardıń ashılıwı. 	<ul style="list-style-type: none"> • Joqarı energiyalar fizikası menen astrofizika baǵdarlarındaǵı jańalıqlardı hám olardıń fizikalıq tiykarların tallay aladı.
<ul style="list-style-type: none"> • Sabaqlardıń barısında ilimniń jańalıqlarına paydalana alıw metodları. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sabaqlarda ilimniń jańalıqlarınan paydalanıw usılların biledi hám olardı jaǵdaylarǵa sáykes paydalana aladı.

2.2. Modul boyınsha sabaqlardıń bólistiriliwi

№	Atamaları	Tınlawshılardıń oqıw júklemesi, saatlar					
		Hámmesi	Auditoriyadaǵı oqıw júklemesi				Óz betinshe tayarlanıw
			Sonıń ishinde:				
			Jámi	Teoriyalıq	Ámeliy	Tájiriybeler almasıw	
1.	Joqarı energiyalar fizikası ilimindegi qolǵa kirkizilgen jańalıqlar, olardı tallaw. Xiggs bozonı menen gravitaciyalıq tolqınlardıń ashılıwı.	12	8	4	4		
2.	Joqarı energiyalar fizikası hám astrofizika boyınsha sabaqlarda ilimniń jańalıqlarınan paydalanıw.	16	8	4	4		2
3.	Astrofizika boyınsha sabaqlarda ilimniń jańalıqlarınan paydalanıw.	6	6	2	4		2
3.	Jami:	58	28	10	12	4	4

2.3. Teoriyalıq hám ámeliy sabaqlardıń temaları

№	Moduldiń birlikleriniń ataması	Sabaqtıń túri	Saat sanı
1	Joqarı energiyalar fizikası ilimi tarawında qolǵa kirkizilgen jetiskenlikler hám olardı tallaw. 1. Fizika iliminde qolǵa kirkizilgen sońǵı jetiskenlikler.	teoriya-lıq	
		ámeliy	4
			4

	2. Joqarı energiyalar fizikası ilimindegi bar bolğan mashqalalar, olardıń sheshimleri hám tallanıwı.		
2	<p>Joqarı energiyaları fizikası ilimi boyınsha sabaqlarda iliminiń jetiskenliklerinen paydalanıw metodikası.</p> <p>1. Joqarı energiyalar fizikası pání boyınsha oqıw processinde iliminiń jetiskenliklerinen paydalanıw, onıń metodları.</p> <p>2. Joqarı energiyalar fizikası páninde pánler arasındaǵı baylanıstı ámelge asırıwdıń jolları.</p>	teoriya-lıq	6
3.	<p>Astrofizika pání (ilimi) tarawında erisilgen jetiskenlikler hám olardı bilim beriw processinde paydalanıw.</p> <p>1. Aspan denelerin kosmoslıq apparatlardıń júrdeminde izertlewlerdiń nátiyjeleri.</p> <p>2. Sońǵı jılları tabılǵan astronomiyalıq ob'ektler. Gravitaciyalıq tolqınlardıń ashılıwı.</p> <p>3. Sońǵı jılları dóretilgen teleskopiyalıq dúzilisler.</p> <p>4. Gravitaciyalıq tolqınlar, olardıń ashılıwı, fizikalıq qásiyetleri.</p> <p>5. Reliktlik tolqınlardıń anizotropiyasınıń ashılıwı, Álemdegi energiyalar arasındaǵı balans.</p> <p>6. Álemniń tezleniw menen keńeyiwiniń ashılıwı.</p>	teoriya-lıq ámeliy	2 2
3	<p>Házirgi zaman joqarı energiyalar fizikası menen astrofizikasınıń joqarı okıw orınlarında ótiliwi, olardıń fizika tarawı boyınsha bilim beriw sistemasındaǵı ornı.</p> <p>1. Házirgi zaman fizikası pániniń mazmunı, maqseti hám wazıypaları.</p> <p>2. Sabaq processin shólkemlestiriw, oqıw-metodikalıq tiykarları, bar bolǵan oqıw ádebiyatları, Internet tamaǵınan paydalanıw, bar oqıw ádebiyatlarınıń tallanıwı.</p>	ámeliy	4

III. MODULDIŇ MAZMUNI

3.1. Teorijalıq sabaqlardıń mazmunı:

Joqarı energiyalar fizikası hám as trofizika pánleri boyınsha sońǵı jılları qolǵa kirgizilgen jetiskenlikler, olardı tallaw. Joqarı energiyalar fizikası iliminde erisilgen sońǵı jetsikenlikler. Xiggs bozonı. Standart modelʼ.

Joqarı energiyalar fizikası boyınsha sabaqlardı ilimniń jańalıqların paydalanıw metodikası. Joqarı energiyalar fizikası menen astrofizikaniń temaları boyınsha ilimniń jańalıqlarınan paydalanıw hám onıń usılları. Joqarı energiyalar fizikası menen astrofizika tarawları boyınsha ótiletuǵın sabaqlarda pánler aralıq baylanıslardı ámelge asırıw.

Astrofizika ilimi tarawında erisilgen jetiskenlikler hám olardı oqıw processinde paydalanıw. Aspan denelerin kosmoslıq apparatlardıń járdeminde izertlewdiń nátiyjeleri. Kosmoslıq reliklik fon hám onıń anizotropiyasınıń ashılıwı. Sońǵı jılları tabılǵan astronomiyalıq (astrofizikalıq) obʼektler. jańa teleskopiyalıq dúzilisler, olardıń islewiniń fizikalıq tiykarları hám izertlew shekleri.

3.2. Ámeliy sabaqlardıń mazmunı

Joqarı energiyalar fizikası ilimi tarawında sońǵı 10 jıl ishinde qolǵa kirgizilgen jetiskenlikler, olardı tallaw. Joqarı energiyalar fizikası tarawında orın alǵan mashqalalar, olardıń sheshimi hám tallawı. Standart modelʼ. Xiggs bozonınıń ashılıwı hám onıń áhmiyeti.

Joqarı energiyalar fizikası menen astrofiziki boyıǵsha ilimniń jańalıqların paydalanıwdıń metodikalıq tiykarları. Joqarı energiyalar fizikası (elementar bóleksheler fizikası), astronomiya jáne astrofizika boyınsha sabaqlarda ilimniń jetiskenliklerin paydalanıw hám onıń usılları. Bul boyınsha oqıw processinde basqa da pánler menen baylanıslı ámelge asırıw jolları.

Astrofizika ilimi tarawında erisilgen jetiskenlikler hám olardı sabaq processinde paydalanıw. Ayqın aspan deneleri menen kosmos keńisligin (pútkil Álemdi) kosmoslıq apparatlar, Jerdiń betinde jaylasqan dúzilisler, sonıń menen birge Jerdegi shaxtalarda ornatılǵan dúzilislerdiń járdeminde alınǵan nátiyjelerdi tallaw. Sońǵı jılları ashılǵan astronomiyalıq obʼektler,

basqa da astrofizikalıq qubılıslar. Gravitaciyalıq tolqınlardı relistraciyalaw ushın arnalğan detektorlardıń fizikalıq ózgeshelikleri hám qásiyetleri, dúzilisi.

Joqarı energiyalar fizikası hám astrofizikanıń joqarı oqıw orınlarındaǵı bilim beriw processinde tutqan ornı hám mazmunı. Joqarı energiyalar fizikası menen astrofizikanıń mazmunı, maqseti hám wazıypaları. Sabaq processin shólkemlestiriw, oqıw-metodikalıq tiykarları, bar bolğan oqıw ádebiyatların tallaw. Internet tarmaǵında bar bolğan ilimiy hám oqıw ádebiyatlarınan paydalanıw.

3.3. Óz betinshe islenetuǵın jumıslardıń mazmunı

Oqıw moduli boyınsha juwmaqlawshı test sorawlarına tayarlıq kóriw. Pitkeriw jumısın jaqlawǵa tayarlıq kóriw hám jaqlaw.

IV. Qadaǵalıw sorawları

1. Gravitaciyalıq tolqınlar dep nege aytamız?
2. Gravitaciyalıq tolqınlardıń derekleri qanday ob'ektler bolıp tabıladı?
3. Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası boyınsha gravitaciyalıq tolqınlardıń tábiyatı neden ibarat?
4. Qara qurdımlar dep kanday ob'ektlerge aytamız?
5. Neytronlıq juldızlar degenimiz ne?
6. Aq irgejeyle, qızıl gigantlar dep nelerge aytamız?
7. Termoyadrolıq reakciyalar degenimiz ne?
8. Tiykargı fundamentallıq bozonlar menen fermionlar nelerden ibarat?
9. Ázzi yadrolıq tásirlesiw degenimiz ne?
10. Kúshli yadrolıq baylanıstıń tiykargı fizikalıq mazmunı nelerden ibarat?
11. Kalıbrovkalıq bozonlar degenimiz ne?
12. Xiggs bozonınıń massası, spini, energiyası qanday shamalar?
13. Úlken adronlıq kollayderdiń islew principi haqqında nelerdi bilesiz?
14. Elementar bólekshelerdi izertlew processinde paydalanılatuǵın ásbap-úskenerler neler bolıp tabıladı?
15. Neytrino hám olardıń fizikalıq qásiyetleri?
16. Qarańǵı materiya haqqında nelerdi bilesiz?

17. Qarańgı energiya degenimiz ne?
18. Jańa tabılǵan kvazarlar aspan ob'ektleriniń qanday túrine kiredi?
19. Álemniń tezleniw menen keńeyiwi hám onıń múmkin bolǵan sebepleri?
20. Álemniń rawajlanıw evolyuciyasınıń etapları.
21. "Kvazarlar", "pul'sarlar" hám "qara kurdımlar" dıń astronomiya hám astrofizika kurslarında tutatuǵın ornı haqqında nelerdi ayta alsız?
22. Astrofizikalıq izertlew ásbaplarınıń islewiniń fizikalıq tiykarları haqqında nelerdi bilesiz?
23. Mikrodúnıya menen makrodúnıyanıń nızamları arasındagı baylanıs.
24. Inflyaciyalıq kosmologiya hám jqarı energiyalar fizikası arasındagı baylanıs.
25. Sońgı jılları ashılǵan elementar bóleksheler. Olardıń tiykarǵı fizikalıq qasiyetleri.

V. Oqıtıw quralları

1. Doska.
2. Noutbuk hám videoproektor.
3. Markerler.
4. A4 formatlı qaǵaz.
5. Tarqatpa materiallar.

VI. Ádebiyatlar

6.1. Tiykarǵı ádebiyatlar

1. Wzbekiston Respublikasi Prezidentining 2012 yil 28 maydagi "Malakali pedagog kadrlar tayérlash hamda wrta maxsus, kasb-hunar taʼlimi muassasalarini shunday kadrlar bilan taʼminlash tizimini yanada takomillashtirishga oid chora-tadbirlar twǵrisida"gi 1761-son Qarori
2. Wzbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2012 yil 10 avgustdagi "Wrta maxsus, kasb-hunar taʼlimi muassasalari rahbar va pedagog kadrlarining malakasini oshirish va ularni qayta tayérlash tizimini yanada takomillashtirishga doir chora-tadbirlar twǵrisida"gi 242-sonli qarori.

3. Karimov I.A. "Bunëdkorlik ywlıdan". – Toshkent: "Wzbekiston", 1996.
4. Karimov I.A. "YAngıça fikrlash va ishlash – davr talabi". – Toshkent: "Wzbekiston", 1997.
5. Karimov I.A. "Wzbekiston XXI asr bwsağasida: xavfsizlikka tahdid, barqarorlik shartlari va taraqqiët kafolatlari" – Toshkent: "Wzbekiston", 1997.
6. Karimov I.A. "YUksak maъnaviyat- engilmas kуч" – Toshkent: "Maъnaviyat", 2008
7. Karimov I.A. "Wzbekiston mustaqillikka erishish ostonasida". – Toshkent: "Wzbekiston", 2011.
8. Karimov I.A. "2012 yil Vatanimiz taraqqiëtini yangi bosqıçga kwtaradigan yil bwladı" – Toshkent: "Wzbekiston", 2012.
9. Mirzaxmedov B., Ğofurov N.va boshqalar "Fizika wqitish metodikasi" – Toshkent: Nizomiy nomidagi TDPU, 2010.
10. Begimqulov U.SH., Mahmudova X.M., Gadoev O.A, Fizikadan praktikum. Optika va kvant fizika. – Toshkent: Musıqa nashriëti, 2007.

6.2. Qosımsha ádebiyatlar

1. I.A. Karimov. Barkamol avlod - Wzbekiston taraqqiëtining poydevori. –Toshkent: "SHarq nashriëti", 1997.
2. Lutfullaev M.X., Fayziev M.A.. Internet asoslar. – T.: SamDU nashriëti. 2001.
3. Xolmurodov R.I., Lutfullaev M.. Zamonaviy axborot texnologiyalari asosida wqitish , – Toshkent: WzRFA.Fan, 2003.
4. www.gov.uz
5. www.ziyonet.uz
6. www.edu.uz
7. www.uzedu.uz
8. www.pedagog.uz
9. www.tdpu.uz
10. <http://inbox.uz> elektron pochta xızmeti hám basqalar.

LEKCIYALAR MATERIALLARI

Mazmunı

Kirisiw.

I bap. A.Eynshteyn hám onıń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriiyası.

1-Ş. A.Eynshteynniń ómirinen qısqasha maǵlıwmatlar hám onıń eń dáslepki ilimiy jetiskenlikleri.

2-Ş. 1905-jıl – "Káramatlar jılı" – fizika ilimindegi ullı burılıslar jılı.

3-Ş. Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriiyası.

4-Ş. Gravitaciyalıq tolqınlar.

5-Ş. Berlin, 1915-1921 jıllar.

6-Ş. 1933-1955 jıllar. Princeton.

II bap. Gravitaciyalıq tolqınlardıń ashılıwı hám onıń fundamentallıq fizika ushın áhmiyeti.

7-Ş. Gravitaciyalıq tolqınlardıń quwatın esaplaw ushın paydalanılatuǵın matematikalıq ańlatpalar hám olardıń fizikalıq mánisi.

8-Ş. Gravitaciyalıq tolqınlardıń nurlandırılıwına baylanıslı bolǵan bazı bir máseleler.

9-Ş. LIGO observatoriyası haqqında hám gravitaciyalıq nurlardıń registraciyalanıwı.

10-Ş. Keleshek ushın dúzilgen jobalar.

Ulıwmalıq juwmaqlar.

Paydalanılǵan ádebiyatlardıń dizimi.

Kirisiw

Sońǵı jılları tábiyattanıw, sonıń ishinde fizika hám ximiya ilimlerinde adamzat ushın oǵada ullı áhmiyetke iye ilimiy ashılıwlar júz bermekte. 2012-jılı Jeneva qalasınıń qasındaǵı yadrolıq izertlewler boyınsha Evropa orayınıń (CERN) Úlken adronlıq kollayder dep atalatuǵın dúzilisiniń járdeminde Xiggs bozonı dep atalatuǵın elementar bólekshe ashıldı hám usınıń nátiyjesinde elementar bólekshelerdiń hám soǵan sáykes barlıq zatlardıń massaǵa iye bolıwınıń sebepleri tolıq belgili boldı. 2015-jıldıń jaz aylarında kollayderdegi tezletilgen protonlardıń energiyası 13 TeV shamasına jetkerildi hám usınıń nátiyjesinde pentakvark sıyaqlı massası úlken bolǵan jańa elementar bólekshelerdiń bar ekenligi anıqlandı [1].

2013-jılı Kaliforniya texnologiyalıq institutınıń ilimpazları tárepinen biziń galaktikamızdaǵı hár bir juldızdıń átirapında keminde bir planetanıń aylanatuǵınlıǵın daǵazalandı. Astronomlar bunnan 13,7 milliard jıl burın payda bolǵan, yaǵnıy jası Álemnıń jası menen derlik birdey bolǵan juldızdı taptı.

2014-jılı 12-noyabrǵ kúni "Rozetta" dep atalatuǵın Evropalıq kosmoslıq zond Çuryumov-Gerasimenko kometasına barıp qondı hám Jerge sol kometanıń súwretlerin hám fizikalıq-ximiyalıq qásiyetleri haqqındaǵı informaciyalardı jibere basladı.

Nátiyjede kometada 16 túrli organikalıq birikpeniń bar ekenligi belgili boldı. Al kometanıń betine qonbastan burın "Rozetta" kosmoslıq apparatı Ğuryumov-Gerasimenko kometasınıń tolıq betiniń kóp sanlı súwretlerin Jerge jiberdi [2].

2015-jılı iyulǵ ayında Amerika Qurama SHtatlarınıń NASA agentliginiń "Jańa gorizontlar" dep atalatuǵın kosmoslıq apparatı 9 jil dawamında ushuwınıń nátiyjesinde Jerden shama menen 4,5 milliard kilometr qashıqlıqta jaylasqan Pluton-Xaron sistemasına jetti hám Pluton kishi planetasın, onıń átirapında aylanıp júriwshi joldaslarınıń joqarı anıqlıqqa iye videosúwretlerin jáne olardıń fizikalıq hám ximiyalıq qásiyetleri haqqındaǵı bay maǵlıwmatlardı Jerge jetkerip berdi [3].

2015-jıldıń oktyabrǵ ayında Mars planetasında suwdıń bar ekenligi haqqındaǵı boljawlar tolıq tastıyqlandı.

Mendeleev dúzgen ximiyalıq elementlerdiń dáwirlik kestesindegi elementlerdiń sanı jıldan jılǵa kóbeymekte. Sońǵı waqıtları 114- hám 116-elementlerdiń tabılǵanlıǵın Jer júziniń kóplegen laboratoriyaları tastıyqladı.

2014-jıldıń 11-fevralǵ kúni bolsa Moskva, Vashington hám Piza qalalarında bir waqıtta ótkerilgen press-konferenciya da xalıq aralıq LIGO kollaboraciyası (kollaboraciya dep ulıwmalıq maqsetlerge jetiw ushın qanday da bir tarawdaǵı eki yamasa onnan da kóp adamlardıń, shólkemlerdiń birgeliktegi jumısına aytamız) proektiniń (LIGO, ingliz tilinde Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, gravitaciyalıq-tolqınlıq observatoriya mánisin beredi) qatnasıwshıları gravitaciyalıq tolqınlardıń tabılǵanlıǵın daǵazaladı. Gravitaciyalıq tolqındı registraciyalaw (biz "detektorlaw" terminin de paydalanamız) waqıyasın astrofizikada GW150914 (bul jazıwdı "2015-jılı 14-sentyabrǵ kúni baqlanǵan gravitaciyalıq tolqınlar" dep oqıw kerek) waqıyası dep belgilew qabıl etildi. Bunday tolqınlardıń bar ekenligi bunnan 100 jil burın Alǵbert Eynshteyn tárepinen jańa ǵana dóretilgen ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń tiykarında boljap ayılǵan edi. 12-fevralǵ kúni bolsa "Physical Review Letters" jurnalında sol proekttiń aǵzalarınıń "Observation of Gravitational Waves from a Binaty Black Hole Merger" atamasındaǵı maqalası shıqtı. Bul maqalanıń avtorlarınıń sanı derlik bir yarım mıń. Olar Jer júziniń 12 elinde jaylasqan 133 universitet penen ilimiy mákemelerinde jumıs isleydi [4-7].

Gravitaciyalıq tolqınlardı registraciyalanǵan qánigelardiń bergen bahası boyınsha birinshi hám eń kúshli signaldıń statistikalıq áhmiyeti "5-sigma" dan da artıq. Bul jaǵday izertlewshilerdiń alǵan nátiyjeleriniń durıs ekenligine iseniminiń 99,9999 procentke teń ekenligin bildiredi.

Demek ullı fizik Alǵbert Eynshteyn tiykarın Bern qalasında qalǵan, 1915-jılı fizikalıq teoriya túrine engen ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası fundamentallıq teoriya sıpatında tolıq tastıyqlandı hám endi onı aqırına shekem tolıq dóretilgen teoriya dep ayta alamız.

Gravitaciyalıq tolqınlar tolqın tárizli tarqalatuǵın gravitaciyalıq maydannıń ózgerisleri bolıp tabıladı. Qozǵalıwshı massalar tárepinen nurlandırıladı. Nurlandırılǵannan keyin sol massalardan ayrılıp shıǵadı hám olardan ǵárezsiz tarqaladı [4-5]. Matematikalıq jaqtan keńislik-waqıttıń metrikasınıń uyıtqıwı menen baylanıslı hám "keńislik-waqıttıń tolqınları (jıbırlıları)" túrinde táriyipleniwi múmkin [6-7].

Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasında hám gravitaciyanıń basqa da teoriyalarınıń kópshiliginde gravitaciyalıq tolqınlardı ózgermeli tezleniwge iye úlken massalardı iye deneler nurlandıradı [8]. Gravitaciyalıq tolqınlar keńislikte erkin túrde jaqtılıqtıń tezligindey tezlik penen tarqaladı. Gravitaciyalıq kúshlerdiń basqa fundamentallıq tásirlesiwlerge salıstırǵanda salıstırmalı túrde ázzi bolǵanlıǵına baylanıslı gravitaciyalıq tolqınlardıń intensivlikleri júdá kishi boladı hám sonlıqtan olardı registraciyalaw qıyın. Sonlıqtan gravitaciyalıq tolqınlar eksperimentallıq jollar menen tek 2015-2016 jılları ǵana ashıldı hám fizika menen astrofizika ilimindegi áhmiyetiniń oǵada ullılıǵına baylanıslı bul pitkeriw jumısı gravitaciyalıq tolqınlar hám olardıń ashılıwına baylanıslı orınladı.

Gravitaciyalıq tolqınlardıń bar ekenligi eń birinshi ret A.Eynshteyn tárepinen ózi dóretken ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń (Eynshteynniń gravitaciya teoriyasınıń) tiykarında 2015-2016 jılları boljap ayıldı. bunnan keyin kóp sanlı gravitaciya teoriyaları payda boldı hám olar da gravitaciyalıq tolqınlardıń bar bolıwınıń kerek ekenligin kórsetti [9-10].

Gravitaciyalıq tolqınlar eń birinshi ret 2015-jılı sentyabr ayında AQSH taǵı Washington hám Luiziana shtatlarında jaylasqan LIGO egiz-detektorlardıń járdeminde tikkeley registraciyalandı. Alınǵan signallardı izertlew sol gravitaciyalıq tolqınlardıń bir biriniń dógeresinde aylanıwshı eki kara qurdımınıń massası úlken bolǵan bir qara qurdımǵa qosılıwınıń nátiyjesinde payda bolǵanlıǵın kórsetti [11-12].

Gravitaciyalıq tolqınlardıń bar ekenligi haqqındaǵı tikkeley emes (yaǵnıy janapay) maǵlıwmatlar 1970-jıllarında payda bolǵan edi. Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası tıǵız qos juldızlar sistemasınıń jaqınlasıw tempiniń joqarılawınıń saldarınan energiyanıń joǵalıwınan gravitaciyalıq tolqınlardıń nurlandırılıwınıń sebebinen orın aladı dep túsindiredi. Gravitaciyalıq tolqınlardı tikkeley registraciyalaw hám olardı astrofizikalıq processlerdiń parametrlerin anıqlaw ushın qollanıw házirgi zaman fizikası menen astronomiyasınıń áhmiyetli máseleleriniń biri bolıp tabıladı.

Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń sheklerinde gravitaciyalıq tolqınlar tolqın tipindegi Eynshteyn teńlemeleriniń sheshimleriniń járdeminde táriyiplenedi. Bunday sheshimler gravitaciyalıq tolqınlardıń sızıqlı jaqınlasıwda jaqtılıqtıń tezligi menen tarqalatıwın keńislik-waqtıń metrikasınıń uyıtqıwları ekenligin kórsetedi. Bul uyıtqıwlar erkin túsiwshı eki dene (yaǵnıy basqa kúshler tásir etpeytuǵın eki dene) arasındaǵı qashıqlıqtıń dáwirli túrde ózgerisleri sıpatında kórinedi. Gravitaciyalıq tolqınınıń amplitudası h ólshem birligi joq shama bolıp, onıń mánisi sol eki dene arasındaǵı qashıqlıqtıń salıstırmalı ózgerislerine teń. Astrofizikalıq ob'ektler (mısalı kompaklı qos sistemalar) hám qubılıslar (asa jańa juldızlardıń partlanıwı, neytron juldızlardıń qosılıwı, qara qurdımlar tárepinen juldızlardıń jutılıwı, qara qurdımlardıń bir biri menen qosılıwı h.b.) tárepinen nurlandırılǵan gravitaciyalıq tolqınlardıń Quyash sistemasınıń aymaǵında ólshengen maksimalıq amplitudaları júdá kishi shama bolıp tabıladı ($h = 10^{-18} - 10^{-19}$). Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasına sáykes ázzi (sızıqlı) gravitaciyalıq tolqın ózi menen energiyanı hám impulstı alıp júredi jáne jaqtılıqtıń tezligindey tezlik penen tarqaladı, sonıń menen birge ol kóldeneń, kvadrupollik tolqın bolıp tabıladı. Sonıń menen birge gravitaciyalıq tolqınlar bir birine salıstırǵanda 45° lıq múyeshke burılǵan bir birinen ǵárezsiz eki qurawshınıń

járdeminde táriyiplenedi (usı jaǵdayǵa muwapıq polyarizaciyanıń eki baǵıtına iye boladı).

Hár qıylı teoriyalar gravitaciyalıq tolqınlar ushın hár qıylı tarqalıw tezliklerin beredi. Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasındaǵı sıızıqlı jaqınlasıwda gravitaciyalıq tolqınlardıń tarqalıw tezligi jaqtılıqtıń tarqalıw tezligine teń. Gravitaciyanıń basqa teoriyalarında bunday tolqınlardıń tarqalıw tezligi qálegen mániske, sonıń ishinde sheksiz úlken shamaǵa da teń boladı. Gravitaciyalıq tolqınlardı birinshi ret registraciyalawdıń maǵlıwmatlarına olardıń dispersiyasınıń massaǵa iye emes gravitonlardıń bar ekenligine sáykes ekenligin jáne tezliginiń jaqtılıqtıń tezligine teń ekenligin kórsetti.

I bab. A.Eynshteyn hám onıń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası

1-§. A.Eynshteynniń ómirinen qısqasha maǵlıwmatlar hám onıń eń dáslepki ilimiy jetiskenlikleri [13-18]

Alıbert Eynshteyn (nemishe Albert Einstein) 1879-jılı 14-mart kúni Germaniyadaǵı Uım qarasında tuwılǵan hám 1955-jılı 18-aprel kúni AQSH tıń Nıyu-Djersi shtatındaǵı Princeton qalasında qaytı bolǵan. Fizik-teoretik, házirgi zaman teoriyalıq fizikasın dóretiwshilerdiń biri, fizika boyınsha Nobel sıylıǵınıń laureatı (1921-jıl). Germaniyada 1879-1893, 1914-1933 jılları hám AQSH ta 1933-1955 jılları jasadı. Jer júzindegi jigirmalaǵan eń ullı universitetlerdiń húrmeti doktorı, kóp sanı ilimler Akademiyalarınıń aǵzası.

Alıbert Eynshteyn fizika boyınsha 300 den aslam ilimiy jumıslardıń, sonıń menen bir qatarda tariyx, ilimniń filosofiyası, publicistika boyınsha 150 kitaptıń avtorı bolıp tabıladı.

Alıbert Eynshteyn tómendegidey zor teoriyalardı dóretti:

Arnawlı salıstırmalıq teoriyası (1905-jılı);

Arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń sheklerinde $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ (kishi tezlikler ushın

$E = mc^2$) túrindegi massa menen energiya arasındaǵı baylanıstı sáwlelendiretuǵın fizika iliminiń eń ullı formulasın keltirip shıǵardı.

Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası (1907-1915-jıllar);

Fotoeffekt qubılısınıń kvantlıq teoriyası (1905-jılı);

Qattı denelerdiń jıllıq sıyımlıǵınıń kvantlıq teoriyası (1907-jıl);

Boze-Eynshteynniń kvantlıq statistikası (1924-jılı);

Flukuaciyaalar teoriyasınıń tiykarında jatatuǵın broun qozǵalısınıń statistikalıq teoriyası (1905-jılı);

Relyativistlik kosmologiyanıń tiykarları (1917-jılı);

Májburıy nurlanıw teoriyası;

Ortalıqlardaǵı termodinamikalıq flukuaciyalardaǵı jaqtılıqtıń shashırawınıń teoriyası.

A.Eynshteyn "kvantlıq teleporaciya" qubılısınıń orın alatuǵının boljadı hám Eynshteyn–de Gaaza gidromagnitlik effektin ólshedi. 1933-jıldan baslap kosmologiya hám maydannıń birden bir teoriyası máseleleri menen shuǵıllandı YAdrolıq quraldı paydalanıwǵa qarsı háreketlerge, gumanizmdi endiriw, adamnıń huqıqın húrmetlew, xalıqlar arasında óz-ara túsiniw islerine belsene qatnastı.

Jańa fizikalıq teoriyalar menen koncepciyalardıń ilimge endiriliwinde, olardı túsindiriw islerindegi Eynshteynniń tutqan ornı ullı. Mısal retinde keńislik penen waqıttıń, Nyuton tárepinen ashılǵan pútkil dúnyalıq tartılıs nızamınıń ornın iyeleytuǵın gravitaciyanıń jańa teoriyasın mánisin túsindiriwdegi onıń ornı ayırıqsha.

A.Eynshteyn M.Plank penen birlikte kvantlıq teoriyanıń tiykarların dóretti. Durıslıǵı kóp sanlı eksperimentlerde bekkem túrde tastıyıqlanǵan bul koncepciyalardıń barlıǵı da házirgi zaman fizikasınıń fundamentin quraydı.

Albert Eynshteyn tómendegidey sıyıqlardı alıwǵa miyasar bolǵan:

Fizika boyınsha Nobel sıyılıǵı (1921);

Bernard medalı (1921);

Mateuchı medalı (1921);

Kopli medalı (1925);

Ullibritaniyadaǵı Koroldıń astronomiyalıq jámiyetiniń altın medalı (1926);

Plank medalı (1926);

Jyulı Jansen sıyılıǵı (1931);

Gibbs lekciyası (1934);

Franklin medalı (1935);

Albert Eynshteyn 1879-jılı 14-mart kúni túslik Germaniyadaǵı Baden-Vyurtenberg jerindegi Dunay dárbıyasınıń jaǵasındaǵı Ulm qalasında onsha qurǵın emes evrey shańaraǵında tuwıldı.

Ákesi, German Eynshteyn (1847-1902) sol waqıtları kishkene kárxanaǵa iye bolǵan. Anası, Paulina Eynshteyn (1858-1920) qurǵın jasaǵan mákke satıwshı YUlius Derbaxerdiń qızı bolǵan. 1880-jılı jazdıń kúnleri Eynshteynlerdiń shańaraǵı Myunxen qalasına kóshken hám sol jerde German Eynshteyn óziniń inisi YAKob penen birgelikte elektr úskenelerin satıw menen shuǵıllanatuǵın kishkene firmanı dúzgen.

Baslangısh bilimdi Albert Eynshteyn sol jerdegi katolik mektebinde alǵan. Ol óziniń kishkene waqıtlardaǵı dinshil bolǵanlıǵın eske túsirgen. Biraq onıń dinshilligi 12 jasqa shıqqanda derlik tolıq joǵalǵan. Kópshilikke arnalǵan ilimiy kitaplardı oqıwdıń saldarınan jas Eynshteyn Bibliyada jazılǵanlardıń kópshiliginiń haqıyqatlıqqa tuwrı kelmeydi, al mámleket bolsa sol jaǵdaydı bilse de jas áwladtı aldaw menen shuǵıllanıp atır degen juwmaqqa kelgen. Kóp jıllar ótkennen keyin ol bala waqıtında Evklidtiń "Baslamalarınıń", Immanuel Kanttıń kitaplarınıń úlken tásir jasaǵanın jiyi eske túsirgen. Usınıń menen birge altı jasınan baslap ol anasınıń baslaması menen skripkada oylawdı úyrene baslaǵan. Muzıkaǵa qızıǵıw Eynshteynde ómiriniń aqırına shekem dawam etken. AQSİ qa kelgennen keyin ol 1934-jılı Germaniyadan kelgen ilimpaz hám kórkem-óner ğayratkerleri bolǵan emirgantlardıń paydası ushın Mocarttıń shıǵarmalarınan turatuǵın qayır-saqawat koncertin bergen.



14 jasar Alʔbert Eynshteyn.



A.Eynshteynniń Arau qalasında alǵan attestatı. Bul attestatta baha altı ballıq sistema boyınsha qoyılǵan.

Gimnaziya (Albert-Einstein-Gymnasium München dep atalatuǵın bul gimnaziya usı kúnlerge shekem bar hám onı házir onı qaraqalpaq tiline awdarganda Alʔbert Eynshteyn atındaǵı gimnaziya dep ataydı) matematika hám latin tili sabaqların esapqa almaǵanda ol eń jaqsı oqıtuǵın oqıwshılardıń qatarına kirmedi. Sol dáwirlerde orın alǵan oqıw materialların mexanikalıq túrde (mánisine túsinbesten) yadlap alıw sisteması, sonıń menen birge oqıtıwshılar menen oqıwshılar arasındaǵı avtoritarlıq qatnas A.Eynshteynde unamsız tásirlerdi payda etti. Oqıwdıń usınday túrin ol keyinirek oqıwdıń ózine hám dóretiwshilik oylawǵa úlken zıyanın tiydiredi dep túsendirdi.

1894-jılı Eynshteynlerdiń shańaraǵı Myunxen qalasınan Milan qalasına jaqın bolǵan Paviya qalasında kóship, bul jerge aǵalı-inili German menen YAkob óziniń firmasın da kóshirip alıp kelgen. Al Alʔberttiń ózi gimnaziyanıń barlıq altı klassın tolıq pitkeriw ushın Myunxende aǵayınleri menen qalǵan. Biraq erjetkenlik attestatın ala almay-aq, ol 1895-jılı Paviya qalasındaǵı shańaraǵına qosılǵan.

1895-jılı gúzdiń kúnleri Albert Eynshteyn Cyurix qalasındaǵı Joqarı texnikalıq uçılişpege (bul uçılişpeni politexnikum dep te ataydı) kiriwge imtixanın tapsırıw hám onı pitkergennen keyin fizika páni oqıtıwshısı qánigeligin alıw ushın kelgen. Ol matematika boyınsha kiriw imtixanın eń joqarı ballarǵa tapsırǵan. Biraq botanika menen francuz tili boyınsha kiriw imtixanlarında qanaatlandırılıq emes bahaların alıp Cyurix politexnikumına kire almaǵan. Biraq uçılişpeniń direktorı Alʔbertke attestat alıw hám qaytadan oqıwǵa kiriw maqsetinde SHveycariyanıń Arau qalasındaǵı mekteptiń eń sońǵı klassına kirip bir jil oqıwdı usınıs etken.

Arau qalasındaǵı mektepte Eynshteyn óziniń barlıq bos waqıtın Maksveldiń elektromagnitlik teoriyasın úyreniwge jumsaǵan. 1896-jılı ol francuz tilinen basqa barlıq imtixanlardı eń joqarı ballarǵa tapsırǵan hám sol jılı oktyabr ayında Politexnikumniń pedagogika fakulʔtetine qabıl etilgen. Bul jerde ol kurslası matematik Marsel Grossman (1878-1936) menen dos bolǵan. Sonıń menen birge ol medicina fakulʔtetinde oqıtuǵın ózinen 4 jas úlken Serbiyadan kelgen student qız Mileva Mariç (serb tilinde Mileva Marih, 1875-jılı 19-dekabr kúni Avstro-Vengriyadaǵı Titel qalasında tuwılǵan hám 1948-jılı 4-avgust kúni SHveycariyadaǵı Cyurix qalasında qaytı bolǵan) penen doslasqan hám keyinirek (1903-jılı) oǵan úylengen. Keyinirek olar 1 qızlı hám 2

balalı bolğan (A.Eynshteynniń birinshi perzenti Lizerlǵ atlı qızı 1902-jılı úylenbesten burın tuwılğan hám ol kóp jasamay qaytı bolğan) .

Tap usı jılı ol Germaniyanıń puqaralıǵınan bas tartqan. Sol waqıtları SHveycariyanıń puqarası bolıw ushın 1000 shveycariya frankın tólew kerek eken. Biraq usınday muǵdardaǵı aqshanı Eynshteynniń kem támiyinlengen shańaraǵı tek 5 jil ótkennen keyin ǵana tawıp bere alǵan. Eynshteynniń ákesiniń firması 1896-jılı tolıǵı menen bankrot bolğan hám usıǵan baylanıslı onıń áke-sheshesi Italiyadaǵı Milan qalasına kóship kelgen. Usı jerde German Eynshteynniń bir ózi elektr ásbapları menen sawda islewshi firmanı ashqan.

Politexnikumdaǵı bilim beriwdiń stili menen usılları avtoritarlıq Germaniyalıq mekteptiń bilim beriw stili menen usıllarınan túpkilikli túrde ayırmaǵa iye bolğan. Sonlıqtan A.Eynshteynniń bilim alıwı ushın oǵada unamlı jaǵdaylar orn alǵan. Politexnikumdaǵı oqıtıwshılar sol dáwirlerdegi Evropadaǵı eń sawatlı ilimpazlar qatarına kirgen. Solardıń ishinde 1864-jılı Rossiya imperiyasınıń aymaǵında tuwılğan hám keyinirek óziniń oqıwshısı A.Eynshteyn dóretken salıstırmalıq teoriyasınıń geometriyalıq tórt ólshemli modelin dóretken nemis matematigi German Minkovskiy (nemishe Hermann Minkowski, 1864-jılı 22-iyun kúni Rossiya imperiyasınıń aymaǵında tuwılğan hám 1909-jılı 12-fevral kúni Germaniya imperiyasındaǵı Göttingen qalasında qaytı bolğan) hám belgili nemis matematigi Adolf Gurvic (nemishe Adolf Hurwitz, 1859-1919) Politexnikumda miynet etken.

1900-jılı Albert Eynshteyn Politexnikumdı tamamladı hám fizika menen matematika oqıtıwshısı diplomın aldı. Pitkeriw imtixanların ol tabıslı tapsırǵanı menen joqarı bahalarga iye bola almadı. Kóp sanlı professorlar Eynshteynniń bilim alıwdaǵı qábiiletliklerin joqarı bahalaǵan. Biraq olardıń hesh qaysısı onıń ilimiy jumıslar menen shuǵıllanıwına járdem bergisi kelmegen. Usı jaǵdayǵa baylanıslı Eynshteyn keyinirek eske túsirgen: "Meniń professorlarım menen kemsite berdi, olar meniń oylawdaǵı hám bilim alıwdaǵı ǵárezsiz ekenligimdi jaqsı kórmedi hám meniń ushın ilimge bolğan joldı japtı".

Kelesi 1901-jılı A.Eynshteyn SHveycariyanıń puqaralıǵın alǵan bolsa da 1902-jılǵa shekem ol turaqlı jumıs ornına iye bola almadı (hátte mekteptiń muǵallımı lawazımına da ornalasa almadı). Aylıqtıń joq bolıwınıń saldarınan ol derlik ashlıqta jasadı, bir neshe kúnler qatarına ıssı awqat jey almadı. Bul jaǵday onıń ómiriniń aqırına shekem bawırınıń jaqsı islemewine alıp keldi.

1900-1902 jıllarındaǵı jumıssızlıq onıń fizika boyınsha biliminiń tereńletiwine hám ilim menen shuǵıllanıwına kesent ete almadı. 1901-jılı 22 jasında Berlin qalasında shıǵatuǵın hám fizika iliminiń mashqalalarına arnalǵan "Annalen der Physik" jurnalında onıń kapıllırlıq teoriyası tiykarında suyıqlıqtıń atomları arasındaǵı tartılıs kúshlerin tallawǵa baǵıshlangan "Kapıllırlıq teoriyasınıń nátiyjeleri (Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen)" dep atalatuǵın birinshi ilimiy maqalası jarıq kórdi.

Jumısqa ornalısw boyınsha payda bolğan qıyınshılıqtan shıǵıwǵa onıń burınǵı kurslası Marsel Grossman járdem bergen. Ol Eynshteyndi Bern qalasındaǵı aylıǵınıń jıllıq muǵdarı 3500 frank bolğan oylap tabıwları patentlewdiń Federallıq Byurosındaǵı III klass ekspert lawazımına usındı. Biz Eynshteynniń studentlik jılları bir jıldı 1200 frank alǵanın hám usınday aqshaǵa da kún kórgenligin atap ótemiz.

Eynshteyn Patentler byurosında 1902-jıldıń iyulinen 1909-jıldıń oktyabrine shekem derlik 7 jıl jumıs isledi. Bul jerde ol tiykarınan oylap tabıw ushın patent alıwǵa berilgen arzalarǵa ekspertlik baha beriw menen shuǵıllandı. Bunday jumıstıń xarakteri Eynshteynge bos waqıtların teoriyalıq fizika tarawında izertlew jumıslarına baǵıshlawǵa tolıq múmkinshilik berdi.

1902-jılı oktyabrǵ ayında A.Eynshteyn Italiyadan ákesiniń nawqaslanǵanlıǵı haqqında xat aladı. Ákesiniń awhallarınan xabar alıwǵa bargannan keyin bir neshe kún ótken soń German Eynshteyn qaytıw boladı.

1904-jıldan baslap Alǵbert Eynshteyn Germaniyadaǵı eń kúshli fizikalıq jurnal bolǵan "Fizikanıń annalları" jurnalı menen birge islese baslaǵan. Jurnaldıń referativlik qosımshası ushın ol termodinamika boyınsha shıqqan jańa maqalalardıń annotaciyaların, referatların jazǵan. Usınday jumıslardan toplanǵan abıraydıń nátiyjesinde bolsa kerek, 1905-jılı "Fizikanıń annalları" jurnalı onıń fizika ilimindeǵi oǵada áhmiyetli bolǵan bir katar maqalalarınıń jarıq kóriwine múmkinshilik berdi.

2-Ş. 1905-jıl – "Káramatlar jılı" – fizika ilimindeǵi ullı burılıslar jılı [19-22]

Fizika iliminiń tariyxında 1905-jıldı "Káramatlar jılı" dep ataydı (Latin tilinde Annus Mirabilis). Usı jılı "Annalen der Physik" (fizikanıń annalları) dep atalatuǵın fizikanıń mashqalasına baǵıshlanǵan nemis ilimiy jurnalı jańa ilimiy revolyuciyanıń baslanıwı bolıp tabılatuǵın Alǵbert Eynshteyniniń tómendegidey tórt oǵada áhmiyetli maqalası jarıqqa shıǵardı (biz A.Eynshteyniniń 1905-jılı hár qıylı ilimiy jurnallarda 25 ilimiy hám referativlik maqalalarınıń basılıp shıqqanlıǵın atap ótemiz):

1. "Qozǵalıwshı deneler elektrodinamikasına" (nemis tilinde "Zur Elektrodynamik bewegter Körper", qaraqalpaq tilindeǵi awdarması abdikamalov.narod.ru saytında). Usı maqaladan salıstırmalıq teoriyası baslanadı.

2. "Jaqtılıqtıń payda bolıwı menen aylanısına tiyisli bolǵan bir evristikalıq kóz-qaras haqqında" (nemis tilinde "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt", qaraqalpaq tilindeǵi awdarması abdikamalov.narod.ru saytında). Bul maqala kvantlıq teoriyanıń fundamenti qalanǵan maqalalardıń biri bolıp tabıladı hám onda fotoelektrlik effekt qubılısınıń teoriyası bayanlanǵan.

3. "Jılılıqtıń molekullıq-kinetikalıq teoriyası tárepinen talap etiletuǵın tınıshlıqta turǵan suyıqlıqtıń ishinde júzip júrgen bólekshelerdiń qozǵalıwı haqqında" (Nemisshe Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen, qaraqalpaq tilindeǵi awdarması abdikamalov.narod.ru saytında). Bul jumıs braun qozǵalıwına baǵıshlanǵan hám statistikalıq fizikanı ádewir alǵa qaray rawajlandırǵan jumıs bolıp tabıladı.

4. 1905-jıldıń aqırında shıqqan "Deneniń massası usı denede toplanǵan energiyadan ğárezli me? (nemis tilinde "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?", qaraqalpaq tilindeǵi awdarması abdikamalov.narod.ru saytında) maqalasında fizika iliminiń eń ullı formulası bolǵan massa menen energiyanı

baylanıstıratuğın $E = mc^2$ formulası jariq kórdi. Sentyabr ayında jazılğan bul úlken emes maqala "Deneniń massası onda toplanğan energiyanıń ólshemi bolıp tabıladı: eger energiya L shamasına ózgeretuğın bolsa, onda massa sáykes $L/(9 \cdot 10^{20})$ shamasına ózgeredi. Bul ańlatpada energiya erglerde, al massa grammlarda berilgen.

Energiyası úlken därejede ózgeretuğın zatlar ushın teoriyanı tekserip kóriw múmkinshiligi joq emes (mısalı radiy duzları ushın).

Eger teoriya faktlerge sáykes kelse, onda nurlanıw nurlanıwshı hám jutıwshı deneler arasında inerciya alıp baradı".

A.Eynshteynge "sizge salıstırmalıq teoriyasın dóretiwdiń sáti qalay tústi" degen mazmundağı sorawdı jiyi bergen. Ol yarım házil retinde bılayınsha juwap bergen: "Nelikten salıstırmalıq teoriyasın men dórettim? Tap usınday sorawdı men ózime bersem, mağan sebebi mınaday bolıp kórinedi. Eresek adam ádette keńislik penen waqıt mashqalası haqqında hesh nárese de oylamaydı. Onıń pikiri boyınsha sol mashqala haqqında bala waqıtta oylağan. Al menen bolsam intellektuallıq jaqtan áste-aqırınlıq penen rawajlandım. Sonlıqtan men keńislik hám waqıt haqqında úlkeygennen keyin ğana oylay basladım. Nátiyjede men ádettegi kishkene balalarga salıstırğanda mashqalağa tereń kire aldım".

Arnawlı salıstırmalıq teoriyası (special relativity). XIX ásirdiń aqırına shekem elektromagnitlik qubılıslardıń materiallıq alıp júriwshisi sıpatında gipotezalıq ortalıq bolğan efir qabıl etildi. Biraq XX ásirdiń basında bunday ortalıqtıń qásiyetleriniń klassikalıq fizikağa sáykes kelmeytuğın belgili bola basladı. Bir tárepten jaqtılıqtıń aberraciyası qubılısı efirdiń (eger efir bar bolsa) absolyut qozğalmaytuğın ortalıq ekenligin ańlattı. Al Fizo tájiriyesiniń juwmaqları efirdiń qozğalıwshı deneler tárepinen tolıq emes túrde alıp júriwshiligi haqqında mağlıwmatlardı berdi. Biraq Maykelsonnıń 1881-jılı ótkerilgen tájiriyeseleri efirdiń (yağnıy "efirlik samaldı") pútkilley joq ekenligin kórsetti (Maykelsonnıń oğada joqarı dálilikke iye bul eksperimentallıq jumısı fizika ilimindegi fundamentallıq áhmiyetke iye eksperimentlerdiń qatarına kiredi).

1892-jılı Niderlandiyalı fizik-teoretik Xenrik Anton Lorenc (niderland tilinde Hendrik Antoon Lorentz, 1853-1928) hám onnan ğárezsiz túrde irlandiyalı fizik Djordj Frensis Ficdjerald (ingliz tilinde George Francis Fitzgerald, 1851—1901) efir bar, ol qozğalmaydı, al qálegen deneniń uzınlığı qozğalıw bağıtında qısqaradı dep boljadı hám fizika iliminde keńnen belgili bolğan $\Delta l = l\sqrt{1 - v^2/c^2}$ formulasın keltirip shıǵardı. Bul jağday oğada áhmiyetli bolğan "nelikten deneniń uzınlığı "efirlik samaldı" dál kompensaciyalaytuğında hám sonlıqtan efirdiń ózin tabıwğa múmkinshilik bermeytuğında shamada qısqaradı?" degen mazmundağı ekinshi sorawdı payda etti. Usınıń menen bir waqıtta elektrodinamikadağı Maksvell teńlemeleriniń koordinatalardı túrlendiriwlerdiń qanday túrine qarata invariant ekenligi izertlene basladı. Durıs formulalardı eń birinshi ret 1900-jılı Djozef Larmor (Sir Joseph Larmor, Irlandiya fizigi, 1857-1942), keyinirek 1905-jılı ullı francuz ilimpazı (matematik, mexanik, fizik, astronom hám filosof) Anri Puankare (francuzsha Jules Henri Poincaré, 1854-1912) aldı. A.Puankare koordinatalardı túrlendiriw formulalarınıń gruppalıq qásiyetlerge iye ekenligin de dálilledi hám alınğan túrlendiriw formulaların Lorenc túrlendiriwleri dep atawdı usındı.

Ulıwma fizika kursında birinshisi qozǵalmaytuǵın (K), al ekinshisi birinshisine salıstırǵanda x kósheriniń baǵıtında v tezligi menen qozǵalatuǵın (K') inerciallıq esaplaw sistemaları ushın túrlendiriw formulalarınń

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

túrine iye bolatuǵınlıǵın ańsat keltirip shıǵaradı.

A.Puankare óziniń ishine elektrodinamikanıń da qamtıytuǵın salıstırmalıq principiniń ulıwmalastırılǵan formulirovkasın da berdi. Biraq usı jaǵdayǵa qaramastan ol efirdi moyınlawdı dawam etti hám sonıń menen birge efirdi hesh qashan baqlanbaydı degen naduris pikirdi qollap-quwatladı. 1900-jılı bolıp ótken fizikalıq kongresste ol waqıyalardıń bir waqıtlıǵınıń absolyut emes ekenligi haqqındaǵı ideyanı birinshi ret ortaǵa qoydı. Usınıń menen birge jaqtılıqtıń tezliginiń sheklik tezlik ekenligin de boljadı. Bul jaǵdaylar XX ásirdiń basında bir biri menen sáykes kelmeytuǵın eki kinematikanıń bir waqıtta ómir súrgenligin, olardıń birinshisiniń Galiley túrlendiriwlerine iye klassikalıq kinematika, al ekinshisiniń Lorenc túrlendiriwlerine iye elektromagnitlik kinematika ekenligin bilemiz.

Alǵbert Eynshteyn bolsa sol dáwirlerdegi eń iri ilimpazlardıń pikirlerinen ǵárezsiz ózinshe oy júgirtti. Onıń ideyası boyınsha klassikalıq kinematika elektromagnitlik kinematikanıń kishi tezlikler ushın orınlanatuǵın juwıq túri bolıp tabıladı. Al efirdiń qásiyetleri dep esaplanıp kelgen qásiyetlerdiń barlıǵı da keńislik penen waqıttıń obʼektivlik qásiyetleriniń ózi bolıp tabıladı. Eynshteyn baqlanıwı múmkin emes efirdi paydalanıw aqılǵa muwapıq kelmeydi hám mashqalanıń tiykarǵı hám birden bir tamırı dinamikada emes, al tereńirek, kinematikada jatır dep esapladı. Biz joqarıda atap ótken "Qozǵalıwshı deneler elektrodinamikasına" atamasındaǵı maqalasında ol tómendegidey eki postulattı usındı: ulıwmalıq salıstırmalıq principi hám jaqtılıqtıń tezliginiń turaqlılıǵı. Bul postulatlardan Lorenc qısqarıwı, Lorenc túrlendiriwleriniń, bir waqıtlılıqtıń salıstırmalıǵı formulaları, sonıń menen birge tezliklerdi qosıwdıń jańa formulası ańsat keltirilip shıǵarıladı.

Sol dáwirde jasaǵan ilimpazlardıń bir bólimi bul teoriyanı dárhál túsindi hám 1906-jılı teoriya "arnawlı salıstırmalıq teoriyası" degen atamasına iye boldı. M.Plank 1906-jılı hám A.Eynshteynniń ózi relyativistlik dinamika menen termodinamikanı dóretti. Alımnıń burınǵı muǵallimi German Minkovskiy 1907-jılı salıstırmalıq teoriyasınıń tórt ólshemli evklidlik emes geometriyası túrindegi salıstırmalıq teoriyasınıń kinematikasınıń matematikalıq modelin hám usınday tórt ólshemli dúńbıyanıń invariantlar teoriyasın islep shıqtı.

Biz arnawlı salıstırmalıq teoriyasın dóretiwde ullı francuz alımı A.Puankareniń júdá jaqın kelgenligin, biraq efir kóz-qarası oǵan aqırǵı qádemdi qoyıwǵa kesent jasaǵanın,

usı jaǵdayǵa qaramastan onıń invariantlar teoriyası boyınsha eń birinshi jumıstı 1905-jılı orınlaǵanın atap ótemiz.

XX ásirdeń basında kóp sanlı ilimpazlar Eynshteynniń jańa fizikasın dım revolyuciyalıq fizika dep qabıl etti. Haqıyqatında da bul teoriya efirdi (dúnıyalıq efirdi), absolyut keńislik penen absolyut waqıt túsiniklerin tolıq biykarladı. 200 jil dawamında fizika iliminde húkim súrgen hám durıslıǵı eksperimentlerde tastıyqlanǵan Nıyuton mexanikasınıń tolıq durıslıǵına gúmán payda etti. Salıstırmalıq teoriyasında hár qıylı esaplaw sistemalarında waqıt hár qıylı tezlikler menen ótedi, zatlardıń uzınlıǵı tezlikten gárezli boladı, jaqtılıqtıń tezliginen úlken tezlikler menen qozǵalıwdıń múmkinshiligi joq, "egizekler paradoksı" sıyaqlı paradokslar payda boladı. Bul jaǵdaylardıń barlıǵı da ilimiy jámaáttıń konservativlik bólimi tárepinen qabıl etilmedi. Arnawlı salıstırmalıq teoriyası eksperimentte baqlanıwı múmkin bolǵan hesh bir fizikalıq qubılıstıń bar ekenligin boljamadı hám bul jaǵday máseleni jáne de quramalastırdı. Mısalı bir qatar abıraylı fizikler 1905-1909 jılları orınlangan Valıter Kaufmannıń jumıslarınıń nátiyjeleri arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń tiykarı bolǵan salıstırmalıq principin tolıq biykarlaydı dep esaplandı. Biraq keyinirek kerisinshe sol Valıter Kaufmannıń tájiriybeleriniń juwmaqlarınıń arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń salıstırmalıq principiniń durıslıǵın tastıyqlaytuǵını 1914-1916 jılları moyınlana basladı. Bazı bir fizikler 1905-jıldan keyin alıternativlik teoriyalardı dóretiwge tırstı (mısal retinde 1908-jılı baspa sózde járiyalanǵan Ritctıń teoriyasın keltiriwge boladı). Biraq keyinirek alıternativlik teoriyalardıń hesh qaysısınıń nátiyjeleniniń ótkerilgen eksperimentler bergen nátiyjelerge sáykes kelmeytuǵınlıǵı málim boldı.

XX ásirdeń basında jasaǵan kóp sanlı belgili fizikler klassikalıq mexanikanıń hám efir koncepciyasınıń tárepedarları bolıp qalıwdı dawam etti. Olardıń qatarına Nobel sıylıǵınıń laureatları Lorenc, Dj.Dj.Tomson, Lenard, Nernst, Vinler kiredi. Atı atalǵan ilimpazlardıń ayırımları (mısalı Lorenc) arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń nátiyjelerin biykarlamadı, biraq sol nátiyjelerdi efir koncepciyası tiykarında qarawdı dawam etti. Olar Eynshteyn-Minkovskiydiń keńisliklik-waqıtlıq koncepciyasını haqıyqatlıqqa sáykes kelmeytuǵın bazı bir matematikalıq usıl sıpatında qabıl etiwdi maqul dep esapladı.

Arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń postulatarınıń durıs ekenligi aradan onlaǵan jıllardan soń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń beretuǵın nátiyjeleriniń haqıyqatında da orın alatuǵınlıǵın eksperimentlerde tekserip kóriwdiń barısında tastıyqlandı. Waqıttıń ótiwi menen arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń óziniń durıs ekenligin tastıyqlaytuǵın basqa da tájiriybelerdiń nátiyjeleri toplana basladı.

Kvantlıq teoriya. Fizikadaǵı jıllılıq nurlanıwı dep atalatuǵın qubılıstıń nızamların izertlew kvantlıq teoriyanıń payda bolıwındaǵı tiykarǵı sebep bolıp tabıladı. Bul máseleni sheshiw isleri menen XIX ásirdeń aqırı menen XX ásirdeń basında eń kúshli fizikler shuǵıllandı.

Temperaturası 0 K shamasına teń bolmaǵan qálegen dene ózinen jıllılıq energiyasını elektromagnitlik tolqınlar túrinde nurlandıradı. Temperatura menen nurlanıw intensivligi hám nurlanǵan elektromagnitlik tolqınınıń jiyiligi arasında qatań túrdegi qatnastıń bar ekenligin kóp sanlı eksperimentler kórsetti (mısalı Vinniń awısıw nızamı, ingliz tilinde Wien's displacement law). Qubılıstı klassikalıq elektrodinamikanıń nızamları tiykarında teoriyalıq izertlew fizika tariyxında "Ulıtrafiolet katastrofa"

(ultraviolet catastrophe) dep atalatuǵın qubılıstıń orın alıwınıń shárt ekenligi anıq boldı (Reley-Djins nızamı, ingliz tilinde Rayleigh–Jeans law). Biraq bunday katastrofa eksperimentlerde baqlanbadi.

Teoriya menen eksperimentlerdiń nátiyjelerin bir birine sáykes keltiriw maqsetinde 1900-jıldıń aqırında ullı nemis fizik-teoretigi Maks Plank (nemishe Max Karl Ernst Ludwig Planck; 1858-jılı 23-aprel’ kúni tuwılǵan hám 1947-jılı 4-oktyabr’ kúni qaytı bolǵan) tábiyattanıw ilimleri ushın áhmiyeti oǵada ullı bolǵan mınaday postulattı usındı (Planck’s law): zatlar jıllılıq energiyasın úzliksiz emes, al porciyalar túrinde (diskret) nurlandıradı yamasa jutadı, al energiyanıń sol porciyasınıń shaması nurlanǵan elektromagnit tolqınıń jiyiliginen gárezli hám porciyanıń shaması $E = \hbar\omega = h\nu$ formulasınıń járdeminde esaplanadı [bul ańlatpada h arqalı Plank turaqlısı, ν arqalı nurlanǵan tolqınıń jiyiligi, \hbar arqalı keltirilgen Plank turaqlısı (bul shamanı Dirak turaqlısı dep te ataydı) al ω arqalı ciklıq jiyilik belgilengen]. Bazı bir waqıtlar dawamında usı gipotezanıń avtorınıń ózi onı qanday da bir matematikalıq usıl sıpatında qabıl etti. Biraq A.Eynshteyn óziniń joqarıda atap ótilgen 1905-jılǵı ekinshi maqalasında Plank gipotezasınıń oǵada zor nátiyjelerin sezip, onı fotoelektrik effekt (fotoeffekt) nızamların túsindiriw ushın tabıslı qollandı. Eynshteyn tek nurlanıw ǵana emes, al jaqtılıqtıń tarqalıwı da, jutılıwı da diskret degen boljawdı usındı. Keyinirek belgili ximik Gilbert L’yuisttiń 1926-jılǵı usınısı menen Eynshteyn usınǵan jaqtılıqtıń kvantların (porciyaların) fotonlar dep atay basladı. Bul jaǵday fotoeffektinń tómendegidey eki jumbaǵın túsiniwge múmkinshilik beredi:

1. Fototoq (yaǵnıy fotoeffekt qubılısınıń ózi) jaqtılıqtıń qálegen jiyiliginde emes, al shaması fotoeffekt qubılısın izertlewde paydalanıp atırǵan metaldıń fizikalıq tábiyatınan gárezli bolǵan belgili bir jiyiliklerden úlken bolǵan jiyiliklerde ǵana baqlanadı. Sebebi nede?

2. Metaldıń betinen ushıp shıqqan elektronlardıń (fotoelektronlardıń) energiyası menen tezligi kelip túsken jaqtılıqtıń intensivliginen emes, al jiyiliginen ǵana gárezli! Nelikten?

Eynshteyniniń fotoeffekt teoriyasınıń nátiyjeleri tájiriybelerde alınǵan maǵlıwmatlarǵa joqarı dállikte sáykes keledi.

Dáslep jaqtılıqtıń diskret strukturaǵa iye boladı degen kóz-qarasqa kópshilik fizikler isenbedi. Hátte M.Planktiń ózine kvantlardıń haqıyqatında da bar ekenligin túsindiriwge Eynshteyniniń ózi kóp kúsh salǵan. Biraq elektromagnitlik energiyanıń diskret ekenligin dálilleytuǵın eksperimentallıq nátiyjelerdiń kóbeyiwı skeptiklerdi isendire basladı. 1923-jılı Kompton effektiniń ashılıwı bul máselede eń keyingi noqattı qoydı.

1907-jılı A.Eynshteyn qattı denelerdiń jıllılıq sıyımlıǵınıń kvantlıq teoriyasın dóretti hám nemishe "Planckshe Theorie der Strahlung und die Theorie der Spezifischen Wärme (Planktiń nurlanıw teoriyası hám salıstırmalı jıllılıq sıyımlıǵı teoriyası)" ataması menen Annalen der Physik (ser. 4) jurnalınıń 22-tomınıń 180-190 betlerinde jarıqqa shıǵardı. Bul teoriya boyınsha qattı denelerdiń jıllılıq sıyımlıǵı absolyut nol temperaturada nolge teń, al nolden joqarı temperaturalarda temperaturanıń kvadratına gárezli, al joqarı temperaturalarda bolsa jıllılıq sıyımlıǵı temperaturadan pútkil gárezsiz (Dyulong-Pti nızamı).

Óziniń teoriiyasın dóretkende Eynshteyn tómendegidey boljawlarǵa súyendi:

Qattı denelerdegi (kristallıq denelerdegi) atomlar bir biri menen tásirlespeytuǵın gramonikalıq oscillyatorlarday bolıp terbeledi.

Barlıq oscillyatorlardıń jiyilikleri birdey hám $\nu = \omega/2\pi$ shama sına teń.

Zattuń 1 molindegi oscillyatorlardıń sanı $3N_A$ shamasına teń (N_A arqalı Avagadro sanı belgilengen).

Oscillyatorlardıń energiyası kvantlanǵan hám ol $\varepsilon = n\hbar\omega$ shamasına teń (bul ańlatpada n arqalı pútin san belgilengen).

Hár qıylı energiyaǵa iye bolǵan oscillyatorlardıń sanı N Bolʼsman tarqalıwınıń matematikalıq ańlatpası bolǵan $N = N_0 \exp\{-\frac{\hbar\omega}{kT}\}$ formulasınıń járdeminde anıqlanadı. Bul formulada k arqalı Bolʼsman turaqlısı, al T arqalı termodinamikalıq temperatura belgilengen (joqarıda temperatura haqqında gáp etilgende termodinamikalıq temperaturanıń názerde tutılǵanın atap ótemiz). Usınday kóz-qaraslarda turıp jıllılıq sıyımlıǵı ushın

$$C = \frac{dU}{dT} = 3R \left(\frac{\hbar\omega}{kT}\right)^2 \frac{\exp\left\{\frac{\hbar\omega}{kT}\right\}}{\left(\exp\left\{\frac{\hbar\omega}{kT}\right\} - 1\right)^2}$$

formulasına iye bolamız. Bul formula menen esaplanǵan nátiyjeler tómengi temperaturalar ushın ótkerilgen eksperimentlerdiń nátiyjeleri menen dál sáykes kelmeydi (eksperimentler shama menen $T < 50 K$ bolǵan temperaturalar intervalında jıllılıq sıyımlıǵınıń termodinamikalıq temperaturanıń 3-dárejesinen gárezli ekenligin kórsetedi). Bul jaǵday teoriyanıń bazı bir boljawlarınıń dál emes ekenligi menen baylanıslı (atap aytqanda barlıq oscillyatorlardıń birdey jiyilikler menen terbeliwi haqqındaǵı boljaw haqıyqatlıqqa dál sáykes kelmeydi).

Kristallıq qattı denelerdiń ádewir dál teoriiyası 1912-jılı Niderlandiyalı fizik hám fizikoximik Peter Debay (ingliz tilinde Peter Joseph Wilhelm Debye, niderland tilinde Petrus Josephus Wilhelmus Debye; 1884-jılı Niderlandiyada tuwılǵan hám 1966-jılı AQSH ta qaytis bolǵan, 1936-jılı ximiya boyınsha xalıq aralıq Nobel sıylıǵın alıwǵa miyasar bolǵan) tárepinen Debay modeli (Debye model) túrinde usınıldı.

Broun qozǵalıslı. 1827-jılı Robert Broun (ingliz tilinde Robert Brown, 1773—1858) ádettegi optikalıq mikroskoptıń astında suwda júzip júrgen shań bóleksheleriniń xaotik (pútkilley tártipsiz) qozǵalıslın baqladı hám bul qubılıstı táriyiplep maqala jazǵan. A.Eynshteyn bolsa molekualıq teoriyanıń tiykarında usınday qozǵalıstıń statistikalıq-matematikalıq modelin dúzdi. Diffuziyanıń bul modeli tiykarında molekualardıń ólshemlerin hám kólemniń bir birligindegi olardıń sanın joqarı dállikte anıqlaw múmkin. Eynshteyn menen derlik bir waqıtta tap usınday juwmaqqa Polʼsha fizik-teoretigi Marian Smoluxovskiy de (fon Smolan-Smoluxovskiy, polyak tilinde Marian Smoluchowski; 1872-jılı 28-may kúni Vena qalasınıń qasında tuwılǵan hám 1917-jılı 5-sentyabr kúni Krakov qalasında qaytis bolǵan) kelgen edi. Onıń maqalası Eynshteynniń maqalası baspa sózde járiyalangannan soń bir neshe aydan keyin jariq kórdi. Óziniń statistikalıq mexanika boyınsha jumısların "Molekualardıń ólshemlerin jańasha jollar menen anıqlaw" ataması menen 1905-jılı dissertaciya sıpatında Politexnikumǵa usındı hám sol jılı fizika boyınsha filosofiya doktori ilimiy dárejesin

aldı. Kelesi jılı óziniń teoryasın "Broun qozǵalısynıń teoryasına" ataması menen shıqqan maqalada rawajlandırdı hám bunnan keyin de ol usı temaǵa bir neshe ret qayıp keldi.

Kóp uzamay Perren tárepinen ótkerilgen eksperimentlerde Eynshteyn modeliniń durıs ekenligi tolıq dálillendi. Bul molekullıq-kinetikalıq teoriyanıń eń birinshi eksperimentallıq dálili edi.

A.Eynshteyn 1917-jılı statistikalıq kóz-qaraslardan kelip shıqqan halda (atap aytqanda teń salmaqlıq nurlanıwınıń nızamları tiykarında) sırtqı elektromagnitlik maydanniń tásirinen payda bolatuǵın nurlanıwdıń jańa túriniń bar ekenligin boljadı (házirgi waqıtları bunday nurlanıwdı induciyalanǵan nurlanıw dep ataydı). Usı qubılıs tiykarında 1950-jıllardıń basında induciyalanǵan nurlanıwdı paydalanıw jolı menen jaqtılıqtı hám rediotolqınlardı kúsheytiwdiń usılı tabıldı. Bunnan keyingi jılları bul qubılıs lazerler teoryasınıń tiykarına aylandı.

1905-1914 jıllar. Bern-Cyurix-Praga-Cyurix-Berlin. 1905-jılı orınlaǵan jumısları birden bolmasa da A.Eynshteynge dúnyalıq dańq alıp keldi. 1905-jılı 30-aprel kúni ol Cyurix universitetine biz joqarıda gáp etken "Molekulalardıń ólshemlerin jańasha jollar menen anıqlaw" temasındaǵı doktorlıq dissertaciyasın jibergen. Jumıstıń recenzentleri sıpatında professorlar Klyayner hám Burkhardlar tastıyıqlanǵan. 1906-jılı 15-yanvar kúni ol fizika boyınsha ilim doktorı dárejesin alıwǵa miyasar boldı. Sol waqıtları ol dúnyadaǵı eń belgili fizikler menen xat alısqan hám ushırasqan. Al Berlin qalasında islewshi M.Plank bolsa salıstırmalıq teoryasın óziniń oqıw kursına kirgizgen. Óziniń xatlarında Germaniyanıń eń iri alımlarınıń biri Plank Eynshteyndi "professor mırza" dep ataǵan. Biraq táwirlew jumısqa ornalasa almaǵan Eynshteyn bunnan keyin de tórt jil dawamında ol Cyurix qalasındaǵı patentler byurosında jumıs islewin dawam etiwge májbúr bolǵan. 1906-jılı onıń iyelegen lawazımın joqarılatqan hám III klass ekspertlikten II klass eksperti lawazımına ótkerilgen hám usıǵan sáykes aylıǵınıń muǵdarı azmaz kóbeygen. 1908-jılı oktyabr ayında onı Bern universitetine fakul'tativlik kurstı oqıwǵa shaqırǵan (biraq aylıqsız). 1909-jılı ol Zalısburg qalasındaǵı naturalistlerdiń s'ezdine qatnasqan. Bul s'ezdige barlıq nemis fizikasınıń eń iri wákilleri kelgen. Usınıń nátiyjesinde ol birinshi ret M.Plank penen júzbe-júz ushırasıp, ómiriniń aqırına shekem olar dos bolǵan.

1909-jıldıń aqırında A.Eynshteyn Cyurix universitetinde aylıq tólenetuǵın ekstraordinarlıq professor lawazımın alǵan. Bul oqıw ornında onıń eski dostı Marsel Grossman geometriyadan sabaq bergен. 1911-jılı bolsa Eynshteyn Praga qalasındaǵı nemis universitetine fizika kafedrasın basqarıw ushın shaqırılǵan. Usı waqıtları ol termodinamika, salıstırmalıq teoryası hám kvantlıq teoriya boyınsha izertlewlerdi hám sol izertlewler boyınsha ilimiy maqalalar jazıwdı dawam etken. Praga qalasında ol tartılıs teoryası boyınsha izertlew jumıslarına ayrıqsha dıqqat awdarǵan hám usıǵan baylanıslı relyativistlik gravitaciya teoryasın dóretip, bul oblasttan N'yuutonlıq alıstan tásirlesiwdi saplastırıw jumıslarına qızǵın túrde kirisen.

1911-jılı A.Eynshteyn Bryussel qalasında ótkerilgen hám kvantlıq fizikaǵa baǵıshlanǵan Sol'weev kongressine qatnasqan hám sol jerde A.Puankare menen birinshi hám eń aqırǵı ret ushırasqan. A.Puankare bolsa sol waqıtları salıstırmalıq

teoriyasın biykarlawdı dawam etken, biraq A.Eynshteynge úlken húrmet penen qarağan.

Bir jil ótkennen keyin A.Eynshteyn Cyurix qalasına qaytıp keledi hám ózi oqıǵan Politexnikumnıń professorı lawazımına ótip, sol jerde fizika boyınsha lekciyalar oqıydı. 1913-jılı bolsa ol Vena qalasında bolıp ótken tábiyattanıw boyınsha alımlardıń Kongressine qatnasıp, ol jerde 75 jasqa shıqqan avstriyalı fizik, mexanik hám filosofi Ernst Max (nemishe Ernst Mach, 1838-jılı 18-fevralь kúni házirgi Чexiyanıń Brno qalasında tuwılǵan hám 1916-jılı 19-fevralь kúni Germaniyadaǵı Myunxen qalasında qaytı bolǵan) penen ushırasadı. Bir waqıtları Max tárepinen Nьyuton mexanikasınıń áshkaralanıwı Eynshteynge úlken tásir etken edi hám bul tásir eń aqırında salıstırmalıq teoriyasınıń dóretiliwine óziniń úlken úlesin qostı.

1913-jıldıń aqırında Maks Plank penen Valьter German Nernsttiń (nemishe Walther Hermann Nernst, 1864-jılı 25-iyunь kúni Brizen qalasında tuwılıp, 1941-jılı 18-noyabrde Ober-Cibelle qalasında qaytı bolǵan nemis ximigi, 1920-jılı "onıń termodinamika boyınsha jumısların moyınlawdıń belgisi retinde" ximiya boyınsha Nobelь sıylıǵın alıwǵa miyasar bolǵan) usınısları tiykarında Berlin qalasında shólkemlestirilip atırǵan fizikalıq izertlew institutın basqarıwǵa shaqırıw xatın alǵan. Sonıń menen birge onı Berlin universitetiniń professorı lawazımına jumısqa alıw hám M.Plankke jaqın qatnasınıń bar bolıwınıń sebebinen professor lawazımındaǵı A.Eynshteyndi sabaq beriw wazıypasınan azat etiw boyınsha usınıs alǵan. Ol usınıslardı qabil etip Birinshi Jer júzilik urıstıń aldında 1914-jılı pacifist (zorlıq, kúsh kórsetiwge qarsı adam) A.Eynshteyn Berlin qalasına keledi. Mileva eki balası menen Cyurixte qalǵan hám shańaraq buzılǵan. Aradan bes jil ótkennen keyin 1919-jılı fevralь ayında olar rásimiy túrde ajırasqan.

Bir qatar adamlardıń aytıwı boyınsha termodinamika boyınsha óziniń lekciyaların V.G.Nernsttiń mınaday sózler menen baslaǵanın atap ótemiz: "Termodinamikanıń baslaması kóp adamlardıń iyninde turıptı, ekinshi baslama az sandaǵı adamlardıń iyninde tur, al termodinamikanıń úshinshi baslaması tek bir adamnıń – meniń iyinimde tur".

3-§. Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası [19-27]

Oyanıw dáwirinde ullı francuz oyshılı, filosof, matematik, mexanik, fiziolog, analitikalıq geometriyanıń dóretilwshisi Rene Dekart (francuzsha René Descartes, latinsha Renatus Cartesius—Karteziy; 1596-jılı Franciyadaǵı Lae qalasında tuwılǵan hám 1650-jılı Stokgolьm qalasında qaytı bolǵan) Álemdegi barlıq processlerdi materiyanıń bir túri menen ekinshi túri arasındaǵı lokallıq tásirlesiw arqalı túsindiriledi dep daǵazaladı. Ilimiy kóz-qaraslar boyınsha bul jaqınnan tásirlesiw haqqındaǵı ideya tábiyiy ideya bolıp tabıladı. Biraq Nьyuton dóretken pútkil dúnyalıq tartılıs nızamınıń tiykarǵı ideyası óziniń oǵada dál bolıwına qaramastan jaqınnan tásirlesiw ideyasına qayshı keledi. Bul nızamda tartılıs kúshiniń bos keńislik arqalı sheksiz úlken tezlik penen alıp beriliwi hesh kimgе de túsiniksiz edi (haqıyqatında da, $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ túrinde jazılatuǵın nızamda tásirlesiw kúshi bolǵan F kúshiniń qanday tezlik penen

tarqalatuǵınlıǵı haqqında hesh qanday maǵlıwmat joq). Óziniń mazmunı boyınsha Nьyutonnıń modeli hesh bir fizikalıq mániske iye bolmaǵan matematikalıq modelь bolıp tabıladı. Eki ásir dawamında alımlar jaǵdaydı durıslaw, sheksiz úlken tezlik penen tarqalatuǵın uzaqtan tásir etisiw dep atalatuǵın mistikalıq tásirlesiwden qutılıp, tartılıs teoriyasına haqıyqıy fizikalıq mazmun beriwge tıristı. Ásirese Maksvell elektrodinamikası dóretilgennen keyin Nьyutonnıń pútkil dúnyalıq tartılıs nızamı fizika ilimindegi uzaqtan tásir etisiwdi óz ishine alatuǵın jalǵız teoriyaǵa aylandı. Ásirese arnawlı salıstırmalıq teoriyası dóretilgennen keyin bunday teoriya ulıwmalıq fizikalıq talaplardı pútkilley qanaatlandıra almadı. Mısalı, Nьyutonnıń tartılıs teoriyası Lorenc túrlendiriwlerine qarata invariant emes teoriya bolıp shıqtı. Biraq A.Eynshteynge shekem payda bolǵan situaciyanı durıslaw hesh kimniń de qolınan kelmedi.

Alıbert Eynshteynniń tiykarǵı ideyası dım ápiwayı edi: tartılıs alıp júriwshi materiallıq ortalıq keńisliktiń (durısıraǵı keńislik-waqıttıń) ózi bolıp tabıladı (hesh qanday efir emes, elektromagnit maydanı sıyaqlı fizikalıq maydan da emes, al keńislik-waqıttıń ózi). Tartılıs maydanında barlıq denelerdiń birdey tezleniw menen qozǵalatuǵınlıǵı názerde tutqanda basqa qosımsha túsiniklerdi paydalanbay gravitaciyanı tek tórt ólshemli evklidlik emes keńislik-waqıttıń qásiyetiniń kóriniwini dep qaraw ideyası payda boldı (bunı Eynshteynniń "ekivalentlik principini" dep ataydı). Usınday kóz-qarastan turıp qaraganda materiallıq processler ushın tórt ólshemli keńislik "tegis emes hám belgili bir fizikalıq qásiyetlerge iye" kontiniuum bolıp tabıladı. Bunday keńislik-waqıttıń ózine tán fizikalıq atributları (qásiyetleri) bolıp, bunday atributlardıń qatarına onıń metrikası menen qıysıqlıǵı (mayısıwı) kiredi. Bunday atributlar keńislik-waqıtta júretuǵın processlerge tásir etedi hám atributlardıń ózleri sol proceslerden ğárezli boladı.

Demek, eger arnawlı salıstırmalıq teoriyası mayıspaǵan (qıysaymaǵan) keńisliktiń teoriyası bolıp tabılatuǵın bolsa, onda Eynshteynniń aytıwı boyınsha ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası keńislik-waqıttıń ulıwmalıq teoriyası bolıp tabıladı. Bunday jaǵdayda keńislik-waqıt ózgermeli metrikaǵa iye boladı (differenciallıq geometriyada bunı psevdorimanlıq kóp túrlilik dep ataydı). Materiyanıń (soǵan sáykes energiyaniń) qatnasıwı keńislik-waqıttıń mayısıwına alıp keledi. Sol materiyanıń energiyası qanshama úlken bolsa mayısıw da kúshlirek boladı. Usınday kóz-qarasta turıp oylaǵanda Nьyutonnıń tartılıs teoriyası jańa teoriyanıń tek bir juwıq (dara) bólimi bolıp ǵana qaladı (bul teoriyada keńislik-waqıttıń metrikasınıń waqıtlıq qurawshısı ǵana ózgeredi, al keńislik bolsa Pifagor teoreması dál orınlanatuǵın evklidlik keńislik bolıp tabıladı). Gravitaciyanıń uytqıwlarınıń tarqalıwı (yaǵnıy tartılıs payda etetuǵın massalar qozǵalǵanda metrikaniń ózgerisi) shekli tezlik penen tarqaladı hám usıǵan baylanıslı uzaqtan bir zamatta tásir etisiw fizika iliminde tolıq saplastırıladı.

Joqarıda keltirilgen maǵlıwmatlar gravitaciya teoriyası bolıp tabılatuǵın ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń geometriyalıq teoriya ekenligin ańlatadı. Sonıń menen birge biz Eynshteynniń jańa teoriyasında gravitaciya menen inerciya arasında hesh qanday ayırmanıń joq ekenligin ayqın sezemiz. Sonıń ushın gravitaciya maydanın elektromagnitlik maydan sıyaqlı fizikalıq maydan bolıp tabılmaydı. Mayıspaǵan keńislik-waqıtta (úsh ólshemli Evklid keńisliginde) gravitaciya bolmaydı. Gravitaciyanı

payda etiw ushın sol keńislik-waqtıń metrikasın ózgeriwimiz kerek (yaǵnıy maystırıwımız kerek). Al keńislik-waqtıń metrikasın sol keńislik-waqtta jaylasqan materiya ózgerdedi.

1907-jılı Patent byurosında islep atırǵan A.Eynshteynge "Liftti úzip jibergen jaǵdayda onıń ishindegi adam óziniń salmaǵın seze me?" degen oy kelgen. Bul oydı alım keyinirek ómirindegi eń sátli oy ekenligin bir neshe ret qaytalaǵan hám usı oy tiykarında jumıs islep ol derlik 8 jıllıq awır miynettiń nátiyjesinde ekvivalentlik principini tiykarında ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasın dóretti.

Biz "ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası menen arnawlı salıstırmalıq teoriyası arasında fizikalıq mazmunı boyınsha principiallıq ayırma bar ma" dep soraw qoya alamız ba? Álbette, ekewi de relyativistlik fizikanıń teoriyaları bolıp tabıladı. Arnawlı salıstırmalıq teoriyasında keńislik-waqt mayıspaǵan (qıysaymaǵan, demek materiya joq) hám bul teoriyada tek inerciallıq esaplaw sistemaları orın aladı. Al ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasında bolsa keńislik-waqtıń ishinde materiyanıń bar bolıwınıń sebebinen mayısqa hám gravitaciya menen inerciallıq emes esaplaw sistemaları arasında ayırma joq. Bunday jaǵdayda fizika iliminiń fundamenti bolǵan salıstırmalıq principini qanday ózgeriske ushırawı múmkin? Bul sorawǵa juwap retinde biz ulıwmalıq kovariantlıq principiniń arenaǵa shıǵatuǵınlıǵın atap ótemiz hám A.Eynshteyniniń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń fizika ilimindegi fundamentallıq princip, sonıń menen simmetriyanıń principleriniń biri bolǵan salıstırmalıq principin bayıtatuǵınlıǵın atap ótemiz. Bul princip boyınsha qálegen inerciallıq esaplaw sistemasında barlıq fizikalıq processlerdiń birdey bolıp ótetuǵınlıǵın jaqsı bilemiz.

Biz XVII ásirdeń basında ashılǵan Galileo Galileydiń salıstırmalıq principini boyınsha mexanikanıń barlıq nızamlarınıń barlıq inerciallıq esaplaw sistemalarında birdey kóriniske iye ekenligin eske túsirip ótemiz. Al ulıwmalıq kovariantlıq principini boyınsha hár qıylı koordinatalar sistemalarında (yaǵnıy inerciallıq hám inerciallıq emes esaplaw sistemalarında) fizikalıq qubılıslardı táriyipleytuǵın barlıq teńlemelerdiń birdey bolıp jazılıwınıń kerek ekenligin atap ótemiz. Bunday teńlemelerdi ulıwmalıq kovariant teńlemeler dep ataydı. Demek, ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasın dóretip, A.Eynshteyn "Tábiyattıń barlıq nızamları barlıq esaplaw sistemalarına qarata invariant" dep daǵazaladı.

Biz A.Eynshteyniniń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasın dóretiw ústinde islegen jumısların, onıń sanasında qalıplesken ideyalardı úyrenetuǵın bolsaq, onda alımınıń qanday dárejede danıshpan bolǵanlıǵına kóz jetkeriwge boladı. Mısalı fizikanı úyrenip atırǵan qálegen adam "fizikanıń barlıq nızamları barlıq esaplaw sistemalarında birdey túrge iye boladı" degen mánistegi gápti esitkende "onday nárseniń bolıwı múmkin emes" dep juwap beredi (usı qatarlardıń avtorı da sol waqıtları tap sonday gápti aytqan). Haqıyqatında da, eger fizikalıq nızamlardı ápiwayı, ıqshımlı etip Dekart koordinatalar sistemasında jazatuǵın bolsaq, onda inerciallıq hám tezleniwshi esaplaw sistemalarında jazılǵan matematikalıq ańlatpalar pútkilley hár túrge iye boladı. Tap sol sıyaqlı, biz teń ólshewli hám tuwrı sızıq traektoriya boyınsha qozǵalatuǵın massanıń hesh qanday gravitaciyalıq tolqındı nurlandırmaytuǵınlıǵın, al tezleniwshi massanıń nurlandıratuǵınlıǵın, hár qıylı esaplaw sistemalarında hár qıylı fizikanıń orın alatınlıǵın tabıs penen túsindire alamız. A.Eynshteyn bolsa bunday kóz qarastıń

pútkilley durıs emes ekenligin kóre aldı hám ol bizdi "barlıq matematikalıq ańlatpalardı differenciallıq geometriyanıń tili menen jazıp kórińiz, sonda siz ózińizdiń aqılıńızdıń nege jetpey turǵanlıǵın anıq túrde kóresiz" dep oqıttı.

Differenciallıq geometriyanıń matematikalıq apparatı quramalı matematikalıq apparat bolıp tabıladı. Sonlıqtan gravitaciyalıq maydanniń relyativistlik teńlemelerin keltirip shıǵarıw kóp miynetti talap etti hám bul máseleni sheshiw ushın A.Eynshteyn 1907-jıldan baslap shuǵıllandı hám jumısın 1915-jıldıń aqırında juwmaqladı.

Usı dáwirde A.Eynshteyn hayalınıń aldına tómendegidey úsh wazıypanı qoyǵan dep aytıladı [15-17]: 1. Meniń kiyimlerim menen jumıs isleytuǵın ójirem taza bolıwı kerek. 2. Kúnine úsh ret awqat alıp keliniwi kerek. 3. Meniń stolımniń ústindegi nárselerge hesh kimniń tiymewi kerek.

Sol dáwirlerde Eynshteyn tenzorlıq tallawdı úyrenip, onıń tórt ólshemli psevdorimanlıq ulıwmalasqan túrin dóretti. Bul máselede oǵan dáslep onıń dostı hám Politexnikumda birge islesken Marsel Grossman (Grossman Eynshteynniń gravitaciya haqqındaǵı dáslepki maqalalarınıń soavtorı bolǵan) hám sol dáwirlerdegi "matematiklerdiń koroli" David Gilbert másláhátler hám járdemler bergen. 1915-jıldıń aqırında Eynshteynniń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń maydan teńlemeleri jariq kórdi (ádette Gravitaciyalıq maydanniń teńlemeleri haqqındaǵı Eynshteynniń hám Gilberttiń maqalaları derlik bir waqıtta baspada járiyalanǵan dep aytadı, biraq bul gáp pútkilley durıs emes).

Biz ullı nemis matematigi David Gilberttiń (nemishe David Hilbert; 1862-jıl 23-yanvar kúni tuwılǵan hám 1943-jıl 14-fevral kúni qaytı bolǵan) matematikanıń kóp tarawlarınıń rawajlanıwına óziniń salmaqılı úles qosqan eń iri matematiklerdiń biri ekenligin atap ótemiz. Anri Puankare qaytı bolǵannan keyin 1910—1920 jılları matematiklerdiń bárshe tárepinen moyınlangan dúnyalıq lideri boldı Ol invariantlar teoriyası menen evklidlik geometriyanı aksiomatikasın islep shıqtı, házirgi zaman funkcionallıq tallawdıń tiykarında jatatuǵın gilbertlik keńisliklerdiń teoriyasın dóretti.

Fizika iliminde Gilbert qatań túrdegi aksiomatikalıq jaqınlasıwdıń tárepdarı boldı hám matematikanı aksiomatizaciyalanǵannan keyin usınday proceduranı fizika iliminde de orınlaw kerek dep esapladı.

Gilberttiń fizika ilimine qosqan eń iri úlesi ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń tiykarǵı teńlemeleri bolǵan Eynshteyn teńlemelerin keltirip shıǵarıw boyınsha islegen jumısları bolıp tabıladı. Bul jumısın ol 1915-jıl noyabr ayında Eynshteyn menen derlik bir waqıtta juwmaqladı. SHın mánisinde Gilbert ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń durıs túrdegi maydan teńlemelerin hátte Eynshteyn burınraq aldı (biraq baspada keyinirek járiyaladı). Usınıń menen birge bul teńlemelerdi keltirip shıǵarıw barısındaǵı Gilberttiń Eynshteynge bolǵan tásiriniń júdá úlken bolǵanlıǵın, bul jumısları haqqında olardıń bir biri menen úziksiz túrde xat jazısıp turǵanlıǵın atap ótemiz.

Usı jaǵdayǵa baylanıslı ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń teńlemeleriniń avtorı kim? degen soraw tábiyiy túrde payda boldı. Bul máselede teńlemelerdi keltirip shıǵarıwdı Gilberttiń birinshi ret variaciyalıq usıldı qollanǵanın hám bul usıldıń keyinirek teoriyalıq fizikadaǵı eń tiykarǵı usılǵa aylanǵanlıǵın esletip ótemiz. Gilbert tárepinen fundamentallıq fizikalıq teoriyanıń ele belgisiz teńlemeleriniń variaciyalıq usıldıń járdeminde alınıwı fizika tariyxındaǵı eń birinshi jaǵday bolıp tabıladı.

Qızıqlı jaǵdaydı atap ótemiz: 1926-jılı matricalıq kvantlıq mexanika dóretilgennen keyin Maks Born hám Verner Geyzenberler Gilbertyke kelgen hám "tap sonday formalizmdi qollanıw múmkin bolǵan matematikanıń tarawı bar ma? dep soragan. Gilbert olarǵa "ekinshi tártipli dara tuwındılı differenciallıq teńlemelerdi sheshiw máselesin tallaǵanda men tap sonday matricalar menen ushırasqan edim" dep juwap bergen. Fizikler qoyılǵan máselege matematik túsınbedi dep oylagan hám sonlıqtan bul másele menen ózlerimizdiń shuǵıllanǵanımız maqul dep juwmaq shıǵarǵan. Bunnan keyin yarım jil ótpey-aq Ervin SHredinger (nemishe Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger, 1887-jılı Vena qalasında tuwılǵan hám 1961-jılı sol qalada qaytı bolǵan avstriyalı fizik-teoretik, kvantlıq mexanikanıń dóretiwshileriniń biri, fizika boyınsha Nobel sıylıǵınıń laureatı) tolqınlıq kvantlıq mexanikanı dóretti. Onıń tiykarı SHredinger teńlemesi dep atalatuǵın ekinshi tártipli dara tuwındılı sıızıqlı teńleme bolıp tabıladı. Nátiyjede E.SHredinger eki jaqınlasıwdıń da, yaǵnıy eski matricalıq hám jańa tolqınlıq jaqınlasıwlarıń bir birine ekvivalent ekenligin dálilledi.

Solay etip ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasındaǵı gravitaciyalıq maydannıń teńlemesin 1915-jılı noyabr ayında derlik bir waqıtta, biraq hár qıylı usıllar menen Eynshteyn hám Gilbert tárepinen alınǵanlıǵın moyınlaymız. Joqarıda aytıp ótkenimizdey, tap jaqın waqıtlarǵa shekem kóp sanlı adamlar teńlemenı Gilbert Eynshteyn 5 kún burın keltirip shıǵardı, biraq ol (Gilbert) jumısınıń nátiyjelerin keyinirek baspadan shıǵardı dep esaplanıp keldi. Eynshteyn teńlemelerdiń durıs variantı keltirilgen óziniń jumısın Berlin ilimler akademiyasına 25-noyabr kúni tapsırǵan. Al Gilberttiń "Fizikanıń tiykarı" dep atalatuǵın maqalası haqqındaǵı xabar Göttingen matematikalıq jámiyetinde 1915-jıl 20-noyabr kúni ayılǵan, al maqalanıń ózi 1916-jılı 31-mart kúni baspadan shıqqan. Eki alım da óziniń qol jazbaların baspaǵa tayarlaǵanda bir biri menen tez-tezden xat alısqı turǵan hám bul xatlardıń bir neshesi usı kúnlerge shekem saqlanǵan. Bul xatlardan sol eki alımın teńlemelerdi keltirip shıǵarıw islerinde bir birine unamlı hám jemisli tásir etkenligi ayqın kórinip turadı.

Fizika boyınsha ilimiy ádebiyatta gravitaciya maydanınıń teńlemelerin "Eynshteyn teńlemeleri" dep ataydı.

1997-jılı Gilberttiń maqalasınıń korrekturası tabılǵan. Korrektura 1915-jıldıń 6-dekabr kúni islengen. Bul hújjetten Gilberttiń gravitaciyalıq maydannıń teńlemesiniń durıs variantın Eynshteyn 5 kún burın emes, al 4 ay keyin jazǵanlıǵı ayqın bolǵan. Gilberttiń Eynshteynniń jumısınan burın baspa sóz ushın tayarlaǵan maqalası óziniń baspa sózde jarıq kórgen eń aqırǵı variantınan tómendegidey eki túrli ayırmaǵa iye ekenligi málim boldı:

1. Maqalada Eynshteynniń maqalasında keltirilgen klassikalıq formadaǵı gravitaciyalıq maydannıń teńlemeleri joq.

2. Maydan teńlemeleri menen bir qatarda Gilbert qosımsha tórt ulıwmakovariantlıq emes (gravitaciyalıq maydanına fizikalıq jaqtan sáykes kelmeytuǵın "ulıwmakovariantlıq emes" sózine itibar beriw kerek!!!) shártti kirgizgen. Olar onıń pikiri boyınsha teńlemlerdiń sheshimleriniń bir mánisli bolıwı ushın zárúrli.

Bul jaǵdaylar Gilberttiń variantınıń dáslep aqırına jetkerilmegenligin hám tolıǵı menen ulıwmakovariantlıq emes ekenligin ańlatadı. Al teńlemeler óziniń eń aqırǵı durıs túrine Eynshteynniń teńlemeleri baspa sózde járiyalanǵannan keyin ǵana iye

bolğan. Gil'bert óziniń maqalasına eń keyingi dúzetiwlerdi kirgizgende Eynshteynniń dekabr ayında jariq kórgen maqalasına ssılka bergen hám maydannıń teńlemelerin basqa túrde de jazıwdıń múmkin ekenligin eskertken hám qosımsha shártler haqqındağı gáplerdi joq etken. Fizika iliminiń tariyxshıları Gil'berttiń bul dúzetiwlerdiń Eynshteynniń maqalasınıń tásirinde islengenligin atap ótedi.

Gravitaciyalıq maydannıń teńlemelerin keltirip shıǵarıwdağı Eynshteynniń birinshiligin ilimiy jámaátshiliktiń, sonıń ishinde Gil'berttiń de biykarlamaganun atap ótemiz. Biraq qalay degen menen geypara jaǵdaylarda Gil'bert Eynshteynnen gárezsiz gravitaciyalıq maydannıń teńlemelerin keltirip shıǵardı degen gáplerdi esitiwge yamasa oqıwǵa boladı. Biraq ullı matematik D.Gil'bert ullı fizik Eynshteynsiz hám Eynshteyn tárepinen usınılǵan ulıwmakovariantlıq principisiz gravitaciya maydanınıń teńlemesin ózinshe hesh waqıtta da keltirip shıǵara almaǵan bolar edi. Bul jaǵdaydıń durıs ekenligin Gil'bert shın kewli menen moyınına alǵan hám óziniń lekciyalarında ullı ideyanıń Eynshteynge tiyisli ekenligin jiyi aytqan. Bir waqıtları ol "Göttingen qalasınıń kóshesinde júrgen qálegen bala tórt ólshemli geometriyanı Eynshteynnen jaqsı biledi. Biraq usıǵan qaramastan bul jumıstı matematikler emes, al Eynshteyn ornladı" dep ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń Eynshteynge tiyisli ekenligin ayqın túrde aytqan.

A.Eynshteynniń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası haqqındağı ulıwmalıq hám tolıq maqalası 1916-jılı jariq kórde. Bul maqala "Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń tiykarları" dep ataladı. Maqala qaraqalpaq tiline de awdarılǵan hám onı abdikamalov.narod.ru saytında oqıwǵa boladı.

Biz usı jerge kelgende filosofiya menen estetikadağı "xudojnikti almasırıwǵa bolmaytuǵınlığı" haqqındağı túsinikti eske túsiremiz. Haqıyqatında da, eger A.S.Pushkin bolmaǵanda "Evgeniy Onegin" qosıqlarda jazılǵan romanı, Aleksandr Dyuma bolmaǵanda "Graf Monte-Kristo" romanı, Viktor Gyugo bolmaǵanda "Quwılǵan" (Otverjennıe) roman-epopeyası yamasa "Notre-Dame de Paris" tariyxıy romanı, Ibrayım YUsupov bolmaǵanda "Aktrisanıń iǵbalı" shıǵarması, T.Qayıpbergenov balmaǵanda "Qaraqalpaq qızı" romanı dóretilmegen bolar edi. Biraq ilimde pútkilley basqasha jaǵday orın alǵan. Eger Isaak N'byuton tuwılmaǵanda da basqa bir alım dinamikanıń tiykarǵı nızamların ashqan, tap sol sıyaqlı A.Eynshteyn dúńbyaǵa kelmegende de ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasın basqa bir alım erteli-kesh dóretken bolar edi.

Eynshteynniń jańa tartılıs nızamı burın belgili bolmaǵan biraq baqlawlarda tastıyqlanǵan fizikalıq effektlerdiń orın alatıǵınlıǵın boljadı. Sonday effektlerdiń qatarına astronomlar kóp waqıtlar dawamında sebebin bile almaǵan Merkuriy planetasınıń perigeliyiniń ásirlik awısıwı kiredi (hár 100 jıldı 43 múyeshlik sekundqa!!!). Bunday effektlerdi túsindiriwdiń saldarınan salıstırmalıq teoriyası házirgi zaman fizikasınıń bárshe tárepinen moyınlangan fundamentine aylandı.

4-Ş. Gravitaciyalıq tolqınlar [28-31]

Fizika tariyxı boyınsha belgili alım, ásirese Al'bert Eynshteynniń ómiri menen ilimiy miynetleri haqqında kóp sanlı kitaplar jazǵan, Eynshteynniń ózin kórgen hám onıń gáplerin tıńlaǵan A.Pays (Abraham Pais, Rokfeller universitetiniń professorı) 1980-

jılı Germaniyadağı Yena qalasında ótkerilgen gravitaciyalıq nurlanıw boyınsha GR9 konferenciyasınıń plenarlıq májilislerindeki Pasadinalı Kip Tornnıń hám Moskvalı Vladimir Braginskiydiń lekciyaların tırlap ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń qanshama alǵa ketken (waqıtınan ádewir burın ashılǵan) teoriya ekenligine kóz jetkerdim dep jazǵan hám ol "gravitaciyalıq tolqınlar usı waqıtlarǵa shekem ashılǵan joq, al K.Torn bolsa olardı biziń ásirimizde (yaǵnıy XX ásirde) ashıladı dep úmit etedi" dep atap ótken. Sol waqıtları eksperimentatorlardıń 15 gruppası (olardıń kópshiligi kóp milletli) usı waqıyaǵa tayarlanǵan [29].

1916-jılı Eynshteyn "Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation" (qaraqalpaq tilinde "Gravitaciyalıq maydannıń teńlemelerin juwıq túrde integrallaw") maqalasında ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń sheklerinde gravitaciyalıq tolqınlardıń bolıwınıń kerek ekenligin hám mexanikalıq sistemanıń energiyasınıń bir bólimin gravitaciyalıq tolqınlardıń payda bolıwı ushın jumsaytuǵınlıǵın kórsetken. Usınıń nátiyjesinde qálegen qozǵalmaytuǵın juldızdıń dógeresinde aylanatuǵın deneniń (misalı planetanıń) gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandıruwdıń nátiyjesinde toqtaytuǵınlıǵı bolǵan. Eynshteyn sol miynetinde gravitaciyalıq nurlanıwdıń saldarınan planetanıń energiyasınıń kemeyiwiniń shamasınıń jaqtılıqtıń tezligi bolǵan c shamasınıń tórtinshi dárejesine kerı proporcional ekenligin, yaǵnıy oǵada kishi shama bolatuǵınlıǵın anıqlaǵan. Bul qáte juwmaqtı ol 1918-jılı dúzetken hám "Über Gravitationswellen" (Gravitaciyalıq tolqınlar haqqında) maqalasında kvadrupollik formulanı keltirip shıǵarǵan hám bunday kvadrupollik nurlanıwda onıń intensivliginiń jaqtılıqtıń 5-dárejesine kerı proporcional (yaǵnıy jáne 10 ese kishi) bolatuǵınlıǵın kórsete alǵan.

Solay etip ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası tezleniw menen qozǵalıwshı úlken massaǵa iye denelerdiń gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandıruwınıń kerek ekenligin kórsetedi. Teoriya boyınsha sonday tolqınlar keńislikte jaqtılıqtıń tezligi menen erkin tarqaladı. Olardıń intensivliginiń júdá kishi bolatuǵınlıǵına baylanıslı (jaqtılıqtıń tezliginiń besinshi dárejesine kerı proporcional) gravitaciyalıq tolqınlardı registraciyalaw máselesi oǵada quramalı bolǵan fizikalıq eksperimentlerdiń qatarına kiredi hám bul másele tek 100 jil ótkennen keyin, 2015-jılı ámelge ğana astı.

Albert Eynshteyn óziniń 1916-jılı jariq kórgen "Gravitaciyalıq maydannıń teńlemelerin juwıq túrde esaplaw (Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation [Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte, 1916 (part 1), 688—696])" atlı maqalasında birinshi ret gravitaciyalıq tolqınlardıń nurlanatuǵınlıǵı haqqında juwmaqqa keldi hám nurlanǵan nurlardıń intensivligi haqqında qáte nátiyjeler aldı. Ol jiberilgen qáteni kóp uzamay sol 1918-jılı jariq kórgen "Gravitaciyalıq tolqınlar haqqında (Über Gravitationswellen)" [Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte, 1918 (part 1), 154—167.] dep atalatuǵın maqalasında durısladı hám tómendegidey maǵlıwmatlardı berdi:

"Bunnan bir yarım jil burın meniń jumıslarımınıń birinde gravitaciyalıq maydanlardıń qalay tarqalatuǵınlıǵı haqqındaǵı másele qarap shıǵılǵan edi. Biraq bul másele niń bayanlanıwı jetkilikli dárejede ayqın bolmaǵanlıǵı hám esaplawlarda jiberilgen qáteliktiń saldarınan kemshiliklerdiń orın alıwı sebepli onı qarap shıǵıwımız ushın qaytıp keliwimiz kerek.

Ótken jaǵdaydaǵıday biz qarap atırǵan keńisliklik-waqtılıq kontinuum "Galileylik" keńisliklik-waqtılıq kontinuumnan tek azmaz ayırmaǵa iye jaǵdaydı qaraymız. Indekslerdiń barlıq mánisleri ushın

$$g_{\mu\nu} = -\delta_{\mu\nu} + \gamma_{\mu\nu} \quad (1)$$

túrindegi teńlik orınli boladı dep esaplap arnawlı salıstırmalıq teoriyasındaǵıday x_4 waqtılıq ózgeriwshini jormal mániske iye hám $x_4 = it$ shamasına teń. Bul ańlatpada t arqalı "jaqtılıq waqtı belgilengen.

(1)-teńlikte $\mu = \nu$ teńligi orınlanganda $\delta_{\mu\nu} = 1$, al $\mu \neq \nu$ teńsizligi orın alǵanda $\delta_{\mu\nu} = 0$. $\gamma_{\mu\nu}$ shamaları 1 ge salıstırǵanda kishi hám ol maydan bolmaǵanda kontinuumnıń awısıwın táriyipleydi. Olar Lorenc túrlendiriwlerine qarata 2-rangalı tenzordı payda etedi".

Bunnan keyin Eynshteyn gravitaciyalıq maydanniń juwıq teńlemelerin keshigiwshi potenciallardıń járdeminde sheshedi. Usınday maqsette qálegen koordinatalar sisteması ushın durıs bolatuǵın hám onıń burınraq jariq kórgen maqalasındaǵı

$$\begin{aligned} & - \sum_{\alpha} \frac{\partial}{\partial x_{\alpha}} \{ \mu\nu \}_{\alpha} + \sum_{\alpha} \frac{\partial}{\partial x_{\nu}} \{ \mu\alpha \}_{\alpha} + \sum_{\alpha\beta} \{ \mu\alpha \}_{\beta} \{ \mu\beta \}_{\alpha} - \\ & - \sum_{\alpha\beta} \{ \mu\nu \}_{\alpha} \{ \alpha\beta \}_{\beta} = -\kappa \left(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T \right). \end{aligned} \quad (2)$$

túrindegi teńlemeden kelip shıǵadı. Bul teńlemede $T_{\mu\nu}$ arqalı energiya-impulıs tenzori, T arqalı sáykes $\sum_{\alpha\beta} g^{\alpha\beta} T_{\alpha\beta}$ skalyarı belgilengen. Bunnan keyin Eynshteyn (2)-teńlemeni jáne de ápiwayılastradı hám

$$\sum_{\alpha} \frac{\partial^2 \gamma'_{\mu\nu}}{\partial x_{\alpha}^2} = 2\kappa T_{\mu\nu}$$

túrindegi teńlemeni alıp bul teńlemelerden gravitaciyalıq maydanlardıń jaqtılıqtıń tezligindey tezlik penen tarqalatuǵınlıǵın tastıyıqlaydı.

$\gamma_{\mu\nu}$ shamaların berilgen $T_{\mu\nu}$ boyınsha keshigiwshi potenciallardıń járdeminde esaplawǵa bolatuǵınlıǵın atap ótedi.

Bunnan keyin Eynshteyn gravitaciyalıq maydanniń energiyasınıń qurawshılarınıń mánislerin esaplaydı hám tegis gravitaciyalıq maydandı izertlewge kirisedi. Tegis gravitaciyalıq maydandı tabıw ushın maydanniń teńlemesin qanaatlandıratuǵın

$$\gamma'_{\mu\nu} = \alpha_{\mu\nu} f(x_1 - ix_4)$$

ańlatpasınan kelip shıǵıwdı usınadı.

Maqalanıń kelesi paragrafı mexanikalıq sistemalar tárepinen gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandıruwǵa baǵıshlangan. Bul paragrafta salmaq orayı uzaq waqıtlar dawamında koordinatalar basında jaylasatuǵın izolyaciyalangan mexanikalıq sistema qarap ótiledi. Usı sistema tárepinen gravitaciyalıq tolqınlardı tolıq nurlandıruw másesin qoyadı hám mexanikalıq sistemadan radiallıq baǵıtta tarqalatuǵın gravitaciyalıq nurlanıwdıń tıǵızlıǵın esaplaydı. Nátiyjede sferalıq simmetriyanı turaqlı túrde saqlap turatuǵın sistemalardıń gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandıra almaytuǵınlıǵın dálilleydi. Sonıń menen birge maqalada ózgeriwshi tezleniw menen qozǵalatuǵın massalardıń nurlandıran gravitaciyalıq tolqınlardıń quwatı ushın formula keltirilgen.

A.Eynshteyn óziniń biz tallap atırǵan maqalasında mexanikalıq sistema tárepinen usı sistemaniń energiyasınıń esabınan nurlandırılatuǵın gravitaciyalıq nurlanıwdıń

energiyası haqqında ayqın esaplawlar júrgizbegen. Bunday máseleni ádewir keyinirek basqa fizikler sheshti.

Házirgi waqıtları gravitaciyalıq fizikada massalardıń dipolları payda etetuğın dipollik nurlanıwdıń bolmaytuğınlıǵı belgili (elektromagnetizmde dipollik elektromagnitlik nurlanıw keńnen tarqalǵan). Kóp sanlı izertlewler gravitaciyalıq nurlanıwlardıń kvadrupollik nurlanıw ekenligin kórsetti. Sonlıqtan gravitaciyalıq tolqınlardı kvadrupollik xarakterge iye dep aytamız.

Endi hár qıylı obʼektlerden nurlanatuğın gravitaciyalıq tolqınlardıń intensivligi yamasa quwatı haqqındaǵı maǵlıwmatlardı keltiremiz.

Uzunlıǵı l ge massası M ge teń polat material (russhası balvanka) onıń uzunlıǵına perpendikulyar bolǵan kósherdiń dógeresinde ω múyeshlik tezligi menen aylanadı. Onıń nurlandıratuğın gravitaciyalıq tolqınıń quwatı

$$L_{GW} = \frac{2}{45} M^2 l^4 \omega^6$$

shamasına teń (GW - gravitational waves – gravitaciyalıq tolqınlar) [30].

Kúshli astrofizikalıq obʼektler tárepinen nurlandırılatuğın gravitaciyalıq nurlardıń quwatlıǵı olardıń massası menen radiusı arqalı bilayınsha ańlatıladı:

$$L_{GW} \sim \left(\frac{M}{R}\right)^5 L_0.$$

Tallawlar L_0 arqalı belgilengen maksimalıq quwatıń sistemanıń ólshemleri onıń gravitaciyalıq radiusına teń bolǵanda alınatuğınlıǵın kórsetedi. Sebebi dúnyadaǵı hesh bir nárese, hátte gravitaciyalıq tolqınlar da, gravitaciyalıq radiustıń astınan shıǵa almaydı. Al esaplawlar nurlanıwdıń maksimalıq quwatlıǵınıń sistemanıń tábiyatınan ğárezsiz

$$L_0 = 3,63 \cdot 10^{59} \text{ erg/s}$$

shamasına teń ekenligin kórsetedi.

Qara qurdımǵa qulap túsiwshi dene tárepinen nurlandırılatuğın gravitaciyalıq tolqınlardıń quwatı

$$L_{GW} \sim \left(\frac{m}{M}\right)^2 L_0$$

shamasına proporcional. Bul ańlatpada m arqalı qulap túsiwshi deneniń massası, al M arqalı qara qurdımınıń massası belgilengen.

5-§. Berlin, 1915-1921 jıllar

1915-jılı Niderlindiyalı fizik Vander Yoxannes de Xaaza (niderland tilinde Wander Johannes de Haas, 1878-jılı 2-mart kúni tuwılǵan hám 1960-jılı 26-aprelʼ kúni qaytı bolǵan Gollandiya fizigi menen matematigi) menen ángimelesiwiniń barısında Eynshteyn oǵan keyinirek "Eynshteyn-de-Xaaza effekti" atamasına iye bolǵan zatlardıń magnitomexanikalıq qásiyetlerin anıqlaw boyınsha tájiriyebeniń sxeması menen esabın usınǵan. Tájiriyebeniń nátiyjesi 1913-jılı atomnıń planetarlıq modelin usınǵan Nilʼs Bordı ruwhlandırǵan. Bordıń tálimatı boyınsha atomnıń ishinde sheńber tárizli elektronlıq toqlar bar boladı hám usı toqlardı payda etetuğın stacionar dep atalatuğın orbitaları boyınsha qozǵalatuğın elektronlar elektromagnit tolqınların

negedur nurlandırmaydı. Usı jaǵdaydı N.Bor óziniń yarım kvantlıq tálimatınıń tiykarı etip alǵan edi. Usınıń menen birge "Eynshteyn-de-Xaaza effekti" boyınsha alınǵan atomdaǵı elektronlardıń magnit momentleriniń qosındısı kútilgen momentten eki ese úlken bolıp shıqqan. Bunıń sebebi elektronnıń menshikli impuls momentı bolǵan spini ashılǵannan keyin belgili boldı.

Ekinshi Jer júzilik urıstan keyin Eynshteyn fizikaniń ózi shuǵıllanǵan tarawları bolǵan kosmologiya hám "Maydannınıń birden bir teoriyasın dóretiw" boyınsha jumısların dawam etti. Eynshteynniń oyı boyınsha bul teoriya gravitaciyanı, elektromagnetizmdi hám mikrodúnıyanıń teoriyasın birlestiriwi kerek edi. Kosmologiya boyınsha birinshi maqalası "Kosmologiya máseleleri hám ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası" dep ataladı hám ol 1917-jılı baspadan shıqtı (maqalanı qaraqalpaq tilinde abdikamalov.narod.ru saytınan alıp oqıwǵa boladı). Bul maqala relıyativistlik kosmologiya boyınsha dúnıyadaǵı eń birinshi maqala bolıp tabıladı.

Bunnan keyin Eynshteyn kóp keselliklerge jolıqtı. Bawırınıń awırwına asqazannıń awırwı qosıldı, bunnan keyin sarı awırwǵa tap boldı hám ózin júdá ázzi sezdi. Bir neshe ay dawamında ol tósekte jatqan. Tek 1920-jılı ol tósekten turǵan hám óziniń ilimiy jumıslarına qaytadan úlken jiger menen kirirken.

1919-jılı Alıbert Eynshteyn 1876-jılı tuwılǵan hám eki ataǵa barǵan jaqını Elyza Lëventalǵa (qız waqıttaǵı familiyası Eynshteyn) úylengen hám onıń eki qızın óziniń atına ótkerip alǵan. Elyzanıń ákesi Rudolıf Alıbert Eynshteynniń ákesi Germannıń eki ataǵa barǵan, al anası Fanni Kox Alberttiń anası Paulinanıń úsh ataǵa barǵan aǵayını bolǵan. Solay etip Elyza Alıbert Eynshteynge ákesi jaǵınan eki ataǵa barǵan, al anası jaǵınan úsh ataǵa barǵan jaqını bolıp tabıladı. Sol jılı onıń úyine awır kesellengen anası Paulina kóship keledi hám aradan 3-4 aydan keyin 1920-jılı fevralı ayında qaytı boladı. Eynshteynniń xatlarınan anasınıń qaytı bolǵanına kúshli qayǵırǵanın biliw múmkin.

Usı dáwirde hám bunnan keyin de ol birinshi hayalı Mileva jáne eki ulı Gans-Alıbert hám Eduardqa turaqlı túrde ğamxorlıq qılıp turǵan.

1919-jıldıń gúzinde astronom hám sol waqıtlardaǵı salıstırmalıq teoriyası boyınsha eń úlken qánige Artur Eddington basshılıǵınlıǵı ekspediciya Indiyada Quyash tolıq tutılǵan waqıtta Quyashtıń qasınan ótken jaqtılıqtıń baǵıtın ózgerteruǵınlıǵın anıqladı. Jaqtılıqtıń baǵıtınıń ózgeriw shaması Nyutonnıń gravitaciya teoriyasınıń nátiyjelerine emes, al Eynshteynniń gravitaciya teoriyası bergen nátiyjege sáykes keldi. Bunday sensaciyalıq jańalıqtı Evropanıń barlıq gazetaları járiyaladı. Álbette, gazetalardıń derlik barlıǵı da ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń mánisin naduris sáwlelendirdi. Biraq teoriyanıń mánisi qarapayım gazeta oqıwshıları ushın zárúrli emes edi. Nátiyjede Eynshteynniń pútkil Jer júzinde dańqı oǵada joqarıǵa kóterildi.

1922-jıl, Nobel sıylıǵı [17, 32]. Eynshteyndi fizika boyınsha Nobel sıylıǵına bir neshe ret usınǵan. Birinshi ret ol Vilıgelım Ostvalıdtiń usınısı menen 1910-jılı arnawlı salıstırmalıq teoriyasın dóretkeni ushın usınıldı. Biraq Nobel sıylıǵınıń komiteti salıstırmalıq teoriyasınıń eksperimenttegi dálilleniwininiń ele kem ekenligin názerde tutıp Eynshteyn dıqqattan tısta qaldı. Bunnan keyin sıylıqqa Eynshteynniń kandidaturası 1911- hám 1915-jılları usınıldı. Nobel sıylıǵına usınǵan ilimpazlardıń diziminde Lorenc, Planck, Bor, Vin, Xvalıson, de Xaaz, Laue, Zeeman, Kamerling-Onnes, Adamar, Eddington, Zommerfelıd hám Arreniuslar bolǵan. Biraq Nobel komitetiniń aǵzaları

кóp waqıt dawamında kúshli revolyuciyalıq teoriyalar ushın sıylıq beriwge batılı barmadı. Aqır-ayağında diplomatiyalıq sheshim qabıl etildi: 1921-jıl ushın Nobel sıylığı "fotoeffekt teoriiyası... hám teoriyalıq fizikanıń basqa da tarawlarındağı jumısları (for his services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect)" ushın derlik bir jil ótkennen keyin 1922-jılı noyabr ayında Alıbert Eynshteynge berildi.

1922-jılı 10-noyabr kúni SHveciya Ilimler Akademiyasınıń sekretarı Kristofer Aurivillius Eynshteynge tómendegidey mazmundağı xabardı jazdı:

"... óziniń keshe bolıp ótken májilisinde Sizge Siziń teoriyalıq fizika boyınsha islegen jumıslarınıızǵa, atap aytqanda fotoelektrik effekt nızamın ashqanıızǵa baylanıslı ótken jil ushın fizika boyınsha Nobel sıylığın beriw haqqındağı sheshim qabıl etti... salıstırmalıq teoriiyası menen gravitaciya teoriiyasın dóretiwdegi miynetlerińiz esapqa alınbadı. Olar (eksperimentlerde) tastıyqlangannan keyin sáykes baha beriledi".

Usı waqıtları A.Eynshteyn YAponiyada edi. Sonlıqtan Nobel sıylığın 1922-jıl 10-dekabr kúni Germaniyanıń SHveciyadağı elshisi Rudolıf Nadolnıy alǵan. Biraq aldın-ala ol Eynshteynniń haqıyqatında da Germaniyanıń puqarası ekenligi haqqında tastıyqlawshı hújjetti soraǵan. Prussiya ilimler akademiyası Eynshteynniń Germaniyanıń puqarası ekenligin, biraq onıń SHveycariyanıń da puqarası ekenliginiń moyınlanatuǵınlığı haqqında rásimiy túrde tastıyqlaǵan (Prussiya ilimler akademiyasınıń telegrammasında "Juwap: Eynshteyn – reyxtiń puqarası" degen tórt sóz jazılǵan).

Nobel sıylığına miyasar bolǵan ilimpazlardıń Nobel lekciyasın oqıytuǵınlığın atap ótemiz. Bul jaǵday dástúrge aylanǵan. Usınday Nobel lekciyasın ol 1923-jıl iyul ayında oqıǵan hám onı fotoelektrik effekt qubılısına emes, al salıstırmalıq teoriiyasına baǵıshlaǵan [36].

1922-jılı Nobel sıylığı aqshalay 121 572 shveciya kronı yamasa 32 250 AQSH dollarına teń bolǵan. Bul aqshanıń muǵdarı sol dáwirdegi professordıń bir jil dawamında alatuǵın aylıǵınıń muǵdarınan 10 eseden kóbirek bolǵan. Mileva Mariç penen ajırasqandağı shártnamaǵa sáykes sol aqshalardıń bir bólimin Eynshteyn Cyurix qalasına buringi hayalınıń atındağı trastlıq qorǵa ótkergen. Usı qordan túsken paydanı Mileva Mariç penen onıń balaları paydalanatuǵın bolǵan. Qalǵan aqsha qarjıların Eynshteyn AQSH qa, kiris procentlerin óziniń paydalanıwı ushın jibergen. Mariç bolsa alǵan aqshaların barlıǵın Cyurix qalasında úsh doxodlı úy satıp alıw ushın jumsaǵan.

1923-jılı óziniń sayaxatın juwmaqlaǵannan keyin Ierusalim qalasında shıǵıp sóyledi. Bul jerde 1925-jılı Evrey universiteti ashıldı.

1924-jılı Indiyalı jas fizik SHatıendranat Boze [Satıendra Nat Boze (ingliz tilinde Satyendra Nath Bose) yamasa SHotendronat Boshu (bengal tilinde সত্যেন্দ্র নাথ বসু), 1894-jılı Kalkutta qalasında tuwılǵan hám 1974-jılı sol qalada qaytı bolǵan Indiyanıń ullı fizik-teoretigi] óziniń qısqa xatında Eynshteynнен házirgi zaman kvantlıq statistikasınıń tiykarında turǵan ideya usınılǵan óziniń maqalasin baspa sózde járiyalaw haqqında járdem soraǵan. Boze jaqtılıqtı fotonlardan turatuǵın gaz dep qarawdı usınǵan. Xat penen tanısқан Eynshteyn bul statistikani atomlar menen molekular ushın da paydalanıwǵa boladı degen juwmaqqa kelgen. 1925-jılı ol Bozeniń

maqalasınıń nemis tilindegi awdarmasın, bunnan keyin Bozeniń modelin spinleri pútin bolǵan bir birinen parqı joq bóleksheler (bunday bólekshelerdi bozonlar dep ataydı) ushın ulıwmalıstırıwdıń saldarınan alınǵan nátiyjeleri bayanlangan maqalasın baspadan shıǵarǵan. Házirgi waqıtları bunday statistikanı Boze-Eynshteyn statistikası dep ataydı. Usı statistikanı dóretiw menen 1920-jıllardıń ortasında eki fizik zatlardıń besinshi agregat halı bolǵan Boze-Eynshteyn kondesatınıń bar bolıwınıń kerek ekenligin teoriyalıq jaqtan tiykarladı [37-38].

Boze-Eynshteynniń kondesatınıń mánisi mınalardan ibarat: temperatura absolyut nolge jaqınlaǵanda ideallıq boze-gazdıń bóleksheleri impulısi noǵe teń halǵa ótedi. Bunday jaǵdayda bólekshelerdiń jıllılıq qozǵalıısına sáykes keliwshi de Broylı tolqın uzınıǵınıń mánisi menen bóleksheler arasındaqı qashıqlıqlardıń ortasha mánisi shama menen birdey boladı. 1955-jıllı birinshi kondesat Kolorado universitetinde alındı. Sonnan beri qánigeler vodorodtan, lityden, nariyden, rubidiyden hám geliyden turatuǵın kondesatlardıń bar bolatuǵınıńın ámeliy jaqtan dálillendi.

1929-jılı pútkil dúnya Alıbert Eynshteynniń 50 jıllıǵın úlken kóterińki túrde belgiledi. Onıń ózi sol saltanatlarǵa qatnaspaǵan, al Podstam qalasınıń qasındaǵı villasında bolǵan. Bul villada ol roza gúllerin úlken qızıǵıwshılıq penen ósirgen, ilim ğayratkerleri menen atları dúnyaǵa belgili bolǵan Rabindranat Tagordı, Emmanuil Laskerdi, Charli Chaplindi hám basqa da adamlardı qabıl etken.

1931-jılı A.Eynshteyn AQSH qa jáne kelgen. Pasadina qalasında (Kaliforniya shtatınıń bul kishi qalasında Kaliforniya texnologiyalıq institutı – Kaltex jaylasqan) onı Alıbert Abraxam Maykelıson (Albert Abraham Michelson; 1852-jılı Prussiyada tuwılǵan hám A.Eynshteyn menen ushırasqannan tórt ay keyin 1931-jılı 9-may kúni Pasadina qalasında qaytı bolǵan AQSH fizigi). Jazdıń kúni Berlinge qaytıp kelgennen keyin ol Fizikalıq jámiyet aldında shıǵıp sóylep, salıstırmalıq teoriyasınıń fundamentine eń birinshi tastı qalaǵan oǵada zor eksperimentator Maykelısonniń ilimdegi, sonıń ishinde salıstırmalıq teoriyasınıń dóretilwindegi tutqan ornı haqqında aytqan hám bas iygen.

Teoriyalıq jumıslar menen birge A.Eynshteyn bir neshe oylap tabıwlarǵa da iye. Olardıń ishinde tómendegilerdi atap ótiw múmkin:

1. Konrad Gabixt penen birlikte oǵada kishi kernewlerdi ólshew;
2. Fotosúwretke túsiriwde ekspoziciya waqıtın avtomat túrde anıqlaytuǵın dúzilis;
3. Esitiw apparatı;
4. Silard penen birgelikte shawqımsız isleytuǵın salqınlatqısh (xolodilınik);
5. Hidrokompas.

SHama menen 1926-jılǵa shekem A.Eynshteyn fizikanıń kóp tarawları boyınsha jumıs isledi. Bunnan keyin ol tiykarınan kvantlıq mashqalalar hám maydannıń birden bir teoriyasın dóretiw máseleleri menen shuǵıllandı.

Kvantlıq mexanikanıń interpretaciyası [17]. Házirgi zaman iliminiń tiykarında jatqan kvantlıq mexanikanıń tuwılıwı Alıbert Eynshteynniń teperish túrde qatnasıwı menen júzege keldi. Kvantlıq mexanikadaǵı ornı ullı bolǵan jumısın baspa sózde járiyalaǵanda Ervin SHrédinger 1926-jılı "Eynshteynniń qısqa hám uzaqtan kórgish eskertiwleriniń" úlken tásir tiygizgenin atap ótken.

1927-jılı ótkerilgen Besinshi Solıveev kongrussinde Eynshteyn Maks Bornnıń hám Nilıs Bordıń kvantlıq mexanikańın matematikalıq modelin "itimallıqlıq xarakterge iye modelı" degen interpretaciyasına (bunday interpretaciyanı ilimde "Kopengagenlik interpretaciya" dep ataydı) pútkilley qarsı shıqtı.

Biz fizika menen ximiya ilimleriniń rawajlanıwına óziniń salmaqılı úlesin qosıqan Solıveev kongressleri (konferenciyaları, Conseils Solvay) haqqında qısqasha eske túsiremiz:

Kongressler 1911-jıldan baslap Bryussel qalasında fizika hám ximiya boyınsha xalıq aralıq Solıveev institutı tárepinen ótkerilip turğan. Hár bir kongress ilimpazlardıń dıqqat orayında turğan fizika menen ximiyanıń aktuallıq fundamentallıq mashqalasın tallaw ushın ótkerilgen. Belıgiyalı alım hám sanaatshı Ernst Solıveniń baslaması hám qárejeti menen 1911-jılı ótkerilgen birinshi kongress XX ásirdegi fizikanıń rawajlanıwındaǵı ózgeris ornı bolıp tabıladı.

Kongresslerdi ótkeriwdegi ádettegi interval úsh jıl bolğan. Biraq dúnyalıq urıs jılları úlken pauzalar da ornı alğan. 1911-jıldan 2012-jılǵa shekem Bryussel qalasında fizika boyınsha 25, al ximiya boyınsha 22 Solıveev kongressi bolıp ótken.

Biz A.Eynshteynıń kvantlıq mexanika jónindegi kóz-qarasların bayanlawǵa qayıtıp kelemiz. Ol Kopengagenlik interpretaciyanıń tárepdarlarınıń "zárúrlikten jaqsı nárseni" islewge tırısatuǵınlıǵın, al itimallıqlıq xarakterdiń biziń mikroprocesslerdiń fizikalıq mánisin tolıq túsınbewimizdiń sebebi ekenligin daǵazaladı. Ol "Quday asıq oynamaydı" (nemishe Der Herrgott würfelt nicht) dep aytqan. Al juwap retinde oǵan Nilıs Bor: «Eynshteyn, qudayǵa neni islewdiń kerek ekenligin kórsetpe» degen. Eynshteyn "Kopengagenlik interpretaciyanı" tek waqıtsha interpretaciya, al waqıttıń ótiwi menen mikrodúnyanıń teoriyası rawajlanadı hám nátiyjede itimallıqlıq interpretaciyaǵa iye emes kvantlıq mexanika qalıplese dep esapladı. Onıń ózi dara nátiyjesi kvantlıq mexanika bolıp tabılatuǵın determenistlik sızıqlı emes teoriyanı dóretiliwge tırıstı.

Kvantlıq mexanikada "Kopengagenlik interpretaciya" házirgi kúnlerge shekem áhmiyetin joǵaltpadı.

6-§. 1933-1955 jıllar. Prinston

1933-jılı Alıbert Eynshteyn nacistlik Germaniyadan AQSH qa birotala kóship ótedi.

Veymarlıq Germaniyada ekonomikalıq krizistiń keskinlesiwini menen siyasiy jaǵday tómenlegen. Usınıń nátiyjesinde radikallıq-milletlik hám antisemitlik (antisemitizm dep etnik yamasa diniy gruppasıpında evreylerge bolğan milliy jek kóriwshiliktiń bir formasına aytadı) kóz-qaraslar kúsheygen.

A.Eynshteyndi kemsitiw hám oǵan kúsh kórsetiw háreketleri de ushırasa baslaǵan. Listovkaların birine onıń basına 50 000 marka aqsha daǵazalangan. Vlastı basına nacistler kelgennen keyin Eynshteynıń ilimiy miynetleriniń barlıǵı haqıyqıy nemis fizikleriniکی yamasa haqıyqıy ilimniń buzıp kórsetilgen túri dep daǵazalandı.

Nobel sıylıǵınıń laureatı, "Nemis fizikası" gruppasını basqarǵan Filipp Eduard Anton fon Lenard (nemishe Philipp Eduard Anton von Lenard, 1862-jılı Avstriya imperiyasınıń aymaǵında, 1947-jılı Germaniyada qaytıp bolğan nemis fizigi, qattı

deneler fizikası menen atom fizikası boyınsha belgili jumıslardıń avtorı, 1905-jılı oǵan "katod nurları boyınsha jumısları ushın" Nobel sıylıǵı berildi) XX ásirdeń 20-jılları salıstırmalıq teoriyasınıń dushpanına hám "Arian fizikası" ("ariyskaya fizika" yamasa "nemis fizikası" [39]) dep atalatuǵın fizikanıń úgit-násiyatshısına aylandı. Ol bılay dedi: «Tábiyattı úyreniwge evreyler toparınıń eń qáwipli tásirine misal retinde eski maǵlıwmatlardan hám iqtıyarlı túrde qosılǵan qosımshalardan turatuǵın teoriyaları hám matematikalıq mánissiz bos sózlerge iye Eynshteyndi kórsetiwge boladı... Nemistiń evreydiń ruwhıy dawam etiwshisi bola almaytuǵına biziń túsiniwimiz kerek". Germaniyanıń barlıq ilimiy dógereklerinde milliy kósetkishleri hám rasası boyınsha tazalaw isleri qızǵın túrde baslandı.

Usınday jaǵdaylardıń aqıbetinen 1933-jılı A.Eynshteyn Germaniyanı taslap ketiwge májbúr boldı. Óziniń shańaraq aǵzaları menen ol AQSH qa miyman vizası menen ótti. Keyinirek nacizimniń jinayatlı islerine narazılıǵınıń belgisi retinde Germaniyanıń puqaralıǵınan hám Prussiya jáne Bavariya Ilimler akademiylarınıń aǵzalılıǵınan bas tarttı.

AQSH ta Alǵbert Eynshteyn Prinston (Nyuu-Djersi shtatı) qalasında jańadan ashılǵan perspektivalıq izertlewler institutında fizika professorı lawazımın aldı. Onıń úlken balası Gans-Alǵbert (1904—1973) ákesiniń izin quwdı hám ol keyinirek gidravlika boyınsha kópshilikke tanılǵan qánigege aylandı hám 1947-jıldan baslap Kaliforniya universitetiniń professorı lawazımında isledi. A.Eynshteynniń kishkene balası Eduard (1910—1965) 1930-jıldan baslap awır nawqaslanǵan hám óziniń ómirin Cyurix qalasındaǵı psixiatorlıq emlewخانada tawısqan. Eynshteynniń eki ataǵa bargan qarındası Lina Osvencim ólim lagerinde, al ekinshi qarındası Berta Dreyfus Terezienshtadt konclagerinde qaytı bolǵan (óltirilgen).



A.Eynshteynge 1940-jılı AQSH puqarası Prinston qalasındaǵı A.Eynshteynniń úyi. degen sertifikat berilip atır.



Amerika Quramalı SHtatlarında A.Eynshteyn dárhál eń belgili hám húrmetli adamlardıń, tariyxtaǵı eń danıshpan ilimpazlardıń birine aylandı. 1934-jılı yanvar ayında onı AQSH prezidenti Franklin Ruzvelıt Aq úyge shaqırǵan hám onı menen uzaq waqıt sáwbetlesken. Ol sol kúni Aq úyde qonǵan. Hár kúni Eynshteyn júzlegen xatlar alǵan jáne olardıń derlik barlıǵına da juwap beriwge tırısқан. Atı dúnyaya belgili ilimpaz barlıq waqıtta da ápiwayı, talapshań emes, ashıq minezli adam bolıp qalǵan.

1936-jılı dekabr ayınsha júrek awırıwınıń sebebinen hayalı Elza kaytı boladı. Onnan úsh ay burın Cyurix qalasında Marsel Grossman dúnyadan ótedi.

Eynshteynniń jalǵızlıǵın onıń qarındası Mayya, ógey qızı Margo (Elyzanıń birinshi nekesinen tuwılǵan qız), sekretarı Ellen Dyukas, Arıslan atlı pıshıǵı Chiko degen aq reńli iyti bildirmewge tırısqań. Eynshteyn hesh waqıtta da avtomobil yamasa televizor satıp almaǵan. 1946-jılı insulıttıń aqıbetinde Mayya paralıç bolıp qalǵan hám oǵan hár kúni keshte Eynshteyn kitaplar oqıp bergен.

1939-jılı avgust ayında Vengriyadan kelgen fizik-emigrant Leo Silardannıń baslaması menen A.Eynshteyn AQSH Prezidenti F.Ruzvelıtkе xat jazadı. Xat nacistlik Germaniyanıń atom bolmasın dóretiw múmkinshiliginiń bar ekenligine Prezidenttiń dıqqatın awdarıwǵa qaratılǵan edi. Bir neshe ay oylanıwdan keyin Ruzvelıt bul qáwipke dıqqat awdarıwdıń zárúrli ekenligi haqqında sheshimge kelgen hám atom quralın dóretiw boyınsha óziniń proektin ashqań. Eynshteynniń ózi bul proektke qatnasqań joq. Biraq keyinirek ol jazǵan xatı ushın pushayman jegen. Sebebi AQSH tıń jańa prezidenti Garri Trumen ushın yadrolıq energiya basqa mámleketlerdi qorqıtıw ushın qural sıpatında paydalanıla basladı. Bunnan keyin ol yadro quralın, bunday quraldıń YAponiyadaǵı Xerosima hám Nagasaki qalalarında qollanıwın áshkaralay basladı. Amerikaniń yadrolıq programmasın tezlestiriw boyınsha óziniń qosqań úlesin ol óziniń ómirindegi eń úlken tragediya dep esapladı. Onıń "Biz urısta jeńip shıqtıq, biraq paraxatshılıqtı jeńe almadıq", "Eger úshinshi Jer júzilik urısta atom bombaları menen urıssa, onda tórtinshi Jer júzilik urısta oq jay menen urısa" degen aforizmleri keńnen málim.

Urıstan sońǵı jılları Alıbert Eynshteyn Ilimpazlardıń paraxatshılıq ushın Paguosh háreketiniń tiykarın salıwshılardıń birine aylandı. Onıń birinshi konferenciyası 1957-jılı alım qaytıw bolǵannan keyin shólkemlestirildi.

Ilimpazlardıń Paguosh háreketi (ingliz tilinde Pugwash Conferences on Science and World Affairs) paraxatshılıq, quralsızlanıw hám xalıq aralıq qáwipsizlik, pútkil dúnyalıq termoyadrolıq urıstı boldırmaw hám ilimiy birge islesiwge qaratılǵan ilimpazlardıń háreketi bolıp tabıladı. Paguosh háreketi 1955-jılı tuwıldı. Usı jılı dúnyaǵa málim 11 ilimpaz (olardıń ishinde A.Eynshteyn, B.Rassel, M.Born, P.U.Bridjmen, L.Infelđ, L.Poling, Dj.Rotblat hám F.Jolio-Kyuriler bar) manifest penen shıǵıp, bul manifestte Jer júzi jámaátshiligin yadrolıq energiyanı áskeriy maqsetlerde qollanıwǵa qarsı konferenciya ótkeriwge shaqırǵan.

1987-jılı bolsa studentlerdiń Xalıq aralıq Paguosh háreketi dóretildi.

Bunday háreketi dóretiw boyınsha baslama keńnen belgili bolǵan Rassel-Eynshteyn manifesti dep atalatuǵın manifestten baslanadı. Bul hújjette vodorod bombasın dóretiw menen paydalanıwdıń adamzat ushın qáwipi bayanlangan.

Eynshteyn ómiriniń aqırına shekem kosmologiya boyınsha izertlewlerdi dawam etti. Biraq onıń tiykarǵı dıqqatı maydannıń birden bir teoriyasın dóretiwge qaratılǵan edi. Bul máselelerde oǵan professional matematikler, olardıń ishinde Pristonlı Djon Kemeni járdem bergен. Formallıq jaqtan bul jumislardıń áhmiyetli nátiyjeleri de bolǵan. Ol hátte maydannıń birden bir teoriyasınıń eki versiyasın da islep shıqtı. Eki model de (versiya da) matematikalıq jaqtan júdá sulıw. Olardan tek ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası ğana emes, al Maksvell elektrodinamikası tolıǵı menen kelip shıǵadı. Biraq olar jańa fizikalıq nátiyjelerdi bermedi. Al fizika menen baylanıslı bolmaǵan taza

matematika onı hesh qashan da qızıqtılmadı hám sonlıqtan ol islep shıqqan modelleriniń ekewin de biykarladı.

1929-jılları Eynshteyn Kaluca menen Kleynniń ideyaların rawajlandırıwǵa tırıstı. Bul ideya boyınsha dúńbıya bes ólshemge iye, besinshi ólshem mikroólshemlerge iye hám sonlıqtan ol kórinbeydi. Onıń járdeminde fizikalıq jańa qızıqlı nátiyjelerdi alıwdıń sáti túspedi hám usınıń saldarınan kóp ólshemli teoriyadan bas tartıwǵa tuwrı kelgen. Birden bir teoriyanıń 1950-jılları dóretilgen ekinshi versiyasında bolsa keńislik-waqıt tek qıysıqlıqqa ǵana emes, al buralıwlarǵa da iye dep boljandı. Bul versiya da óziniń ishine ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası menen Maksvell elektrodinamikasın aldı. Biraq tek makrodúńbıyanı emes, al mikroódúńbıyanı da óziniń ishine alatuǵın teńlemelerdiń eń aqırǵı túrin alıw múmkinshiligi bolmadı.

1955-jılı Alıbert Eynshteynniń den sawlıǵı keskin túrde tómenlegen. Ol doslarına "Men Jerdiń betindegi wazıypalarımı orınladım" dep aytqan.

Alıbert Eynshteyn 1955-jılı 18-aprelı kúni Prinстон qalasında qaytı bolǵan. Óleriniń aldında ol nemis tilinde bir neshe sóz aytqan. Biraq onıń qasında bolǵan amerikalı medsestra ayılǵan sózlerge túsinbegen. Onı jerlew ceremoniyasına tek 12 adam ǵana qatnasqan. Onıń denesi YUing-Semeteri (Ewing Cemetery) krematoriyasında jaǵılǵan hám kúli samalda shashılǵan. Sonlıqtan onıń qábiri joq.

II bab. Gravitaciyalıq tolqınlardıń ashılıwı hám onıń fundamentallıq fizika ushın áhmiyeti

7-§. Gravitaciyalıq tolqınlardıń quwatın esaplaw ushın paydalanılatuǵın matematikalıq ańlatpalardı hám olardıń fizikalıq mánisi

Gravitaciyalıq tolqınlardıń intensivligi ushın bir qatar matematikalıq ańlatpalardı keltiremiz.

Ázzi gravitaciyalıq tolqınlardıń kóp sanlı derekleri qos sistemalar (binalıq sistemalar) bolıp tabıladı (hár qıylı astronomiyalıq obıektlerdiń, solardıń ishinde juldızlardıń qos sistemaları). Usınıń menen birge juldızlardıń yarımınan kóbiregi qos yamasa úshlik h.t.b. sistemalardıń quramına kiredi. Eger juldızlardıń massaları m_1 hám m_2 shamalarına, al olar arasındaǵı qashıqlıq a hám olar bir biriniń dógerinde ω múyeshlik tezligi menen aylanatuǵın bolsa, onda a menen ω shamaları arasındaǵı baylanıs

$$a^3 \omega^2 = m_1 + m_2 \equiv M$$

formulasınıń járdeminde beriledi.

Bunday qozǵalıstıń kinetikalıq energiyası

$$\text{kinetikalıq energiya} = -\frac{1}{2} \text{potencial energiya} = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{a}.$$

Bul eki juldız tárepinen gravitaciyalıq tolqınlar túrindegi nurlanıwdıń quwatın aylanbalı qozǵalısqı sáykes keliwshi [$L \sim \omega \times (\text{kinetikalıq energiya})$] quwatıń kvadratı túrinde turpayı túrde bahalaw múmkin:

$$L_{GW} \sim \frac{\mu^2 M^3}{4a^5} L_0.$$

Bul ańlatpada $\mu = m_1 m_2 / M$ arqalı keltirilgen massa, M arqalı qos sistemanıń tolıq massası (eki juldızdıń massalarınıń qosındısı) belgilengen.

Ádewir dál ańlatpa bılayınsha jazıladı:

$$L_{GW} = \frac{32 \mu^2 M^3}{5 a^5} f(\varepsilon) L_0,$$

$$f(\varepsilon) = \left[1 + \frac{73}{4} \varepsilon^2 + \frac{37}{96} \varepsilon^4 \right] (1 - \varepsilon^2)^2,$$

Gravitaciyalıq tolqınlar túrinde energiyanı nurlandıruwdıń esabınan qos sistema energiyasın joǵaltadı. Sonlıqtan juldızlar spirallı tárizli traektoriyalar boyınsha bir birine jaqınlasadı (energiyanıń kishireyiwi, gravitaciyalıq baylanıstıń úlkeyiwi). Sheńber tárizli orbitalar ushın

$$E = -\frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{a} = -\frac{1}{2} \frac{\mu M}{a}$$

shaması

$$\frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \frac{\mu M}{a^2} \frac{da}{dt} = -L_{GW} = -\frac{32 \mu^2 M^2}{5 a^5}$$

nızamı boyınsha kemeyedi. Usı ańlatpalarǵa sáykes orbitanıń radiusınıń kemeyiwi

$$a = a_0 \left(1 - \frac{t}{\tau_0} \right)^{1/4}$$

formulasınıń járdeminde beriledi. Bul formulada $a_0 = a_{búgingi}$ hám

$$\tau_0 = \frac{1}{4} \left(-\frac{E}{L_{GW}} \right)_{búgin}.$$

Solay etip eger gravitaciyalıq kúshler tásir jasamasa, onda eki juldız spirallı tárizli orbita boyınsha bir biri menen τ_0 waqıtı ishinde birigedi. Ellips tárizli orbitalar ushın ekscentrisitet te ózgeriske ushıraydı.

Pitkeriw qánigelik jumısındaǵı paydalanılǵan ádebiyatlar diziminde 30-qatar sanına iye miynette belgili bolǵan qos sistemalar jáne bir neshe qızıqlı gipotezalıq jaǵdaylardaǵı nurlandırılǵan quwat, Jerdiń átirapındaǵı gravitaciyalıq tolqınınıń aǵısı, hám óshiw waqıtı ushın esaplangan shamalar berilgen.

Esaplawlar massaları m_1 hám m_2 bolǵan bir biri menen gravitaciyalıq maydan arqalı baylanısqan hám relyativistlik emes (yaǵnıy $v \ll c$) sheńber tárizli orbitalar boyınsha olardıń ulıwmalıq massalar orayı dógeresinde qozǵalatuǵın jáne bir birinen r qashıqlıǵında jaylasqan aspan deneleriniń bir dáwir ishinde ortasha

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{32 G^4 m_1^2 m_2^2 (m_1 + m_2)}{5 c^5 r^5}$$

muǵdarındaǵı energiyanı nurlandıradı. Usınıń nátiyjesinde sistema energiyasın joǵaltadı hám bul jaǵday denelerdiń biri birine jaqınlasıwına alıp keledi. Denelerdiń jaqınlasıw tezligi

$$\dot{r} = \frac{dr}{dt} = \frac{64 G^3 m_1 m_2 (m_1 + m_2)}{5 c^5 r^3}$$

shamasına teń.

Jer-Ay sisteması ushın esaplawlar júrgizemiz.

$$m_1 = 5,9726 \cdot 10^{24} \text{ kg}; m_2 = 7,3477 \cdot 10^{22} \text{ kg}; G = 6,67428 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2 \text{kg}};$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Esaplawlardı ańsatlastırıw ushın Wolfram Mathematica 11.0 tilinde

$m_1=5.9726 \cdot 10^{24}; m_2=7.3477 \cdot 10^{22}; G=6/67428 \cdot 10^{-11}; c=3 \cdot 10^8; r=384467000;$

$N[(32 G^4 m_1^2 m_2^2 (m_1+m_2))/(5 c^5 r^5)]$

$N[(64 G^3 m_1 m_2 (m_1+m_2))/(5 c^3 r^3)]$

túrindegi programmanı dúzemiz. Nátiyjede energiya ushın $2,28 \cdot 10^{-25}$ watt, al bir dáwir ishindegi jaqınlasıw ushın $1,56 \cdot 10^{-23}$ metr shamasın alamız. Bul shamalar oǵada kishi. Sonlıqtan Jer-Ay sistemasınıń nurlandırgan gravitaciyalıq tolqınlardı jaqın waqıtlar ishinde registraciyalaw múmkin emes.

Biz joqarıda keltirgen maǵlıwmatlar gravitaciyalıq tolqınlardıń intensivliginiń júdá kishi ekenligin kórsetti. Esaplawlar Quyash sistemasınıń gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandırgandaǵı energiyasınıń kemeyiwi elektromagnit tolqınlar túrinde nurlandırgan energiyasınıń kemeyiwinen 10^{23} yamasa 10^{24} ese kishi hám onıń shama menen bir kilovattqa teń ekenligin kórsetedi.

8-Ş. Gravitaciyalıq tolqınlardıń nurlandırılıwına baylanıslı bolǵan bazı bir máseleler

Másele I: Nьyutonniń pútkil dúnyalıq tartılıs nızamı boyınsha tartısatuǵın eki dene olardıń ulıwmalıq inerciya orayı dógeresinde sheńber tárizli orbitalar boyınsha qozǵaladı. Nurlandırılǵan gravitaciyalıq tolqınlardıń ortasha intensivligi (aylanıw dáwiri boyınsha) menen onıń polyarizaciya hám tarqalıw baǵıtı boyınsha bólistiriliwin (tarqalıwın) esaplaw.

SHeshimi: Koordinata basın inerciya orayında jaylastırıp eki deneniń radius-vektorları ushın

$$\mathbf{r}_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \mathbf{r}, \quad \mathbf{r}_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \mathbf{r}, \quad \mathbf{r} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2$$

ańlatpaların jazamız. xy tegisligi qozǵalıstı tegisligine sáykes keletuǵın bolǵanlıqtan $D_{\alpha\beta}$ tenzorınıń qurawshıları

$$D_{xx} = \mu r^2 (3 \cos^2 \psi - 1), \quad D_{yy} = \mu r^2 (3 \sin^2 \psi - 1), \\ D_{xy} = \mu r^2 \cos \psi \sin \psi, \quad D_{zz} = \mu r^2$$

túrinde jazıladı. Bul ańlatpalarda

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2},$$

ψ arqalı xy tegisligindegi \mathbf{r} vektorınıń polyar múyeshi belgilengen. Sheńber tárizli qozǵalısta $r = const$, al $\dot{\psi} = r^{-\frac{3}{2}} \sqrt{k(m_1 + m_2)} \equiv \omega$.

\mathbf{n} vektorınıń baǵıtın sferalıq múyeshler menen beremiz (θ polyar hám ϕ azimutallıq múyeshleriń járdeminde). Bunday jaǵdayda polyar z kósheri qozǵalıstı tegisligine perpendikulyar.

$$1) e_{\theta\phi} = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

$$2) e_{\theta\theta} = -e_{\phi\phi} = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ teńlikleri sáykes keletuǵın eki polyarizaciyanı qaraymız hám}$$

berilgen polyarizaciyaǵa iye nurlardıń do denelik múyeshindegi intensivligin esaplaw ushın

$$dI = \frac{k}{72\pi c^5} (\ddot{D}_{\alpha\beta} e_{\alpha\beta})^2 do$$

formulasınıń ornılı ekenligin paydalanamız. $D_{\alpha\beta}$ tenzorın e_θ hám e_φ sferalıq ortların baǵına proekciyalap, bunnan keyin joqarıdaǵı formula boyınsha esaplawlar júrgizip jáne waqıt boyınsha ortashalap usı eki jaǵday hám $I = I_1 + I_2$ summası ushın

$$\frac{dI_1}{do} = \frac{k\mu^2\omega^6 r^4}{2\pi c^5} \cdot 4 \cos^2\theta, \quad \frac{dI_2}{do} = \frac{k\mu^2\omega^6 r^4}{2\pi c^5} \cdot (1 + \cos^2\theta)^2,$$

$$\frac{dI}{do} = \frac{k\mu^2\omega^6 r^4}{2\pi c^5} \cdot (1 + 6 \cos^2\theta + \cos^4\theta)$$

ańlatpaların hám baǵıtlar boyınsha integrallawdan keyin

$$-\frac{dE}{dt} = I = \frac{32k\mu^2\omega^6 r^4}{5c^5} = \frac{32k^4 m_1^2 m_2^2 (m_1 + m_2)}{5c^5 r^3}, \quad \frac{\bar{I}_1}{\bar{I}_2} = \frac{5}{7}$$

ańlatpalarına iye bolamız.

Nurlandıruwshı sistema tárepinen energiyanıń joǵalıwı eki deneniń bir birine jaqınlasıwına alıp keledi.

$$E = -k \frac{m_1 m_2}{2r}$$

teńligi ornılı bolǵanlıqtan

$$\dot{r} = \frac{dr}{dt} = \frac{2r^2}{km_1 m_2} \frac{dE}{dt} = -\frac{64k^3 m_1 m_2 (m_1 + m_2)}{5c^5 r^3}$$

formulasına iye bolamız.

Másele II. Ellips tárizli orbitalar boyınsha qozǵalatuǵın sistemanıń gravitaciyalıq tolqınlar túrinde nurlandıratuǵın ortasha energiyanı (aylanıw dáwiri boyınsha) tabıw.

SHeshimi: Bul jaǵdayda sheńber tárizli qozǵalıstan ayırması r qashıqlıǵı menen múyeshlik tezliktiń shaması orbita boylap

$$\frac{a(1 - e^2)}{r} = 1 + e \cos \psi, \quad \frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{r^2} \sqrt{k(m_1 + m_2)a(1 - e^2)}$$

nızamları boyınsha ózgeredi. Bul ańlatpalarda e arqalı orbitanıń ekscentrisiteti, al a arqalı onıń úlken yarım kósheri belgilengen. Eń birinshi ret Eynshteyn tárepinen 1918-jılı paydalanılǵan

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{k}{45c^5} \ddot{D}_{\alpha\beta}^2$$

formulasınıń tiykarında orınlanǵan ádewir quramalı hám kóp sanlı esaplawlar

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{8k^4 m_1^2 m_2^2 (m_1 + m_2)}{15a^5 c^5 (1 - e^2)^5} (1 - e \cos \psi)^4 [12(1 + e \cos \psi)^2 + e^2 \sin^2 \psi]$$

formulasın beredi. Aylanıw dáwiri boyınsha ortalastırıwda dt boyınsha integrallaw $d\psi$ boyınsha integrallaw menen almasırladı hám

$$-\frac{d\bar{E}}{dt} = \frac{32k^4 m_1^2 m_2^2 (m_1 + m_2)}{5a^5 c^5} \frac{1}{(1 - e^2)^{7/2}} \left(1 + \frac{73}{24} e^2 + \frac{37}{96} e^4\right)$$

ańlatpasına alıp keledi. Orbitanıń ekscentrisitetiniń úlkeyiwi menen nurlanıwdıń intensivliginiń tez ósiwine itibar beremiz.

Biz tómende Kaliforniya texnologiyalıq institutında islewshi teoretik P.C.Peters tiń 1964-jılı jarıq kórgen "Gravitational and the Motion of Two Point Masses" atlı maqalasınıń bir bóliminiń nusqasın keltiremiz hám bul jumısta da biz alǵan nátiyjelerge sáykes keletuǵın nátiyjelerdiń alınǵanlıǵın atap ótemiz [42]:

$$\left\langle \frac{dE}{dt} \right\rangle = -\frac{32 G^4 m_1^2 m_2^2 (m_1 + m_2)}{5 c^4 a^4 (1 - e^2)^{7/2}} \left(1 + \frac{73}{24} e^2 + \frac{37}{96} e^4 \right). \quad (5.4)$$

Applying the analysis of Sec. IV, one finds that the average angular momentum emission rate is given by

$$\left\langle \frac{dL}{dt} \right\rangle = -\frac{32 G^2 m_1^2 m_2^2 (m_1 + m_2)^{1/2}}{5 c^4 a^2 (1 - e^2)^2} (1 + \frac{7}{8} e^2). \quad (5.5)$$

The equations for $\langle da/dt \rangle$ and $\langle de/dt \rangle$ are derived from (5.4) and (5.5):

$$\left\langle \frac{da}{dt} \right\rangle = -\frac{64 G^3 m_1 m_2 (m_1 + m_2)}{5 c^4 a^3 (1 - e^2)^{7/2}} \left(1 + \frac{73}{24} e^2 + \frac{37}{96} e^4 \right), \quad (5.6)$$

9-§. LIGO observatoriyası haqqında hám gravitaciyalıq nurlardıń registraciyanıwı

Gravitaciyalıq tolqınlardı sezgen lazerlik interferometrlik LIGO observatoriyasınıń birdey eki detektorınıń biri AQSH tıń Luiziana shtatındaǵı Livingston qalasınıń, al ekinshisi onnan 3002 km qashıqlıqta Vashington shtatındaǵı Xenford qalasınıń qasında jaylasqan. Livingston qalasınıń qasındaǵı observatoriya Oregon shtatı menen shegaraǵa jaqın orında jaylasqan paydalanıwdan qalǵan yadrolıq poligonda ornalasqan. Al Luiziana shtatındaǵı observatoriya ushın tropikalıq hám subtropikalıq toǵaylardıń shetinde tınısh orındı tabıwǵa múmkinshilik bolǵan. LIGO proektiniń qabıl etiwı ushın eń qolaylı hám salıstırmalı tınısh diapazon retinde adamnıń qulaǵı esitetuǵın 10 – 1000 Gc bolǵan diapazon saylap alıńǵan. Sonlıqtan bul observatoriyalardıń járdeminde gravitaciyalıq tolqınlardı esitiw múmkin dep aytıwǵa boladı. Sonıń menen bir qatarda observatoriyalardıń islewi ushın quwatlı hám bir tekli isleytuǵın lazerler kerek. Bunday lazerler tek 1990-jılları payda bola basladı. Usı jaǵdaylardıń barlıǵın esapqa alıp soǵılǵan detektorlar amplitudasınıń salıstırmalı shaması 10^{-17} sm bolǵan terbelislerdi baqlay aladı (bul shamanıń vodorod atomınıń diametriniń shamasınan milliard, al atom yadrosınıń diametrinen on mın ese kishi ekenligin atap ótemiz).

Jerdiń betindegi qozǵalıslardıń barlıǵı da oǵada sezgir detektorlardıń ornıqlı túrde islewine óziniń unamsız tásirlerin tiygizedi. Usı jaǵdaylarǵa baylanıslı fiziklerdiń aldında tek gravitaciyalıq tolqınlardıń tiygizgen tásirin ayırıp alıw mashqalası turdı hám bul mashqala tabıs penen sheshilgen.

LIGO proekti 1992-jılı Kaliforniya texnologiyalıq instituttıń professorları Kip Torn (Kip Stephen Thorne) menen Ronald Driver hám Massachuset texnoogiyasınıń professorı Rayner Vays tárepinen usınıldı. Proektti AQSH Milliy ilimiy fondı tárepinen qarjılandırılǵan. LIGO proekti ushın 365 million dollar aqsha qarjıları jumsalǵan hám bul fond tárepinen bólip shıǵarılǵan eń úlken qarjı bolıp tabıladı.

Gravitaciyalıq tolqınlar dep waqıt boyınsha jaqtılıqtıń tezligi menen tarqalatuǵın keńisliktiń mayısıwlarınıń (deformaciyasınıń) tarqalıwların túsinemiz. Keńislik-waqtıń tolqınları bolǵan gravitaciyalıq tolqınlardı suwdıń betindegi mayda tolqınlar yamasa qattı denelerdegi ses tolqınları menen salıstırıwǵa boladı. Ildirilip qoyılǵan eki dene arqalı bunday tolqınlar ótkende olar arasındaǵı qashıqlıq ózgeredi. Deneler terbele baslaydı. Olar arasındaǵı qashıqlıqtıń salıstırmalı ózgerisi tolqınınıń amplitudasınıń ólshemi bolıp xızmet etedi.

Qálegen tezleniwshi qozǵalıstaǵı dene gravitaciyalıq tolqındı payda etedi. Siz qolınızdı sermew arqalı gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandıra alasız. Biraq gravitaciya fundamentallıq tásirlesiwlerdiń ishindegi eń ázzi tásirlesiw bolıp tabıladı. Mısalı massası 10000 tonna bolǵan polat kolonnanı óziniń kósheri dógeresinde bir sekunda 10 ret aylandırsańız payda bolǵan gravitaciyalıq tolqınınıń energiyası shama menen 10^{-24} Vt·sek (yaǵnıy $6 \cdot 10^{-6}$ eV) shamasına teń boladı hám bunday signaldı házirshe hesh kim de baqlay almaydı.

Gravitaciyalıq tolqınlar tárepinen qozdıralatúǵın effektlerdiń oǵada ázzi bolatúǵınlıǵına baylanıslı kóp jıllar dawamında sonday tolqınlardıń bar yamasa joq ekenligin eksperimentlerde tuwrıdan-tuwrı tastıyıqlawdıń múmkinshiligi bolmadı. Olardıń bar ekenligi haqqındaǵı janapay maǵlıwmatlar PSR B1913+16 belgisine iye tıǵız eki neytron juldızdan turatúǵın sistemanı baqlawdıń barısında alındı [34]. Usı jumısı ushın 1993-jılı AQSH fizikleri Rassel Xals (ingliz tilinde Russell Alan Hulse, 1950-jılı 28-noyabr kúni Nyu-York qalasında tuwılǵan) hám Djozef Teylorlar (ingliz tilinde Joseph Hooton Taylor, Jr., 1941-jılı 29-mart kúni Filadelfiya qalasında tuwılǵan) fizika boyınsha xalıq aralıq Nobel sıylıǵın alıwǵa miyasar boldı [33-35]. Qos juldızlar bir biriniń dógeresinde aylanganda gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandıradı. Usınıń saldarınan olar energiyasın joǵaltadı, olardıń orbitalarınıń ólshemleri hám aylanıw dáwirleri kishireyedi. Teoriyalıq jollar menen esaplangan usınday juldızlardıń bir biriniń dógeresinde aylanıwınıń nátiyjesinde nurlanıwı kerek bolǵan gravitaciyalıq tolqınlardıń energiyasınıń shamasın astronomiyalıq baqlawlarda alınǵan aylanıw dáwiriniń kemeyiwı salıstırıw ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń talaplarına dál sáykes kelgen.

Gravitaciyalıq tolqınlardı qabil etiw (tekstte detektorlaw, registraciyalaw sózleri paydalanıladı) jumısları 1960-jılları AQSH fizigi Djozef Veber (ingliz tilinde Joseph Weber, 1919-2000) tárepinen baslangan edi. Onıń detektorınıń tiykarǵı bólimi uzınlıǵı 2 metr bolǵan cilindr tárizli alyuminiyden ibarat edi (1-súwret). Veber úsh detektor soqtı hám olardı AQSH tıń hár qıylı shtatlarında ornalastırdı. Onıń 1969-jılǵı gravitaciyalıq tolqınlardı ashtım degen bildiriwi kóp uzamay 1972-jılı ilimiy jámáátshilik tárepinen (Mısalı Moskvadaǵı V.Braginskiydiń toparı tárepinen) tolıq biykarlandı. Biraq astrofizikler arasında D.Veberdiń jumısları úlken qızıǵıwshılıq payda etti. Gravitaciyalıq tolqınlardıń Veber tárepinen usınılǵan rezonanslıq detektorı uzaq waqıtlar dawamında tiykarǵı detektor sıpatında tanılıp keldi. Gravitaciyalıq tolqın ótken jaǵdayda detektor sıpatında paydalanılatúǵın alyuminiy cilindr bir baǵıtta sozılıp, oǵan perpendikulyar baǵıtta qısılıwı kerek. Nátiyjede alyumiyniy cilindrdiń qońırawday bolıp "jańlay" baslawı kútiledi. Biraq usıǵan qaramastan konstrukciyası Veber tárepinen usınılǵan detektorlar jetkilikli dárejede sezgirlikke iye emes edi.



1-súwret. D.Veber óziniń detektorın jumısqa tayarlap atır. Uzunlıǵı 2 m bolǵan tutas alyuminiy kórinip tur.



2-súwret. Professorlar Rayner Vays hám Kip Tornlar.

Veber tárepinen "ashılǵan" gravitaciyalıq tolqınlardıń qalayınsha "jabılǵanlıǵı" haqqında tómendegidey mısaldı keltiriw múmkin: Ótken ásirdeń 70-jılları Moskva mámleketlik universitetiniń fizika fakul'tetiniń cokollıq etajında (podvalında) basqa kóp sanlı tolqınlardıń qoyıw massivi arasınan gravitaciyalıq tolqınlardı ajratıp alatuǵın eń birinshi detektorlar dóretildi. Bul detektor Etvesh tárezisi dep atalatuǵın oǵada sezgir tárezi tiykarında soǵılıp, oǵada kishi terbelislerdi bir birinen ajrata alatuǵın edi. Biraq, ádette barlıq waqıtta da Jerde kóp nárseler terbelip turadı. Sonlıqtan Braginskiy basqarǵan gruppaa aǵzaları soqqan tárezi úzliksiz túrde waqıttıń ótiwi menen qaytalanbaytuǵın tártipsiz terbelislerdi turaqlı túrde kórsetip turǵan.

Biraq uzaq dawam etken baqlawlardıń barısında ásbap waqıttıń ótiwi menen anıq túrde qaytalanatuǵın nátiyjeni kórsetken. Hár kúni keshte hám birdey waqıtta tárezidegi teń salmaqlıqtıń buzılatuǵınlıǵı ayqın túrde sezilgen. Bul xabardı esitken barlıq fizfak nátiyjeniń qanday bolatuǵınlıǵın asıǵıslıq penen kútken. Biraq V.Braginskiy kútilgen bayramdı tez buzǵan. Soǵılǵan tárezi tramvaylardıń eń sońǵı toparınıń Universitet prospekti arqalı (yaǵnıy fizfaktıń qasınan) birgelikte parkke qaytıwı menen baylanıslı payda bolǵan jerdiń terbelislerin sezgen eken.

Tilekke qarsı, 1919-jılı tuwılǵan amerika fizigi Djozef Veber gravitaciyalıq tolqınlardıń qalayınsha ashılǵanlıǵın bile almadı. Ol 2000-jılı 30-sentyabr kúni qaytı boldı [40].

Gravitaciyalıq tolqınlardıń deregi sıpatındaǵı astrofizikalıq qubılıslarǵa eń birinshi bolıp 1948-jılı belgili fizik-teoretik akademik Vadim Aleksandrovich Fok itibar bergen edi. Ol sol jılı YUjupiter planetasınıń nurlandıratuǵın gravitaciyalıq tolqınlarınıń quwatın bahalay aldı [8]. V.A.Foktıń alǵan maǵlıwmatları boyınsha YUjupiter planetası tolqın uzunlıǵı úlken bolǵan quwatı $\sim 4 \cdot 10^9$ erg/s = 400 watt bolǵan gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandıradı eken (bir biriniń dógeriginde bir birinen l qashılıǵında aylanıwshı massaları birdey bolǵan eki dene nurlandıratuǵın gravitaciyalıq tolqınlardıń quwatı

$$p_{grav} = \frac{128 G}{3 c^5} M^2 l^4 \omega^6$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı, bul formulada M arqalı aylanbalı qozǵalıstaǵı deneniń massası, ω arqalı aylanıw jiyiligi belgilengen).

Eger neytron juldızlar bir biriniń dógeriginde aylanatuǵın bolsa, olar bir biri menen qosılsa yamasa bir biri menen soqlıǵıssa, onda olar gravitaciyalıq tolqınlardıń oǵada quwatlı deregine aylangan bolar edi (neytron juldızlardıń massalarınıń Quyashtıń massasınan ádewir úlken ekenligin atap ótemiz). Al massası ádette neytron juldızlardıń massalarınan ádewir úlken bolatuǵın qara qurdımlar qosılǵan jaǵdayda payda bolatuǵın gravitaciyalıq tolqınlardıń quwatı onlaǵan ese úlkeygen bolar edi. Bul 1970-jılları qalıplese baslaǵan ayqın túrdegi teoriyalıq máselelerdiń biri bolıp tabıladı. Usınıń menen bir qatarda eksperimentatorlar "qaǵazda bar nurlanıwdıń túrin qalayınsha tabıwǵa boladı" degen sorawǵa juwap beriwge tırıstı.

LIGO nıń tiykarın salıwshılardıń biri Kip Torndıń 2007-jılı rus tilinde shıqqan "Qara qurdımlar hám waqıttıń jyırları. Eynshteyn qaldırǵan mártlik miyras" ("Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy") kitabında mınaday sózlerdi ushıratamız [29]: "1960-jılları qanday dál ólsheulerdiń zárúrli ekenligi haqqındaǵı máselege hesh kim itibar bermedi. Sebebi qara qurdımlardan hám basqa da astronomiyalıq ob'ektlerden Jerge keletuǵın gravitaciyalıq tolqınlardıń qanshama ázzi ekenligin hesh kim ayqın túrde túsinbedi. Biraq 1970-jıllardıń ortalarına kelgende Veberdiń eksperimentallıq proektinen alınǵan tásirler tiykarında men hám basqa da teoretikler eń kúshli gravitaciyalıq tolqınlardıń qanshama kúshli bolatuǵınlıǵın anıqlay basladıq. Juwap 10^{-21} shamasına teń bolıp shıqtı. Demek 2 metrlik cilindr tárizli deneni gravitaciyalıq tolqınlar $2 \cdot 10^{-21}$ metr shamasına teń amplituda menen terbeliske keltiredi eken. Bul shama atom yadrosınıń diametrinen million ese kishi bolıp tabıladı. Eger usı bahalawlar durıs bolǵanda (bizler ornlaǵan esaplawlarımızdıń júdá juwıq ekenligin jaqsı bildik), onda bunday signal Braginskiy ashqan kvantlıq shekten 10 ese kishi bolǵan bolar edi. Sonlıqtan gravitaciyalıq tolqınlardı qattı denelerden soǵılǵan detektordıń hám sol waqıtları belgili bolǵan datıqılderdiń járdeminde registraciyalawdıń pútkilley múmkinshiliginiń joq ekenligi belgili boldı.

Bul qáweterli jaǵday orın alǵan bolsa da, gravitaciyalıq tolqınlardı detektorlawǵa úmit etiwge bolatuǵın edi. Braginskiydiń tereń intuiciyası, eger eksperimentatorlar ayırıqsha aqıllı bolsa joqarıda ayılǵan standart kvantlıq shekti aylanıp ótiwdiń múmkin ekenligin eske saldı... Braginskiydiń intuiciyası oǵada ázzi gravitaciyalıq tolqınlardı registraciyalaytuǵın detektordı soǵıwdıń múmkin ekenligin kórsetti".

1960-jılı 16-may kúni AQSH fizigi Teodor Xaral'd (Ted) Meyman (ingliz tilinde Theodore Harold "Ted" Maiman, 1927-jılı 11-iyul kúni Los-Andjeles qalasında tuwılǵan hám 2007-jılı 5-may kúni Vankuver qalasında qaytı bolǵan) birinshi optikalıq kvantlıq generatordıń – lazerdiń jumısın demonstraciyaladı (lazer - light amplification by stimulated emission of radiation – "jaqtılıqtı májbúriy nurlanıwdıń tásirinde kúsheytiw" mánisin beredi). Bul lazerde aktiv ortalıq sıpatında jasalma túrde alınǵan rubin kristallı paydalanıldı, al kólemlik rezonator sıpatında Fabri-Peró rezonatorı alındı. Lazer impul'slik rejimde 694,3 nm tolqın uzınlıǵında isleytuǵın edi. Usı waqıyadan keyin 1962-jılı Moskvalı M.Gercenshteyn hám V.Pustovoytlar gravitaciyalıq

tolqınlardı baqlaw ushın "Eki massalı deneni alıp, olardan antenna soǵıw kerek" ekenligin dálilledi. Sebebi gravitaciyalıq tolqınlardıń kvadrupollik tábiyatına baylanıslı ázzi nurlanıw hám soǵan sáykes basqa deneler menen ázzi tásirlesiw orn aladı. Gravitaciyalıq maydanda plyusler de, minuslar da joq. Sonlıqtan gravitaciyalıq tolqınnıń kelip túskenligin tek bir tekli emes ortalıqlardı payda etiw menen ǵana detektorlaw múmkin. Bunday bir tekli emes ortalıq fizika iliminde keńnen belgili bolǵan Maykelıson interferometri (Alıbert Maykelıson tárepinen islep shıǵılǵan eki nurlı optikalıq interferometr) bolıp tabıladı [41].

Usı jaǵdayǵa baylanıslı gravitaciyalıq tolqınlar detektorlarınıń gezektegi áwladınıń islew principı ushın (sonıń ishinde LIGO proekti ushın) Maykelıson interferometri tiykar etip alındı.

Eń dáslep Maykelıson tárepinen usınılǵan interferometrler (XIX ásirdeń aqırına taman bunday interferometrde alınǵan nátiyjeler jaqtılıqtıń vakuumdaǵı tezliginiń barlıq inercialıq esaplaw sistemasında birdey bolatuǵınlıǵın kórsetti hám arnawlı salıstırmalıq teoriyasınıń payda bolıwında óziniń salmaqlı ornın iyeledi) hár bir iyini arqalı ótken jaqtılıq nurlarınıń júrisler ayırmasın úlken dállikte ólshewge múmkinshilik beredi. Biraq júdá ázzi gravitaciyalıq tolqınlardı registraciyalaw ushın sezgirliǵi Veber tárepinen usınılǵan detektordıń sezgirliǵinen millionlaǵan ese joqarı bolǵan interferometrde alıw ushın iyinlerdiń uzınlıǵı júzlegen kilometr bolıwı kerek. Bul mashqalanı sheshiw ushın nurlardıń júriw jolın úlkeytiw hám usıǵan sáykes interferometrdeń iyinlerin kishireytiw maqsetinde hár bir iyinge Fabri-Pero rezonatorları ornalastırıldı.



a)



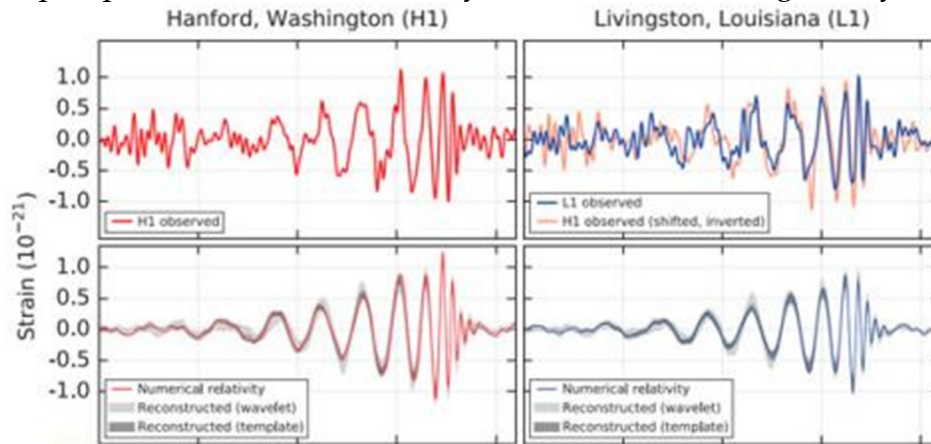
b)

3-súwret. Xenford qalası qasındaǵı (Washington shtatı, H1) hám Livingston qalası qasındaǵı (Luiziana shtatı, L1) shtatlarında jaylasqan gravitaciyalıq-tolqınlıq observatoriyalar.

LIGO kollaboraciyasınıń iyinleriniń uzınlıǵı 4 km bolǵan eki interferometri hám Italiyada Piza qalasınıń qasında jaylasqan iyininiń uzınlıǵı 3 km ge teń bir VIRGO interferometri házirgi waqıtlardaǵı eń sezgir detektorlar bolıp esaplanadı (VIRGO ele iske túsken joq). Olardıń basshıları alınǵan nátiyjelerdi birgelikte qayta islewge kelisken.

Bul proekttiń iske asıwına eń birinshi impulıstı AQSH bergen bolsa da, LIGO observatoriyası xalıq aralıq proekt bolıp tabıladı. Bul proektke aqsha qarjıları hám intellektuallıq jaqtan 15 mámleket járdem berdi, al kollaboraciyanıń aǵzalarınıń sanı 1000 nan artıq. Proekttiń júzege keliwinde salmaqlı orındı dáslep SSSR dıń (Moskva mámleketlik universitetindegi V.Braginskiydiń toparı menen Nijniy Novgorod qalasındaǵı Ámeliy fizika institutınıń xızmetkerleri) hám keyinirek Rossiyanıń kóp sanlı fizikleri iyeledi.

Ásirese astrofizikler arasında kompaktlı obʼektlerdiń (yaǵnıy massaları úlken hám ólshemleri kishi bolǵan kosmoslıq obʼektlerdiń) bir obʼektke qosılıwı úlken qızıǵıwshılıq payda etedi. Sebebi úlken massaǵa iye eki obʼektten turatuǵın sistemalar (mısalı neytron juldızlar yamasa qara qurdımlar) barlıq waqıtta gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandıradı. Nurlanıw olardıń orbitalarınıń uzınlıǵın qısqartadı hám eń aqırında olardıń qosılıwına alıp keledi. Usı waqıtta pútkil Álem boyınsha tarqalatuǵın kúshli gravitaciyalıq nurlanıw payda boladı. Tap usınday úlken quwatqa iye gravitaciyalıq tolqınlardı LIGO observatoriyasınıń detektorları registraciyalay aladı.



4-súwret. Joqarǵı tárepinde LIGO nıń eki detektorı tárepinen registraciyalanǵan GW150914 waqıyasınan alınǵan signallar berilgen. Tórende processti sanlı modellestiriwdiń nátiyjesi kórsetilgen. Physical Review Letters jurnalında shıqqan maqaladan alındı [4-5].

Úlken massaǵa iye aspan deneleriniń qosılıwınıń saldarınan payda bolǵan signallardı izlewde hám identifikaciyalawda gravitaciyalıq tolqınınıń waqıtlıq signallarınıń formasın bilıw járdem beredi. Bunıń ushın sanlı salıstırmalıq (ingliz tilinde numerical relativity, kúshli gravitaciyalıq maydanlarındaǵı fizikalıq processlerdi kompʼyuterlik modellestiriw maqsetinde Eynshteyn teńlemeleri tiykarında sanlı usıllardı islep shıǵatuǵın hám algoritmlerdi paydalanatuǵın ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń bir tarawı bolıp tabıladı) usılları paydalanıladı. Onıń járdeminde obʼektlerdiń qosılıwınıń bazalıq modelleriniń torı dúziledi. Usı tordıń túyinleriniń arasında fiziklerge belgili bolǵan joqarı tártiptegi postnıyutonlıq formalizmge tiykarlanǵan analitikalıq jaqınlasıwlar paydalanıladı.

LIGO observatoriyası 2002-jılı isley basladı hám 2011-jılǵa shekem baqlawlardıń altı seansı ótkerildi. Usı dáwirde hesh qanday gravitaciyalıq tolqın baqlanbadı. Bul jaǵday hesh kimdi de tańlandırmadı. Sebebi detektor "tırlaǵan" Álemniń bóliminde quwatlı gravitaciyalıq tolqınlardı nurlandıırıwı múmkin bolǵan kataklizmniń orın alıwınıń itimallıǵı úlken emes edi (bir neshe onlaǵan jıllar dawamında ortasha bir ret).

2010-jıldan 2015-jıllarǵa shekem kollaboraciya LIGO menen Virgo observatoriyalarınıń ilimiy apparaturasın túpkilikli túrde ózgeretti. Usınıń saldarınan uzaq waqıtlardan beri kútilip kelgen maqsetke jetiwdiń múmkinshiligi tuwıldı. Jetilistirilgen LIGO nı endi aLIGO (Advanced LIGO) dep atadı hám ol 60 megaparsek (20 million jaqtılıq jılı) qashılıqtaǵı neytron juldızlar hám júzlegen megaparsek

qashıqlıqtaǵı qara qurdımlar payda etken gravitaciyalıq tolqınlardı registraciyalay alıw múmkinshiliklerine iye boldı. Gravitaciyalıq-tolqınlıq tınlaw ushın ashıq bolǵan Álemniń kólemi ótken seanstaǵı kólemnen onlaǵan ese arttı.

Álbette, Álemde kosmoslıq kataklizmniń (juldızdıń óliwiniń, qanday da bir kosmoslıq masshtablardaǵı partlanıwlardıń yamasa katastrofalardıń, neytronlıq juldızlar yamasa qara qurdamlardıń qosılıwınıń) qashan hám qay orında bolatuǵınlıǵın hesh kim de ayta almaydı. Biraq jetilistirilgen detektorlardıń sezgirliǵi hár jıldı neytron juldızlardıń bir neshesiniń qosılıwın detektorlaw ushın jetkilikli boldı. Sonlıqtan kópten beri kútilgen waqıyanı eń birinshi tórt aylıq seansınıń barısında baqlaw múmkinshiligi tuwıldı. Eger aLIGO proektiniń jumısınıń bir neshe jıllarǵa mólsherlengen ekenligin esapqa alsaq, onda gravitaciyalıq tolqınlardı jiyi baqlaw múmkinshiligi tuwıladı. Al gravitaciyalıq tolqınlar detektorlanbaǵan jaǵdayda ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasında qanday da bir nárese durıs emes degen juwmaq shıǵarıladı. Al 2015-jılı sentyabrń ayınıń basında sol eki máseleniń sheshimi haqqında hesh kim hesh nárese ayta almadı.

2016-jıl 11-fevralń kúni astrofizikler tárepinen GW150914 waqıyasınıń registraciyalanǵanlıǵı daǵazalandı. Bul waqıya 2015-jılı 14-sentyabrń kúni Nókis waqıtı menen saat 15 ten 50 minut 45 sekund ótkende minut ótkende registraciyalanǵan edi. Waqıya LIGO detektorları tárepinen dáslep Livingstonda, al 7 millisekund ótkennen keyin Xenfordta esapqa alındı.

Kollaboraciylar alınǵan nátiyjelerdi qoldan qayta islewge 18-sentyabrń kúni kiristi hám aldın-ala júrgiziliwi kerek bolǵan jumıslardı 5-oktyabrń kúni juwmaqlaǵan. Usınıń menen bir qatarda GW150914 ob`ektinen basqa astronomiyalıq diapazonlarda keliwi múmkin bolǵan tábiyatı basqa bolǵan signallardıń Jerge jetip kelgenligi tekserilip kóрилди. Nátiyjede neytrinoliq signaldıń tabılmaǵanlıǵı, al Fermi kollaboraciyası tárepinen rentgen diapazonında ázzi signaldıń kelgenligi belgili boldı.

2015-jıl 14-sentyabrń kúni registraciyalanǵan gravitaciyalıq tolqınlarǵa sáykes keliwshi signaldıń forması massaları shama menen Quyashtıń massasınan 36 hám 29 ese úlken bolǵan (dáliregi massaları Quyashtıń massasınan 36_{-4}^{+5} hám 29_{-4}^{+4} ese úlken bolǵan) eki qara qurdımnıń qosılıwınıń nátiyjesinde payda bolatuǵın gravitaciyalıq tolqınlarǵa sáykes keledi. Payda bolǵan qara qurdımnıń massası Quyashtıń massasınan 62_{-4}^{+4} ese úlken. Sekundtıń onnan bir úlesine teń waqıt ishindegi nurlanǵan gravitaciyalıq nurlardıń energiyası Quyashtıń massasınan $3_{-0,07}^{+0,05}$ ese úlken massaǵa ekvivalent.

Ótkerilgen sanlı matematikalıq tallawlar GW150914 ob`ektiniń Jerden qashıqlıǵınıń 1,3 milliard jaqtılıq jılına teń ekenligin kórsetti. Eger Álemniń jasınıń 13,8 milliard jıl ekenligin esapqa alsaq, onda registraciyalanǵan gravitaciyalıq tolqınlardıń payda bolǵanınan baslap Jerge jetip kelemen degen she Álemniń jasınıń onnan bir úlesine teń waqıttıń ótkenligine iseniwge boladı.

Eki LIGO detektorı registraciyalanǵan gravitaciyalıq tolqınlardıń Jerge qay tárepten jetip kelgenligi haqqında da maǵlıwmatlardı bere aldı. Luiziana shtatında jaylasqan detektor signallardı Vashington shtatındaǵı jaylasqan detektordan 6,9 mikrosekund burın qabıl etken. Bul maǵlıwmat gravitaciyalıq tolqınlardıń túslik yarım shar tárepte jaylasqan Magellan bulıtları tárepten kelgenliginen derek beredi (eger detektorlardıń

sanı úshew bolǵanda tolqınlardıń aspannıń qaysı noqatınan kelip jetkenligin ádewir dál aytıwǵa múmkinshilik bergen bolar edi).

4-súwrettiń shep tárepinde Xenfordtaǵı (H1), al oń tárepinde Livingstondaǵı detektor tárepinen alınǵan signallar keltirilgen. Waqt Pútkil dúnyalıq koordinaciyalangan waqt (UTC) boyınsha 2015-jıl, 14-sentyabr, 09:50:45. Signaldı vizualizaciyalaw ushın detektorlardıń júdá joqarı bolǵan sezgirliginiń diapazonınan sırttaǵı úlken fluktuaciyalardı joǵaltıw maqsetinde ótkeriw jolaǵı 35-350 Gerc bolǵan filıtrdiń járdeminde filıtrlengen. Sonıń menen dúzilistiń óziniń shawqımın saplastırıw ushın rejektorlıq filıtrler dep atalatuǵın filıtrler de paydalanılǵan. Súwrettegi joqarǵı qatar: detektorlardaǵı h kernewi. GW150914 dereginen shıqqan signal dáslep L1 ge (Livingston) hám bunnan keyin shama menen 7 millisekund ótkennen keyin H1 ge (Xenford) jetip kelgen. Detektorlardıń salıstırmalı orientaciyanın esapqa alıw maqsetinde H1 detektorlarınıń maǵlıwmatların L1 detektorlarınıń maǵlıwmatları menen salıstırıw ushın waqt boyınsha kerı hám jılıtılǵan túrde kórsetilgen. Ekinshi qatarda joqarıda ayılǵan 35-350 Gc lik filıtr arqalı ótkerilgen gravitaciyalıq-tolqınlıq signaldıń kernewi h keltirilgen. Tutas sızıq GW150914 signalın úyreniw barısında alınǵan maǵlıwmatlar bazası tiykarında sızıqlı modellestiriwdiń járdeminde alınǵan sızıq bolıp tabıladı.

Gravitaciyalıq tolqınlardı registraciyalaw tómendegidey fundamentallıq karakterdegi ilimiy nátiyjelerdi berdi:

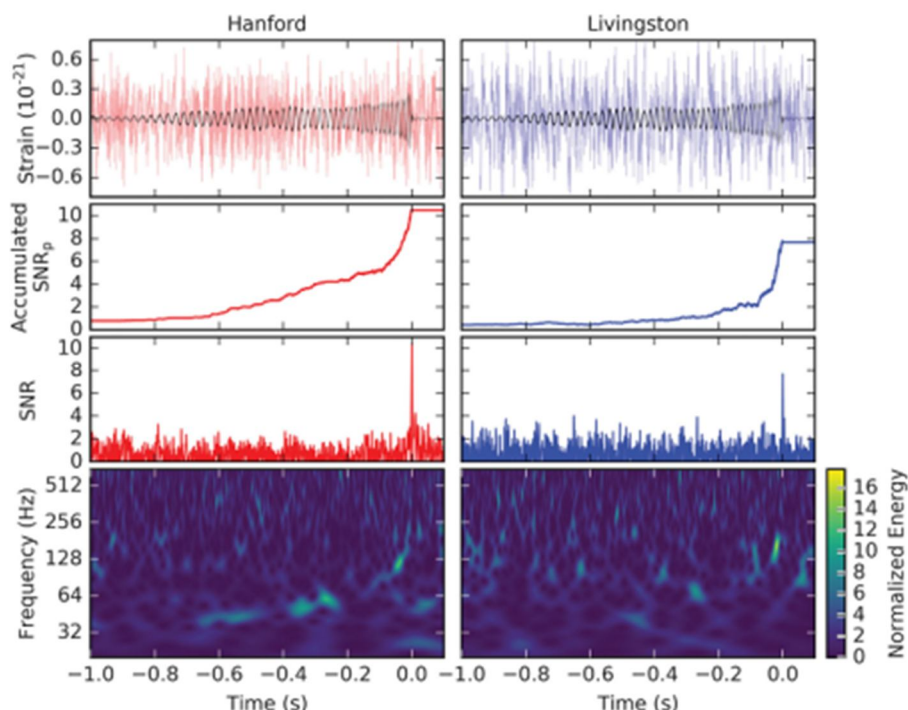
1. Gravitaciyalıq tolqınlar tuwrıdan-tuwrı (tikkeley) registraciyalandı;
2. Gravitaciyalıq tolqınlardıń kóldeneń tolqınlar ekenligi dálillendi;
3. Álemdi baqlawdıń jańa usılı ashıldı (bunı gravitaciyalıq-tolqınlıq astronomiya dep ataydı);
4. Gravitaciyalıq alıstan tásirlesiw mashqalası túsindirildi (bul haqqında keyinirek gáp etiledi);
5. Qara qurdımlardıń bar ekenligi haqqında tuwrıdan-tuwrı maǵlıwmatlar kelip tústi;
6. Qos qara qurdımnıń bolatuǵınlıǵı haqqında tuwrıdan-tuwrı maǵlıwmatlar alındı;
7. Gravitaciya qubılısına geometriyalıq kóz-qarastan jaqınlasıwdıń durıs ekenligi tastıyıqlandı (ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń geometriyalıq teoriya ekenligine keyinirek túsinemiz).
8. Registraciyalangan gravitaciyalıq nurlardı payda etken qara qurdımlardıń usı waqıtlarǵa shekem tuwrıdan-tuwrı jollar menen emes, al janapay jollar menen bar ekenligi anıqlangan juldızlıq massaǵa iye bolǵan qara qurdımlardıń eń salmaqlısı tabıldı;
9. Gravitonnıń massası ushın eń joqarı shek tabıldı (10^{-55} gramm, biraq ádette gravitonnıń massasın nolge teń hám sonlıqtan gravitaciyalıq tolqınlar jaqtılıqtıń tezligindey tezlik penen tarqaladı dep esaplanadı).

Joqarıda ayılıp ótilgen jaǵdaylar menen bir qatarda gravitaciyalıq tolqınlardıń ashılıwınıń nátiyjesinde A.Eynshteyn dóretken ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń hesh bir tárepiniń biykarlanbaǵanlıǵın atap ótemiz.

2016-jılı 15-iyun kúni Physical Review Letters juranında LIGO kollaboraciyası tárepinen "GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary

Black Hole Coalescence" atamasındaǵı 14 betlik maqala shıqtı. Bul maqalada LIGO gravitaciyalıq observatoriyasınıń 2015-jılı 25-dekabrǵ kúni ekinshi gravitaciyalıq tolqındı detektorlaǵanlıǵı haqqında ayılǵan. Bul jaǵdayda bunnan 1,4 milliard jıl burın massaları Quyashtıń massasınan 14,2 hám 7,5 ese úlken bolǵan eki qara qurdım qosılıp massası Quyashtıń massasınan 21 ese úlken bolǵan qara qurdım payda bolǵan. Energiyası Quyashtıń massasına ekvivalent energiyadaǵı gravitaciyalıq tolqınlar nurlanǵan. Bul ret qara qurdımlardıń massaları kishirek bolǵanlıqtan olar detektorlardıń sezgirlik zonasında 1 sekundtan sál kemirek waqıt dawamında bolǵan. Usı waqıt ishinde qara qurdımlar bir biriniń dógeresinde 55 ret aylanǵan hám aylanıw jiyiligi 35 ten 450 Gc shekem úlkeygen.

Biz gravitaciyalıq tolqınlardı birinshi ret registraciyalawdıń barısında qara qurdımlardıń bir biriniń dógeresinde 10 ret ǵana aylanǵanın atap ótemiz. Ekinshi baqlawdaǵı qara qurdımlardıń massalarınıń kishi bolıwı aylanıwlar sanınıń kóbeyiwine alıp kelgen.



5-súwret. LIGO nıń eki detektorı tárepinen registraciyalanǵan GW151226 waqıyasınan alınǵan signallar (2016-jıl 15-iyunǵ kúni shıqqan maqaladan alınǵan súwretler)

Joqarıda keltirilgen maǵlıwmatlardıń barlıǵı da gravitaciyalıq tolqınlardı registraciyalaw isleriniń jolǵa qoyılǵanınan, gravitaciyalıq-tolqınlıq astronomiyanıń payda bolǵanlıǵın hám tez arada bul tarawda oǵada áhmiyetli bolǵan ilimiy ashılıwlardıń júzege keletuǵınlıǵınan derek beredi.

10-§. Keleshek ushın dúzilgen jobalar

Gravitaciyalıq-tolqınlıq astronomiyanıń perspektivaları qánigelerdi ele de tereń izertlewlerge qaray, atap aytqanda Álemniń payda bolıwı menen evolyuciyasına tiyisli bolǵan fundamentallıq máselelerdi sheshiwge ruwhlandıradı. Házirgi waqıtları aLIGO detektorınıń eń birinshi hám eń qısqa baqlaw seansı juwmaqlandı. Bul seans júdá

jemisli bolıp shıqtı. Adamlar gravitaciyalıq tolqınlardı eki ret registraciyaladı hám fundamentallıq ilimniń rawajlanıwı ushın jáne de bir úlken jol ashıldı. Dálirek aytqanda gravitaciyalıq tolqınlar observatoriya rásimiy túrde ashılmastan burın tabıldı hám kollaboraciya tórt aylıq jumıslardıń nátiyjeleri haqqında ele esap bermedi. Múmkin, tórt aydıń ishinde jáne de basqa qosımsha signallar baqlanğan shıǵar? Qanday bolǵanda da detektorlardıń sezgirliǵi joqarılaǵan sayın Álemniń gravitaciyalıq-tolqınlıq baqlaw múmkin bolǵan bólimi úlkeyedi, al registraciyalanǵan waqıyalardıń sanı keskin artadı.

2016-jıldıń aqırında Italiyadaǵı jetilistirilgen Virgo laboratoriyası iske túse di. Onıń sezgirliǵi LIGO observatoriyasınıń sezgirliǵinen azmaz kishi. Al gravitaciyalıq-tolqınlıq observatoriyalardıń sanınıń kóbeyiwi gravitaciyalıq tolqınlardıń Álemniń qaysı noqatınan kelgenliǵin dál anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Sonıń menen birge házirgi waqıtları YAponiyada KAGRA dep atalatuǵın gravitaciyalıq-tolqınlıq antenna qurılıp atır. Onıń jumısı 2018-2019 jılları baslanadı. Bul máselede Indiya da sırtta qalǵan joq. Ol jerde 2022-jılları LIGO-India detektorı isley baslaydı. Usınıń nátiyjesinde endi bir neshe jıllardan keyin hár qıylı mámleketlerdegi gravitaciyalıq-tolqınlıq detektorlardıń tolıq tarmaǵı gravitaciyalıq tolqınlardı registraciyalay baslaydı.

Gravitaciyalıq tolqınlıq detektorlardı kosmos keńisliǵine shıǵarıw boyınsha da áhmiyetli jobalar bar. Misal retinde eLISAN proektin atap ótiw múmkin. Usıǵan baylanıslı 2015-jıldıń aqırında Jer átirapındaǵı kosmos keńisliǵine birinshi kosmoslıq aparat shıǵarıldı. Onıń maqseti texnologiyalardı sınap kóriw bolıp tabıladı. Álbette, kosmoslıq apparatlardıń gravitaciyalıq tolqınlardı detektorlawı ushın ele kóp jumıslardıń isleniwi kerek. Biraq usınday kosmoslıq apparatlardıń toparı maǵlıwmatlardı jıynay baslaǵanda Álemge tómengi jiyilikli gravitaciyalıq tolqınlar arqalı jáne bir ayna ashıladı.

Onlaǵan jıllar dawamında ótkerilgen izlew jumıslarınıń nátiyjesinde jańa qubılıstıń ashılıwı fizika iliminiń jáne bir jańa bóliminiń baslanıwı bolıp tabıladı. Álbette, eki qara qurdımnıń qosılıwınıń saldarınan payda bolǵan gravitaciyalıq tolqındı detektorlawdıń ózi de úlken áhmiyetke iye. Nátiyjede adamzat qara qurdımlardıń, onıń ústine qos qara qurdımnıń bolatuǵınlıǵın, gravitaciyalıq tolqınlardıń haqıyqatında da bar ekenliǵin, sonıń menen birge gravitaciya qubılısına geometriyalıq jaqınlasıwdıń hám usınday jaqınlasıwǵa tiykarlanǵan ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń durıs ekenliǵin bildi. Onıń ústine gravitaciyalıq-tolqınlıq astronomiya izertlewlerdiń jańa usılına aylandı. Endi usınday usıldıń járdeminde burınları júzege keliwi múmkin emes bolǵan ilimiy izertlew jumısları baslandı. Mısallar keltiremiz:

Birinshiden, bul Álemge qarawdıń jáne Álemde orın alatuǵın kataklizmlerdi úyreniwdiń jańa usılı. Gravitaciyalıq tolqınlar ushın hesh qanday tosqańlıqlar joq, olar Álem arqalı erkin tarqaladı. Tolqınlardıń profilleri olardı payda etken processler haqqında informaciylarǵa iye boladı. Sonıń menen birge, eger oǵada úlken kosmoslıq partlanıw yamasa basqa da kosmoslıq qubılıs júzege kelgen jaǵdayda ádette optikalıq, rentgenlik, neytrinoliq, gravitaciyalıq hám basqa da signallar birgelikte tarqaladı hám olardıń barlıǵın da registraciyalaw múmkinshiligi tuwıladı. Nátiyjede hár qıylı signallardı bir biri menen salıstırıw jolı menen alınıwı múmkin bolǵan informaciylardıń kólemi keskin túrde úlkeyedi. Usınday hár qıylı bolǵan signallardı

qabıl etiw menen salıstırıw processlerin meńgeriw barlıq signallıq astronomiyanıń eń baslı maqseti bolıp tabıladı.

Gravitaciyalıq tolqınlardıń detektorlarınıń sezgirliǵı joqarılatılsa, olar qara qurdımlar yamasa neytron juldızlar sıyaqlı ob'ektler qosılǵan waqıtta payda bolatuǵın gravitaciyalıq tolqınlardı ǵana emes, al qosılıwdıń aldında bir neshe sekund burın payda bolǵan tolqınlardı da (yaǵnıy keńislik-waqtıń qaltırawın) registraciyalaw múmkinshiligine iye boladı. Nátiyjede gravitaciyalıq-tolqınlıq observatoriyalardıń tarmaǵı sol signallardı qabıl etedi, signallardıń qaysı tárepten kelgenligin esaplaydı hám barlıq optikalıq teleskoplardıń sol tárepke burılıwı hám optikalıq diapazondaǵı jıltıldını (kosmoslıq kataklizm optikalıq diapazonda jılt etip jaqtılıqtıń shıǵıwın boldıradı) baqlaw ushın komanda beredi. Bunday jaǵdayda gáp etilip atırǵan kosmoslıq kataklizmdi hár tárepleme izertlew múmkinshiligi payda boladı.

Ekınshiden, gravitaciyalıq-tolqınlıq jıltıldı Álemdegi eń qızıqlı ob'ektler bolǵan neytron juldızlar haqqında kóp nárselerdi biliwge múmkinshilik beredi. Neytron juldızlardıń bir juldızǵa birigiwi tábiyattıń bizge bergen eń ekstremallıq eksperimentleriniń biri bolıp tabıladı. Bunday birigiwdiń nátiyjeleriniń hár qıylı bolıwı múmkin. Usınday nátiyjeler boyınsha statistikalıq maǵlıwmatlardı jaynap neytronlıq juldızlardıń qásiyetleri haqqında áhmiyetli maǵlıwmatlardı jıynaw múmkinshiligi bar.

Úshinshiden, kópshilik juldızlar óziniń ómiriniń aqırında partlanadı hám usınday jollar menen óledi. Bunday qubılıstı asa jańa juldız dep ataydı (bul atama qubılıstıń mánisine sáykes kelmeydi). Asa jańa juldızdan kelgen gravitaciyalıq tolqınlar menen optikalıq teleskoplar járdeminde alınǵan maǵlıwmatlardı salıstırıp juldızdıń partlanıwınıń qalayınsha júzege keletuǵınlıǵı haqqında tolıq maǵlıwmatlardı alıw múmkin.

Tórtinshiden, gravitaciya teoriiyası menen shuǵıllanatuǵın fiziklerde kúshli gravitaciya effektlerin baqlaw ushın "laboratoriya" payda boldı. Usı waqıtlarǵa shekem fizikler baqlap kelgen qubılıslar ulıwmalıq salıstırmalıq teoriiyasınıń ázzi gravitaciyalıq maydanındaǵı júzege keletuǵın qubılısları edi. Kúshli gravitaciya maydanında keńislik-waqtıń mayısıwı ózi menen ózi kúshli tásir ete baslaydı. Bul haqqında fizikler optikalıq teleskoplarda tek janapay maǵlıwmatlardı alıw menen ǵana sheklenip kiyatır edi.

Eń aqırında gravitaciyalıq tolqınlıq astronomiyanıń járdeminde házirgi waqıtları bar bolǵan kóp sanlı gravitaciya teoriyalarınıń durıs yamasa durıs emes ekenligi haqqında tolıq maǵlıwmatlardı alıw múmkinshiligi payda boldı.

Eynshteynniń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriiyası adamzattıń oǵada ullı intellektuallıq jetiskenligi bolıp tabıladı. Biraq onıń matematikalıq tiykarların islep shıqqan hesh bir alımǵa usı waqıtlarǵa shekem Nobel sıylıǵı berilgen joq. Bul teoriyanıń ayırım boljawların eksperimentte tastıyqlaǵan eksperimentallıq fizika boyınsha ayırım qánigeler sıylıqtı alıwǵa miyasar boldı. Nobel sıylıǵı kvantlıq fizika boyınsha qánigelerge olardıń matematikalıq miynetleri ushın berilgen edi. Biraq salıstırmalıqtı úyrengen yamasa izertlegen hesh bir teoretikke Nobel sıylıǵı berilmedi.

Bıyıl, yaǵnıy 2017-jılı Nobel komiteti teoriyalıq jumislardıń áhmiyetin moyınlaydı hám sonlıqtan sıylıqqa miyasar bolǵan fiziklerdiń ishinde teoretik te boladı dep úmit etiwge boladı.

Ulıwmalıq juwmaqlar

1. Lekciyalarda ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń dóretiliwi, teoriyanıń tiykarında islenetuǵın boljawlar, gravitaciyalıq tolqınlardıń bar, bunday tolqınlardıń jaqtılıqtıń tezligindey tezlik penen tarqalatuǵın kvadrupollik tolqınlar ekenligi, olardıń intensivlikleri haqqındaǵı maǵlıwmatlar keltirildi. Gravitaciyalıq tolqınlardıń quwatınıń jaqtılıqtıń vakuumdegi tezliginiń 5-dárejesine kerı proporcıonallıǵı ayqın mısallarda kórsetildi.

2. Binarlıq sistemalar tárepinen nurlandırılatuǵın gravitaciyalıq tolqınlardıń quwatı haqqında ayqın túrdegi maǵlıwmatlar keltirilip, olardı ushın arnalǵan gravitaciyalıq-tolqınlıq observatoriyalardıń sezgirliginiń qanday bolıwınıń zárúr ekenligi ayqın túrdegi mısallarda ashıp kórsetildi.

3. LIGO gravitaciyalıq-tolqınlıq observatoriyalarınıń islewiniń tiykarǵı fizikalıq principleri ashıp kórsetildi. Sonıń menen birge gravitaciyalıq tolqınlardı registraciyalawdıń fizika ilimi aldında turǵan áhmiyeti kóp sanlı mısallardıń járdeminde kórsetildi.

4. Gravitaciyalıq tolqınlardıń ashılıwınıń ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń dóretilgenine 100 jil tolıwına sáykes keliwine baylanıslı onıń avtorı Alıbert Eynshteynniń ómiri hám ilimiy miyrasları keń túrde bayanlandı.

Paydalanılǵan ádebiyatlar dizimi

1. P. W. Higgs. Broken symmetries, massless particles and gauge fields // Phys. Lett. — 1964. — Vol. 12. — P. 132—133. P. W. Higgs. Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons // Phys. Rev. Lett. — 1964. — Vol. 13. — P. 508—509. LHC Higgs Cross Section Working Group (2012). «Handbook of LHC Higgs Cross Sections: 2. Differential Distributions». CERN Report 2 (Tables A.1 – A.20) 1201. arXiv:1201.3084.

2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Rosetta_\(spacecraft\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Rosetta_(spacecraft)).

3. Glen H. Fountain, et al., The New Horizons Spacecraft // Space Sci.Rev.140:23-47,2008, H. A. Weaver, et al., Overview of the New Horizons Science Payload // Space Sci.Rev.140:75-91,2008, https://en.wikipedia.org/wiki/New_Horizons/.

4. B. P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration) (2016). «Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger». Physical Review Letters 116 (6). *arXiv*:1602.03837.

5. Abbott, B. P. (15 June 2016). «GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence». Physical Review Letters 116 (24): 241103.

6. Jorge L. Cervantes-Cota, Salvador Galindo-Uribarri and George F. Smoot. A Brief History of Gravitational Waves. Universe. Academic Editors: Lorenzo Iorio and Elias C. Vagenas. Received: 21 July 2016; Accepted: 2 September 2016; Published: 13 September 2016.

https://en.wikipedia.org/wiki/First_observation_of_gravitational_waves.

7. Castelvechi, Davide; Witze, Alexandra (11 February 2016). "Einstein's gravitational waves found at last". *Nature News*. Retrieved 11 February 2016.
8. V.A.Фок. Теория пространства, времени и тяготения. Gosudarstvennoe izdatel'stvo Tekhniko-teoreticheskoy literatury. Moskva. 1955. 504 s. (str. 426-429).
9. Einstein, A (1918). «Über Gravitationswellen». *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften Berlin* part 1: 154–167.
10. Einstein, A (1918). "Über Gravitationswellen". *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften Berlin*. part 1: 154–167. Einstein, Albert (1916), "Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie", *Annalen der Physik*, 49: 769–822.
11. <https://en.wikipedia.org/wiki/LIGO>.
12. <http://ligo.org/>.
13. https://ru.wikipedia.org/wiki/Eynshteyn_Albert.
https://en.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein
14. Eynshteyn Albert // *Boʻshaya Sovetskaya Enciklopediya: [v 30 t.] / pod red. gl. red. A. M. Proxorov. 3-e izd. M.: Sovetskaya enciklopediya, 1978. T. 29 : Чаган — Эксле-Бен. S. 578—579.*
15. Vizgin V. P., Kobzarev I. YU., Yavelov V. E. *Научное творчество и жизнь Альберта Эйнштейна: рецензия на книгу A. Пайса // Eynshteynovskiy sbornik, 1984—1985. — M.: Nauka, 1988. — S. 304.*
16. Spasskiy B. I. *Istoriya fiziki. — M.: Vysshaya shkola, 1977. — T. II. — S. 74.*
17. Pais, Abraham (1982), *Subtle is the Lord: The science and the life of Albert Einstein*, Oxford University Press. Pайс А. *Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна*. Izdatel'stvo "Nauka". Moskva. 1989. 658 s.
18. Holton, G., *Einstein, History, and Other Passions*, Harvard University Press, 1996, pp. 177–193.
19. Einstein, Albert (1905d) [Manuscript received: 30 June 1905], written at Berne, Switzerland, "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" [On the Electrodynamics of Moving Bodies], *Annalen der Physik (Berlin)* (in German), Hoboken, NJ (published 10 March 2006), 322 (10), pp. 891–921.
20. Einstein, Albert (1905e) [Manuscript received: 27 September 1905], written at Berne, Switzerland, "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?" [Does the Inertia of a Body Depend Upon Its Energy Content?], *Annalen der Physik (Berlin)* (in German), Hoboken, NJ (published 10 March 2006), 323 (13), pp. 639–641.
21. Einstein, Albert (1905c) [Manuscript received: 11 May 1905], written at Berne, Switzerland, "Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen" [On the Motion – Required by the Molecular Kinetic Theory of Heat – of Small Particles Suspended in a Stationary Liquid] (PDF), *Annalen der Physik (Berlin)* (in German), Hoboken, NJ (published 10 March 2006), 322 (8), pp. 549–560.
22. Einstein, Albert (1905a) [Manuscript received: 18 March 1905], written at Berne, Switzerland, "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt" [On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production

and Transformation of Light] (PDF), Annalen der Physik (Berlin) (in German), Hoboken, NJ (published 10 March 2006), 322 (6), pp. 132–148.

23. Einstein, Albert (1915) [Published 25 November 1915], "Die Feldgleichungen der Gravitation" [The Field Equations of Gravitation] (Online page images), Königlich Preussische Akademie der Wissenschaften (in German), Berlin, Germany, pp. 844–847.

24. Einstein, Albert (1915). Erklärung der Perihelbewegung des Merkur aus der allgemeinen Relativitätstheorie. Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte, 1915 (part 2), 831–839.

25. Einstein, Albert. Feldgleichungen der Gravitation. Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte, 1915 (part 2), 844–847.

26. Einstein, Albert. Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Annalen der Physik (ser. 4), 49, 769–822.

27. Einstein, Albert. Näherungsweise Integration der Feldgleichungen der Gravitation. Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte, 1916 (part 1), 688–696.

28. Einstein, Albert. Gravitationswellen. Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte, 1918 (part 1), 154–167.

29. Kip Torn. Чёрный дыр и складки времени. Derzкое nasledie Eynshteyna. Perevod s angliyskogo pod redakciey чл.-korr. RAN V.B.Braginskogo. Moskva. Fizmatlit. 2007. 616 s.

30. Charles W.Wisner, Kip S.Thorne, John Archibald Wheeler. Gravitation. W.H.Freeman and Company. San Francisco. 1279 p.

31. L.D.Landau. E.M.Lifshic. Teoreticheskaya fizika. T. II. Teoriya polya. 8-e izdanie, stereotipnoe. Moskva. Fizmatlit. 2003. 536 s.

32. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Physics.

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1921/index.html.

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1921/einstein-facts.html

33. R.A.Xals. «Otkritie dvoynogo pul'sara». Nobelevskaya leksiya // Uspexi fizicheskix nauk, tom 164, vypusk 7, iyul' 1994.

34. J. M. Weisberg and J. H. Taylor, Relativistic Binary Pulsar B1913+16: Thirty Years of Observations and Analysis, July 2004.

35. Dj. X. Teylor (ml.). «Dvoynie pul'sari i relyativistskaya gravitaciya». Nobelevskaya leksiya. // Uspexi fizicheskix nauk, tom 164, vypusk 7, iyul' 1994.

36. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1921/einstein-lecture.html: Albert Einstein - Fundamental Ideas and Problems of the Theory of Relativity. Nobel Lecture. Lecture delivered to the Nordic Assembly of Naturalists at Gothenburg, July 11, 1923.

37. Albert Einstein. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases. Quantum Theory of the Monatomic Ideal Gas. Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften, Physikalisch-mathematische Klasse, 1924, 261–267.

38. Albert Einstein. Thermal Equilibrium in the Radiation Field in the Presence of Matter. Zeitschrift für Physik, 27, 392–392.

39. https://en.wikipedia.org/wiki/Deutsche_Physik.

40. Храмoв YU.A. Вебер Джозеф // Физики: Биографический справочник / Под ред. А. И. Ахиезера. Изд. 2-е, испр. и дополн. М.: Наука, 1983. С. 58. 400 с.
41. М.Е.Гершенштейн, В.И.Пустовойт. К вопросу об обнаружении гравитационных волн малых частот. Журнал экспериментальной и теоретической физики. Том 43. Выпуск 2(8). 1962. 605-607.
42. P.C.Peters. Gravitational and the Motion of Two Point Masses. Physical Review. Volume 136. Number 4B. 23 November. 1964. P. B1224-B1232.

ÁMELIY SABAQLAR MATERIALLARI

Mazmunı

Kirisiw.

I bap. Ádebiy sholıw. Kosmologiyadağı Fridman modeli hám bir qatar kosmologiyalıq máseleler.

1-Ş. Álemniń tiykarǵı parametrleri.

2-Ş. WMAP hám Planck kosmoslıq apparatlarınıń járdeminde alınǵan maǵlıwmatlar.

3-Ş. Fridmannıń Álemi.

4-Ş. Álemniń keńeyiwiniń dinamikası.

5-Ş. Qashıqlıqlardıń túrleri.

6-Ş. Bir qatar juwmaqlar .

II bap. Kosmologiyalıq máselelerdi kompýuterlerde sheshiwge tayarlaw hám Wolfram Mathematica 10 tilinen paydalanıw.

7-Ş. Zárúrli bolǵan teńlemelerdi keltirip shıǵarıw.

8-Ş. Fridmannıń sheshimleri.

9-Ş. Jabıq shań Álem.

10-Ş. Tegis Álem.

11-Ş. Bazı bir mısallar.

Ulıwmalıq juwmaqlar.

Paydalanılǵan ádebiyatlar dizimi.

Kirisiw

Kosmologiya (kosmos + logos) - Álemniń tutası menen izertleytuǵın astronomiya menen fizikaniń bir bólimi bolıp tabıladı. Bul ilimniń tiykarın matematika, fizika hám astronomiya quraydı.

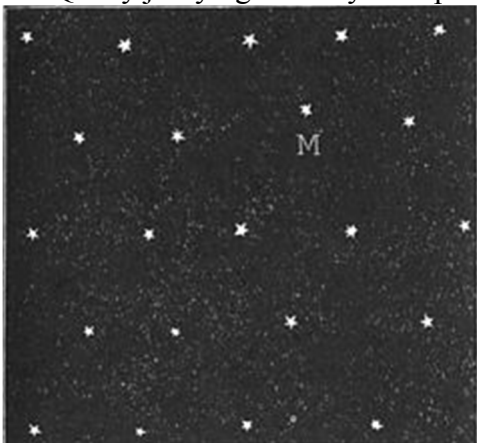
Kosmologiyaniń tariyxı. Kosmologiyaniń eń áyyemgi formaları dúnyaniń dóretiliwi (kosmogoniya) hám joq etiliwi (esxatologiya) haqqındaǵı diniy ańızlardan turatuǵın edi. Kópshilik xalıqlarda Jerdi tasbaqanıń, suwda júzip júretuǵın úlken kittiń, buǵanıń shaqınıń ústinde jaylasqan dep esaplaǵan. Adamzattıń sociallıq hám ekonomikalıq turmısınıń rawajlanıwı menen bunday ápiwayı kóz-qaraslar úlken ózgerislerge ushıradı hám sonıń saldarınan áyyemgi Greciyada dúnyaniń georaylıq sisteması dóretildi. Bunday sistema boyınsha dúnyaniń orayında shar tárizli Jer jaylasqan. Onıń dógeresinde bes planeta aylanıp júredi, Quyash hám Ay aylanıp júredi. Aristrax Samoskiy (áyyemgi grek tilinde Ἀρίσταρχος ὁ Σάμιος; biziń eramızdan burınǵı shama menen 310-jılı Samos qalasında tuwılǵan hám shama menen biziń eramızdan burınǵı shama menen 230-jılı qaytıw bolǵan) tárepinen usınılǵan Álemniń georaylıq sisteması greciyalı basqa ilimpazlar tárepinen qollap-quwatlanbadı.

Dúnyanı qozǵalmaytuǵın juldızlar qorshap turadı dep esaplaǵan [1]. Geypara waqıtları processiya ushın juwap beretuǵın jáne bir sfera qosılǵan. Sol sferadan keyin ne jaylasqan degen másele áyyemgi grek ilimpazları arasında úlken diskussiyanı payda etken. Aristoteldiń (áyyemgi grek tilinde Ἀριστοτέλης; biziń eramızdan burınǵı 384-jılı Frakiyadaǵı Stagira qalasında tuwılǵan hám biziń eramızdan burınǵı 322-jılı Evbeya atawındaǵı Xalkida qalasında qaytıw bolǵan) kóz-qarasın dawam ettiriwshiler (peripatetikler) dúnyaniń sırtında hesh nárese de joq dep

esapladi (yağniy materiya da, keńislik te joq). Al stoicizm kóz-qarasında turatuğın alımlardıń pikirleri boyınsha qozğalmaytuğın juldızlar sferasınıń sırtında shegi joq bas keńislik jaylasqan. Atomistler bolsa (Levkip, Demokrit, Metrodor, Epikur, Lukerciya hám basqalar) biziń dúnyamızdıń shekleriniń sırtında basqa dúnyalar jaylasqan dep esapladi. Olardıń arasında Geraklid Pontiyskiy ayırıqsha orınlı iyeleydi. Onıń kóz-qarası boyınsha juldızlar alıstağı dúnyalar bolıp tabıladı hám olar óziniń ishine jer menen hawanı qamtıydı. Ol atomistler sıyaqlı Álemdi sheksiz dep esapladi. Áyyemgi dáwirlerdiń aqırında diniy tálimat bolğan germetizm payda boldı. Germetizm boyınsha dúnyanıń sırtında materiallıq emes denelerdiń – ruwhlardıń oblastı jaylasqan [2].

Sol dáwirlerdegi bir qatar ilimpazlar aspan jaqtırtqıshlardıń qozğalısnıń Álemniń payda bolıwına alıp kelgen oğada úlken quyn basqaradı dep esapladi. biraq Aritstotelden keyin áyyemgi astronomlardıń basım kópshiligi planetalardıń qozğalısnıń sol planetalar menen baylanısqan materiallıq sferalardıń qozğalısları menen menen baylanıstırdı. Bunday sferalar ayırıqsha aspan elementi bolğan efirden turadı. Onıń qásiyeti "Aydıń astında jaylasqan" jerdiń, suwdıń, hawanıń hám jalınnıń qásiyetleri menen hesh qanday baylanısı joq. Aspan sferalarınıń qudaylıq tábiyatı hám olardıń janlı ekenligi haqqındağı kóz-qaraslar keńnen tarqaldı.

Orta ásirlerdegi xristian hám musulman ellerinde materiallıq aspan sferalarınıń ornına kelgen Ptolemeydiń planetalardıń qozğalısnı haqqındağı teoriyası menen tolıqtırılğan Aristotelıdiń kosmologiyası húkim sürdi. XIII-XIV ásirlerdegi bazı bir filosoflar sheksiz kúshli Quday biziń dúnyamız benen bir qatarda basqa da dúnyalardı dórete aladı, biraq Quday basqa dúnyalardı dóretpedi dep boljadı. Ayırım filosoflar (mısalı Tomas Bradvardin hám Nikolay Oremler) biz jasap atırğan dúnyanıń shekleriniń sırtında sheksiz úlken keńislik bar hám sol keńislik Quday jasaytuğın dúnyaya bolıp tabıladı dep boljadı [3].



1-súwret.

Djordano Brunonıń álemi. M arqalı biziń dúnyamız belgilengen.

Oyanıw dáwirlerinde Nikolay Kuzanskiydiń kosmologiyası novatorlıq xarakterge iye. Ol Álemniń materiallıq birligin moyınladı hám Jerdi qozğalatuğın planetalardıń biri dep boljadı. Onıń boljawı boyınsha barlıq planetalarda tirishilik bar, sonıń menen birge Álemdegi hár bir baqlawshı ózin qozğalmaydı dep esaplay aladı. Onıń pikiri boyınsha Álemniń shegarası joq, biraq shekli. Sebebi sheksizlik qásiyeti dek Qudayğa tiyisli [4].

XVI ásirdiń birinshi yarımı Nikolay Koperniktiń geliiooraylıq sistemasınıń payda bolıwı menen ayrılıp turadı. Ol dúnyanıń orayına Quyashtı jaylastırdı, onıń dógeresinde planetalar, solardıń ishinde Jer aylanıp júredi. Sonıń menen birge Jer óziniń kósheriniń dógeresinde de aylanadı. Kopernik Álemdi qozğalmaytuğın juldızlardıń sheklengen sferası dep esapladi. Kopernikte aspan sferalarınıń bar ekenligi haqqındağı isenim saqlanğan bolsa kerek [5].

Tomas Diggestiń sisteması (1546-jılı tuwılğan hám 1595-jılı qaytısnı bolğan angliyalı astronom) Koperniktiń modifikaciyalangan sisteması bolıp tabıladı. Onıń tálimatı

boyınsha juldızlar bir sferanıń betinde emes, al Jerdan hár qıylı qashıqlıqlarda (sheksizlikke shekem) jaylasqan. Bazı bir filosoflar (Françesko Patrici, YAn Essenskiy) Koperniktiń tálimatınıń tek elementin qabıl etti (Jerdiń óz kósheriniń dógeresinde aylanatuǵınlıǵın), Olar juldızlardı Álemde sheksizlikke shekem tarqalǵan dep esapladı. Olar Quyash sistemasınıń sırtındaǵı dúńbıyanı materiallıq emes dúńbıya, al bul dúńbıyada Quday menen perishteler jasaydı dep daǵazaladı [6-8].

Italiyalı filosof Djordano (italiyansha *Giordano Bruno*; haqıyqıy atı Filippo, laqabı Bruno Nolanlı, 1548-jılı Neapolı qalasınıń qasındaǵı Nola degen jerde tuwılǵan hám 1600-jılı 17-fevralı kúni katolik shirkewiniń húkimi menen Rim qalasında otqa jaǵıp óltirilgen) Bruno shegi joq Álemdi juldızlar menen bir tekli tolǵan dep boljadı. Bruno boyınsha barlıq noqatlarda turıp baqlaǵanda Álem shama menen birdey bolıp kórinedi. Jańa dáwirdiń oyshıllarınıń ishinde birinshi bolıp ol juldızlardı uzaqta jaylasqan quyashlar, al sheksiz hám shegaraları joq keńislikte barlıq fizikalıq nızamlar birdey dep boljadı [11]. XVI ásirdiń aqırında Álemniń sheksiz ekenligin Uilyam Gilıbert (1544-1603b angliyalı fizik) Álemniń sheksizligi haqqındaǵı pikirde boldı. XVII ásirdiń ortasında hám ekinshi yarımında onıń pikirlerin Rene Dekart, Otto fon Gerike hám Xristian Gyuygensler qollap-quwatladı.

Házirgi zaman kosmologiyasınıń payda bolıwı. Házirgi zaman kosmologiyasınıń payda bolıwı XX ásirdegi ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń hám elementar bóleksheler fizikasınıń rawajlanıwı menen tikkeley baylanıslı. Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasına súyenetuǵın "Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasına kosmologiyalıq kóz-qaraslar" (Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie) dep atalatuǵın birinshi jumısın Alıbert Eynshteyn 1917-jılı baspadan shıǵardı [9]. Bul jumısında ol tómendegidey úsh boljawdı qabıl etti:

Álem bir tekli,
izotrop hám
stacionar.

Sońǵı talaptı támiyinlew ushın Eynshteyn gravitaciyalıq maydannıń teńlemelerine qosımsha "kosmologiyalıq aǵzanı" kirgizdi. Alınǵan sheshim Álemniń shekli kólemge iye hám oń belgige iye mayısqa ekenligin ańǵarttı.

1922-jılı A.A.Fridman Eynshteyn teńlemeleriniń stacionar emes sheshimin usındı. Bul sheshimde izotrop Álem baslanǵısh singulyarlıqtan keńeygen [10]. 1929-jılı E.Xabbl (ingliz tilinde Edwin Powell Hubble; 1889-jılı 20-noyabrı kúni Missuri shtatındaǵı Marshfilıd qalasında tuwılǵan hám 1953-jılı 28-sentyabrı kúni Kaliforniya shtatındaǵı San-Marino qalasında qaytı bolǵan XX ásirdegi eń abıraylı astronom hám kosmolog) tárepinen tárepinen galaktikalardıń kosmologiyalıq qızılǵa awısıwı stacionar emes álem teoriyasınıń durıslıǵınıń tastıyqlanıwı bolıp tabıladı. Usınıń nátiyjesinde házirgi waqıtları qabıl etilgen Úken partlanıw teoriyası payda boldı [11].

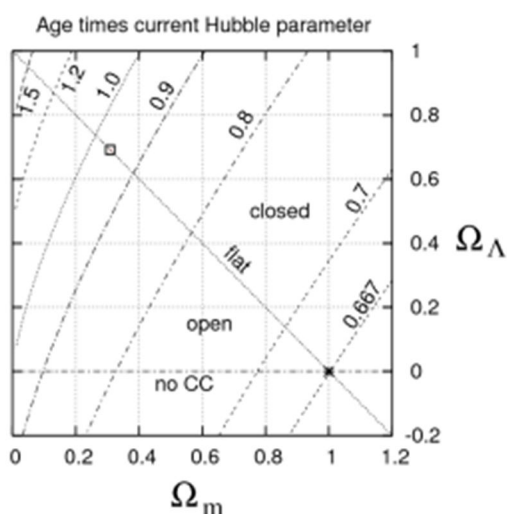
Ámeliy sabaqlar ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası tiykarında Fridmannıń kosmologiyalıq modeline sáykes keliwshi máselelerdi Wolfram firmasınıń ilimiy, injenerlik, matematikalıq hám kompıyuterlik tarawlarda keńnen qollanıwı kiyatırǵan Mathematica kompıyuterlik algebra sistemasın paydalanıp sheshiw maqsetinde islendi. Máselelerdi sheshkende Álemniń jabıq, ashıq hám tegis modelleri hár qıylı hal

teńlemelerin (shań, ultrarelyativistlik gaz, kúshli tásir etisiwshi zatlar, fizikalıq vakuum) paydalanıw menen sheshildi.

I bab. Ádebiy sholıw. Kosmologiyadaǵı Fridman modeli hám bir qatar kosmologiyalıq máseleler

1-Ş. Álemniń tiykargı parametrleri

Álemniń jası. Álemniń jası retinde onıń keńeye baslaǵan waqıt momentinen beri ótken waqıt qabil etilgen. Álemniń jası ushın teoriyalıq mánis Λ CDM (Lambda-Cold Dark Matter) dep atalatuǵın keńeyiwdiń házirgi zaman modelinen keltirip shıǵarıladı [12].



2-súwret.
Álemniń jası kosmologiyalıq parametrlerdiń funkciyası sıpatında.

Házirgi waqıtları Álemniń jasın bahalaw standart kosmologiyalıq Λ CDM modeli dep atalatuǵın modeldiń tiykarında júrgiziledi. Bul model boyınsha Álemniń jası

$$t = \frac{1}{H_0} \int_0^1 \frac{dx}{x \sqrt{\Omega_\Lambda + \frac{\Omega_k}{x^2} + \frac{\Omega_d}{x^3} + \frac{\Omega_l}{x^4}}}$$

formulasınıń tiykarında esaplanadı. Bul formulada $x = \frac{a}{a_0}$. Bul formulada H_0 arqalı házirgi waqıt momenti ushın Xabbl parametri, a arqalı masshtablıq faktor belgilengen.

Házirgi waqıtlardaǵı maǵlıwmatlar boyınsha (kosmoslıq WMAP stanciyasınıń maǵlıwmatları boyınsha) Álemniń jası $13,830 \pm 0,075$ mlrd jil [13]. Evropanıń kosmoslıq agentligine tiyisli bolǵan "Planck" teleskop-Jer joldasınıń járdeminde alınǵan maǵlıwmatlar boyınsha bul waqıttıń shaması $13,798 \pm 0,037$ milliard jilǵa teń [14].

Álemniń rawajlanıwınıń tiykargı etapları. Álemniń jasın anıqlawda Álemde bolıp ótetuǵın tiykargı processlerdiń qanday dáwirlerde (periodizaciya) bolıp ótkenligin anıqlaw úlken áhmiyetke iye. Házirgi waqıtları tómendegidey dáwirlerge bóliw qabil etilgen [15]:

Qanday da bir teoriyalıq boljawdıń aytılwı múmkin bolǵan eń dáslepki dáwir Planck waqıtı dep ataladı (bul waqıttıń shaması Úlken partlanıwdan keyin 10^{-43} sekund). Usı waqıtta gravitaciyalıq tásirlesiw basqa fundamentallıq tásirlesiwden ajralıp

shıqqan dep boljanadı. Házirgi waqıtlardağı kóz-qaraslar boyınsha bul kvant kosmologiyası dáwir Úlken partlanıwdan keyin 10^{-11} sekund dawam etken.

Kelesi dáwir eń birinshi bóleksheler bolğan kvarklerdiń tuwılıwı hám tásirlesiwlerdiń túrleriniń bir birinen ayrılıwı menen xarakterlenedi. Bul dáwir Úlken partlanıwdan keyin 10^{-2} s dawam etken. Házirgi kúnleri bul dáwirde bolıp ótken processlerdi fizikalıq jaqtan jetkilikli dárejede tolıq táriyiplew múmkinshiligi bar.

Standart kosmologiyanıń házirgi zaman dáwiri Úlken partlanıwdan keyin 1,01 sekund ótkennen keyin baslangan hám usı kúnlerge shekem dawam etpekte. Tap usı dáwirde eń dáslepki elementlerdiń yadroları, juldızlar, galaktikalar, Quyash sisteması payda bolğan.

Álemniń rawajlanıwındağı áhmiyetli dáwirlerdiń biri retinde rekombinaciya dáwirin atap ótiw múmkin. Bul dáwirde keńeyiwshi Álemdegi materiya nurlanıw ushın móldir bolğan materiyağa aylandı. Házirgi maǵlıwmatlar boyınsha bul waqıya Úlken partlanıwdan soń 380 mın jıl ótkennen keyin júzege kelgen. Usı kúnleri astrofizikler sol nurlanıwdı reliktlik nurlar túrinde baqlaydı. Bul jaǵday Álemniń bar modelleriniń durıs ekenliginiń eksperimentallıq tastıyıqlanıwı bolıp tabıladı.

Baqlawlar. Juldızlardıń jıynaǵın baqlawlar. Baqlaw kosmologiyası ushın shar tárizli juldızlar jıynaǵınıń eń baslı qásiyeti úlken emes keńislikte jaylasqan bul jıynaқтаǵı barlıq juldızlardıń jaslarınń birdey ekenliginde bolıp tabıladı. Demek qanday da bir jollar menen sol jıynaқтаǵı bir juldızǵa shekemgi aralıq anıqlanǵan bolsa, onda jıynaqtıń basqa aǵzalarına shekemgi aralıqlardıń procentlik ayırması júdá kishi shamaǵa teń boladı.

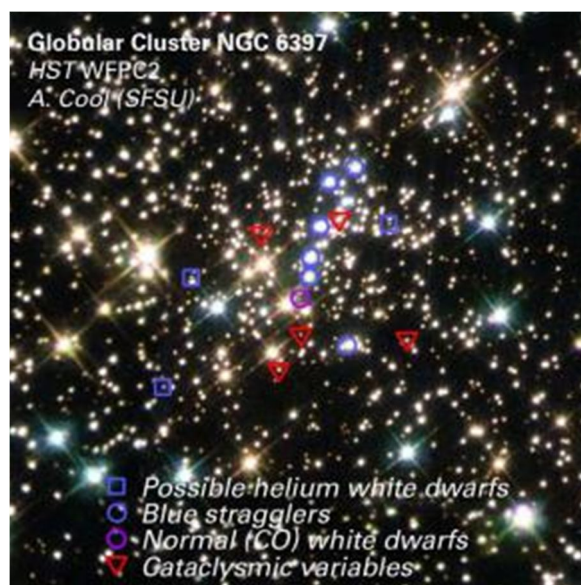
Jıynaqtıń barlıq juldızlarınń bir waqıtta qalıplesiwi onıń (jıynaqtıń) jasın anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Jıynaqtıń barlıq juldızlarınń bir waqıtta payda bolıwı onıń jasın anıqlawǵa múmkinshilik beredi: juldızlardıń evolyuciyası teoriyasına súyengen halda "reń – juldızlıq shama" diagrammasında izoxronalardı, yaǵnıy hár qıylı massalarǵa iye juldızlardıń birdey jasınıń iymekligin sızadı. Olardı jıynaқтаǵı baqlanatuǵın tarqalıwı menen salıstırıp olardıń jasın anıqlaw múmkin.

Bul usıldıń bir katar qıyınshılıqları bar. Bul qıyınshılıqlardı jeńiwge tırısıp hár qıylı alımlar komandaları eń eski jaynaqlar ushın ~8 mlrd jıldan ~25 mlrd jılǵa shekemgi shamalardı aldı [16-17].

3-súwret.

NGG 6397 dep atalatuǵın juldızlardıń
jaynaǵındaǵı aq irgejeylililerdiń
populyaciyası.

Kók reńli kvadartlar geliyli aq irgejeyliler,
fiolet dóńgelekler "normal" ulgerodı kóp
aq irgejeyliler bolıp tabıladı.



Galaktikalarda galaktikalardıń eski sferalıq podsistemasına kırıwshı shar tárizli juldızlardıń jaynaqları kóp sanlı aq irgejeylilerge iye boladı. Al aq irgejeyliler bolsa salıstırmalı úlken emes massaǵa iye evolyuciyalanıp bolǵan qızıl gigantlardıń qaldıqları bolıp tabıladı. Aq irgejeyliler energıyanıń termoyadrolıq dereklerine iye emes hám sonlıqtan óziniń ishindegi jıllılıq energıyasınıń esabınan nurlanadı. Sonıń menen olar shama menen birdey massaǵa, usıǵan sáykes temperaturanıń waqıtqa ǵárezlılıǵı olar ushın birdey. Aq irgejeyliniń spektri boyınsha onıń absolyut juldızlıq shamasın anıqlap hám salqınlaǵandaǵı waqıt-jarqınlıq ǵárezlılıǵın bilip irgejeyliniń jasın anıqlaw múmkin [18].

Biraq bunday usıl úlken texnikalıq qıyınshılıqlar menen baylanıslı. Aq irgejeyliler dım ázzi ob'ektler bolıp tabıladı, sonlıqtan olardı baqlaw ushın sezgir elementler kerek boladı. Usınday máseleni sheshiwge múmkinshilik beretuǵın birinshi hám házirshe jalǵız ásbap Xabbl atındaǵı kosmoslıq teleskop bolıp tabıladı. Bul teleskopta islewshi topar $12,7 \pm 0,7$ mlrd jıldı beredi [18]. Biraq bul nátiyjeniń durıs ekenligi bir qatar qánigelerde gúmán payda etpekte. Opponentler bir qatar qáteliklerdiń derekleri esapqa alınbaǵan dep esaplamaqta. Eger usınday qátelikler esapqa alınatuǵın bolsa, onda $12,4_{-1,5}^{+1,8}$ mlrd jıl nátiyjesi alınadı [19].

Evolyuciyaǵa qatnaspaǵan ob'ektlerdi baqlaw. Eń dáslepki zatlardan turatuǵın ob'ektler olardıń ishki evolyuciyasınıń oǵada kishi tempine baylanıslı biziń kúnlerimizge shekem derlik ózgerislerge ushıramadı. Bul jaǵday ximiyalıq elementlerdiń eń eski quramın anıqlawǵa múmkinshilik beredi hám yadrolıq fizikanıń laboratoriyalıq nızamlarına sáykes sonday ob'ektlerdiń jasın anıqlawǵa múmkinshilik beredi. Alınǵan shama Álemniń jasınıń eń kishi mánisine teń boladı.

Ob'ektlerdiń usınday tipine tómendegidey ob'ektlerdi kirgiziw múmkin:

- a) kishi massaǵa hám tómengi metallıqqa iye juldızlar (bunday juldızlardı G irgejeyler dep ataydı),
- b) metallıq emes III oblastlar hám
- c) BCDG (Blue Compact Dwarf Galaxy) klassına kırıwshı irgejeyli jáne durıs emes galaktikalar.

Házirgi zaman kóz-qaraslarına sáykes eń dáslepki nukleosintezdiń barısında litiydiń payda bolıwı kerek. Bul elementtiń ózine tán ózgesheligi mınadan ibarat: onıń qatnasıwı menen júretuǵın yadrolıq reakciyalar (kosmoslıq masshtablardaǵı) júdá joqarı emes temperaturalarda júredi. Juldızlıq evolyuciyanıń barısında eń dáslep payda bolǵan litiydiń tolıq basqa elementlerge aylanıp ketiwi kerek. Sonday litiy tek II tipindegi úlken massaǵa iye juldızlarda ǵana saqlanıwı kerek. Bunday juldızlar konvekciyaǵa ushıramaytuǵın tınısh atmosferaǵa iye boladı. Usınıń nátiyjesinde litiy juldızdıń betinde saqlanıp qaladı (juldızdıń ishki joqarı temperaturalı qatlamlarında janıp ketpeydi).



4-súwret.

BCDG tipindegi
NGC 1705 galaktikası.

Ólshewlerdiń barısında usınday juldızlardıń kópshiliginde litiydiń kópligi

$$A(Li) = 12 + \log \frac{Li}{H} = 2,2$$

shamasına teń bolıwı kerek. Biraq haqıyqatında bir qatar juldızlarda (solardıń ishinde metallardıń muǵdarı asa tómen bolǵan juldızlarda) litiydiń muǵdarı ádewir kishi bolıp shıqtı. Bul jaǵdaydıń qanday sebepler menen baylanıslı ekenligi házirgi waqıtlarǵa shekem sheshimlerin tapqan joq [20].

II tiptegi juldızlar qatarına kiriwshi CS31082-001 juldızındaǵı atmosferada toriy menen uranniń koncentraciyası tabılǵan hám ólshengen. Bul eki elementtiń yarım ıdıraw dáwiri hár qıylı. Sonlıqtan waqıttıń ótiwi menen olardıń muǵdarlarınıń qatnaslarınıń mánisleri ózgeriske ushıraydı hám eger sol qatnaslardıń eń baslanǵısh mánisi belgili bolsa, onda juldızdıń jasın anıqlawǵa múmkinshilik tuwıladı. Anıqlawdıń eki usılı bar. Bul usıllardıń ekewi de bir birine jaqın nátiyjelerdi bergen. Birinshi usıldıń járdeminde $15,5 \pm 3,3$ mlrd jıl, al ekinshi usıldıń járdeminde $14,5_{+2,2}^{-2,8}$ mlrd jıl alınǵan.

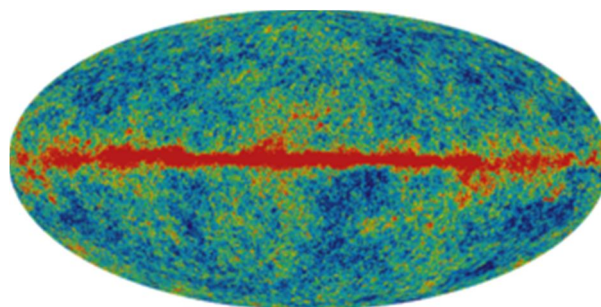
2-§. WMAP hám Planck kosmoslıq apparatlarınń járdeminde alınǵan maǵlıwmatlar

WMAP WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) Álem payda bolǵan waqıtta Úlken partlanıwdıń saldarınan payda bolǵan reliklik nurlardı izertlew ushın arnalǵan NASA nıń kosmoslıq apparatı bolıp tabıladı.

WMAP apparatı tárepinen jıynalǵan informaciya aspan sferasındaǵı mikrotolqınlıq nurlanıwdıń temperaturasınıń flukuaciyaların eń tolıq kartasın bergen. Burınıraq usınday kartanı NASA nıń COBE atamasındaǵı kosmoslıq apparatı bergen informaciyalar tiykarında dúzilgen edi. Biraq onıń ajırata alıwshılıq qábiletligi WMAP stanciyasınıń ajırata alıwshılıq qábiletliginen 35 ese tómen edi.

5-súwret.

WMAP apparatınıń járdeminde qurılǵan mikrotolqınlıq nurlanıwdıń (reliklik nurlanıwdıń kartası).



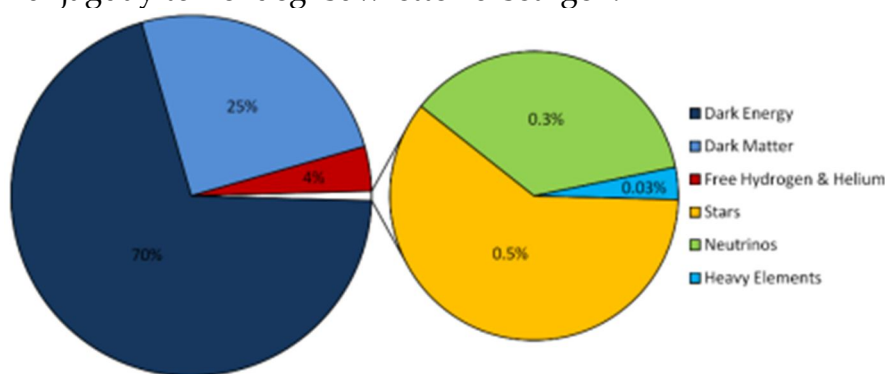
WMAP stanciyasınıń maǵlıwmatları aspan sferasındaǵı reliklik nurlardıń temperaturasınıń tarqalıwınıń normal bólistiriliwge iye pútkilley tosattan alınatuǵın flukuaciyalardıǵa iye ekenligin kórsetti. Ólshengen bólistiriwdi táriyipleytuǵın funkciyanıń parametrleri

4 % ádettegi zatlardan,

23 % qarańǵı materiyadan hám

73 % qarańǵı energiyadan turatuǵınlıǵın kórsetti.

Bul jaǵday tómendegi súwrette kórsetilgen.



6-súwret.

Álemniń quramı [14].

Biz qarańǵı materiya menen qarańǵı energiyalardıń nelerden turatuǵınlıǵınıń usı waqıtlarǵa shekem belgisiz ekenligin atap ótemiz. Sonıń menen birge qarańǵı materiyanıń galaktikalarda hám olardıń átirapında lokallasqanlıǵın hám onıń galaktikalardaǵı juldızlardıń tarqalıp ketpewine juwapker ekenligin bilemiz. Al qarańǵı energiya bolsa kosmoslıq antigravitaciyanı payda etedi hám sonlıqtan Álemniń keńeyiwiniń tezleniw menen júretuǵınlıǵına juwapker [21].

1-keste

Best-fit cosmological parameters from WMAP nine-year results [13]

Parameter	Symbol	Best fit (WMAP only)	Best fit (WMAP + eCMB + BAO + H ₀)
Age of the universe (Ga)	t_0	13.74±0.11	13.772±0.059
Hubble's constant (km/Mpc·s)	H_0	70.0±2.2	69.32±0.80
Baryon density	Ω_b	0.0463±0.0024	0.04628±0.00093
Physical baryon density	$\Omega_b h^2$	0.02264±0.00050	0.02223±0.00033
Cold dark matter density	Ω_c	0.233±0.023	0.2402±0.0088 -0.0087
Physical cold dark matter density	$\Omega_c h^2$	0.1138±0.0045	0.1153±0.0019
Dark energy density	Ω_Λ	0.721±0.025	0.7135±0.0095 -0.0096
Density fluctuations at 8h ⁻¹ Mpc	σ_8	0.821±0.023	0.820±0.013 -0.014
Scalar spectral index	n_s	0.972±0.013	0.9608±0.0080
Reionization optical depth	τ	0.089±0.014	0.081±0.012
Curvature	$1-\Omega_{tot}$	-0.037±0.044 -0.042	-0.0027±0.0039 -0.0038
Tensor-to-scalar ratio ($k_0 = 0.002 \text{ Mpc}^{-1}$)	r	< 0.38 (95% CL)	< 0.13 (95% CL)
Running scalar spectral index	$\frac{dn_s}{dlnk}$	-0.019±0.025	-0.023±0.011

Teoretikler qarañğı materiyanı gipotezalıq úlken massağa iye supersimmetriyalı bólekshelerden turadı dep boljaydı.

WMAP stanciyasınıń maǵlıwmatları qarañğı materiyanıń salqın (yaǵnıy salmaqlı bólekshelerden turadı, demek neytrino sıyaqlı jeńil bóleksheler qarañğı materiyanı payda etpeydi) ekenligin tastıyıqlawǵa múmkinshilik beredi

WMAP stanciyasınıń maǵlıwmatlarınıń arasında mına shamalar da bar [17]:

- Álemniń jası: $(13.73 \pm 0.12) \cdot 10^9$ jıl;
- Xabbl turaqlısı (parametri): $71 \pm 4 \text{ km/s/Mpc}$;
- házirgi waqıtlardaǵı barionlardıń tıǵızlıǵı: $(2,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-7} \text{ sm}^{-3}$;
- Álemniń tegis ekenliginiń parametri (ulıwma tıǵızlıqtıń kritikalıq tıǵızlıqqa qatnası): $1,02 \pm 0,02$;
- neytrinolarıń barlıq úsh tipiniń massalarınıń qosındısı: $< 0,7 \text{ eV}$.

2-keste.

Planck Collaboration Cosmological parameters [15]

	Description	Symbol	Value
--	-------------	--------	-------

Independent parameters	Physical baryon density parameter	$\Omega_b h^2$	0.02230±0.00014
	Physical dark matter density parameter	$\Omega_c h^2$	0.1188±0.0010
	Age of the universe	t_0	13.799±0.021 × 10 ⁹ years
	Scalar spectral index	n_s	0.9667±0.0040
	Curvature fluctuation amplitude, $k_0 = 0.002 \text{ Mpc}^{-1}$	Δ_2 R	2.441+0.088 -0.092×10 ⁻⁹
	Reionization optical depth	τ	0.066±0.012
Fixed parameters	Total density parameter	Ω_{tot}	1
	Equation of state of dark energy	w	-1
	Sum of three neutrino masses	$\sum m_\nu$	0.06 eV/c ²
	Effective number of relativistic degrees of freedom	N_{eff}	3.046
	Tensor/scalar ratio	r	0
	Running of spectral index	$dn_s / d \ln k$	0
Calculated values	Hubble constant	H_0	67.74±0.46 km s ⁻¹ Mpc ⁻¹
	Baryon density parameter	Ω_b	0.0486±0.0010
	Dark matter density parameter	Ω_c	0.2589±0.0057
	Matter density parameter	Ω_m	0.3089±0.0062
	Dark energy density parameter	Ω_Λ	0.6911±0.0062
	Critical density	ρ_{crit}	(8.62±0.12)×10 ⁻²⁷ kg/m ³
	Fluctuation amplitude at $8h^{-1} \text{ Mpc}$	σ_8	0.8159±0.0086
	Redshift at decoupling	z_*	1089.90±0.23
	Age at decoupling	t_*	377700±3200 years
	Redshift of reionization (with uniform prior)	z_{re}	8.5+1.0 -1.1

3-§. Fridmannıń Álemi

Fridamannıń Álemi (Fridman Álemi) – Fridman-Lemetr-Robertson-Uoker metrikası – ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń maydan teńlemelerin qanaatlandıratuǵın kosmologiyalıq modellerdiń biri bolıp tabıladı. Bul modelь Álemniń birinshi stacionar emes modeli bolıp tabıladı.

Aleksandr Fridman tárepinen 1922-jılı alınǵan [1888-jılı 16-iyunь kúni Sankt-Peterburgta tuwılǵan hám 1925-jılı 16-sentyabrь kúni Leningradta qaytı bolǵan belgili Rossiya matematigi, fizigi hám geofizigi, stacionar emes Álemniń modelin dóretiwshi, Perm universitetiniń proektorı (1919–1920), fizika-matematika fakulьtetiniń dekanı

(1919), kompozitor A.A.Fridmannın balası]. Fridmannın modeli ulıwma jaǵdayda bir tekli hám izotrop, sonın menen onı, nollik, teris mánisli turaqlı mayısıwǵa iye stacionar emes Álemdi táriyipleydi. Alımın bul jumısı 1915-1917 jillardan keyingi Eynshteynnin ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń eń birinshi rawajlandırılıwı edi.

Ashılıwınıń qısqasha tariyxı. Fridmannın sheshimi 1922- hám 1924-jılı sol dáwirlerdegi fizika ilimindegi eń abıraylı Zeitschrift für Physik jurnalında jarıq kórdi [10, 22]. Bul sheshim Eynshteyn tárepinen unamsız túrde qarsı alındı (ol Álemdi stacionar dep esaplaytuǵın edi hám usı jaǵdayǵa baylanıslı ol teńlemelerine Λ aǵza dep atalatuǵın kosmologiyalıq turaqlı shamanı kirgizgen edi). Biraq ol keyinirek Fridmannın jumısınıń durıs ekenligin moyınladı. Usı jaǵdayǵa qaramastan 1925-jılı qaytı bolǵan Fridmannın jumısı fizikler tárepinen dáslep itibarǵa alınbadı.

Joqarıda gáp etilgenindey, Álemniń stacionar emes ekenligin 1929-jılı amerikalı astronom Edvin Xabbl spektrallıq sızıqlardıń qızılǵa awısıwı boyınsha astronomiyalıq baqlawlardıń nátiyjesinde ashtı. Fridmannan ǵárezsiz tap sonday modeldi keyinirek 1927-jılı Belǵiyalı katolik svyashennik (ruxaniy), astronom hám matematik Jorj Lemeter (tolıq atı Jorj Anri Jozef Eduard Lemetr (francuzsha Georges Henri Joseph Édouard Lemaître, 1894—1966), Robertson hám Uokerler (1935-jılı) ashtı. Sonlıqtan turaqlı mayısıwǵa iye bir tekli izotrop Álemdi táriyipleytuǵın Eynshteynnin maydan teńlemeleriniń sheshimin Fridman-Lemetr-Robertson-Uoker modeli dep ataydı [34-39].

Eynshteyn A.A.Fridmannın keńeyiwshi Álemniń teoriyasın eń birinshi ret dóretkenligin bir neshe ret qaytalaǵan.

A.A.Fridmannın dóretiwshilik miynetindegi ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyası boyınsha jumısları kútilmegen jumıslarday bolıp kóriniwi múmkin. Ol bul jumıslarınan burın tiykarınan teoriyalıq gidromexanika menen dinamikalıq meteorologiya tarawlarında izertlewler júrgizdi.

Fridman tárepinen ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasın úyreniw júdá tez júzege kelgen hám jemisli bolǵan. Frederiks penen birge ol "Salıstırmalıq teoriyasınıń tiykarları" atamasındaǵı kapitallıq miynet ústinde jumıs islegen. Bul miynetinde olar tenzorlıq esaptıń, kóp ólshemli geometriyanıń, elektrodinamikanıń, arnawlı hám ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyalarınıń tiykarların "logikalıq kóz-qarastan jetkilikli túrde qatán bayanlawǵa" háreket etken.

Frederiks penen Fridmannın «Salıstırmalıq teoriyasınıń tiykarları» kitabı salıstırmalıq teoriyasınıń tolıq hám tereń mazmunın quradı. Bul kitaptı jazǵanda avtorlar ushın eń baslanǵısh noqat keńislik-waqıttın geometriyası bolıp tabılǵan.

V. A. Foktıń eske túsiriwleri boyınsha Fridmannın salıstırmalıq teoriyasına qatnasında matematikalıq qızıǵıw birinshi orında bolǵan: «Fridman Eynshteyn teńlemesiniń múmkin bolǵan sheshimlerin tabıwdı ózi ushın júdá áhmiyetli bolǵanın, al fizikler usı sheshimlerde qalay paydalansa, solay paydalana bersin» [23].

Dáslep Fridmannın teńlemelerinde nollik kosmologiyalıq turaqlıǵa iye ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń teńlemeleri paydalanılǵan. Usınday modelge tiykarlangan modeller 1998-jıllarǵa shekem modeller ishindegi basım kópshiligi bolıp keldi (1960-jılları basqa da kóp sanlı modellerdiń payda bolǵanlıǵın atap ótemiz) [11]. Sol 1998-jılı qashıqlıqlardıń indikatorı sıpatında Ia tipindegi asa jańa juldızlardı paydalangan eki jumıs jarıq kórdi [24-25]. Bul jumıslarda úlken qashıqlıqlarda Xabbl nızamınıń

buzılatuǵınlıǵı hám Álemniń tezleniw menen keńeyetuǵınlıǵı kórsetilgen [eki jumıs, tezleniw menen keńeyiw]. Al Álemniń tezleniw menen keńeyiw qarańǵı energiya kerek, al qarańǵı energiyanıń belgili bolǵan qásiyetleri teńlemelerdegi kosmologiyalıq Λ aǵzaǵa sáykes keledi eken.

" Λ CDM modeli" dep atalatuǵın házirgi zaman modeli kosmologiyalıq turaqlı da, qarańǵı energiya da esapqa alınatuǵın burınǵıday Fridman modeli bolıp qala beredi.

Fridman-Robertson-Uoker metrikası. Bir tekli izotrop Álemniń geometriyası bir tekli hám izotroplı úsh ólshemli kóp túrliliktiń (mnogoobrazie) geometriyası bolıp tabıladı. Bunday kóp túrliliktiń metrikası Fridman-Robertson-Uoker (FWT) metrikası bolıp tabıladı [11]:

$$ds^2 = dt^2 - a(t)^2 d\chi^2.$$

Bul formulada χ arqalı waqıttan gárezli bolmaǵan alıp júriwshi yamasa konformlıq qashılıq, a arqalı masshtablıq faktor, t arqalı jaqtılıqtıń tezliginiń birligindegi tezlik hám s arqalı interval belgilengen.

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t) \left(dx^2 + k \frac{(x dx)^2}{1 - kx^2} \right).$$

Bul ańlatpada k shaması tómendegidey mánislerdi qabıl etedi:

- úsh ólshemli tegislik ushın $k = 0$,
- úsh ólshemli sfera ushın $k = 1$,
- úsh ólshemli gipersfera ushın $k = -1$.

x arqalı kvazidekart koordinatalardaǵı úsh ólshemli radius-vektor belgilengen. $x = \{x_1, x_2, x_3\}$.

Eskertiwler:

Úsh ólshemli kóp túrliliktiń tek úsh túri bar: úsh ólshemli sfera, úsh ólshemli gipersfera hám úsh ólshemli tegislik.

a) Úsh ólshemli tegisliktiń metrikası

$$ds^2 = (dx)^2$$

túrindegi ápiwayı ańlatpanıń járdeminde beriledi.

b) Úsh ólshemli sferanıń metrikasın beriw ushın 4 ólshemli evklidlik keńislikti kirgiziw

$$ds^2 = (dx_0)^2 + (dx)^2$$

hám oǵan sferanıń teńlemesin qosıw kerek.

$$a^2 = (x_0)^2 + x^2.$$

c) Gipersferalıq metrika bolsa Minkovskiynıń 4 ólshemli keńisliginde ańqlanadı:

$$ds^2 = -(dx_0)^2 + (dx)^2$$

Sferadaǵı jaǵdayǵa sáykes ańlatpaǵa giperboloidtiń teńlemesin qosıw kerek boladı:

$$a^2 = (x_0)^2 - x^2.$$

FWT metrika bolsa barlıq variantlardıń bir orınǵa toplanıwı hám onı keńislik-waqıtqa qosıw bolıp tabıladı

Joqarıda keltirilgen ańlatpa tenzorlıq jazıwda

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu.$$

túrine iye boladı.

Bul ańlatpada metrlik tenzordıń qurawshıları tómendegilerge teń:

$$g_{ij} = a^2(t) \left(\delta_{ij} + k \frac{x^i x^j}{1 - kr^2} \right), \quad g_{i0} = 0, \quad g_{00} = -1.$$

Bul ańlatpada i, j shamaları 1, 2, 3, ke teń.

$$r^2 = (x^1)^2 + (x^2)^2 + (x^3)^2.$$

x^0 bolsa waqıtlıq koordinata bolıp tabıladı.

Biz joqarıda keltirilgen ańlatpalarda Kristoffel simvolları bılayınsha jazıladı:

$$\Gamma_{ij}^0 = a\dot{a}\tilde{g}_{ij}, \quad \Gamma_{ij}^0 = \frac{\dot{a}}{a}\delta_{ij}, \quad \Gamma_{jl}^i = \tilde{\Gamma}_{jl}^i = k\tilde{g}_{jl}x^i.$$

Al Kristoffel simvollarınan alınğan tuwındılar tómendigidey túrge iye boladı:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Gamma_{ij}^0}{\partial t} &= \tilde{g}_{ij} \frac{d}{dt}(\dot{a}a), \\ \Gamma_{ik}^0 \Gamma_{j0}^k &= \tilde{g}_{ij} \dot{a}^2, \\ \Gamma_{ij}^0 \Gamma_{0l}^l &= 3\tilde{g}_{ij} \dot{a}^2, \\ \frac{\partial \Gamma_{i0}^i}{\partial t} &= 3 \frac{d}{dt} \left(\frac{\dot{a}}{a} \right), \\ \Gamma_{0j}^i \Gamma_{i0}^j &= 3 \left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2. \end{aligned}$$

Tiykargı teńlemeler. Eger metrika ushın jazılğan ańlatpanı ideal suyıqlıq ushın alınğan ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń teńlemelerine qoysaq tómende keltirilgende teńlemeler sistemasın alamız [26]:

Energiyanıń teńlemesi

$$\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{kc^2}{a^2} + \frac{\Lambda c^2}{3},$$

Qozǵalı teńlemesi

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3P}{c^2} \right) + \frac{\Lambda c^2}{3}.$$

Úzilmeslik teńlemesi:

$$\frac{d\rho}{dt} = -3H \left(\rho + \frac{3P}{c^2} \right).$$

Bul ańlatpalarda Λ arqalı kosmologiyalıq turaqlı, q arqalı Álemniń ortasha tıǵızlıǵı, P arqalı basım hám c arqalı jaqtılıqtıń tezligi belgilengen.

Joqarıda keltirilgen teńlemeler sisteması saylap alınğan parametrlerge baylanıslı kóp sanlı sheshimlerde iye boladı. Haqıyqatında parametrlardıń mánisleri tek ótip atırǵan dáwirge (waqt momentine) tiyisli boladı hám waqtıń ótiwi menen olar evolyuciyaǵa ushıraydı. Sonlıqtan keńeyiwdiń evolyuciyasın kóp sanlı sheshimlerdiń jıynaǵı táriyipleydi [26].

Biz qozǵalı hám energiya ushın teńlemelerdi keltirip shıǵarǵanımda tómendegidey esaplawlardı júrgizdik:

Eynshteynniń maydan teńlemelerin mına formada jazamız:

$$R_{\mu\nu} = -8\pi G S_{\mu\nu}.$$

Bul teńlemede $R_{\mu\nu}$ arqalı Riççi tenzori belgilengen. Onı bılayınsha jazadı:

$$R_{\mu\nu} = \frac{\partial \Gamma_{\lambda\mu}^{\lambda}}{\partial x^{\nu}} - \frac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^{\lambda}}{\partial x^{\lambda}} + \Gamma_{\mu\sigma}^{\lambda} \Gamma_{\nu\lambda}^{\sigma} - \Gamma_{\mu\nu}^{\lambda} \Gamma_{\lambda\sigma}^{\sigma}.$$

Al $S_{\mu\nu}$ tenzori bolsa energiya-impuls tenzorınıń termininde bılayınsha jazıladı:

$$S_{\mu\nu} = T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T_{\lambda}^{\lambda}.$$

Fridman-Robertson-Uoker metrikasında eki hám úsh indeksli barlıq afinlik baylanıslar nolge teń bolatuǵın bolǵanlıqtan

$$R_{ij} = \frac{\partial \Gamma_{ki}^k}{\partial x^j} - \left[\frac{\partial \Gamma_{ij}^k}{\partial x^k} + \frac{\partial \Gamma_{ij}^0}{\partial t} \right] + \Gamma_{ik}^0 \Gamma_{j0}^k + \Gamma_{i0}^k \Gamma_{jk}^0 + \Gamma_{ik}^l \Gamma_{jl}^k - (\Gamma_{ij}^k \Gamma_{kl}^l + \Gamma_{ji}^0 \Gamma_{0l}^l),$$

$$R_{00} = \frac{\partial \Gamma_{i0}^i}{\partial t} + \Gamma_{0j}^i \Gamma_{0i}^j$$

añlatpalarına iye bolamız.

Riči tenzorınıń nolge teń emes qurawshıların Kristoffel simvolları ushın jazılğan añlatpalarğa qoyamız:

$$R_{ij} = \tilde{R}_{ij} - 2\dot{a}\tilde{g}_{ij} - a\ddot{a}\tilde{g}_{ij},$$

$$R_{00} = 3\frac{d}{dt}\left(\frac{\dot{a}}{a}\right) + 3\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = 3\frac{\ddot{a}}{a}.$$

Bul añlatpada R_{ij} arqalı Riči tenzorınıń taza keńisliklik qurawshıları belgilengen. Sonıń menen birge

$$\tilde{R}_{ij} = \frac{\partial \Gamma_{ki}^k}{\partial x^j} - \frac{\partial \Gamma_{ji}^k}{\partial x^k} + \Gamma_{ik}^l \Gamma_{jl}^k - \Gamma_{ij}^l \Gamma_{kl}^k$$

belgilewiniń orınlı ekenligine itibar beremiz.

Saylap alınğan m erika ushın barlıq qatnaslardan:

$$\Gamma_{ij}^k = kx^k \tilde{g}_{ij}$$

qatnasınıń orınlı ekenligi itibarğa alınadı.

Bunday jağdayda $x=0$ noqatında Ričidiń taza keńisliklik tenzorı mınağan teń boladı:

$$\tilde{R}_{ij} = k\delta_{ij} - 3k\delta_{ij} = -2k\delta_{ij}.$$

Biraq $x = 0$ noqatında metrika δ_{ij} túrinde jazıladı, yaǵnıy koordinata basında eki 3-tenzor arasında mınaday qatnas orın aladı:

$$\tilde{R}_{ij} = -2k\delta_{ij}.$$

Usınıń menen bir qatarda Fridman-Robertson-Uoker metrikasınıń bir tekililigine baylanıslı bul qatnas koordinatalardıń qálegen túrlendiriwlerinde orınlanadı. Basqa sózler menen aytqanda joqarıdaǵı qatnas keńisliktiń barlıq noqatlarında orınlanadı. Sonlıqtan mınaday añlatpanı jazıw múmkin:

$$R_{ij} = (-2k - 2\dot{a} - a\ddot{a})\tilde{g}_{ij}.$$

Biz alğan metrikada energiya-impul's tenzorınıń qurawshıları mınalar bolıp tabıladı:

$$T_{00} = \rho, \quad T_{i0} = 0, \quad T_{ij} = a^2 p \tilde{g}_{ij}.$$

Bunday jağdayda

$$S_{ij} = T_{ij} - \frac{1}{2}\tilde{g}_{ij}a^2(T_k^k + T_0^0) = \tilde{g}_{ij}pa^2 - \frac{1}{2}a^2\tilde{g}_{ij}(3p - \rho) = \frac{1}{2}(\rho - p)a^2\tilde{g}_{ij},$$

$$S_{00} = T_{00} - \frac{1}{2}(T_k^k + T_0^0) = \rho + \frac{1}{2}(3p - \rho) = \frac{1}{2}(\rho + 3p),$$

$$S_{ij} = 0.$$

Usı shamalardı orınlarına qoyǵannan keyin Eynshteyn teńlemeleri mına túrge iye boladı:

$$-\frac{k}{a^2} - \frac{2\dot{a}^2}{a^2} - \frac{\ddot{a}}{a} = -4\pi G(\rho - p),$$

$$\frac{3\ddot{a}}{a} = -4\pi G(3p + \rho).$$

Endi Λ aǵzası bar teńlemelerge ótiw ushın mınaday ornına qoyıwlardı (podstanovkaldı) paydalanıw kerek boladı:

$$\begin{aligned}\rho &\rightarrow \rho + \frac{\Lambda c^2}{8\pi G}, \\ p &\rightarrow p - \frac{\Lambda c^4}{8\pi G}.\end{aligned}$$

Bunnan keyin elementar túrlendiriwler eń aqırǵı nátiyjelerge alıp keledi (nátiyjeler joqarıda keltirilgen).

Úzilmeslik teńlemesi bilayınsha keltirilip shıǵarıladı:

Úzilmeslik teńlemesi energiya-impulıs tenzorınıń kovariantlıq saqlanıwı shártinen kelip shıǵadı:

$$\nabla_\nu T^{\nu\mu} = 0.$$

Bul jerde $\nu = 0$ dep esaplap

$$\nabla_\nu T^{\nu\mu} \equiv \partial_\nu T^{\nu 0} + \Gamma_{\nu\sigma}^\nu T^{\sigma 0} + \Gamma_{\nu\sigma}^0 T^{\nu\sigma} = 0$$

teńliklerine iye bolamız. Endi energiya-impulıs tenzorınıń qurawshıların anıq túrde jaza alamız:

$$T^{00} = \rho, \quad T^{ij} = \frac{1}{a^2} p \tilde{g}_{ij}, \quad T_{ij} = a^2 p \tilde{g}_{ij}.$$

Bul shamalardı orınlarına qoyıp hám FWT-metrikadaǵı Kristoffel simvollarınıń ańlatpalarınan paydalanıp teńlemenıń joqarıda keltirilgen eń aqırǵı túrine iye bolamız. Xabbl nızamın túsindiriw. Alıp júriwshi koordinatalar sistemasında baqlawshıdan r_1 qashılıǵında turǵan derek bar dep esaplayıq. Baqlawshınıń qabıl etiwshi apparaturası kelip túsiwshi tolqınıń fazasını registraciyalaydı. Birdey faza aralıǵındaǵı eki δt_1 hám δt_2 waqıt intervalın qaraymız [11].

$$\frac{\delta t_1}{\delta t_0} = \frac{v_0}{v_1} \equiv 1 + z.$$

Ekinshi tárepten qabıl etilgen metrikada jaqtılıq tolqını ushın tómendegidey teńlik orınlanadı:

$$dt = \pm a(t) \frac{dr}{\sqrt{1 - kr^2}}.$$

Bul teńlemenı integrallap

$$\int_{t_0}^{t_1} \frac{dt}{a(t)} = \int_0^{r_c} \frac{dr}{\sqrt{1 - kr^2}}$$

Alıp júriwshi koordinatalar sistemasında r shamasınıń waqıttan ǵárezsiz ekenligin hám tolqın uzınlıǵınıń Álemniń mayısıw radiusına salıstırǵanda kishi ekenligin esapqa alıp

$$\frac{\delta t_1}{a(t_1)} = \frac{\delta t_0}{a(t_0)}$$

qatnasın alamız. Eger onı eń baslanǵısh qatnasqa qoysaq, onda

$$1 + z = \frac{a(t_0)}{a(t_1)}$$

formulasına iye bolamız.

$a(t)$ funkciyasın orayı $a(t_1)$ noqatında jaylasqan Teylor qatarına jayamız hám tek birinshi tártipli aǵzalardı esapqa alamız:

$$a(t) = a(t_1) + \dot{a}(t_1)(t - t_1).$$

Ağzaların keltirgennenen hám c shamasına kóbeytkennen keyin

$$cz = \frac{\dot{a}(t_1)}{a(t_1)} c(t - t_1)$$

añlatpasın alamız. Usıǵan sáykes Xabbl turaqlısı (Xabbl parametri) ushın

$$H = \frac{\dot{a}(t_1)}{a(t_1)}$$

añlatpasına iye bolamız.

Nátiyjeler. Keńisliktiń mayısqańlıǵın anıqlaw. Kritikalıq tıǵızlıq túsinigi. Energiya ushın jazılǵan añlatpaǵa Xabbl turaqlısı ushın jazılǵan añlatpanı qoyıp mınalargá iye bolamız [27]:

$$1 = \Omega_m + \Omega_k + \Omega_\Lambda.$$

Bul añlatpada

$$\begin{aligned} \Omega_m &= \frac{\rho}{\rho_{kr}}, \\ \Omega_\Lambda &= \frac{8\pi G \Lambda c^2}{\rho_{kr}}, \\ \rho_{kr} &= \frac{3H_0^2}{8\pi G}, \\ \Omega_k &= -\frac{kc^2}{a^2 H^2}. \end{aligned}$$

Ω_m arqalı zatlardıń tıǵızlıǵı, Ω_Λ arqalı kritikalıq tıǵızlıqtıń shamasına bólingen qarańǵı energiyanıń tıǵızlıǵı, ρ_{kr} arqalı kritikalıq tıǵızlıqtıń mánisi hám Ω_k arqalı keńisliktiń mayısqańlıǵınıń úlesi belgilengen. Eger teńlemeńi

$$\Omega_k = 1 - (\Omega_m + \Omega_\Lambda) = 1 - \left(\frac{\rho + \rho_\Lambda}{\rho_{kr}} \right)$$

arqalı belgilesek, onda

$$k = \begin{cases} -1, & \rho + \rho_\Lambda < \rho_{kr}, \\ 0, & \rho + \rho_\Lambda = \rho_{kr}, \\ 1, & \rho + \rho_\Lambda > \rho_{kr} \end{cases}$$

teńlikleriniń orınlanatuǵınlıǵına isenemiz.

Zattıń tıǵızlıǵınıń evolyuciyası. Hal teńlemesi. Úzilmeslik teńlemesine

$$p = \omega\rho$$

túrindegi hal teńlemesin qoyıp onıń

$$p \propto a^{-3-3\omega} \Rightarrow \rho \propto a^{-3-3\omega}$$

túrindegi onıń sheshimin alamız.

Hár qıylı jaǵdaylarda bul ǵárezlilik hár qıylı túрге iye boladı:

Salqın zatlar ushın (mısalı shań). $p = 0$.

$$\rho \propto a^{-3}.$$

Temperaturası joqarı bolǵan zatlar ushın (mısalı nurlanıw ushın) $p = \frac{\rho}{3}$:

$$\rho \propto a^{-4}.$$

Vakuumnıń energiyası ushın: $p = -\rho$

$$\rho = const.$$

Bul maǵlıwmatlardıń barlıǵı da ıqshamlı túrde tómendegi 3-kestede berilgen.

3-keste.

Zattıń tıǵızlıǵınıń evolyuciyası. Hal teńlemesi [28-29]

Dáwir, hal teńlemesi	Masshtablıq	Xabbl
----------------------	-------------	-------

	faktordıń evolyuciyası	parametri
Inflyaciyalıq.	$a \propto e^{Ht}$	$H^2 = \frac{8\pi}{3} \frac{\rho_{vac}}{M_{pl}^2}$
Radiaciya kúshli bolǵan dáwir, $p = \rho/3$	$a \propto t^{\frac{1}{2}}$	$H = \frac{1}{2t}$
SHań-tozań dáwiri, $p = 0$	$a \propto t^{\frac{2}{3}}$	$H = \frac{2}{3t}$
Λ shamasınıń úlken dáwiri, $p = -\rho$	$a \propto e^{Ht}$	$H^2 = \frac{8\pi}{3} G\rho_\Lambda$

Joqarıda keltirilgen maǵlıwmatlardan eń dáslepki dáwirler hám tegis Álem ($k = 0$) ushın Ω_k shamasın esapqa almawǵa boladı. Usınıń menen bir waqıtta masshtablıq faktor menen qurawshılardıń tıǵızlıqları arasındaǵı hár qıylı ǵárezlilikler (baylanıslar) hár qıylı dáwirlerdi bir birinen ayırıwǵa múmkinshilik beredi. Bunday dáwirlerdegi keńeyiwler kestede berilgen anaw yamasa mınaw qurawshınıń járdeminde anıqlanadı.

4-§. Álemniń keńeyiwiniń dinamikası

$\Lambda < 0$. Eger kosmologiyalıq turaqlınıń mánisi turaqlı teris mániske iye bolsa, onda tek tartılıs kúshleri ǵana tásir etedi (basqa hesh qanday kúsh tásir etpeydi). Energiya ushın jazılǵan teńlemeniniń oń tárepi tek R diń shekli mánislerinde ǵana teris mániske iye bolmaydı. Bul jaǵday bazı bir RC shamasında k niń mánisinen hám hal teńlemesiniń túrinen de ǵárezsiz Álemniń qısılatuǵınlıǵın ańǵartadı [30-31].

$\Lambda = 0$. Eger kosmologiyalıq turaqlınıń mánisi nolge teń bolsa, onda H_0 diń berilgen mánisindegi evolyuciya tolıǵı menen zattıń baslanǵısh tıǵızlıǵınan ǵárezli boladı [10, 26]:

$$\left(\frac{da}{dt}\right)^2 = G \frac{8\pi\rho_0 a_0^3}{3a} - a_0^2 H_0 \left(\rho_0 - \frac{3H_0^2}{8\pi G}\right).$$

Eger $\rho_0 = \rho_{kr}$ teńligi orınlanatuǵın bolsa, onda keńeyiw sheksiz kóp waqıt dawam etedi hám eń aqırında tezlik asimptotalıq túrde nolge umtıladı (aspan deneleri mexanikasındaǵı parabolalıq tezlik sıyaqlı). Eger tıǵızlıq kritikalıq tıǵızlıqtan úlken bolsa, onda Álemniń keńeyiwi tormozlanadı hám keńeyiw qısılıw menen almasadı. Eger tıǵızlıq kritikalıq tıǵızlıqtan kishi bolsa, onda keńeyiw sheksiz úlken waqıt dawam etedi hám Xabbl parametri H tıń mánisi nolge umtıladı.

$\Lambda > 0$. Eger $\Lambda > 0$ hám $k \leq 0$ shártleri orınlansa Álem monotonlı túrde keńeyedi, biraq $\Lambda = 0$ bolǵan jaǵdaydan ayırması R diń úlken mánislerinde keńeyiwdiń tezligi úlkeyedi [30-31]:

$$R \propto \text{Exp} \left[\left(\frac{\Lambda}{3}\right)^{\frac{1}{2}} t \right].$$

$k = 1$ bolǵan jaǵdayda Λ_c shaması ayrıqsha áhmiyetke iye. Bunday jaǵdayda $R'=0$ hám $R''=0$ teńlikleri orınlanatuǵın R diń mánisi boladı hám usıǵan sáykes Álem statikalıq Álem bolıp tabıladı.

$\Lambda > \Lambda_c$ bolğan jaǵdayda keńeyiw qanday da bir waqıt momentine shekem kishireydi, al bunnan keyin sheksiz úlkeyedi. Eger Λ niń mánisi Λ_c niń mánisine júdá úlken bolsa, onda bazı bir waqıt dawamında keńeyiwdiń tezligi derlik ózgermey qaladı.

$\Lambda < \Lambda_c$ bolğan jaǵdayda barlıǵı da R diń baslanǵısh mánisinen ǵárezli boladı (R diń usınday mánisinen keńeyiw baslanadı). Usı mániske baylanıslı Álem qanday da bir ólshemge shekem keńeyedi hám onnan keyin qısıladı yamasa keńeyiwın sheksiz dawam etedi.

Λ CDM. Λ CDM ("Lyambda-SiDiEm" dep oqıladı) házirgi zamandaǵı standart kosmologiyalıq model ń bolıp tabıladı [32-33]. keńisligi tegis bolğan Álem ádettegedey barionlıq materiya menen bir qatarda qarańǵı energiya (Eynshteynniń teńlemelerinde kosmologiyalıq turaqlı Λ shaması menen táriyiplenedi) hám qarańǵı materiya (ingliz tilinde *Cold Dark Matter*) menen tolğan. Bul model ń boyınsha Álemniń jası $13,75 \pm 0,11$ milliard jılǵa teń.

Λ CDM modelinde ulıwmalıq salıstırmalıq teoriiyası kosmologiyalıq masshtablardaǵı durıs teoriya bolıp tabıladı dep esaplanadı. Model ń 1990-jıllardıń aqırında qáleplesti hám Álemniń keńisliklik tegis ekenligin túsindiriw ushın óz ishine kosmoslıq inflyaciyanı qamtıydı (kosmoslıq inflyaciya haqqında keyinirek ǵáp etiledi).

Házirgi zamandaǵı bar kosmologiyalıq modellerdiń basım kópshiligi kosmologiyalıq principke tiykarlangan. Kosmologiyalıq princip biziń Álemdegi iyelep turǵan ornımız hesh qanday artıqmashlıqqa yamasa ózgesheliklerge iye emes hám jetkikli úlken masshtablarda Álem barlıq baǵıtlarda (izotroplıq) hám qálegen orınnan (bir tekliklik) birdey bolıp kórinedi dep tastıyıqlaydı [11, 32-33]. SHın mánisinde bul princip sózsiz orınlanıwı kerek bolğan talap, yaǵnıy postulat emes, al prezumpaciya bolıp tabıladı (yaǵnıy kerisi dálillenbegenshe durıs dep esaplanadı).

Model ń óz ishine Álemniń keńeyiwi aladı. Al bul jaǵdaydıń durıslıǵı alıstaǵı galaktikalar menen kvazarlardıń spektrleriniń kosmologiyalıq qızılǵa awısıwına baylanıslı isenimli túrde tastıyıqlanadı.

1965-jılı kosmoslıq mikrotolqınlıq fonniń ashılıwı (yaǵnıy reliklik nurlardıń ashılıwı) Úlken Partlanıw kosmologiyasınıń eń áhmiyetli boljawın tastıyıqladı. Usı momentten baslap Álem waqıttıń ótiwi menen keńeyedi, al burınları onıń xalı tıǵız hám joqarı temperaturaǵa iye edi dep esaplaw qabıl etildi.

Keńeyiwdiń tezligi Álemdegi zatlardıń muǵdarınan, tipinen hám Álemdegi energiyaǵan ǵárezli. Mısalı keńeyiw Álemdegi tıǵızlıqtıń kritikalıq tıǵızlıq dep atalatuǵın tıǵızlıqtan úlken yamasa kishi ekenligi menen tikkeley baylanıslı. 1970-jılları ózine kosmologlardıń tiykarǵı dıqqatın barionlıq model ń qarattı. Biraq bunday jaqınlasıwlarda reliklik nurlanıwdıń júdá kishi bolğan anizotropiyasın esapqa alǵanda galaktikalardıń payda bolıwın túsindiriwde úlken qıyınshılıqlar júz berdi. Sonıń menen birge reliklik nurlardıń anizotropiyası ushın joqarıdan isenimli bahalar da berildi. 1980-jıllardıń basında salqın qarańǵı energiya berionlıq materiyaǵa salıstırǵanda ádewir kóp degen boljawlar paydalanıla basladı hám sonıń nátiyjesinde Álemniń úlken masshtablardaǵı qurılısın túsindiriw jumıslarında ádewir úlken jetiskenlikler júzege keldi.

1980-jılları Álemniń quramında energiyanıń balansı 5 % barionlardan hám 95 % salqın qarańǵı materiyaǵan turadı degen boljaw ádewir bekkem qalıplesti. Bul jumıslar

galaktikalardıń hám galaktikalardıń jıynaqlarınıń payda bolıwınıń sebeplerin tabıslı túrde túsindire aldı. Biraq 1990-jıllarǵa kele galaktiklaradıń úlken masshtablardaǵı bólistirilwiniń spektrlerin izertlew boyınsha alınǵan juwmaqlar jaqarıda keltirilgen modelge qayshı keldi.

1998-jılı Álemniń tezleniw menen keńeyiw qubılısı ashıldı [24-25] hám bunnan keyin Λ CDM modeli standart modelge aylandı. Sol jıldan baslap joqarıda keltirilgen qarama-qarsılıqlardıń basım kópshiligi tolıq saplastırıldı hám kóp sanlı kosmologiyalıq mashqalalar tabıslı túrde sheshimlerin taptı.

5-§. Qashılıqlardıń túrleri

Teoriyalıq jaqtan táriyiplew. Kosmologiyada úlken qashılıqlarda tikkeley ólshenetuǵın shamalardıń sanı úshew:

juldızlıq shama,
múyeshlik ólshem,
qızılǵa awısıw.

Usı jaǵdayǵa baylanıslı baqlawlardıń nátiyjeleri menen salıstırıp kóriw ushın eki ğárezlilik paydalanıladı:

1. Múyeshlik qashılıq dep atalatuǵın qızılǵa awısıwdıń múyeshlik ólshemi:

$$d_a = \frac{a(t_0)\chi}{1+z}.$$

Bul ańlatpa bılayınsha keltirilip shıǵarıladı:

Anıqlama boyınsha:

$$d_a = \frac{D}{\delta\theta}.$$

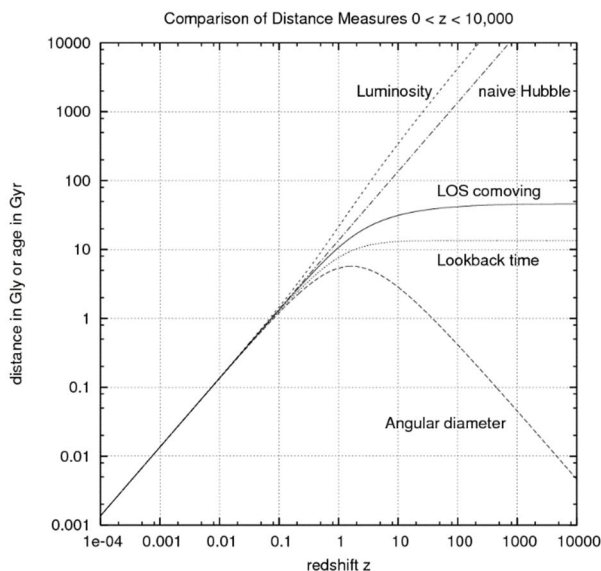
Bul ańlatpada D arqalı kóriw nurına perpendikulyar baǵıttaǵa obʼekttiń menshikli ólshemi, $\delta\theta$ arqalı kórinetuǵın ólshemi belgilengen. Metrikanı sferalıq koordinatalarda qaraymız:

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t_1) \left(\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\Omega^2 \right).$$

Obʼekttiń ólshemi oǵan shekemgi qashılıqtan kóp ese kishi. Sonlıqtan:

$$ds^2 = -a^2(t_1)r^2 d\Omega^2$$

teńligi orınlı boladı. Múyeshlik ólshemniń shamasınıń kishi bolǵanlıǵına baylanıslı $d\Omega$ shamasın $\Delta\theta$ shamasına teń dep esaplaw múmkin.



Hár qıylı qashıqlıqlar ushın iymekliklerdi salıstırıw [40-42].

Qızılğa awısıwdan jıltıraqlıq (bul shama fotometrlik qashıqlıq dep ataladı):

$$d_l = (1 + z)^2 d_a.$$

Bul ańlatpanı bılayınsha keltirip shıǵaradı:

Anıqlama boyınsha

$$d_l = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}.$$

Qálegen derekten shıqqan nurlanıw

$$4\pi[a(t)\chi]^2$$

bolǵan geometriyalıq faktordıń sebebinen kemeyedi. Fotonnıń tolqın uzınlıǵınıń $1 + z$ ese kemeyiwı ekinshi faktor bolıp tabıladı. Úshinshi faktor waqıttıń sozılıwınıń sebebinen ayırım fotonlardıń kelip jetiw jiyiliginıń $1 + z$ ese kemeyiwı bolıp tabıladı. Nátiyjede integrallıq aǵıs ushın

$$F = \frac{L}{4\pi[a(t)\chi]^2(1 + z)^2}$$

ańlatpasına iye bolamız.

Kópshilikke arnalǵan ilimiy ádebiyatlarda qashıqlıqtıń jáne de úsh túrin ushıratıwǵa boladı:

- waqıttıń usı (berilgen) momentindegi ob'ektler arasındaǵı qashıqlıq,
- qabıl etilgen jaqtılıq shıǵarılǵan waqıttaǵı ob'ektler arasındaǵı qashıqlıq hám
- jaqtılıq basıp ótken qashıqlıq.

6-§. Bir qatar juwmaqlar

Biz joqarıda Álemniń payda bolıwı hám onıń rawajlanıwı haqqında bir qatar tiykarǵı maǵlıwmatlar menen tanıstıq. Haqıyqatında da adamzat civilizaciyasınıń payda bolıwı menen hár bir adamnıń aldında dúnya degenimiz ne? ol qalay payda bolǵan? dúnya nelerden turadı? ólshemleri qanday? onıń rawajlanıwı ne menen pitedi? h.t.b. sorawlar payda boldı. Bul sorawlarǵa birden durıs juwap beriwdiń múmkinshiligi joq. Birinshi gezekte sol dúnya (endigiden bılay Álem túsiniǵin

paydalanamız) haqqında durıs eksperimentallıq maǵlıwmatlar (bunday maǵlıwmatlardı ádette astronomiyalıq maǵlıwmatlar dep ataymız) bolıwı kerek. Al bunday eksperimentallıq maǵlıwmatlardı alıw ushın rawajlangan texnika, rawajlangan civilizaciya kerek boladı.

Biz Álem haqqındaǵı áyyemgi kóz-qaraslardıń pútkilley tiykarsız, jalǵan kóz-qaraslar ekenligin ayqın túrde kórdik. Sebebi áyyemgi adamlarda ózleriniń kózinen basqa Álemdi baqlaytuǵın qural bolǵan joq. Sonlıqtan ásirese aspan qubılısların (kún menen túnniń almasıwı, Quyash penen Aydıń tutılıwı, planetalardıń, basqa da aspan deneleriniń qozǵalısları) túsindiriw ushın ózleriniń tómen dárejedegi bilimleri tiykarında kóp sanlı mifologiyalıq hám ańızlardan kelip shıqqan pikirlerdi, kóz-qaraslardı payda etti. Nátiyjede astrologiya sıyaqlı jalǵan ilimler, Álemniń qurılısı hám qásiyetleri haqqında sada bilimler qalıplesti.

Astronomiya ilimindegi eń áhmiyetli qurallardıń biri XVII ásirdeń basında payda bola baslaǵan optikalıq teleskop (áyyemgi grek tilinde τηλε [tele] — uzaq + σκοπέω [skopeo] — kóremen degen sózlerden) bolıp tabıladı (ayırım maǵlıwmatlar boyınsha optikalıq teleskoplar XVI ásirdeń ekinshi yarımında payda bolǵan). 1609-jılı Italiyalı fizik, astronom, filosof hám matematik, eksperimentallıq fizikanıń tiykarın salıwshı Galileo Galiley (italyan tilinde Galileo Galilei; 1564-jılı 15-fevral kúni Piza qalasında tuwılǵan hám 1642-jılı 8-yanvar kúni Arçetri qalasında qaytıp bolǵan) baqlawlar ótkeriw ushın teleskoptı soǵıp alǵan. Bul teleskoptıń (optikalıq trubanıń) obʼektivi dónes linza, al okulyarı oyıs linzadan turatuǵın bolǵan. Teleskop kóriletuǵın obʼektlerdiń súwretin 3 ese úlkeytken. Biraq kóp uzamay ol 32 ese úlkeytetuǵın teleskoptı soǵa alǵan. "Teleskop" terminin ilimge birinshi ret kirgizgen adam G.Galiley bolıp tabıladı. Galileydiń bir qatar teleskoplıq ilimiy ashıwları dúnyanıń geliiooraylıq sistemasınıń tastıyqlanıwına alıp keldi. Al bul geliiooraylıq sistemanı Galiley propagandaladı hám Aristotel menen Ptolemeydiń geooraylıq sistemasın biykarlaw boyınsha teperish túrde jumıslar júrgizdi.

Galiley teleskoptıń járdemindegi óziniń eń birinshi baqlawların 1610-jılı 7-yanvar kúni baslaǵan. Bul baqlawlar dárhál Aydıń betiniń de Jerdiń betindey quramalı relʼeflerden – Aydıń betiniń tawlar hám kraterler menen jabılǵanlıǵın kórsetti. Nátiyje de aspan deneleriniń qásiyetleri menen Jerdiń qásiyetleriniń, tábiyatınıń uqsaslıǵı haqqındaǵı pikir birden payda boldı. Al bul jaǵday Koperniktiń sistemasınıń paydasına sheshildi (Jer de basqa planetalar sıyaqlı Quyashtıń dógeresinde aylanadı, sonlıqtan Jer menen planetalardıń arasında principiallıq ayırma joq). Sonıń menen birge Galiley Aydıń libraciyasın taptı hám onıń betindegi tawlardıń biyikligin jetkilikli dárejede dál bahaladı [41]

Galiley YUpter planetasınıń Aylarınıń (joldaslarınıń) bar ekenligin taptı, olardıń sanı 4 ke teń eken. Usınıń menen ol geliiooraylıq sistemanıń qarsılıslarınıń kóz-qarasların biykarladı (olardıń pikirinshe Jer Quyashtıń dógeresinde aylana almaydı, sebebi Jerdiń dógeresinde Ay aylanadı).

Usılar menen bir qatarda Galiley Quyashtıń betinde daqlardıń bolatuǵınlıǵın da ashtı. Óziniń baqlawlarınıń tiykarında ol Quyashtıń da óziniń kósheriniń dógeresinde aylanatuǵınlıǵın taptı. Usı baqlawlar tiykarında oǵan Quyashtıń óziniń kósheriniń

dógeresinde aylanıw dáwirin hám kósherdiń qalay qarap baǵıtlanganlıǵın da ashıw múmkinshiligi payda boldı.

Galiley Venera planetasınıń fazalarınıń bar ekenligin hám fazalardıń ózgeretuǵınlıǵın taptı. Demek Veneranıń beti Quyashtan shıqqan jaqtılıq penen jaqtılanadı eken hám sonlıqtan biz onı kóriw múmkinshiligine iye ekenbiz. Ekinshi tárepten Veneranıń fazalarınıń ózgerisleriniń izbe-izligi geli ooraylıq sistemanıń durıs ekenligin dálilledi. Biz Galileydiń basqa da jumısları haqqında gáp etip otırmaymız, al tek jańa ásbaptıń payda bolıwı – astronomiya iliminde teleskoptıń payda bolıwınıń birden oǵada ullı ilimiy ashılıwlarǵa alıp kelgenligin atap ótemiz.

Biraq XIX ásirdiń 20-jıllarına shekem kosmologiya ilimi ushın eksperimentallıq baza (baqlaw júrgiziw ushın úskeneler) júdá jarlı awhalda edi. Tek 1929-jılǵa kele amerikalı astronom E.Xabbl Álemniń haqıyqatında da keńeyetuǵınlıǵın ózi islegen teleskoplardıń járdeminde taptı. Demek biz keńeyiwshi Álemde jasap atırmız, al burınları (milliardlaǵan jil burın) Álem kishi ólshemlerge, usıǵan sáykes úlken tıǵızlıqlarǵa iye bolǵan eken degen tiykarǵa iye boljaw aytıw múmkinshiligi payda boldı. Al 1965-jılları amerikalı astrofizikler Arno Allan Penzias hám Robert Vudro Vilsonlar tárepinen temperaturası $2,72548 \pm 0,00057$ K bolǵan kosmoslıq mikrotolqınlıq fonlıq nurlanıw tabıldı (temperaturanıń dál mánisi keyinirek anıqlandı). Bul jaǵday burınları Álemniń temperaturasınıń joqarı bolǵanlıǵın kórsetti. 1998-jılı bolsa kosmoslıq Xabbl teleskoptıń járdeminde Álemniń tezleniw menen keńeyetuǵınlıǵı ashıldı [24-25]. Bunnan keyin WMAP hám Planck kosmoslıq apparatlarınıń járdeminde reliktlik nurlardıń (kosmoslıq mikrotolqınlıq fonlıq nurlanıwınıń) anizotropiyası ashılıp, Álemniń tuwılǵannan keyin 380 mın jil ótkennen keyingi súwreti túsirildi. Bunday jańalıqlar, ullı jetiskenlikler fizika iliminiń basqa da tarawlarında, sonıń ishinde joqarı energiyalar (elementar bóleksheler) fizikasında, maydan teориясында, basqa da tarawlarda júz berdi. Eksperimentallıq bazanıń usınday tep pátler menen rawajlanıwı kosmologiyanı joqarı dárejedeǵi dál ilimler qatarına jetkerdi.

Házirgi waqıtları fizikalıq kosmologiya dál ilimler qatarına kiredi. Usı jaǵdayǵa baylanıslı onıń eksperimentallıq maǵlıwmatlar menen bay túrde támiyinlengen teoriyalıq máselelerin sheshiw úlken qızıǵıwshılıq payda etedi. Fizika menen astronomiya iliminiń usınday máselelerin, atap aytqanda kosmologiyalıq máselelerdi házirgi zaman esaplaw qurallarınıń járdeminde sheshiwge usı pitkeriw jumısı arnaldı.

II bab. Kosmologiyalıq máselelerdi kompýuterlerde sheshiwge tayarlaw hám Wolfram Mathematica 10 tilinen paydalanıw

7-§. Zárúrli bolǵan teńlemelerdi keltirip shıǵarıw

Pitkeriw qánigelik jumısınıń I babında kórsetilgendey, kosmologiya tutası menen alınǵan Álem, onıń globallıq qásiyetleri hám Álemdegi fizikalıq processler haqqındaǵı ilim. Kosmologiyanıń tiykarın A.Eynshteynniń ulıwmalıq salıstırmalıq teориясы quraydı. Al Álemdegi fizikalıq processlerdi úyreniw ushın fizikanıń derlik barlıq tarawları paydalanıladı.

Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasında:

keńislik-waqıt mayısqań (tegis emes);

keńislik-waqıttıń mayısıwınıń shaması materiyanıń járdeminde anıqlanadı.

Kosmologiyalıq modellerdiń kópshiliginde Álemdi bir tekli, izotrop hám keńeyiwshi dep esaplaydı. Al Álemdedi baqlanatuǵın bir tekliktiń joqlıǵın keńeyiwdiń sońǵı dáwirlerinde payda bolǵan dep esaplaydı. Bol boljawdıń durıslıǵı kóp sanlı baqlawlardıń nátiyjeleri boyınsha tastıyqlanadı. Keńislik-waqıttıń geometriyası g_{ik} metrikasınıń járdeminde anıqlanadı. Al g_{ik} shamasınıń ózi ds intervalınıń shamasın anıqlaydı:

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k. \quad (1)$$

Minkovskiydiń tegis keńisliginde hám soǵan sáykes inerciallıq koordinatalar sistemasında (galileylik koordinatalar sistemasında) intervaldıń kvadratı

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2, \quad (2)$$

$$g_{00} = 1, \quad g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1,$$

$$i \neq 1 \text{ bolǵanda } g_{ik} = 0, g_{ik} = g_{ki} = g^{ik} = g^{ki}.$$

formularınıń járdeminde anıqlanadı.

Mayısqań keńislikte Riman-Kristofferdiń tórt ólshemli (bunday tenzordı mayısıw tenzori dep ataydı) nollik emes tenzori bar boladı. Bunday tenzor metrlik tenzordıń ekinshi tártipli tuwındısınan hám birinshi tártipli tuwındılarınıń kóbeymesinen turadı:

$$R_{iklm} \sim \left(\frac{\partial^2 g_{ik}}{\partial x^l \partial x^m}, \frac{\partial g_{pk}}{\partial x^i}, \frac{\partial g_{ml}}{\partial x^p} \right). \quad (3)$$

Mayısıw tenzorınıń svertkası Riççi tenzori dep ataladı:

$$R_{ik} = g^{lm} R_{iklm}. \quad (4)$$

Ulıwma jaǵdayda $i = k$ teńligi orınlanganda metrlik tenzor ushın tómendegidey qatnastıń orın alatuǵınlıǵın atap ótemiz:

$$g_{im} g^{mk} = \delta_i^k, \quad \delta_i^k = 1.$$

Al $i \neq k$ shárti orınlanganda

$$\delta_i^k = 0.$$

Ulıwmalıq salıstırmalıq teoriyasınıń teńlemeleri (yaǵnıy Eynshteyn teńlemeleri) Riççi tenzori menen energiya-impulıs tenzori bolǵan T_{ik} tenzorın baylanıstıradı:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R - \Lambda g_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik}. \quad (4)$$

Eynshteyn teńlemelerine Riççi tenzorınan basqa tómendegidey aǵzalar da kiredi:

skalyar mayısıw $R = g^{ik} R_{ik}$;

kosmologiyalıq turaqlı Λ ;

energiya-impulıs tenzori T_{ik} ;

gravitaciyalıq turaqlı G ;

jaqtılıqtıń tezligi c .

Kosmologiyalıq turaqlı bolǵan Λ shaması Eynshteyn tárepinen statikalıq (yaǵnıy waqıtqa baylanıslı emes) Álemdiń modelin dóretiw ushın kirgizildi. Bul shama teńlemelerdiń relyativistlik invariantlılıǵın ózgertpeydi. Ideal gaz ushın (bunday gazde molekularardıń kinetikalıq energiyaları olardıń potencial energiyalarına salıstırǵanda júdá úlken) T_{ik} shaması esapqa alınbaydı. Sonlıqtan bunday gaz ushın

$$\begin{aligned} T^{ik} &= (P + \varepsilon) u^i u^k - P g^{ik}, \\ T_i^k &= (P + \varepsilon) u^i u_k - P \delta_i^k. \end{aligned} \quad (5)$$

túrindegi ańlatpalargá iye bolamız. Bul teńlemelerge tórt ólshemli tezlik

$$u^i = \frac{\partial x^i}{\partial s}; \quad (6)$$

kirgiziledi. Tınıshlıq halında $u^i = (1,0,0,0)$.

(5)- hám (6)-ańlatpalargá sáykes tınıshlıqtaǵı hal ushın

$$T_0^0 = \varepsilon, T_1^1 = T_2^2 = T_3^3 = -P, \quad (7)$$

$$i \neq k \text{ shárti orınlanǵanda } T_i^k = 0.$$

ańlatpalarına iye bolamız.

Galiley metrikasına iye tegis keńislikte tınıshlıq halına iye bolamız:

$$T^{00} = T_{00} = \varepsilon, \quad (8)$$

$$T^{11} = T^{22} = T^{33} = T_{11} = T_{22} = T_{33} = P,$$

$$i \neq k \text{ shárti orınlanǵanda } T^{ik} = T_{ik} = 0.$$

Sistemanı tuyıqlaw ushın zattıń basımı P menen energiyanıń tıǵızlıǵı ε ni baylanıstıratuǵın hal teńlemesin biliw kerek. Energiyanıń tıǵızlıǵı tınıshlıqtaǵı energiya $\rho_0 c^2$ shaması menen bóleksheniń xaotikalıq (tártipsiz) qozǵalısına sáykes keletuǵın ishki jıllılıq energiyası E_{th} energiyasınıń qosındısına teń boladı. Zatlardıń tolıq energiyası energiyanıń tıǵızlıǵı $\varepsilon = \rho c^2$ shamasınıń járdeminde anıqlanadı. Relyativistlik emes sheklerde (bunday jaǵdaylarda $v \ll c$ teńsizligi orınlanadı) $E_{th} \ll \rho_0 c^2$. Usınıń nátiyjesinde hal teńlemesi basım menen tınıshlıqtaǵı massanıń baylanısına alıp kelinedi $P = P(\rho_0)$. Al metrlik tenzordıń g_{00} qurawshısı 1 den Nьyutonlıq gravitaciyalıq potencial bolǵan G

$$g_{00} = 1 + 2 \frac{\varphi_G}{c^2}, \quad \varphi_G \ll c^2 \quad (9)$$

shamasına proporcional bolǵan júdá kishi shamaǵa ayrıladı.

Biz Nьyutonniń rútkil dúńbalyq tartılıs nızamında gravitaciyalıq potencialdıń Puassonniń tómendegidey túrde jazılatuǵın sızıqlı teńlemesinen anıqlanatuǵınlıǵın bilemiz:

$$\Delta \varphi_G = 4\pi G \rho_0. \quad (10)$$

Al (4)-Eynshteyn teńlemesi bolsa metrlik tenzordıń qurawshılarına salıstırǵanda sızıqlı emes. Bul jaǵday zatlar bolmaǵan jaǵdayda gravitaciyalıq tolqınlar túrindegi tegis emes keńisliktiń bolıw múmkinshiligine alıp keledi.

8-§. Fridmannıń sheshimleri

Bir tekli keńislik tórt ólshemli keńisliktegi bir tekli úsh ólshemli keńislik (shekli hám sheksiz) bolıp tabıladı. Bunday keńisliktegi intervaldı alıp júretuǵın koordinatalar sistemasında

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dl^2 \quad (11)$$

túrinde jazıladı.

Bir tekli sferanıń keńisliklik intervalı dl sferalıq koordinatalar sistemasında [yaǵnıy (r, θ, φ) sistemasında] bılayınsha jazıladı:

$$dl^2 = \frac{dr^2}{1 \mp \frac{r^2}{a^2}} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2). \quad (12)$$

Bul ańlatpada "-" belgisi sferasınıń radiusı $a(t)$ shamasına teń oń mánisli mayısıwǵa iye úsh ólshemli keńislikke sáykes keledi. "+" belgisi bolsa teris mayısıwǵa iye úsh ólshemli keńislikke sáykes keledi. Bul jaǵdayda $ia(t)$ shamasınıń mánisi jormal mániske iye. Sonlıqtan $a(t)$ shaması sferanıń radiusı emes, al masshtablıq faktor bolıp tabıladı. Úsh ólshemli keńisliktiń mayısıwı nolge teń bolıwı múmkin, al bul jaǵdayda úsh ólshemli interval

$$dl^2 = dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2) \quad (13)$$

túrinde jazıladı. Ólshem birligi joq radiallıq $\tilde{r} = \frac{r}{a(t)}$ qurawshıǵa ótkende Bir tekli stacionar Álemdegi interval bilayınsha jazıladı:

$$\sin^2\theta ds^2 = c^2 dt^2 - a^2(t) \left[\frac{d\tilde{r}^2}{1 - k\tilde{r}^2} + \tilde{r}^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2) \right]. \quad (14)$$

Bul ańlatpada $k = 1$ shekli jabıq Álemge, $k = -1$ sheksiz hám ashıq Álemge hám $k = 0$ sheksiz tegis Álemge sáykes keledi.

Tegis Álemde úsh ólshemli mayısıw nollik bolıp tabıladı, al tórt ólshemli keńislik qıysıq keńislik bolıp tabıladı. (4)-teńlemeden 00 bolǵan jaǵday ushın

$$R_0^2 - \frac{1}{2}R - \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} T_0^0$$

teńlemesin alamız. Al bul teńlemeden masshtablıq faktor $a(t)$ ushın

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{kc^2}{a^2} = \frac{8\pi G}{3c^2} \epsilon + \frac{\Lambda}{3} c^2 \quad (15)$$

teńlemesine iye bolamız. Bul birinshi tártipli sızıqlı emes differencial teńleme bolıp tabıladı. Sonlıqtan (15)-teńlemege bir shegaralıq shárt, atap aytqanda t nıń berilgen mánisindegi masshtablıq faktor $a(t)$ nıń mánisin beriw maqsetke muwapıq keledi.

Eskertiw: Mathematica 10 tili (15)-teńlemenı analitikalıq túrde sheshe aladı. Onıń ushın

$$\text{DSolve}[\{(a'[t])^2/(a[t])^2 + \frac{kc^2}{(a[t])^2} == \frac{8\pi G}{3c^2} \epsilon + \frac{\Lambda}{3} c^2\}, a[t], t] // \text{Simplify}$$

túrindegi programma jazıladı. Bul programmada $a(t)$ funkciyası ushın shegaralıq shárt berilmegen hám ϵ shaması turaqlı dep esaplanǵan. Joqarıdaǵı teńleme ushın kompıyuter

$$a[t] \rightarrow \frac{e^{-\frac{\sqrt{8G\pi\epsilon+c^4\lambda}(\sqrt{3}t+3cC[1])}{3c}} (e^{\frac{2\sqrt{8G\pi\epsilon+c^4\lambda}(\sqrt{3}t+3cC[1])}{3c}} + 3c^4k(8G\pi\epsilon + c^4\lambda))}{2(8G\pi\epsilon + c^4\lambda)}$$

hám

$$a[t] \rightarrow \frac{e^{-\frac{\sqrt{8G\pi\epsilon+c^4\lambda}(\sqrt{3}t+3cC[1])}{3c}} (e^{2\sqrt{8G\pi\epsilon+c^4\lambda}C[1]} + 3c^4 e^{\frac{2t\sqrt{8G\pi\epsilon+c^4\lambda}}{\sqrt{3}c}} k(8G\pi\epsilon + c^4\lambda))}{2(8G\pi\epsilon + c^4\lambda)}$$

túrindegi sheshimlerdi beredi.

Eger teńlemege $a[0] == A$ túrindegi shegaralıq shártti beretuǵın bolsaq, onda kompıyuter tómendegidey sheshimlerdi beredi:

$$a[t] \rightarrow (e^{-\frac{t\sqrt{8G\pi\epsilon+c^4\lambda}}{\sqrt{3}c}} (c^4(-3(-1 + e^{\frac{2t\sqrt{8G\pi\epsilon+c^4\lambda}}{\sqrt{3}c}}))k - 2A^2\lambda) + 2A(-8AG\pi\epsilon + \sqrt{(8G\pi\epsilon + c^4\lambda)(8A^2G\pi\epsilon + c^4(-3k + A^2\lambda))})) / (2(-A(8G\pi\epsilon + c^4\lambda) + \sqrt{(8G\pi\epsilon + c^4\lambda)(8A^2G\pi\epsilon + c^4(-3k + A^2\lambda))}))$$

hám

$$a[t] \rightarrow \left(e^{\frac{t\sqrt{8G\pi\epsilon+c^4\lambda}}{\sqrt{3}c}} (c^4(3(-1 + e^{\frac{2t\sqrt{8G\pi\epsilon+c^4\lambda}}{\sqrt{3}c}})k + 2A^2\lambda) + 2A(8AG\pi\epsilon + \sqrt{(8G\pi\epsilon + c^4\lambda)(8A^2G\pi\epsilon + c^4(-3k + A^2\lambda))})) \right) / \left(2 \left(8AG\pi\epsilon + Ac^4\lambda + \sqrt{(8G\pi\epsilon + c^4\lambda)(8A^2G\pi\epsilon + c^4(-3k + A^2\lambda))} \right) \right)$$

sheshimlerin beredi.

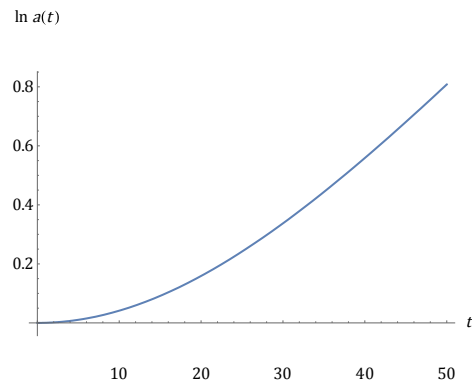
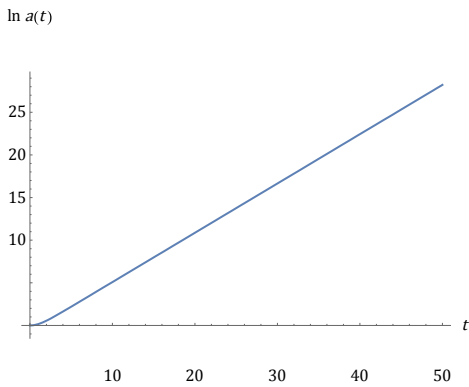
Biz birinshi gezekte alınğan $a(t)$ funkciyasınıń mánislerin esaplağanımızda onıń haqıyqiy mániske iye bolıwınıń shárt ekenligin este saqlawımız kerek. Bul usı funkciyaǵa kiriwshi konstantalardıń, shegaralıq shártlerdiń durıs túrde alınıwı menen baylanıslı. Mısalı

$$k = 1; G = 1; \lambda = 0; c = 1; \epsilon = 0.0001; A = 1;$$

hám

$$k = 1; G = 1; \lambda = 1; c = 1; \epsilon = 0.0001; A = 1;$$

shamaların bergenimizde komp'yuter logarifmlik masshtablarda hám $a(t)$ funkciyasınıń haqıyqiy mánisleri ushın tómendegidey grafikti beredi:



$a(t)$ funkciyasınıń logarifmlik masshtablardaǵı grafigi. SHep táreptegi súwrette kosmologiyalıq turaqlınıń mánisi nolge teń. Oń táreptegi súwrette $\lambda = 1$.

Endi qaytadan (15)-Eynshteyn teńlemesine qayıp kelemiz. Adiabatalıq keńeyiw ushın mınaday ańlatpaǵa iye bolamız:

$$\frac{d\epsilon}{\epsilon + P} = -\frac{dV}{V} = -3 \frac{da}{a}.$$

Bul ańlatpada V arqalı kólem belgilengen.

Hal teńlemesi ushın bir neshe dara jaǵdaylardı qarap ótemiz:

1. SHań.

$$P = 0, \frac{d\epsilon}{\epsilon} = -3 \frac{da}{a}, \quad \epsilon \sim a^{-3}.$$

Bul jaǵday keńeyiw processinde bólekshelerdiń sanınıń (barionlardıń) hám olardıń massalarınıń saqlanıwına sáykes keledi.

2. Ul'trarelyativistik gaz.

$$P = \frac{\epsilon}{3}, \frac{d\epsilon}{\epsilon} = -4 \frac{da}{a}, \quad \epsilon \sim a^{-4}.$$

Bul jaǵday keńeyiw processinde ultrarelyativistlik bólekshelerdiń sanı saqlanganda energiyasınıń $\sim a^{-1}$ ge proporcional kemeyetuǵına (fotonniń energiyasınday) sáykes keledi.

3. Kúshli tásirlesetuǵın zat:

$$P = \varepsilon, \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = -6 \frac{da}{a}, \quad \varepsilon \sim a^{-6}.$$

Bunday hal teńlemesi 1962-jılı belgili alım YA.B.Zel'dovich tárepinen qarap shıǵılǵan. Hal teńlemesin júdá qatań túrdegi hal teńlemesi dep ataydı. Sebebi sestini tezligi $v_s^2 = \frac{dP}{d\rho}$ shaması jaqtılıqtıń tezligi c ǵa teń, $\varepsilon = \rho c^2$.

4. Teris mánisler basımǵa iye hal:

$$P = -\beta\varepsilon, \quad \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = -3(1 - \beta) \frac{da}{a}, \quad \varepsilon \sim a^{3(\beta-1)}.$$

$\beta = 1$ bolǵan jaǵdayda keńeyiwdiń saldarnan energiya ózgermeydi. Al bul jaǵday vakkumniń halına sáykes keledi.

Endi keńeyiwshi Álemler ushın dara jaǵdaylardı qarap shıǵamız.

9-§. Jabıq shań Álem

Bul jaǵdayda $k = 1, P = 0, \Lambda = 0$ bolǵan Álemdi qaraymız. (15)- hám (16)-ańlatpalardan mınalardı iye bolamız:

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} + \frac{c^2}{a^2} = \frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon, \quad \varepsilon = \rho c^2 \equiv \rho_0 c^2, \quad \rho = \rho_* \frac{a_*^3}{a^3}. \quad (17)$$

Jabıq Álemde a shaması onıń radiusı bolıp tabıladı. Al ρ_* menen a_* shamaları t niń belgili mánisindegi Álemniń tıǵızlıǵı menen radiusına teń. Differenciallıq geometriyanıń qatnaslarına sáykes metrikası (12)-ańlatpa túrindegi úsh ólshemniń kólemi tórt ólshemli keńislikte bilayınsha anıqlanadı:

$$V = 2 \cdot 4\pi \int_0^a \frac{r^2 dr}{\sqrt{1 - r^2/a^2}}$$

integralınıń járdeminde anıqlanadı. Mathematica 10 programmalaw tilinde usınday integraldı esaplaw ushın

$$\text{Integrate}\left[8\pi \frac{x^2}{\sqrt{1 - x^2/a^2}}, \{x, 0, a\}\right]$$

yamasa

$$8\pi \int_0^a \frac{x^2}{\sqrt{1 - x^2/a^2}} dx$$

túrindegi ańlatpalardı jazıw kerek. Komp'yuter

$$\text{ConditionalExpression}[2a^3\pi^2, \text{Re}[a] > 0 \& \text{Im}[a] == 0]$$

túrindegi nátiyjeni beredi hám biz kólem V niń $2a^3\pi^2$ shamasına teń ekenligine iye bolamız. $\text{Re}[a] > 0 \& \text{Im}[a] == 0$ túrindegi jazıwlar a niń haqıyqıy bóliminiń nolden úlken, al onıń jormal bóliminiń nolge teń bolıwınıń shárt ekenligin bildiredi. Biz a shamasınıń haqıyqatında da usınday talaplardı qanaatlanıratuǵınıń bilemiz.

Analitikalıq esaplawlar mınalardı beredi

$$\begin{aligned}
 V &= 2 \cdot 4\pi \int_0^a \frac{r^2 dr}{\sqrt{1 - \frac{r^2}{a^2}}} = 2 \cdot 4\pi a^3 \int_0^1 \frac{x^2 dx}{\sqrt{1 - x^2}} = \\
 &= 8\pi a^3 \left(\int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{1 - x^2}} - \int_0^1 \sqrt{1 - x^2} dx \right) = \\
 &= 8\pi a^3 \cdot \frac{1}{2} \left(\arcsin x - x\sqrt{1 - x^2} \right) \Big|_0^1 = 2\pi^2 a^3.
 \end{aligned} \tag{18}$$

Biz bul integraldı integrallağanımızda

$$\begin{aligned}
 \int \sqrt{b^2 - x^2} dx &= \frac{1}{2} \left(b^2 \arcsin \frac{x}{b} + x\sqrt{b^2 - x^2} \right), \\
 \int \sqrt{b^2 + x^2} dx &= \frac{1}{2} \left(b^2 \operatorname{arsh} \frac{x}{b} + x\sqrt{b^2 + x^2} \right), \\
 \int \frac{dx}{\sqrt{b^2 - x^2}} &= \arcsin \frac{x}{b}, \\
 \int \frac{dx}{\sqrt{b^2 + x^2}} &= \operatorname{arsh} \frac{x}{b},
 \end{aligned}$$

kestelik (tablıcalıq) integrallardan paydalandıq.

Bir tekli shań jabıq Álemniń massası

$$M = \rho V = 2\pi^2 GM \rho a^3$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı. Massa keńeyiwdiń barısında ózgeriske ushıramaydı hám sonlıqtan tıgızlıqtıń shaması

$$\rho = \frac{M}{2\pi^2 a^3}$$

formulasınıń járdeminde esaplanadı.

Endi (17)-ańlatpalardan Álemniń radiusınıń $[(a(t))$ funkciyasınıń] waqıttan gárezlilikin tabamız. Bul ańlatpa

$$\frac{da}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi\rho G}{3} a^2 - c^2} = \sqrt{\frac{8\pi G}{3} \frac{M}{2\pi^2 a} - c^2} = \frac{c}{\sqrt{a}} \sqrt{\frac{8\pi GM}{6\pi^2 c^2} - a}. \tag{19}$$

$x = \sqrt{a}$ ózgeriwshisine ótip hám $b^2 = \frac{4GM}{3\pi c^2}$ turaqlısın kirgizip (19)-ańlatpadan

$$x^2 \frac{dx}{dt} = \frac{c}{2} \sqrt{b^2 - x^2} \tag{20}$$

teńlemesine iye bolamız.

Biz (19)-sızıqlı differenciallıq teńlemeni Mathematica 10 tiliniń járdeminde ańsat esaplay alamız. Onıń ushın

$$\text{DSolve}[\{a'[t] == \frac{c}{\sqrt{a[t]}} \sqrt{\frac{8GM}{6\pi c^2} - a[t]}, a[0] == A\}, a[t], t]$$

túrindegi programmanı jazamız hám

$$a[t] \rightarrow \text{InverseFunction} \left[\frac{4iGM \text{Log} \left[-2ic^2\sqrt{3\pi}\sqrt{\#1} + 2c^2\sqrt{\frac{4GM}{c^2} - 3\pi\#1} \right]}{3\sqrt{3}c^2\pi^{3/2}} \right. \\ \left. - \frac{\sqrt{\#1}\sqrt{\frac{4GM}{c^2} - 3\pi\#1}}{3\pi} \& \right] \\ \left[\frac{ct}{\sqrt{3\pi}} + \frac{-3\sqrt{A}c^2\sqrt{\pi}\sqrt{\frac{4GM - 3Ac^2\pi}{c^2}} + 4i\sqrt{3}GM \text{Log}[-2i\sqrt{A}c^2\sqrt{3\pi} + 2c^2\sqrt{\frac{4GM}{c^2} - 3A\pi}]}{9c^2\pi^{3/2}} \right]$$

túrindegi bir sheshimge iye bolamız. SHeshim ekstrapolyaciyalıq InverseFunction funkciya túrinde boladı.

Endi (20)-teńlemini $a = x = 0$ shártin qoyıp

$$ct = \frac{4GM}{3\pi c^2} \arcsin \sqrt{\frac{3\pi c^2 a}{4GM}} - \sqrt{a} \sqrt{\frac{4GM}{3\pi c^2} - a} \quad (21)$$

sheshimin alamız.

(21)-fuknciyadan keńeyiw processinde jabıq Álemniń keńeyiwdiń baslanıwınan keyin

$$t_{max} = \frac{2GM}{3c^2}$$

waqıtı ótkennen soń óziniń eń maksimallıq

$$a_{max} = \frac{4\pi GM}{3\pi c^2}$$

mánisine jetetuǵınlıǵı kórinip tur.

(21)-teńlemini Mathematica 10 tiliniń járdeminde de sheshiw múmkin. Onıń ushın

$$\text{Solve}[ct == \frac{4\pi GM}{3\pi c^2} \text{ArcSin}[\sqrt{\frac{3\pi c^2 a}{4GM}} - \sqrt{a} \sqrt{\frac{4GM}{3\pi c^2} - a}], a]$$

túrindegi komandanı jazıp, teńlemini a shamasına qarata sheshiw kerek boladı.

Eger keńeyiwdiń toqtaytuǵın t_{max} waqıt momentin Álemniń házirgi waqıttaǵı jasına teńesek (yaǵnıy $5 \cdot 10^{17}$ s dep alsaq), onda bul massanıń mánisi

$$M = \frac{3c^2 t_{max}}{2G} \approx 10^{56} g$$

shamasına teń boladı. Al maksimallıq radius bolsa metagalaktikanıń házirgi waqıttaǵı radiusına teń boladı:

$$a_{max} = \frac{4\pi GM}{3\pi c^2} = a_{hor} = ct_{max} = 1,5 \cdot 10^{28} sm = 5000 \text{ Megaparsek.}$$

Biz 1 parsektiń (pk) shama menen $3 \cdot 10^{18}$ sm ge teń ekenligin eske salıp ótemiz.

10-§. Tegis Álem

$k = 0$ hám $P = \varepsilon/3$ hal teńlemesine iye modeldi qaraymız. Bunday jaǵdayda Álem keńislikte sheksiz, sonlıqtan $a(t)$ masshtablıq faktordıń ornın iyeleydi. (15)-hám (16)-formulalardan

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} = \frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon + \frac{\Lambda}{3} c^2, \quad \varepsilon = \rho c^2 = \rho_* c^2 \frac{a_*^4}{a^4} \quad (22)$$

añlatpalarına iye bolamız. (22)-teńlemini

$$a \frac{da}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho_*}{3} a_*^4 + \frac{\Lambda}{3} c^2 a^4} \quad (23)$$

túrine alıp keliw múmkin. Bul jaǵdayda da $x = a^2$ ózgeriwshisin paydalanıp (23)-teńlemini

$$\frac{dx}{dt} = 2 \sqrt{\frac{8\pi G \rho_*}{3} a_*^4 + \frac{\Lambda}{3} c^2 x^2} \quad (24)$$

túrine alıp kelemiz. Bul teńlemini kompýuterdiń járdeminde de, analitikalıq túrde de, sanlı túrde de sheshiw múmkin. Biz házir analitikalıq túrde sheshiwge itibar beremiz, al alınǵan funkciyanı grafikalıq túrde kórsetiwdi kompýuterde ámelge asıramız.

(24)-teńleminiń analitikalıq sheshimi

$$a^2 = a_*^2 \sqrt{\frac{8\pi G \rho_*}{\Lambda c^2}} sh \left[2 \sqrt{\frac{\Lambda}{3}} ct \right] \quad (25)$$

túrinde jazıladı. Bul sheshimde Úlken partlanıwdıń baslıǵısh shárti $t = 0$ waqıt momentindegi $a = x = 0$ esapqa alınǵan. (25)-sheshimde a ushın eki mánistiń alınatuǵınlıǵı kórinip tur, yaǵnıy

$$a_{1,2} = \pm \sqrt{a_*^2 \sqrt{\frac{8\pi G \rho_*}{\Lambda c^2}} sh \left[2 \sqrt{\frac{\Lambda}{3}} ct \right]}.$$

Biz Úlken partlanıwǵa jaqın hám onnan ádewir uzaq bolǵan waqıtlardaǵı asimptotalıq sheshimlerdi úyrenemiz. $t, a \rightarrow 0$ shárti orınlanganda

$$\arcsin x = x + \frac{x^3}{6}, \quad sh x = x + \frac{x^3}{6}$$

teńlikleriniń orınlı bolatuǵınlıǵın esapqa alamız. Bunday jaǵdayda (21)-añlatpadan jabıq Álem ushın

$$a^3 = \frac{3}{\pi} G M t^2, \quad \rho = \frac{3}{6\pi G t^2} \quad (26)$$

añlatpaların alamız. Al (25)- hám (22)-añlatpalardan ashıq Álem ushın

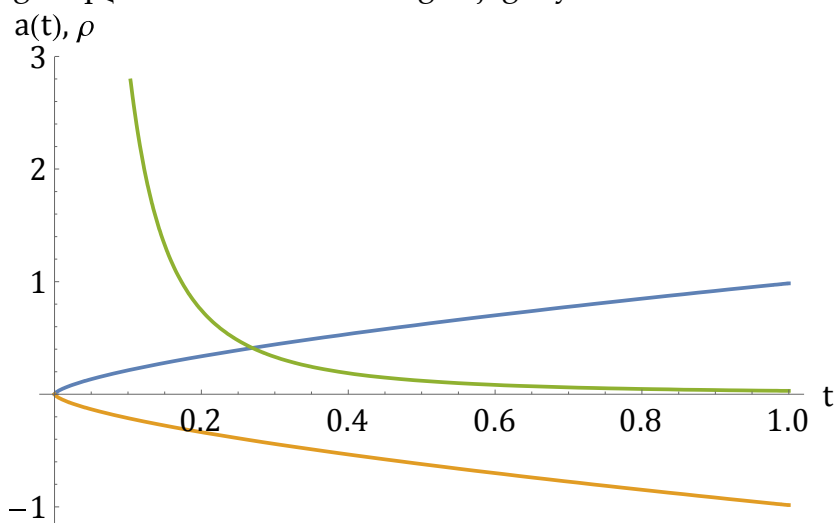
$$a^2 = a_*^2 t \sqrt{\frac{32\pi}{3} G \rho_*}, \quad \rho = \frac{3}{32\pi G t^2} \quad (27)$$

formulaların keltirip shıǵarıw múmkin.

(26)-teńleme a shamasına qarata mınaday eki haqıyqıy hám bir kompleksli sheshimlerge iye:

$$\begin{aligned} a &\rightarrow -G^{1/3} M^{1/3} \left(-\frac{3}{\pi}\right)^{1/3} t^{2/3} \\ a &\rightarrow G^{1/3} M^{1/3} \left(\frac{3}{\pi}\right)^{1/3} t^{2/3} \\ a &\rightarrow (-1)^{2/3} G^{1/3} M^{1/3} \left(\frac{3}{\pi}\right)^{1/3} t^{2/3} \end{aligned}$$

Úshinshi sheshim kompleksli bolǵanlıqtan onıń grafigi qurılmaydı. Al dáslepki eki sheshim hám tıǵızlıq ρ ushın $G = M = 1$ bolǵan jaǵdaylarda



túrindegi grafikti alamız.

(26)-sheshim tegis hám shań menen tolǵan Álem ushın dál sheshim bolıp tabıladı [sheshimdi (17)-ańlatpalardan alatuǵınlıǵın eske salamaz]. Al (22)-ańlatpalardan (27)-sheshimniń ulıtrarelyativistik hal teńlemesine hám nolge teń emes Λ turaqlısına iye tegis Álem ushın dál sheshim ekenligin kóremiz. Solay etip barlıq sheshimler k menen Λ shamalarınan gárezsiz tegis Álem ushın alınǵan sheshim menen birdey boladı (tek hal teńlemesinen gárezli bolatuǵınlıǵın atap ótemiz).

Waqıttıń úlken mánislerinde (yaǵnıy $t \rightarrow \infty$ sheklerinde) Λ aǵzasına iye Álem ushın barlıq sheshimlerdeń asimptotikası eksponenciallıq nızam menen júretuǵın tez keńeyiwdi óz ishine aladı. Mısalı x tıń úlken mánislerindegi

$$\operatorname{sh} x = \frac{e^x}{2}$$

asimptotikasın esapqa alǵanda (25)-ańlatpadan mına ańlatpalardı alamız:

$$\begin{aligned} a^2 &= \frac{a_*^2}{2} \sqrt{\frac{8\pi G \rho_*}{\Lambda c^2}} \exp\left(2 \sqrt{\frac{\Lambda}{3}} ct\right), \\ \rho &= \frac{\Lambda c^2}{2\pi G} \exp\left(-4 \sqrt{\frac{\Lambda}{3}} ct\right). \end{aligned} \quad (28)$$

11-§. Bazı bir mısallar

1. Ashıq shańnan turatıǵın Álemniń $k = -1, P = 0, \Lambda = 0$ bolǵan jaǵdaydaǵı keńeyiw nızamın tabamız.

SHeshimi:

(15)- hám (16)-teńlemelerden

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} - \frac{c^2}{a^2} = \frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon, \quad \varepsilon = \rho c^2 \equiv \rho_0 c^2, \quad \rho = \rho_* \frac{a_*^3}{a^3} \quad (29)$$

ańlatpaların alamız. Endi (29)-ańlatpalardı mına túrde jazamız:

$$\frac{da}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi G\rho}{3}a^2 + c^2} = \sqrt{\frac{8\pi G\rho_*a_*^3}{3} \frac{a^3}{a} + c^2} = \frac{c}{\sqrt{a}} \sqrt{\frac{8\pi G\rho_*a_*^3}{3c^2} + a}. \quad (30)$$

$x = \sqrt{a}$ ózgeriwshisine ótip hám $b^2 = \frac{8\pi G\rho_*a_*^3}{3c^2}$ belgilewin paydalanıp (30)-ańlatpalardan

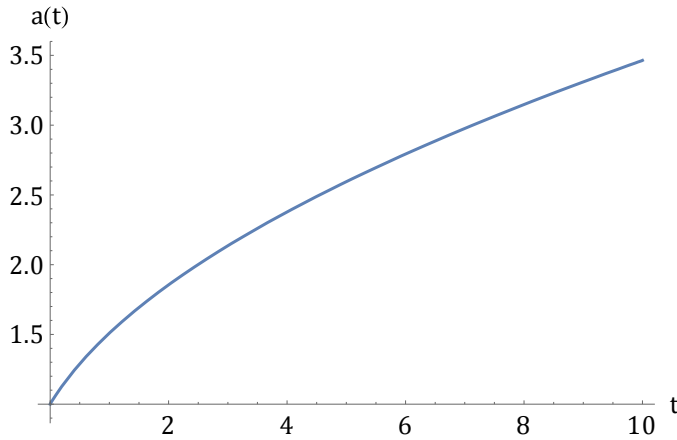
$$x^2 \frac{dx}{dt} = \frac{c}{2} \sqrt{b^2 - x^2} \quad (31)$$

teńlemesin alamız.

Mathematica 10 tili (31)-túrindegi teńleme ushın

$$x[t] \rightarrow \text{InverseFunction}\left[-\frac{1}{2}b^2 \text{Log}\left[\#1 + \sqrt{b^2 + \#1^2}\right] + \frac{1}{2}\#1\sqrt{b^2 + \#1^2}\right]\left[\frac{ct}{2} + \frac{1}{2}(a\sqrt{a^2 + b^2} - b^2 \text{Log}[a + \sqrt{a^2 + b^2}])\right]$$

túrindegi sheshimdi hám $a = b = c = 1$ bolǵan jaǵdayda



túrindegi grafikti beredi.

(30)-teńlemeni Úlken partlanıwdıń $t = 0$ waqıt momentinde $a = x = 0$ dáslepki shártin paydalanıp

$$ct = \sqrt{a} \sqrt{\frac{8\pi G\rho_*a_*^3}{3} \frac{a^3}{c^2} + a} - \frac{8\pi G\rho_*a_*^3}{3} \frac{a^3}{c^2} \text{arsh} \sqrt{\frac{3c^2a}{8\pi G\rho_*a_*^3}} \quad (32)$$

teńlemesin alamız. Al (35)- hám (32)-ańlatpalardan kishi hám úlken t lardaǵı asimptotikalardı alamız:

$$ct \approx \sqrt{\frac{3c^2}{8\pi G\rho_*a_*^3} \frac{2}{3} a^{\frac{3}{2}}}, \quad a \approx \left(\frac{8\pi G\rho_*a_*^3}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{3t}{2}\right)^{\frac{2}{3}}. \quad (33)$$

$$t \rightarrow 0 \text{ sheginde } \rho = \frac{1}{6\pi Gt^2}, \quad (34)$$

$$t \rightarrow \infty \text{ sheginde } a \approx ct, \quad \rho = \rho_* \frac{a_*^3}{c^3 t^3}.$$

2. Másele. a) $P = 0$, b) $P = \frac{\varepsilon}{3}$, c) $P = \varepsilon$, d) $P = -\beta\varepsilon$ túrindegi hal teńlemeleri hám $k = 0, \Lambda = 0$ bolǵan jaǵdaylar ushın tegis Álem ushın keńeyiw nızamların tabıw kerek. Eskertiw: $\beta = 1, P = -\varepsilon$ bolǵan jaǵday $\Lambda = \frac{8\pi G\varepsilon}{c^4}$ effektivlik kosmologiyalıq turaqlınıń bolıwı menen ekvivalent.

SHeshimleri:

$$a) P = 0, \quad \rho \sim a^{-3}, \quad \frac{da}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho}{3} a^2} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho_* a_*^3}{3 a}}, \quad (35)$$

$$a = \left(\frac{8\pi G \rho_* a_*^3}{3} \right)^{1/3} \left(\frac{3t}{2} \right)^{2/3}, \quad \rho = \frac{1}{6\pi G t^2}.$$

$$b) P = \frac{\varepsilon}{3}, \quad \rho \sim a^{-4}, \quad \frac{da}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho}{3} a^2} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho_* a_*^4}{3 a^2}}, \quad (36)$$

$$a = \left(\frac{32\pi G \rho_* a_*^4 t^2}{3} \right)^{1/4}, \quad \rho = \frac{3}{32\pi G t^2}.$$

$$c) P = \varepsilon, \quad \rho \sim a^{-6}, \quad \frac{da}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho}{3} a^2} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho_* a_*^6}{3 a^4}}, \quad (37)$$

$$a = (24\pi G \rho_* a_*^6 t^2)^{1/6}, \quad \rho = \frac{1}{24\pi G t^2}.$$

$$d) P = -\beta\varepsilon, \quad \rho \sim a^{3(\beta-1)},$$

$$\frac{da}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho}{3} a^2} = \sqrt{\frac{8\pi G \rho_* a_*^{3(1-\beta)}}{3 a^{3(1-\beta)}}}, \quad (38)$$

$$a = \left[\frac{3}{2} (1-\beta) \right]^{\frac{2}{3(1-\beta)}} \left[\frac{8\pi G}{3} \rho_* a_*^{3(1-\beta)} t^2 \right]^{\frac{1}{3(1-\beta)}},$$

$$\rho = \frac{1}{6\pi G t^2 (1-\beta)^2}.$$

1. Másele.

Bir tekli shańğa tolğan ($P = 0$), massası M ge teń shar berilgen. SHardıń radiusınıń baslanğısh mánisi R_0 iqtıyarlı túrde berilgen. SHardıń betindegi tezliktiń mánisi V_0 de iqtıyarlı túrde berilgen. Tezliktiń bólistiriliwi

$$v(r, t) = V(t) \frac{r}{R}$$

shar keńeygende hám qıslğanda tıgızlıqtıń bir tekniligin saqlaydı. Usı maǵlıwmatlar tiykarında $R(t)$ shardıń radiusınıń hám onıń betindegi tezliktiń $V(t)$ ózgeriw nızamın tabıńız

SHeshimi: SHardıń tıgızlıǵınıń bir tekniligi saqlanğanda onıń betindegi qozǵalıstıń teńlemesin qaraw jetkilikli:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{GM}{R^2}. \quad (39)$$

Bul qozǵalıstıń teńlemesi E birinshi integralına iye boladı:

$$E = \frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{R}, \quad \frac{dR}{dt} = \left(2 \frac{GM}{R} + 2E \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (40)$$

$$E = \frac{V_0^2}{2} - \frac{GM}{R_0}.$$

(40)-teńlemenıń sheshimi E niń shamasına baylanıslı hár qıylı túрге iye boladı:

1). $E = 0$ bolğanda

$$R = \left(\frac{9GM}{2} \right)^{\frac{1}{3}} t^{\frac{2}{3}}, \quad \rho = \frac{3M}{4\pi R^3} = \frac{1}{6\pi G t^2}. \quad (41)$$

$$1). E < 0 \text{ bolğanda} \\ R_{max} \arcsin \sqrt{\frac{R}{R_{max}}} - \sqrt{R} \sqrt{R_{max} - R} = \sqrt{\frac{2GM}{R_{max}}} t. \quad (42)$$

Bul ańlatpalarda $t = 0$ bolğanda $R = 0$ (singulyarlıq) teńligi orınlanadı. R_{max} arqalı $V = 0$ shárti orınlangandağı shardıń maksimum radiusı belgilengen. $R_{max} = \frac{GM}{|R|}$. (42)-sheshimde radius dáwirli túrde 0 den R_{max} ğa shekem ózgeredi. Dáwiri

$$T = \pi \sqrt{\frac{R_{max}^3}{2GM}}$$

shamasına teń. (42)-sheshimniń singulyarlıq $R = 0$ arqalı dáwirli túrde ótetuǵınlıǵın atap ótemiz.

$$E > 0 \text{ bolğanda:} \\ \sqrt{R} \sqrt{\frac{GM}{E} + R} - \frac{GM}{E} \operatorname{arsh} \sqrt{\frac{RE}{GM}} = \sqrt{2Et}. \quad (43)$$

$t = 0$ hám $R = 0$ shamaların qasında (42)- hám (43)-sheshimler (41)-teńlemenin sheshimine sáykes keletuǵın birdey asimptotalarǵa iye boladı. Al t nuń úlken mánislerinde (43)-teńlemeden $R = \sqrt{2Et}$ sheshimin alamız. Bul nátiyje betiniń tezligi turaqlı bolǵan shardıń keńeyiwine sáykes keledi.

Ulıwmalıq juwmaqlar

1. Álemniń baqlanatuǵın bóliminiń qurılısı boyınsha házirgi waqıtlardağı áhmiyetli bolǵan relyativistlik astrofizika menen kosmologiyanıń bir qatar máseleleri bayanlangan. Atap aytqanda Álemniń parametrleri, Fridman tárepinen dóretilgen keńeyiwshi álem haqqındağı tálimattıń tiykarları, Álemniń keńeyiwiniń dinamikası, kosmologiyalıq máselelerdi Mathematica kompýuterlik algebra sistemasınıń 10-versiyasınıń járdeminde sheshiwdiń máseleleri tallangan.

2. Stacionar emes bir tekli hám izotrop Álem ushın Fridman tárepinen usınılǵan sheshimler tallangan hám keltirip shıǵarılǵan maydan, energiya hám úzilmeslik teńlemelerin jabıq shań Álem, tegis Álem ushın Mathematica kompýuterlik algebra sistemasınıń járdeminde sheshiw hám alıńǵan nátiyelerdi fizikalıq jaqtan interpretaciyalaw isleri orınlangan.

3. Mathematica kompýuterlik algebra sistemasınıń 10-versiyasınıń járdeminde Fridman Álemine baylanıslı bolǵan jańa úsh másele sheshilgen.

ÁDEBIYATLAR DIZIMI

1. Bakina V. I. Kosmologicheskoe uchenie Geraklita Efesskogo // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser.7. Filosofiya.. 1998.№ 4. S.42-55.
2. Bakina V. I. Kosmologicheskie ucheniya rannegrecheskikh filosofov: Ucheb. posobie. M., Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta. 1999. –104 s.
3. Gavryushin N. K. Kosmologicheskiy traktat XV veka kak pamyatnik drevnerusskogo estestvoznaniya // Pamyatniki nauki i texniki. 1981. Moskva. Izdatel'stvo "Nauka". 1981. S. 183-197.
4. Loren Grexem Glava XII Kosmologiya i kosmogoniya iz knigi Estestvoznanie, filosofiya i nauki o chelovecheskom povedenii v Sovetskom Soyuze.
5. Kopernik N. O vrashcheniyax nebesnykh sfer. Malyy kommentariy. Poslanie protiv Vernera. Upsal'skaya zapis' / Perevod I. N. Veselovskogo. M.: Nauka, 1964. 646 s. (Klassiki nauki). Jitomirskiy S. V. Geliocentricheskaya gipoteza Aristarxa Samosskogo i antichnaya kosmologiya. // Istoriko-astronomicheskie issledovaniya. M., 1986. Vyp. 18. S. 151–160. Kopernik. Galiley. Kepler. Laplas i Eyler. Kettle: Biogr. povestvovaniya / Sost., obsh. red. N.F.Boldireva; Poslesl. A.F.Arendarya. Chelyabinsk: Ural. 1997. 456 s.
6. Idlis G. M. Revolyucii v astronomii, fizike i kosmologii. M., 1985. 232 s.
7. Koure A. Ot zamknutogo mira k beskonечноy vselennoy : [per. s angl.]. 2001.
8. Kosmologicheskie proizvedeniya v knijnosti Drevney Rusi. Ч. II: Teksti ploskostno-komarnoy i drugix kosmologicheskix traditsiy" // Seriya «Pamyatniki drevnerusskoy misli». Vyp. IV(2) / Otv. red.: V. V. Mil'kov, S. M. Polyanskiy. SPb.: Izdat. dom «Mir'», 2008 (640 s. (50B7 a.l.)).
9. A.Eynshteyn. Sobranie nauchnykh trudov. M.: Nauka, 1965. T. 1. S. 601-612. 700 s. Albert Einstein. Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie. Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte, 1917 (part 1), 142–152.
10. Friedmann, Alexander (1922), "Über die Krümmung des Raumes", Zeitschrift für Physik A, 10 (1) p. 377–386.
11. Vaynberg S. Pervie tri minuti: sovremenniy vzglyad na proisxojdenie Vselennoy. Ijevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», 2000, 272 s.
12. www.astronet.ru/db/msg/1162151.
13. Bennett, C. L.; et al. (2013). "Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Final Maps and Results". Astrophysical Journal Supplement. 208(2): 20. arXiv:1212.5225.
14. Planck Collaboration. Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. arXiv:1303.5076.
15. http://cosmo.labrate.ru/cambrige/bb_history.html
16. Gratton Raffaele G., Fusi Pecci Flavio, Carretta Eugenio i dr Ages of Globular Clusters from HIPPARCOS Parallaxes of Local Subdwarfs. Astrophysical Journal, 1997.
17. Peterson Charles J. Ages of globular clusters. Astronomical Society of the Pacific, 1987.
18. Harvey B. Richer et al. Hubble Space Telescope Observations of White Dwarfs in the Globular Cluster M4. Astrophysical Journal Letters, 1995.

19. Moehler S., Bono G. White Dwarfs in Globular Clusters. 2008.
20. Sbordone, L.; Bonifacio, P.; Caffau, E. Lithium abundances in extremely metal-poor turn-off stars. arXiv:2016.7008v1 [astro-ph.Sr] 29 Jun 2012.
21. Jarosik, N., et.al. (WMAP Collaboration). Seven-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Sky Maps, Systematic Errors, and Basic Results (PDF). nasa.gov.
22. Friedmann Alexander. "Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes", Zeitschrift für Physik A. 1924. 21 (1): 326–332.
23. Фок V.A. «Работы А. А. Фридмана по теории тяготения Эйнштейна». UFN. LXXX том. Вып 3. 1963. Стр. 353–356.
24. Perlmutter, S. et al. 1999, *Astrophysical Journal*, 517, 565.
25. Riess, A. et al. 1998, *Astronomical Journal*, 116, 1009.
26. G.S.Bisnovatyy-Kogan. «Релятивистская астрофизика и физическая космология». М. : «KRASAND», 2010. 364 с.
27. Francis, Matthew. First Planck results: the Universe is still weird and interesting. Arstechnica (22 March 2013).
- 28 https://ru.wikipedia.org/wiki/Vseleonnaya_Fridmana
- 29 https://en.wikipedia.org/wiki/Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker_metric
- 30 D.S. Gorbunov, V.A. Rubakov. *Vvedenie v teoriyu ranney Vseleonnay: Teoriya goryachego Bol'shogo vzriva*. Moskva: LKI, 2008. 552 с.
31. Gorbunov D. S., Rubakov V. A. *Vvedenie v teoriyu ranney Vseleonnay: Kosmologicheskie vozmutsheniya. Inflyacionnaya teoriya*. М.: KRASAND, 2010. 568 с., (angl. per. Gorbunov D. S., Rubakov V. A. *Introduction to the Theory of the Early Universe: Cosmological Perturbations and Inflationary Theory*. Singapore: World Scientific, 2011)
32. Andrew Liddle. *An Introduction to Modern Cosmology* (2nd ed.). London: Wiley, 2003.
33. Longair M. S. 14.7. Variations on a Theme of Cold Dark Matter // *Galaxy Formation*. Berlin: Springer, 2008. P. 415-419. 760 p.
34. Lemaître Georges (1931), "Expansion of the universe, A homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extragalactic nebulae", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 91: 483–490. Lemaître, Georges (1927), "Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques", *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, A47: 49–56, Bibcode: 1927.
35. Lemaître, Georges (1933), "l'Univers en expansion", *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, A53: 51–85, Bibcode: 1933.
36. Robertson H. P. (1935), "Kinematics and world structure", *Astrophysical Journal*, 82: 284–301, Bibcode: 1935.
37. Robertson, H. P. (1936), "Kinematics and world structure II", *Astrophysical Journal*, 83: 187–201, Bibcode:1936.
38. Robertson, H. P. (1936), "Kinematics and world structure III", *Astrophysical Journal*, 83: 257–271, Bibcode:1936.

39. Walker, A. G. (1937), "On Milne's theory of world-structure", Proceedings of the London Mathematical Society 2, 42 (1): 90–127.

40. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CosmoDistanceMeasures_z_to_1e4.png?uselang=ru.

41. B.G.Kuzneciv. Galileo Galiley. Izdatel'stvo "Nauka". Moskva. 1964. 328 s.

42. [https://en.wikipedia.org/wiki/Distance_measures_\(cosmology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Distance_measures_(cosmology)).