

**Ўзбекистан Республикасы Жоқары ҳәм орта  
арнаўлы билим министрлиги**

**Бердақ атындағы Қарақалпақ мәмлекетлик  
университети**

**Физика-техника факультети**

**Улыўма физика кафедрасы**

**Б.А.Абдикамалов**

**АСТРОНОМИЯ ҲӘМ АСТРОФИЗИКА  
ТИЙКАРЛАРЫ**

**(Лекциялар текстлери ҳәм методикалық көрсетпелер)**

Интернеттеги адреси [www.abdikamalov.narod.ru](http://www.abdikamalov.narod.ru)

Нөкис - 2008

## Мазмуну

Кирисиў.	3
Әлем санлар менен.	5
Астрономия ҳәм астрофизиканың қысқаша тарийхы.	10
Астрономияның бөлимлери.	12
Әлемнің қурылысы ҳаққында қысқаша очерк.	12
Әлемнің масштаблары.	13
Пүткил дүньялық тартылыс ызамаы – астрономияның бас ызамаы сыпатында.	17
Планеталардың қозғалыс ызамлары.	19
Кеплер ызамлары.	21
Орбиталар элементлери.	22
Шеңбер тәризли орбита бойынша қозғалыс.	23
Эллипс тәризли орбита бойынша қозғалыс.	24
Парабола тәризли орбита бойынша қозғалыс.	26
Гиперболалық орбита бойынша қозғалыс.	26
Кеплер ызамлары ҳәм аспан денелериниң массаларын анықлаў.	27
Жер.	29
Жердиң айланыўы.	30
Жердиң дәлирек формасы.	31
Жердиң массасы.	32
Сфералық координаталар системасы ҳәм аспан сферасы.	33
Географиялық координаталар.	36
Горизонталлық координаталар системасы.	37
Экваторлық координаталар системасы ҳәм аспан сферасының суткалық айланысы.	38
Қуяш системасының дүзилиси.	42
Қуяш системасының ағзалары ҳәм өлшемлери	44
Планеталардың конфигурациялары ҳәм көриниў шәртлери	45
Планеталардың Қуяш этирапында қозғалыслары. Олардың дәўирлери	46
Қуяш системасы денелерине шекемги қашықлықларды анықлаў	47
Астрономиядағы узынлық бирликлери	48
Қуяш системасы денелериниң өлшемлерин анықлаў	49
Айдың қозғалысы ҳәм фазалары	49
Қуяш пенен Айдың тутылыўлары	51
Космонавтика элементлери.	52
Космонавтика ҳәм оның басқа илимлер менен байланысы	52
Ушыў барысында космослық аппаратқа тәсир етиўши күшлер	55
Салмақсызлық	55
Орайлық тартылыс майданы	56
Тәсир сферасы ҳәм космослық аппаратлардың траекторияларын жуўық есаплаў	60
Жердиң жасалма жолдасларының орбиталарының элементлери	61
Орбитадағы маневрлар	64
Планеталар ҳәм олардың жолдаслары.	72
Меркурий	72
Венера	74
Жер – планета	77
Марс	82
Юпитер	86
Сатурн	90
Уран	93
Нептун	94
Киши планеталар	95
Кометалар	99
Жулдызлар.	108
Эйнштейнниң гравитация теориясын айырым астрофизикалық мәселелерди шешиў ушын қолланыў.	124
Космология.	150
Ахмед әл-Ферғаний	177
Әл-Беруний	179
Улығбек ҳәм астрономия	186

## Киpисиў

Астрономия Әлем ҳаққындағы илим болып, аспан денелери менен олардың системаларының қозғалысларын, қурылысын, пайда болыўын хәм раўажланыўын изертлейди.

Астрономия Қуяшты хәм жулдызларды, планеталар менен олардың жолдасларын, кометаларды хәм метеорлық денелерди, думанлықларды, жулдызлар системаларын хәм жулдызлар менен планеталардың арасындағы кеңисликти толтырып туратуғын материяны изертлейди.

Аспан денелериниң қурылысы менен раўажланыўын, олардың ийелеп турған орынларын, кеңисликтеги қозғалысларын изертлей отырып астрономия Әлемниң тутасы менен алғандағы қурылысы менен раўажланыўы ҳаққындағы көз-қарасларды пайда етеди. «Астрономия» сөзи еки грек сөзинен келип шыққан: «астрон» - жулдыз хәм «номос» - нызам.

Аспан денелерин изертлегенде астрономия өз алдына избе-из шешилиўди талап ететуғын үш тийкарғы мәселени қояды:

1. Аспан денелериниң кеңисликтеги көринетуғын, ал оннан кейин ҳақыйқый аўхаллары менен қозғалысларын үйрениў, олардың өлшемлери менен формаларын анықлаў.

2. Аспан денелериниң физикалық қурылысын, яғный химиялық қурамы менен аспан денесиниң бети хәм ишиндеги физикалық шараятларды үйрениў (тығызлық, температуралар ҳ.т.б.).

3. Айырым аспан денелерин менен олардың системаларының пайда болыўы менен раўажланыў мәселелерин шешиў.

Биринши мәселе әйемги заманларда басланған бақлаўларды даўам етиў хәм 300 жылдан бери белгили механиканың нызамлары тийкарында шешиледи. Сонлықтан астрономияның бул областында әсиресе Жерге жақын объектлер ушын ең бай мағлыўматлар жыйнағына ийемиз

Аспан денелериниң физикалық қурылыслары ҳаққында биз кемирек билемиз. Екинши мәселеге тийисли сораўларға жуўап бериў шама менен жүз жылдай бурын, ал тийкарғы машқалаларды шешиў тек соңғы жыллары басланды.

Үшинши мәселе дәслепки еки мәселеден қыйынырақ. Оны шешиў ушын жыйналған материаллар еле жеткиликли емес. Сонлықтан астрономия бойынша бизиң билимлеримиз улыўмалық көз-қараслар хәм ҳақыйқатлыққа уқсас гипотезалар менен шекленеди.

Енди биз астрономия илими бойынша XX әсирдиң жуўмақлары менен XXI әсирде шешилиўи керек болған мәселелер ҳаққында тоқтап өтемиз.

### **XX әсирдиң жуўмақлары:**

Планеталық астрономияда:

- көп мың жыллар бурынғы хәм кейинги планеталардың ийелеп турған орынларын есаплаўға мүмкиншилик беретуғын планеталардың қозғалысының релятивистлик теориясы дүзилди;

- барлық планеталардың тәбияты улыўма түрде изертленди, ал Айдың, Венераның хәм Марстың бетлери тиккелей изертленди;

- астероидлар менен кометалардың ядролары сырлы объектлер болыўдан қалды, оларды тиккелей изертлеўлер енди басланады;

- басқа жулдызлардағы платенаталық системалар ашылды.

Бирақ ҳәзирше:

- космогонияның көплеген дара машқалалары шешилген жоқ: Ай қалай қәлиплести, планеталар-гигантлар этирапындағы сақыйналар қалай пайда болған, неликтен Венера жүдә әстелик пенен айланады хәм қарама-қарсы тәрепке қарай?

- бас машқаланың шешими жоқ: Қуяш системасы қалай пайда болды?

Жулдызлар астрономиясында:

- жұлдызлардың ишки дүзилисинің теориясы дөретилди; жұлдызлардың сыртқы қатламаларының вибрациясы (гелиосейсмология) хәм термоядролық реакциялардың ақыбетінде тууылатуғын нейтриноларды регистрациялау жолы менен жұлдызлардың ишки курылысын изертлеу методлары табылды;

- жұлдызлардың пайда болуы менен эволюциясының улыма түрдеги картинасы дөретилди;

- жұлдызлар эволюциясының қалдықтары табылды хәм үйренилди - ақ карликлер хәм теориялық жоллар менен болжанған нейтронлық жұлдызлар.

Бирақ хәзирше:

- Куяштың барлық бақланатуғын қасиетлерин (мысалы ядродан шығатуғын нейтринолардың ағымын) түсіндіретуғын Куяштың анық теориясы еле дөретилген жоқ;

- жұлдызлар активлигинің пайда болуын дәл түсіндіретуғын теория жоқ. Мысалы, аса жаңа жұлдызлардың партланыу себептери еле ақырына шекем түсіндирилмеди; неликтен базы бир жұлдызлардың этирапынан газдың жиңишке ағысы шығарылады. Аспанның хәр қыйлы бағытларынан бир қәлипте келетуғын гамма-нурланыудың қысқа уақытлық пайда болуы айрықша жумбақ. Соның менен бирге олардың не менен байланыслы екенлиги де (жұлдызлар ямаса басқа объектлер), олардың бизден қанша қашықтықта жайласқанлықтары да айқын емес.

Галактикалық хәм галактикадан тыс астрономияда:

- Галактиканың хәм оның тийкаргы бақланатуғын кураушыларының курылысы улыма түрде анықланған;

- жұлдызлар аралық газ хәм шаң менен бизден жасырынып турған Галактиканың ядросының курылысы үйренилди;

- Әлемдеги ең узақ болған объектлерге шекемги қашықтықларды өлшеу усыллары табылды;

- галактикалардың тийкаргы типтери менен олардың жыйынларының курылысы үйренилди;

- галактикалар жыйынларының тәртипсиз түрде тарқалмағанлығы, ал олардың Әлемнің ири масштаблы ячейкалық курылысын пайда ететуғынлығы табылды.

Бирақ хәзирше:

- жасырын масса машқаласы шешилген жоқ, галактикалар менен олардың жыйынларының гравитациялық майданы оларда бақланатуғын затлардың гравитациялық майданынан әдеуір зыят. Әлемнің затларының басым көпшилиги астрономлардың нәзеринен усы уақытларға шекем жасырынып турған болуы итимал;

- галактикалардың пайда болуының бирден бир теориясы жоқ;

- космологияның тийкаргы машқалалары шешилген жоқ: Әлемнің пайда болуының тамамланған физикалық теориясы жоқ хәм оның болажақтағы тәдри еле анық емес.

XX әсир астрономиясының жуумақлары усылардан ибарат.

XXI әсирде шешилиу керек мәселелер:

- Жақын жұлдызлар Жер типіндеги планеталарға ийе ме хәм сол планеталарда биосфералар бар ма (оларда тиришилик бар ма)?

- Жұлдызлардың қәлиплесиуине қандай процесслер мүмкиншилик береді?

- Углерод, кислород сыяқлы биологиялық әхмийетли элементлер Галактикада қалай пайда болады хәм олар қалайынша тарқалған?

- Қара құрымлар актив галактикалар менен квазарлардың энергиясының дереги болып табылама?

- Галактикалар қашан хәм қай жерде қәлиплести?

- Әлем шексиз кеңейе бере ме ямаса оның кеңейиу қысылу менен алмаса ма?

Бирақ жаңа әулад астрономлардың тийкаргы дыққатының жоқарыда келтирилген машқалаларға қаратылмауы да итимал. Хәзирги күнтери нейтринолық хәм гравитациялық-толқынлық астрономия өзлеринің дәслепки нық қәдемтерин қоймақта.

Жигирмалаған жыллардан кейін олардың Әлемнің жаңа бетін ашатуғынлығының итималлығы жоқары.

Қызғын рауажланыуына қармастан астрономияның бір өзгешелигі өзгериссиз қалады. Оның дыққатының предмети – Жердегі қалеген орыннан қарауға хәм үйрениуіге мүмкин болған жулдыз аспаны. Аспан бәрше ушын бір хәм хәр бир адамның ықласы болса оны үйрениуі мүмкин. Хәтте хәзирги күнлери де (XXI әсирдин басында) астроном-ышқыпазлар бақлау астрономиясының базы бир тарауларына өзлеринин үлеслерин қоспақта. Бул тек илимге үлес болып қалмастан, сол астроном-ышқыпазлардың өзлери ушын да оғада үлкен хәм басқа хеш нәрсе менен салыстырыуға болмайтуғын кууаныш болып табылады.

## Әлем санлар менен

### Фундаменталлық турақлылар

Гравитация турақлысы	$6.67 \cdot 10^{-8}$	$\text{См}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$
Вакуумдегі жақтылықтың тезлиги	$3.00 \cdot 10^{10}$	см/с
Планк турақлысы	$6.63 \cdot 10^{-27}$	эрг с

### Атом ядролары

Протонның өлшеми	$0.8 \cdot 10^{-13}$	см
Протонның массасы	$1.67 \cdot 10^{-24}$	г
Протонның заряды	$4.8 \cdot 10^{-10}$	СГСЭ бирл.
Ядролық заттың орташа тығызлығы	$2 \cdot 10^{14}$	г/см <sup>3</sup>
1 эВ энергия бирлиги	$1.6 \cdot 10^{-12}$	эрг
Ядроның хәр бир нуклон ушын салыстырмалы байланыс энергиясының характерли шамасы	$7 \div 8$	МэВ
Протонның массасы / Электронның массасы	1836	
Массаның атомлық бирлиги	(12С ядро-сы массасы)/12	
Массаның атомлық бирлигинин тынышлық энергиясы	931	МэВ
Электронның тынышлықтағы энергиясы	0.511	МэВ

### Атомлар хәм фотонлар

Биринши Бор орбитасының радиусы	$0.5 \cdot 10^{-8}$	см
Көзге көринетуғын жақтылықтың толқын узынлығы (шамасының тәртиби)	$5 \cdot 10^{-5}$ 5000	см ангстрем
Тийкарғы халда турған водород атомының ионизация энергиясы	13.6	эВ
Хәр қыйлы атомлардың ионизация энергиялары	$5 \div 20$	эВ
Больцман турақлысы	$1.38 \cdot 10^{-16}$	эрг/К

## Адам хәм адамзат

Адамның характерли сызықлы өлшеми	100	см
Адам ушын характерли масса	105	г
Адам өмириниң характерли узақлығы	$2 \cdot 10^9$	с
Адам денесиниң тығызлығы	1	г/см <sup>3</sup>
Адам денесиниң химиялық қурамы (массасы бойынша)		
кислород	65%	
углерод	18%	
водород	17%	
басқа элементлердиң барлығын қосқанда	1% тен кем	
Энергия шығарыу темпи	$10^4$	эрг/(г с)
Ең киши массаны сезиу шеги	0.1	г
Адамның сезиу органларының ең киши ўақытты сезиу шеги	0.1	с
Көздиң сезиуиниң ең киши сызықлық шеги	0.01	см
Көздиң сезиуиниң ең киши мүйешлик шеги	1	мүйешл.мин.
Жердеги адамлар саны	$6 \cdot 10^9$	
Астрономлар саны	$1 \cdot 10^4$	

## Қоршаған орталық

1 см <sup>3</sup> ҳаўадағы молекулалар саны (Люшмит саны)	$3 \cdot 10^{19}$	
Ҳаўаның тығызлығы	$1.3 \cdot 10^{-3}$	г/см <sup>3</sup>
Ҳаўаның моллик массасы	29	г/моль
Ҳаўа молекулаларының жыллылық тезликлери	0.5	км/с
Ҳаўа молекулаларының жыллылық энергиялары	0.025	эВ
Қоршаған орталық температурасы	300	К
Тығызлықлар: суў	1	
Темир	7.8	г/см <sup>3</sup>
Бир текли атмосфераның бийиклиги	8	км
Санкт-Петербургтың өлшеми	30	км

## Жер хәм Ай

Жердиң радиусы	6400	км
Жердиң массасы	$6 \cdot 10^{27}$	г
Жердиң орташа тығызлығы	5.5	г/см <sup>3</sup>
Жер бетиниң қашыу тезлиги	11.2	км/с
Жердиң экватордағы айланыу тезлиги	0.5	км/с
Еркин түсиу тезлениуи	980	см/с <sup>2</sup>
Магнит майданының кернеулиги	0.5	Гс

Жердің жасы	$4.5 \cdot 10^9$	Жыл
Жердегі тиришіліктің жасы	$4.5 \cdot 10^9$	Жыл
Сутқадағы секундлар саны	86 400	
Жылдағы секундлар саны	$3 \cdot 10^7$	
Толық Айдың көриніуінің жулдызлық шамасы	$-13^m$	
Айға шекемгі қашықтық	400 000 1/400 1.3	км а.б. жақтылық секунды
Айдың массасы/Жердің массасы	1/81	
Айдағы салмақ күшінің тезленіуі	160	см/с <sup>2</sup>
Ай бетінен қашыу тезлігі	2.4	км/с
Синодлық ай	29.5	сут
Сидерлік ай	27.1	сут

### Қуяш системасы

Астрономиялық бірлік	149.6 . 106 1.5 . 1013 500	Км см жақтылық секунды
Жердің орбита бойынша қозғалысы тезлігі	30	км/с
Қуяш системасының өлшемі	40 $6 \cdot 10^{14}$ 7 $1 \cdot 10^4$	а.е. см жақтылық саатлары Қуяш радиусларында
Плутонның қуяш дөгерігінде айланыу дәуірі	250	Жыл
Юпитер Қуяш дөгерігінде айланыу дәуірі Орбитасының үлкен ярым көшери массасы	12 5 0.001 300 1.3 10	жыл а.б. Қуяш массасы Жер массасы г/см <sup>3</sup> саат
орташа тығызлығы өз көшери дөгерігінде айланыу дәуірі		

Егер арқа полюс тәрептен қарасақ Қуяш дөгерігінде барлық планеталар саат стрелкасының бағытына қарама-қарсы бағытта айналады

### Қуяш

Массасы	$2 \cdot 10^{33}$	г
Светимость	$4 \cdot 10^{33}$	эрг/с
Радиусы	700 000	км
Орташа тығызлығы	1.4	г/см <sup>3</sup>
Бетінен қашыу тезлігі	600	км/с

Экватордағы айланыу дәуірі синодлық сидерлік	27 25	сут
Бетіндегі салмақ күшінің тезленіуі	$3 \cdot 10^4$	см/с <sup>2</sup>

Қуяш дискисинің орайында 1" 750 км ге сәйкес келеді

### Қуяш жұлдыз сыпатында

«Бетинің» температурасы	5800	К
«Бетіндегі» тығызлық	$10^{-7}$	г/см <sup>3</sup>
Қуяш атмосферасының химиялық құрамы (массасы бойынша) водород гелий Басқа элементлердің барлығы	70% 27% 3%	
Абсолют жұлдызлық шама (V жолағында)	+48 <sup>m</sup>	
Көриніудің жұлдызлық шамасы V жолағында Болометрлік	-26.7 <sup>m</sup> -26.8 <sup>m</sup>	
B - V рең көрсеткіші	+0.65 <sup>m</sup>	
Спектраллық класс	G2V	
Қуяш дақларындағы магнит майданы	1000 ÷ 4000	Гс
Қуяш тажының температурасы,	$1 \cdot 10^6$	К

### Жұлдызлар

А. Әдеттигідей (нормал) жұлдызлар		
Массалары	0.1 ÷ 100	Қуяш массаларында
Радиуслары Бас ізбе-излік Қызыл гиганттар хәм аса гиганттар	0.1 ÷ 25 10 ÷ 1000	Қуяш радиусларында
Светимости	$10^{-4} \div 10^6$	светимостей Солнца
Энергия шығаруы темпи	0.1 ÷ 1000	эрг/(г с)
Ең жоқарғы светимости	$10^{39} \div 10^{40}$	эрг/с
Орташа тығызлықлар Бас ізбе-излік Қызыл гиганттар хәм аса гиганттар	0.01 ÷ 100 $10^{-7} \div 10^{-2}$	г/см <sup>3</sup>
"Бетлеринің" температуралары	3000 ÷ 50000	К

### Б. Ақ иргежейлилер

Массалары:		
------------	--	--



орташа максималлық	0.6 1.4	Қуяш массасы
Радиуслары	0.01 шамасында	Қуяш радиусы
Орташа тығыздықтары	$10^5 \div 10^7$	г/см <sup>3</sup>
Магнит майданлары	$10^6 \div 10^8$ ге шекем	Гс

## В. Нейтронлық жұлдызлар

Массалары	2 ÷ 3 ден көп емес	Қуяш массасы
Радиуслары	10 ÷ 15	км
Орташа тығыздықтары	$10^{13} \div 10^{14}$	г/см <sup>3</sup>
Магнит майданлары	$10^{14}$	Гс
Өз көшери дөгерегінде айланыу дәуірлері	0.001 ÷ 10	с

## Жұлдызлар аралық орталық

Галактиканың жұлдызлары массасы/ Жұлдызлар аралық затлар массасы	30	
Жұлдызлар аралық газлер массасы/ Жұлдызлар аралық шаңдар массасы	100	
Жұлдызлар аралық газлер температурасы диапазоны.	$10^1 \div 10^7$	К
Жұлдызлар аралық орталықтардың орташа тығызлығы	$10^{-24}$	г/см <sup>3</sup>
Бөлекшелер концентрациясы	$10^{-3} \div 10^8$	См <sup>-3</sup>
Магнит майданының кернеуілиги	$(3 \div 5) \cdot 10^{-6}$	Гс
Газ думанлықлар Бөлекшелер концентрациясы Газ температурасы	$10^2 \div 10^4$ $(8 \div 12) \cdot 10^3$	см <sup>-3</sup> К

## Галактика

Галактика диаметри	30	Кпк
Дисктің қалыңлығы	1	Кпк
Галактика массасы	$10^{11} \div 10^{12}$	Қуяш масса- сы
Галактикадағы жұлдызлар саны	$10^{11}$	
Морфологиялық тип	Sbc или SBbc	
Абсолют жұлдызлық шама (V жолағында)	-20.5m	
Галактиканың орайынан Қуяшқа шекемги аралық	8	кпк
Галактиканың орайы дөгерегінде Қуяштың қозғалыс тезли- ги	200	км/с
Галактикалық жыл	2 . 108	лет

Жулдызлар аралық қашықтықтар бірліктері  
 $1 \text{ пк} = 3.26 \text{ жактылық жылы} = 206 \, 265 \text{ а.б.} = 3 \cdot 10^{18} \text{ см.}$

Жулдызлар астрономиясындағы тезліктер бірлігі (1 а.б./жыл)	4.74	км/с
$\alpha$ Сеп ге шекемгі қашықтық.	1.3 4.3	пк ж.ж.
Этираптағы жұлдызларға салыстырғандағы Қуяштың тезлігі	20	км/с
Ең үлкен меншикли қозғалыс (Барнард жұлдызы)	10	мүйешлік.сек./жыл
Қуяш этирапындағы затлардың тығызлығы (жұлдызлардың заттарын есапқа алғанда)	$10^{-23}$ 0.1	г/см <sup>3</sup> Қуяш массасы/пк <sup>3</sup>
Шар (тәрізлі) жыйнақтар Галактикадағы толық саны Тиккелей бақланады Бір жыйнақтағы жұлдызлар саны	$\sim 200$ $\sim 140$ $10^5 \div 10^6$	

#### Галактикадан тыстағы дүнья хәм Әлем

Қашықтықтар: Үлкен Магеллан Булты Андромеда думанлығы Девадағы галактикалар жыйнағының орайы	55 700 20	кпк кпк Мпк
Галактикалар арасындағы орташа қашықтық/әдеттегідей галактиканың өлшемі	$10 \div 100$	
Хаббл тұрақтысы Н	$50 \div 100$	км/(с Мпк)
Хаббл ұақыты (1/Н)	$10^{10}$	жыл
Хаббл қашықтығы (с/Н)	$10^{28}$	см
Реликтив нурланыу температурасы	2.7	К
Әлемнің критикалық тығызлығы	$10^{-29}$	г/см <sup>3</sup>
Әлемдегі көринетуғын затлардың орташа тығызлығы	$10^{-30}$	г/см <sup>3</sup>

#### Астрономия хәм астрофизиканың қысқаша тарихы

Бизің әрамызға шекемгі 360-жыл шамасы.	Аристотелдің дүньяның геоорайлық системасы.
Бизің әрамызға шекемгі II әсир.	Дүньяның биринши гелиоорайлық системасы (Аристарх Самосский).
Бизің әрамызға шекемгі 240-жыл.	Жердің өлшемлерін (радиусын) биринши өлшеу (Эратосфен).
Бизің әрамызға шекемгі II әсир.	Гиппарх. Прецессияның ашылуы, жұлдызлық шамалардың киргизилиуі, жұлдызлар каталогы.
Бизің әрамыздың II	Птолемейдің «Альмагест» мийнети, эпицикллар.

әсири.	
1032-1037 жыллар.	Аль Берунийдің «Масъуд Каноны» мийнети.
1420-1430 жыллар.	Мырза Улығбектің «Қурағаний зиджы» каталогы.
1543-жыл.	Коперник: «De revolutionibus orbium coelestium» кітабы жарық көреді. («Аспан шеңберлерінің айланыстары хаққында»).
1610-жыл.	Галилей. Телескоптық астрономияның басланыуы.
1610-1620 жыллар.	Кеплер. Планеталардың қозғалыс нызамлары.
1687-жыл.	Ньютон: «Philosophiae naturalis principia mathematica» кітабы жарық көрді («Натурал философияның математикалық басламасы»).
XVIII әсирдің ақыры.	Гершель. Жұлдызлар астрономиясының тууылыуы.
1859-жыл.	Кирхгоф. Спектраллық анализдің ашылыуы.
1910-1922 жыллар.	Слайфер галактикалардың спектріндегі қызылға ауысуыды ашты: $z = (\lambda_{\text{дерек}} - \lambda_{\text{бакл}}) / \lambda_{\text{бакл}}.$ Бул аңлатпада $\lambda_{\text{дерек}}$ хэм $\lambda_{\text{бакл}}$ арқалы дерек пенен бақлаушының меншикли координаталар системасындағы нурланыу ұзынлықтары белгиленген.
1915-жыл.	Эйнштейн. Улыұмалық салыстырмалылық теориясы (Эйнштейннің гравитация теориясы).
1917-жыл.	Альберт Эйнштейннің «Космология мәселелери хэм улыұмалық салыстырмалылық теориясы» мийнетінің жарық көріуі.
1918 жыл.	Шепли. Галактоорайлық революция.
1922-1924 жыллар.	А.Фридман. Эйнштейн теңлемелерінің сатационар емес шешімлери (Фридманның космологиялық моделлери).
1929-жыл.	Э. Хаббл, қашықласыушы галактикалар ушын $v = Hr$ нызамы. Қашықласыушы галактикалардың тезликлери қызылға ауысуыды Допплер эффекти деп интерпретациялау жолы менен анықланады: Киши $z$ лерде $z = \Delta\lambda / \lambda = v / c.$ Хаббл турақлысының мәнісин биринши рет өлшеу.
1933-жыл.	Янский. Космослық радионурлар. Ф. Цвикки. галактикалар жыйнақларындағы жасырын масса.
1939-жыл.	Бете, Вейцеккер. Жұлдызлар энергиясының дереклери.
1949-жыл.	Алфер, Бете, Гамов – «Ыссы Әлем гипотезасы» ("Big Bang") хэм температурасы $T \sim 5 \text{ К}$ болған реликтив нурлардың бар екенлигин болжау.
1950-жыллар.	Жұлдызлар эволюциясы.
1960-жыллар.	Кварлар, реликтив нурлар, пульсарлар.
1965-жыл.	А. Пензиас, Р. Вилсон – температурасы шама менен 3 К болған космослық изотроп микротолқынлық фонның (реликтив нурлардың) ашылыуы.
1970-жыллар.	Рентген хэм гамма астрономиясы.
1979-80 жыллар.	А. Гус, А.А. Старобинский, А.Д. Линде, Д.А. Киржниц – «инфляциялық» (үрлениуіші) Әлем гипотезасы.
1980-1990 жыллар.	Инфрақызыл астрономия. Космослық астрометрия.
1992-1993 жыллар.	«Реликт» (Россия) хэм "COBE" (АҚШ) космослық экспериментлерінде реликтив нурланыудың киши флуктуациялары бакланды.
1998-жыл.	Реликтив микротолқынлық нурланыудың флуктуацияларының

	мүйешлік спектри өлшенді.
1995-1996 жыллар.	Жақын жұлдызлардың планеталар системаларының ашылуы.
1998-жыл.	Комослық вакуум хәм антигравитация.

## Астрономияның бөлімлері

Астрономияның баслы бөлімлері төмендегилер болып табылады:

1. **Астрометрия** — кеңіслік пенен ұақытты өлшеу хәкқындағы илим. Ол мыналардан турады: а) **сфералық астрономия** (хәр қыйлы координаталар системаларының жәрдемінде аспан денелериниң көринетуғын орынларын хәм қозғалысларын анықлайтуғын математикалық усулларды ислеп шығады хәм жақтыртқышлардың координаталарының ұақытқа байланыслы өзгеріу теориясын келтирип шығарады); б) **фундаменталлық астрометрия** (бақлаулар тийкарында аспан жақтыртқышларының координаталарын анықлау, жұлдызлардың орынларының каталогларын дүзиу хәм әхмийетли астрономиялық турақлылардың санлық мәнислерин анықлау); в) **әмелий астрономия** (географиялық координаталарды, бағытлар азимутларын, анық ұақытты анықлау усуллары үйрениледи хәм бул жағдайларда пайдаланылатуғын әсбаплар тәриплениди).

2. **Теориялық астрономия** аспан денелериниң ийелеп турған орынларынан пайдаланып орбиталарын анықлау хәм олардың орбиталары бойынша эфемеридлерди (көринетуғын аұхалларын) есаплау менен шуғылланады.

3. **Аспан механикасы** пүткил дүньялық тартылыс күшлери тәсиріндеги аспан денелериниң қозғалыс нызамларын үйренеди, аспан денелериниң массалары менен формасын, олардан туратуғын системалардың турақлылық шәртлерин анықлайды.

Бул үш бөлім тийкарынан астрономияның биринши мәселесин шешеди хәм соларды әдетте классикалық астрономия деп атайды.

4. **Астрофизика** аспан денелериниң қурылысын, физикалық қәсийетлерин хәм химиялық қурамын изертлейди. Астрофизика әдетте: а) **әмелий астрофизикаға** (бунда астрофизикалық изертлеулердиң әмелий усуллары хәм сәйкес әсбап-үскенелер исленип шығады); б) **теориялық астрофизика** (физика нызамлары тийкарында аспан денелеринде бақланып атырған физикалық қубылыслар түсиндириледи) болып екиге бөлинеди.

Астрофизиканың бир катар бөлімлері изертлеу ушын қолланылатуғын усулларына байланыслы арнаулы түрде айрылып турады.

5. Жұлдызлар астрономиясы жұлдызлардың кеңісліктеги тарқалыуын хәм қозғалысларын, жұлдызлар системаларын хәм жұлдызлар аралық материяны изертлейди.

Бул еки бөлімде тийкарынан астрономияның екинши мәселеси шешиледи.

6. **Космогония** аспан денелериниң, соның ишинде Жердиң пайда болыуын хәм рауажланыуын үйренеди.

7. **Космология** Әлемнің қурылысының хәм рауажланыуының улыұмалық нызамлылықларын үйренеди.

Аспан денелери хәкқында алынған барлық мағлыұматлар тийкарында астрономияның кейинги еки бөліми оның үшінши мәселесин шешеди.

Ал улыұма астрономия курсы болса астрономияның хәр қыйлы бөлімлері тәрепинен алынған нәтийжелер менен қолланылған тийкаргы усуллардың системалы баянланыуын өз ишине алады.

## Әлемнің қурылысы хәкқындағы қысқаша очерк

Адамлар тәрепинен үйренілген кеңіслік бизиң Қуяшымыз тәризли аспан денелери болған оғада көп санлы жұлдызлар менен толған.

Жұлдызлар кеңістікте тәртіпсіз түрде тарқалған, олар галактикалар деп аталатынын системаларды пайда етеді. Галактикалар көпшілік жағдайларда эллипс тәрізді, қысылған хәм тағы да басқа түрлерге ийе болады. Галактиканың бір шетінен шыққан жақтылық екінші шетіне онлаған, жүзлеген мың жылда жетеді (жақтылықтың тезлігінің  $300\,000\text{ км/сек}$  екенлігін ұмытпаймыз).

Айырым галактикалар арасындағы қашықтықтар оннан да үлкен – галактикалардың өзлерінің өлшемлерінен онлаған есе үлкен.

Хәр бір галактикадағы жұлдызлар саны оғада үлкен – жүзлеген миллионнан жүзлеген миллиардқа шекем. Жерден айырым галактикалар әззі думан сыяқты дақтар түрінде көрінеді хәм сонлықтан оларды бурынлары галактикадан тыс думанлықтар деп атады. Тек жақын галактикаларда ғана күшлі телескоптар жәрдемінде айырым жұлдызларды көріуге болады.

Галактикалардың ишіндегі жұлдызлардың тарқалыуы бір теклі емес. Мысалы галактиканың орайлық бөлімлерінде жұлдызлардың концентрациясы жоқары. Көпшілік жағдайларда жұлдызлар хәр қыйлы жыйнақтарды пайда етеді.

Галактикадағы жұлдызлар арасындағы орталық газ, шаң, элементар бөлекшелер, электромагнит нурланыу хәм гравитациялық майдан түріндегі материя менен толған. Жұлдызлар менен галактикалар аралық орталықтардағы заттардың тығызлығы оғада аз. Аспанда бақланатуғын Қуяш, жұлдызлардың көпшілігі, жұлдызлар топарлары бизің Галактика деп аталатуғын системаны пайда етеді. Бул Галактикаға кириуші әззі оғада көп сандағы жұлдызлар қуралланбаған адам көзіне аспан арақалы өтетугын хәм Қус жолы деп аталатуғын жақты жолақ болып көрінеді.

Қуяш бизің Галактикамыздың көп миллиард жұлдызларының бири. Бирақ Қуяш жалғыз жұлдыз емес – ол Бизің Жер сыяқты планеталар менен қоршалған. Планеталар (барлығы емес) да өзінің жолдасларына ийе. Жердің жолдасы Ай болып табылады. Қуяш системасының қурамына планеталар хәм олардың жолдасларынан басқа астероидлар (киші планеталар), кометалар хәм метеорлық денелер киреди.

Хәзиргі уақытлардағы астрономия бизің Галактикамыздағы жұлдызлар менен басқа да галактикалардағы жұлдызлардың басым көпшілігі бизің Қуяшымыз сыяқты өз жолдасларына ийе екенлігін биледи<sup>1</sup>.

Әлемдегі барлық нәрселер қозғалыста болады. Планеталар хәм олардың жолдаслары, кометалар хәм метеорлық денелер қозғалады. Соның менен бирге галактикалардағы жұлдызлар да, галактикалардың өзлери де бір бирине салыстырғанда қозғалыста. Материясы жоқ кеңістіктің жоқ екенлігі сыяқты, қозғалмайтуғын материя да жоқ.

Жоқарыда гәп етилген Әлемнің тийкары қасиетлери мыңлаған жыллар дауамында өткерілген изертлеу жұмыстарының нәтижелери болып табылады. Әлбетте Әлемнің хәр қыйлы бөлімлери хәр қыйлы тереңлікте үйренілген. Мысалы XIX әсирге шекем тийкарынан Қуяш системасы, тек XIX әсирдің орталарынан баслап Қус жолының қурылысы, ал XX әсирдің басынан баслап жұлдызлар системасы изертлене баслады.

## Әлемнің масштаблары

Бул параграф көргізбелілік мақсетінде жазылған. Биз төменде астрономияның не менен шуғылланатуғынлығын хәм тәбиятта бос орынлардың қаншама ямаса қандай екенлігін көреміз. Бул мақсетке жетіу үшін Әлемнің базы бір масштаблардағы моделин дүземіз.

Дәслепп Жерди диаметри 10 см болған шар деп қабыл етеміз (демек масштаб 1:127 млн.). Бундай жағдайда Жердің экваторлық хәм поляр радиустары арасындағы айырма (бул айырма 22 км ге тең) 0.17 мм ге тең болады. Жер атмосферасы әдеуір қалың. Бирақ егер ондағы барлық хауа теңіз бети қадіндегідей тығызлыққа ийе болыуы үшін оның

<sup>1</sup> Бизің Галактикамыз, Қуяш, Жер, Ай үлкен хәриплер менен жазылады.

қалыңлығы 8 км болыуы керек. Ғақықатында 8 км ден бийиктеги ғауа дем алыу ушын жарамсыз. Соның ушын сол 8 км деген шаманы биринши жақынласыуда атмосфераның жоқарығы шегарасы деп қабыл етиуге болады. Бизің моделимизде қалыңлығын 8 км болған қатлам қалыңлығы 0.06 мм болған пленкаға сәйкес келеди. Шама менен 100 км бийикликте молекулалардың концентрациясы  $10^{13}$  молекула/см<sup>3</sup>, усы бийикликке шекем Жер атмосферасындағы хәр қыйлы газлердің араласыуы орын алады. Сонлықтан 100 км бийикликтен төменги бийикликлерде ғауаның химиялық курамы шама менен бирдей. Ал жоқары бийикликлерде болса молекулалардың салмағы бойынша айрылыуы орын алады (бул шегара гомопауза деп аталады). Метеорлар тап сондай бийикликлерде жана баслайды. Биз қарап атырған моделде бул катламның қалыңлығы 0.8 мм ге сәйкес келеди. 300 км ден баслап Жердің жасалма жолдасларының орбиталары жайласқан область басланады. Бизің моделимизде орбитасының Жер бетинен бийиклиги 350 км болған космос кораблдериниң (мысалы "Мир" станциясы) орбиталарының бийиклиги 2.7 мм ғана болады. Ал геостационар жолдаслардың орбиталарының бийиклиги (40 мың км) - 31 см.

Бундай масштабларда Ай диаметри 2.7 см болған шарикке айланады, ал Ай менен Жер арасындағы қашықлық 2.8 м ден 3.1 м ге шекем өзгереді. Ал орташа орбиталық тезлиги (1 км/с) 0.5 мм/мин ғана болады. Ал Қуяштың модели диаметри 10 м болған шар болып табылады. Бундай Қуяш диаметри 10 см болған «Жер» ден 1 км қашықлықта жайласады. Жердің орбиталық тезлиги (30 км/с) бундай жағдайда 0.24 мм/с ғана болады, ал жақтылықтың тезлиги болса (300 000 км/с) 2.4 м/с қа тең болады..

Қуяш системасы хаққында көз-қарасқа ийе болыу ушын киширек масштабты пайдаланамыз хәм 1 а.б. ти 1 м ге тең етип аламыз. (шама менен 1: 150 млрд.) хәм планеталар хаққындағы усы қолланбада келтирилген мағлыұматлардан пайдаланамыз. Бундай масштабларда Қуяш диаметри 1 см болған шарикке айланады, бул шариктиң этирапында радиусы 1 м ге тең шеңбер бойынша диаметри 0.1 мм болған Жер айланады. Ай болса диаметри 0.03 мм болған шаң түйиршесиндей болып Жерден 2.6 мм қашықлықта айланады. Басқа планеталар болса төмендегидей түрге ийе болады: Мекурий, Венера хәм Марс - диаметрлери 0.03, 0.1 хәм 0.05 мм болған шариклер Қуяштан 39, 72 хәм 152 см қашықлықларда айланады. Қуяш системасының сыртқы бөлими босырақ болады: Диаметри 0.9 мм болған Юпитер, диаметри 0.8 ммлик Сатурн, диаметрлери 0.3 мм болған Уран хәм Нептун және диаметри 0.015 мм болған Плутон Қуяштан сәйкес 5.2, 9.5, 19.2, 30.1 хәм 39.5 м ге тең қашықлықларда айланады. Басқа сөз бенен айтқанда бундай масштабларда планеталық система футбол майданшасындай үлкенликке ийе болады.

Қуяш системасында астероидлар менен кометалар да болады. Бирақ олар биз қабыл еткен масштабларда елестирерликтей болмайды. Мысалы ең үлкен астероид (Церера, диаметри 1000 км) өлшеми 0.007 мм болған түйир болып көринеди (бундай денени адам көзи әдетте аңғармайды). Ал диаметри 200 км ден үлкен болған астероидлар саны отызлаған ғана. Усындай масштабларда атомның диаметрине ( $10^{-8}$  см) өлшемлери 15 м болған астероидлар сәйкес келеди. Ең жақтылы кометалардың өлшемлери (қуйрықлар менен қоса есаплағанда қысқа ўақытлар ишинде (Қуяшқа жақындаған ўақыт моментлеринде) планеталар арасындағы қашықлықлар менен барабар болады. Бирақ ең үлкен кометалардың ядроларының өлшемлери бир неше онлаған километрден үлкен болмағанлықтан хәм олардың массаларының планеталар массаларына карағанда оғада киши болғанлығынан оларды есапқа алмауға болады.

Усы моделдеги жақтылық тезлиги 0.2 см/с қа, Жердің орбиталық тезлиги 0.7 мм/саат қа ямаса 6.3 м/жыл ға тең. Сонлықтан биз жоқарыда гәп еткен футбол майданы менен барабар кеңислик статикалық (қозғалыслар көзге түспейтуғын) кеңислик болып шығады.

Жерден Қуяш 30' лық мүйешлик өлшемде көринетуғын болғанлықтан Қуяштан Жерге салыстырғанда 30 еседей қашықлықта жайласқан Нептунда диаметри 1' болған диск болып көринеди (қуралланбаған көзге ноқатлық жақтыртқыш болып көринеди). Усыған сәйкес Нептунның бетиниң майдан бирлигине келип түсетуғын Қуяш нуры (жақтыланғанлығы, освещенность) Жердегиге карағанда 900 есе кем болады. Сонлықтан

салқынлық (төмен температуралар) пенен бир катарда Қуяш системасының шетлери қараңғылыққа шүмген. Бул жағдай Қуяш системасының шетлеріндеги (Плутоннан да сырттағы) планеталарды ізлеуді әдеуір қыйынластырады.

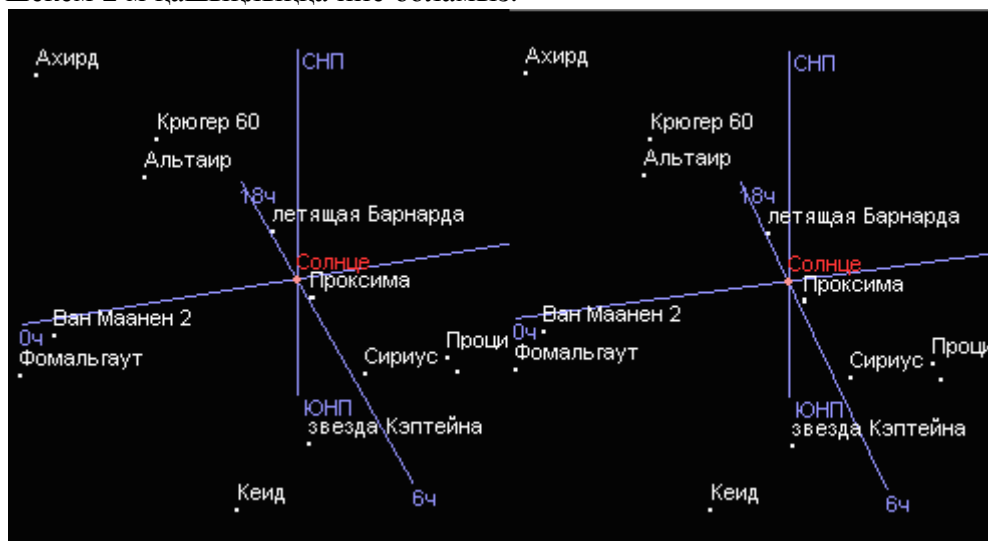
Биз қабыл еткен Қуяш моделинен шама менен 100 м қашықтықта (100 а.б.) гелиопауза деп аталатуғын шегара жайласқан (бундай шегарада Қуяш самалының тәсири жұлдызлар самалының тәсиринен киши болып қалады). Бул жұлдызлар аралық кеңістіктің басланыуы болып табылады. Буннан кейин шама менен 100 км ге шекемги аралықта (100 тыс. а.б.!) гипотезалық Оорт беллиги жайласады. Бул белликти Қуяш системасы ушын кометалардың ямаса кометалық материалларды жеткізип беріуши деп есаплайды. Ал буннан да үлкен қашықтықтарда жұлдызлар жайласқан. Олардың ишиндеги ең жақыны - Центаврдың  $\alpha$  сы ямаса Толиман бизиң моделимизе диаметрлери 1 см болған шариклер болып табылады хәм сондай болған шариктен (Қуяштан) 278 км ( $1.35 \text{ пк} = 278 \text{ мың а.б.}$ ) қашықтықта жайласады. Бул системаның үшінши кураушысы Центаврдың Проксимасы диаменти 1 мм болған құм дәнешесиндей түрге ийе болып Қуяшқа 11 км жақын жайласады.

Бул мысалдан жұлдызлардың Жерден қандай мүйешлик өлшемлер менен хәм олардың бир бири менен соқлығысуының итималлылығының қаншама киши екенлиги көринип тур. Қала берсе, бундай масштаблардағы Қуяштың этираптағы жұлдызларға салыстырғандағы тезлиги (20 км/с) 0.5 мм/саат ғана болады. Бундай тезлик пенен ол бир жылда тек 4.2 м ге орнын алмастырады. Жұлдызлар аралық қашықтықтарға салыстырғанда бул жүдә киши аралық. Бирақ Жердеги саналы тиришиликтің жасы менен салыстырғанда бул жүдә киши қашықтық емес. Мысалы 1 пк аралықты Қуяш бары-жоғы 49 мың жылда өтеди.

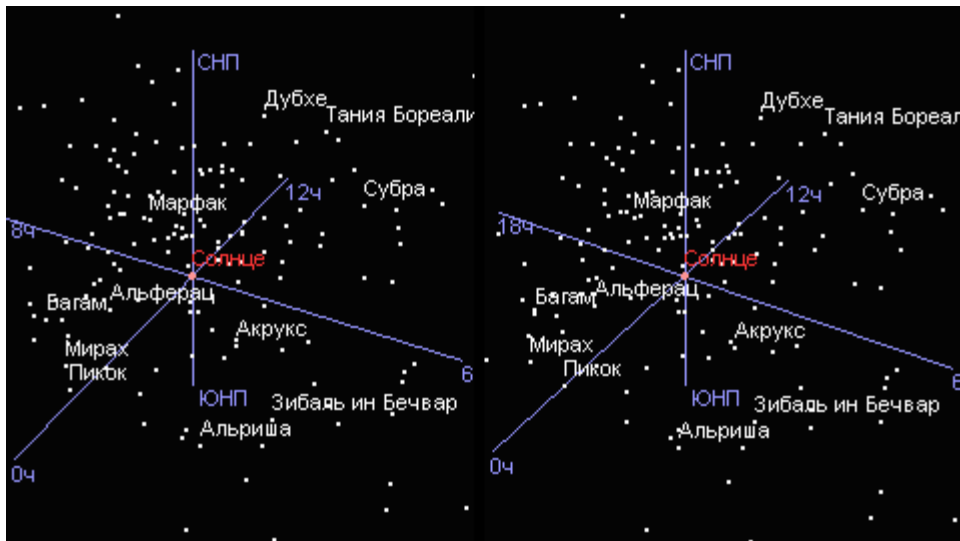
Жұлдызлар болса бир биринен өлшемлери бойынша күшли ажыралып турады. Бизиң моделимизде Сириус 2.4 см диаметрге, ал оның жолдасы (ақ иргежейли) 0.3 мм лик диаметрге ийе. Әдеттеги нейтронлық жұлдыздың диаметри 30 км, бизиң масштабларымызда диаметри 0.2 мкм болған түйіршекке айналады. Бул шама жақтылық толқынының узынлығынан да киши. Бирақ екінши тәрәптен қызыл гигант Арктурдың диаметри 26 см ге, ал қызыл аса гигант Бетельгейзе диаметри 9 м болған сфераға айналады. Бирақ бул да шек емес. Айырым жұлдызлар ушын курылған моделдің диаметри 27 мге жетеди (Уран орбитасының өлшеминен азмаз кем)!

Галактиканы көз алдымызға келтириу ушын 1 см де 1 пк масштабты қабыл етемиз ( $1 : 3.1 \cdot 10^{18}$ ). Бундай жағдайда Қуяштың дөгерегиндеги жұлдызлар арасындағы орташа қашықтық 1.5 см ди курайды, ал жұлдызлардың өзлериниң өлшемлери болса протонның өлшемлеринен де киши болып қалады.

Қуяшқа ең жақын жұлдызға шекемги аралық ( $\alpha$  Центавра системасы) 1.3 см, Барнард жұлдызына шекем 1.8 см, Сириусқа шекем 2.7 см, Арктурға шекем 11 см, Бетельгейзеге шекем 2 м қашықтыққа ийе боламыз.



Бул стереопарада Қуяшқа жақын болған (шама менен 10 пк ге шекемги) жұлдызлардың кеңістіктеги жайласулары берілген.



Жоқарыдағы сүўрет Қуяштан шама менен 100 пк шаклеринде.

Жулдызлардың ең жақын жыйнағы (Гиадлар) Қуяштан 40 см қашықтықта жайласады. Оның өзинің меншикли өлшеми 13 см ди курайды. Тап сол сыяқлы Плеядалардағы жұлдызлар жыйнағына шекемги қашықтық 1.3 м (оның диаметри 6.8 см),  $\chi$  хәм  $h$  Per қос жыйнағы 20 м ге жайластырыўға туўры келеди (диаметрлери 17 см хәм 14 см). Геркулестеги әдеттегидей шар тәризли жыйнақтың диаметри 23 см болып, оған шекемги қашықтық 50 м. Лирадағы «Жүзик» деп аталыўшы планеталық думанлық 2х3 мм өлшемге ийе хәм 7 м қашықтықта жайласады (тап сол сыяқлы Орион думанлығының өлшемлери 5 см болып 3.5 м қашықтықта, Краб тәризли думанлық 1 см өлшемге ийе болып 10 м қашықтықта жайласады).

Галактиканың орайын Қуяштан 100 м қашықтықта жайластырыўға туўра келеди. Бул орай Sgr A радиодереги болып табылады. Оның интенсивли кураўшыларының бири 10 см лик диаметрге ийе болады хәм өзинің ишине диаметри  $\sim 1.5$  см болған жақтылы ядроны (кернди) алады. Олардың барлығы да Галактиканың созылған ядросы менен қоршалған (ярым көшерлери 11х11х5 м болған). Галактика дискниң радиусы 150 м хәм оның ишинде кеминде үш спирал тәризли тармақ болады: бириншиси Галактиканың орайына жақыны (Атқыш жеңи), ортаншысының шетинде Қуяш системасы жайласады (Орион жеңи), үшіншиси сыртқысы Қуяштан  $\sim 40$  м қашықтықта жайласады (Персей жеңи). Усылардың барлығы да радиусы 250 м ден кем болмаған сфералық жұлдызлық галонның ишинде жайласады. Ал усы галодан 500-600 м болған қашықтықта сийрек таж (корона) жайласады.

Галактикалар дүньясына өтиў масштабты 1 см де 10 кпк ке шекем үлкейтиў зәрүрлигин пайда етеди ( $1 : 3.1 \cdot 10^{22}$ ). Бундай жағдайда бизиң Галактикамыздың өзи диаметри 3 см ге тең дискке, ал тажы менен бирликте диаметри 10-12 см болған шарға айналады. Галактиканың жолдаслары Үлкен хәм киши Магеллан бултлары сәйкес 5.2 хәм 7.1 см қашықтықларда буннан да киши өлшемлерге ийе (диаметрлери 9 хәм 3 мм), на расстояниях соответственно 5.2 хәм 7.1 см. М31 галактикасы (Андромеда думанлығы) диаметри шама менен 10 см болған дискке айланып Галактиканың орайынан 70 см қашықласқан орныда жайласады. Барлық жергиликли топар (30 лаған галактика) бундай масштабларда диаметри 2 м болған сферада аңсат жайласады.

Қоңысы галактикалар топарларының ең жақыны Жергиликли топардан 2-5 м қашықтықта жайласады. Ал буннан 10-20 м шеклеринде бир неше онлаған усындай топарлар орын алады. Ең жақын болған галактикалардың ири жыйнағы (Девадағы) 5 м лик диаметрге ийе (бул жыйнаққа 200 дей галактика киреди) хәм бизиң Галактикамыздан 20 м ге қашықласқан. Бул жыйнақ аса жыйнақ орайы деп болжанады. Бул аса жыйнақ шама менен 20000 галактикаларды өз ишине камтыйды хәм бизиң масштабымызда 60 м ге тең диаметрге ийе болады.

Бизиң аса жыйнағымыз бенен бир катарда басқа да аса жыйнақлар жайласады: Арысланда (140 м қашықтықта) хәм Геркулесте (190 м). Ең жақын квазарды (3C273, ол да Де-



вада) 630 м қашықтыққа, ал ең алыс квазарларды 3.7 км қашықтыққа қойыуға туура келеді.

Әлемнің ұақыялар горизонтына (14 млрд. жақтылық жылы) бизің кейінги модели-мизде 4.6 км лик қашықтық сәйкес келеді.

## **Пүткил дүньялық тартылыс нызамы астрономияның ең бас нызамы сыпатында**

Бул нызам И.Ньютон тәрепинен 1687-жылы тәжірийбелерде алынған нәтийжелерди улыўмаластырыў жолы менен ашылған. Бул нызам бойынша массалары  $m_1$  хәм  $m_2$  болған қәлеген еки ноқатлық дене бир бири менен

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2 \quad (1)$$

күши менен тартысады. Бул аңлатпада  $r$  арқалы денелер арасындағы қашықтық,  $G$  арқалы гравитация турақлысы белгиленген. Массасы  $m_1$  болған денеден  $r$  қашықтығында турған массасы  $m_2$  болған дене алатуғын тезлениў мынаған тең:

$$a_2 = F/m_2 = G \cdot m_1 / r^2. \quad (2)$$

Нызам массасы сфералық симметрияға ийе болып тарқалған денелер ушын дурыс. Бундай жағдайда  $r$  сондай денелердің орайлары арасындағы қашықтық болып табылады. Сфералық емес денелер ушын нызам жуўық түрде орынланады. Соның менен бирге денелер арасындағы қашықтық олардың өлшемлеринен қанша үлкен болса нызам да соншама үлкен дәлликте дурыс орынланады.

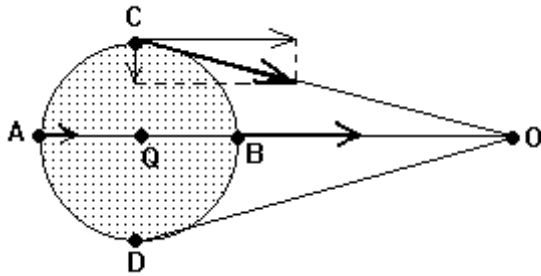
Бул айтылғанлардың барлығы да физиканың мектеп курсынан белгили. Бирақ усыған қарамастан биз төмендеги жағдайларды есапқа алыўымыз зәрүр.

(1) ге сәйкес тартылыс күши массаларға туўры пропорционал, ал қашықтықтың квадратына кері пропорционал. Бирақ масса дененің сызықлы өлшемінің кубына туўры пропорционал. Демек, егер тығызлықтарын өзгертпей денелердің өлшемин де, олар арасындағы қашықтықтарды да (мысалы) 10 есе арттырсақ, онда денелердің массалары 1000 есе артады, ал қашықтықтың квадраты болса тек 100 есе артады. Сонлықтан тартылыс күши 10 есе артады! Яғный масштаб үлкейгенде масса қашықтықтың квадратынан 10 есе тезирек артады деген сөз. Гравитация турақлысының мәнісинің жүдә киши болғанлығынан Жердің бетинде жайласқан айырым денелер арасындағы тартылыс Жердің өзі менен тартылысқа салыстырғанда оғада аз. Бирақ планеталар аралық масштабларда (жүзлеген миллион километрлерде) массаның үлкейиі  $G$  нің киши мәнісин компенсациялайды хәм гравитация бас күшке айланады.

Масштаблар киширейгенде кері эффект бақланады. Бул биологиядан да белгили. Мысалы адамның өлшемлерин кумырысқаның өлшемлерине шекем киширейтсек (яғный жүз есе), оның массасы миллион есе кемедейди. Ал булшық етлердің күши олардың кесекесимине (яғный сызықлы өлшемнің квадратына) пропорционал болғанлықтан, бул күштің шамасы тек 10 000 есе киширейеди (демек күштен 100 есе утамыз). Усы жерде насекомалардың ири хайўанларға салыстырғанда төменлетілген гравитацияда жасайтуғынлығына көз жеткеріў мүмкин. Сонлықтан егер кумырысқаны пилдей өлшемлерге үлкейтсек қандай күшке ийе болар еди деп сораў қойыў мәніссизликке алып келеді. Насекомалардың (барлық киши хайўанлардың) денелеринің қурылысы киши тартысыў ушын оптималласқан. Сонлықтан насекоманың аяғы артық салмақты көтермейди. Демек салмақ күшлери Жер бетинде жасаўшы хайўанлардың өлшемлерине шек қояды хәм олардың ең ирилери (мысалы динозаврлар) өмиринің көп бөлимин суўда өткерген болса керек.

Тири дүньядағы ушыўшылық қәбилетлик те дененің массасы менен шекленген. Булшық етлердің күши менен бирге қанаттың майданы да сызықлы өлшемлерге пропорционал өседі. Яғный массаның базы бир шеклеринде ушыў мүмкин болмай қалады. Массаның бул критикалық мәніси шама менен 15-20 кг ды курайды (бул ең аўыр куслардың массасы). Сонлықтан әййемги гигант кесирткелердің узақ аралықларға

ушқанлығы хақындағы мағлыұматлардың дурыслығы гүмән пайда етеди. Олардың қанатлары тек бир теректен екінши терекке секиргенде жәрдем берген болса керек.



1-сүүрет. Тасыұ күшлери.

Енди астрономияға қайтып келемиз.

Егер О денесиниң салмақ күшиниң орайы Q ноқатында жайласқан өлшемлерге ийе денеге тәсирин көретуғын болсақ (1-сүүрет) денениң хәр қыйлы бөлимлерине хәр қыйлы күшлердиң тәсир ететуғынлығын көриўге болады. Ең жақын жайласқан В ноқаты алыста жайласқан А ноқатына салыстырғанда қашықлықлардың хәр қыйлы болғанлығынан үлкенирек күш тәсир етеди. Сонлықтан сол еки денениң орайларын тутастырыўшы QO сызығы бойынша О денеси АВ кесиндисин керийўге тырысады. OQ сызығынан қашықласқан С хәм D ноқатларына тартысыұ күшлери QO сызығына белгили бир мүйеш пенен тәсир етеди. Сонлықтан бул күшти еки кураўшыға жиклеўге болады: биринши кураўшысы QO бағытына параллел, ал екіншиси оған перпендикуляр – Q денесиниң орайы бағытында. Яғный OQ көшеринде жатпайтуғын денелерге усы көшерге перпендикуляр бағытта қысатуғын күшлер тәсир етеди екен. Бул керийў хәм қысылыұ күшлерин тасыұ күшлери деп атаймыз<sup>2</sup>. Ай тәрәпинен Жерге усындай күшлердиң тәсир етиўи тасыўлар менен қайтыўларды пайда етеди.

Жер бетиндеги тасыұ толқынының бийиклигин анықлаў ушын есаплаўлар жүргиземиз. Әпиұайылық ушын Жердиң өз көшери дөгерегинде айланысын есапқа алмаймыз хәм Жердиң сфералық емес екенлигин Айтың тартысыўына байланыслы деп қабыл етемиз. Жердиң орайынан r қашықлығында Жер бетинде Айға қарай бағытқа перпендикуляр хәм параллел жайласқан хәр бир элементер көлемниң салмақларын қосып мынаған ийе боламыз:

$$m \cdot g_n(r) = m \cdot g_d(r) - G \cdot m \cdot M_d / b^2. \quad (3)$$

Бул аңлатпада  $g_n(r)$  арқалы Айға перпендикуляр бағыттағы радиус бойынша еркин түсиў тезлениўи,  $g_d(r)$  арқалы Айға қарай бағытланған радиус бағытындағы еркин түсиў тезлениўи,  $M_d$  арқалы Айдың массасы, b арқалы Ай орбитасының үлкен ярым көшери a менен r радиус-векторы арасындағы айырмаға тең Айға шекемги аралық. Еркин түсиў тезлениўиниң r ден ғәрезлилиги еки радиуста да бирдей:  $g_n(r) = g_d(r) = GM/r^2$ , бул жерде M арқалы r радиусы ишиндеги масса белгиленген:  $M(r) = \rho \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^3 / 3$  ( $\rho$  заттың тығызлығы). Усылардың барлығын да (3)-теңлемеге қойсақ, буннан кейин m хәм G ге қыскартсақ хәм Жердиң барлық радиусы бойынша интегралласақ мынаған ийе боламыз:

$$R_n^2 = R_d^2 - M_d / 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot (1/a - 1/(a - R_d)). \quad (4)$$

Егер усы аңлатпаға Жердиң радиусын, Айдың массасы менен орбитасының үлкен ярым көшериниң мәнислерин қойсақ  $R_d - R_n \sim 7.3$  м шамасы алынады. Бул шама хақыйқый тасыұ толқынының шамасынан әдеўир үлкен. Бирақ хақыйқатында Жердиң өз көшери дөгерегинде айланыўының себебинен оның қатты қабығы өзиниң формасын өзгертип үлгере алмайды хәм сонлықтан тасыұ толқынын тийкарынан хаўа хәм суў қатламы пайда етеди деп болжаў керек<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> «Тасыұ күшлери» (орысшасы «приливные силы») теңизлер менен океанлардың бир сутка ишиндеги тасыўлары хәм қайтыўларына байланыслы пайда болған.

<sup>3</sup> Хақыйқатында да Жердиң қатты қабығының тасыұ амплитудасы 1 метрден артпайды.

Планета ушын тасыў күшлери усы планетаға басқа ири аспан денесиниң (мысалы усы планетаның жолдасының) ең жақын келиў аралығын анықлайды. Бул қубылыс Шумейкерлер-Леви кометасының Юпитерге кулап түсиўинде жүдә эффектив түрде көринди. Усы кулап түсиўде кометаның ядросы оғада көп санлы бөлеклерге бөлинди. Тасыў күшлериниң тәсиринде жолдастың қыйрамай қалатуғын шеңбер тәризли орбитаның минималлық радиусын Рош шеги деп атайды. Егер жолдастың массасы планетаның массасынан әдеўир киши болса, Рош шеги  $a_R$  диң планетаның радиусы  $R$  ден, жолдастың тығызлығы  $\rho_s$  хәм планетаның тығызлығы  $\rho_p$  ден ғәрезлилиги мына түрге ийе болады:

$$a_R = 2.46 * (\rho_s / \rho_p)^{1/3} * R \quad (5)$$

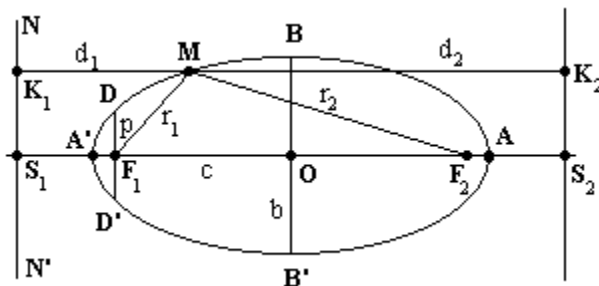
Радиусы  $a_R$  болған сфера ишинде дениниң пайда болыўы ушын заттың конденсациясы да орын алмайды. Гигант планеталардың сақыйналарының пайда болыў себеби де усыннан болса керек деп болжаймыз.

## Планеталардың қозғалыс нызамлары

### Конуслық кесимлер

Конуслық кесимлер астрономияда оғада әхмийетли орынды ийелейди. Сонлықтан оған үлкен итибар беріўимиз керек.

Конуслық кесимлер туўры дөңгелек конус тегислик пенен кесискенде пайда болады. Бундай кесимлерге екінши тәртіпли иймекликлер киреди: эллипс, парабола хәм гипербола. Бул иймекликлердиң барлығы да ноқатлардың геометриялық орны болып, усы ноқатлардан берилген ноқатқа (фокусқа) хәм берилген туўрыға (дирктрисаға) шекемги қашықлықлардың қатнасы эксцентритет  $e$  ге тең турақлы шама болады. Егер  $e < 1$  болса эллипс,  $e = 1$  де парабола,  $e > 1$  де гипербола алынады.



1-Сүүрет. Эллипс.

Эллипс 1-сүүретте көрсетилген. А, А', В, В' ноқатлары эллипстиң төбелери, О орайы, АА' – үлкен көшери  $|OA| = |OA'| = a$  ( $a$  арқалы үлкен ярым көшер белгиленген), ВВ' киши көшер  $|OB| = |OB'| = b$  ( $b$  арқалы киши ярым көшер белгиленген),  $F_1$  хәм  $F_2$  арқалы эллипстиң көшерлери белгиленген (үлкен көшердиң бойында жатқан, эллипстиң орайынан еки тәреп бойынша  $c = (a^2 - b^2)^{1/2}$  қашықлықта жайласқан),  $e = c/a$  эксцентриситет ( $e < 1$ ),  $|F_1D| = |F_1D'| = p = b^2/a$  арқалы фокаллық параметр аңлатылған (фокус арқалы киги көшерге параллел етип жүргизилген хорданың ярымы). Демек эллипс деп фокуслары деп аталатуғын еки ноқаттан ( $F_1$  хәм  $F_2$  ноқатлары) қашықлықларының қосындысы турақлы шама болып қалатуғын ноқатлардың геометриялық орнына айтады екенбиз:  $r_1 + r_2 = |AA'| = 2a$ .

Директрисалар деп киши көшерге параллел хәм оннан  $|OS_1| = |OS_2| = d = a/e$  қашықлығында жайласатуғын туўрыларға айтамыз. Егер эллипстиң қалеген ықтыярлы М ноқатынан директрисаларға шекемги қашықлықты  $|MK_1| = d_1$  хәм  $|MK_2| = d_2$  деп белгилесек, онда эллипстиң қалеген М ноқаты ушын  $r_1/d_1 = r_2/d_2 = e$  қатнасы орынланады.

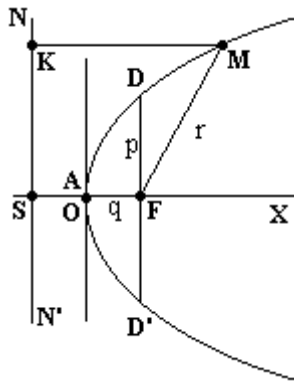
Эллипстиң шеклик жағдайы шеңбер болып табылады. Шеңберди фокуслары орайында бир ноқатта жайласқан эллипс деп караў мүмкин. Соның ушын шеңбер ушын

$$c = 0,$$

$$a = b = r_1 = r_2 = p,$$

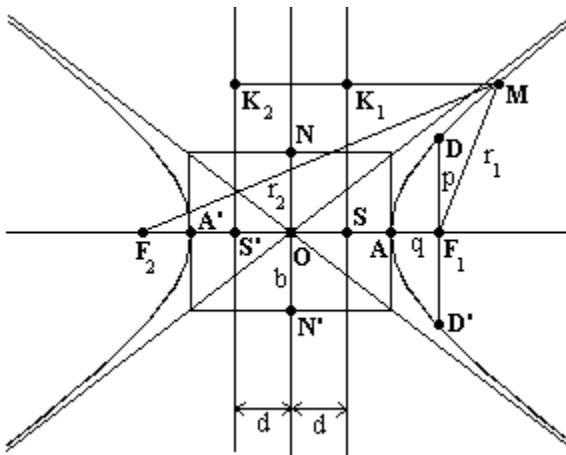
$$e = 0$$

Шеңбер үшін директрисалар анықланбаған.



2-сүрет. Парабола.

Парабола 2-сүретте көрсетілген. OX параболаның көшери, O төбесі, F - фокус (төбесінен  $p/2$  қашықтығында орналасқан нүкте), NN' - директриса (көшеріне перпендикуляр хәм оны фокусынан қарама-қарсы тәрәпинде төбесінен  $|OS| = p/2$  қашықтығындағы нүкте арқалы жүргизілген туұры),  $p$  – фокаллық параметр (фокустан директрисаға шекем-ги қашықтық ямаса фокус арқалы көшерге перпендикуляр жүргизілген DD' хордасының ярымы). Парабола берілген нүктаттан (фокустан) хәм берілген туұрыдан (директрисадан) бирдей қашықласқан нүкталардың геометриялық орны болып табылады:  $|MF| = r = |MK|$ . Сонлықтан парабола үшін эксцентриситет  $e = 1$ .



3-сүрет. Гипербола.

Гипербола 3-сүретте келтирилген.  $AA' = 2a$  хақыйқый көшер, A, A' төбелері, O орайы,  $F_1$  хәм  $F_2$  фокуслары (хақыйқый көшерде, орайдың еки тәрәпинде сол оайдан  $c > a$  қашықтығында жатқан нүкталар), NN' жормал көшер ( $|NN'| = 2b = 2\sqrt{c^2 - a^2}$ ),  $p = b^2/a$  фокаллық параметр (хақыйқый көшеріне перпендикуляр бағытта фокус арқалы жүргизілген хорданың ярымы). Гиперболаның эксцентриситети  $e = c/a > 1$ . Гипербола берілген еки нүктаттан (фокуслардан) қашықтықларының айырмасы турақлы хәм  $2a$  ға тең нүкталардың геометриялық орны сыпатында анықланады.

Директрисалар хақыйқый көшерге перпендикуляр хәм оайдан  $d = a/e$  қашықтығында жайласқан туұрылар болып табылады. Гиперболаның қәлеген M нүктаты үшін  $r_1/d_1 = r_2/d_2 = e$  қатнасы орынланады ( $d_1 = |MK_1|$  хәм  $d_2 = |MK_2|$ ).

## Кеплер ызыамлары

Планеталардың куяштың дөрегегинде қозғалыуының үш ызыамы XVII әсирдің ба-сында немис астрономы И.Кеплер тәрәпинен эмпирикалық (тәжірийбелердің

нәтижелерін улыұмаластырыу) жолы менен ашылды хәм сонлықтан олар Кеплер ызымлары деп аталады. Бул ызымлар И.Ньютон тәрәпинен пүткил дүньялық тартылыс ызымын ашыуда анықлаушы орынды ийеледи хәм улыұмаласқан хәм дәллиги арттырылған түрде аспан механикасына кирди. Усындай формада Кеплер ызымлары гравитациялық жақтан байланысқан еки денениң орбитасын тәриплейди (еки дене мәселеси). Сол еки денеге басқа денелердиң тәсири тиймейди деп есапланады.

Кеплер ызымларының мазмуны төмендегилерден ибарат:

1-ызым. Қозғалыушы денениң орбитасы екінши тәртіпте иймеклик болып табылады (эллипс, парабола ямаса гипербола), фокусларының биринде тартыу күшиниң орайы жайласады (ямаса системаның масса орайы).

2-ызым (теңдей майданлар ызымы). Басқа денелердиң (үшінши, төртінши х.б.) тәсири болмаған жағдайларда қозғалыушы денениң радиус-векторы басып өетуғын майданның шамасы уақытқа пропорционал болады (бирдей уақыт аралықтарында бирдей майданды басып өтеди).

3-ызым. Бул ызым тек эллипс тәрізлі орбиталар ушын қолланылады хәм улыұмаластырылған түрде былай айтылады: Қуяштың дөгерігінде айланыушы еки планетаның айланыу дәуірлери  $T_1$  хәм  $T_2$  лардың квадратларының сол планеталардың массалары (сәйкес  $M_1$  хәм  $M_2$ ) менен Қуяштың массасына ( $M_S$ ) қосындысына көбеймелериниң қатнастары үлкен ярым көшерлердиң кубларының қатнастарындай:

$$T_1^2 \cdot (M_1 + M_S) / T_2^2 \cdot (M_2 + M_S) = a_1^3 / a_2^3 \quad (1)$$

Бул ызымда массалары  $M_1$  хәм  $M_2$  болған денелер арасындағы тәсірлесіу есапқа алынбайды. Егер сол денелердиң массаларын Қуяштың массасына салыстырғанда жүдә киши деп есапласақ ( $M_1 \ll M_S$ ,  $M_2 \ll M_S$ ), И.Кеплердиң өзи тәрәпинен келтирилип шығарылған 3-ызымның формулировкасы алынады:

$$T_1^2 / T_2^2 = a_1^3 / a_2^3 \quad (2)$$

Кеплердиң 3-ызымын планетаның массасы  $M$ , айланыу дәуірі  $T$ , орбитасының үлкен ярым көшери  $a$  арасындағы ғәрезлилик сыпатында көрсетіуге болады ( $G$  гравитация тұрақлысы):

$$a^3 / T^2 \cdot (M + M_S) = G^2 / (4 \cdot \pi^2) \quad (3)$$

Бирақ бир ескертиуді келтирип өтиу керек. Әпиуайылық ушын бир денени екінши дене әтирапында айланады деп есаплайды. Бул жағдай бир денениң массасын екінши денениң массасы (тартыушы орай) қасында есапқа алмауға болатуғын болғанда ғана дұрыс. Егер массалардың шамалары бир бирине жақын болса массасы киши болған денениң массасы үлкен болған денеге тәсірін есапқа алыу керек. Басы еки денениң массаларының орайында жайласқан координата системасында еки денениң орбиталары да конустық кесімлер болып табылады. Бул кесімлер бир тегисликте жатады, фокуслары массалар орайында жайласады, олардың эксцентриситетлери бирдей болады. Айырма тек орбиталардың сызықты өлшемлерінде болады (денелердиң массалары хәр қыйлы болатуғын болса). Қала берсе қалеген уақыт моментінде массалар орайы денелердиң орайларын тутастыратуғын тууының бойынша жайласады, ал массалары  $M_1$  хәм  $M_2$  болған денелердиң орайлары  $r_1$  хәм  $r_2$  ге шекемги қашықтықтар төмендегідей қатнастар менен байланысқан:

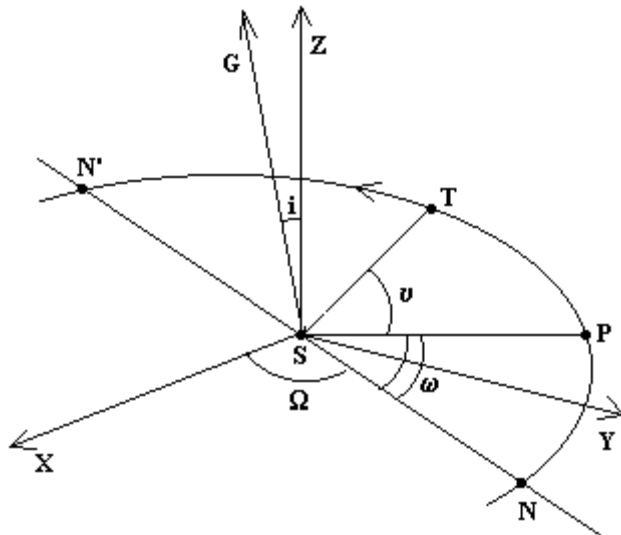
$$r_1 / r_2 = M_2 / M_1$$

Сол денелер орбиталар туйық болған жағдайларда өзлериниң периорайлары менен апоорайларын бир уақытта өтеди.

## Орбиталар элементлери

Орбитаның элементлери аспан денесиниң орбитасының өлшемлерин, кеңістіктегі бағытларын, соның менен бирге сол аспан денесиниң орбитадағы ийелеп туған орнын тәриплейди.

Денениң орбитасының тартыўшы орайға (фокусқа) ең жақын ноқаты периорай, ал ең алыс ноқаты (тек эллипсте) апоорай деп аталады. Егер тартыўшы дене Жер болса бул ноқатлар сәйкес перигей хәм апогей, Куяш болса перигелий хәм афелий, егер ықтыярлы жұлдыз болса периастр хәм апоастр деп аталады. Переорайды фокус пенен тутастырыўшы туўры (эллипстинң үлкен көшери, параболаның көшери ямаса гиперболаның ҳақыйқый көшери) апсид сызығы деп аталады.



4-сүүрет. Орбитаның элементлери.

Орбитаның кеңисликтеги ориентациясын тәриплеў ушын басы орбита фокусы  $S$  пенен бир ноқатта жайласқан базалық координаталар системасын қабыл етиў керек. Базалық координаталар системасы  $XSY$  базалық тегислик пенен тәриплениди (4-сүүрет). Жердиң жасалма жолдасларының қозғалысларын үйренгендеги базалық тегислик ретинде әдетте Жер экваторы тегислигин қабыл етеди, ал планеталардың Куяш дөгерегинде айланысларын изертлегенде эклиптика тегислиги, ал жұлдызлар астрономиясында галактикалар тегислиги қабыл етиледі.  $SX$  көшери басланғыш бағыт болып табылады. Куяш системасындағы орбиталар ушын бул бағыт ретинде әдетте бәхәрги күн теңлесіў ноқатына қарай бағытланған бағыт қабыл етиледі.

$NPN'$  орбита тегислигиниң ( $P$  орбитаның периорайы) базалық тегислик  $XSY$  пенен кесилисіў туўрысы  $NSN'$  түйинлер сызығы деп аталады. Дене  $z < 0$  областынан  $z > 0$  областына өтетуғын бағын түйинлер сызығындағы оң бағытты көрсетеди. Егер орбитаның полюсы  $G$  дан бақлаў жүргизилгенде  $T$  аспан денеси саат стрелкасының бағытына қарама-қарсы бағытта қозғалатуғын болса, онда  $N$  ноқаты орбитаның шығыў түйини (восходящий узел), ал  $N'$  ноқаты орбитаның батыў түйини (нисходящий узел) деп аталады. Базалық тегисликтің дәслепки бағыты  $SX$  пенен түйинлер сызығы  $SN$  ниң оң бағыты арасындағы мүйеш  $\Omega$  шығыўшы түйиннің узынлығы (долгота восходящего узла) деп аталады хәм  $SX$  көшеринен  $SY$  көшери тәрепке  $0^\circ$  тан  $360^\circ$  қа шекем өлшенеди.

Орбита тегислиги менен базалық тегислик арасындағы мүйеш  $i$  орбитаның еңкейиўи (наклонение орбиты) деп аталады хәм  $0^\circ$  ден  $180^\circ$  қа шекемги мәнислерди қабыл етеди.  $0^\circ \leq i < 90^\circ$  де қозғалысты туўры, ал  $90^\circ < i \leq 180^\circ$  деги қозғалысты кері деп есаплайды.

$SP$  апсид сызығы менен  $SN$  түйинлер сызығы арасындағы мүйеш  $\omega$  перицентр аргументи деп аталады. Бул мүйеш денениң қозғалыс бағытында өлшенеди хәм  $0^\circ$  тен  $360^\circ$  қа шекемги мәнислерди қабыл етеди. Бир қанша жағдайларда  $\omega$  мүйешиниң орнына перицентрдиң узынлығы (долгота перицентра) деп аталатуғын  $\pi$  мүйешин қолланады. Бул мүйеш базалық тегисликте  $SX$  көшеринен баслап  $SN$  түйинлер сызығына шекем, буннан кейін орбита тегислигинде  $SP$  апсидлер сызығына шекем өзгереді. Сонлықтан  $\pi = \Omega + \omega$ .

Орбитаның өлшеми менен оның формасы е эксцентритети хәм фокаллық параметр  $p$  жәрдеминде анықланады. Парабола ушын  $p$  ның орнына бир қанша жағдайларда  $q = p/2$  перигелийлик қашықлық қолланылады (периорайдан орбита фокусна шекемги аралық).

Орбитаның эксцентритетин гейде эксцентритет мүйеши  $e = \sin(\varphi)$  формуласы жәрдеминде анықланатуғын  $\varphi$  менен алмастырады.

Т аспан денесинің базы бир ұақыт моменти  $t$  дағы аұхалы дененің радиус-векторы  $ST$  менен апсидлер сызығы арасындағы мүйеш  $\nu$  жәрдеминде анықланады. Бул  $\nu$  мүйеши  $t$  дәуиріндегі ҳақыйқый аномалия деп аталады. Көпшилик жағдайларда элемент сыпатында дененің орбита периорайы  $P$  арқалы өтиў ұақытының моменти  $\tau$  қолланылады.

Жоқарыда келтирилген  $p$ ,  $e$ ,  $i$ ,  $\Omega$ ,  $\omega$  хәм  $\tau$  элементлери орбитаның Кеплер элементлери деп аталады хәм орбитаны оның типинен (эллиптикалық, параболалық ямаса гиперболалық) ғәрезсиз толық анықлайды.

Улыўма жағдайда возмущениесиз қозғалыс энергияның сақланыў нызамы тийкарында анықланады, яғный  $E_k + E_p = \text{const}$ . Бул аңлатпадағы где  $E_k = m \cdot V^2 / 2$  массасы  $m$  болған,  $V$  тезлиги менен қозғалыўшы дененің кинетикалық энергиясы,  $E_p = - G \cdot M \cdot m / r$  массасы  $m$  болған,  $M$  массалы денеден  $r$  қашықлығында турған дененің потенциал энергиясы.

Энергияның сақланыў нызамын былайынша жазыўға болады:

$$h = V_0^2 - 2 \cdot GM / r_0 \quad (4)$$

Константа  $h$  энергия турақлысы деп аталады хәм дәслепки радиус-вектор  $r_0$  менен дәслепки тезлик  $V_0$  ден ғәрезли. Егер  $h < 0$  болса ( $V_0^2 < 2 \cdot GM / r_0$ ) дененің кинетикалық энергиясы гравитациялық байланысты басып өтиўге жетпейди (дененің радиус-векторы жоқарыдан шекленген) хәм усыған сәйкес туйық, эллипс тәризли орбита бойынша айналыс орын алады. Бундай қозғалысты маятниктің қозғалысы менен салыстырып көриў мүмкин – бул жағдайда көтерилиў барысында кинетикалық энергияның потенциал энергияға айланыў, ал түсиў барысында кері өтиў жүзеге келеди. Егер  $h = 0$  ( $V_0^2 = 2 \cdot GM / r_0$ ) болса радиус-вектор шексиз үлкен шамаға өскенде тезлик нолге шекем киширейеди (парабола бойынша қозғалыс). Ал  $h > 0$  ( $V_0^2 > 2 \cdot GM / r_0$ ) болған жағдайларда кинетикалық энергия гравитациялық байланысты басып өтиўге жеткиликли хәм тартыўшы денеден шексиз үлкен қашықлықта дененің қашықласыў тезлиги нолге тең болмайды. Бул гипербола бойынша қозғалыс болып табылады.

(4)-теңлемеден гравитация пайда етиўши орайға жакынласқанда дененің орбиталық тезлигинің артатуғынлығы, ал қашықласқанда киширейетуғынлығы көринип тур. Бул Кеплердің екінши нызамына толық сәйкес келеди.

## Шеңбер тәризли орбита бойынша қозғалыс

Шеңбер эллипстин дара жағдайы ( $e = 0$ ) болса да шеңбер тәризли орбита бойынша қозғалысты тәриплеў барлығынан да әпиўайырақ. Бул жағдайда путкил дүньялық тартылыс нызамы бойынша массасы  $M$  болған орайлық денеден  $r$  қашықлығында турған массасы  $m$  болған денеге  $F = G \cdot M \cdot m / r^2$  ( $G$  - гравитация турақлысы) тартылыс күши тәсир етеди. Бул күш орайдан қашыўшы күш  $F' = m \cdot \omega^2 \cdot r$  пенен теңлеседи ( $\omega$  арқалы массасы  $m$  болған дененің мүйешлик тезлиги белгиленген). Айланбалы қозғалыс ушын  $r$  өзгериссиз қалады хәм сонлықтан  $F$  күши шамасы бойынша өзгериссиз қалады. Бул мүйешлик тезликтің де өзгермей қалатуғынлығын билдиреди. Сызықлық тезлик  $V = \omega \cdot r$  (бул да турақлы). Соның ушын  $F = F'$  теңлигинен

$$V_1 = (G \cdot M / r)^{1/2} \quad (5)$$

формуласы алынады.

$V_1$  тезлиги шеңбер тәризли ямаса биринши космослық тезлик деп аталады. Массасы  $m$  болған дене шеңбер тәризли орбита бойынша бир рет айланып шығатуғын дәуир  $T$  радиусы  $r$  болған шеңбердің узынлығын  $V_1$  ге бөлиў арқалы алынады, яғный

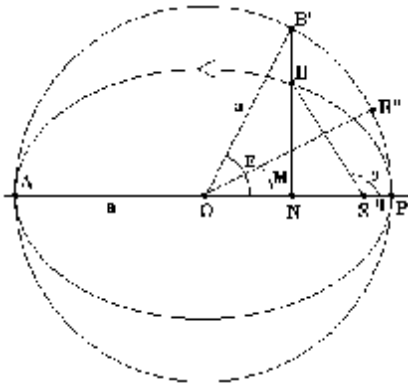
$$T = 2 \cdot \pi \cdot r / V_1 = 2 \cdot \pi \cdot r^{3/2} \cdot (G \cdot M)^{-1/2}. \quad (6)$$

Егер (5) хәм (6) ға Жердің массасы менен радиусын қоятуғын болсақ, онда  $V_1 = 7.905$  км/с хәм  $T = 84.49$  минут екенлигине ийе боламыз. Бирақ, мысалы, «Мир» станциясының орбитасы ушын Жердің радиусынан 400 км үлкен қашықлықты аламыз. Сонлықтан «Мир» станциясы ушын  $V_1 = 7.688$  км/с хәм  $T = 92.57$  минут.

Геостационар жолдас ушын ( $T = 24$  саат)  $r = 42240.6$  км хәм  $V_I = 3.07$  км/с. Ай ушын ( $r = 380000$  км)  $V = 1.024$  км/с хәм  $T \sim 27$  сутка. Бул шама ҳақыйқый орташа шамаға жақын (Айдың орбитасының шеңбер тәризли емес екенлигин умытпауымыз керек).

### Эллипс тәризли орбита бойынша қозғалыс

Эллипс тәризли орбита бойынша қозғалысларды тәриплеу ушын бир катар арнаулы параметрлер зәрүрли болады. 5-сүүретте мынадай белгилеулер киргизилген:  $S$  – эллипс фокусы,  $O$  – оның орайы,  $P$  - периорай,  $A$  - апоорай,  $q = |SP|$  - периорайдағы аралық,  $a = |OA|$  - үлкен ярым көшер. Ықтыярлы  $B$  ноқаты ушын  $t$  ўақыт моментинде  $SB$  радиус-векторы менен периорайға бағыт  $SP$  арасындағы мүйеш ҳақыйқый аномалия  $\nu$  деп аталады.



5-сүүрет. Эллипс тәризли орбитаның параметрлери.

Енди радиусы  $a$  болған орайы эллипстың орайы  $O$  ноқатында жайласқан шеңбер жүргиземиз хәм  $B$  ноқатынан  $AP$  апсид сызығына  $BN$  перпендикулярларын жүргиземиз. Бул перпендикулярдың даўамы шеңберди  $B'$  ноқатында кеседи. Эллипстың  $O$  орайындағы  $OB'$  туярысы менен апсид сызығы арасындағы мүйеш  $E$  **эксорайлық аномалия мүйеши** деп аталады. Ҳақыйқый аномалия сыяқлы  $E$   $0^\circ$  ден  $360^\circ$  қа шекем қозғалыс бағытында өзгереді.

Егер  $T$  арқалы  $B$  ноқатының эллипс тәризли орбита бойынша толық айланыу ўақытын белгилесек (айланыу дәуири), онда былайынша жаза аламыз:  $360^\circ = nT$  ямаса  $n = 360^\circ/T$ . Бул жерде  $n$  арқалы қозғалыушы ноқаттың орташа мүйешлик тезлиги белгиленген. Оны **орташа қозғалыс** деп атаймыз. Енди  $a$  радиусына ийе шеңбер бойынша қозғалыушы базы бир (ҳақыйқый емес)  $B''$  ноқатын көз алдымызға елеслестейик. Бул ноқат  $n$  мүйешлик тезлиги менен қозғалсын хәм  $P$  (периорай) арқалы эллипс тәризли орбита бойынша қозғалатуғын  $B$  ноқаты менен бир ўақытта өтетуғын болсын. Бул ҳақыйқый емес ноқаттың  $OB''$  радиус-векторы хәм периорай  $OP$  бағыты арасындағы мүйеш  $M$  **орташа аномалия** деп аталады хәм  $B$  ноқатының қозғалыс бағытында  $0^\circ$  тандо  $360^\circ$  қа шекем өзгереді. Әлбетте, ықтыярлы  $t$  ўақыт моментинде ушын орташа аномалияны орташа қозғалыс  $n$  хәм периорайдың өтиу ўақыты  $\tau$  менен аңлатыу мүмкин:  $M = n(t - \tau)$ . Егер  $t = \tau$  болса (периорайдың өтиу ўақыты)  $\nu = E = M = 0^\circ$ , ал  $t = \tau + T/2$  де (апоорайдың өтиу ўақыты)  $\nu = E = M = 180^\circ$ .

Жоқарыда еслетилип өтилгениндей, эллипс тәризли орбита бойынша қозғалыс  $V_0^2 < 2*GM/r_0$  шәрти орынланғанда жүзеге келеди. Эллипс тәризли орбитаның ҳәр қыйлы параметрлери арасындағы байланыслар төмендегидей қатнастар менен бериледи:

1. Эксорайлық аномалия  $E$  хәм орташа аномалия  $M$  (Кеплер теңлемеси) арасындағы байланыс

$$E - e \cdot \sin(E) = M. \quad (7)$$

2. Қозғалыушы денениң радиус-векторы  $r$  менен эксорайлық аномалия арасындағы

$$r = a \cdot (1 - e \cdot \cos(E)). \quad (8)$$

3. Тезлик  $V$  хәм радиус-вектором  $r$  арасындағы



$$V^2 = G * M * (2/r - 1/a). \quad (9)$$

4. Ғақыйқый аномалия хэм эксорайлық аномалия арасындағы

$$\operatorname{tg}(v/2) = ((1+e)/(1-e))^{1/2} * \operatorname{tg}(E/2). \quad (10)$$

5. Радиус-вектор хэм ғақыйқый аномалия арасындағы

$$r = a * (1 - e^2) / (1 + e * \cos(v)). \quad (11)$$

(9) дан көринип турғанындай, дене периорай арқалы өткенде оның радиус-векторы минималлық мәнисине  $q = a * (1 - e)$ , ал тезлиги болса  $V_{\max}^2 = G * M / a * (1 + e) / (1 - e)$  формуласы менен анықланатуғын максималлық мәнисине жетеди. Ал апоорайда керисинше, радиус-вектор максималлық мәниске ийе  $Q = a * (1 + e)$ , ал қозғалыс тезлиги болса минимум мәнисинде  $V_{\min}^2 = G * M / a * (1 - e) / (1 + e)$ . Буннан  $V_{\min} / V_{\max} = (1 - e) / (1 + e) = q / Q$  екенлиги келип шығады. Эллипс тәризли орбита бойынша дәуирдің формуласы (6)-формулаға сәйкес, тек орбитаның радиусының мәнисинің орнына эллипстің үлкен ярым көшери алынады:

$$T = 2 * \pi * a^{3/2} * (G * M)^{-1/2}. \quad (12)$$

Базы бир ўақыт моментиндеги орбита параметрлеринің басланғыш шәртлердеги ғәрезлилиги қызығыў пайда етеди:  $r_0$  радиус-вектордың,  $V_0$  тезликтің хэм радиус-вектор менен тезлик бағыты арасындағы мүйеш  $\delta_0$  диң. Басланғыш шәртлерден фокаллық параметрдің хэм эксцентриситеттің ғәрезлилиги мына түрге ийе болады:

$$p = r_0^2 * V_0^2 * \sin^2(\delta_0) / G * M. \quad (13)$$

$$e = 1 + (r_0 * V_0^2 - 2 * G * M) * r_0 * V_0^2 * \sin^2(\delta_0) / (G * M)^2. \quad (14)$$

(13) тен  $\delta_0$  мүйеши  $0^\circ$  ден  $90^\circ$  қа шекем өскенде  $p$  параметри де  $0$  ден  $p_{\max} = r_0^2 * V_0^2 / G * M$  ке шекем өзгеретуғынлығы, ал  $\delta_0$  диң шамасы  $90^\circ$  тан  $180^\circ$  қа шекем өзгергенде  $p$  ның шамасы  $p_{\max}$  шамасынан  $0$  ге шекем киширейетуғынлығы көринип тур. Егер  $\delta_0 = 0^\circ$  хэм  $\delta_0 = 180^\circ$  болғанда параметр  $p = 0$  хэм орбита туўрының кесиндисине айланады.

(14) тен  $e$  шамасы басланғыш параметрлер арқалы  $r_0 * V_0^2 - 2 * G * M$  айырмасының белгисинен ғәрезли. Бул шама орбитаның типин анықлайды. Егер  $r_0 * V_0^2 - 2 * G * M < 0$  болса орбита барлық ўақытта эллипс болып қалады хэм  $\delta_0$  мүйеши  $0^\circ$  ден  $90^\circ$  қа шекем өзгергенде  $1$  ден  $e_{\min} = (r_0 * V_0^2 - G * M) / G * M$  ге шекем, ал  $\delta_0$   $90^\circ$  тан  $180^\circ$  қа шекем үлкейгенде  $e$  ниң шамасы кайтадан  $e_{\min}$  ден  $1$  ге шекем үлкейеди.  $q = p / (1 + e)$  болғанлықтан  $\delta_0$  шамасы  $0^\circ$  ден  $180^\circ$  қа шекем өскенде периорайдағы қашықтық  $q$  дың шамасы  $0$  ден  $r_0$  ге шекем өседі.

Үлкен ярым көшер  $a$  хэм киши ярым көшер  $b$  ның шамаларында басланғыш параметрлер менен аңлатыў мүмкин:

$$a = G * M * r_0 / (2 * G * M - r_0 * V_0^2). \quad (15)$$

$$b = a * (1 - e^2)^{1/2} = r_0^{3/2} * V_0 * \sin(\delta_0) / (2 * G * M - r_0 * V_0^2)^{1/2}. \quad (16)$$

Шектеги жағдайда [ $\sin(\delta_0) = 0$  болғанда] эллипс туўрының шекли кесиндисине айланады. Оның узынлығы  $2 * a$  ға тең оның ушлары бир ўақытта фокуслар хэм туўрыға айланған эллипстің төбелери болып табылады. Қала берсе оның ушларының бири – периорай координата басы менен бетлеседи (яғный тартыўшы орай менен бетлеседи).

## Парабола тәризли орбита бойынша қозғалыс

Параболаны эллипстің шеклик жағдайы деп те, гиперболаның шеклик жағдайы деп те караў мүмкин. Парабола тәризли орбита ушын

$$V_0^2 = 2 * G * M / r_0. \quad (17)$$

шәрти орынланады.

$V_0$  тезлиги параболалық ямаса  $V_{II}$  екінши космослық тезлик деп аталады. Бул формуланы (5)-аңлатпа менен салыстырып  $V_{II} = V_I * 2^{1/2}$  екенлигин аңғарамыз. Тартыўшы орайдан берилген  $r_0$  қашықтығы ушын екінши космослық тезлик орайлық денениң тартыўынан кутылып кетиў ушын зәрүрли болған ең минималлық тезлик болып табылады. Жер ушын ( $r_0 = 6378.1$  км)  $V_{II} = 11.179$  км/с. Жер қашықтығында турған денениң

( $r_0=149.6$  млн. км) Қуяш системасын биротала таслап кетиуі үшін  $V_{III}=42.1$  км/с тезлігін бериуі керек.  $V_{III}$  тезлігін үшінші космослық тезлік деп те атайды.

Парабола тәрізлі орбитаның теңлемесін радиус-вектордың фокаллық параметр  $p$  (ямаса периорайдағы қашықтық  $q=p/2$  ден) хәм хақыйқый аномалия  $v$  ден ғәрезлилиги сыпатында көрсетиуі мүмкін:

$$r = p/(1+\cos(v)) = q*\sec^2(v/2) \quad (18)$$

Парабола бойынша қозғалыс теңлемесі - хақыйқый аномалия  $v$  диң ўақыт  $t$  дан ғәрезлилиги (хәм периорайдан өтиуі ўақыты  $\tau$  дан) мына түрге ийе болады:

$$1/3*tg^3(v/2) + tg(v/2) = (GM/2)^{1/2}*q^{-3/2}*(t-\tau) \quad (19)$$

Параболалық қозғалыста хақыйқый аномалия  $-90^\circ$  тан  $+90^\circ$  қа шекем өзгереді. Егер  $t = \tau$  (периорайдың өтиуі)  $v = 0$  хәм радиус-вектор өзиниң минималлық мәнісине жетеді  $r_{min} = q = 2*p$ , ал тезлік болса максималлық мәнісине ийе болады  $V_{max}^2 = G*M/q$ . Егер  $r$  шексізлікке шекем өссе тезлік нолге шекем кемейеді.

Фокаллық параметр  $p$  ның дәслепки радиус-вектор  $r_0$  хәм радиус-вектор менен басланғыш тезлік векторы арасындағы  $\delta_0$  тен ғәрезлилиги мына аңлатпа менен бериледи:

$$p = 2*r_0*\sin^2(\delta_0). \quad (20)$$

Дара (шеклик) жағдайдағы  $\sin(\delta_0)=0$  болғанда парабола туўры сызыққа айланады. Бул туўры сол параболаның фокусы да, төбеси де болып табылатуғын координата басынан шығады.

### Гиперболалық орбита бойынша қозғалыс

Гиперболалық орбита үшін  $V_0^2 > 2*G*M/r_0$  шәрти орынланады.

Гиперболалық қозғалыс қаралғанда  $F$  айрықша параметри киргизиледи (бул параметр эллипстеги эксорайлық аномалияға уксас) 6-сүүретте мынадай белгилеулер пайдаланылған:  $S$  – гипербола фокусы,  $P$  – оның төбеси (периорай),  $C$  – оның орайы. Гиперболадағы ықтыярлы  $B$  ноқатының орны  $SB$  радиус-вектор хәм апсид көшери бағыты  $SP$  – хақыйқый аномалия  $v$  дың кесилисиуі мүйеши менен анықланады. Егер  $B$  ноқатынан  $BN$  перпендикулярын апсид сызығына перпендикуляр жүргизсек хәм олардың кесилисиуі ноқаты болған  $N$  ноқатынан орайы гиперболаның орайы  $C$  да болған, радиусы  $a$  (гиперболаның хақыйқый ярым көшериниң узынлығы) болған шеңберге урынба жүргизсек  $B'$  тийиуі ноқатын аламыз (точка касания). Бул ноқаттың радиусы хәм периорайға қараған бағыт арасындағы мүйеш те  $F$  мүйешиндей болып балгиленеди.

Гипербола бойынша қозғалыс теңлемесі -  $F$  параметриниң ўақыт  $t$  (эллипслик қозғалыстағы (7) Кеплер теңлемесиниң аналогы) дан ғәрезлилиги былайынша жазылады:

$$e*tg(F) - \ln(tg(F/2+45^\circ)) = (G*M)^{1/2}*a^{-3/2}*(t-\tau) \quad (21)$$

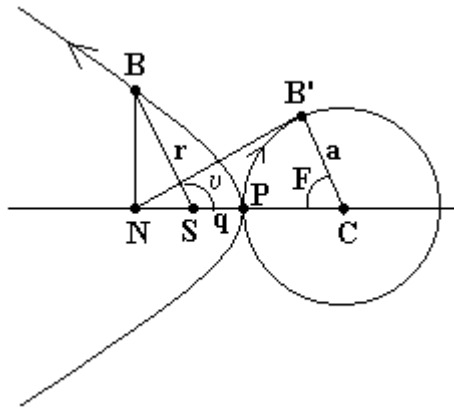
Эллипслик орбитаның хәр қыйлы параметрлери арасындағы байланыс төмендеги қатнастар менен бериледи:

$$tg(v/2) = ((e+1)/(e-1))^{1/2}*tg(F/2) \quad (22)$$

$$V^2 = G*M*(2/r + 1/a) \quad (23)$$

$$r = a*(e*\sec(F) - 1) \quad (24)$$

$t = \tau$  да (периорайдың өтиуі)  $v = 0$  хәм радиус-вектор өзиниң максималлық мәнісине жетеді  $r_{min} = q = a*(e-1)$ , ал тезлік болса минималлығына  $V_{max}^2 = G*M/a*(e+1)/(e-1)$ . Егер  $r$  шексізлікке шекем өссе хақыйқый аномалия өзиниң шеклик мәнісине шекем өседі  $v_{max} = \arccos(-1/e)$ ,  $F$  параметри максималлық мәнісине жетеді  $F_{max} = 90^\circ$ , ал тезлік болса  $V_{min}^2 = G*M/a$  минималлық мәнісине жетеді.



6-сүүрет. Гипербодалык орбитаның параметрлери

Гиперболаның эксцентритети  $e$  ниң басланған радиус-вектор, тезлик хәм олар арасындағы мүйештен ғәрезлилиги (14)-формулада көринип тур. Егер  $\delta_0$  мүйеши  $0^\circ$  ден  $90^\circ$  қа шекем өссе  $e$  1 ден  $e_{\max} = (r_0 \cdot V_0^2 - G \cdot M) / G \cdot M$  ға шекем өседи, ал  $\delta_0$   $90^\circ$  ден  $180^\circ$  қа шекем өссе  $e$  және де  $e_{\max}$  нан 1 ге шекем кемейеди. Егер  $a$  арқалы гиперболаның ҳақыйқый көшерин белгилесек, онда

$$a = G \cdot M \cdot r_0 / (r_0 \cdot V_0^2 - 2 \cdot G \cdot M) \quad (25)$$

Параболадағыдай, шектеги дара жағдай болған  $\sin(\delta_0) = 0$  де гипербола туўры сызыққа айланады. Бул туўры сызық сызыққа айланған гиперболаның бир ўақытта төбеси де, фокусы да болып табылатуғын координата басынан шығады.

## Кеплер нызамлары хәм аспан денелериниң массаларын анықлаў

Астрономиялық объектлердиң массаларын анықлаўдың ең исенимли усуллары Кеплердиң үшінши нызамына тийкарланған



7-сүүрет

7-сүүретте массалары  $M_1$  хәм  $M_2$  болған хәм олардың улыўмалық массалар орайы дөгерегинде айланатуғын еки сфералық дене көрсетилген. Объектлер арасындағы қашықлық  $a$  ға тең, ал соған сәйкес массалар орайына шекемги қашықлықлар  $a_1$  хәм  $a_2$ . Демек  $a = a_1 + a_2$  хәм

$$M_1 \cdot a_1 - M_2 \cdot a_2 = 0. \quad (26)$$

Егер еки денениң биреўиниң массасы белгили болса, онда (26)-аңлатпаның жәрдеминде екінши денениң массасын есаплаў мүмкин. Мысалы, Жердиң орайынан Жер-Ай системасының бариорайына шекемги аралық Жердиң 0.73 радиусына тең, ал Жер менен Айдың орайлары арасындағы орташа қашықлық Жердиң 60.08 радиусына тең. Сонлықтан Жердиң массасының Айдың массасына қатнасы 81.3 ге тең. Жердиң өзиниң массасы басқа усуллар менен анықланады (бул ҳаққында кейинирек гәп етемиз). Қуяштың массасын Кеплердиң 3-нызамын (1)-формада Жердиң Қуяш дөгерегиндеги хәм Айдың Жер дөгерегиндеги қозғалысларына қолланыў арқалы анықлаўға болады. Себеби

дәуірлер менен үлкен ярым көшерлердің мәніслери бақлаулардан белгили. Тап сол сыяқлы тәбийий ямаса жасалма жолдасларына ийе планеталардың массаларын анықлау мүмкин. Ал жолдаслары жоқ планеталардың массаларын олардың басқа қоңысылас планеталарға, астероидларға, кометаларға ямаса космослық аппаратларға тәсири бойынша анықлауға болады.

Жулдызлардың массаларын анықлау бір канша өзгешеликлерге ийе. Егер жулдыз қос жулдызлар системасына киретуғын, соның менен бирге қос жулдыздың еки қураушысы да өз алдына көринетуғын болса, онда жулдыздың массасын анықлау мүмкин. Егер қос жулдыздың қураушылары өз алдына көринбейтуғын болса, онда олардың массаларын нурлық тезликлер (лучевые скорости) бойынша анықлау мүмкин (орбиталық тезликлердің көриу бағытына түсирилген проекциясы бойынша). Мейли сол денелер шеңбер тәризли орбиталар бойынша қозғалатуғын болсын хәм орбита тегислиги көриу нурына і мүйешин жасасын (7-сүүрет). Бундай жағдайда массасы  $M_1$  болған денениң орбиталық тезлигинің көриу нурына түсирилген проекцияларының вариацияларының амплитудасы мынаған тең:

$$v_1 = 2\pi a_1 \sin(i)/P,$$

$P$  – орбиталық дәуір. Кеплердің 3-нызамына сәйкес

$$G(M_1 + M_2)/a^3 = (2\pi/P)^2.$$

Ал (26)-аңлатпадан  $a = (M_1 + M_2) a_1 / M_2$  екенлиги келип шығады. Сонлықтан

$$f(M_1, M_2, i) = (M_2 \sin(i))^3 / (M_1 + M_2)^2 = P v_1^3 / (2\pi G) \quad (27)$$

(27)-теңлемениң оң тәрәпи тек бақлау шамаларынан ғәрезли (қала берсе системаға шекемги аралықтан ғәрезли емес). Бул шамалар системаның айланыу дәуири  $P$  хәм  $M_1$  денесинің спектр сызықларының дәуірли түрдеги Допплер аўысуы бойынша анықланатуғын  $v_1$  [ямаса  $a_1 \sin(i)$ ] нур тезлигинің дәуиринен ғәрезли.  $f$  шамасы қос системаның массаларының функциясы деп аталады. Егер қос системаның массаларының тек бир функциясы табылатуғын болса хәм басқа қосымша мағлыұматлар болмаса (27)-аңлатпа бойынша айырым массалар хаққында айтыуға болмайды.

Егер массалар функциясының екеуі де белгили болса, онда  $f_1 = (M_2 \sin(i))^3 / (M_1 + M_2)^2$  хәм  $f_2 = (M_1 \sin(i))^3 / (M_1 + M_2)^2$ . Бундай жағдайда олар арасындағы қатнас қураушылардың массаларының қатнасын береді  $q = M_1 / M_2$ . Демек

$$M_1 = f_1 q (1+q)^2 / \sin^3(i) \quad (28)$$

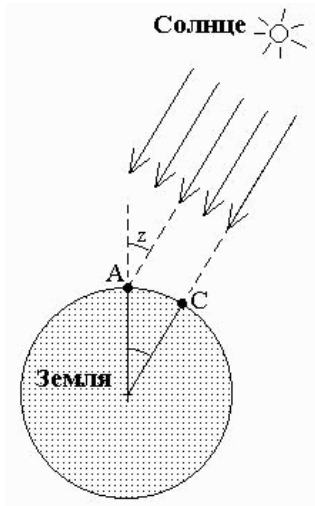
$M_1$  массасының дәл мәнісин билиу ушын  $\sin(i)$  шамасын да билиу керек. Тутылыушы-өзгермели жулдызлар (затменно-переменные звезды) хәм бир қанша рентген дереклери ушын бетинің жақтылығының ийемклиги бойынша  $\sin(i)$  тиң мәнісине геометриялық шек қойыуға болады. Егер  $\sin(i)=1$  деп болжанса, онда  $M_1$  денеси ушын массаның төменги шегі алынады.

Мысал ретинде рентген дереги Аққу Х-1 диң массасын анықлауды келтирип өтиу мүмкин (Аққу Х-1 кара құрдым болса керек деп есапланады). Оның оптикалық қураушысы HDE 226868 жулдызы деп есапланады. Оптикалық бақлаулардан орбиталық дәуір хәм нурлық тезликлер анықланды. Ал бул шамалар бойынша тек рентген дереги ушын массалар функциясы анықланды. Бирақ жулдыздың жақтылығы хәм оның спектри бойынша системаға шекемги аралық баҳаланды ( $\sim 2.5$  пк), ал буннан кейин (жақтылық шығарыуы бойынша) оның шама менен алынған массасы анықланды ( $> 8.5$  Қуяш массасы). Бул мағлыұматлардың барлығы рентген қураушысы ушын массаны берди ( $> 3.3$  Қуяш массасы). Бул мағлыұмат қураушының кара құрдым екенлигинен дерек берди. Галактиканың массасын Қуяштың Галактиканың орайы дөгерегинде айланыу тезлиги ( $v_0 \sim 220$  км/с) хәм сол орайға шекемги қашықлық ( $R_0 \sim 3 \cdot 10^{22}$  см) бойынша анықлауға болады. Бундай қозғалыс Қуяштың орайдан қашыушы тезлениуін береді  $g = v_0^2 / R_0 \sim 1.6 \cdot 10^{-8}$  см/с<sup>2</sup>. Буннан Галактиканың массасы  $M_r = g R_0 / G \sim 2.2 \cdot 10^{44}$  г. Тап усындай жоллар менен басқа да галактикалардың массалары есапланады.

## Жер

Формасы хәм өлшемлери хақындағы улыўмалық көз-қараслар

Жердиң формасы хәм өлшемлери хақында көз-қарасларға адамлардың бизиң эрамызға шекем-ақ билгенин көпшилик биледи. Мысалы әйемги грек философы Аристотель (б.э.ш. 384 – 322 жыллар) Жерди шар тәризли формаға ийе деп есаплады хәм соның дәлили ретинде Ай тутылғанда Жердиң саясының шеңбер тәризли екенлигин алды.

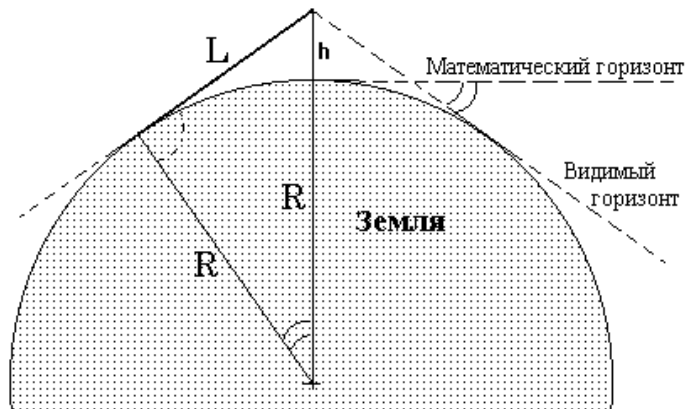


1-сүүрет. Жердиң өлшемлерин Жердиң бетиндеги еки ноқатта турып Қуяшты бақлаў жәрдеминде анықлаў.

Жердиң өлшемлери болса Аристотельден жүз жылдан кейин әйемги грек астрономы менен географы Эратосфен (шама менен б.э.ш. 276 – 194 жыллар) тәрәпинен есапланды. Буның ушын ол Александрия (А) қаласында жаздың күнги Қуяштың тоқтаў күнги (хәзирги 22-июнь)  $z$  қашықлығын өлшеди (1-сүүрет) хәм бул шама 7 градустай болып шықты. Тап усы күни Египеттиң түслик тәрәпиндеги Асуан (С) қаласында Қуяш нурларының Жер бетине перпендикуляр бағытта келип түсетуғынлығы, усының салдарынан терең қудықлардың түбине де Қуяш нурларының түсетуғындағы белгили еди. Соның менен бирге еки қала да бир меридианның бойында жатады. Сонлықтан меридиан бойынша сол еки қала арасындағы қашықлық доғаның 7 градусына сәйкес келеди (Жердиң орайында  $z$  мүйеши А хәм С арасындағы мүйешке тең, себеби олардың тәрәплери бир бирине параллел). 7 градус меридианның толық узынлығына тең. Асуан хәм Александрия қалалары арасындағы қашықлық 5000 Египет стадиясына тең еди. Сонлықтан Жер шеңбери узынлығы ушын 250 000 стадия алынды. Буннан Жердиң радиусын аңсат есаплаўға болады. Егер 1 стадия шама менен 158 м ге тең болса, онда Эратосфен тәрәпинен алынған Жердиң радиусы 6290 км болып шығады (хәзирги қабыл етилген мәнисиниң 6378,39 км екенлигин еске түсиремиз хәм хақыйқатында 1 стадийдың неше метрге тең екенлиги мәлим емеслигин атап өтемиз).

Ал-Беруний шама менен 1022-жыллары Индияда жүрип Жердиң радиусын өлшеди хәм 6613 км ге тең нәтийже алды.

Усы айтылғанлардан Христофор Колумбтың Жердиң өлшемлерин болжағанда неликтен соншама қәтелер жибергенлигин түсиниў оғада кыйын. Себеби Эратосфеннен бир ярым мың жыл жасаса да Америка континентин ол Индияның бир бөлеги деп қабыл етти!



2-сүрет.

Горизонттың ұзықтығын анықлау.

Жердің тек радиусын биле отырып (Жерді шар тәрізлі деп есептейміз) және бір әхмийетлі шаманы – горизонттың ұзақтығын есептей аламыз. 2-сүретте көрініп тұрғанындай радиус бақылау нүктесінде Жердің радиусы  $R$  бақылаушының биіктігі  $h$  пен бірге туыс мүйешілі үш мүйешіліктің гипотенузасы болып табылады. Сондықтан горизонттың ұзақтығы  $L$  төмендегідей эпифайы формула жәрдеминде анықланады:

$$L = ((R+h)^2 - R^2)^{1/2} \quad (1)$$

Егер  $R = 6370$  км хәм  $h = 1.6$  м мәніслерін қойсақ  $4.5$  км шамасы алынады. Принципинде керісінше  $L$  бойынша  $R$  ди де есептей мүмкін. Бірақ горизонттың ұзақтығын дәл өлшеу мүмкін емес (мысалы көлдің ямаса теңіздің бетінде де). Ай ушын  $R = 1737$  км, сондықтан  $h = 1.6$  м болғанда горизонттың ұзақтығы тек  $2.4$  км ди ғана құрайды.

Солай етип бизің планетамыздың формалары менен өлшемлери әйемнен бери белгили. Ал енди оның бетінде туып өз көшери дөгерігінде айланатуғынлығын дәлиллейге болма ма? Деген сорау туылады. Бул сорауға «әлбетте мүмкін» деп жуап бериу керек (хәтте бир неше усуллар жәрдеминде).

## Жердің айланыуы

1672-жылы француз Рише маятникли саатлардың экваторда Париждегиге қарағанда әстерек жүретуғынлығын тосыннан сезіп қалды. Бул фактке түсиники Англиялы физик, математик хәм астроном Исаак Ньютон (1643 - 1727) тапты. Жердің айланыуы орайдан қашыушы күштің пайда болуына алып келеди. Бул күштің бағыты айланыу көшерине перпендикуляр. Сондықтан орташа кеңліклерде орайдан қашыушы күшлер шамасы бойынша экваторға қарағанда киширек. Соның менен бірге орташа кеңліклерде орайдан қашыушы күшлер горизонтқа базы бир мүйеш жасап бағытланған. Экваторда орайдан қашыушы күштің шамасы ең үлкен мәніске ийе. Бул салмақ күшінің киширейіуіне ( $g$  ның киширейіуіне) хәм соның салдарынан маятниктің тербеліу дәуірінің үлкейіуіне алып келеди [себеби  $T = 2\pi(l/g)^{1/2}$ ].

1851-жылы француз физиги Жан Фуко (1819 - 1868) тәжірийбеде маятниктің тербеліу тегислігінің уақытқа байланысы бурылатуғынлығын көрсетті. Бул қубылыс та Жердің өз көшери дөгерігінде суткалық айланыуы менен түсиндириледі. Кейинирек бул тәжірийбе басқа қалаларда да қайталанды (соның ишінде Санкт Петербурттағы Исаакиев соборында). Әлбетте маятниктің тербеліс тегислігінің бурылуы эффекти тәжірийбе өткерілген кеңліктен ғәрезли: эффект полюстарда жақсы көринеди, ал экваторда пүткіллей бақланбайды. Сол Жан Фуко гироскоп ойлап тапты. Бул гироскоптың айланыу көшерінің бағытын сақлай алу қасиеті де Жердің суткалық айланысын дәлилледі (гироскоп көшери қалған аухалда бир сутка ишінде шеңбер сызады, бул хакқында кейинирек айтылады).

Жердің айланысының басқа бір дәлилі сыпатында Кориолис күшінің қозғалышы хауа ямаса суы массасына тәсири болып табылады (мысалы Әмиұдәрьяның барлық уақытта да оң тәрепке қарай – шығыс тәрепке қарай дегиш алыуы).

### Жердің дәлирек формасы

Жердің айланыу дәуири (24 саат) менен радиусын биле отырып экватордағы айланыу тезлигин есаплау мүмкин:  $v_0 = \omega R$ , бул жерде  $\omega = 2\pi/86400$  айл./с хәм  $R = 6378$  км болғанлықтан  $v_0 \sim 460$  м/с шамасы алынады (ф кеңлигинде бул тезлик  $v = v_0 \cdot \cos(\varphi)$  шамасына тең). Массасы  $m$  болған денеге орайдан қашыушы  $F_{ц} = m \cdot \omega^2 \cdot R$  күши тәсир етеди хәм пүткіл дүньялық тартылыс нызамы бойынша  $F_g = G \cdot M \cdot m / R^2$  күши тәсир етеди. Бул жерде  $M$  Жердің массасы,  $R$  - оның радиусы. Шар тәризли Жер ушын  $F_{ц}$  күшиниң  $F_g$  күшине қатнасы:

$$F_{ц} / F_g = \omega^2 \cdot R^3 / (G \cdot M) \quad (2)$$

Егер бул аңлатпаға  $M$  хәм  $R$  шамаларының мәнислерин қойсақ, онда  $F_{ц} / F_g = 3.45 \cdot 10^{-3}$  екенлигине ийе боламыз. Яғный қәлеген денениң экватордағы салмағы полюстағы салмағынан 0.3 % ке киши болыуы керек. Ал хәкыйқатында бул айырма 0.55 % тен аспайды.

Енди Жердің формасының дәл шар тәризли емес екенлигин еске түсиретуғын уақыт келди. Ньютон өз уақытында бириншиси экватордан, екиншиси полюстен Жердің орайына қарай сол орайда бир бири менен байланысатуғын қудық қазылса сол қудықлардағы суудың қәдди хәр қыйлы болатуғынлығын теориялық жақтан дәлилледи. Полярлық қудықтан сууға тек салмақ күши тәсир етеди, ал экваторлық қудықта болса салмақ күши менен бирге орайдан қашыушы күш те тәсир етеди. Суудың еки бағанасы да Жердің орайына бирдей басым түсириуи ушын экваторлық қудықтағы суудың қәдди бийикте жайласыуы керек. Ньютонның есаплаулары бойынша бул айырма Жердің орташа радиусының 1/230 шамасын қурауы керек.

Бундай есаплаулар жүдә қурамалы да емес. Тек ғана заттың полюстағы хәм экватордағы хәр бир элементар көлеминиң салмақларын қосып шығыу керек. Яғный Жердің орайынан қәлеген қашықлықтағы  $g$  қашықлығы ушын

$$m \cdot g_n(r) = m \cdot g_s(r) - m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (3)$$

қатнасының орынланыуы керек.

Еркин түсиу тезлениуиниң радиустан ғәрезлиликлери полярлық хәм экваторлық қудықларда бирдей:  $g_n(r) = g_s(r) = GM/r^2$ , бул жерде  $M$  аркалы  $r$  радиусы ишиндеги масса:  $M(r) = \rho \cdot 4\pi \cdot r^3 / 3$ , бул аңлатпада  $\rho$  аркалы қудықлар ииндеги затлардың тығызлығы белгиленген. Егер усы формулаларды тең салмақлық теңлемеси (3) ке қойсақ, буннан кейин  $m$  ге қыскартсақ хәм Жердің барлық радиусы бойынша интегралласақ (шеп тәрепин 0 ден полярлық радиус  $R_n$ , оң тәрепин 0 ден экваторлық радиус  $R_s$  ге шөкөм), онда мынадай қатнас алынады:

$$R_n = R_s \cdot (1 - 3 \cdot \omega^2 / (4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot G))^{1/2} \quad (4)$$

(4) ке Жердің орташа тығызлығы  $5.52$  г/см<sup>3</sup> шамасын хәм экваторлық радиус  $R_s = 6378140$  м ди қойсақ  $R_n \sim 6356130$  м шамасын аламыз. Яғный полярлық радиус экваторлық радиустан шама менен 22 км ге кем, ал  $f = (R_s - R_n) / R_s = 1/289.8$  болыуы керек. Бул аңлатпадағы  $f$  шамасы **Жердің қысылғанлығы** деп аталады хәм хәкыйқатында 1/298.257 шамасына тең. Солай етип жоқарыда келтирилген теориялық есаплаулар Жер бетиниң хәкыйқый формасына толық сәйкес келеди екен (биз хәтте тығызлықтың радиустан ғәрезлилигин есапқа алмай, орташа тығызлықты алған жағдайда да қанаатландырырлық нәтийжелерди алдық).

Биз хәзир узынлықтың бир бирлиги хәққында гәп етемиз. Меридианның толық узынлығы ушын 40 000 км алынғанлықтан усы узынлықтың 1 градусы оның 1/360 бөлимин қурайды, ал ол болса шама менен 111.111 км ге тең, ал 1' = 1.852 км. Бул бирлик **теңиз мили** деп аталады.

## Жердің массасы

Жердің массасын жеткиликке дәрежедегі дәлдікте 1797-жылы Генри Кавендиш өлшеді. Бұл үшін ол ушыларында қорғасыннан соғылған шариклер бекитілген айланбалы тәрезиіден пайдаланды. Бұл шариклерге хәр қыйлы тәрептерден массалары белгилі болған екі үлкен қорғасын шарды жақынлатыу арқалы киши шардың үлкен шарға тартылыу күшинің Жерге тартылыу күшинен каншаға айрылатуғынлығын анықлады. Нәтийжеде Жердің массасы үшін  $6 \cdot 10^{21}$  тонна алынды. Бұл шама хәзирги уақытлары қабыл етилген шамаға жүдә жақын (кестени қараңыз).

Енди және де пүткил дүньялық тартылыс нызамын еске аламыз. Жердің бетінде оның тартыуы пайда еткен тезлениу **салмақ күши тезлениуі** деп аталады. Бұл тезлениу шама менен Жердің орайына қарай бағытланған хәм шамасы бойынша мынадай:

$$g = G \cdot M / r^2 \quad (5)$$

Бұл аңлатпадағы  $G$  гравитация тураклысы,  $M$  Жердің массасы,  $r$  оның радиусы. Егер Жер айланбағанда хәм дәл сфера тәризли болғанда (5)-аңлатпа дәл орынланған болар еди. Бирақ бұл шәртлер орынланбайды.

Жердің эллипс тәризли формасы үшін салмақ күшинің бағыты эллипсоидтың геометриялық орайынан парк қылады. Бұл ауысыу экватор менен полюстерде нолгее тең, ал  $\pm 45^\circ$  лық кеңдіктерде максималлық мәнісине тең (5',7). Ал экваторда Жердің формасының эллипс тәризли екенлігіне байланысly тартылыс күшинің мәнісі полюстердегіге қарағанда  $f/2$  шамасына киши (шама менен  $1/600$  бөлегі).

Усының менен бирге салмақ күшинің тезлениуіне Жердің суткалық айланысының салдарынан пайда болатуғын орайдан қашыушы тезлениу де киреди. Бұл тезлениу айланыу көшери бағытына перпендикуляр. Орайдан қашыушы тезлениу  $\omega^2 \cdot r$  шамасына тең ( $\omega = 2\pi/T$  айланыудың мүйешлік тезлігі,  $T$  айланыу дәуірі). Жер үшін жулдызлар суткасының шамасы алыныуы керек ( $T = 86146$  с). Экваторда орайдан қашыушы тезлениу максималлық мәнісине тең:  $\omega^2 \cdot r = 3.39$  см/с<sup>2</sup>. Экваторда орайдан қашыушы күш салмақ күшинің бағытына қарама-қарсы, сонлықтан толық тезлениу  $g = 980.03$  см/с<sup>2</sup> шамасына тең. Полюстарда болса орайдан қашыушы күш жоқ.

Аралықлық кеңдіктерде орайдан қашыушы күш параллелдің радиусына пропорционал  $r = \rho \cdot \cos(\varphi_a)$ . Бұл аңлатпадағы  $\rho$  Жердің орайына шекемги қашықлық (радиус-вектор), ал  $\varphi_a$  геоорайлық кеңдік. Бұл аңлатпадағы  $\varphi_a$  шамасының әдеттеги географиялық кеңдік  $\varphi$  ден айырмасы  $\varphi - \varphi_a = 11'.6 \cdot \sin(2\varphi)$  шамасына тең. Сонлықтан орайдан қашыушы тезлениу  $\omega^2 \cdot r = \omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi_a)$  ди меридиан хәм экватор бойынша вертикаллық  $\omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi_a) \cdot \cos(\varphi)$  хәм горизонталлық  $\omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi_a) \cdot \sin(\varphi)$  қураушыларға жиклеу мүмкін. Егер  $\varphi_a$  хәм  $\varphi$  шамалары арасындағы үлкен емес айырманы есапқа алмасақ, онда орайдан қашыушы күштің горизонт бағытындағы қураушысы  $\omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\varphi) \pm 45^\circ$  болған кеңдікте максималлық  $1.7$  см/с<sup>2</sup> мәнісине жетеди. Бұл шама мүйешлік өлшемдерде асып қойылған заттың түслик тәрепке қарай  $5.9$  ауысыуын тәмийинлейди. Орайдан қашыушы тезлениудің вертикаллық қураушысы  $\omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi)$  экваторда  $\omega^2 \cdot \rho$  ға, ал  $\pm 45^\circ$  болған кеңдікте  $-0.5 \cdot \omega^2 \cdot \rho$  хәм на полюстерде нолге тең. Солай етип экваторда салмақ күшинің тезлениуі орайдан қашыушы күштің тәсирінде  $f/2$  шамасына киширейген. Нәтийжеде экваторда салмақ күшинің тезлениуі полюстардағыға қарағанда  $f/2 + f = 1.5 \cdot f \sim 1/200$  шамасына киши болып шығады.

Салмақ күшинің тезлениуінің бийікликтен ғәрезілігін 1743-жылы француз математиги А.Клеро тапты:

$$g = g_0 \cdot (1 + \beta \cdot \sin^2(\varphi)), \quad \beta = (g_0 - g_p) / g_0. \quad (6)$$

Бұл аңлатпада  $g_0$  арқалы экватордағы,  $g_p$  полюстеги еркин түсиу тезлениуі белгиленген, ал коэффициент  $\beta = 2.5 \cdot q - f$  (бұл жерде  $q$  арқалы экватордағы орайдан қашыушы тезлениудің еркин түсиу тезлениуіне қатнасы белгиленген,  $f$  - Жердің қысылыуы). Хәзирги уақытлардағы санлық мәністерде Клеро формуласы былайынша жазылады:



$$g = 978.03 \cdot (1 + 0.00529 \cdot \sin^2(\varphi)) \quad (7)$$

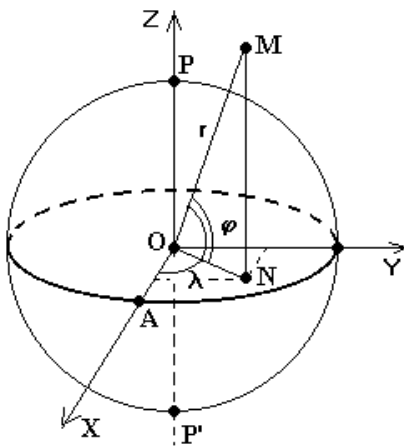
Еркін түсіуі тезленіуін хәр қыйлы орныларда өлшеуі  $\beta$  шамасының санлық мәнісін табыуға мүмкіншілік береді, ал бул шама арқалы Жердің қысылыуы  $f$  ти ала аламыз. Салмақ күші тезленіуін көп сандағы усыллар менен анықлау мүмкін. Солардың ишіндегі ең әпиуайысы узынлығы  $l$  болған математикалық маятниктің тербеліуі дәуірі бойынша:

$$T = 2\pi \cdot (l/g)^{1/2} \quad \text{буллан} \quad g = 4\pi^2 \cdot l/T^2. \quad (8)$$

Жердің бети бойынша салмақ күші тезленіуінің мәнісін өлшеуі хәм оның тарқалыуын табыу менен астрономияның арнаулы бөлімі *гравиметрия* шуғылланады.

## Сфералық координаталар системасы хәм аспан сферасы

Жақтыртқышлардың орынларын анықлау үшін неликтен астрономияда сфералық координаталар системасы қолланылады? Жууап әпиуайы: себебі көпшілік аспан денелеріне шекемгі аралықтардың шамасы хәзіргі уақыттары да белгилі емес (ал әйемгі уақыттары пүткиллей белгисіз еді). Ал тууры сызықлы координаталар системасында ноқаттың ийелеп турған орны үш сызықлы шама жәрдеминде анықланатуғын болғанлықтан, бундай система басым көпшілік астрономиялық мақсетлерді орынлау үшін жарамсыз болып табылады.



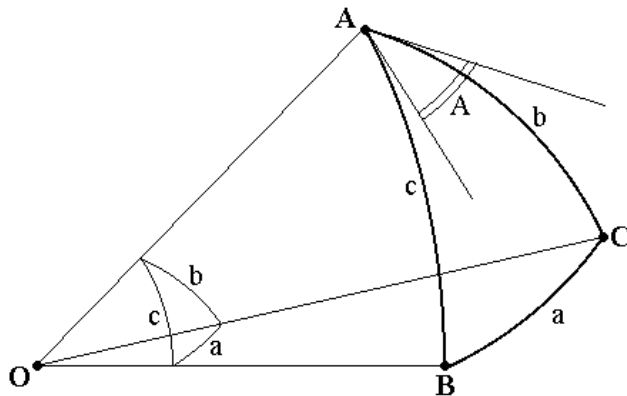
1-сүүрет. Сфералық координаталар системасы.

Сфералық координаталар системасы 1-сүүретте келтирилген. Оның кеңісліктегі ориентациясы екі ноқат пенен белгиленеді. Биринші ноқат системаның полюсы Р, полюс арқалы өтиуші сфераның диаметрі РР' *системаның бас көшері* деп аталады, ал бул көшерге перпендикуляр болған ХОУ тегислігі *системаның бас тегислігі* деп аталады. Екінші сайлап алынған А ноқаты ОХ көшерінің сфера менен кесілісуі ноқаты бас тегисліктегі есаплау басын береді. Бул координаталар системасындағы М ноқатының турған орны (ол сфераның бетінде жатпауы да мүмкін) М ноқатынан сфераның орайы О ға шекемгі аралық  $r$  (ОМ кесіндісінің узынлығы) хәм екі мүйеш пенен анықланады:  $\varphi$  - ОМ туурысы менен бас тегислік ХОУ бас тегислігі арасындағы мүйеш ( $-90^\circ$  тан  $+90^\circ$  қа шекем өзгереді) хәм  $\lambda$  - ОМ радиус-векторының бас тегислік ХОУ ке түсірилген проекциясы (ОН кесіндісі) менен прямой ОА туурысы арасындағы мүйеш ( $0^\circ$  тан  $360^\circ$  қа шекем ямаса  $-180^\circ$  тан  $+180^\circ$  қа шекем).  $\varphi$  мүйешін радиус-вектор ОМ хәм бас көшер РР' арасындағы мүйешке  $90^\circ$  қа шекемгі косымша түрінде анықлауға болады ( $0^\circ$  ден  $180^\circ$  қа шекем). Координаталардың астрономиялық системалары бир биринен бас көшерді хәм бас тегисліктегі есаплау басын сайлап алыу бойынша бир биринен өзгешелигінің бар екенлігі төменде көрсетиледі. Координаталардың сфералық системасы үшін Р хәм Р' полюслары үшін  $\varphi$  мүйеші сәйкес  $+90^\circ$  хәм  $-90^\circ$  қа тең (анықламасы бойынша).

Солай етип координаталардың сфералық системасында М ноқатының турған орны радиус-вектор  $r$  дің узынлығы хәм  $\varphi$  хәм  $\lambda$  мүйешлері менен анықланады екен. Бул

мүйешлер қашықтықтардан ғәрезли емес. Жоқарыда айтылғандай, әдетте астрономияда  $\Gamma$  қашықтығы белгили емес. Сонлықтан әййемги ўақытлардан баслап **аспан сферасы** түсиниги киргизилген. Әдетте аспан сферасын ықтыярлы радиусқа ийе сфера, бул сфераның орайы Жердиң бетиндеги баклаўшы турған орында (топоорайлық) ямаса Жердиң орайында (геоорайлық), Куяштың орайынша (гелиоорайлық) хәм тағы басқа деп жазады. Бир қанша жағдайларда оның радиусы бир бирликке тең деп кабыл етиледи (ал гейпара ўақытлары шексизликке тең деп те кабылланады, бундай жағдайларда аспан сферасы өз ишине барлық жактыртқышларды алады). Хәр бир аспан жактыртқышы аспан сферасының бетинде жайласқан деп есапланады (әййемги ўақытлары сондай деп есаплаған). Сонлықтан астрономиялық сфералық координаталар системасында жактыртқыштың турған орны хақкында гәп еткенде олардың хақыйкый орны емес, ал олардың аспан сферасында ийелеген орынлары нәзерде тутылады. Сонлықтан сол орынларды анықлаў ушын еки мүйеш жеткиликли болады.

Аспан сферасының оның орайы арқалы өтетугын тегисликлер менен кесилисиў сызықлары үлкен шеңберлер деп аталады. Ал оның орайы арқалы өтпейтуғын тегисликлер менен кесилисиў сызықлары киши шеңберлер деп аталады. Демек үлкен шеңбер аспан сферасын теңдей екиге бөледи.



2-сўўрет. Сфералық үш мүйешликтин элементлери.

Тегисликте туўрылар қандай орынды ийелесе, сферадағы үлкен шеңберлер де сондай орынды ийелейди. Үш үлкен шеңбер (егер олар бир ноқатта кесилиспесе) сферада бир неше үш мүйешликлерди пайда етеди. Әдетте солардың ишиндеги барлық тәреплери менен мүйешлери  $180^\circ$  тан кемлери каралады (2-сўўреттеги ABC). Хәр бир үш мүйешликлердин тәреплериниң узынлықлары  $a$ ,  $b$  хәм  $c$  мүйешлик шамаларда өлшенеди хәм сфераның  $O$  орайындағы сәйкес мүйешлер түринде анықланады (сфераның радиусы бир бирликке тең деп кабыл етиледи). Сфералық үш мүйешликтин  $A$ ,  $B$  хәм  $C$  мүйешлери кесилисиў орныларындағы доғаларға түсирилген мүйеш пенен анықланады ( $A$  мүйеши ушын көрсетилгендей). Сфералық үш мүйешликлерди шешиў менен сфералық тригонометрия деп аталыўшы математиканың бөлими шуғылланады. Ал бул бөлимди астрономияға қолланса сфералық астрономия алынады. Тегисликтеги үш мүйешликлер ушын тригонометрияның формулалары сыяқлы сфералық үш мүйешликлердин тәреплери менен мүйешлери ушын арналған катнаслар бар. Бул катнаслардың өзлери жоқары математика бөлиmine тийисли. Бирақ бул катнаслар арқалы астрономияда бир координаталар системасынан екинши координаталар системасына өтиўге мүмкиншилик беретугын аңлатпаларды алыўға болады. Бул аңлатпалар үш топарға бөлинеди:

Синуслар теоремасы:

$$\sin(a)/\sin(A) = \sin(b)/\sin(B) = \sin(c)/\sin(C) \quad (1)$$

Косинуслар теоремасы:

$$\cos(a) = \cos(b)\cos(c) + \sin(b)\sin(c)\cos(A) \quad (2)$$

$$\cos(b) = \cos(c)\cos(a) + \sin(c)\sin(a)\cos(B)$$

$$\cos(c) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)\cos(C)$$

$$\begin{aligned}\cos(A) &= -\cos(B)\cos(C) + \sin(B)\sin(C)\cos(a) \\ \cos(B) &= -\cos(C)\cos(A) + \sin(C)\sin(A)\cos(b) \\ \cos(C) &= -\cos(A)\cos(B) + \sin(A)\sin(B)\cos(c)\end{aligned}\quad (3)$$

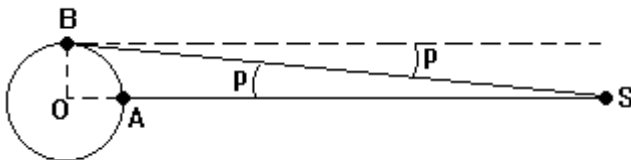
Бес элемент формулалары:

$$\begin{aligned}\sin(b)\cos(A) &= \sin(c)\cos(a) - \cos(c)\sin(a)\cos(B) \\ \sin(b)\cos(C) &= \sin(a)\cos(c) - \cos(a)\sin(c)\cos(B) \\ \sin(c)\cos(B) &= \sin(a)\cos(b) - \cos(a)\sin(b)\cos(C) \\ \sin(c)\cos(A) &= \sin(b)\cos(a) - \cos(b)\sin(a)\cos(C) \\ \sin(a)\cos(C) &= \sin(b)\cos(c) - \cos(b)\sin(c)\cos(A) \\ \sin(a)\cos(B) &= \sin(c)\cos(b) - \cos(c)\sin(b)\cos(A)\end{aligned}\quad (4)$$

Аспан сферасындағы еки нокат аркалы (егер олар диаметрдің бойында жатпаса) тек бир үлкен шеңбер жүргизиў мүмкин. хәм үлкен шеңбердің доғасы сфераның бетиндеги сол еки нокат арасындағы ең киши кашықлық болып табылады. Бундай сызықты **геодезиялық сызық** деп атаймыз. Аспан сферасындағы еки нокат арасындағы кашықлық ретинде усы нокатлар аркалы өтетуғын үлкен шеңбердің узынлығы алынады.

Жоқарыда келтирилген формулалардың пайдаланылыўына мысал сыпатында аспан сферасындағы еки ықтыярлы нокат арасындағы мүйешлик кашықлықты есаплаў формуласын келтирип шығарамыз. 2-сүўреттеги А нокатын сфералық координаталар системасының полюсы деп қабыл етемиз, ал С хәм В нокатлары болса сәйкес  $\lambda_1$ ,  $\varphi_1$  хәм  $\lambda_2$ ,  $\varphi_2$  координаталарына ийе болады. Бундай жағдайда В хәм С нокатлары арасында изленип атырған кашықлық а тәрәпиниң узынлығына тең болады. Оның шамасын анықлаў ушын косинуслар теоремасын колланамыз. С нокатының А полюсына шекемги мүйешлик кашықлық b тәрәпи болып табылады, яғный  $b = 90^\circ - \varphi_1$ . Усыған сәйкес  $c = 90^\circ - \varphi_2$ . А мүйеши  $\lambda_1$  хәм  $\lambda_2$  координаталарының айырмасына тең. Сонлықтан косинуслар теоремасы мына түрге енеди:

$$\begin{aligned}\cos(a) &= \cos(90^\circ - \varphi_1)\cos(90^\circ - \varphi_2) + \sin(90^\circ - \varphi_1)\sin(90^\circ - \varphi_2)\cos(\lambda_1 - \lambda_2) \\ \text{ямаса түрлендириўлерден кейин} \\ \cos(a) &= \sin(\varphi_1)\sin(\varphi_2) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\cos(\lambda_1 - \lambda_2).\end{aligned}\quad (5)$$



3-сүўрет. Параллакслық аўысыў.

Жактыртқыштың сфералық координаталарының баклаўшының қозғалысы себебинен өзгерислери **параллакслық аўысыў** ямаса **параллакс** деп аталады. 3-сүўретте көринип турғанындай баклаўшы А (ямаса О) нокатынан В нокатына көшкенде S жактыртқышы аўысатуғын p мүйеши сан жағынан S тәрәпинен ОВ кесиндиси көринетуғын мүйешке тең, яғный  $\tan(p) = |OB|/|OS|$ . ОВ кесиндиси (ең киши кашықлық) **базис** болып табылады.

**Суткалық параллакс** Жердің өз көшери дөгерегинде айланыўының салдарынан пайда болады хәм төбеси жактыртқышта, ал бириншиси Жердің орайына, екіншиси Жер бетиндеги баклаўшыға қарай бағытланған еки туўры арасындағы мүйеш болып табылады. Баклаў орнының горизонтында жайласқан жактыртқыштың параллакс **горизонталлық параллакс** деп аталады. Ал усында жағдайда баклаўшы тәрәпинен ийеленген орын экваторда болса **горизонталлық экваторлық параллакс** деп аталады. Горизонталлық экваторлық параллакс ушын Жердің экваторлық радиусы базис болып табылады хәм ол тек жактыртқышқа шекемги аралықтан ғәрезли болады. Айдың горизонталлық экваторлық параллакс шама менен  $1^\circ$  қа тең, ал Қуяш ушын  $8''$ .

Жактыртқыштың **жыллық параллакс** (бул параллакс тригонометриялық параллакс деп те аталады) Жердің Қуяш дөгерегиндеги айланысының нәтийжеси болып табылады. Бул параллакс ушын Жер орбитасының үлкен ярым көшери хызмет етеди. 3-сүўреттен

жыллық параллакстың жақтыртқышта турып карағанда көриў нурына перпендикуляр бағыттағы Жер орбитасының үлкен ярым көшери көринетуғын мүйеш екенлигин аңлаўға болады.

Жыллық параллаксты өлшеў жұлдызларға шекемги аралықты анықлаўдың бирден бир жолы болып табылады. Жыллық параллакс  $1''$  қа тең болған қашықтық **парсек** (параллакс - секунд, қысқаша пк) деп аталады хәм жұлдызлар, галактикалар аралық қашықтықларды өлшеўдің тийкарғы бирлиги болып табылады. 2-сүүретте көринип турғанындай, 1 пк Жер орбитасының үлкен ярым көшеринен 206264.8 (радиандағы мүйешлик секундлар саны) есе үлкен хәм  $3.086 \cdot 10^{18}$  см ге тең. Хәтте жақын жұлдызлар ушын параллакс  $1''$  тан кем. Сонлықтан жұлдызларға шекемги аралықлар олардың параллаксары арқалы аңлатылады. Усындай киши  $p$  ларда  $d=1/p$  қатнасы орынланады ( $d$  арқалы парсеклердеги қашықтық белгиленген),  $p$  доғаның секундындағы жыллық параллакс).

**Әсирлик параллакс** – Қуяш системасының Галактика бойыша қозғалыўы салдарынан жақтыртқыштың бир жыл даўамындағы мүйешлик аўысыўы (егер жақтыртқыштың қозғалыс бағыты усы қозғалысқа перпендикуляр болатуғын болса). Жұлдызлар өзлериниң меншикли қозғалысларына ийе болғанлықтан әсирлик параллакслар жұлдызлардың жеткиликли дәрежеде үлкен топарлары ушын статистикалық анықланады.

## Географиялық координаталар

Бул координаталарды сфералық координаталар системасын Жердиң сфералық емес бети ушын колланыў деп те атаўға болады (бул жағдайда координаталардың сфералық системасының бас көшери Жердиң меншикли айланыў көшери болып табылады).

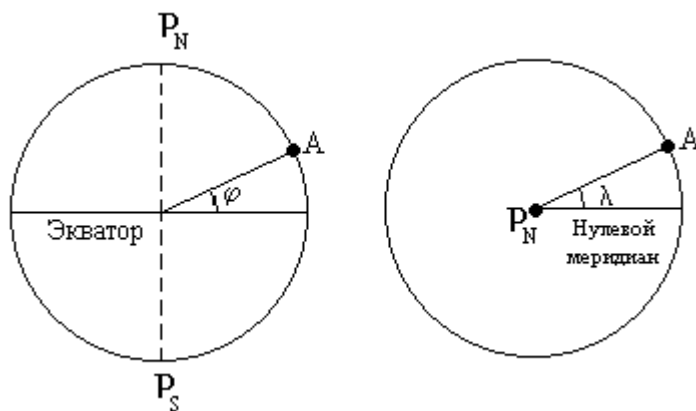


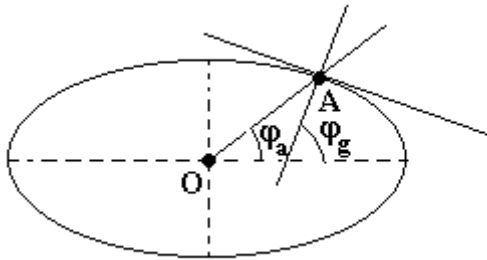
Рис. 1. Географиялық координаталар.

Жер бетиндеги А ноқатының географиялық кеңлиги деп экватор тегислиги менен сол А ноқатына түсирилген радиус арасындағы мүйеш болып табылады (1-сүүреттеги шеп тәрепте). Кеңлик  $\varphi$  хәрипи жәрдеминде аңлатылады хәм экватордан арқа тәрепке қарай өлшенсе (арқа ярым шар) оң мәниске, ал түслик тәрепке қарай өлшенсе (түслик ярым шар) терис мәниске ийе деп есапланады. Бирдей кеңликке ийе ноқатлар жатқан сызықлар географиялық **параллеллер** деп аталады. Жердиң бетин Жер көшерин өз ишине алатуғын тегисликлер кескенде алынатуғын сызықлар географиялық **меридианлар** деп аталады. А ноқаты арқалы өтетуғын меридиан менен нолинши меридиан арасындағы мүйеш географиялық **узынлық** деп аталады хәм  $\lambda$  арқалы белгиленеди (1-сүүрет, оң тәрепте). Хәзирги ўақытлары нолинши меридиан сыпатында Лондон қаласындағы (Англия) Гринвич обсерваториясы турған меридиан кабыл етилген. Бул меридиан Гринвич меридианы деп те аталады. Узынлық әдетте ноллик меридианның еки тәрепине карай өлшенеди (шығысқа ямаса батысқа қарай) хәм сонлықтан оның мәнисине «шығысқа карай узынлық» (Гринвичтен шығысқа карай) ямаса «батысқа карай узынлық» (Гринвичтен батысқа карай) сөзлери қосылады. Мысалы Москваның географиялық координаталары мынадай:  $\lambda = 37^\circ 38'$  шығысқа қарай узынлық,  $\varphi = +55^\circ 45'$ .

Ташкент қаласының координаталары:  $\lambda=69^\circ 13'$ ,  $\varphi = 41^\circ 16'$ .

Нөкис қаласының координаталары:  $\lambda = 59^{\circ}29'$ ,  $\varphi = 42^{\circ}50'$ .

Бірақ жоқарыда келтирилген мағлыұматлардың барлығы да биринши жақынласыу болып табылады. Кеңликтің анықламасында А нокатына қарай өткерилген радиус нәзерде тұтылады. Ал радиус болса Жердің орайына қарай бағытланған бағыт. Оны хәр қыйлы жоллар менен анықлау мүмкін. Солардың ишинде ең көп тарқалғаны ушына жүк байланған жиптің бағыты болып табылады. Бул жиптің бағыты экватор менен полюсларда хакыйқатында да Жердің орайына қарай бағытланған. Ал басқа кеңликлерде ондай емес. Бірақ усы кемшиликке қарамастан жүк байланған жиптің бағыты **координаталардың горизонталлық системасындағы** бас көшер болып табылады. Бул көшер арқалы анықланған кеңлик  $\varphi_g$  **астрономиялық (ямаса географиялық) кеңлик** деп аталады.



2-сүүрет. Географиялық ( $\varphi_g$ ) хәм геоорайлық ( $\varphi_a$ ) кеңликлер арасындағы айырма.

2-сүүретте геоорайлық кеңликтің бар екенлиги көрсетилген (бул жерде орай Жер бетін тәрипплейтуғын эллипсоидтың геометриялық орайы). Географиялық хәм геоорайлық кеңликлер арасындағы математикалық айырма:

$$\varphi_g - \varphi_a = 11'.6 \cdot \sin(2 \cdot \varphi_g)$$



3-сүүрет. Географиялық координаталық тор.

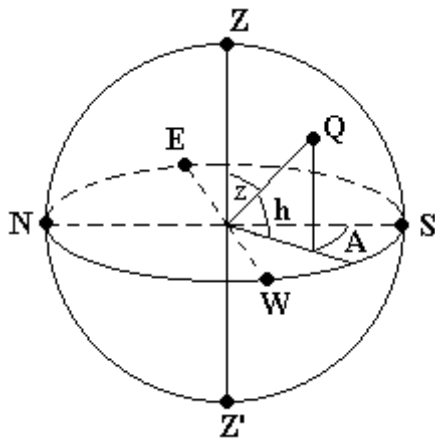
## Горизонталлық координаталар системасы

Әдетте горизонталлық координаталар системасы хакқындағы әңгиме былайынша басланады: Жүк илдирилген жиптің  $ZZ'$  сызығын жүргиземиз (жоқарғы нокат  $Z$  - *зенит*, төменги нокат  $Z'$  - *надир*).  $ZZ'$  сызығына перпендикуляр тегисликтің аспан сферасының үлкен шеңбері **математикалық ямаса астрономиялық горизонт** деп аталды.

Солай етип жүк илдирилген жип сызығы координаталардың горизонталлық системасының бас көшери, ал горизонт болса оның бас тегислиги екен.

Горизонт тегислиги менен  $Q$  жақтыртқышына қарай бағытланған бағыт арасындағы мүйеш  $h$  **бийиклик** деп аталады. Егер жақтыртқыш горизонттың үстінде жайласқан болса бул мүйештің мәнісі оң, ал горизонттан төменде жайласқан болса теріс деп есапланады. Горизонт ушын  $h=0^{\circ}$ , зенитте  $h=90^{\circ}$ , надирде  $h=-90^{\circ}$ . Жақтыртқыш пенен зенитке қарай

бағытланған туұрылар арасындағы мүйеш жақтыртқыштың *зенитлик қашықтығы* деп аталады. Аспан сферасын математикалық горизонтқа параллел тегислик пенен кескенде алынған шеңбер *бірдей бийикликлер шеңбері* ямаса *альмуантарат* деп аталады. Q жақтыртқышы хәм зенит Z арқалы өткерилген үлкен шеңбер жақтыртқыштың *вертикалы* деп аталады.



1-сүўрет. Координаталардың горизонталлық системасы

Екинши координатаны анықлаў ушын горизонтта есаплаў ноқатын, ал оның ушын арқа N ямаса түслик S ноқатларын анықлаў керек. Әдетте түслик ноқат деп Қуяш горизонттан максимал көтерілгендеги Қуяш вертикалының горизонт пенен кесилисиў ноқатын алады. Горизонт тегислигинде жататуғын хәм арқа, түслик ноқатлардан өтетуғын туұры *түслик сызық* деп аталады. Батыс ноқаты W менен шығыс ноқаты E түслик сызығына перпендикуляр болған сызықтың бойынша жайласады.

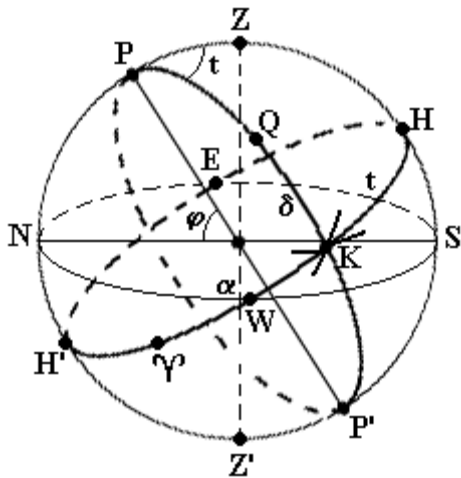
Горизонт тегислигиндеги жақтыртқыштың вертикалы хәм есаплаў ноқаты арасындағы мүйеш A азимут деп аталады (1-сүўрет). Егер зенит тәрәптен карасақ (яғный батыс тәрәпке қарай) *астрономиялық азимут* түслик ноқаттан саат стрелкасының қозғалыў бағыты бойынша есапланады. *Геодезиялық азимут* арқа ноқатынан сол бағыт бойынша өлшенеди.

Аспан сферасының зенит, арқа, түслик ноқатлары арқалы өтетуғын үлкен шеңбері *аспан меридианы* деп аталады. Аспан меридианында Жер көшериниң аспан сферасына түсирилген проекциялары да жатады. Оларды *дүньяның полюслары* деп атаймыз. Зенит, батыс хәм шығыс ноқатлары арқалы өтетуғын үлкен шеңбер *биринши вертикал* деп аталады.

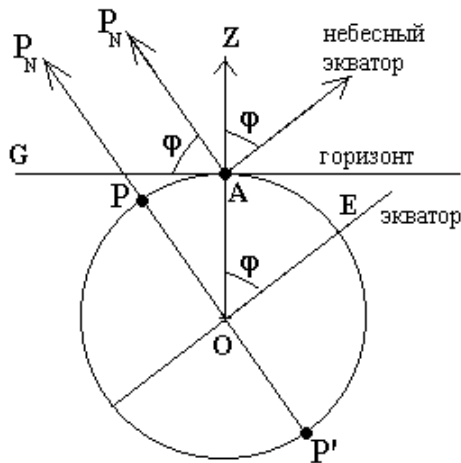
Зенит Z хәм надир Z' ноқатлары ушын  $h = \pm 90^\circ$  хәм азимут анықланбаған.

## Экваторлық координаталар системасы хәм аспан сферасының суткалық айланысы

Экваторлық координаталар системасында бас көшер дүньялық P хәм P' полюслери арқалы өтетуғын дүнья көшери (1-сүўрет), ал бас тегислик – дүнья көшерине перпендикуляр тегислик болып табылады. Бас тегислик аспан сферасын үлкен шеңбер HWH'E бойынша кеседи хәм *аспан экваторы* деп аталады. Аспан экваторы аспан сферасын арқа аспан ярым шары хәм түслик аспан ярым шары деп аталатуғын еки ярым сфераға бөледі. Q жақтыртқышы хәм P, P' полюслери арқалы өтетуғын аспан сферасының үлкен шеңбері *еңкейіу шеңбері* деп аталады хәм ол экватор менен K ноқатында кесилиседі. Дүнья көшери Жердиң айланыў көшерине параллел болғанлықтан аспан экваторының Жер экваторының даўамы екенлигин аңсат сезиўге болады. Сонлықтан координаталардың экваторлық системасын аспан сферасына географиялық координаталардың проекциясы деп атаўға болады.



1-сұйрет. Координаталардың экваторлық системасы (арқа ярым шар үшін).



2-сұйрет. Дүния полюсларының бийиклиги теоремасына.

Горизонтқа салыстырғанда дүния полюслары менен аспан экваторы қалай жайласқан? Бириншиден дүния полюслары аспан меридианы тегислигинде жатады. Ал аспан меридианы бақлау нокатындағы Жер меридианының аспан сферасына түсірілген проекциясы болып табылады. Ал бақлау нокатындағы Жер меридианы болса жергиликли арқа-түслик бағыты болып табылады. Екиншиден горизонт үстіндегі дүния полюсының бийиклиги бақлау орнының бийиклигине тең. Бул тастыйықлауды **дүнияның полюсының бийиклиги хаққындағы** теорема деп атаймыз. Бул теорема жүдә аңсат дәлилленеди (2-сұйрет). А нокатының географиялық кеңлиги  $\phi$  экватор тегислиги менен сол А нокатының радиусының (ОА туұрысы) Жердің орайы О дағы кесилису мүйеши. Горизонт тегислиги А нокатында (2-сұйреттегі АГ туұрысы) ОА радиусына перпендикуляр, ал дүнияның арқа полюсына бағыт  $AP_N$  экватор тегислиги ОЕ ге перпендикуляр (анықламасы бойынша) болғанлықтан АОЕ хәм  $GAP_N$  мүйешлериниң тәреплери жуп-жуптан перпендикуляр хәм сонлықтан өз-ара тең. Демек дүния полюсының бийиклиги  $P_N$  хақыйқатында да бақлау нокатындағы географиялық кеңлик  $\phi$  ге тең.

Енди **экваторлық координаталар хаққында** гәп етемиз. Бул координаталардың бири Q нокатының (1-сұйрет) аспан экваторы (KQ доғасы) мүйешлик қашықлығына тең. Бул координата **еңкейіу** деп аталады хәм  $\delta$  хәрипи менен белгиленеди. Экватордың арқа тәрепинде еңкейіу оң мәниске, ал түслик тәрепинде терис мәниске ийе хәм  $-90^\circ$  нан  $+90^\circ$  қа шекем өзгередеди. Q жарқыртқышының дүния полюсы Р ға шекемгі мүйешлик қашықлық полярлық қашықлық  $p$  деп аталады және  $\delta$  еңкейіуіне  $90^\circ$  қа шекем қосымшаға тең.

Экваторлық системаның екинши координатасын беріу үшін аспан экваторындағы есаплау нокатын белгилеп алыу керек. Бул жерде еки вариант бар хәм усыған байланыслы I хәм II типтегі экваторлық системаларға ийе боламыз. I типте есаплау нокаты болып ас-

пан экваторының аспан меридианы менен кесилісіу нокаты Н нокаты хызмет етеди (1-сүүрет). Аспан меридианы тегислиги менен аспан сферасының айланыу бағытында есапланған жақтыртқыштың еңкейіу шеңбері Q дың кесилісіу мүйеши (ямаса НК доғасының узынлығы) *t саат мүйеши* деп аталады. Н нокаты аспан сферасының суткалық айланыуына қатнаспайтуғын болғанлықтан Q жақтыртқышының саатлық мүйеши *t* ўақытқа пропорционал өзгереді. Усыған байланыслы оны ўақытлық бирликлер болған саатларда, минутларда хәм секундларда өлшеген қолайлы. Әдетте *t* аспан меридианының еки тәрәпине карай -  $12^\circ$  тан  $+12^\circ$  қа шекем өзгереді.

II типтеги системада есаплау нокаты сыпатында бәхәрги күн теңлесіу нокаты қабыл етилген ( $\wedge$ ). Бул нокат экватор менен эклиптиканың кесилісіуіндеги еки нокаттың биреуі болып табылады хәм атап айтқанда Қуяштың бәхәрде түслик ярым шардан арқа ярым шарға өтиу нокаты алынады. Бәхәрги күн теңлесіу нокаты аспан сферасында белгили бир орныды ийелейди хәм аспан сферасының суткалық қозғалысына қатнасады. Сонлықтан оның саатлық мүйеши ўақытқа пропорционал өзгереді. Бәхәрги күн теңлесіу нокаты  $\wedge$  нан Q жақтыртқышының еңкейіу шеңберине шекемги, аспан сферасының қозғалыс бағытына қарама-карсы бағытта есапланған мүйешлик қашықлық ( $\wedge$  К доғасы, есаплау  $\wedge$  дан шығыс тәрәпке карай) *туўры шығыу* деп аталады және  $\alpha$  хәрипи менен белгиленеди (1-сүүрет). Әлбетте дүнья полюслары Р хәм Р' ушын саатлық мүйеш те, туўры шығыу да анықланбаған. Есаплау бағыты усындай етип сайлап алынғанда Н нокатының туўры шығыуы да ўақытқа пропорционал өзгереді. Сонлықтан  $\alpha$  шамасын да ўақыт бирликлерінде өлшеймиз (бирақ  $0^\circ$  тан  $24^\circ$  қа шекем). Бәхәрги күн теңлесіу нокатының саатлық мүйеши – 1-сүүреттеги  $\wedge$  доғасының узынлығы *s жулдызлық ўақыт* деп аталады, ал бирдей аталатуғын бәхәрги күн теңлесіу нокатының избеизликтеги еки кульминациясы арасындағы ўақыт *жулдызлық сутка* деп аталады. Жулдызлық суткалардың басы ретінде бәхәрги күн теңлесіу нокатының жоқарғы кульминация моменти қабыл етилген. Сүүретте көрсетилгениндей жулдызлық ўақыт, саттлық мүйеш хәм туўры шығыу  $s = \alpha + t$  түріндеги аңлатпа арқалы байланысқан.

Жулдызлық ўақытты да әдетте саатларда, минутларда хәм секундларда аңлатады. Бирақ бул күнделикли турмыста қолланылатуғын саатлар, минутлар хәм секундлар емес. Күнделикли турмыстағы бул саатлар, минутлар, секундлар Қуяш пенен байланыслы болғанлықтан, ал Қуяш болса жыл даўамында бәхәрги күн теңлесіу нокатына салыстырғанда аўысады, жулдызлық суткалардың басы гүзде түнге, қыста кешке, бәхәрде күндизге, ал жазда азанға сәйкес келеди. Қуяштың суткалық қозғалысына байланыслы өлшенетуғын ўақыт *қуяш ўақыты* деп аталады.

Енди экваторлық координаталар системасы менен горизонталлық координаталар системалары арасындағы байланысты табамыз. Өтиу формулалары Дүнья полюсы – Зенит – Жақтыртқыш сфералық үш мүйешлигинен келтирилип шығарылады. Еңкейіу  $\delta$  ны, саатлық мүйеш  $t$  ны географиялық кеңлик  $\varphi$ , астрономиялық азимут  $A$  хәм зенитлик қашықлық  $z$  бойынша есаплау ушын төмендеги формулалар қолланылады:

$$\sin(\delta) = \sin(\varphi) \cdot \cos(z) - \cos(\varphi) \cdot \sin(z) \cdot \cos(A)$$

$$\sin(t) = \sin(z) \cdot \sin(A) / \cos(\delta)$$

$$\cos(\delta) \cdot \cos(t) = \cos(\varphi) \cdot \cos(z) + \sin(\varphi) \cdot \sin(z) \cdot \cos(A)$$

Бул аңлатпалардағы белгисизлер саны еки болса да үшінши теңleme саатлық мүйеш  $t$  ны анықлау ушын керек. Кери өтиу азимута  $A$  хәм зенитлик қашықлық  $z$  лерди белгили болған  $\varphi$ ,  $t$  хәм  $\delta$  лар арқалы төмендеги формулалар менен есаплайды:

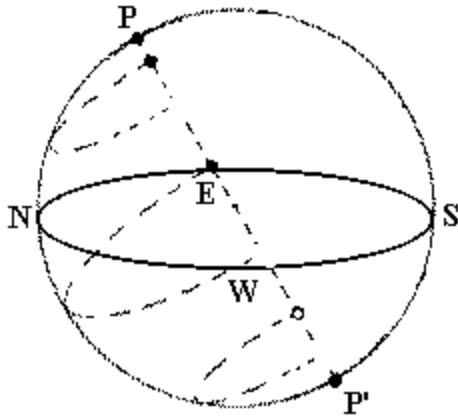
$$\cos(z) = \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(t)$$

$$\sin(A) = \cos(\delta) \cdot \sin(t) / \sin(z)$$

$$\sin(z) \cdot \cos(A) = \sin(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(t) - \cos(\varphi) \cdot \sin(\delta)$$

$$z = 0^\circ \text{ хәм } z = 180^\circ \text{ ушын (зенит хәм надир) азимут } A \text{ анықланбаған.}$$





3-сүрет. Жактырткыштың орта кеңдиклергеги аспан сферасы бойынша қозғалыуы.

Енди аспан сферасының суткалық айланыуы хаққында гәп етемиз. Хәзирше  $\alpha$  хәм  $\delta$  лары тураклы болған жактырткышларды караймыз. Жер батыстан шығысқа карай  $PP'$  (2-сүрет) көшери дөгерегинде бир суткада бир рет айланады. Сонлықтан аспан сферасының көзге көринетуғын айланысы да тап сондай тезлик пенен болады (бирақ кери бағытта – шығыстан батысқа карай, 3-сүрет). Аспан сферасындағы қәлеген ноқатының еңкейиуи ўақытқа байланыслы өзгермейди, ал саатлық мүйеш болса ўақытқа пропорционал өзгередиди. Сонлықта хәр бир жактырткыш суткалық айланыста аспан экваторына параллел қозғалады (тураклы еңкейиу менен киши шеңберлер бойынша). Пайда болған параллалерди **суткалық параллеллер** деп атайды.

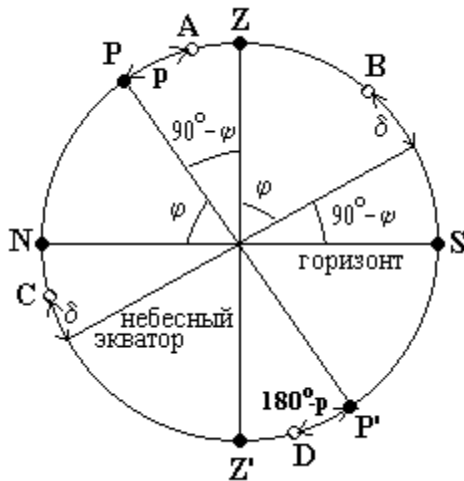
Аспан сферасының хәр қыйлы ноқатларындағы суткалық параллеллерге урынбалар горизонт тегислигине хәр қыйлы мүйешлер менен бағытланған хәм Жактырткыштың зенит  $Z$  аркалы өтиуин **жоқарғы кульминация** деп атайды (усы моментте жактырткыш аспан сферасындағы өзиниң ең жоқарғы ноқаты аркалы өтеди). Ал надир  $Z'$  бар аспан меридианының баска ярымы аркалы жактырткыштың өтиу моментини **төменги кульминация** деп аталады. Бул ноқатта жактырткыштың бийиклиги минималлық мәниске жетеди.  $\pm 6^\circ$  саат мүйешинде барлығы да керисинше: жактырткыштың бийиклигиниң өзгериу тезлиги максималлық, ал азимуттики минималлық.



4-сүрет. Аспан сферасындағы жактырткышлардың үш облас-ты.

Аспан экваторы ( $\delta = 0^\circ$ ) үлкен шеңбер болып табылады. Сонлықтан экватордың ярымы барлық ўақытта да горизонттың астында, екінши жартысы горизонттың үстинде жайласады.  $\delta > 0^\circ$  де жактырткыштың суткалық параллелиниң көпшилик бөлеги горизонт астында хәм еңкейиу үлкен болған сайын бул бөлим арқа ноқатына жақын (жактырткыш арқа ноқатына жақын ноқатларда шығады хәм батады). Арқа ноқатының еңкейиуи  $90^\circ - \varphi$ , сонлықтан  $\delta = 90^\circ - \varphi$  де шығыу хәм батыу ноқатлары арқа ноқаты менен биригеди. Оның ушын суткалық параллел горизонтқа тийеди.  $\delta > 90^\circ - \varphi$  болған жактырткышларда төменги кульминация горизонт астында болады, яғный жактырткыш шықпайтуғын

жақтыртқыш болады (4-сұйрет). Тап сол сыяқлы  $\delta < 0^\circ$  де жақтыртқыштың суткалық параллелинің үлкен бөлеги горизонт астында болады, ал шығыу хәм батыу ноқатлары түслик тәрәпке көбірек жылысқан болады.  $\delta < \varphi - 90^\circ$  жағдайында жоқарғы кульминация горизонттың астында болып өтеди хәм шықпайтуғын жақтыртқыш болады.



5-сұйрет. Кульминациядағы жақтыртқыштың бийиклиги.

Жақтыртқыштың кульминация моментіндеги бийиклиги айрықша қызықлы. Ең жоқарғы бийиклик ( $90^\circ$ ) жақтыртқыштың жоқарғы кульминациясы моментінде орын алады (бул ўақытта жақтыртқыш зенит арқалы өтеди, яғный  $\delta = \varphi$ ). 5-сұйретте көринип турғанындай  $\delta < \varphi$  шәрти орынланатуғын жақтыртқышлардың жоқарғы кульминациясы зенитке салыстырғанда түслик тәрәпте болып өтеди ( $\delta < \varphi - 90^\circ$  болса горизонт астында) хәм олардың усы моменттеги бийиклиги  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$ .  $\delta > \varphi$  болған жақтыртқышлар кульминацияның жоқарғы моментінде зениттен арқа тәрәпте  $h = \varphi + \delta - 90^\circ$  бийиклигинде болып өтеди. Төменги кульминация ушын усы айтылғанлар керисинше өтеди.

## Қуяш системасының дүзилиси

1. **Қуяш системасының дүзилиси ҳаққындағы көз-қараслардың раўажланыуы.** Әлемнің қалай дүзилгенлиги ҳаққындағы көз-қараслардың раўажланыу тарийхы жүдә Әйемнен басланады. Әйемги ата-бабаларымыз тәбият хәм оның кубылысларын түсиндириўге эзилик қылып, Әлем денелериниң қозғалысларын басқаратуғын қандай да бир кәраматлы күш бар деп исенетуғын еди. Әлемнің өзи де усы күш тәрәпинен жаратылған деген пикирде болды.

Әйемги ўақытлары көп жыллар даўамында Қуяшты хәм Айды қудай деп қарап, оларға сыйынар еди. Мысалы Мысырда Ра қудайы деп, греклер болса Гелиос қудайы деп оған сыйынды.

Әлемнің дүзилиси ҳаққындағы дәслепки көз-қараслар жүдә әпиўайы болып, оларда Жер менен Аспан бири бирине қарама-қарсы қойылатуғын еди. Адамлар Жерди тегислик түринде, аспанды болса жұлдызлар «бекитилген» гүмбез сыпатында көз алдына елеслетти.

Бизиң эрамыздан бұрынғы IV әсирде белгили грек философы Аристотел тәрәпинен Жердің шар тәризли екенлиги тәриплendi. Адамлар санасында Әлемнің орайында қатты Жер шары жайласып, оның этирапында жұлдызлары менен қатты аспан жайласады хәм айланады деген көз-қараслар хүкимдарлық қылды.

Эрамыздың II әсиринде белгили Александриялық астроном Кладвий Птолемей Әлемнің дүзилисиниң жаңа *геоорайлық* (яғный *орайында Жер туратуғын*) системасын дәретти. Бул теорияға муўапық Әлемнің орайында Жер турып, басқа планеталар, соның ишинде Қуяш, оның этирапында 21-сұйретте келтирилген тәртип пенен айланады. Сон-

дай-ақ бул тәлиमतқа сәйкес, ең соңғы сферада жұлдызлар Жерден бирдей қашықтықта жайласып, оның этирапында айналады.

Бирақ уақыттың өтиуі менен планеталар қозғалыстарын тереңирек хәм дәл үйрениў, планеталардың жұлдызлар фонында бақланатуғын өзине тән қозғалыстарын бул теория тийкарында түсиндириўди қыйынластырып жиберди. Ақыбетинде бул теорияның Әлемнің дүзилисин дурыс сәўлелендире алмайтуғынлығы көрине баслады хәм оны бақлаў нәтийжелерине сәйкес, жаңа теория менен алмастырыў зәрүрлиги туўылды.

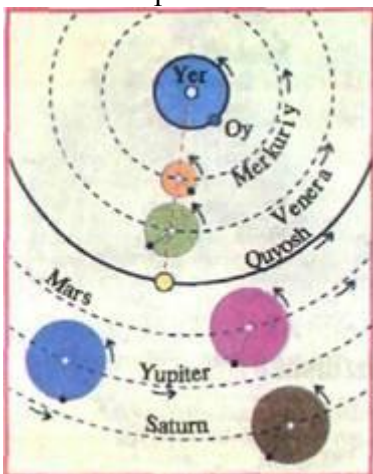
2. *Әлемнің дүзилисиниң гелиоорайлық теориясы.* XVII әсирде белгили поляк астрономы Николай Коперник (1473-1543) тәрәпинен көп жыллық астрономиялық бақлаўлар тийкарында Әлемнің дүзилисиниң гелиоорайлық теориясы жаратылды.

Бул теорияға сәйкес Әлемнің орайында Қуяш турып, барлық планеталар, соның ишинде Жер, оның этирапында белгили бир тәртип пенен айналады (22-сүўрет). Жұлдызлар болса Птолемей теориясындағы сыяклы ең кейинги сферада жайласып, Қуяштың этирапында бир бирине салыстырғанда қозғалмаған ҳалда айналады.

Коперник биринши болып, планеталардың жұлдызлар фонындағы шеңбер тәризли қозғалыстарының себебин Жердің Қуяш этирапында басқа барлық планеталар қатарында айланыуының себебинен екенлигин көрсетип берди (23-сүўрет). Коперниктиң Әлемнің дүзилиси ҳақындағы бул теориясы гелиоорайлық теория деген ат алды.

Әлем дүзилисиниң гелиоорайлық теориясы белгили Италиялық илимпаз, философ Джордано Бруно (1548-1600) тәрәпинен раўажландырылды. Мысалы ол өз теориясында Әлемнің көзғалмайтуғын жұлдызлар сферасы менен шегараланбайтуғынлығын, жұлдызлар Қуяштан хәр қыйлы қашықтықларда жайласатуғын оған усыған объектлер екенлигин, олардың этирапында да Қуяштың этирапындағы сыяклы планеталарының болыуының мүмкинлигин көрсетти. Кейинги жүз жыллар ишинде өткерилген астрономиялық бақлаўлар оның ҳақ екенлигин дәлилледи.

Белгили Италиялық астроном Галилео Галилей (1564-1642) телескоп соғып, аспан денелерин үйрениў мақсетинде оны биринши болып усы денелерге қаратты. Нәтийжеде Коперниктиң гелиоорайлық теориясын тастыйықлаўшы бир талай дәлиллерди қолға киргизди. Мысалы ол Венераның Айға усап хәр түрли фазаларда көринетуғынлығын ашты. Айда болса Жердеги сыяклы таўлардың, тегисликлердің бар екенлигин анықлады. Галилей өз телескопы жәрдеминде Қуяш бетинде дақлардың бар екенлигин, Юпитердің этирапында айланатуғын төрт жолдасының хәм Қус жолының көп санлы жұлдызлардан туратуғынлығын көрсетти.



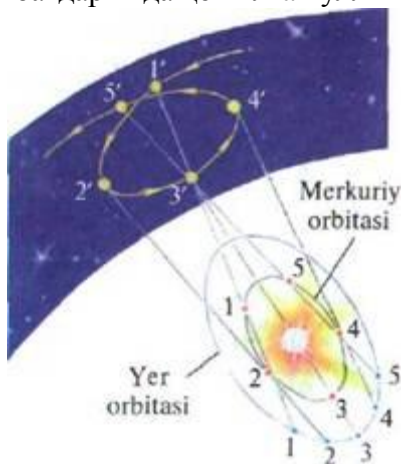
Птолемейдің геоорайлық системасы.



Әлемнің дүзилисиниң гелиоорайлық системасы (орайында Қуяш).

Бул бақлаўлар нәтийжесинде Жердің Қуяш этирапында айланыушы әдеттеги бир планета екенлиги анықлады хәм Коперникке шекем ҳүким сүрген «Жер Әлемнің орайында турады» деген дурыс емес көз-қарасларға соққы берди.

Әлемнің дүзилисі хақындағы көз-қараслардың қәлиплесиўинде ўатанласымыз уллы алым Әбиў Райхан әл-Берунийдин (973-1048) үлкен хызмети бар. Ол узақ жыллар даўамында өткерилген астрономиялық бақлаўларына сүйенип планеталардан Меркурий менен Венераның Қуяштан узақ кете алмайтуғынлығын (мүйешлик өлшемлер менен есапланғанда) анықлады хәм усы тийкарда бул еки планета Қуяштың этирапында айланса керек деген туўры жуўмаққа келди (24-сүўрет). Беруний тийкарында геоорайлық системаның тәрепдары болып қалған болса да, оның ишки планеталарға (Меркурий хәм Венера) тийисли бул жуўмағы XI әсирде Әлемнің дүзилисиниң гелиоорайлық системасын дөретиў бағдарында қойылған уллы қәдем еди.



Планеталардың бақланатуғын айланбалы қозғалысларын түсиндирий.



Берунийдин Әлемнің дүзилисі хақындағы көз-қараслары. Усы көз-қарасларға сәйкес Қуяш өз этирапында айланатуғын жолдаслары – Меркурий хәм Венера менен бирге Жер этирапында айланады.

### Қуяш системасының ағзалары хәм өлшемлери

Қуяш системасына кирийши денелер менен биз дәслепп «Тәбияттаныў» сабақларында танысқан едик. Бул системаның ең ири денеси Қуяш болып, оның диаметри Жердин диаметринен 109 есе үлкен, массасы болса 330 000 Жер массасыға тең (25-сүўрет) екенлиги мәлим. Оның этирапында 9 ири планета бир бирине жақын тегисликлерде хәр қыйлы дәўирлер менен айланады. Қуяштан узақлығына сәйкес бул планеталар оның этирапында төмендеги тәртип пенен жайласқан: Меркурий, Венера, Жер, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун хәм Плутон.

Қуяш системасының ең шетки планетасы Плутон Қуяштан Жерге қарағанда 40 еседей узақлықта жайласқан. Жердин Қуяштан орташа узақлығы 150 миллион километр. Демек Плутонның Қуяштан узақлығы орташа 6 миллиард километрди курайды. Қуяштан Жерге шекем оның нурлары 8 минуттан сәл көбирек ўақытта жетип келеди. Ал Плутонға шекем 5,5 сааттан көбирек ўақыт «жүреди».

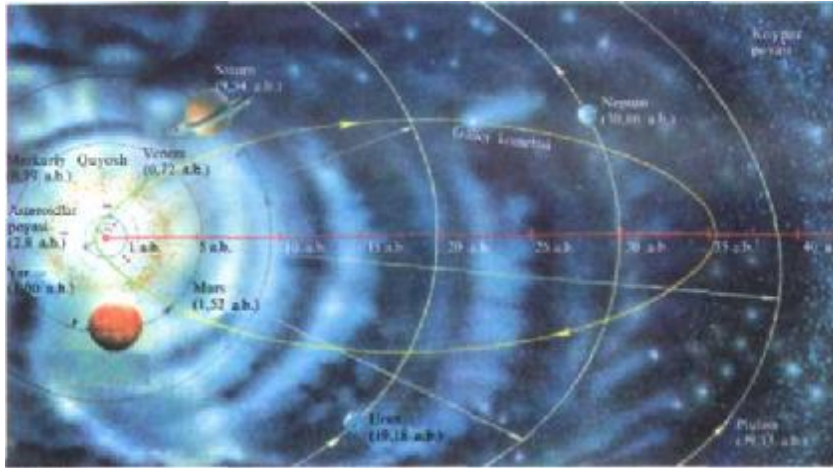


Жер өлшемин Қуяштың өлшеми менен салыстырыў.

Қуяш системасында, ири планеталар менен бирге мыңлап майда планеталар (үлкенликлери бир неше жүз метрдан бир неше жүз километрге шекем келетуғын) да айланып, олардың орбиталары тийкарынан Марс пенен Юпитердин орбиталарының арасында жатады.

Соның менен бирге Қуяш системасында жүдә созылған эллипс тәрізлі орбиталар бойлап қозғалатуғын хәм қатты ядросы газ қабығы менен оралып Қуяшқа жақынлағанда «қуйрық» пайда ететуғын кометалар деп аталыушы денелер де бар.

Булардан басқа Қуяш системасы шегарасында Қуяш этирапында есап сансыз, өлшемлери кум бөлекшелериниң үлкенлигиндеги денелер эллипс тәрізлі орбиталар менен айланады. Оларды метеор денелер деп атаймыз.



Қуяш системасының масштаблары.

Қуяш системасында қозғалыушы ири планеталардың қаншама үлкен болыуына қарамай, Қуяш пенен салыстырғанда жүдә киши аспан денелери болып есапланады. Планеталар хәм барлық майда денелердің массалары биргеликте Қуяш системасы денелериниң улыұмалық массасының 0,1 процентин, Қуяштың массасы болса шама менен 99,9 процентин қурайды (сүүрет). Соның ушын да Қуяш өз системасына кириуши барлық денелердің қозғалысларын басқарады. Жұлдызлар Қуяш системасына кириуши денелерге салыстырғанда мыңлаған есе узақта жайласқан. Соның ушын олар хәтте ең күшли телескоплар жәрдемінде қаралғанда да бир нокат түрінде көринеди. Хәқыйқатында болса жұлдызлар көпшилик жағдайларда Қуяштан да үлкен өлшемлерге ийе болған оған ұқсас болған жарық хәм ыссы аспан денелери болып есапланады.

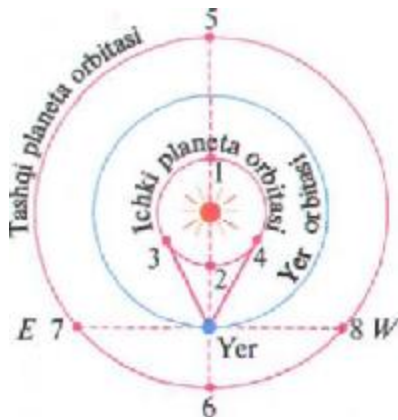
### Планеталардың конфигурациялары хәм көриниу шәртлери

Қуяш этирапында қозғалатуғын планеталардың жұлдызлар фонындағы тутқан орындары, қозғалыстағы Жерден бақланғанлығы сыяқлы өзине тән көриниске ийе болады. Планеталардың Жерден қарағанда Қуяшқа салыстырғанда ийелеген орындары олардың конфигурациялары деп аталады.

Планеталардан екеуиниң конфигурациялары менен танысайық. 27-сүүретте Қуяш этирапында Жер менен бирге шеңбер тәрізлі айланыушы еки планетаның орбитасы көрсетилген. Олардан бириниң орбитасы ишки планетаға (орбитасы Жер орбитасының ишинде жайласқан - Меркурий ямаса Венераға), екіншиси болса сыртқы планетаға (орбитасы Жер орбитасынан сыртта жатқанына) тийисли.

Жердің сүүреттегі жағдайында ишки планета ийелеген 1- хәм 2-халлар планетаның Қуяш пенен қосылыу халлары деп аталып, 1-төменгі қосылыу, 2-жоқары қосылыу деп аталады.





Планеталардың конфигурациялары хәм көриниў шәртлери.

Планета 1- хәм 2- халларда Қуяш нурына көмилип көринбейди, яғный бул оның көринбейтуғын дәўири болады. Ишки планетаның Қуяштан шығыс хәм батыс тәрәпке максимал узакласқан (мүйешлик есапта) халдағы көринислери (элонгациялары) оның 3- хәм 4- халларына туўры келеди. Егер ишки планета 3- халда болса, ол Қуяштың шығыс тәрәпинде болғанлығы себепли кеш курын Қуяш батқаннан кейин аспанның батыс тәрәпте горизонттан бир қанша бийикликте жақсы көринеди. Егер усы халда, яғный Қуяштан батыс тәрәпте болса таң алдында Қуяштың шығыўынан алдын шығыс тәрәпте көринеди.

Сыртқы планетаға тийисли 5-хал қосылыў (яғный Қуяш пенен қосылыў), 6-хал қарама-қарсы турыў (яғный Қуяшқа салыстырғанда қарама-қарсы турыў) деп аталады. Кейинги халында планета Қуяштан  $180^\circ$  мүйешлик қашықлықта жайласады.

Сыртқы планета 5-халда Қуяш пенен қосылып Жердеги бақлаўшы ушын өзиниң көринбейтуғын дәўирин өтип атырған болады. 6-халда болса Қуяшқа қарама-қарсы турғанлығынан Қуяштың батыўы менен планета шығыс тәрәпте горизонттан көтеріледи хәм пүткил түн даўамында оны бақлаў мүмкин болады. Планетаның 7- хәм 8-халлары сәйкес рәуиште оның **шығыс хәм батыс квадратура халлары** деп аталады. Планета 7- халда болғанда оны Қуяш батқаннан кейин түнниң ярымына шекем, ал 8-халда болғанда болса, оны түнниң ярымынан ерте таңға шекем горизонт үстінде көриў мүмкин болады.

### Планеталардың Қуяш этирапында қозғалыслары. Олардың дәўирлери

Барлық планеталар Қуяш этирапында бир тәрәпке қарап, яғный шығыстан батысқа қарай қозғалып айналады. Қуяштан узаклықларына сәйкес, олардың айланыў дәўирлери хәр қыйлы болып, Қуяшқа жақынлары киши, узактағылары болса үлкен дәўирлер менен айналады. Мысалы Қуяшқа ең жақын Меркурий оның этирапын 88 суткада айланып шықса, Плутон Қуяш этирапында сәл кем 240 жыллық дәўирде бир рет айналады. Олардың қозғалыс тезликлери де хәр қыйлы болып Қуяштан узак қашықлықларда айланатуғын планеталар жақын жайласқан планеталарға қарағанда бир қанша киши тезликлер менен қозғалады.

Қосымшадағы кестеде планеталардың Қуяш этирапында айланысларына тийисли мағлыұматлар келтирилген. Соның менен бирге, бул кестеде планетаның орбита тегислиги менен Жердиң Қуяш этирапында айланыў тегислиги (эклиптика тегислиги) арасындағы қандай мүйеш пайда ететуғынлығы да келтирилген. Кестеден көринип турғанындай, барлық планеталар эклиптика тегислигине жақын жайласқан орбиталар бойлап қозғалатуғынлығы мәлим болады.

Планеталардың Қуяш этирапында хақыйқый айланыў дәўирлери олардың *сидерлик* ямаса *жұлдызлық дәўири* деп аталады. Планетаның сидерлик дәўири ( $T_{pl}$ ) деп оның Қуяш этирапында белгили бир жұлдызға салыстырғанда толық айланып шығыўы ушын кеткен ўақытқа айтылады. Планетаның *синодлық дәўири* ( $S_{pl}$ ) деп оның бирдей конфигурациялық

жағдайларының, яғни планетаның Қуяш хәм Жерге салыстырғанда қабыл қылынған белгили бир жағдайларының (планеталардың қосылыуы, элонгациялары ямаса қарама-қарсы турыулары) бирден еки рет избе-из өтиуі ушын зәрүр болған ўақыт аралығына айтылады. Планетаның синодлық дәуири  $S_{pl}$  Жердің қозғалысы менен байланыслы болып Жердің сидерлик дәуири  $T_{\oplus}$  хәм планетаның сидерлик дәуири  $T_{pl}$  менен төмендегидей байланысқан.

Ишки планеталар ушын Жер хәм планетаның суткалық жылжыулары айырмасынан:

$$\frac{360^\circ}{S_{pl}} = \frac{360^\circ}{T_{pl}} - \frac{360^\circ}{T_{\oplus}} \text{ ямаса } \frac{1}{S_{pl}} = \frac{1}{T_{pl}} - \frac{1}{T_{\oplus}}.$$

Буннан

$$S_{pl} = \frac{T_{\oplus} T_{pl}}{T_{\oplus} - T_{pl}}.$$

Сыртқы планеталар ушын

$$\frac{1}{S_{pl}} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{pl}}.$$

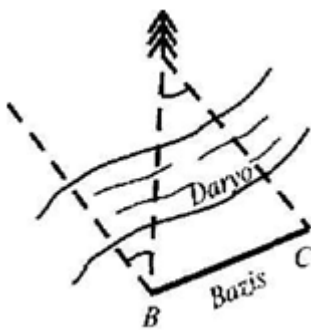
Буннан

$$S_{pl} = \frac{T_{\oplus} T_{pl}}{T_{pl} - T_{\oplus}}.$$

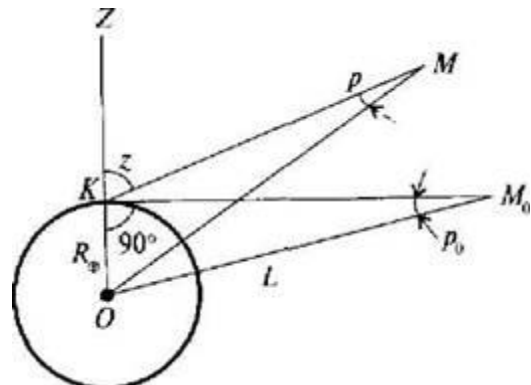
## Қуяш системасы денелерине шекемги қашықтықтарды анықлау

1. Қуяш системасына кириуши денелерге шекемги (планеталар, Ай, майда планеталар хәм басқалар) қашықтықтар тригонометрик жол менен суткалық параллакс деп аталыушы метод жәрдемінде табылады.

Биз геометрия курсында барыуға болмайтуғын нокатларға шекемги қашықтықтарды анықлау бойынша қолланған усылымызды еске түсирейик. 30-сүүретте В нокатынан турып, дәрьяның арғы жағасында жайласқан А терегине шекемги қашықтықты табыу керек болсын.



Барыуға болмайтуғын нокатқа шекемги қашықтықты анықлау усылы.



Жақтыртқыштың суткалық (p) хәм суткалық-горизонталлық параллакслары.

Бунның ушын дәрьяның биз турған тәрәпинде бир С нокатын алып ВС ның узынлығын үлкен дәллик пенен өлшеймиз. Бул кесиндинің ушларынан А объект (терек алынған) қарасак, оған қараған бағытлардың (AB хәм AC) бақлаушының В дан С ға жылжыуына сәйкес рәуиште жылжыуына гүә боламыз. Қарап атырған объектке қарай бағыттың бақлаушының жылжыуына сәйкес рәуиштеги жылжыуы паралакслық жылжыу деп аталады. ВС аралығы болса *базис* деп аталады. Базистің белгили бир узынлығы хәм оның уш-

ларынан объект тәрепке бағытлар менен ҳасыл қылынған В хәм С мүйешларине (өлшеўлер тийкарында олар аңсат табылады) сәйкес объектке шекемги аралық А анықланады.

Енди Қуяш системасы денелерине шекемги қашықлықларды табыў мәселесине келсек, онда базис сыпатында Жер радиусы алынады. Аспан денеси (М) хәм бақлаўшы (К) арқалы өткен Жер радиусы ушларына өткерилген туўры сызықлар арасындағы мүйеш бул аспан денесиниң (жақтыртқыш) суткалық параллакс мүйеши деп аталады.

Егер жақтыртқыш бақлаўшыға салыстырғандағы горизонтта жайласқан болса ( $M_0$  ноқатта), оның параллакс суткалық горизонталлық параллакс ( $p_0$ ) деп аталады.

Базы бир планетаның суткалық горизонталлық параллакс мүйешин табыў ушын бир ўақытта Жердиң белгили бир меридианының еки ноқатынан (К хәм С) оны бақлаў керек болады. Бунда планета узақтағы жұлдызлардың фонында параллакслық жылжыған ҳалда еки ( $M_1$  хәм  $M_2$ ) ноқатта көринеди. Планетаның параллакслық жылжыўы тийкарында  $p_0$  мүйеши табылып оған сүйенген ҳалда L планетаға шекемги қашықлық  $M_0OK$  туўры мүйешли үш мүйешлигинен төмендегидей табылады:

$$\sin(p_0'') = \frac{R_{\oplus}}{L}.$$

$$\text{Бул аңлатпадан } L = \frac{R_{\oplus}}{\sin(p_0'')} = \frac{206265}{p_0} R_{\oplus},$$

Себеби

$$\sin(p_0'') = p_0' \sin 1'', \quad \sin 1'' = \frac{1}{206265}.$$

Бул жерде  $R_{\oplus}$  арқалы Жердиң радиусы белгиленген.

2. Хәзирги ўақытлары Қуяш системасы денелерине шекемги қашықлықлар радиолокациялық метод жәрдеминде де жүдә үлкен дәллик пенен табылады.

Бунда Жерден жалғыз планетаға шекем жиберилген сигналдың (электромагнит толқынның) оған барып хәм қайтып келиўи ушын кеткен ўақыт  $t$  болса, онда оның өткен жолының  $2L$  екенлигин хәм радиотолқынның тарқалыў тезлигиниң жақтылық тезлиги  $c$  ға тең екенлигин есапқа алсақ  $c = \frac{2L}{t}$  деп жазыў мүмкин. Буннан аспан денесине шекемги

аралық  $L = \frac{ct}{2}$  аңлатпасы менен есапланады.

Усы жол менен Жерден Қуяш системасының денелериниң барлығына шекемги қашықлықлар, соның ишинде Қуяштың өзине шекемги қашықлық (1 астрономиялық бирлик = 149598500 км) жүдә жоқары дәллик пенен анықланған.

## Астрономиядағы узынлық бирликлери

Астрономияда узынлықтың халық аралық системада қабыл етилген бирликте (метрлерде) тәриплеў қолайлы емес хәм үлкен қыйыншылықлар пайда етеди. Соның ушын астрономияда узынлық төмендеги арнаўлы бирликлар менен өлшенеди:

1. Астрономиялық бирлик (а.б.) - Қуяштан Жерге шекемги болған орташа аралық = 149,6 миллион километрге тең. Бул бирликтен тийкарынан, Қуяш системасындағы аспан денелерине шекемги (планеталар, кометалар, Ай хәм басқалар) болған қашықлықларды тәриплеўде пайдаланылады.

2. Жақтылық жылы (ж.ж.) - жақтылықтың бир жылда өткен жолы менен характерленеди. Бундай узынлықты километрлерде тәриплеў ушын бир жылда қанша секунд барлығы табылып, соңынан оны жақтылық тезлигине ( $3 \cdot 10^5$  км/с) көбейтиледі. 1 жылдағы секундлардың муғдары  $365,2422 \cdot 24 \cdot 3600$  с болады. Бул Жерде 365,2422 - бир жылдағы суткалардың санын, 24 бир суткадағы саатлар санын,



3600 болса хәр бир сааттағы секундлар санын билдиреди. Бул санларды өз-ара көбейтип 1 жақтылық жылының (1 ж.ж.)  $9,46 * 10^{12}$  км ге тең екенлигине ийе боламыз. Табылған нәтижени 149,6 млн км ге бөлсек 1 ж.ж. ның астрономиялық бирликлердеги шамасын табамыз. Ол 63240 а.б. ке тең болып шығады.

3. Парсек (пк) - «параллакс» хәм «секунда» сөзлеринен алынған болып, жыллық параллаксы (VIII, 6- §)  $1''$  қа тең болған жақтыртқышқа шекемги қашықтықты тәриплейди:  
 $1 \text{ pk} = 3,26 \text{ ж.ж.} = 206265 \text{ а.б.} = 30,86 * 10^{12} \text{ км.}$

Әдетте қашықтықтың жақтылық жылы парсек, килопарсек (1000 pk) хәм мегапарсек ( $\text{Mpk} = 10^6 \text{ pk}$ ) бирликлери Қуяш системасынан сырттағы аспан денелерине шекемги (жұлдызлар, жұлдыз топарлары, думанлықлар хәм басқалар) қашықтықларды, соның менен бирге, сыртқы галактикалар, галактикалық жыйнақлардың өлшемлерин хәм олардың арасындағы қашықтықларды өлшеуде пайдаланылады.

### Қуяш системасы денелериниң өлшемлерин анықлау

Сүүретте келтирилген планетаның  $r$  радиусын анықлау үшін бул планетаның параллаксы  $p_0$  туұры мүйешли үш мүйешлик ОЕР дан (сүүретке қараңыз):

$$\sin p_0 = \frac{OE}{OP} = \frac{R_{\oplus}}{L}$$

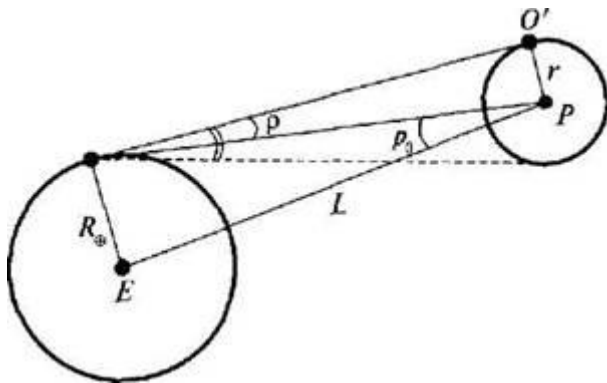
болады. Туұры мүйешли үш мүйеш ОРО' дан планетаның көриниу радиусы  $\rho$ :

$$\sin \rho = \frac{O'P}{OP} = \frac{r}{R}$$

ға тең. Бул аңлатпадан  $r$  ди тапсақ:  $r = L \sin \rho$ . Егер  $L$  ди биринши теңлемеден тапсақ, онда  $L = \frac{R_{\oplus}}{\sin p_0}$  болады. Бул аңлатпаның шамасын екінши теңлемеге қойып, планета радиусы

( $r$ ) ди төмендегише анықлау мүмкин:

$$r = L \sin \rho = \frac{R_{\oplus}}{\sin p_0} \sin \rho.$$



Қуяш системасы денелериниң радиусларын өлшеу ұсылы.

$p_0$  хәм  $\rho$  мүйешлер секундлы мүйешлерде өлшенетуғын болғанлықтан планетаның радиусын  $r = \frac{R_{\oplus}}{p_0} \rho$  аңлатпасы жәрдеминде табыуымыз мүмкин. Себеби

$\sin p_0 = p_0 \sin 1''$ ,  $\sin \rho = \rho \sin 1''$ . Бул жерде  $R_{\oplus}$  арқалы Жердиң радиусы белгиленген.

### Айдың қозғалысы хәм фазалары

Ай Жердиң тәбийий жолдасы болып, оның этирапында 27,32 суткалық дәуир менен айланады. Бул дәуир Айдың сидерлик дәуири ямаса жұлдыз дәуири деп аталады. Айдың Жер этирапындағы айланыу бағдары жұлдызлардың Жер этирапындағы көринетуғын

айланыуына қарама-қарсы болып, ол шығыстан батысқа (яғни Жердің өз көшери этирапында айланыу бағдары менен бірдей бағдарда) қозғалады. Айдың өз орбитасы бойлап қозғалыс тезлиги секундына 1 километрди курап, жұлдызларға салыстырғанда хәр суткада шама менен 13 градус жылжып барады.

Ай орбитасының тегислиги менен Жердің Қуяш этирапында айланыу тегислиги (эклиптика) арасындағы мүйеш  $5^{\circ}9'$ .

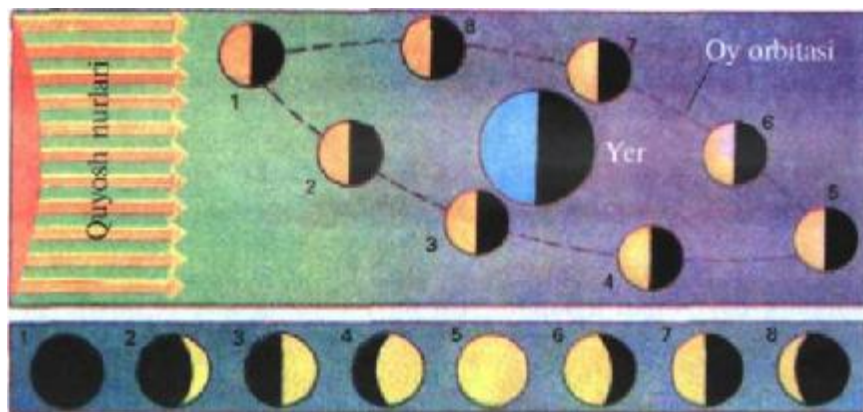
Айдың өз көшери этирапында хәм Жер этирапында бірдей 27,32 суткалық дәуір менен айланатуғынлығы айрықша қызық. Айдың өз көшери этирапында хәм Жер этирапында айланыу дәуірлеринің өз-ара тең болғанлығынан Ай Жерден қарағанда барлық уақытта да бир тәрепи менен көринеди.

Мәлим, Ай Жер этирапында айланғанда Қуяш нурларын шағылыстырыуының себебинен бизге көринеди. Бундай көриниу тап усы пайытта Айдың Қуяшқа салыстырғанда қалай жайласқанлығына байланысly болады.

Жерден қарағанда Айдың түрли формаларда (жаңа Ай, ярым Ай, толық Ай) көриниуі оның фазалары деп аталады. Ай фазаларының алмасыуларының оның Жер хәм Қуяшқа салыстырғанда тутқан орнына байланысlyлығы сүүретте келтирилген.

Сызылмада Қуяш нурлары параллел дәсте түрінде түскенде Айдың басында, толық Ай пайытында хәм биринши және кейинги шерек фазаларында Айдың Жер этирапындағы жағдайлары номерлер менен көрсетилген. Сызылманың астында болса Айдың номерлер менен көрсетилген халларында Жерден қарағанда оның қандай болып көринетуғынлары сәулелендирилген.

Сызылмадан көринип турғанындай Қуяш барлық уақытта да Айдың ярым сферасын жақтыртады. Бирақ оның сол жақтыртылған ярым сферасы Жерден пүткіллей көринбеуі (жаңа Айда - 1-халда) ямаса толық көриниуі (толық Айда - 5- халда) ямаса бир бөлиминің көриниуі (басқа халларда) мүмкин екен.



Ай фазаларының алмасыуы (1. Жаңа Ай. 3. Биринши шеректеги фазасы. 5. Толық Ай. 7. Ақырғы шеректеги фазасы).

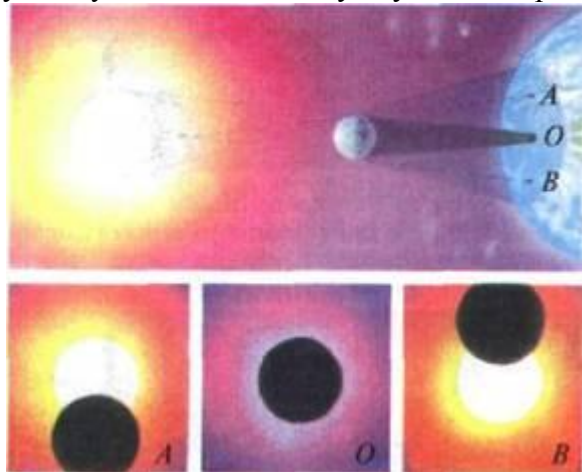
Айдың белгили бир фазасынан (мысалы толық Ай фазасынан) избе-из еки рет өтиуі арасындағы уақыт 29,53 сутканы курайды хәм ол Айдың синодлық дәуіри деп аталады. Синодлық дәуірдің Айдың жұлдызларға салыстырғанда айланыу дәуіринен (сидерлик дәуір) узынлығына себеп Жердің Қуяш этирапында айланыуы болып табылады.

Қуяш батқаннан кейин Айдың жиңишке орақ тәризли батыс тәрепке биринши көриниуі халықтың тилинде жаңа Ай (ямаса хилал) деп аталып, бундай Ай әдетте Ай басынан соң екінши күни көринеди.

Бундай халда Айдың Қуяш тәрепинен жақтыртылмаған бөлими қара күл рең түниде көзге түседі. Айдың Қуяш тәрепинен жақтыртылмаған бөлиминің бундай түрде көриниуі Жерден шағылысып қатқан Қуяш нурлары менен жақтыртылғанлығының себебинен жүзеге келеді.

## Қуяш пенен Айдың тутылыулары

1. Қуяштың тутылыуы. Ай Жердің әтирапында айланып, усының нәтийжесинде bazı бир ўақытлары Қуяш оның артында қалады (34-сүүрет). Бундай халды Қуяштың тутылыуы деп аталады. Бул кубылыс ҳәр дайым Айдың жаңа ай халында жүзеге келеди.



Қуяш тутылыуы кубылысы (төменги сүүретте Жер бетиниң А, О, В ноқатларында Қуяштың тутылыуының көринислери).

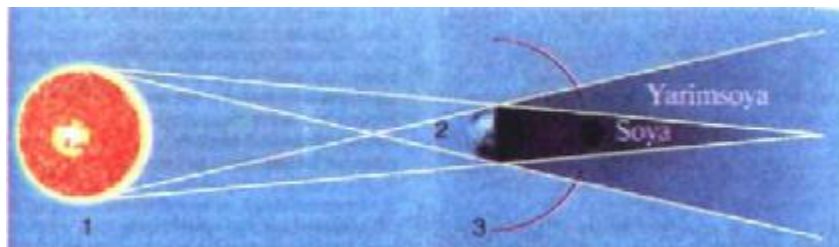
Жердеги бақлаўшыға салыстырғанда Қуяш Айдың саясы ишинде (О) қалса, ол Қуяшты қысқа ўақыт ишинде (бир неше минут) пүткиллей көрмейди, яғный Қуяш толық тутылады. Қуяштың толық тутылыуы аспанда жүдә шырайлы көринисти пайда етеди. Бул жағдайда бақлаўшы аспанда қап-қара Қуяш изи әтирапында Қуяш «тажы» деп аталатуғын нәзик гүмис реңли нурды шығаратуғынлығын көреді. Соның менен бирге бул пайытта күндиздин болыуына қарамастан аспанда жарық жұлдызлар ҳәм планеталар көринип турады.

Егер Жердеги бақлаўшы Айдың ярым саясы ишинде (А ямаса В) қалса, онда ол Қуяштың бир бөлимин ғана көреді, яғный Қуяштың *бир бөлими тутылып атырған* болады. Базы бир ўақытлары Қуяштың тутылыуы *сақыйна тәризли* болады. Бундай хал тутылыу пайытында Ай Жерден ең үлкен узақлықта, Қуяш болса, керисинше, Жерге ең жақын келгенде жүзеге келеди. Себеби бул жағдайда Айдың көриниў диаметри ол тосып турған Қуяштың көриниў диаметринен киши болады.

Ай орбитасы эклиптика тегислиги менен  $5^{\circ}9'$  лық мүйеш пайда ететуғынлығына байланысly тутылыслар Қуяш бул еки орбитаның кесилискен ноқатлары (Ай түйинлери деп аталатуғын ноқатлар) қасынан өткенде ғана бақланады. Бундай хал шама менен ҳәр ярым жылда бақланатуғынлығына байланысly тутылыулар сондай дәўир менен қайталанады.



Ай менен Қуяштың қозғалыс жоллары сәўлендирилген. Бул сүүретте еки халда Қуяштың тутылыуы ярым жыллық дәўир менен көрсетилген (1- толық тутылыу, 2- сақыйна тәризли тутылыуы).



Ай тутылыуы кубылысы (1 – Қуяш, 2 – Жер, 3 - Айдың орбитасы, Жер саясы ишинде Ай турыпты).

2. Айдың тұтылыуы. Ай Жер этирапында айланып, усының нәтийжесинде базы бир ўақытлары Жердің саясы арқалы өтеди. Бундай кубылыс *Айдың тұтылыуы* деп аталады. Егер бул жағдайда Ай Жердің саясының иши арқалы өтсе, оны *толық тұтылыу*, ярым саясының бир бөлими арқалы өтсе ол ҳалда оны *ярымсаялы тұтылыу* деп атайды. Айдың тұтылыу барысында ол хәмме ўақытта да толық фазасында болады.

Жердің белгили бир орнында Қуяштың тұтылыуына салыстырғанда Айдың тұтылыулары жийирек бақланады. Себеби Қуяштың тұтылыулары Жердің Ай саясы түскен хәм онша үлкен болмаған майданында ғана бақланады. Айдың тұтылыуы болса Жердің Қуяшқа қарама-қарсы ярым шарының барлық бөлиминде бир ўақытта көринеди.

Айдың толық тұтылыуы пайытында (яғный ол Жер саясына пүткиллей киргенде) Ай көзден пүткиллей ғайып болмай, тоқ қызыл реңде көринеди. Буның себеби бул пайытта Жер атмосферасында шашыраған хәм сынған Қуяш нурлары менен Айдың бети жақтыртылады. Бул жағдайда Жер атмосферасы көк хәм хаўа реңли нурларды күшли жу-тып хәм кескин шашыратып Ай тәрепке тийкарынан қызыл нурларды сындырып өткизеди хәм Ай тап усы нурлар менен жақтыландырылады хәм қызарып көринеди.

Ай орбитасының эклиптика тегислигине қыялығына ( $5^{\circ}09'$ ) байланысly Ай хәм Қуяш тұтылыулары жаңа Ай хәм толық Ай пайытларында хеш қашан бақланбайды.

Әйемги ўақытлары Қуяш хәм Айдың тұтылыу ўақытларында олардың жоқарыда тәрипленген көринислери адамларда қорқыныш хәм хаўлығыўлар пайда еткен. Енди бол-са Қуяш пенен Ай тұтылыуларының сырлары толық анықланған хәм сонлықтан бул кубылыслар хеш кимде хаўлығыў пайда етпейди. Алымлар Қуяш хәм Ай тұтылыуларының болыў ўақытын бир неше жыл алдын-ала анық есаплап берий методларын ислеп шыққан. Қосымшадағы кестеде 2005- жылға шекемги Қуяш хәм Ай тұтылыуларының ўақыты келтирилген. Тұтылыулар пайытында өткерилген бақлаўлар жәрдемінде Қуяштың физикалық тәбиятын, Жер атмосферасының дүзилисин хәм Айдың қозғалысына байланысly болған әхмийетли мағлыўматларды қолға киргизий имканияты-на ийе болды.

## Космонавтика элементлери

### Космонавтика хәм оның басқа илимлер менен байланысы

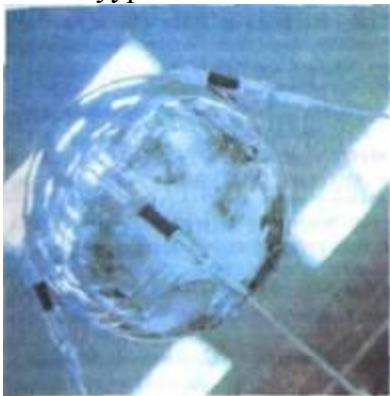
Космонавтика - «kosmos» хәм грекше «nautika» - кеме басқарыў өнери деген мағананы аңлатыўшы сөзлерден турып, ол ракета хәм космослық аппаратлардан пайдаланып инсанияттың зәрүрликлерин тәмийинлеў ушын космослық кеңисликти хәм Жерден сыртқы объектлерин үйрениў хәм өзлестирийге қаратылған, тийкарында космослық ушыўлар теориясы хәм ракета техникасы бойынша билимлерди өз ишине алыўшы илим менен техника бөлимлериниң бирлеспеси болып табылады. Космонавтика соның менен бирге космослық ушыўлар теориясы (траекторияларды есаплаў хәм басқалар), ушыўшы ракеталар, ракета двигателлери, басқарыўдың системалары, космослық аппаратлар, ушырыў дүзилислери, илимий эсбаплар, Жерден турып басқарыў системалары, телеметрия, орбиталық станцияларды тәмийинлеў хәм басқа және бир қанша усы сыяқлы шөлкемлестирий системаларын өз ишине алады.

Космосты тиккелей үйрениўдиң инсан хызмети сферасынан орын алыўы жәхән илими менен техникасының раўажланыўы тарийхында айрықша бир басқыш болып, келешекте оның жәмийеттиң раўажланыўына үлкен тәсир көрсететуғынлығы менен әхмийетли бо-лып есапланады.

Космонавтика барлық тәбийий илимлер (астрономия, физика, химия, биология) хәм математика менен тығыз байланысқан. Космослық ракета техникасы техника илимлериниң жетискенликлерине киреди. Космослық аппараттың космоста белгили бир мақсетке муўапық қозғалатуғынлығы хәм кеңисликтиң мөлшерленген ноқатына ямаса

космослық объектке анық ўақтында жетип барыўы ушын есаплаўларды алымлар техникалық хызметкерлер менен биргеликте астрономиялық билимлерге таянған ҳалда әмелге асырады. Астрономлар аспан денелерине шекемги қашықтықлар, олардың өлшемлери, массалары ҳәм басқа да физикалық параметрлери ҳаққында көп ўақытлардан бери көп санлы билимлер топланған. Қолға киргизилген бул билимлер космосқа ушыўда оғада үлкен әҳмийетке ийе.

Жер атмосферасының тығызлығы, температурасы, магнитосферасы ҳәм радиациялық пояслары ҳаққында мағлыўматларға ийе болмай турып жалғыз космонавт Жер этирапына тиккелей ушырылмайды. Соның менен бирге Ай тәбиятын билмей турып та космонавт космосқа жиберилмеген болар еди. Механиканың нызамларын билмей турып космослық аппаратлар менен жасалма жолдасларды, орбиталық станцияларды Жер этирапы зонасына, планеталарға ушырыўдың илажы жоқ. Космослық аппаратларды Қуяш системасы денелерине табыслы ушырыўлар планеталар ҳәм олардың жолдасларына тийисли мағлыўматларды (өлшемлерин, қашықтықларын, массаларын ҳәм басқаларды) тастыйықлаўдан басқа ҳәзирги ўақытлары астрономия қолланып атырған методлардың қай дәрежеде туўры екенлиги де исеним пайда етеди.



Жердің биринши жасалма жолдасы.



1977-жылы үлкен планеталарды изертлеў ушын соғылған «Вояджер-2» космос аппараты.

Космонавтика астрономия илимининң раўажланыўына үлкен үлес қосып келмекте. Космослық аппаратлар, станциялар бортынан аспан объектлерин оптикалық ҳәм көзге көринбейтуғын нурлар (ультрафиолет, инфрақызыл, рентген ҳәм радионурларда) жәрдемінде үйрениў имканиятын берип, кейинги он жыллықлар ишинде космослық объектлерди ҳәм олардың системалары ҳаққындағы бизиң билимлеримизди көрилмеген дәрежеде байытты.

Космосқа ушырылатуғын аппаратлардың конструкцияларын ислеп шығыў, олардың қозғалысларын басқарыў ҳәм информация алыўда алымлар, инженер ҳәм техникалық хызметкерлер физикалық нызамларға сүйенеди. Қуўатлы ракета двигателлерин қурыўда, ракета техникасы зәрүрликлерин қандырыў ушын жаныў ҳәм жаныў өнимлерининң ағысы физикасына тийисли көп санлы фундаменталлық изертеў жумысларын орынлаўға туўры келеди.

Космонавтика химиялық билимлерге де кең сүйенеди. Космослық техника затлардың ҳәр түрли химиялық қәсийетлерине жоқары талаптар қояды. Мысалы ыссыға шыдамлы, тат баспайтуғын ҳәм басқа да қәсийетлери бойынша жоқары көрсеткишлерге ийе материалларға, жанылғы өнимлери химиясына космонавтиканың қоятуғын талаплары жүдә үлкен. Жанылғы өнимлерининң кең санаат масштабында алыўдың эффективли технологияларын ислеп шығыўда химиклердин мийнетлери бийбаха.

Космонавтика тараўында исленип атырған изертлеў жумысларын математикасыз көз алдыға елеслетиўге болмайды. Терең математикалық излениўлер космосқа ушырылатуғын аппаратларды конструкциялаў, таярлаў ҳәм ушырыўды әмелге асырыў процесслеринде



кеңнен қолланылады. Улыўма айтқанда космонавтикаға тийисли қәлеген изертлеўди есаплаўларсыз әмелге асырыўға болмайды.

Соңғы жылларда космонавтика онлаған биологиялық экспериментлерди өткерийди планластырды хәм табыслы түрде әмелге асырды. Хәр қыйлы космослық шараятларда (вакуум, салмақсызлық, радиация хәм басқалар) адам организмдеги өзгерислерди үйрениў бойынша жүзлеген медициналық-биологиялық экспериментлер өткизилди. Олардың унамсыз тәсирлері хәққында адамзатқа оғада әҳмийетли мағлыўматларды берди.

Техника илимлериниң көплеген тәжірийбелери касмонавтикада кеңнен қолланылады. Касмонавтиканың раўажланыўында авиациялық техниканың жетискенликлери айрықша орынларды ийелейди. Хәзирги заман космослық техникасын иске түсирий хәр қыйлы тараўларда ислейтуғын жүзлеген алымлар, инженер-техникалық хызметкерлердиң дәретиўшилиқ ислерин оятыў тийкарында әмелге асырылады.

К.Е.Циолковский биринши рет ракета қозғалысының тезлигиниң формуласын келтирип шығарған алым болып есапланады. Ол бириншилерден болып Жердиң тартыў майданындағы ракета қозғалысы бойынша есаплаўларды әмелге асырып, ракеталардың тезликлериниң шамасын космослық тезликлерге жеткерий имканиятының бар екенлигин математикалық жоллар менен тийкарлады. Ракеталар бул тезликлерде Жердиң тартыў күшин жеңип оның жасалма жолдасының орбитасына көтериле алыўы, хәтте Айға хәм планеталар аралық саяхатқа жол ала алыўын ол өз есаплаўларында анық көрсете алды.

К.Е.Циолковский Жер этирапында орбиталық станцияларды қурыў хәм оларды басқа планеталарға ушыўда база сыпатында пайдаланыў мүмкинлиги хәққындағы пикирди де айтты. Теориялық космонавтиканың тийкарлары оның 1903-жылда жарық көрген «Әлем кеңислигин реактив приборлар жәрдемінде изертлеў» китабында баянланған. Соннан бир қанша кейин басқа бир қанша алымлар, солардың ишинде Р.Ено Пелтри (Франция), Р.Годдард (АҚШ), Г.Оберт (Германия) космослық ушыў проектлерине хәқыйқый көз-қарасларда қарап, оларды әдеўир раўажландырды.

XX әсирдиң 20-30 жыллары айырым алымлар топарлары хәм жәмийетлер ракета двигателлерин конструкциялаў хәм сынап көрийди баслады. Түтинсиз порохлы ракеталарды қурыў бойынша биринши тәжірийбе-конструкторлық лабораториясы Н.И.Тихомировтың усынысы менен 1921-жылы иске түсирилди. Кейинирек бул лаборатория кеңейтилип, 1928-жылдан баслап газодинамикалық лаборатория (ГДЛ) деген ат алды. Бул жерде Б.С.Петропавловский, Г.Е.Лангемек, В.П.Глушко хәм басқа да конструктор алымлар иследи.

1957-жылы ушыўшы ракеталар дәретиў бойынша терең ислер жуўмақланды. Бул жумыс әмелий космонавтиканың тийкарын салыўшы бас конструктор С.П.Королёв хәм хәзирги заман космонавтикасының теориялық тийкарларының дәретиўшиси М.В. Келдиш тәрәпинен әмелге асырылды. Нәтийжеде 1957-жыл 4-октябрь күни бул ракета жәрдемінде Жердиң биринши жасалма жолдасы ушырылды.

Буннан соң Жер атмосферасы, ионосфера хәм магнитосферасын хәм планетамыз Жерди космостан үйрениў ушын бортында қурамалы илимий аппаратуралары менен жүзлеген жасалма жолдаслар космосқа жол алды.

1959-жылдан баслап Жердиң тәбийий жолдасы - Ай космослық аппаратлар тәрәпинен «нышана» ға алына баслады. 1969- жылы АҚШ астронавтлары «Аполлон-11» космослық аппаратында Ай бетине қонып, инсанның әсирлик әрманының әмелге асқанлығын көрсетти. 1960- жыллардың басынан планеталар аралық автомат станциялар қонсы планеталарды (дәслепп Венера менен Марсты, кейинирек Меркурийди) изертлей баслады.

1972-1973 жыллары АҚШ тың «Катла тур» программасы бойынша гигант планетларды изертлеў басланды. Бул программа бойынша АҚШ тың 1977-жылда ушырылған «Вояджер-1» хәм «Вояджер-2» автомат станцияларының «аяғы» 1989-жылы Нептунға шекем барып жетти.

Космосты космослық аппаратлар жәрдемінде изертлеудің жаңа әсири усылай басланып, хәзирги ўақытлары аспан денелерин, космос кеңислигин үйрениўде революциялық даўамын басынан кеширмекте.

### Ушыў барысында космослық аппаратқа тәсир етиўши күшлер

Ушыў барысында космослық аппаратқа тәсир ететуғын ең тийкарғы күш пүткил дүньялық тартылыс күши болып табылады. Әдеттеги денелер арасындағы тартылыс күши Ньютон тәрөпинен ашылған пүткил дүньялық тартылыс ызымаына бағынады. Жоқарыда еслетилгениндей оның математикалық көриниси:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Бул жерде  $F$  денелер арасындағы тартылыс күшин,  $m_1$  хәм  $m_2$  олардың массаларын,  $r$  олар арасындағы қашықлықты тәриплеиди. Пропорционаллық коэффициенти  $G$  болса гравитация турақлысы деп аталып,  $6,672 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$  қа тең шама болып есапланады.

Космослық аппараттың қозғалысы барысында оған тәсир ететуғын басқа бир күш атмосфераның қарсылық күши болып табылады. Ушыў қанша киши бийикликлерде (Жердің бетине салыстырғанда) жүз берсе, бул күш соншама үлкен болады, Себеби бийиклик кемейген сайын атмосфераның тығызлығы артады. Бундай күш аэродинамикалық күш деп аталады. Атмосфераның жоқары қатламында тығызлық жүдә кем болып (хәр куб см де тек бир неше жүз атом), космослық аппаратлардың ушыўына дерлик қарсылық қылмайды хәм соның ушын да бундай халларда бул күш есапқа алынбайды.

Планеталар аралық бослықта ушып жүрген космослық аппаратқа сезилерли тәсир көрсететуғын және бир күш бар болып, ол Қуяш нурланыўларының басым күши болып табылады. Егер космослық аппараттың массасы онша үлкен болмай, ал сыртқы бети сезилерли дәрежеде үлкен болса Қуяш нурларының басым күши узақ ушыўлар даўамында жетерлише үлкен болып, космослық аппараттың қозғалыс траекториясына сезилерли тәсир көрсетеди. Соның ушын да бундай халларда оны әлбетте есапқа алыўға туўры келеди.

Космослық кеңисликте космослық аппаратқа хәлсиз болса да тәсир ететуғын басқа бир күшлер электр хәм магнит күшлери деп аталып, бундай күшлер космослық аппараттың туўры сызықлы қозғалысына емес, ал аўырлық орайы этирапындағы айланбалы қозғалысына ғана тәсир қылады.

### Салмақсызлық

Мейли космос кеңислигинде ушып баратырған космослық аппарат белгили бир пайыттан баслап зәрүрли болған тезликке ийе болғаннан кейин еркин айланбалы қозғалысы тәмийинленген болсын. Бундай қозғалыста денениң барлық ноқатларының бирдей тезлик пенен қозғалатуғынлығын түсиниў қыйын емес. Бунда космослық кеме хәр түрли бир биринен ғәрезсиз бөлимлерден куралған хәм оған тек аспан денелериниң тартылыс күшлери тәсир етеди деп қаралса, оның барлық бөлимлериниң (деталларының) тезликлери бирдей болып қалады хәм өзгериске ушыраған жағдайларда бирдей болып өзгереди. Себеби гравитациялық тезлениў қозғалыўша денениң өзиниң массасына байланыссы емес:

$$a_r = \frac{GM}{r^2}.$$

Бул аңлатпада  $M$  арқалы космослық аппарат деталларын тартыўшы денениң массасы (деталлардың массасы емес!),  $r$  арқалы космослық аппарат деталларын тартыўшы  $M$  массалы денеге шекемги қашықлық. Бул қашықлықтың шамасын барлық деталлар ушын бирдей деп қараў мүмкин. Бул жағдай космослық аппарат деталларының траекториясының

бирдей болып, кеңістікте олардың тарқалып кетпейтуғынлығын көрсетеді. Сонлықтан космослық аппараттың айырым деталлары арасында өз-ара басым жүзеге келмейді, яғни бір бирине түсіретуғын салмағы жоғалады. Космонавт өзі отырған орынлыққа басым түсірмейді, асылған лампа шнурға салмақ түсіріп тартпайды, еркіне жиберілген қалем столға түспей сол аўхалында хәм басқалар. Себеби олардың бәршесинің тезлиги менен тезлениўи бирдей болады. Кеме кабинасы ишиндеги пол, төбе деген сөзлердің мәніси жоғалады. Кеме ишинде денелердің салмақсызлық халы жүзеге келеді.

Сыртқы басқа күшлердің (сыртқы орталықтың қарсылық күши, таяныш реакция күши хәм басқалар) пайда болыўы салмақсызлықты жоғалтып, салмаққа ийе болыў халының жүзеге келиўине себеп болады.

### Орайлық тартылыс майданы

Көп жағдайларда космос аппаратының қозғалыс траекториясын жетерли дәрежеде дәл есаплаў ушын барлық аспан денелеринің оған тәсирин есаплаўға зәрүрлик болмайды. Егер космос аппараты космос кеңістігинде планеталардан әдеўир узақлықта қозғалатуғын болса, онда тек Қуяштың тартыў күшин есапқа алыў жетерли. Себеби планеталардың космос аппаратына берген тезлениўлери Қуяш берген тезлениўге салыстырғанда жүдә киши шаманы қурайды. Мысалы биз Жердің этирапында қозғалатуғын космос аппаратының траекториясын үйренетуғын болсақ, онда Қуяштың оған беретуғын тезлениўи Қуяштың Жерге беретуғын тезлениўинедерлик тең болғанлықтан космос аппаратын тек Жер тәсиринде қозғалып атыр деп қараў мүмкин болады. Себеби бул жағдайда Қуяш тәрепинен берилетуғын орайдан қашыўшы тезлениў оның космос аппаратына хәм Жерге беретуғын хәм өз-ара дерлик бирдей болған тезлениўлеринің айырмасына тең болып, бул шама жүдә киши болады. Усының нәтийжесинде Қуяш космос аппаратының Жерге салыстырғандағы қозғалысына сезилерли өзгерте алмайды.

Бирақ тап усы космос аппаратының Қуяшқа салыстырғандағы қозғалысы үйренилип атырғанда оған Жер беретуғын тезлениўди әлбетте есапқа алыў зәрүр болады. Себеби бул жағдайда Жер беретуғын орайдан қашыўшы тезлениў Жердің космос аппаратына хәм Қуяшқа беретуғын тезлениўлеринің айырмасына тең болып, бул айырма Қуяштың космос аппаратына беретуғын тезлениўи менен салыстырғанда сезилерли дәрежеде үлкен муғдарды қурайды.

Соның ушын космонавтикадағы жуўық есаплаўларда космос аппаратының қозғалысы тек бир аспан денеси тәсиринде болып атыр деп есапланады. Басқаша сөз бенен айтқанда қозғалыс шегараланған еки дене рамкасында үйрениледі. Бул хал орбиталарды есаплаўда үлкен қолайлық туўдырады.

Аспан денесин бир текли материаллық шар деп қарайық ямаса ең кеминде бир биринің ишинде жайласқан бир текли сфералық қатламлардан қуралған дейик. Бундай дене оның пүткил массасы орайында (ноқат түринде) жайласқан орайлық тартыў қәсийетине ийе болады. Бундай тартыў майданы *орайлық* ямаса *сфералық майдан* деп аталады.

$m$  массалы космос аппаратының орайлық майдандағы қозғалысы менен танысайық. Басланғыш халда космос аппараты аспан денесинен  $r_0 = R$  ( $R$  орайлық денениң радиусы) қашықлықта  $v_0$  горизонт бағытындағы тезликке ийе болсын. Бул хал ушын космос аппаратының кинетикалық хәм потенциал энергиялары сәйкес рәўиште  $W_k = \frac{mv_0^2}{2}$  хәм

$W_p = -\frac{G * M * m}{r_0}$  түринде болады. Онда белгили бир ўақыттан соң орайлық майданнан  $r$

қашықлықта оның тезлиги  $v_r$  ге тең болып космос аппаратының кинетикалық энергиясы:



$$W_k' = \frac{mv_r^2}{2},$$

потенциал энергиясы болса:

$$W_p' = -\frac{G * M * m}{r}$$

болады. Бул аңлатпалардағы  $M$  тартыушы аспан денесінің массасы.

Гравитациялық емес күшлерді есепке алмасақ тартыу майданы потенциал майдан болғанлықтан басланғыш ( $v_0$ ) хәм  $r$  қашықтықтағы тезлік ( $v_r$ ) арасындағы байланысты табыу үшін механикалық энергияның сақланыу нызамынан пайдаланамыз. Онда:

$$\frac{mv_0^2}{2} - \frac{GMm}{r_0} = \frac{mv_r^2}{2} - \frac{GMm}{r}$$

болады. Бул жерде теңліктің шеп тәрәпи космос аппаратының басланғыш толық энергиясын, оң тәрәпи болса оның  $r$  қашықтықта  $v_r$  тезлікке ерискен пайтытағы толық энергиясын тәріптейді. Теңліктің еки тәрәпин де  $m$  ге қысқартып космос аппаратының орайлық денеден ықтыярлы  $r$  қашықтықтағы тезлігін тәріптейтуғын теңлемени табамыз:

$$v_r^2 = v_0^2 - \frac{2GM}{r_0} \left( 1 - \frac{r_0}{r} \right)$$

ямаса

$$v_r^2 = v_0^2 - \frac{2K}{r_0} \left( 1 - \frac{r_0}{r} \right)$$

Бул аңлатпа *энергия интегралы* деп аталады.  $K = GM$  белгили бир аспан денесінің гравитациялық майданын характерлеп, оның *гравитациялық параметри* деп аталады. Жер ушын  $K_{\oplus} = 3,986 \cdot 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$ , Куяш ушын  $K_{\odot} = 1,327 \cdot 10^{11} \text{ км}^3/\text{с}^2$ , Ай ушын болса  $K_f = 4,9 \cdot 10^3 \text{ км}^3/\text{с}^2$  қа тең болады.

Орайлық майданда бақланатуғын космос аппаратының қозғалыс траекторияларын төрт топарға бөлиу мүмкин:

1. Тууры сызықты қозғалыс. Егер белгили бир бийикликте турған дененің басланғыш тезлігі нолге тең болса ол орайлық майданды бериуші дененің орайы тәрәпине қарай тик түседі. Дененің басланғыш тезлігі орайға қарай емес, ал оған қарама-қарсы тәрәпке (радиал) болғанда да қозғалыс тууры сызықты қозғалыс болып табылады. Басқа барлық халларда дененің тууры сызық бойлап қозғалатуғынлығы бақланбайды.

2. Эллипс тәрізлі траектория бойынша қозғалыс. Егер космос аппаратының басланғыш тезлігінің бағыты радиал бағытқа параллел болмаса, онда оның қозғалыс траекториясы орайлық дененің тартылысы сыяқты әлбетте ийиледі. Бул жағдайда оның жолы хәр дайым басланғыш тезлік векторы хәм Жер орайы арқалы өтиуші тегисликте жатады. Егер космос аппаратының басланғыш тезлігі Жердің массасы хәм радиусы менен байланыссы болған тезліктің белгили бир шамасынан артпаса траектория эллипс тәрізлі болады (39-сүрет). Бул эллипс тартыушы аспан денесінің бетін кесіп өтпесе космос аппараты бул дененің жасалма жолдасына, аспан денесінің орайы болса эллипс фокусларының бирине айланады.

Жоқарыда еслетилип өтилгендей, эллипстің фокуслары деп сондай ноқатларға айтылады, бул ноқатлар менен эллипстің ықтыярлы ноқатын тутастырушы кесиндилердің қосындылары өзгермейтуғын шама болады. Эллипстің еки фокусы арқалы өтетуғын көшер оның *үлкен көшери* деп аталады. Үлкен көшердің жартысы *үлкен ярым көшер* деп аталып жасалма жолдастың аспан денесінен орташа узақтығын тәріптейді хәм  $a$  хәрипи менен белгиленеді. Ықтыярлы уақыт моментіндегі жолдастың тезлігі  $v$ , оның тартыу орайынан узақтығы  $r$  хәм эллипстің үлкен ярым көшери  $a$  менен төмендегідей байланыс-ды:

$$v^2 = K \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right) \quad (1)$$

Орайлық тартылыс майданында эллипс бойынша қозғалыушы денениң айланыу дәуири  $T$  болса эллипстиң үлкен ярым көшери  $a$  арасындағы төмендегі қатнастан табылады:

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM} \quad \text{ямаса} \quad T^2 = \frac{4\pi^2}{K} a^3.$$

Бул аңлатпадан айланыу дәуири  $T$ :

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{K}} a^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

болады.

Фокуслар арасындағы қашықтықтың үлкен көшер ұзынлығына қатнасы эллипстиң эксцентриситети деп аталып, оның шамасы 40-сұйреттен:

$$e = \frac{OF_1}{a} = \frac{OF_2}{a}$$

ямаса

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (3)$$

аңлатпасынан табылады.

Жоқарыдағы формулалардан космос аппаратының басланғыш тезлиги қанша үлкен болса орбитаның үлкен ярым көшериниң де соншама үлкен болатуғынлығы, сонлықтан дәуириниң де артатуғынлығы көринип тур. Орайлық денеден ең киши хәм ең үлкен қашықтықтағы эллипс ноқатлары (сұйретте  $P$  хәм  $A$  ноқатлар) сәйкес рәуиште, перигей хәм апоцентр деп аталады. Егер тартыушы дене Жер болса, онда ол ноқатлар перигей хәм апогей деп, ал Қуяш болса перигелий хәм афелий деп аталады.

Космос аппаратының перигейдегі тезлиги ( $v_p$ ) максимум, апогейдегіси болса ( $v_a$ ) минимум шамаға ийе болады. Бул еки тезлик бир бири менен төмендегіше байланысқан:

$$v_p r_p = v_a r_a = v_k r_k \cdot \cos \alpha. \quad (4)$$

Себеби теңликтің еки тәрәпин де  $m$  ге көбейтсек биз қозғалыс муғдары моментиниң сақланыу нызамын аламыз:

$$m_0 v_p r_p = m_0 v_a r_a. \quad (5)$$

Бул жерде  $r_p$  хәм  $r_a$  - перигей хәм апогей ноқатларының Жер орайынан узақтықлары.

Егер орайлық дене (мысал ушын Жер) бетинен белгили бир бийикликтегі  $A$  ноқаттан (сұйретке қараңыз) басланғыш горизонтал тезлик пенен космослық аппарат ушырылса,  $A$  ноқат басланғыш тезликтің шамасына байланыссы перигей ямаса апогейге (сұйреттегі 1-хәм 2- орбита) айланады. Тезликтің белгили бир шамаларында ол шеңбер бойлап қозғалып (сұйретте 3-орбита), шеңбер тәризли орбита радиусы  $r$ , үлкен ярым көшер  $a$  ға тең болады. Бул жағдайда

$$v_{ayl}^2 = \frac{K_{\oplus}}{r} \quad (6)$$

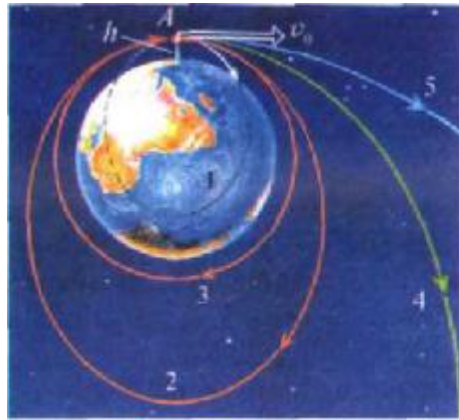
ямаса

$$v_{ayl} = \sqrt{\frac{K_{\oplus}}{r}} \quad (6')$$

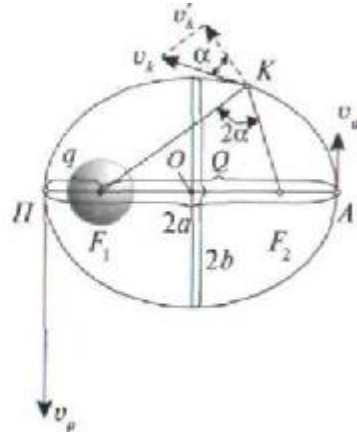
болады. Бул жерде  $K_{\oplus}$  ның Жердің гравитациялық параметри екенлигин билген ҳалда оннан ықтыярлы  $r$  қашықтықтағы шеңбер тәризли орбитаға сәйкес тезликті аңсат табыу мүмкин. Бул жағдайда  $r = R_{\oplus} + h$  болады ( $R_{\oplus}$  Жердің радиусы,  $h$  болса космос аппаратының Жер бетинен бийиклиги). Егер  $h$  нолге тең болса алынған аңлатпа Жер ушын:

$$v_1 = \sqrt{\frac{K_{\oplus}}{R_{\oplus}}}$$

Биринші космослық тезлікті тәріптейді. Оның шамасы 7,91 км/с қатар.



Орайлық тартылыс майданында дененің қозғалыс траекториялары (мысал ретінде Жердің тартыс майданындағы космос аппаратының қозғалысы келтірілген).



Орайлық тартылыс майданында дененің эллипс тәрізлі орбита бойынша қозғалысы.

**3. Параболалық траектория бойынша қозғалыс.** Апогейі шексіздікте «жатырған» эллипс тәрізлі орбита дұрыс эллипс бола алмайды (4-орбита). Бұл жағдайда аппарат тартыу орайынан шексіз қашықтасып, түйік болмаған ийкем сызық - парабола бойынша қозғалады. Космослық аппарат тартыу орайынан уақыт өткен сайын тезлігі жиірейіп барады. Эллипс бойынша қозғалыста тезлікті есептеу формуласы (1) ден шексіздікте  $a \rightarrow \infty$  болуын етібарға алып дәлелдегі  $r_0$  қашықтықта параболалық орбитаны тәмілінлейтуғын басланғыш тезліктің үлкенлігі  $v_0$  ди табамыз. Онда:

$$v_0^2 = \frac{2K}{r_0} \quad (8)$$

ямаса

$$v_0 = \sqrt{\frac{2K}{r_0}} \quad (8')$$

формулалары бойынша есепленген тезлік *параболалық* ямаса *еркінлік тезлігі* деп аталады. Себебі бундай тезлікке еріскен космос аппараты парабола бойынша қозғалып тартыу орайына қайтпайды. Басқаша айтқанда еркінлік алады.

Егер  $r = R_{\oplus}$  - Жердің радиусына тең етіп алынса

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2K_{\oplus}}{R_{\oplus}}}$$

болып, ол екінші космослық тезлік деп аталады. Жер үшін екінші космослық тезліктің шамасы 11,186 км/с ди құрайды.

Бирінші хәм екінші космослық тезліктерди салыстырып:

$$v_{II} = v_{\text{erk}} = v_I \sqrt{2} \quad \text{ямаса} \quad v_{\text{erk}} = 1,414 v_I$$

екенлігін табамыз.

Енді бұл теңдіктерден энергия интегралын (IV. 4- §) жазсақ, тартылыс майданыдағы орайлық денеден  $r$  қашықтықтағы тезлік

$$v^2 = v_0^2 - v_{\text{erk}}^2 * \left(1 - \frac{r_0}{r}\right)$$

екенлиги келип шығады.

**4. Гиперболалық траекториялар.** Егер космос аппараты параболалық тезликтен үлкен тезлікке ериссе ол бул ҳалда да ашық иймек сызық бойынша қозғалып, шексизлікке жетеди. Бирақ бул жағдайда оның траекториясы гипербола (5-орбита) түрине енеди. Бул ҳалда космос аппаратының шексизліктеги тезлиги нөлге тең болмайды. Тартыу орайынан узақласқан сайын оның тезлиги үзликсиз киширейип барса да, бирақ ол  $r \rightarrow \infty$  болғанда (10)-аңлатпадан табылатуғын  $v_\infty$  тезликтен кем бола алмайды

$$v_\infty^2 = v_0^2 - v_{\text{erk}}^2 \left(1 - \frac{r_0}{r}\right).$$

$v_\infty$  тезликти қалдық тезлик (базы бир тезликтің гиперболалық арттырмасы) деп аталады.

Гиперболалық траектория тартыу орайынан уақта гипербола асимптоталары деп аталыушы тууры сызықлардан дерлик парық қылмайды. Соның ушын үлкен узақлықта гиперболалық траекторияны тууры сызықты траектория деп атау мүмкин.

Параболалық хәм гиперболалық траекторияларда жоқарыда келтирилген еки теңлеме де орынлы бола береді. Тартыу майданында космос аппаратының пассив қозғалысы биринши болып планеталар қозғалысының эллипс тәризли екенлигин ашқан хәм олардың қозғалыс нызамларын анықлаған немис алымы И.Кеплердің хұрметине Кеплерлик қозғалыс деп аталады.

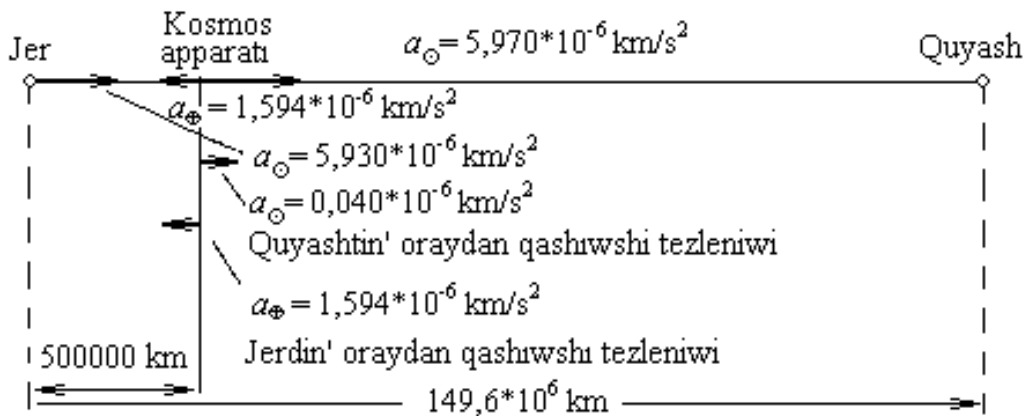
### **Тәсир сферасы хәм космослық аппаратлардың траекторияларын жууық есаплау**

Космос аппаратлардың Кеплерлик орбиталары хақыйкый аспан денелери ушын тийкарында әмелге асырылып болмаитуғын орбиталар болып табылады. Себеби ықтыярлы аспан денесинің дәл сфералық симметрияға ийе болмағанлығы себепли оның майданы да дәл орайлық бола алмайды. Соның менен бирге басқа сыртқы аспан денелеринің тәсири хәм басқа факторлардың дененің хақыйкый траекториясына тәсир етиуинің нәтижесинде оның қозғалысын үйрениуде есапка алынуы лазым. Бирақ жүдә әпиуайы болғанлығы себепли хәм усы ўақытларға шекем жақсы үйренілгенликтен Кеплерлик қозғалыстан бас тартыу мүмкин емес. Соның ушын Кеплер орбитасы қозғалыстағы денелер ушын таяныш орбита сыпатында қабыл қылынып, әдетте басқа факторлар беретуғын тәсирлер орбитаны есаплауларда айырым түрде итибарға алынады. Басқаша сөз бенен айтқанда дененің қозғалыс траекториясы дәлlestириледі.

Сыртқы аспан денелери тәрeпинен Жер этирапында қозғалатуғын космос аппаратына берилетуғын гравитациялық тәсирлерди (Қуяш мысалында) есаплайық (сүүретте көрсетилген).

1. Жерден 500000 км қашықлықтағы космос аппараты Қуяштан 149100000 км қашықлықта болып, оған Жердің беретуғын тезлениуі  $1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км/с}^2$ , Қуяштики болса  $5,970 \cdot 10^{-6} \text{ км/с}^2$  ты курайды. Яғный Қуяштың космослық аппаратқа беретуғын тезлениуі Жердикинен бир неше есе үлкен болып шығады. Бирақ бул космос аппаратының Жер этирапынан кетип қалып, оған Қуяшқа «келип түсиўге» имканият бермейди. Хақыйқатында егер бизди космос аппаратының геоорайлық (яғный Жерге салыстырғандағы) қозғалысы қызықтыратуғын болса орайдан қашыушы тезлениуі сыпатында Қуяштан космос аппараты хәм Жер алатуғын ( $5,930 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ ) тезлениулердің айырмасы  $(5,970 - 5,930) \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2 = 0,040 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$  менен Жердің космос аппаратына беретуғын тезлениуі -  $1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$  салыстырылуы лазым. Табылған орайдан

қашыұшы тезлениў ( $0,040 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ ) космос аппаратына Жер тәрәпинен берилетуғын тезлениўдиң (яғный,  $1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ ) 2,5 процентин ғана курайды.



Жердиң Қуяшқа салыстырғандағы тәсир сферасын бақалаў.

2. Енди космос аппаратының гелиоорайлық (яғный Қуяшқа салыстырғандағы) қозғалысын үйренейик. Бундай жағдайда Жердиң космос аппаратына беретуғын тезлениўи ( $1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ ) хәм Қуяшқа беретуғын тезлениўиниң ( $0,00001781 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ ) айырмасы Қуяштың космос аппараты беретуғын тезлениўи  $5,970 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$  ушын орайдан қашыұшы тезлениў болып, ол Қуяштың космос аппаратына беретуғын тезлениўиниң ( $5,970 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ ) 26,7 процентин курайды. Демек гелиоорайлық қозғалысқа Жердиң тәсириниң әдеўир сезилерли екенлиги анықланады.

Енди бундай есаплаўды Жер әтирапындағы барлық ноқатларға қоллансақ Қуяшқа салыстырғанда Жер хұкимдарлық қылатуғын кеңисликтиң шегарасы сондай жол менен анықланады, оның сфера тәризли екенлиги белгили болып, бул сфераны **Жердиң тәсир сферасы** деп атайды. Жердиң тәсир сферасының Қуяшқа салыстырғанда радиусы 925000 км, Айдың тәсир сферасының Жерге салыстырғанда радиусы 66000 км, Қуяштың галактика орайына салыстырғандағы есапланған тәсир сферасының радиусы болса  $9 \cdot 10^{12} \text{ км} = 1 \text{ ж.ж. ны тең}$ .

Аралары  $a$  болған  $m$  массалы денениң массасы  $M$  болған денеге салыстырғанда тәсир сферасының радиусы ( $m \ll M$ )

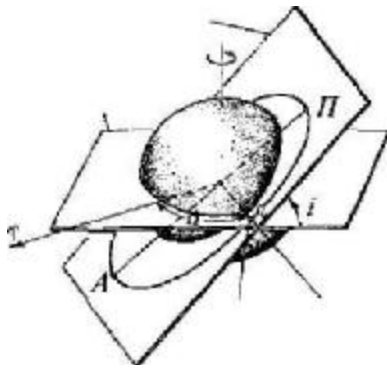
$$\rho = a \left( \frac{m}{M} \right)^{\frac{2}{5}}$$

аңлатпасының жәрдемінде табылады.

Космос аппараты бир денениң тәсир сферасының шегарасын кесип өткенде ол тартылыстың бир орайлық майданынан екиншисине өтеди. Космос аппаратының хәр бир тартылыс майданыдағы қозғалысы усы майданларға салыстырғанда өз алдына Кеплерлик орбитаны (конуслық кесимлердиң бирин) курайды. Тәсир сферасының шегарасыдағы космослық аппараттың қозғалыс траекториясы болса белгили бир қағыйдалар бойынша «дүзиледи». Космос аппаратлары траекторияларының есаплаўдың жуўық усылының тийкарғы мәниси сонда болып, ол *базы бир конуслық кесимлерди өз-ара тутастырыў усылы* деп те аталады.

## Жердиң жасалма жолдасларының орбиталарының элементлери

Жер әтирапы кеңислигинде қозғалатуғын жасалма жолдастың Жер экваторы тегислигине салыстырғанда халын хәм оның қозғалысы менен байланысly болған шамаларды өз ишине алыўшы параметрлер оның **орбитасының элементлери** деп аталады.



Жердің жасалма жолдасының орбитасының элементтері.

Жасалма жолдаслардың төмендегідей орбита элементтері бар (сүзретті караңыз):

$i$  – жасалма жолдастың орбитасының Жер экваторы тегислигине қыялығы ( $i = 90^\circ$  – полюслик жолдас;  $i = 0$  болғанда болса экваторлық жолдас деп аталады);

Жасалма жолдастың қозғалыс жолы Жердің айланыу бағдарына сәйкес келсе *туұры*, керісінше болғанда болса *кери жолдас* деп аталады ( $i > 90^\circ$  болғанда жолдаслар кери қозғалады);

$h_a$  – жасалма жолдас апогейинің бийиклиги;  $h_p$  – перигейинің бийиклиги;

$T$  – жасалма жолдастың Жер этирапында айланыу дәуири;

$a$  – жасалма жолдас орбитасының үлкен ярым көшери;

$e$  – орбита эксентриситети;

$d$  – көтеріліу түйининің Жер экваторы тегислиги бойынша бәхәрги күн теңлесіу ( $\wedge$ ) ноқатынан мүйешлик узақлығы.

Орбита элементтері белгили болғанда берилген ўақыт моменти ушын ЖЖ тың аспандағы орны (координаталары) аңсат табылады.

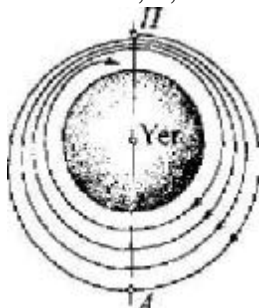
### Жер атмосферасында жасалма жолдас орбитасының эволюциясы

Жер этирапында қозғалатуғын жасалма жолдасқа хәр қыйлы күшлер тәсир етеди. Сол күшлер ишинде Жер атмосферасының қарсылық күши ең әхмийетли күш болып есапланады. Жер атмосферасының жасалма жолдас қозғалысына қарсылық күши төмендеги аңлатпадан табылады

$$F_{\text{qars}} = cS \frac{\rho v_{\text{nis}}^2}{2}.$$

Бул аңлатпада атмосфераны жоқары қатламлары ушын  $c$  шамасының мәніси 2-2,5 арасындағы өлшемсиз қарсылық коэффиценти,  $S$  – жолдастың максимал көлденең кесими,  $v_{\text{nis}}$  жолдастың сыртқы орталыққа салыстырғандағы тезлигин тәриплейди.

Қарсылық күши сыяқлы жолдастың қозғалысына тәсир етиўши орайдан қашыўшы тезлениўдиң үлкенлиги 200 км бийикликте  $2,2 \cdot 10^{-4}$  м/с<sup>2</sup> ты, 400 км бийикликте болса  $3,1 \cdot 10^{-6}$  м/с<sup>2</sup>, 800 км бийикликте болса бар болғаны  $2,6 \cdot 10^{-8}$  м/с<sup>2</sup> шамасын курайды. Жолдас 100 км бийикликте ушып баратырғанда бул тезлениўдиң шамасы сезилерли дәрежеде үлкен болып, 0,3 м/с<sup>2</sup> қа тең болады.



Жер атмосферасында жасалма жолдастың орбитасының эволюциясы.

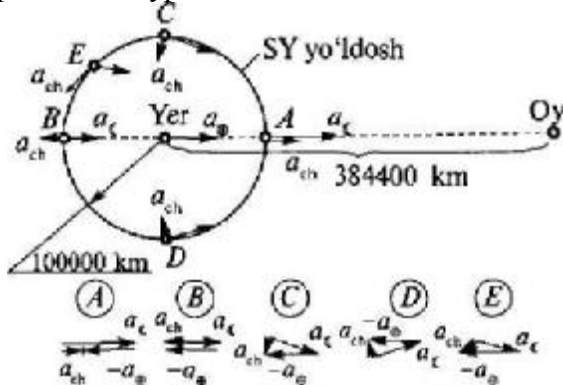
110-120 км бийикликтен баслап (төменге қарай), атмосфераның тығызлығының тез өсетуғынлығына байланысly жасалма жолдас гезектеги айланыўын жуўмақлай алмай, Жерге қулап түседи. Соның ушын 86,5-86,7 минутлық дәўир менен айланыўшы жасалма жолдас ушын бундай бийиклик қәўипли болып есапланады. Эллипс тәризли орбита бойынша қозғалатуғын жасалма жолдас өз перигейинен өткенде қарсылық салыстырмалы үлкен болғанлығына байланысly (атмосфераның тығызлығының үлкен болғанлығына байланысly) тезлигин тез жоғалтып, апогей (А) бийиклигиниң кескин түсиўине себеп болады. Бул болса өз гезегинде перигей (П) бийиклигиниң де түсиўине себеп болады (сүўретке қараңыз). Нәтийжеде төмен орбитада қозғалатуғын жасалма жолдас бир неше күнге бармай атмосфера қатламларында жанып Жерге қулап түседи.

### Жасалма жолдаслардың қозғалысларына Ай менен Қуяштың тәсири

Жер этирапында айланыўшы жасалма жолдасқа Ай хәм Қуяштың тартыў күшлери сезилерли дәрежеде тәсир етип, оның орбитасының бир қанша өзгериўлерине алып келеди. Бул жағдайда Айдың тәсири жақынлығына байланысly Қуяштың тәсиринен бир қанша артық болып, оның орайдан қашыўшы тезлениўиниң тәсиринде жасалма жолдас орбитасының қалай өзгеретуғынлығы менен танысайық.

Сүўретте Жер этирапында айланатуғын жасалма жолдас орбитасының А, В, С, D ноқатларында Айдың орайдан қашыўшы тезлениўлериниң қандай бағдарда хәм үлкенликлерде болатуғынлығы көрсетилген. Олардың бағытларынан көриниўинше, ақыр-аяғында жасалма жолдас орбитасы Жер этирапында Ай менен Жерди тутастырыўшы сызық бойынша «деформацияланады» (созылады) екен.

А ноқатта орайдан қашыўшы тезлениў максимал мәниске жетип  $18 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}^2$  ты, басқаша айтқанда бул ноқатта ЖЖ тың Жердиң тәсиринде алатуғын тезлениўиниң 0,052 процентин курайды.



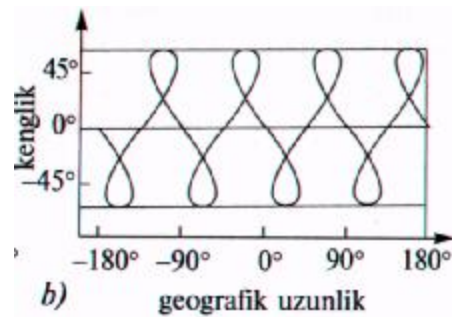
Жердиң жасалма жолдасы қозғалысына Ай менен Қуяштың тәсири.

Сызылманың төменги бөлиминде сәйкес ноқатларда жасалма жолдасқа Ай беретуғын тезлениў кери белги менен алынған Жердиң Айдың тәсиринде алған тезлениўиниң қосылыўынан пайда болған орайдан қашыўшы тезлениўлер келтирилген.

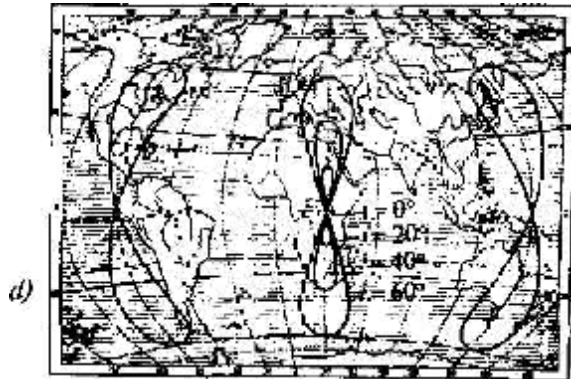
### Жасалма жолдаслардың Жердиң бетине салыстырғандағы қозғалысы

Жасалма жолдаслардың Жердиң бетине проекциясы деп Жердиң орайы менен жасалма жолдасты тутастырыўшы туўры сызықтың Жердиң бети менен кесискен ноқатына айтылады. Жасалма жолдастың Жер этирапында айланыўы даўамында қалдырған оның сондай проекцияларының геометриялық орны жасалма жолдастың *трассасы* деп аталады.

Жасалма жолдастың трассасы Жер бетиндеги сондай ноқатлардың орны болып табылады, бул ноқатларда сутканың хәр түрли ўақытында жасалма жолдас зенит арқалы өтеди.



Жердің айланыуына байланысly жасалма жолдас трассасының Жер экваторын кесип өтiу мүйеши жасалма жолдас орбитасының экваторға аўысыу мүйешинен парық қылады. 45-сүўретте хәр түрли дәўирлер менен айланыўшы жасалма жолдаслардың трассалары келтирилген. Олар ишинде Жердің айланыў дәўирине тең дәўир менен айланыўшы жолдасының трассалары адам дыққатын өзине тартады (45-d сүўрет). Олар «8» түринде болып, жолдас орбитасының Жер экваторы тегислигине қыялығына байланысly рәўиште оның «бойы» өзгерип турады. Қыялық қанша киши болса, «8» диң бойы да соншама киши болады. Егер аўысыу мүйеши нолге тең болса ( $i = 0$ ) трасса да экваторда жатыўшы ноқатына айланады.



Хәр қыйлы дәўирли Жердің жасалма жолдасларының трассалары:  
а) 20 саатлық дәўир менен; б) 30 саатлық дәўир менен; д) 24 саатлық дәўир менен қозғалатуғын жолдаслар.

Басқаша сөзлер менен айтқанда Жер экваторының бул ноқатында турған бақлаўшысына жасалма жолдас барлық ўақытта да зенитте көринеди (басының үстинен басқа тәрепке жылжымайды). Бундай жолдаслар *геостационар жолдаслар* деп аталады.

## Орбитадағы маневрлар

### 1. Жасалма жолдастың орбитасының бийикликлерин өзгертиў.

Белгили бир мақсетти көзде тутып жасалма жолдаслар орбиталарын хәр қыйлы етип өзгертиў орбиталық маневрлар деп аталады. ЖЖ лардың маневр қылдырыў зәрүрлиги олардың орбиталарына дүзетиўлер киргизиўде, жаңа орбитаға өткизиўде, орбитадағы басқа бир ЖЖ пенен жақынластырғанда ямаса жолдасты Жерге қайтарыў зәрүрликлери пайда болғанда әмелге асырылады.

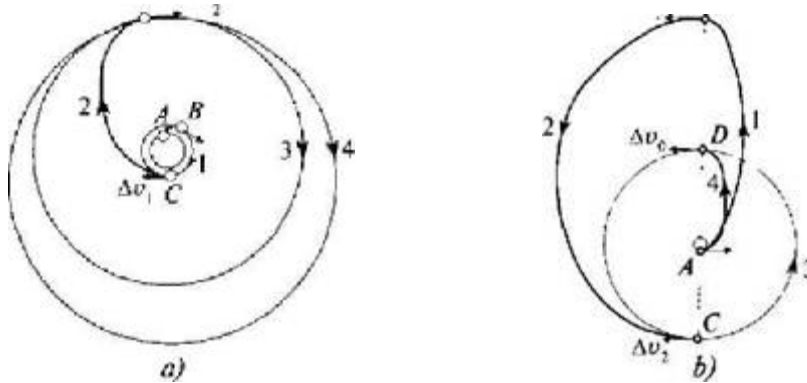
Орбиталық маневр әдетте жолдас бортындағы ракета двигателлери жәрдемінде әмелге асырылады. Қысқа ўақытқа двигателди иске түсириў жолы менен әмелге асырылған маневрлар бир импульсly, бир неше рет двигателди жағыў жолы менен әмелге асырылған маневрлар болса көп импульсly маневрлар деп аталады. Орбиталық маневрлар киши тартысыў күшине ийе болған двигателлердиң үзликсиз ислеўи процессинде де әмелге асырылыўы мүмкин.

Көз алдымызға елеслетейик, жасалма жолдасты Жер этирапындағы жүдә бийик шеңбер тәризли 3-орбитаға шығарыў талап етилсин (46-сүўрет). Бул жағдайда жасалма жолдас дәслеп Жер этирапындағы 1-орбитаға шығарылады. Соңынан С ноқатында



қосымша берілген  $\Delta v_1$  тезлік импульсы жәрдеминде 2-эллипс тәрізлі орбитаға өткериледи. Бул орбитаның апогейи мөлшерленген 3-орбитаға урынып өтетуғын қылып таңдап алынады. Жасалма жолдас D нокатына жеткенде тезліктің екінші импульсы  $\Delta v_2$  жәрдеминде ол бийигіректегі мөлшерленген шеңбер тәрізлі орбитаға (3) шығарылады. Егер ЖЖ ты перигейи D нокаты болған эллипс тәрізлі 4-орбитаға шығарыу талап етилсе әдетте екінші импульс үшін үлкенірек тезлік таңдап алынады.

Алдын ала мөлшерленген орбитаға жасалма жолдасты көп түрлі жоллар (маневрлар) менен шығарыу мүмкін. Бірақ олар ишінде тек біреуі ең экономлы (энергияның жұмсалыуы бойынша) усыл деп есапланады.



а) жасалма жолдас орбитасы бийікліклерін өзгертіу бойынша маневрлар; б) екі хәм үш импульслы маневрлерди салыстырыу.

Мысал ретінде Жер этирапында мөлшерленген орбитаға жасалма жолдасты шығарыудың екі усылы менен танысып, олардың қаншама экономлы екенлігін анықлайық. Жер бетинен (A) берілген басланғыш  $v_0$  тезлік жәрдеминде жасалма жолдас дәслеп 1-созылған эллипс тәрізлі орбита бойынша қозғалады. Соң B нокатта  $\Delta v_1$  қосымша тезлік импульсы жәрдеминде ол 2-эллипс тәрізлі орбитаға өткериледи. Бул эллипс тәрізлі орбитаның перигейи мөлшерленген шеңбер тәрізлі орбитаға (3) урынып өтетуғын қылып таңдап алынады. Ең ақырында жасалма жолдас C нокатына жеткенде, ол тормозлаушы  $\Delta v_2$  тезлік импульсы жәрдеминде мөлшерленген 3-орбитаға шығарылады.

*Екінші усылга* өтеміз. Бундай орбитаға (3) ЖЖ ты 4-өтиу орбитасы арқалы да шығарыу мүмкін. Буның үшін 4-эллипс тәрізлі орбитаның апогейинде (D) жолдасқа қосымша  $\Delta v_0$  тезлік берилип, оны мөлшерленген 3- шеңбер тәрізлі орбитаға өткереди.

Энергиялық көз қарастан мөлшерленген 3-орбитаға шығарыудың сол екі усылы салыстырылғанда бул мөлшерленген орбитаның радиусы  $11,9 R_{\oplus}$  дан үлкен болғанда (Бул жерде  $R_{\oplus}$  арқалы Жер радиусы белгиленген) 1-усылдың орынлы болыуы, радиус  $11,9 R_{\oplus}$  дан киши болғанда болса 2-усылдың орынлы болыуы орбиталардың есаплаулары тийкарында көринеди.

Қыялымызға келтирейік, жасалма жолдас Жер этирапында 200 км бийіклікте  $v = 7,789$  км/с тезлік пенен шеңбер тәрізлі қозғалатуғын болсын. Орбитаның белгили бир нокатында оған 10 м/с қосымша тезлік берілгенда пайда болған эллипс тәрізлі орбитаның параметрлериниң бундай маневр ақыбетинде қаншамаға өзгеретуғынлығын анықлайық. Эллипс тәрізлі орбитаның перигейдегі тезлік үшін аңлатпадан табылған шамалардан ( $K_{\oplus} = 3,986 \cdot 10^5 \frac{\text{km}^3}{\text{s}^2}$ ,  $R_{\oplus} = 6370$  км):

$$v_p = \sqrt{K_{\oplus} \left( \frac{2}{R_{\oplus} + h} - \frac{1}{a} \right)}$$

$$\frac{v_p^2}{K_{\oplus}} = \frac{2}{R_{\oplus} + h} - \frac{1}{a} \quad \text{ямаса} \quad \frac{1}{a} = \frac{2}{R_{\oplus} + h} - \frac{v_p^2}{K_{\oplus}}.$$

Бул жерден орбитаның үлкен ярым көшери:

$$a = \frac{K_{\oplus}(R_{\oplus} + h)}{2K_{\oplus} - v_p^2(R_{\oplus} + h)} = 6587 \text{ km}$$

болады. Бул халда апогейдің бийиклиги  $h_a = 2a - 2R - h_p = 234 \text{ km}$ , яғный апогейде жасалма жолдастың бийиклиги перигейде берілген қосымша 10 м/с тезлік импульсына байланысты 34 кмге көтеріледі екен. Демек хәр 1 м/с қосымша тезлік жолдас орбитасын оның апогейінде 3,4 км ге көтереді екен деген сөз.

**2. Жасалма жолдастың орбита тегислигин өзгертиу.** Орбитаның басқа параметрлерін (тезлік, экваторды кесіп өтиу нокаты хәм бийиклиги) өзгертилмеген халда оның Жер экваторы тегислигине салыстырғандағы аұысыу мүйешін  $\Delta i$  мүйешке өзгертиу зәрүр болсын (47-а сүұрет). Бул жағдайда талап етилген маневрды әмелге асырыушы тезлік импульсы  $\Delta v$  вектор, жасалма жолдастың орбиталық тезлиги  $v_0$  хәм алынған нәтийжелік орбиталық тезлік  $v_{n.t}$  векторлары менен тең қапталлы үш мүйешлік пайда етеді (47-б сүұрет). Бул тезліклер үш мүйешлигинен

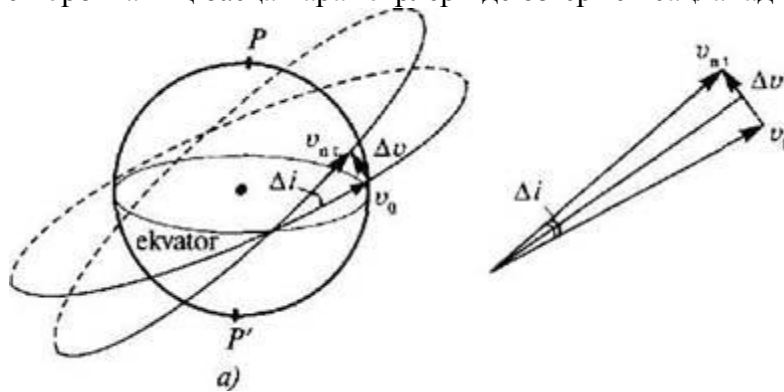
$$\frac{\Delta v}{\frac{2}{v_0}} = \sin \frac{\Delta i}{2}.$$

Буннан

$$\Delta v = 2v_0 \sin \frac{\Delta i}{2}$$

ге тең болатуғынлығы көринип турыпты.

Бул жағдайда нәтийжелік тезліктің модули дәслепки орбиталық тезлік модулине тең ( $|v_0| = |v_{n.t}|$ ) болғаны хәм оның геоорайлық радиус-вектор менен пайда еткен мүйешинің өзгермегенлигинен орбитаның басқа параметрлери де өзгермей сақланады.



Жер жолдасының орбита тегисликлерін бурыу: а) жасалма жолдас орбитасын  $\Delta i$  мүйешке бурыу; б)  $\Delta i$  мүйешке бурыудағы тезліклер үш мүйеші ( $\Delta v$  арқалы бурыу үшін зәрүр болған тезлік импульсы белгиленген).

Мысалы шеңбер тәризли орбитада  $v_0$  тезлік пенен қозғалатуғын жасалма жолдас орбитасы тегислигин  $90^\circ$  қа бурыу талап етилсин. Бул халда тезліклер үш мүйешинен орбитаны бурыу үшін зәрүр болған тезлік импульсының шамасы

$$\frac{\Delta v}{\frac{2}{v_0}} = \sin \frac{90^\circ}{2} \quad \text{ямаса} \quad \Delta v = 2v_0 \sin 45^\circ = \sqrt{2}v_0,$$

яғный орбитаны  $90^\circ$  қа бурыу үшін зәрүр болған тезлік импульсы екінші космослық тезлікке тең болыуы керек екен.

Сонлықтан жасалма жолдас орбиталарының тегисликлерин Жер экваторы тегислигине қыялығын өзгертіу үлкен энергияның сарыпланыуы менен орынланатуғын маневр екен.

Бирақ соны айтыу керек, жасалма жолдас орбитасын  $49^\circ$  дан үлкен мүйешке бурыу талап етилгенде оның орбитасы қосымша  $\Delta v$  тезлик импульсы жәрдеминде параболалық орбитаға өткізилип, буннан соң шексизликте (яғный, жасалма жолдас тезлиги нолге умтылганда) жүдә киши тезлик импульсы жәрдеминде бурып алынады. Жасалма жолдас перигейден өтип атырғанда тормозлаушы екінші импульс жәрдеминде Жер этирапындағы есапланған орбитаға салыстырмалы кем энергия жумсау арқалы өткізиу имканиятының бар екенлигин есаплаулар көрсетеди.

### Айға ушыу траекториялары

Космос аппаратларын Айға ушырыудың траекториялары көп қыйлы болып, биз олар ишиндегі ең эпиуайысы - Ай орбитасы тегислигинде жатыушы траектория менен танысамыз. Соның менен бирге бул мысалды жәнеде эпиуайыластыруу үшін Айдың Жер этирапындағы орбитасын радиусы 384400 км ли шеңбер тәризли орбитадан ибарат деп қараймиз (хақыйқатында ол эллипс болып, апогейинде Ай Жерден бул қашықлықтан 21 мың км қашықласады, ал перигейде болса 21 мың км ге жақынласады).

Космос аппаратын Айға ушырыу үшін дәслеп ол Жер этирапындағы Ай орбитасы тегислигинде жатыушы хәм кемінде 200 км бийикликке ийе болған орбитаға шығарылады (48-сүүрет). Жоқарыда еслетип өткенимиздей, космонавтикада өтиу орбиталары (биздің мысалымызда Жер этирапы орбитасынан Ай орбитасына өтиу орбитасы) ишинде ең кем энергияның сарыпланыуы менен өтилетуғын бундай траектория аралық орбитадан ( $h = 200$  км) басланып, радиусы 384400 км ли Ай орбитасында тамам болатуғын ярым эллипс тәризли траектория есапланады. Сол еки орбитаға (аралық хәм Ай орбитасы) урынып өтиуши бундай ярым эллипс тәризли өтиу траекториясы оны биринши рет усынған алым Гомонның хұрметине Гомон орбитасы деп аталады.

Усы түрдегі Айға ушыу траекториясының есаплаулары менен танысайық. Буның үшін дәслеп Жер этирапында 200 км бийикликтегі аралық орбитада қозғалатуғын космос аппаратының тезлигин Жердің берілген гравитациялық параметри  $K_{\oplus} = 4 \cdot 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$

хәм орбита радиусы  $r = R_{\oplus} + 200 \text{ км} = (6370 + 200) \text{ км} = 6570 \text{ км}$  ге байланыслы анықлаймыз. Бул шама төмендегі аңлатпадан табылады:

$$v_1 = \sqrt{\frac{K_{\oplus}}{R_{\oplus} + h}} = 7,789 \text{ км/с.}$$

Айдың орбиталық тезлиги  $v_f = 1,1018 \text{ км/с}$  екенлиги мәлим.

Ярым эллипс тәризли орбитаның үлкен ярым көшери болса

$$a = \frac{1}{2}(r_{f\text{orb}} + R_{\oplus} + h) = 195485 \text{ км.}$$

Бул жағдайда Гомон траекториясының апогейиндегі космос аппаратының тезлиги:

$$v_a = \sqrt{K_{\oplus} \left( \frac{2}{r_{1\text{orb}}} - \frac{1}{a} \right)} = 0,187 \text{ км/с}$$

болады. Буннан космос аппаратының Ай орбитасының бир ноқатына жетип барғанда оның Айға салыстырғандағы тезлиги (Айға түсиу тезлиги)

$$\Delta v = v_f - v_a = (1,1018 - 0,187) \text{ км/с} = 0,831 \text{ км/с}$$

болатуғынлығы көринеди.

Енди Айға ушып барыу уақтына келсек, ол космос аппаратының орбитасына урынып өтиуши гомон-эллипс тәризли орбита бойынша толық айланыу дәуиринің ярымына тең болады. Бул дәуир Кеплердің III нызамына сәйкес дененің эллипс бойынша айланыу дәуирине тең болып, ол

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{K_{\oplus}}} a^{\frac{3}{2}}$$

аңлатпасынан табылады.

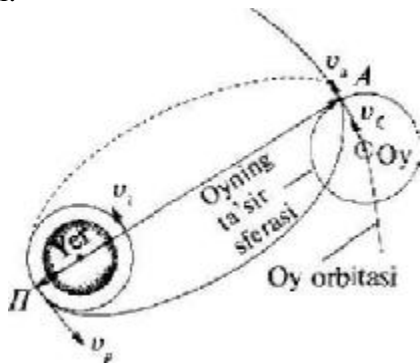
$K_{\oplus}$  хэм  $\pi$  лердің белгили болған мәнислеринен:

$$T = \frac{a\sqrt{a}}{6028,92} \text{ min} = 9 \text{ sutka } 22 \text{ saat } 56 \text{ min}.$$

Бундай жағдайда  $t$  ушыў ўақытының  $T$  дәўирнің ярымына теңлигинен

$$t = \frac{T}{2} = 4 \text{ sutka } 23 \text{ saat } 28 \text{ min}$$

болады.



Айға ушыў траекториясы.

Апогейинде Ай орбитасына шекем көтерілетуғын созылған өтиў орбиталарының үлкен көшери космос аппаратын аралық орбитаға урынып көтеріў тезлигинің үлкенлигине байланысly болып, ол  $\pm 2$  м/с қәтелик пенен аралық орбитадан көтерілсе, апогейинде оның бийиклиги  $\pm 8000$  км ге өзгереди. Ай диаметрин бул үлкенлик ( $\pm 8000$  км) пенен салыстырсақ  $\pm 2$  м/с қәтелик пенен космос аппаратын ушырыў Айды нышанаға алыўда үлкен қәтеликлерге жол қойылыўдың мүмкинлигин айқын көрсетеди.

Демек Ай апогейде болғанда, яғный Жерден Айға шекемги орташа қашықлықтан (384400 км) 21 мың километр үлкен болғанда, Айға жетиў ушын космос аппаратының минимал басланғыш тезлигин кеминде 5 м/с ге үлкейтиў لازимлығы мәлим болады.

### Айдың бетине қоныў

Космос аппаратының Айға жақын қашықлықлардағы қозғалысын оған салыстырғандағы биринши хэм екинши космослық тезликлерге сүйенип изертлеў мүмкин. Айдың гравитациялық параметрине ( $K_f = 4,9 \cdot 10^3 \text{ км}^3/\text{с}^2$ ) хэм радиусына ( $R_f = 1738 \text{ км}$ ) сәйкес 1- хэм 2- космослық тезликлер

$$v_I = \sqrt{\frac{K_1}{R_1}}, \quad v_I = 1,680 \text{ км/с},$$

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2K_1}{R_1}}, \quad v_{II} = 2,375 \text{ км/с}.$$

аңлатпаларынан табылады.

Егер Ай бетинен бир дене 2- космослық тезлик (2,375 км/с) менен ылақтырылса ол Айдың тәсир сферасы ( $r_{t.s.} = 66000 \text{ км}$ ) шегарасында парабоалалық тезликке ериседи:

$$v_{\text{par}} = \sqrt{\frac{2K}{r_{t.s.}}} = 0,385 \text{ км/с}.$$

Егер дене Айдың тәсир сферасына  $v = 0,385 \text{ км/с}$  басланғыш тезлик пенен кирип, кейин Айдың бетине түсетуғын болса, онда Айдың тартыў күши тәсиринде тезлигин

арттырып, оның бетине жеткенде энергияның сақланыуы нызамына сәйкес бул дене екінші космослық тезликке (2,375 км/с) ериседи.

Енди Гомон орбитасы бойынша Айға жетип барған космос аппаратының орбитасының апогейинде геоорайлық тезлигинин 0,187 км/с ге төменлеуі хәм ол Ай тәсир сферасына Айға салыстырғанда 0,831 км/с тезлик пенен киретуғынлығын (алдыңғы параграфқа қараң) итибарға алсақ оның Айдың бетине екінші космослық тезликтен үлкен тезлик пенен түсетуғынлығын аңлау қыйын емес.

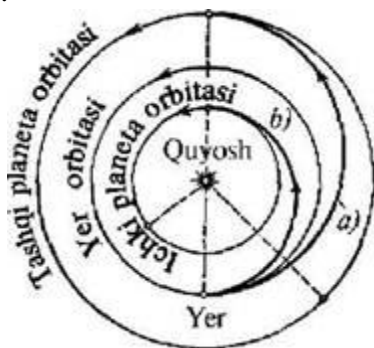


«Аполлон» экипажының Ай бетинин жыныслар жыйнап атырған пайыты.

Усы сыяқлы космос аппаратын Айдың бетине әсте-ақырынлық пенен қондырыу үшін оның тезлигин тормозлаушы импульс жәрдеминде сөндириуге тууры келеди. Айдың бетине әсте-ақырынлық пенен қондырылған биринши «Луна-9» планеталар аралық автомат станциясы Айдың бетине тик бағытта түскенде 75 км бийикликте тормозлаушы ракета двигатели иске түсирилди хәм бийиклик 150 м ге жеткенше двигатель ислеп турды. Тезликтин буннан кейинги сөндирилиуі қозғалыс бағдарына дүзетиу киргизиуши киши двигателлер жәрдеминде әмелге асырылды. «Луна» типиндеги космослық станциялардың барлығы Ай бетине сондай жоллар менен қондырылған. «Луна-13» тен кейинги станциялардың Айдың бетине әсте-ақырынлық пенен қондырылыуы Айдың жасалма жолдасы орбитасында берилген тормозлаушы импульслар жәрдеминде орынланған. Ай бетинин топырақ жыныслары менен қайтқан «Луна-16, 20, 24» хәм АҚШ тың «Аполлон» автомат станциялары Айдан вертикал бағытта 2,7 км/с басланғыш тезлик пенен көтерилип Жерге қайтты.

## Планеталарға ушыу траекториялары

Космос аппаратын планеталарға ушыру траекторияларын есаплаулар курамалы болып, егер планеталар Куяш этирапында белгили бир тегисликте шеңбер тәризли орбиталар бойынша қозғалады деп қаралса мәселениң шешими бир қанша жеңиллеседи. Бул жағдайларда эпийайыластыру менен жүдә үлкен қәтелерге жол қойылмайды. Себеби планеталар орбиталарының көриниси ҳақыйқатында да шеңберге жақын болып, олардың орбита тегисликлеринин Жер орбитасы тегислигине қыялығы оғада киши шаманы курайды.



Гомон орбиталары бойынша планеталарға ушыу траекториялары:

а - сыртқы планеталарға ушыу траекториясы;

б - ишки планеталарға ушыу траекториясы.

Планеталар бир тегисликте жатыушы шеңбер тәризли орбиталар бойынша қозғалады деп есапланғанда планеталар аралық ушып өтиу траекторияларын есаплаулар бурын қарап

өтилген жасалма жолдаслардың шеңбер тәрізлі орбиталары арасындағы өтиу траекторияларын (Гомон орбиталарын) есаплауларға жүдә уқсас.

Егер планеталардың Қуяштан орташа узақлықтары км ларда, олардың тезліктері км/с ларда берілсе, Қуяштың гравитациялық параметрі  $K_{\epsilon} = GM_{\epsilon} = 1,327 \cdot 10^{11} \text{ км}^3/\text{с}^2$  қа тең болады. Егер планеталардың Қуяштан орташа узақлықтары астрономиялық бірліктерде (а.б.) алынса Қуяштың гравитациялық параметрі  $K_{\epsilon} = 887,153 \text{ (км}^2\text{*а.б.)}/\text{с}^2$  қа тең. Енди бул шамаларды

$$V = \sqrt{K_{\oplus} \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

аңлатпасына қойсақ, гелиоорайлық орбита бойынша қозғалатуғын денениң тезлигин бул формула жәрдемінде есаплау қолай болады:

$$V = 29,785 \sqrt{\frac{2}{r} - \frac{1}{a}}.$$

Бул аңлатпада  $r$  хәм  $a$  лар астрономиялық бірліктерде берілген.

Мысал ретінде Жерден Юпитерге қарай планеталар аралық Гомон орбитасы бойынша ушырылған космос аппаратының траекториясын есаплауларды келтирейик (50-а сұурет). Бул жағдайда я Жердің, я Юпитердің космос аппаратына тартыу күши менен тәсир етпейди деп есаплайық. Егер Жер орбитасының радиусын 1,0 а.б., Юпитер орбитасының радиусын 5,2 а.б. деп, Жердің орбиталық тезлигин 30 км/с, Юпитердің орбиталық тезлигин 13 км/с деп алсақ, онда Гомон орбитасы (ярым эллипс) ның үлкен ярым көшери

$$a = \frac{1}{2} (r_{\epsilon} + r_{yu}) = \frac{1}{2} (1,0 + 5,2) = 3,1 \text{ а.б.}$$

шамасына тең болып шығады. Бул жағдайда космос аппаратының Гомон траекториясының перигелийіндеги тезлиги ( $r_{\oplus}$  - Жер орбитасының радиусы):

$$V_p = 29,785 \sqrt{\left( \frac{2}{r_{\oplus}} - \frac{1}{a} \right)} = 29,785 * 1,295 = 38,575 \text{ км/с}$$

шамасына тең болады.

Сонлықтан Жер орбитасынан Гомон орбитасына өтиу ушын талап қылынатуғын қосымша тезлик орбитаның перигелийіндеги тезлик пенен Жердің орбиталық тезлиги арасындағы айырмаға тең болады, яғный

$$\Delta v_1 = V_p - V_{\oplus} = (38,575 - 29,785) \text{ км/с} = 8,740 \text{ км/с}$$

шамасына тең болады. Гомон орбитасы афелийінде (Юпитер орбитасына урыныу ноқатында) космос аппараты ерискен тезлик ( $r_{yu}$  Юпитер орбитасы радиусы)

$$V_a = 29,785 \sqrt{\left( \frac{2}{r_{yu}} - \frac{1}{a} \right)} = 29,785 * -\frac{1}{3,9} = 7,6 \text{ км/с}$$

ге тең болады.

Тартыу күши есапқа алынбаған Юпитер орбита бойынша қозғалатуғын космос аппаратының артынан төмендеги тезлик пенен қуып киятырған болады:

$$\Delta v = 13,06 - 7,60 = 5,46 \text{ км/с.}$$

Енди келеси параграфта қызығыушылар ушын Жердің тартыу күши есапқа алынған халдағы космос аппаратының Юпитерге ушып барыуының оптимал болған траекториясын есаплауларды келтиремиз.

## Планеталарға ушыуда Жер хәм ушып барылатуғын планетаның тартыу күшин есапқа алыу

Жоқарыда айтылып өтилгендей, еки шеңбер тәрізлі орбита бойынша қозғалатуғын жасалма жолдаслар орбиталары арасында әмелге асырылатуғын Гомон өтиу орбитасы ракета жанылғысын тежеу көз-қарасынан қарағанда ең оптимал орбита болып есапланады.

Гомон траекториясы бойынша бир планетаға ушыұда планеталардың (Жер хәм мөлшерленген планета) тартыу күшлерин де итибарға алыу ушын өтиу траекториясын есаплаулар Жер хәм мөлшерленген планетаның тәсир сфераларын да есапқа алыуды нәзерде тутады. Мәселеге бундай қатнас жасағанда Гомон траекториясының тек планеталардың (Жер хәм мөлшерленген планета) тәсир сфералары арасындағы бөлимин ғана оптимал деп қарау мүмкин.

Жоқарыда айтылғанларды итибарға алып енди Юпитерге ушыұда планеталар аралық космос аппаратының Гомон орбитасына шығыуы ушын Жердің тәсир сферасында оны тезлестіріудің оптимал шәраятын анықлайық. Өткен параграфта Жер орбитасынан Гомон орбитасына шығыу ушын зәрүр болған қосымша тезликтің шамасының 8,790 км/с қа тең екенлигин анықлаған едик. Усы менен бирге космос аппараты Жердің тартыу күшинен азат болыуы ушын ол екінші космослық тезликке шекем (11,187 км/с) тезлендирилиуінің лазым екенлиги де түсиникли. Бул тезлик пенен ракета Жердің тәсир сферасы шегарасын кесип өткеннен кейин оған тезликтің қосымша импульсы (8,790 км/с) берилип Гомон орбитасына шығарылады. Бирақ космос аппаратын еки импульс жәрдемінде бундай характеристик тезлик ( $19,977 \text{ км/с} = 11,187 \text{ км/с} + 8,790 \text{ км/с}$ ) пенен Гомон өтиу орбитасына шығарыу мүмкин болса да, бул космос аппараты ушын оптимал траектория бола алмайды.

Тап усындай нәтижеге буннан бир қанша киши характеристикалық тезлик пенен де ерисиу мүмкин. Буның ушын космос аппаратының толық тезлетилюіне илажы барынша Жердің бетине жақын ноқатта ерисиу лазым. Жоқарыда көргениимздей басланғыш (старт пайытындағы) тезлик, екінші космослық тезлик хәм тезликтің гиперболалық қосымшасы менен төмендегідей байланыста болады:

$$v_0 = \sqrt{v_{\text{erk}}^2 + v_{\text{gr}}^2} \quad (1)$$

Сонлықтан, Жердің бети жанында космослық аппаратқа

$$v_0 = \sqrt{11,187^2 + 8,790^2} \text{ км/с} = \sqrt{125,149 + 77,264} \text{ км/с} = \sqrt{202,413} \text{ км/с} = 14,220 \text{ км/с}$$

тезлик берилсе ол Жерден 8,790 км/с ге тең гиперболик арттырма менен кетип Юпитерге баратуғын Гомон өтиу орбитасы бойынша қозғалыс тәмийинленеди.

Келтирилген есаплаулар тек Юпитерге барыу ушын зәрүр болған басланғыш тезликтің минимал теориялық шамасын береді. Тезликтің гравитациялық сарыпланыуы хәм атмосфера қарсылығы сыяқлы жоғалыуларын есапқа алғанда теориялық жоллар менен табылған характеристикалық тезлик жоқарыдағы шамадан 1,5-2 км/с ға артық болады.

Төмендегі кестеде планеталарға ушыу ушын зәрүр болған қосымша тезликлер (екінші бағана) хәм планеталарға ушыу ушын теориялық есаплаулар менен табылған минимал старт тезликлерінің шамалары келтирилген.

Q/c	Планеталар	Қосымша тезлик, $v_q$ , км/с	Минимал теориялық тезлик, $v_{\text{min}}$ , км/с
1	Меркурий	-7,53	13,49
2	Венера	-2,49	11,46
3	Марс	2,94	11,57
4	Юпитер	8,79	14,22
5	Сатурн	10,29	15,19
6	Уран	11,27	15,88
7	Нептун	11,64	16,14

Енди белгили бир планетаға Гомон орбитасы бойынша космос аппаратының стартын оның қандай конфигурациялық халы (Жерге хәм Қуяшқа салыстырғандағы халы) пайытында бериў лазымлығын анықлайық. Мәлим, Гомон орбитасы бул фокусында Қуяш жатқан эллипти характерлейди. Соның ушын Кеплердің III ызамаына сәйкес космос аппаратының Юпитерге ушып барыў ўақыты ( $t$ ) бул эллипс бойынша оның айланыў дәуириниң ( $T$ ) ярымына тең болады, яғный

$$t = \frac{T}{2}.$$

$T$  ны Кеплердің үшінши ызамаының аңлатпасынан табамыз (оң тәрептеги аңлатпа Жер ушын):

$$\frac{a^3}{T^2} = 1,0 \frac{(1 \text{ a.b.})^3}{(1 \text{ jil})^2}.$$

Бул жерде  $a$  - Гомон орбитасының үлкен ярым көшерин (астрономиялық бирликлерде),  $T$  болса космос аппаратының бул орбита бойынша айланыў ўақытын (жылларда) тәриплейди. Бул жағдайда ушыў ўақыты:

$$t = \frac{T}{2} = \frac{\sqrt{a^3}}{2} = \frac{\sqrt{(1+5,2)^3}}{2} = \frac{\sqrt{3,1^3}}{2} = \frac{3,1 * 1,76}{2} = 2,73 \text{ жыл} = 996,8 \text{ сутка}.$$

Буннан космос аппараты гомон орбитасының апогейинде Юпитер менен ушырасыўы ушын Юпитер  $0,0831$  град/сутка мүйешлик тезлиги менен  $t$  ўақыты ишинде  $\theta = 0,0831 * 996,8 = 82,8^\circ$  мүйешлик аралығын өтиўдің зәрүрлиги анық болады. Сонлықтан космос аппараты Жерден көтерілип атырған пайытта Юпитер Жерден гелиоорайлық мүйеш шамасында төмендегидей шамада алдында болыўы кереклиги табылады:

$$\gamma = 180^\circ - 82,8^\circ = 97,2^\circ.$$

Жердің мүйешлик тезлиги Юпитердің мүйешлик тезлигинен бир қанша артық болып, Юпитерди хәр суткада

$$\Delta\gamma = 0,9856 - 0,0831 = 0^\circ,9025$$

мүйеш үлкенлигиндеги шама менен қуып барып, старт мүддети Юпитердің Қуяш пенен қосылыўынан

$$\Delta t = 97^\circ,2 : 0^\circ,9025 = 107,7 \text{ сутка}$$

алдын берилиўиниң лазым екенлиги жоқарыдағы есаплаўлардан анық көринеди. Юпитердің Қуяшқа салыстырғанда белгили бир халы (қарама-қарсы турыўы ямаса қосылыўы) планетаның синодлық дәуири менен қайталанып турыўын итибарға алсақ, Юпитерге оптимал Гомон траекториясы бойынша ушыў ушын қолай момент. Тап усы синодлық дәуир менен қайталанып турыўы аңлатылады.

## ПЛАНЕТАЛАР ХӘМ ОЛАРДЫҢ ЖОЛДАСЛАРЫ

### Меркурий

Қуяш системасынғы тоғыз планета ишинде Қуяшқа ең жақыны Меркурий болып, әйемги ўақытлары оны араблар Уторуд деп атаған. Уторудтың орбитасы басқа планеталардың орбитасынан парық қылып, созылған эллипс тәризли. Соның ушын да бул планетаның Қуяштан узақлығы  $0,31$  дан  $0,47$  астрономиялық бирликке шекем өзгерип турады. Планетаның Қуяштан орташа узақлығы  $58$  миллион километрди қурайды. Меркурийдің диаметри  $4880$  километр болып, оның бетинде тартыў күши Жердегиден  $2,6$  есе кем. Басқаша айтқанда, аўырлығы Жерде  $80$  килограмм болған адам Меркурийде тек болғаны  $30$  килограмм шығады.

Меркурий өз орбитасы бойынша секундына орташа  $48$  километр тезлик пенен қозғалып, Қуяш этирапын  $88$  суткада толық айланып шығады.



Меркурий бетинің күндизги орташа температурасы +345 градусқа шекем (Цельсия шкаласында) көтерілген халда, түнде болса -180 градусқа шекем төменлейди. Бирақ соны да айтыу керек, планета бетинің майда топырағы жыллылықты жаман өткізетуғынлығына байланысly бир неше он сантиметр тереңликтеги температура бетинің температурасынан кескин парық қылып, +70...+90 °C ны курайды хәм жүдә әстелик пенен өзгереді. Бул теориялық мағлыұмат кейинирек радиоастрономиялық бақлаулар тийкарында толық тастыйықланды.

Меркурийдің бетин жақыннан көрийге планеталар аралық автомат станция «Маринер-10» ға (АҚШ) мүмкиншилик болды. 1973- жылдың ақырларында планетаға қарай жол алған бул станция 1974-жылдың 21-сентябринде Меркурийдан 47 мың 981 километр қашықтықтан өтип баратырғанда планета бетинің 500 ге жақын сапалы сүүретин түсирди. Бул сүүретлер планета өзинің «бетинің дүзилиси» бойынша Айға жүдә ұқсас екенлигин көрсетти. Ай бетиндеги сыяқлы Меркурий бети де метеоритлардың урылыуынан пайда болған хәр қыйлы үлкенликтеги кратерлер менен қапланған. «Маринер-10» түсирген планета сүүретлеринен сондай жағдай көринип турыпты (сүүретлер).

Қызығы соннан ибарат, кратертерлер Меркурийде жүдә көп болса да, тереңликлери бойынша олар Айдағы кратерлерден кейин қалады. Бирақ бақланған планета кратерлери оларды орап турыушы бийиклик хәм орайлық таўшаларына қарағанда Ай кратерлерин еслетеди. Планета жүзиндеги бул «гедир-будыр» лық оның өмирине өзине тән «күнделик» болып, Меркурий бетинің қәлиплесіу тарийхынан дерек береді. Сондай-ақ, планета кратерлеринің айырымлары Айдағы базы бир кратерлер сыяқлы радиал бағдарда созылған жақтылы нур системалары менен оралған.

Меркурийде бақланған айырым объектлердің я Айда яки қоңсы планеталарда бақланбайтуғынлығы адам дыққатын өзине тартады. Олардың бири - *ескарплар* деп аталыушы бийикликлер болып, олардың бийиклиги 23 километрге шекем жетеди. Бийикликлерден пайда болған бундай жарлардың узынлығы болса бир неше жүз километрден бир неше мың километрге шекем барады. Меркурий бетиндеги жыныслардың тығызлығы Айдағыдай, яғный  $3,0-3,3 \text{ г/см}^3$  болып, орташа тығызлығы  $5,44 \text{ г/см}^3$  екенлиги оның орайлық бөлиминде темир ядросы ямаса ең кеминде силикат жыныслар үлкен басым астында металлық халға өтип атырғанлығы белгили.

АҚШ тың «Маринер-10» автомат станциясы өткен әсирдің 70- жылларында-ақ планетаның сийрек атмосферасының бар екенлигин анықлады. Мәлим, планетада атмосфераның болыу-болмаслығы талай усыллар менен анықланады. Бирақ булардың ишинде ең әхмийетлилери планетаның бетинде тартыу күшинің үлкен-кишилиги хәм температура ең әхмийетли орынлы ийелейди. Температураның артыуына байланысly атмосфераны кураған молекула хәм атомлардың тәртипсиз жыллылық қозғалыслары артады. Ақыбетинде белгили бир тезликке ерискен хаўа молекулалары планетаны пүткиллей таслап кетеди. Тап усы себептен Жер хәр суткада 100 тоннаға шекем водородынан «айрылады».

Киши массалы Меркурий (Жер массасының 5,5 процентине тең) бетинің соншама жоқары температураға шекем қызыуы (экваторда +420°C ға шекем) планета атмосферасының тийкарғы бөлиминің оны таслап кетиуине себеп болған деп қаралады.

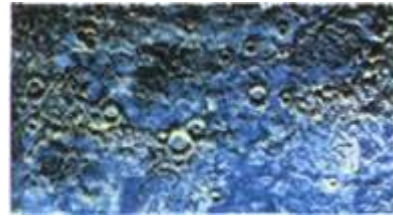
Планета атмосферасы тийкарынан гелийден куралған болып, басымы Жер бетинде бул газ беретугын басымнан 200 миллиард есе киши болады. Планета бетиндеги барлық газлердің басымы болса Жердегиден ярым миллион есе кем. Бирақ Меркурий бетинде алымлар күткен басқа бир газ - карбонат ангидриди «Маринер-10» алған сүүретлерде өзинің «қарасын көрсетпей», астрономларды хайран қалдырды.

1975-жылдың 16-мартында «Маринер-10» ның Меркурийдің қасынан үшінши рет өтиуі планетаның магнит майданының бар екенлигин анықлауға имканият берди. Бул жағдайда автомат станция планета бетинен тек ғана 320 километр ғана келетуғын бийикликтен өтті хәм оның экватор районында 3,5 эрстед, полюсларында болса 7 эстедли

майдан кернеулиги өлшеди. Соның менен бирге магнит көшери хэм Меркурийдин айланыу көшери арасындағы мүйештиң 7 градусқа тең екенлиги анықланды.



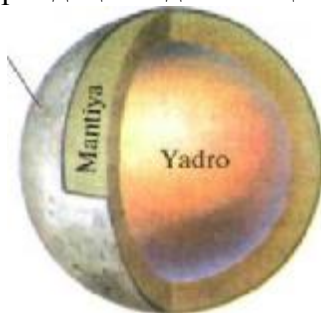
Меркурийдин бети (“Mariner-10” космос аппараты түсирген).



Меркурий бетиниң рельефи.

Меркурийге жақын «туўысқан» Ай топырағында микроорганизмлердин жоклығы, климат шараятлары бойынша Айдағыдан да кескинлиги менен парық қылыўшы Меркурийде тиришиликтиң болыўы ушын шараят жоқ деп туўры айтыўға имканият береді.

Меркурийдин жолдасы жоқ.



Меркурийдин ишки дүзилиси.

## Венера

Әйемги рим мифологиясында мухаббат қудайының аты менен аталатуғын бул планетаның Қуяштан орташа узақлығы 108 миллион километр. Венера (өзбекше аты Зухра, карақалпақшасы Шолпан) орбитасы бойынша секундына 35 километр тезлик пенен қозғалып, 225 суткада Қуяш этирапында бир рет толық айланып үлгереди.

Жақтылығы бойынша Қуяш хэм Айдан кейин туратуғын бул планета жүдә әйемнен бери адамлар дыққатын өзине тартып, қозғалмайтуғын жұлдызлар фонында қозғалатуғынлығы биринши болып сезилген «адасқан» жақтыртқыш болып есапланады. Соның менен бирге ол «Таң жұлдызы» деген ат алған.

1610- жылда Г.Галилей өзи соққан телескопта оны бақлап, Венераның да Ай сыяқлы хәр қыйлы фазаларда болатуғынлығының гүўасы болды. Бул қубылыс Венераның да Ай сыяқлы сфералық формадағы аспан денеси екенлигиниң дәслепки дәлили еди. Венераның үлкенлиги Жердиң үлкенлигинен азмаз киши болып, диаметри 12 мың 100 километрди қурайды.

1761-жылы 6-июнда астрономлар «Таң жұлдызы» менен байланыслы қызық бир қубылыстың гүўасы болды: планетаның қозғалысы Қуяш дискисинде проекцияланады. Бундай қызықлы қубылысты бақлаған рус алымы М.В.Ломоносов Венераның қалың атмосфера менен қапланғанлығын анықлады.

Планетаны космослық аппаратлар жәрдемінде изертлеўлер XX әсирдин 60-жылларынан басланған жаңа методлар Венераға тийисли көп жумбақларды шешиўге им-

каният берди. Нәтийжеде Венераның өз көшери этирапында хәм Куяш этирапында хақыйқый айланыў дәўирлери анықланды.

Белгили болғанындай, планетаның айланыў көшери оның орбита тегислигине дерлик тик жайласып (анығы  $93^\circ$ ), онда Жердегидей жыл мәўсимлери бақланбайды. Соның менен бирге радиолокациялық бақлаўлар Венераның өз көшери этирапындағы жұлдызларға салыстырғандағы айланыў дәўириниң 243 суткаға теңлигин хәм ол Куяш системасының шағыстан батысқа қарай айланыўшы (өз көшери этирапында) жалғыз планетасы екенлигине дерек береді (басқа планеталар шығыстан батысқа қарай айланады).

«Таң жұлдызы» ның бир суткасы, яғный Куяшқа салыстырғандағы өз көшери этирапында айланыўының дәўири 117 Жер суткасына тең болып, бир жыл оның еки суткасынан сәл кем шығады.

Планета атмосферасының химиялық курамы, басымы хәм температурасына тийисли анық мағлыўматлар бул планетаға «саяхат» қылған бурынғы Союз хәм АҚШ планеталар аралық автомат станциялары жәрдемінде алынды. Биринши болып, 1961- жылы 12-февралда, Венераға бурынғы Союздың «Венера-1» автомат станциясы жол алып, 97-күни ол планетадан 100 мың километр аралықтан өтті. Венераның Жерге жақын келген ҳалларында оған шекемги аралық 40 миллион километрден кем болмайтуғынлығын итибарға алсақ, «Венера-1» диң планетамыз «қоңсысы» на қаншама жақын барғанлығын көз алдыға келтириў қыйын болмайды.

1967-жылы ушырылған «Венера-4» станциясында болса биринши рет қондырылыўшы аппарат иске түсирилди. Бул аппарат планета атмосферасының 25 километрли қалың қатламын өтиў пайытында планета атмосферасына тийисли мағлыўматларды Жерге жеткерип турды. Соның менен бирге бул аппаратқа орнатылған магнитометр жәрдеміндеги өткерилген өлшеўлер Венерада магнит майданының дерлик жоқлығын анықлады.

1970-жылы ушырылған «Венера-7» ниң қоныўшы аппараты табыс пенен Венераның бетине әсте-ақырынлық пенен қондырылды хәм 23 минут даўамында ол жердеги атмосфераның басымы, температурасы хәм курамына тийисли мағлыўматларды өлшеп турды.

Айрықша, 1975-жыл октябрь айында Венераға саяхатқа жол алған «Венера-9» хәм «Венера-10» лар планетаны үйрениў тарийхында әҳмийетли орын тутады. Бул еки станция планетаның биринши жасалма жолдаслары орбиталарына шығарылып, олардың қондырылыўшы аппаратлары планета бетиниң тиккелей алынған биринши сүүретлерин Жерге узатты (74-сүүрет). Соның менен бирге бул аппаратлар планетаның бетиниң топырағында тәбийий радиоактив элементлердиң муғдарын, самалдың тезлигин, атмосферадағы суў пуўларының муғдарын, планета бетине тийисли температура, басым хәм жарықтықты өлшеди.

1978- жылы болса «Таң жұлдызы» на қарай «қонаққа» төрт автомат станция жолға шықты. Булардан екеўи бурынғы Союздың «Венера-11» хәм «Венера-12» станциялары болса, қалған екеўи АҚШ тың «Пионер-Венера-1» хәм «Пионер-Венера-2» станциялары еди.

«Венера-11 хәм 12» хәм «Пионер-Венера-1 хәм 2» станциялардың қондырыўшы аппаратларына орнатылған комплекс илимий аппаратлар планета атмосферасының газ хәм бултлы компоненталарына тийисли химиялық курамын, планетаның бултлы қатламы структурасын хәм бөлекшелериниң концентрацияларын анықлады. Соның менен бирге олар планета температурасы, басымы хәм тығызлығын хәм оның бир неше қәдилерине тийисли самалдың тезлигин өлшеўге имканият берди. Венераның жасалма жолдасы болып қалған «Пионер-Венера-1» оларға қосымша түринде Венера атмосферасының динамикасы, циркуляциясы, турбулентлиги хәм жыллылық балансына тийисли мағлыўматларды қолға киргизди.

Жуўмақлап айтқанда Венераға ушырылған космослық аппаратлар жәрдемінде Венера атмосферасы хәм бетине тийисли төмендеги жаңа мағлыўматлар қолға киритилди: планета атмосферасының басымы жүдә жоқары болып, алымлар ҳеш күтпеген шаманы -

90 атмосфераны көрсетті. Оның 97 процентин карбонат ангидриди, 1 % этирапында суу пуулары ийелеп, кислород болса тек 1,5% ти қурайтуғыны мәлим болды. Планета бетінде өлшенген температура +470 °C қа шекем жетті. Венераның атмосферасында да Жердеги сыяқлы ионосфера қатламының бар екенлиги анықланды. Ол орташа 140 километр бийикликке тууры келеди. Венера аспанында да қалың бултлар бақланып, олардың «көринисинин» самалдың қолында екенлиги анық болады.

Венераның булты дүзилиси бойынша бир неше километрден көриу мүмкин болған Жердеги сийрек думанға жүдә усайды.

Арнаулы методлар жәрдеминде бултларда нурлардың шашырауын үйрениу олар пайда еткен тамшылардың тийкарынан сульфат кислотасының суудағы 75-85 процентли еритпеси деген жуумаққа алып келди. Планета бетинен 40 километрге шекемги бийикликте самалдың тезлиги секундына 100-140 метр болады, ал 10 километрге жақын бийикликте ол кескин кемейип, 3-4 м/с ге түсип қалады.

«Пионер-Венера-2» ге тийисли қондырылуышы аппарат берген мағлыұматлардың анализи Венера бетининң бир бири менен хәлсиз байланысқан майда топырақтан туратуғынлығын, оның тығызлығының бир куб сантиметрде 1 граммнан (бетинде) 4 граммға шекем (шама менен 3 метр тереңликте) барыуын көрсетті.

Узақ жыллар дауамында алымлардың «басын қатырған» планетаның тийкаргы «тилсымы» - оның бетине тийисли жоқары температура болды. Хәқыйкатында да, Жерге салыстырғанда Қуяшқа жүдә жақын болмаған хәм қалың атмосфера менен қапланған Венера бетиндеги температураның буншама жоқары (+480 °C) болыуының себеби неде, деген тәбийий сорау тууылады.

Гәп соннан ибарат, планетаның қалың атмосферасы арқалы қысқа толқынлы Қуяш нурланыуының жүдә кем муғдары оның бетине жетип, оны қыздырады. Нәтийжеде планета бети инфрақызыл диапазонда нурлана баслайды. Бундай жыллылық нурланыуы планета бетин таслап, атмосфера арқалы космослық бослыққа шығыуға умтылады. Бирақ CO<sub>2</sub> ге бай бундай атмосфера Венера бетининң космослық бослықты «гөзлеген» жыллылық нурланыуларының шығып кетиуине дерлик жол бермейди. Нәтийжеде «парник эффект» деп аталыушы бул эффект планета бетининң қатты қызыуына алып келеди.

1991-жылы Халық аралық Астрономиялық Союздың (ХАИ) бас ассамблеясы Венераның 116 та рельефли элементине Жер жүзине танылған хаяллардың атын берди. Мақтанышлы жери соннан ибарат, бул дизимде ұатанласымыз Нодирабегим аты да бар еди. Венерадағы кратерлердинң бири оның аты менен аталатуғын болды.

Венера бойынша қолға киргизилген мағлыұматлар тийкарынан оның ишки дүзилиси, сыртқы атмосфера қатламы менен биргеликте алымлар тәрәпинен 75-сүүреттегидей етип сәулелендириледи.

Жуумақлап соны айтыу мүмкин, соңғы жыллары «Таң жулдызы» на тийисли көп санлы ашылыулар жүз берген болсада, бирақ бул планетаға байланыслы көп жумбақлар елеге шекем өзлерининң шешимлерин табыу ушын гезек күтпекте.

Венераның тәбийий жолдаслары табылмаған .



Венераның “Venera-9” хәм “Venera-10” космос аппаратлары тәрәпинен алынған сүүрети.



Венераның ишки дүзилиси.

## Жер - планета

Жер Қуяштан узақтығы бойынша үшінші орында тұрыушы планета болып, Жер типіндегі планеталар ішіндегі ең ириси болып есепланады. Жер аспанда жүде шырайлы болып көрінетуғынлығы оның Айдың арғы тәрепинен алынған сүүрети толық тастыйықлайды. Планетамыздың экваторлық радиусы 6378 километр. Жер Қуяш этирапында секундына шама менен 30 километр тезлик пенен қозғалып, 365,24 суткада оның этирапын бир рет толық айланып шығады. Планетамызда бир жылда төрт мәусимнің бақланыуы себеби Жер көшери орбита тегислигине  $66,5^\circ$  қыялық пенен еңкейген.

Жер өз көшери этирапында 23 саат 56 минут 4 секундта бир рет толық айланып шығады. Бул оның хақыйқый айланыу дәуири болып есепланады. Бирақ оның Қуяшқа салыстырғанда орташа айланыу дәуири бираз узынырақ болып, дәл 24 саатты курайды. Планетамыздың Қуяшқа салыстырғанда айланыу дәуиринің узынлығы Қуяштың жұлдызлар фонында жыллық көриниу жылжыуына байланысly (бундай жылжыу Жердің Қуяш этирапында хақыйқый қозғалысына байланысly пайда болады).

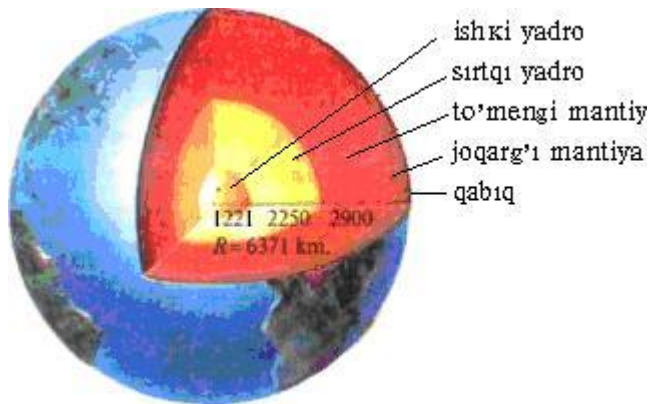
Жердің орташа тығызлығы хәр куб сантиметрде 5,5 граммға тең болып, массасы шама менен  $6 \cdot 10^{24}$  килограмм. Планетамыздың атмосферасы мыңлаған километр бийикликке шекем созылып, аұырлығы шама менен 5 мың 160 триллион тонна келеди! Бундай қалың атмосфера Жерде тиришиликтің пайда болыуы хәм раұажланыуында әхмийетли рол ойнаған. Мысалы 20-30 километр шамасындағы бийикликте жайласқан озон қатламы Қуяштың қысқа толқынлы ультрафиолет нурларын күшли жутып, барлық тири хайуанларды, соның ишінде адамзатты бундай нурлардың қәуипли тәсиринен сақлайды. Атмосфераның 21 процентине жақыны кислород, шама менен 78 процентин азот, қалған бөлимин болса басқа газлер: аргон, карбонат ангидриди хәм суу пуулары курайды.



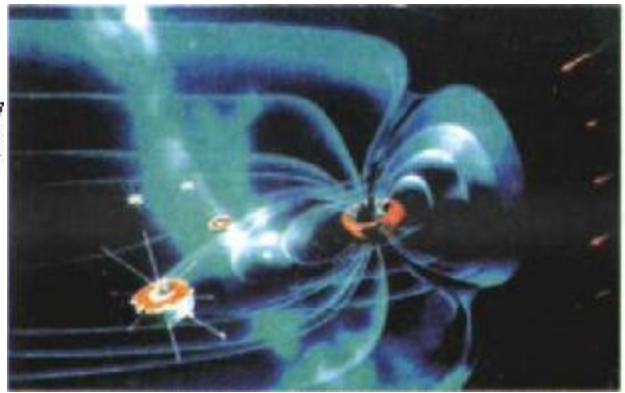
Жердің Ай бетінде тұрып алынған сүүрети.

Жер *гидросферасына* (Жер жүзиндегі қатты, сұйық хәм газ халындағы затлардың жыйнағы) байланысly басқа планеталардан кескин парық қылады. Онда тек сұйық халдағы суудың көлеми 1 миллион 370 мың триллион ( $1,37 \cdot 10^{18}$ ) куб метр болып, улыұмалық майданы 3 мың 610 миллиард квадрат метрге тең. Басқаша айтқанда, ол Жердің толық бетинің 71 процентин курайды. Құрғақтықтың орташа бийиклиги теңиз бетинен 875 метр, ал дұнья океанының орташа тереңлиги 3800 метрге шекем барады.





Жердің ишки дүзилиси.



Жер магнитосферасының структурасы.

Суў өзиниң әжайып қәсийетлерине байланыслы Жерде оптималлық жыллылық режиминиң жүзеге келиўинде әҳмийетли рол ойнайды. Органикалық тиришилиқ Жерде суўсыз жүзеге келе алмас еди. Суўдың қатты бөлеги - муз да планетамыздың бир қанша бөлимин ийелеп, тийкарғы бөлими Антарктида хәм Гренландия қурғақлықларын қаплайды. Оның улыўмалық муз қатламы ериген жағдайда дүнья океанының қәдди 60 метрге көтерілип, қурғақлықтың және 10 проценти суў астында қалған болар еди.

Жердің қатты қатламы *литосфера* деп аталып, бул бөлиминде планетамыздың тийкарғы массасы жайналған. Бирақ бир қарағанда литосфера бетинде турып оның ишки дүзилиси ҳаққында мағлыўматқа ийе болыў мүмкин еместей болып көринсе де планетамызда Жер силкениўлерди изертлеў тийкарында оның ишки дүзилиси ҳаққында жеткиликли анық мағлыўматлар алынған. Жер силкениўлери пайытында Жердің бетиниң ҳәр қыйлы ноқатларында оларды үйрениў жолы менен шама менен 3000 км тереңликтен ишкери тәрепке қарай көлденең сейсмологиялық толқынлардың тарқала алмаслығы мәлим болды. Көлденең толқынлардың суйықлықларда тарқала алмаслығын билген ҳалда алымлар Жердің бул тереңлигинен ишки бөлиминде суйық ҳалдағы ядросы бар деген жуўмаққа келди. Соңғы изертлеўлер бул ядро тийкарынан еки - радиусы 1200 километрге шекем баратуғын ишки - қатты хәм оның үстинде 2250 километрли қалыңлықтағы суйық бөлимлерден ибарат екенлигин мәлим қылды.

Бул усыллар жәрдеміндеги тексерийў жумыслары литосфераның қатты қатламы да бир текли болмай, шама менен 40 километр тереңликте кескин шегара бар екенлигин көрсетти. Бул шегаралық бет оны биринши рет ашқан Югославиялық алым аты менен Мохорович бети деп аталады. Бул беттен жоқары қатлам *литосфера қабығы*, төменги тәрепи болса *мантия* деп аталады.

Температура Жер орайына қарай артып барып, мантияның төменги шегарасында Кельвин шкаласы бойынша 5000 градусқа шекем, орайда болса шама менен 10000 градусқа шекем жетеди.

Жер гигант магнит болып, оны компас стрелкасының планетамыздың магнит майданы күш сызықларына параллел турыўға умтылыўынан билиў мүмкин. Қызығы соннан ибарат, геомагнит полюслар географиялық Жер полюслары менен бир ноқатларда емес. Арқа геомагнит полюстың географиялық кеңлиги  $78^{\circ}5'$ , узынлығы болса  $290^{\circ}$  шығыс тәрептеги узынлықты курайды. Басқаша айтқанда геомагнит көшер менен Жер көшери арасындағы мүйеш  $11,5^{\circ}$ . Геомагнит майданының кернеўилиги экватордан полюсқа қарай 0,25-0,35 дан 0,6-0,7 Е ке шекем артады.

Жер этирапы кеңислигиндеги геомагнит майданы Жер магнитосферасы деп аталады. Бул сфера Жер көшерине салыстырғанда симметриялық болмайды. Магнитосфера Жердің күндизги тәрепте «сығылған» ҳалда болып, 8-14 Жер радиусы қашықлығына шекем созылған түрде, тунги тәрепте планетамыздың «магнит куйрығы» бир неше жүз мың километрге шекем созылады.

Соңғы жыллары планетамыздың аспан денелеринің ажыралмас бөлими сыпатында актив түрде изертленип атырғанлығына қарамай оған тийисли машқалалар қонсы планеталарға тийисли машқалалардан кем емес. Айрықша, оның ишки дүзилісі хәққындағы мағлыұматларымыз елеге шекем жүдә «кәмбағал» болып есапланады.

Бирақ Жер «өз қолымызда» болып, басқа аспан денелерін үйрениўге салыстырғанда оны изертлеўге үлкен имканиятларымыз бар екенлигин есапқа алсақ, планетамыз сырларын қонсы планеталардан бир қанша бурын «ашыўға» үлкен үмит пенен қараў мүмкин.

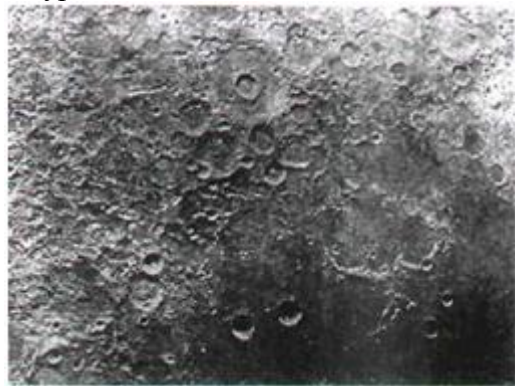
Жердің этирапында оның бир ғана тәбийий жолдасы болған Ай айланады.

## Ай

Жерге ең жақын аспан денеси Ай болып, ол планетамыздың тәбийий жолдасы болып табылады. Айдың Жер этирапындағы орбитасы барлық планеталардың Қуяш этирапында айланыў орбитасы сыяқлы эллипс. Усыған байланысly Айдың Жерден узақлығы бираз өзгеріп турады. Ол Жерге ең жақын келгенде 363400 километр, ең узақласқанда (апогейде) болса 405400 километр қашықлықта болады. Айдың диаметри 3476 километр болып, оның көлеми Жер көлеминің жүзден еки бөлимин қурайды. Айдың массасы Жер массасынан 81 есе кем. Ай бетинде тартыў күши Жердегіден 6 есе кем. Оның бетинде еркин түсиў тезлениўи  $1,63 \text{ м/с}^2$ . Айдың орташа тығызлығы  $3,3 \text{ г/см}^3$ , яғный Жердегіден 1,5 есе кем. Күндизги түс пайытында Айдың экваторы этирапында температура  $+120^\circ \text{ С}$ , ярым түнде болса  $-150^\circ \text{ С}$  ны қурайды.



Ай Жердің тәбийий жолдасы.



Айдың кратерлері менен теңизлері.

Айға түскен космонавт биринши гезекте өзін жүдә жеңіл сезеди. Бул Айдың тартыў күшинің кемлигинен келип шығады. Космонавт өз скафандры менен Жерде 90 килограмм болса, Айда тек 15 килограмм болып қалады. Соның менен бирге Айда бақлаўшы Жерде көринбейтуғын көп қубылыстардың өзгеше әжайып көринислердің гүўасы болады. Дәслеп Қуяштың шығыўы алдында Жерде бақланатуғын шырайлы картина (таңның атыўы) Айда бақланбайды. Қуяш күтилмегенде бирден горизонт астынан көтеріле баслайды. Қуяштың горизонттан көтерілиўи Жердегідей жүдә тезлик пенен болмастан, толық шығыўға шекем бир сааттай ўақыт кетеди. Қызығы және соннан ибарат, Қуяштың көтеріле баслаўы менен аспанда жұлдызлар жоғалмайды. Дым қараңғы аспанда Қуяш пенен бирге пүткил күн бойы жақты жұлдызлар да жарқырап тура береді. Қуяш этирапында қызыл реңли оның атмосферасы («тажы») көринеди. Протурберанецлар Қуяш диски этирапында әжайып сүўретти пайда етеді. Қуяш өзинің «тажы» менен биргеликте әдетте көзге көринетуғын Қуяштан бир неше есе үлкен халда көзге түседі.

Ай аспанында жұлдызлардың, Қуяш тажының көриниўи хәм сәўленің көринбейтуғынлығының себеби Ай бетинде атмосфераның жоқлығынан Қуяш шыққаннан соң түс болғанша 7 сутка 9 саат ўақыт кетеди. Бул ўақыт ишинде температура бир қанша көтерілип қалған болса да Айда «салқын» орынды табыў қыйын емес. Буның ушын

кратерлер этирапын орап турыўшы таўлар, бийикликлер саялары хызмет етеди. Бул саялы орынларда жеткиликли дәрежеде салқын болыўының себеби – ыссылықты тасыўшы ҳаўа молекулаларының жоқ екенлигинде. Усыған байланысly Қуяш нурлары тиккелей түспейтуғын орынларда түннің суўықлығы узақ ўақыт сақланып қалады. Айға бирге саяхатқа шыққан адам жолдасын шақырып әўере болмайды. Себеби ол ҳеш қандай сести еситпейди. Сес толқынларын тасыўшы орталық ҳаўа молекулалары болып, Айда бундай молекулалар жоқ. Буның ушын арнаўлы радиопередатчиклерден пайдаланыўға туўры келеди.

Ай аспанының шырайлы кубылысларының және бири - планетамыз Жердің Айдан көриниўи болып табылады (сүүретке қараңыз). Ай аспанында Жер шырайлы, көкшил шар тәризли, Айдың Жер аспандағы өлшемлеринен төрт есе үлкен болып көринеди. Бирак Жердің ярымынан көпшилиги ақ бултлар пайда қылған дақлардан ибарат болады. Жер континентлери бираз өзгешеликлерге ийе болып, океанлардан реңи менен парық қылып турады. Қалың Жер атмосферасы оларды бөлек-бөлек көриўге имканият бермейди. Жер де аспандағы Ай сыяқлы ҳәр қыйлы фазаларда көринеди. Бул ҳал оның Қуяшқа салыстырғанда Айдың қайсы тәрепте турғанына байланысly болады. Жер өзиниң «толық Жер» фазасында болғанда Ай бетин толық Айдың Жерди жақтыртқанлығынан 40 есе күшлирек жақтыртады. Ай аспанда «толық Жер» бақланатуғын ўақыт Жерден карағанда, Айдың жаңа Ай болған ўақытына туўры келеди. Соның менен бирге аспандағы Жер шары этирапында концентрлик қалқалар тәризли тоқ қызыл, сары, көк хәм баска да реңлерден ибарат шырайлы сүүрет бақланады. Егер космонавт Ай тутылып атырған ўақытта Айда саяхатта болса, онда ол Қуяштың тутылыўын бақлайды (яғный Қуяштың Жер тәрепинен бекитилип атырған болады) хәм бул тутылыўының толық фазасы Жердегидей бир неше минут ғана даўам етпей, дерлик 1,5 саатқа созылады.

Жерде Әлемнің Арқа полюсы киши жети қарақшы жулдыз топарының ең жарық жулдызына (альфасына) туўры келсе, Ай ушын полюс Айдарха жулдыз топарының омега жулдызына туўры келеди хәм усыған байланысly Айдағы бақлаўшы ушын барлық жулдызлар бул жулдыз этирапында шеңбер тәризли қозғалатуғындай болып көринеди (Айдың өз көшери этирапында айланғанлығына байланысly). Айда адасқан адамның аўхалы да бир қанша мүшkil болады. Айдың магнит майданының жоқлығына байланысly ол Жерде компастан пайдаланыўдың кереги жоқ. Айда тек аспандағы жулдызлардың турған орынларына байланысly ҳәр қыйлы бағдарларды анықлаў мүмкин болады.

Түнде из қалдырып ушатуғын жүзлеген «жулдызлардың ағып түсиўи» де ол Айда көринбейди. Жерде «жулдызлардың ағып түсиўи» ниң бақланыўы аспан денелериниң бөлекшелериниң Жерге түсиў барысында атмосферада сүйкелистин ақыбетинде жанып из қалдырыў болып табылады. Айда атмосфераның жоқлығының салдарынан ҳәр қандай үлкенликтеги денениң Айдың бетине қызбай түсиўин тәмийинлейди.

Ай рельефиниң тийкарғы бөлимин кратерлер қурайды. Бирақ усы менен бирге онда Жердикине уқсас объектлер де көплеп табылады. Айда да төмен ойпатлықлар, бийикликлер, таўлар бар (сүүретте берилген). Бул объектлерди биринши рет Италия алымы Г.Галилей 1610-жылы өзи соққан телескоптың жәрдемінде Айды бақлап тапқан. Ол ойпатларға «теңизлер» деп ат берген. «Теңизлер» деген ат шәртли рәўиште ҳәзирге шекем қолланылса да, ҳақыйқатында Айда суў жоқ.

Ай бетинде де Жердеги сыяқлы вулканлардың атылыў кубылыслары болып турыўын 1958-жылы рус алымы Н.А.Козирев анықлады. Усы жылы алым Алфонс кратеринен газлердің атылыўын Қырым обсерваториясындағы телескопта бақлады.

Айдағы таўлардың ең ирилери Алп, Апеннин хәм Кавказ таўлары деп ат алған. Айырым таўлардың бийиклиги 9 километрге шекем жетеди. Соның менен бирге Айда қалқа тәризли таўлар көплеп ушырайды. Цирк деп аталыўшы ири қалқа тәризли таўлардан Кладвий хәм Шиккардлардың диаметрлери 200 километрге шекем жетеди. Жердеги таўлардан паркы Ай таўлары көбирек тик көтериледи. Айдың Жерге көринбейтуғын арғы тәрепиниң рельефи биринши рет 1959-жылы ушырылған «Луна-3» автомат станциясы



тәрәпинен алынған сүўретлерден белгили болды хәм Айдың толық глобусын дүзиўге имканият берди. Айдың арғы тәрәпиниң рельефи де бизге көринетуғын бетиниң рельефинен бираз парық қылып, ойпатлықлар кемирек бақланады.

Соңғы 15 жыл даўамында Айды космослық аппаратлар жәрдеминде үйрениў Айды жақыннан көриўге имканият берди. Космослық аппаратлардан «Луна-16», «Луна-20» хәм «Луна-24» Ай топырағынан үлгилер алып келди.

Айға жиберилген «Луна-17» хәм «Луна-21» эксперименталлық лабораториялар Айда саяхат қыла алатуғын «Луноход-1» хәм «Луноход-2» аппаратларын жеткизди. Бул лабораториялар Айда бир неше он километрлик аралықларды өтип, оның рельефи, топырағының курамы, Ай силкиниў хәм вулкан кубылысларын, космослық нурларды хәм сол сыяқлы көплеген кубылысларды узақ ўақыт даўамында үйренип, қоңсымыздың миллионлаған жыллар даўамында сақлаған сырларын ашып берди.

Айдан алып келинген топырақ үлгилериниң анализи Ай топырағы тийкарынан төрт қыйлы жыныслардан, яғный майда түйиртпе геўек жыныслардан, ири түйиртпе жыныслардан, брекчия деп аталыўшы минераллар сынықларынан хәм реголиттан (майда бөлекшелер хәм шаң) қуралғанын көрсетеди. Булардың биринши үш түри химиялық курамы бойынша бирдей болып, реголитлардың болса метеор затларларының араласпасынан ибаратлығы анықланды хәм ол Ай материклери ушын характерли жыныс деген жуўмаққа келинди.



«Аполлон» космос кораблиниң экипажының Ай бетинде жүриў пайыты.

1969-жылдың июнь айында АҚШ тың «Аполлон-11» космослық аппаратында еки астронавт - Армстронг хәм Олдрин Айға қонды. Олар Ай үстинде узақ саяхатта болып, Жерге Ай бети тасларын, топырағын, кристаллардан ибарат қымбат бақалы «сувенирлер» менен қайтты. XX әсирдің 60-70-жылларында «Аполлон»лар Айға барлығы болып 12 астронавтты табыссыз қондырып, Жер жолдасының рельефи, физикалық тәбиятына тийисли қымбат мағлыўматларды қолға киргизди.

«Тынышлық теңизи» нен алынған үлги («Аполлон-11») курамы 40-45 процент алюминий, 4-6 процент титан хәм магнийге ийе болып шықты. Боранлар океанынан алынған үлги («Аполлон-12») болса бираз басқаша болып, онда титан 2-3 есе кем, магний, кобальт, ванадий хәм скандий болса керисинше көбирек болып шықты. Егер Жер менен Ай жынысларының химиялық курамы хаққында гәп жүритилсе, онда бул жыныслардан бир қанша ғана парық табылады. Әсиресе Ай шаңы деп аталған Ай бети қатламы тәбияты бойынша дыққатқа миясар. Оның курамы кристалл сынықларынан, темир-никел араласпалы дәнешелерден, бир текли тынық шийше сынықларын еслетиўши жыныслардан қуралған болып, жоқары вакуум шараятында жайласқанлықтан айтарлықтай жабысқақлығы менен айрылып турады.

Айды үйрениўдиң қандай пайдасы бар деген сораў туўылады. Айды үйрениўдиң тәбийий илимлер ушын әҳмийети - Айда атмосфераның жоқлығы болып табылады. Айға орнатылған киши телескоп Жерден үлкен телескоптар жәрдеминде алынған аспан денелериниң сүўретлеринен бир неше есе сапалы фотоматериалларды алыўға имканият береді. Айда қурылған орташа үлкенликтеги обсерватория болса Жердеги онлаған обсерваториялар хызметин жоқары дәрежеде атқара алыўы мүмкин. Сондай-ақ Жер атмосферасы электромагнит нурларының аз бөлимин ғана өткизип, қалған үлкен бөлими ушын мөлдір емес. Айда болса барлық толқын узынлықларында космосты үйрениўдиң толық имканияты бар.

Космостан планетамыз тәрәпке келетугын хәр қыйлы толқын узынлықларындағы нурлардан басқа элементар бөлекшелердің ағымы да үзликсиз келип турады. Бул бөлекшелердің дереклери партланыўшы жұлдызлар, думанлықлар хәм тийкарынан Қуяштағы актив қубылыслар болып табылады. Космослық нурлар деп аталыўшы бул бөлекшелер ағымы хәр қыйлы шамадағы энергияларға ийе болып, үлкен энергиялылары Жердеги арнаўлы лабораторияларда тезлетилген бөлекшелер менен арқайын «беллесе алады». Космослық нурлардың Жер атмосферасында көппеп жутылып қалыўы оларды толық үйрениўге имканият бермейди. Ай бетинде турып болса бул нурларды арқайын үйрениў мүмкин. Олар физиклер ушын Әлем ҳаққында көп жаңалықлар бере алады.

Соның менен бирге, Айда қазылма байлықлар, қымбат баҳалы минераллар хәм рудалардың бар екенлиги оның топырақ үлгилерин үйрениўден мәлим болды.

Хәзирги дәўирде Айдың келип шығыўы ҳаққында белгили еки гипотеза бар. Булардың бирине байланыслы (авторлары: Йури, Деибигер хәм Алвен) Ай Қуяш этирапында Жерге жақын қашықлықта айланыўшы киши планета болған хәм ўақыттың өтиўи менен Жерге жақынласып, Жер тәрәпинен «усланып» қалған. Нәтийжеде Ай Жердің тәбийий жолдасына айланған.

Екинши гипотезаға сәйкес (авторлары: Б.И.Левин басшылығындағы топар) Ай Жер этирапында жыйналған шаң-тозаңлардың бөлекшелеринен Жердің массасы хәзирги массасының шама менен 0,3-0,5 бөлимин кураған дәўирлерде пайда болған. Бул гипотезаға сәйкес Айдың «жасы» Жердің жасынан 100-200 миллион жылға кемирек болыўы хәм бул жағдай хәзирги заманда алынған мағлыўматларға сәйкес келиўи менен дыққатқа ылайық. Бул еки гипотезаның қайсысына көбирек «мәни бериў» хәзирше қыйын болса да, Айдың ишки структурасын хәм жасын терең үйрениў жақын келешекте бул космогониялық машқаланы шешиўге имканият береді деп үмит қылыў мүмкин.

## Марс

Урыс қудайы Марс аты менен аталатуғын Жер типиндеги төртинши бул планетаның орбитасы Жер орбитасынан сыртта жатады. Оның Қуяштан орташа узақлығы 228 миллион километр. Марс Қуяш этирапында айланып, хәр 780 суткада Жерге жақынласып турады. Бундай жақынласыў *қарама-қарсы турыў* деп аталады. Марс орбитасы эллипс тәризли болғанлықтан, қарама-қарсы турыў пайытында ол Жерге ең жақын келгенде (уллы қарама-қарсы турыў пайытында), оннан бизге шекемги аралық 56 млн км ди курайды. Планетаның уллы қарама-қарсы турыўы хәр 15-17 жылы бақланып, ең соңғысы 1988-жылы болған еди.

Марс салыстырмалы киши планета. Оның диаметри 6775 километр, массасы болса  $6,44 \cdot 10^{23}$  кг (Жер массасының 0,107 бөлимин курайды). Орташа тығызлығы да Жердің орташа тығызлығына қарағанда бир қанша кем -  $3,94 \text{ г/см}^3$ . Еркін түсиў тезлениўи  $3,72 \text{ м/с}^2$ .

«Урыс қудайы» өзиниң физикалық тәбияты бойынша Қуяш системасының планеталары ишинде Жерге «ағайын» лиги менен айрылып турады. Марстың суткасы Жер суткасынан азмаз парық қылып, 24 саат 39,5 минутқа тең. Соның менен бирге планетада жыл мәўсимлериниң орын алыўын тәмийинлеўши себеп, яғный оның айланыў көшериниң орбита тегислигине қыялығы да Жердикинен аз парық қылып,  $65^\circ 12'$  қа тең. Бирақ Марс жылының узынлығы бизикинен бир қанша артық болып 687 Жер суткасына (яки 669 Марс суткасына) тең. Планетаның  $35^\circ$  кеңлигинде гүз мәўсиминде түс пайытындағы температура  $-20^\circ\text{C}$ , кешкурун  $-40^\circ\text{C}$ , түнде болса  $-70^\circ\text{C}$  ға төмен түседі. Қыстың күнлери  $40^\circ$  лы кеңликте температура  $-50^\circ\text{C}$  дан,  $60^\circ$  лы кеңликте болса  $-(80-90)^\circ\text{C}$  дан артпайды. Марс бетиниң минималлық температурасы оның полюсларында бақланып, ол қыста -  $125^\circ\text{C}$  дан төменге түспейди.

Марстың атмосферасы жүдә сийрек болып, бетинде орташа басым 6,1 миллибар (1 бар шама менен 1 атмосфера), яғный теңиз қәддиндеги Жердің атмосфера басымынан шама

менен 160 есе сийрек. Планетаға тийисли анық мағлыұматлар «Марс», «Маринер» хәм «Викинг» (АҚШ) типиндеги планеталар аралық автомат станциялар жәрдемінде алынды. Белгили болыұынша, Марс атмосферасының 95 проценти карбонат ангидриди, 2,5 проценти азот, 1,5-2,0 проценти аргоннан хәм аз муғдардағы кислород (0,2%) хәм суұуынан (0,1%) куралған.

Арнаұлы методлар жәрдемінде Марстың «полюс қалпақлары» ын үйрениұу бул қалпақлардың муз халындағы карбонат ангидриди екенинин мәлим қылды. Кейинирек космослық аппаратлар Марс полюсларындағы температураның карбонат ангидриднің (6,1 бар басымда) конденсацияланыұу температурасына (-125 °C) жақын екенлигин анықлаұу менен жоқарыдағы мағлыұматты тастыйықлады.

Планета атмосферасының курамы анықланғаннан кейин «полюс қалпақлары» ның планета атмосферасы физикасындағы ролиннің үлкен екенлиги мәлим болды. Бәхәрде «полюс қалпақ» ларының күшли ериұи хәм пуұланыұу себебинен полюс төбесиндеги атмосфераға оғада көп муғдарда карбонат ангидриди кирип, басымның кескин артыұуына алып келеди. Ақыбетинде күшли самал жүзеге келип, ол жүдә аз массаны түслик ярым шарға алып шығады. Бирақ бул жағдайда самалдың тезлиги секундына орташа 10 метрди кураса да, мәўсимлик өзгерислер менен байланысly болған процесслер тезлиги айырым жағдайларда секундына 70-100 метрге шекем баратуғын күшли самалды пайда етеди. Бундай самал тәсиринде жүзлеген миллион тонна планета шаңы атмосфераға көтериледи. 1971-жылы планетада тап усындай боран көтерилип Марстың бетин шаң бизден тосып койды. Бул дәўирде көтерилген хәм пүтин планета дискисин қаплаған қызғыш шаң бултарлы хәтте оның «полюс қалпақ»ларын да көриұге имканият бермеди. 1971-жылдың декабрь айында бурынғы Союздың «Марс-3» хәм АҚШ тың «Маринер-9» космослық аппаратлары боран ең күшейген пайытта планетаның көринислерин өз ишине алатуғын сұўретлерди алды. 1976-жылы планета бетине қонған АҚШ тың «Викинг-1, 2» аппаратлары түсирген Марстың сұўретлеринде де боранларды Марстың тез-тезден басынан кеширип туратуғынлығы көринип турады.

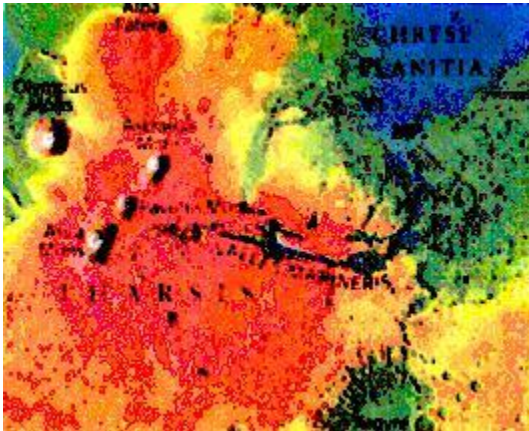
Марстың рельефи бир биринен кескин парықланыұшы дүзилислерден ибарат болып, олардың ишинде айтарлықтай үлкен майданлы кратерлер ийелейди. Кратерлер ийелеген орынлар арқада экватордан 40 градуслы кеңликлерге шекем жеткен халда, түсликте болса экватордан 80 градуслы кеңликлерге шекем жайылады.

Марстың 20 дан 55 градусқа шекемги арқа кеңликлери арасынан орын алған хәм шама менен 2000 километрге созылған Эллада ойпатлығында «Викинг» станциясынан алынған сұўретлерден көрингендей бул зонаның кратерлерден туратуғынлығы хәм олардың этирапына салыстырмалы бир қанша шөккен ойпатлық екенлиги анықланды. Түслик ярым шардағы басқа бир үлкен майданлы ойпатлық Аргир деп аталады (сұўрет). Аргирдағы арқа-шығыс тәрепте үлкен вулканлы таұ – Тарсис жайласады. Оның артындағы арқа ярым шарда белгили Амазония хәм Утопия ойпатлықлары жайласқан. 50-параллелден 70 градуслы параллелге шекем Үлкен сахра жайласып, ол арқа полюсты орап турыұшы таұ қалқасы менен шегараланады.

Марс рельефинің тийкарғы әжайып өзгешеликлеринің бири планета таұлары болып табылады. Планетаның Тарсис районында төрт конус тәризли таұ көкке бой созады. Бул таұлар вулканлы процесслер тәсиринде пайда болған таұлар болып, олардан ең түсликте жайласқан Арзия таұы тийкарының диаметри 130 километрди курайды. Бул таұлар ишиндеги ең үлкени Олимп таұы болып, ол Жердеги вулканлы таұлардан бир неше есе үстинлик қылады. Олимп таұы конусы тийкарының диаметри 600 километрге, бийиклиги болса 27 километрге барады (Жердеги ең ири таұдың бийиклиги 9 километр, ең ири вулкан таұы тийкарының диаметри болса 250 километрден артпайды).

Қалған вулканлы таұлар Олимптің бийиклигинен кейин қалса да, бирақ оларды бийиклиги 15 километр болған шаң бултардан көринип турыұы (1971-жыл «Маринер-9» дан алынған сұўретлерде), бул таұлардың бийикликлери де 15-20 километрден кем емес екенлигин көрсетеди. Хәр төртинши таұда вулканның тоқтағанына жүзлеген миллион жыл

өткен деп болжап айтылады. Олимп тауы төбесіндегі кратердің диаметрі 70 километрге шекем барып, бийік қарық пенен шегараланған. Бир ұақытлар бул вулканнан атылған лава суйык болып, жүдә узақ аралықларға шекем ағып барған.



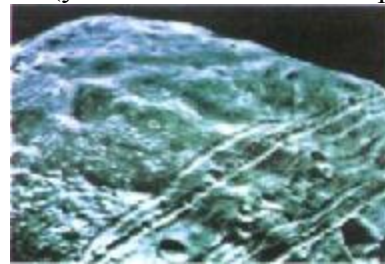
Марстың Эллада, Тарсис хәм Аргир ойпатлықтарындағы оазислердің көриниси.



Марс бетиниң «Viking-1» (AQSH) станциясы тәрәпинен алынған сүүрети.



Марстың Ниргал деп аталған дәрәясының сүүрети (узынлығы 400 км дан артық).



Марстың Фобос деп аталыўшы жолдасы (өлшеми 18x22 km).

Марс рельефиниң ең қызық объектлериниң бири узынлығы бир неше жүз километрге шекем созылған жарлықлар болып табылады. Арзия тауынан 20 градус шығыста бундай жарлықлардың бири жайласып, оның узынлығы 400 километрге шекем, кеңлиги айырым орынларда 30 километрге шекем, тереңлиги болса 2 километрге шекем жетеди.

«Қызыл планета» бетинде бақланатуғын басқа бир «тилсым» - дәрәя аңғарлары болып табылады. Олар ишинде 30 градуслар шамасындағы түслик кеңликте жайласқан Ниргал деп аталған дәрәя аңғары 400 километрге созылған болып, Марстың әйемги дәрәяларынан болып есапланады (сүүретте көрсетилген). Ниргал дәрәясының әйемги ұақытлары жүдә үлкен теңизге қуйғанлығы «Маринер-9» алған сүүретлерде анық көринеди. Соның менен бирге узынлығы 700 километрге шекем баратуғын басқа бир дәрәя аңғары Мадимниң айырым орынларындағы кеңлиги 80 километрге шекем жетеди. Бул дәрәя аңғарлары бойынша хәзирги ұақытлары хеш қандай суйықлықтың ақпайтуғынлығы анық. Бундай болса бул дәрәя аңғарлары не себепли пайда болған деген сораў туўылады. Бул сораўға жуўап бериў бир неше жыллар даўамында орын алған узақ дискуссияларға себеп болды. Планетаның қурыған дәрәялары ҳаққында гипотезалар туўылып, жылдан жылға көбирек тастыйық таўып атырған гипотеза әйемги ұақытлары дәрәя аңғарлары бойынша суў ағып турған деген гипотеза болып табылады.

Жердиң «жан қоңсысы» нда тиришиликтиң бар ямаса жоқлығы мәселеси узақ жыллардан бери алымларды қызықтырып келди. 1975-жылы тийкарғы мақсети Марста тиришиликтиң бар ямаса жоқлығын анықлаўға қаратылған хәм хәр бириниң массасы үш ярым тоннадан келетуғын АҚШ тың «Викинг-1» хәм «Викинг-2» космослық аппаратлары «Урыс қудайы» на қарай жолға шықты. «Викинг-1» 350 миллион километр шамасындағы аралықты артында қалдырып, 1976-жылдың 20-июлында Хрис тегислигине, «Викинг-2» болса 4 сентябрде бул орыннан 6400 километр арқа-шығыс тәрәпте жайласқан Утопия тегислигине қондырылды. «Викинг-1» қонған «қызыл планета» бети жумсақлығы бойын-

ша Жерден парық қылып, этирап көринслерин Жерге узатты. Сүүретлерде хәр қыйлы үлкенликтеги хәр қыйлы таслар хәм топырақ барханлары бирден көзге тасланады. Бундай барханлардың пайда болыуында да боранлардың себебинен екенлиги анық көринип турыпты (84-сүүрет). «Викинг-1» қонғаннан соң көп өтпей Жерге төмендегидей метеорологиялық мағлыұматты жиберди: кеш курын шығыс тәрептен ескен күшсиз самал ярым түннен соң түслик-шығыс тәрептен ескен самал менен алмасты, оның максимал тезлиги секундына 6-7 метрге жетти, басым 7,7 миллибарға тең болып, ерте таңда температура -85,5 °C ты, күндиз болса -30°C болды. Жерге узатылған сүүретлерден айырым кратерлердің үстинен хәм жарықларынан думан бултының көтерип атырғанлығы белгили болды. Бундай думанлардың тийкарынан суу пууларынан туратуғынлығын анықлады. Усы факт «қызыл планета» ның бауырында жеткиликли суу дереклериниң (муз халдағы) бар екенлиги хаққындағы гипотезаның дурыслығы ушын және бир дәлил болды.

Марстың бетиниң топырағы үлгисиниң анализи оның курамында темир (12-15% қа шекем), кремний (20% қа шекем), алюминий (2-4% қа шекем), кальций (3-5% қа шекем), магний (5% қа шекем), алты гүкирт (3% қа шекем) хәм аз муғдарда фосфор, рубидий хәм стронцийлардың бар екенлигин көрсетти.

Дәслепки затлар алмасыуына тийкарланған биологиялық экспериментлер Марс топырағы курамында микроорганизмлердің бар екенлигин тастыйықлап, карбонат ангидридиниң интенсивли түрде ажралып шығып атырғанлығын көрсетти. Бирақ көп уақыт өтпей ажыралып атырған газ муғдары кескин кемейе баслады. Үш сутка өткеннен кейин, бул тәжирийбе қайталанғанда тап сондай кубылыс қайтадан көринди. Бирақ екінши эксперимент ушын мөлшерленген әсбапларда ассимиляцияға тийкарланған тәжирийбе де планетада микроорганизмлар бар деген жуумаққа келген болса да, бирақ үшінши эксперимент нәтийжеси бул мәседеде алымлар пикирин өзгертип жиберди. Басқаша айтқанда үшінши газ алмасыуға тийкарланған экспериментте де, 1- эксперименттеги сыяқлы, дәслеп, кислородтың ажыралыуы күтилгенинен 15-20 есе интенсив болды. Бирақ көп өтпей газ алмасыуының интенсивлиги нолге шекем пәсейди. Нәтийжеде алымлар «урыс қудайы» нда тиришиликтиң ең әпиуайы түрлери - микроорга-низмлар бар деген қарарға келиулері ушын илимий тийкарға ийе бола алмады.

Марстың еки тәбийий жолдасы бар. Олардан бири Фобос (Қорқыныш), екіншиси болса Деймос (ол да қорқыныш) деп аталады. Бул еки жолдастың екеуі де 1877-жылы август айында америкалық астроном А.Холл тәрепинен табылды. Қызығы соннан ибарат, сол жолдаслардың екеуі де шар тәризи болмай, картошка формасын еслетеди. Фобостың еки өз-ара перпендикуляр өлшемлери, сәйкес рәуиште, 18 хәм 22 километр болып (85-сүүрет), Деймостың сондай өлшемлери 10 хәм 16 километрди курайды. Фобос Марстан орташа 6 мың километр қашықтықта оның этирапында 7 саат 30 минутта айланып шығады, ал Деймос 30 саат 18 минутта айланып шығады. Жер этирапында айланатуғын Айдан паркы, Марстың оған жақын «Айы» Фобос батыстан шығып шығыста батады. Қызығы және соннан ибарат, бир суткада Фобос күн батыс тәрепте 3 рет шығып, күн шығыс тәрепте 3 рет батады.

Фобостың орташа тығызлығы  $1,8 \text{ г/см}^3$  болып, массасы  $8 \cdot 10^{12}$  (8 триллион) тонна келеди. Жерде 60 кг шығатуғын адам ол жерде тек 30 грамм ғана салмаққа ийе болады. Бирақ соған қарамастан Фобоста жүриу аңсат болмас еди: Жерде 2,5 м бийикликке секире алатуғын спортшы бир секирип Фобосты пүткиллей таслап кете алады.

Фобос хәм Деймос «қызыл планета» менен бирге «тууылған» деп айтыуға ҳеш қандай тийкар жоқ. Планетаның бул еки «Айы» Марстан узақ болмаған майда планеталар орбитасынан адасып шығып, бир неше онлаған миллион жыллар бурын «урыс қудайы» ның тәсирине дус келген хәм ол менен «жипсиз байланысқан» аспан денелери болып табылады. Ең кемінде бул еки тәбийий жолдастың «қызыл планета» этирапында пайда болыуын гипотеза солай түсіндиреди.

## Юпитер

Қуяш системасының планеталары ишінде ең ириси болып есапланған Юпитер тәбияты хәм дүзилісі бойынша жумбақларға бай екенлігі менен астрономлар дыққатын өзіне тартады. Юпитердің орташа радиусы Жер радиусынан шама менен 11 есе үлкен болып, 69 мың 150 километр ге тең. Бул үлкен планета Қуяш этирапын орташа 778 миллион километрли қашықтықта айналады. Планетаның Қуяш этирапындағы айланыу тезлігі секундына 13 километр болып, 12 жылда бир рет айланып шығады. Басқаша айтқанда Жердегі 60 жасар адам Юпитер жылы менен тек 5 жасқа толған болар еди. Қызығы соннан ибарат, Юпитердің өз көшери этирапында айланыуы Жер типіндегі планеталардың айланысларынан парық қылып, экватор бөлімі тезірек - 9 саат 56 минутлы дәуір менен айналады. Планетаның хәр қыйлы кеңліклерінің хәр қыйлы мүйешлік тезлік пенен айланыуларына себеп оның дүзилісі бойынша қатты болмай, газ-сұйық халындағы аспан денесі екенлігінде болып табылады. Бұның үстіне оның көрінген бети планета атмосферасында «жүзіп» жүріуші бұлттардан құралған.

Планетаның тез айланыуына байланысly жүзеге келген орайдан қашыушы күш тәсірінде Юпитердің полюслары тәрепінде сезілерлі қысылуы бақланады. Усының нәтижесінде оның экваторлық диаметрі полюслік диаметрінен 9 мың 300 километрге үлкен.

Юпитердің көлемі Жердің көлемінен 1314 есе артық, Бірақ бул планетаның тығызлығы Жертікінен 3,5 есе кем болса да, үлкенлігіне байланысly оның массасы Жер массасынан 318 есе артық. Соның ушын Юпитердің тартыу күші Жердің тартыу күшінен екі ярым есе артық. Яғный Жерде 60 килограмм келетуғын адамның ауырлығы Юпитерде 150 килограммнан артық болады. Бул үлкен планетаға телескоп арқалы қарағанда оның бетінде хәр қыйлы объектлер бақланады. Олар ишінде тәбияты хәзірге шекем жумбақлығын сақлап қиятырған объектлер - ені бир неше мың километрге шекем жететуғын оның экваторына параллел қара-қызғыш жолақлар болып есапланады (86-сүұрет).

Бул жолақлар соңғы жыллары алынған нәтижелар тийкарында планета атмосферасының қалың бұлтлары деп түсіндириледі. Олар планетаның параллеллері бойынша бағытланған болып, экваторға салыстырғанда симметриялық халда жайласқан. Планета бұлтларының бундай шынжырлы структурасы оның 40 градуслы кеңлігіне шекем барып, айырым халларда диаметрі 1000 километрге шекем баратуғын қоңыр ямаса көгіс дақларды пайда етеді.

Юпитердің әйемгі «тилсым» ларының басқа бири 1878-жылы табылған узынлығы 80 мың, ені 13 мың километрге созылған Үлкен қызыл дақ болып табылады (87-сүұрет). Қызығы соннан ибарат, бул дақ планетаның бет деталлары қатарында оның суткалық айланыуында қатнасуы менен бирге гейде бир тәрепке, гейде екінші тәрепке қарай бир неше градусқа шекем жылжыйды. Бундай жағдайдан Үлкен қызыл дақ планета бети менен байланыспаған деген жуумаққа алып келді. Рус алымы Г.Голициннің гипотезасына сәйкес Үлкен қызыл дақ планета атмосферасының узақ дауам ететугын гигант ийрими болып табылады. Алымның бул теориясы келешекте бир неше усыллар менен тастыйықланғанлығына байланысly итибарға миясар гипотеза болып есапланады. АҚШ тың «Пионер-10» хәм «Пионер-11» космослық аппаратлары жәрдемінде Үлкен қызыл дақтан алынған сүұретлерге тийкарланып оның деталлары, структурасы бир қанша үйренілген болса-да, хәзірге шекем оған тийислі болған машқалалар жеткиликі дәрежеде көп. Соның ишінде оның қызыл реңі де хәзірге шекем сыр болып есапланады.

Юпитер атмосферасы Жер атмосферасынан кескин парық қылып, водород, гелий, метан хәм аммиак газлерінен турады. Планета атмосферасының тийкаргы бөлімін водород хәм гелий құрайды. Юпитердің спектрінде гелийдің өз «автограф» ын қалдырмағанлығы алымларды узақ уақыт тынышсызландырды. Себеби теориялық есаплаулар бойынша гелийдің оның атмосферасында кең тарқалғанлығын көрсеткен жоқ еди. Бул мәселе 1973- жылы шешілді: Юпитер жанына өтип баратырған «Пионер-10» планеталар аралық автомат станциясы (ПАС) Жерге жиберген «радиограммасында»



планета атмосферасында гелийдің бар екенлигін мәлім қылғанда, астрономлар «жеңіл дем» алды. Бұл алынған мағлыұматтар гелийдің мұғдары планета атмосферасының 25 процентін ямаса 70 Жер массасына тең екенлігін көрсетті. Планета атмосферасының тийкарғы бөлімін құраған водород болса оның атмосферасының 70 процентін ямаса 225 Жер массасына тең бөлімін құрайды.

Соның менен бирге планетаға тийисли спектограммалардың анализи оның атмосферасында сезилерли мұғдарда ацетилен ( $C_2H_2$ ) хәм этан ( $C_2H_6$ ) бар екенлігін билдирди. Гигант планета атмосферасында суў пуўларының табылыұы да үлкен ўақыя болды. Себеби алымлар оның бултлы қатламларының температурасының  $-(120 - 130)^\circ C$  дан да төмен екенлігін анықлады. Бундай температураларда суў пуўлары мәңги муз халында ғана болады деп болжайды.

Планетаға тән сырларды ашыұда 1973-жылдың 4-декабринде Юпитерден 130 мың километрли қашықтықтан өткен «Пионер-10» (АҚШ) автомат станциясының хызметі үлкен болды. Бұл космослық аппарат Жерден ушырылғаннан кейін шама менен еки жыллық саяхаттан соң Юпитерде «мийман» болды. Автомат станция Юпитерге 6,5 миллион километр жақынласқанда-ақ планета магнитосферасы оның менен «ушырасыұға» шықты. Юпитердің магнитосферасы тийкарынан үш бөлімнен ибарат болып, 20 планета радиусы қашықтығына шекем созылған ишки бөлімінде диполлы (еки полюсли) магнит майданы хұкимдарлық қылады. 60 планета радиусына шекем созылған орта бөлімінде болса планета магнитосферасы орайдан қашыұшы күш тәсиринде күшли деформацияланыұдың ақыбетинде ол сфера формасын жоғалтып, диск формасына ийе болады хәм 90 планета радиусына шекем баратуғын сыртқы бөліми болса «Қуяш самалы» (Қуяштан келетуғын плазма ағымы) тәсиринде және де күшли деформацияланады.

Юпитердің тунги тәрептеги магнит майданы Жердики сыяқлы узын қуйрық пайда етип, бир неше миллион километрге шекем созылады.

Мәлім, электронлар магнит майданда қозғалғанда еки қыйлы нурланады. Бұл нурланыұлардың бири циклотрон нурланыұы деп аталып, салыстырмалы төмен энергиялы электронлардың ( $0,5 \text{ MeV}$ қа шекем энергиялы) қозғалыұынан, екиншиси болса синхротрон нурланыұ деп аталып, релятивистик электронлардың (тезлиги жақтылық тезлигине жақын) қозғалыұынан пайда болады.

Гигант планетаның магнит майданы Қуяштан келетуғын оң хәм терис зарядлы космослық бөлекшелер менен тәсирлесип, олардың өз сферасында «тутқын» ға түсіреді хәм ақыбетинде бундай жағдай планета этирапында Жердикине уксас күшли радиация поясларының пайда болыұына алып келеді. Тороидал формадағы (тесик гүлше түріндеги) радиациялық пояс планетаның экватор тегислигине бираз қыяланған халда болып, 1,5 тен 6 планета радиусына шекемги қашықтыққа созылған. Бұл областта магнит майдан «қолға түсірген» электронлардың энергиясы 3 тен  $30 \text{ MeV}$  қа шекемги аралықта болады. Планетаның бул магнитосферасы хәм радиация пояслары зарядлы бөлекшелер ушын үлкен тәбийий тезлеткиштің орнын ийелейді. Жерде регистрацияланып жүрген киши энергиялы электронлар Юпитердің тәбийий тезлеткишлердің бири екенлиги, олар ушын характерли 10 саатлық дәўирдің планетаның өз көшери этирапында айланыұ дәўири менен бирдей екенлиги анықланды.

Соның менен бирге метрли радиодиапазонда Юпитердің күшли нурланыұының дереги де планета магнитосферасында электронлардың синхротрон нурланыұының нәтийжеси екенлиги мәлім болды. Үлкен планетаның метрли диапазонда ислейтуғын бир неше «радиостанция» 11 метрден 30 метрге шекем аралықтағы толқын узынлықтарын өз ишине алады. Булардан «радиоборан» деп ат алған планета радионурланыұының шақмақлары да планетадан келетуғын нурланыұларды хәр қайсысын өз алдына регистрацияланады. Есаплаұлардің көрсетиұинше, бундай радиошақмақлардың дереги қуұаты бойынша Жердеги гүлдирмамалар пайытында бөлінип шыққан нурланыұлардан миллиардлаған есе артық қуұатқа ийе болған планета атмосферасында электр «шақмағы» ның болыұы لازم.

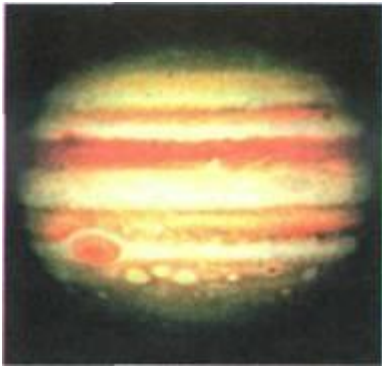
Юпитер Куяштан Жерге салыстырғанда 5 есе үлкен қашықтықта болғанлықтан, бул планетаның бетинің бир бирлигинің Куяштан алатуғын энергиясы Жердегиден 27 есе кем. Бирақ соған қарамастан планетаның толық бети тийкарынан радио хәм инфрақызыл диапазонларда оның Куяштан алатуғын энергиясынан шама менен 2,5 есе үлкен энергия менен нурланады. Бул Юпитер ишиндеги хәзирге шекем механизми белгисиз бундай нурланыў энергиясының бирден-бир дереги гравитациялық қысылыў болыўы мүмкин деген гипотезаның туўылыўына себеп болды. Инфрақызыл спектрометр жәрдемінде планетаның тап усы диапазонда нурланыўы тийкарында анықланған бетинің күндизги хәм түнги бөлимлериндеги температурлар бирдей болып,  $-133^{\circ}\text{C}$  екенлигин анықлады. Юпитердің бетинде орайға қарай температураның тез артып барыўының ақыбетинде жүдә үлкен тереңликлерде оның затлары тек газ-суйық халда бола алатуғынлығы да соңғы жыллары жүргизилген есаплаўлардан мәлим болды.

Планета хәккында қолға киргизилген ең соңғы мағлыўматлар тийкарынан бул үлкен планетаның ишки дүзилисинің математикалық моделлестирилиўи болып табылады. Бул моделге сәйкес Юпитер атмосферасының бийиклиги 2 мыңнан 6,5 мың километрге шекем созылған. Егер атмосфераның орташа бийиклиги 4,2 мың км деп алынса есаплаўлар оның төмениндеги басымның 200 мың атмосфераға, ал температура болса  $2000^{\circ}\text{C}$  ға жақын екенлигинен дерек береді. Төменинде кескин шегараға ийе болмаған затлардың газ тәризи, суйық хәм қатты фазалардан ибарат суйық водородтың гелий менен араласпасынан туратуғын теңиз бар. Шама менен 18 мың км тереңликте 1 млн. атм. басымында водород метал халда, планета орайында болса металлық фазадағы силикатлар, магний, темир хәм никелдің оксидлеринен куралған ядро жайласқан деп болжанады. Бул ядро басым 20-100 млн. атм. этирапында болып, температура 15-25 мың  $^{\circ}\text{C}$  қа шекем барады (сүўретке қараңыз).

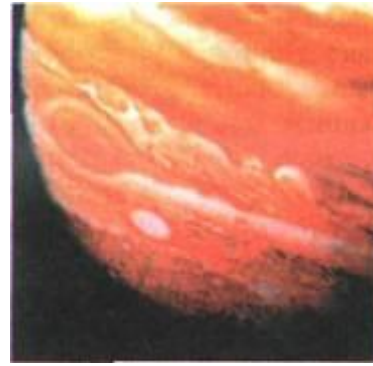
Юпитер өз жолдаслары менен үлкен бир «шаңарақты» курайды. Оның табылған жолдасларының саны майдалары менен қосып есапланғанда 50 ден асып кетти. Планетаның бул «Ай» ларының төрт ең ириси 1610-жылы Г.Галилей тәрәпинен ашылды.

Юпитердің ири жолдасларын олардың айырым параметлерине сәйкес 3 топарға бөлиў мүмкин. Биринши топарға төрт Галилей жолдаслары (Ио, Европа, Ганимед хәм Каллисто) (89-сүўрет) хәм оның бетинен 110 мың километр қашықтықта айланыўшы Амалтея кире-ди. Бул топардың Юпитерден ең узақта жайласқан жолдасы - Каллисто планетадан 1,8 млн километр қашықтықта оның этирапында 16,7 Жер суткасына тең дәўир менен айланады. Бул топардағы ең киши жолдас Амалтеяның диаметри 150 км, ең ириси - Каллистоники болса 5300 километр. Галилей жолдасларының орташа тығызлығы планетадан узақласқан сайын кемейеди:  $3,2-3,6 \text{ г/см}^3$  тен (Ио ушын)  $1,6 \text{ г/см}^3$  ке шекем (Каллисто ушын). «Пионер-10» ның анықлағаны бойынша Ганимед хәм Ионың бетинде атмосфера бар. Ганимедтің бетиндеги температура  $-115^{\circ}\text{C}$  ге шекем жетеди. Галилей жолдасларының албедосын (Куяш нурларын қайтара алыў қәбилетликлерин) үйрениў олардың бетинің қалың муз қатламы менен қапланғанлығын болжап айтыўға мүмкиншилик береді. Россия Федерациясының жаңа 600 метрли радиотелескопы жәрдемінде Галилей жолдасларын үйрениў, олардың радиодиапазонда анықланған жақтыртылық температуралары менен салыстырыў жоқарыдағылардың дурыслығын көрсетеди (Каллисто ушын  $-90^{\circ}\text{C}$ , Ганимед ушын болса  $-105^{\circ}\text{C}$ ). Бул планеталар ушын есапланған тең салмақлық нурланыў температурасынан бир қанша жоқары болып, оның дереги көп километрли муз қатламы астында «жасырынған» деп айтыўға тийкар береді. Ең жоқары температура Иода бақланып, бул температураның соншелли үлкен болыўына байланысly алымлар бул жолдас күшли магнит майданына хәм радиациялық поясқа ийе деген гипотезаны ұсынды. Екинши топар жолдаслары планета этирапында орташа 12 млн километрли қашықтықта 250 Жер суткасына жақын дәўир менен айланады. Бул топарға кириўши жолдаслар салыстырмалы киши болып, олар хәккында хәзирги ўақытларға шекем жүдә кем мағлыўматларға ийеміз. Екинши топардың ири ағзаларының саны болса 8 дана.

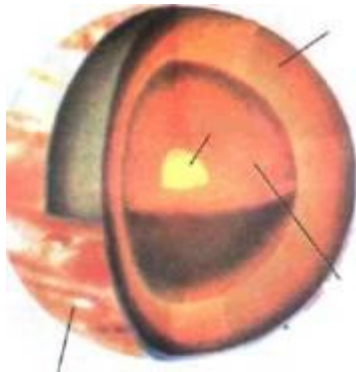




Юпитердин улыўмалық көриниси.



Юпитердин бетинде бақланатуғын Үлкен қызыл дақ.

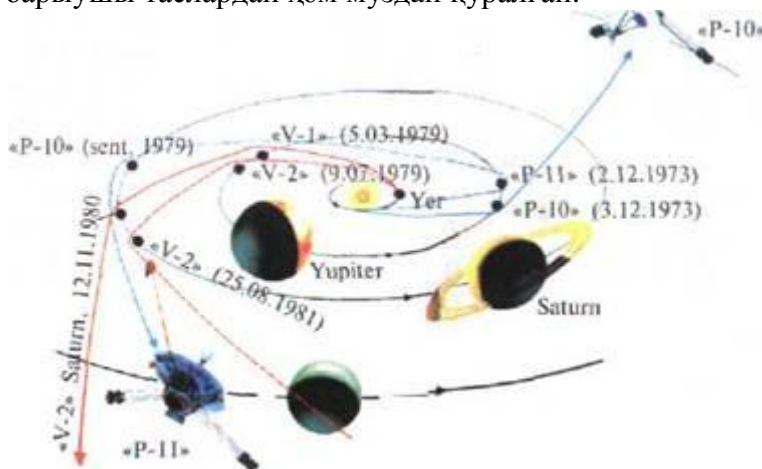


Юпитердин ишки дүзилиси.



Юпитердин Галилей жолдасларының салыстырмалы өлшемлери.

Үшінші топар жолдаслары планетадан орташа 23 млн километр қашықтықта шама менен 2 жыллық дәуір менен айналады. 1979-жылы март айында Юпитерден 278 мың километр қашықтықтан өткен АҚШ тың «Вояджер-1» хәм кейинирек «Вояджер-2» автомат станцияларының Юпитер хәм оның жолдасларын үйрениўде көрсеткен хызметлери үлкен болды (сүўретке қараңыз). «Вояджер» алған сүўретлерде планетаның 30 мың километрге созылған полюс шұғласы хәм атмосферасындағы жасылды еслетиўши шақмақ шағыў бақланды. Соның менен бирге планета бетинен 57 мың километр бийикликте кеңлиги 8 мың 700 километр хәм қалыңлығы 30 километрден үлкен болмаған Сатурнтикине уқсас сақыйнасының бар екенлиги де мәлим болды. Алымлардың анықлаўы бойынша бул сақыйна үлкенлиги бир неше онлаған метрден бир неше жүз метрге шекем барыўшы таслардан хәм муздан қуралған.



«Пионер-10», «Пионер-11», («П-10», «П-11») хәм «Вояджер-1», «Вояджер-2» («В-1», «В-2») планета аралық станцияларының траекториялары.

Автомат станция планетаның жолдасы Иоға ең жақын (19 мың км) қашықтықтан өтіп баратырып оның бетінде хәзирги ұақытлары «атылып атырған» вулканды (бийиклиги 160 км), бир неше жүз километрге созылған таўлар менен жарлықларды көрди. Ганимед пенен Каллистоның бетінде көринген онлаған жарық дақлар болса шама менен кратерлер болса керек деген болжаўға келинди. Каллистодағы кратерлердин бири бир неше концентрлик таўлар сақыйналары менен оралған болып, айырым орынларда бул дүзилислер арасындағы қашықтық 1600 километрге шекем жетеди.

Соңғы жыллары үлкен планета Юпитер хәм оның жолдасларына тийисли болған бир қанша әсирлик сырлар «ашылған» болса да, хәзирги ұақытлары онда және бир неше онлаған жылларға жасырынған машқалалар бар. Бул себеплери еле табылмаған кубылыслар өз сырлары менен ортақласыў ушын гезектеги космослық станцияларды күтпекте. Бирақ соны айтыў керек, бундай космослық аппаратлардың гигант Юпитерге қондырылыўы оғада қымбатқа түсетуғынлығына байланыслы оларды оның ири жолдасларының бирине қондырыў хәм қайтадан ушырыў энергиялық көз-қарастан бир қанша арзан турады. Соның ушын да алымлар келешекте бул үлкен планеталық система ағзалары менен жақыннан танысыў мақсетинде гезектеги автомат станцияларды оның «Ай» ларының бирине қондырыўды жобаластырмақта.

## Сатурн

Планета әйемги Римнің ұақыт хәм тәғдир қудайы Сатурн аты менен аталады. Бул планета шығыста Зуҳал, греклерде Кронос аты менен аталып, Қуяш системасының қуралланбаған көз бенен көриў мүмкин болған ең соңғы планетасы болып табылады. Соның ушын Әйемги ұақытлары узақ жыллар Сатурнның орбитасы Қуяш системасының шегарасы деп қаралған.

Сатурн үлкенлиги бойынша тек Юпитерден кейинги орында турады. Оның диаметри 120 мың 800 километр. Қуяштан орташа узақлығы 9,5 астрономиялық бирлик, яғный Қуяштан 1 миллиард 427 миллион километр қашықтықта жайласқан.

Сақыйналы бул планета орбитасы бойынша секундына 9,6 километр тезлик пенен қозғалып, 29 жыл 5 ай 16 суткада Қуяш этирапын бир рет айланып шығады. Сатурнның өз көшери этирапында айланыўы Юпитертики сыяқлы хәр қыйлы кеңликлерде хәр қыйлы. Экватор зонасының айланыў дәўири 10 саат 14 минут, ал полюсқа жақын областлар 10 саат 28 минутлы дәўир менен айланады,

Планетаның экватор тегислиги орбита тегислиги менен  $26^{\circ}45'$  мүйеш жасайды. Сатурн этирапында ени 60 мың километрге шекем, қалыңлығы 10-15 километрге шекем жететуғын сақыйнаның барлығы менен басқа планеталардан кескин парық қылады (сүүретте келтирилген). Бирақ бул сақыйна дәслепп 1610- жылы Г.Галилей тәрәпинен бақланған болса да, алым сақыйнаның хақыйқый формасын белгилеп бера алмады. Буның себеплериниң бири Галилейдиң «қолдан исленген» телескопында көринген сақыйна сүүретиниң сапасызлығы болса, екіншиси усы дәўирде планета Жерге «жанбастан» турғанлығына байланыслы оның сақыйнасы бақлаўшыға перпендикуляр турғанлығында еди. Сатурнның Жерге салыстырғанда бундай «жанбас» тан турыўы Қуяш этирапын бир рет толық айланып шығыўы даўамында еки рет бақланады.

Галилейдиң бул табыссыз урынысынан соң ярым әсир ұақыт даўамында Сатурн сақыйнасы хаққында хеш қандай жаңалық ашылмады. 1657-жылы жас астроном Христиан Гюйгенс өзи соққан телескопын Сатурнға қаратып, оның этирапында шырайлы сақыйнаны көрди.

Сатурн этирапында сақыйнаның бақланыўы көп санлы алымлардың итибарын өзине тартты. Гәп соннан ибарат, сол ұақытларға шекем хеш бир планетаның этирапында сақыйна бақланбаған еди. Усы себептен Сатурн сақыйнасының тәбиятын үйрениў ушын талай астрономлар бирден изертлеў жумысларына киристи. Италиялық Жовани Кассини,

инглиз Роберт Гук, немис Иоган Енке, америкалық Джорж Бонд хәм рус София Ковалевскалар сол алымлардан еди.

1750-жылы Сатурнның сақыйнасы хақында Томас Райт былай жазған еди: «Егер биз Сатурн ды жетерли дәрежедеги қуўатлы телескоп жәрдеминде бақласақ онда сақыйнаның биз жолдаслар деп атайтуғын денелерден бир қанша төменде жатыўшы шексиз көп майда планеталардан ибарат екенлигин байқаған болар едик». Кейинги изертеўлер сақыйна хақындағы Томас Райттың бул гәплериниң дурыс екенлигин тастыйықлады.

1857-жылы белгили инглиз физиги Джеймс Максвелл Сатурнның сақыйнасының монолит болмай, ал қатты бөлекшелердиң жыйнағы екенлигин теориялық жол менен дәлиледи. Көп өтпей Максвеллдиң айтқанлары белгили рус астрофизиги А.А.Белополский хәм америкалық Ж.Е.Клерк тәрәпинен өткерилген экспериментлер тийкарында қуўатланылды. Бирақ, 1934-жылы өзиниң Семей обсерваториясында (Қырым) өткерилген бир қатар нәзик бақлаўлары тийкарында астроном Г.А.Шайн планета сақыйнасының шаңнан куралған деген пикирге қарсы шықты.

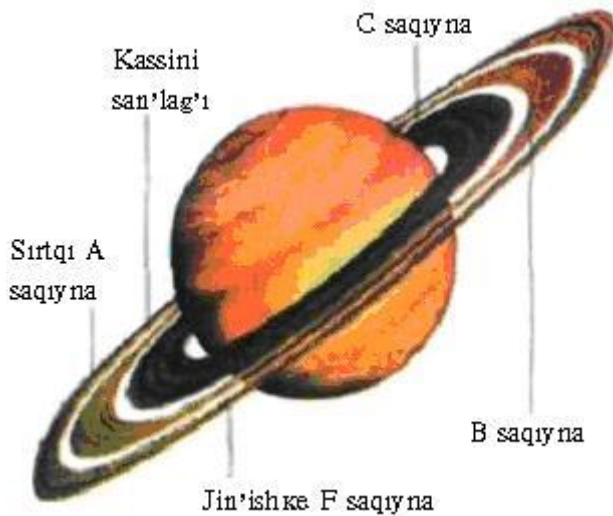
Соңғы жылларға тийисли изертлеўлер планета сақыйнасы хақындағы мағлыўматларды кескин байытты. Сатурнды үйрениўдеги ири қәдем 1979-жылдың 1-сентябринде 6 жыллық планеталар аралық «саяхат» тан соң Сатурннан 21 мың 400 километр қашықтықтан өткен Американың «Пионер-11» автомат станциясы тәрәпинен қойылды. Ол өз бақлаўлары тийкарында сақыйна бөлекшелериниң үлкенликлериниң бир неше сантиметрге шекем барып, орташа шамасының бир сантиметр екенлигин анықлады.

1980-жылдың гүзинде Сатурн қасынан АҚШ тың басқа бир станциясы - «Вояджер-1» өтті. Аўырлығы 825 килограммлы бул станция 1977-жылдың 5-сентябринде «Титан-Кентавр» алып ушыўшы ракета жәрдеминде Жерден Сатурнға қарай жол алған еди. Станцияның планета тусында өтип баратырып алған сүүретлеринде сақыйнаның онлаған, хәтте жүзлеген бир биринен ғәрезсиз сақыйнашалардан дүзилгенлигин хәм оның тегислигинде үлкенлиги 80 километрге шекем болған майда жолдаслардың айланатуғынлығын көрсетти (92-сүүрет). Бақлаўлар планета бетиндеги температураның - 180 °C этирапында екенлигин мәлим қылды.

Сатурн бетинде экваторға параллел ҳалда бақланатуғын жол-жол жолақлар хәм ондағы деталлар Юпитер бетиндеги сондай жолақлар менен деталлардан контрастлылығының кемлиги менен айрылып турады. Улыўма алғанда Сатурн хәр қыйлы үлкенликтеги деталлары менен Юпитерге салыстырғанда бир қанша «гедейлиги» менен парық қылады.

Планета атмосферасында да Юпитертикиндеги сыяқлы метан газы ( $\text{CH}_4$ ) менен биргеликте аммиак ( $\text{NH}_3$ ) ушырасады. Сатурнның бултыларының тәбиятына тийисли машқалаларды шешиўде аммиактың тутқан орнының үлкен екенлигине байланыслы бундай газди планета спектринде табыў жүдә әхмийетли еди. Бирақ планета атмосферасында аммиактың муғдары жүз мыңнан бир бөлимин ғана кураған болса да, онша дәл емес есаплаўлар бундай муғдардың Сатурн атмосферасында аммиак бултыларын пайда қылыў ушын жетерли екенлигин тастыйықлады.

1974- жылы планета атмосферасында этан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) табылды. Сатурнның элементлер бойынша курамы Куяштың курамынан парық қылмай, водород хәм гелий 99 процентти курайды.



Сатурн хэм оның сақыйнасы.

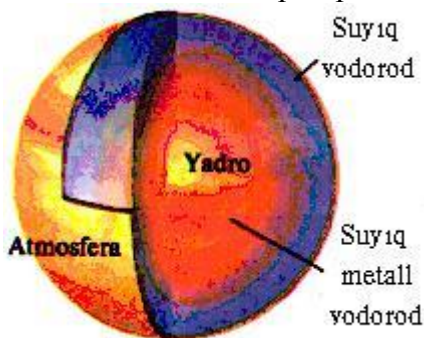


«Вояджер» түсирген Сатурнның сақыйнасы.

Сатурн атмосферасының қалыңлығы 1000 км этирапында болып, оның төменинде водородтың гелий менен араласпасы қатламы жайласқан. Планета радиусының ярымы жақынында температура  $1000^{\circ}\text{C}$ , басым болса 3 млн. атм. ға жақын. Оннан төмениректе 0,7-0,8 планета радиусы бийиклигинде водород металлқ фазада ушырайды. Бул қатлам астында ериген халда Жер массасынан 9 есеге шекем үлкен болған силикатлы-металлқ ядро жайласқан (93-сүўрет).

Сатурнның этирапында сезилерли магнит майданның бар екенлиги дәслеп «Пионер-11» тәрепинен анықланды. Жер хэм Сатурнның магнит майданларының бир биринен паркы соннан ибарат, бул планетаның магнит көшери оның айланыў көшери менен бетлеседи.

1655-жылы сақыйналы планетаның биринши жолдасын да Гюйгенс тапты. Планета жолдасларын табыўда айрықша Кассинидиң излениўлери жемисли болды. Гюйгенстен соң көп өтпей, ол бир биринен соң Сатурнның төрт жолдасын тапты.



Сатурнның ишки дүзилиси.



Сатурнның жолдаслары (ортадағы ең үлкени Титан).

«Сақыйналы гигант» этирапында табылған жолдасларының саны отызға жетти (сүўретте келтирилген). Сатурн жолдасларынан ең үлкени Титан болып, Қуяш системасындағы планеталардың «Ай»ларының үлкенлиги бойынша екнинши орында, яғный Ганимедтен (Юпитердиң жолдасы) кейин турады. Диаметри 4850 километр. 1949-жылда-ақ Ж.Койпер онда метанның «из» лерин көрип, планетаның бул жолдасының қалың атмосфераға ийе екенлигин биринши болып анықлады. Кейинирек, Титан атмосферасында жеткиликли дәрежеде көп муғдарда водородтың бар екенлиги бақланды. 1980-жылы «Вояджер-1» Сатурн тусынан өтип баратырып оның 6 жаңа жолдасын тапты.

Ўақыт хэм тәғдир қудайына тийисли тийкарғы жумбақ оның этирапында бундай ири сақыйнаның пайда болыў тарыйхы болып табылады. Планета сақыйнасының пайда болыўын түсиндириўге бағышланған гипотезалар ишинде француз астрономы Роштың

теориясы дыққатқа миясар. Бул теорияға сәйкес планетаның жолдаслары орайлық планетадан белгили бир критикалық қашықтықтан киши қашықтықта ғәрезсиз жасай алмайды екен. Сатурн ушын есапланған бул критикалық аралық оның еки ярым радиусына (150 мың километрге) тең болып шықты. Соның менен бирге бундай есаплау егер планета жолдасларының бири оған усы қашықтықтан жақын келсе планетаның тартыу майданы жүзеге келтирген тасыу күшлери тәсиринде набыт болыу жүзеге келип, майдаланып кетеуғынынан дерек береді. Есаплаулар жолы менен дөретилген бул теорияға байланыс-лы Сатурнның сақыйнасы әйемги уақытлары планета жолдасларының бириниң «абайла-май» оған жақын келгенлигине байланыс-лы майдаланып кетиуиниң ақыбети болып табы-лады.

## Уран

Уран планетасы тийкарғы кәсиби музыкант болған, кейин белгили астроном дәрежесине көтерилген В.Гершел тәрепинен 1781-жылы тосыннан табылды. Мәлим, планета ашылғаннан шама менен жүз жылдай бурын-ақ бақланып келинген екен. Бирақ астрономлар хәр дайым оған гүнгирт бир жулдыз деп қарап, артықша итибар бермеген екен. Планета орбитасын биринши болып Петербурглық академик А.И.Лексел есаплады.

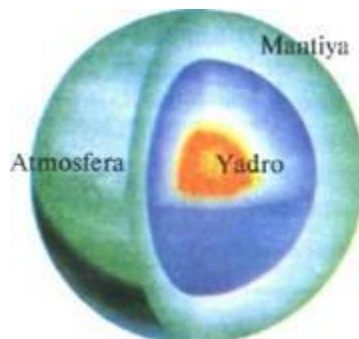
Уранның диаметри 49 мың 600 километр, массасы Жердің массасынан 14,6 есе үлкен, орташа тығызлығы болса  $1,60 \text{ г/см}^3$ . Бул планета Қуяштан орташа 19,2 астрономиялық бирлик қашықтықта оның этирапында айналады.

Уранның орбиталық тезлиги секундына 6,8 километрди курайды хәм Қуяш этирапында 84 жылы бир рет айланып шығады. Бирақ планета өз көшери этирапында салыстырмалы тез айналады - суткасының узынлығы 10 саат 49 минут.

Планета бетиниң деталларын көрип болмаса да, бирақ онда дәуірли рәуиште бет жақтылығының өзгерип турыуы анық сезиледи.

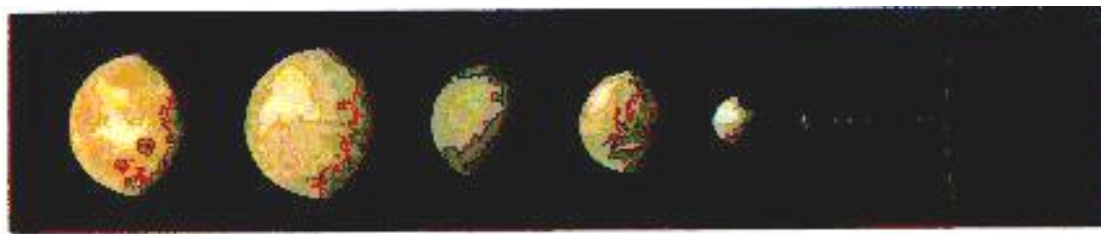
Планетаның экватор тегислиги орбитасы тегислигине 98 градуслы мүйеш жасайды, оның айланыу бағдары Венераники сыяқлы барлық басқа планеталардың айланыу бағдарына қарама-қарсы болады. Бул хал өз гезегинде планетада жыл мәусимлериниң хәм күндиз бенен түнниң алмасыуларына қызық бир түс береді. Соның ишинде сексен төрт жыллық Уран «жылы» ның 21 жылы дауамында Қуяш бәркулла горизонттан көтерилип турады. Планетаның белгили бир ярым шарында жаз да бир неше жыл дауам етеді. Бирақ Қуяштың тәсири оған шекем жақсы жетип бармайды. Себеби Уран аспанында Қуяш диски тек 2 мүйешлик минутына жақын мүйеште көринеді. Уран бетин радионурлар тийкарында өлшеулер оның орташа температурасының  $-200^{\circ}\text{C}$  екенлигин көрсетеді.

Уран, тийкарынан водород пенен гелийден куралған болып, онда метанның да бар екенлиги анықланды. Уранның ишки дүзилисин алымлар ерисилген мағлыұматлар тийкарында 95-сүүреттегидей етип сәулендиреди.



Уран «жанбас» планета (оның ишки дүзилиси).





**Oberon      Titaniya      Umbriel      Ariel      Miranda**

Уранның жолдаслары - Шекспир қахарманлары.

Бұл планетаның табылған жолдасларының саны жигирма бірге жетті. Солардың екі ең ириси Гершел тәрәпинен ашылып, Титания хәм Оберон деп ат берілген. Биринши рет бұл атлар француз эпосында XII әсирден соң ушырайды. Кейинирек, В.Шекспирдің «Жаздағы таңдағы түс» комедиясының қахарманларының атлары менен аталғанынан кейін, олар бәршелер тәрәпинен қабыл етилди.

Уранның бұл жолдаслары табылғаннан соң 64 жыл өткеннен кейін астроном Лексел планетаның және екі жолдасын тапты. Бұл екі жолдас та Шекспир шығармасы қахарманларының атлары менен Умбриел хәм Ариел деп аталды. 1948-жылы Ж.Койпер Уранның бесинши жолдасын тапты хәм жоқарыдағыларға сәйкес, Шекспирдің «Боран» ерте-пьесасының қахарманы - Миранда аты менен атады. Уранның 80- жыллары «Вояджер» космослық аппараты жәрдемінде табылған бир неше жолдаслары да дәстүрге сәйкес Шекспир шығармаларының қахарманлары аты менен аталды (96-сүўрет).

Планетаның табылған жолдаслары да оның этирапында планетаның айланыў бағыты менен бирдей бағытта айналады. Айланыў тегисликтери Уранның экватор тегислигине жүдә жақын.

## Нептун

1820-жылға шекем Қуяш системасы тийкарынан төмендеги жети планета - Меркурий, Венера, Жер, Марс, Юпитер, Сатурн хәм Уран хәм олардың жолдасларынан қуралған деп есапланатуғын еди.

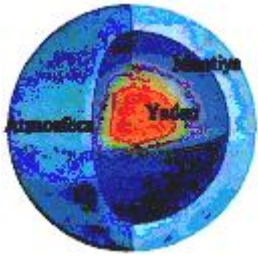
1820- жылы Парижлик астроном А.Бувар Юпитер, Сатурн хәм Уранның координаталарының кестесин жүдә үлкен дәллик пенен есаплады. Бирақ он жыл өткеннен кейін Уран алдыңғы есапланған өз орнына 200" лы мүйешке бурылып кеткен. Және он жыл өткеннен кейинги бурылыў 90" қа, 1846- жылға келип болса 128" қа жетти. Астрономлар Уранның қозғалысындағы бұл аўытқыў оның орбитасынан сырттағы басқа бир планетаның тәсирине байланыслы деген қарарға келди.

Бундай қурамалы математикалық мәселени шешиў ушын бир ўақытта бир-биринен бийхабар халда екі астроном «бел байлады». Булардан бири француз математик У.Леверье, екиншиси болса жас англиз астрономы Ж.Адамс еди. 1846-жылы математикалық есаплаўлар тийкарында планетаның орнын аныклап У.Леверье телескоплық жулдызлардың толық картасы бар болған Берлин обсерваториясы хызметкерлерине планетаны бақлаўды сорап өтиниш қылады. 1846-жыл 23- сентябрь күни бұл обсерваторияның астрономы профессор Галле планетаны Леверье айтқан орыннан тек бир градус қашықтықтан тапты. Планета теңиз хәм океанлар қудайы Нептун аты менен аталды.

Бұл планета аспанда «қуралланбаған» көз бенен көриў мүмкин болған ең гүңгирт жулдыздан алты есе гүңгирт болып көринеди. Бирақ соған қарамастан оны бир қаншама күшсиз телескоп пенен де көриўге болады.

Қызығы соннан ибарат, Нептунның ашылыўынан бир қанша бурын 1795-жылы 8- хәм 10-майда алынған фотопластинкаларда оны екі рет астроном Лаланд бақлады. Бирақ ол планетаны гүңгирт бир жулдыз деп, ал екі суткада алынған фотопластинкалардағы орын

алған планетаның жылжыуын болса өлшеудің қәтелигинен деп түсинди. Егер сол ўақытлары Лаланд нәтийже шығарыўға асықпай бир-еки күн бул «гүңгирт жулдызша» ны дыққат пенен бақлағанда ол Нептунды Леверье менен Галледен ярым әсир бурын тапқан болар еди!



Нептунның ишки дүзилиси ҳәзирги ўақытлары усындай етип сәўлелендириледі.



Нептунның жолдаслары (ортадағы ең ири жолдасы Тритон).

Нептун Ураннан бираз ғана үлкен балып, оның диаметри 50 мың 100 километр. Тығызлығы хәр куб сантиметрде 1,6 грамм. Қуяштан орташа узақлығы 30,1 астрономиялық бирлик. Массасы Жердің массасынан 17,2 есе үлкен. Планетаның орбиталық тезлиги секундына 5,5 километр болып, Қуяш әтирапында айланыў дәўири 164 жыл хәм 280 сутка. Нептун өз көшери әтирапында 15,8 саатта бир рет айланып шығады.

Спектроскопиялық бақлаўлар Нептунда водород хәм метанның бар екенлигин көрсетеди. Планета тығызлығының Юпитер менен Сатурнның тағызлығынан артықлығы оның қурамында аўырырақ элементлер бар деген жуўмаққа алып келди (сүўрет).

1846-жылы астроном Лассел Нептунның үлкен бир жолдасын тапты хәм оған теңиз қудайы Посейдонның улы Тритонның атын берди. Тритон жүдә массалы болып, диаметри 4500 километрге шекем келеди. Тритон, Нептуннан орташа 383 мың километр қашықлықта планетаның айланыў бағдарына кери орбиталлық қозғалыс пенен айланады. Соның менен бирге планетаның бул ири жолдасы бир қанша қалың атмосфера менен де қапланған.

1949-жылы планетаның басқа бир жолдасын Койпер тапты хәм оған әййемги греклердің мухаббат қудайы Нерей қызының аты Нереида аты берилди. Оның диаметри 300 километр.

«Вояджер-2» космос аппараты 1989-жылы Нептунға жақынлады. Бул аппарат тәрепинен табылған оның бир неше жолдасы сүўретте келтирилген.

## Киши планеталар

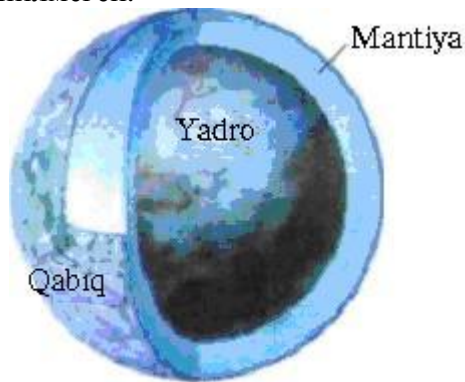
### Плутон

Халық аралық астрономлар союзы өзиниң 2006-жыл август айында болған мәжилисинде Плутонды планеталар қатарына шығарды хәм киши планеталар қатарына қосты. Сонлықтан биз ендигиден былай Қуяш системасында 8 планета бар деп есаплаймыз.

Леверьениң табысларынан илхамланған англиз астрономы Форбс 1880-жылы-ақ Нептуннан узақта хәм Қуяш семьясының ағзаларының болыуын гүман қылып, оның орнын есаплаўға киристи. Қурамалы есаплаўлар нәтийжесинде астроном мәлим емес планетаның орнының Тәрези (Мизон) жулдызлар топарында екенлигин анықлады. Форбс оны излеп бир неше түнлерди уйқысыз өткерди, аспанның бул бөлиминиң сүўретлерин алды хәм қолда лупа менен фотопластинкалардан сыртқы планетаның «автограф» ын тыным таппай изледі. Бирақ барлық урыныўлар пайдасыз болып шықты. Нептунның арғы тәрепиндеги планета көзге илинбеди. Оның менен бир ўақытта бул иске кирискен басқа бир астроном - Тоддтың тырысыўлары да нәтийжесиз болып шықты.

Әсиримиздің басында транснептунның орны менен астроном П.Ловелл қызықты. Оның математикалық есаплаулары соншама курамалы еді, бул есаплаулар алдында Леверьениң есаплаулары әдеттегі арифметикалық есаплаулар болып шықты. Бірақ алынған фотопластинкаларда планетаны көріу Ловеллге де несип етпеген екен. Ол 1930-жылы қайтыс болды. Тап усы жылы 13-март күні Ловелл обсерваториясының жас астрономы К.Томбо алынған фотопластинкалардан транснептунды ізлеп тапты хәм Ловеллдің есаплап тапқан планета орнының жүдә үлкен дәллікке ийе екенлигине исеним пайда етті. Атап өтилетуғын жери сонда, Ловелл қайтыс болғаннан кейин ол алған фотографиялар дыққат пенен изертленгенде олардың бир нешесінде Плутонның көрингенлиги белгили болды. Тилекке қарсы Ловелл планетаның айқын түрде көриниуи керек деген гүман менен Плутонның гүңгирт жұлдызша түріндеги сүүретин итибарсыз қалдырған.

Плутон көз илетуғын ең гүңгирт жұлдызлардан да 4 мың есе гүңгирт айқынлыққа ийе. Оның орбитасы жүдә созылған эллипс тәризли болып, перигелийде (Қуяшқа ең жақын келгенде) Қуяшқа Нептуннан да жақынырақ келеди. Афелийинде (орбитасының Қуяштан ең узақтағы ноқатында) Нептун орбитасынан сәл кем 3 миллиард километр арыға кетеди. Планетаның Қуяштан орташа узақлығы 5,9 миллиард километрди (39,5 астрономиялық бирлик) қурайды. Егер бундай үлкен қашықтықтан турып Қуяшқа нәзер тасланса, ол кишкене жақтыртқыш ноқатына айланып, планета бетин Жердің бетине салыстырғанда шама менен 1600 есе кем жақтыртатуғынлығы анық болады. Бетиндеги температурасы  $-220^{\circ}\text{C}$  этирапында болған бул планетаның физикалық тәбияты да усыған байланысly жақсы үйренілмеген.



Плутон хәм оның ишки дүзилиси.

Плутонның диаметри анық өлшенген жоқ. Есаплаулар оның 2500 километрден үлкен емеслигин көрсетеди. Оның жақтылығы 6,4 суткалық дәуір менен өзгерип турады хәм бул ўақыт планетаның өз көшери дөгерегиндеги айланыў дәуири деп қабыл қылынған. Планетаның ишки дүзилиси сүүретте келтирилген. Оның диаметри 1770 км ли ядросы тийкарынан тас жыныслар хәм муздан куралған. Оның үстинде  $-240^{\circ}\text{C}$  ли суў-музлы мантия қатламы бар болып, планета бети бир неше километрлик қалыңлықтағы музлаған метан менен оралған.

Бул планетаның өз орбитасы бойынша тезлиги барлық басқа планеталартикинен кем болып, секундына 4,7 километрди қурайды. Плутон жылының узынлығы болса 248 Жер жылына тең.

Плутон орбитасының тегислиги Жер орбитасы тегислиги менен жүдә үлкен  $17^{\circ}$  лы мүйешти пайда етеди. Нәтийжеде ол қозғалысы даўамында белгили бир дәуір ишинде басқа планеталарда болмайтуғын зодиак жұлдыз топарлары шегараларынан шығып кетеди.

Плутон этирапында табылған бир ғана жолдас Харон, планетадан 18-20 мың километр узақта турып, оның этирапында 6,4 суткада бир рет айланып шығады. Алымлар оның диаметрин 1200 километрден кем емес деп бахалайды.

1596-жылы басылған «Космография сырлары» шығармасында Иоганн Кеплер Марс пенен Юпитердің арасында және бир планетаның болыуы керек деген болжаў айтқан еді.



Кеплердің бул гипотезасы еки әсирден соң планеталардың Қуяштан орташа узақлықтарын тәриплеуши әжайып эмпирикалық (тиккелей бақлаулардан анықланған) нызамлықтың ашылуы менен тастыйықланды. 1772-жылы Виттенберглік астроном Иоганн Тициус планеталардың астрономиялық бирликлерде аңлатылған үлкен ярым көшерлері

$$a=(0,4 + 0,3 \cdot 2^n) \text{ а.б.}$$

катнасының жәрдеминде табылатуғынлығын анықлады. Бул жерде  $n = -\infty, 0, 1, 2, 3, \dots$  мәнислеріне ийе болады.

Төмендеги кестеде планеталар орбиталарының үлкен ярым көшерлеринин жокарыдағы формула жәрдеминде табылған шамалары олардың Қуяштан хақыйқый узақлықтары менен салыстырылған.

Кесте

Қатар саны	Планета	n	Планетаның Титсиус формуласы жәрдеминде есаплаған үлкен ярым көшери (а.б.)	Планетаның Қуяштан хақыйқый орташа узақлығы (а.б.)
1	Меркурий	$-\infty$	0,4	0,4
2	Венера	0	0,7	0,7
3	Жер	1	1,0	1,0
4	Марс	2	1,6	1,52
5	?	3	2,8	-
6	Юпитер	4	5,2	5,2
7	Сатурн	5	10,0	9,5

Титсиустың формуланы ашыуынан хабары болған Берлинлик астроном Иоганн Боде бул эмпирикалық катнасты қайта көрип шығып, туурылығына исеним пайда етти хәм оны кең таркатыуда үлкен хызмет көрсетти. Соннан соң бул нызамлылық Титсиус-Боде нызамы аты менен дүньяға белгили болды. Нәтийжеде бул нызамлылыққа байланыслы Марс пенен Юпитердің аралығында Қуяштан орташа 2,8 астрономиялық бирлик қашықтықта және бир планетаның болуына енди көпшилик астрономлар гүман қылмайтуғын болды.

Төрт жыллық системалы қыдыруы ислери дурыслы нәтийже бермеди. Биринши болып Қуяштан шама менен 3 а.б. қашықтықта орын алған планетаны Палермо (Сицилия) обсерваториясының директори Джузеппе Пиацци 1801-жылдың 1-январындағы түнде Савр жұлдыз топарынан тапты.

Пиацци планетаны бир айға шекем бақлап, январдың ақырларында өзи ашқан жаңалық хаққында Берлинге хәм Миланға (Италия) хат жоллады. Бул дәуірде Наполеон урысы хәуиж алған пайыт еди. Сонлықтан оның хатлары марттың ақыры, апрелдің баслаында гөзленген мәнзиллерге зорға жетип барды. Бирақ бул айларда Пиацсының тапқан биринши киши планетасы Қуяшқа жақынласып, оның жақтысы астында көринбей қалды. Көп тырысулардан соң 1801- жылдың соңғы таңы және жаңа жыл түнинде «жоғалған» бул планетаны немис астрономы Олберс Сунбула жұлдыз топарында қайтадан тапты. Оған Серера деп ат қойылды. 1802-жыл 28-мартда берлинлик астроном Олберс Серерани қайта бақлау барысында оған жақын орында және бир таныс болмаған жұлдызшаға көзи түсти. Еки саатлық бақлау бул объекттиң жұлдызлар фонында жылжытуғынлығын көрсетти. Нәтийжеде Қуяш семьясына және бир киши планета қосылды хәм ол Паллада деген ат алды. Бирақ Паллада орбитасының үлкен ярым көшери де 2,8 а.б. үлкенликтеги шамаға ийе болса да, бирақ оның орбита тегислигинин Жер орбитасы тегислигине салыстырғанда айтарлықтай үлкен мүйеш -  $34^\circ$  қа қыяланған халда екенлиги мәлим болды.

1804-жыл 2-сентябрде Хут жұлдыз топарында астроном Гардинг кейинирек Грека деп ат қойылған киши планетаны, 1807- жыл 29- мартта болса Олберс төртинши астероид – Вестаны ашты.

Буннан соң Марс пенен Юпитердің аралығында әйемги ұақытлары белгисиз бир планета набыт болған деген гипотезаға астрономлар және де көбирек исеним пайда қыла баслады. Бул болса өз гезегинде Марс пенен Юпитер аралығында еле ашылмаған майда планеталар көп деген жуўмақты берди. Онлаған астрономия ышқпазлары түнлерди уйқысыз өткизип киши планеталарға «қармақ таслаўды» даўам етти. Бирақ бул урыныслардың көпшилиги пайдасыз кетти. Тек 1845-жылға келип 15 жыллық тынымсыз излениўлер астрономия «ышқыпазы» - почта чиновниги Карл Генкени жаңа астероид менен сыйлықлады. Бесинши бул киши планета Астреи деп аталды. Бул ўақыядан кейин соң киши планеталардың ашылыўы тезлесип кетти. Кейинги он жыл ишинде олардың саны 36 ға, 1890-жылға келип болса 302 ге жетти.

Дәслеп майда планеталар әйемги рим эпсаналарының қахарманлары, қудайлардың атлары менен аталды. Соңынан олардың саны жүдә көбейип кеткенликтен олардың 45-синен баслап әдеттеги хаяллардың атлары, кейинирек болса астероидларға философия, геометрия, юстиция сыяқлы илимий атлар хәм географиялық атлар белгилене баслады.

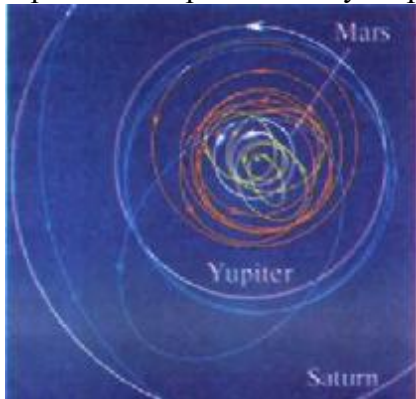
Урыс жылларында Китоб Халық аралық кеңлик станциясында ислеген Семей (Қырым) обсерваториясы хызметкери, профессор Г.Неумин тапқан астреоидлардың бирине (қатар саны 1351) «Өзбекстания» деген ат берилди.

Майда планеталарға тийисли және бир қызық гәп соннан ибарат, олардың биразы табылғаннан кейин орбиталарын есаплаўға үлгермей турып-ақ жоғалтып қойылды. Усындай халда «жоғалған» киши планеталардың планеталардың саны мыңнан артық. XX әсирдің биринши бес жыллығы (1901-1905 жыллар) аралығында табылған 300 майда планетаның ишинен 179 планета жоғалтып алынды. 1936-1940 жыллар даўамында табылған 1176 астероиддан болса дизимде тек 136 астероид бекем орын алды.

Бундай аўхаллардың алдын алыў ушын 1873- жылда Берлин есаплаў институты шөлкемлестирилди хәм ол 1945- жылға шекем киши планеталарды дизимге алыў орайы болып хызмет етти. Урыстан кейин бул ўазыйпаны 1920-жылы шөлкемлестирилген Санкт-Петербург теориялық астрономия институты өзиниң жуўапкершилигине алды. Бул институттың аспан денелери орбиталарын есаплаўға тийисли кестелери пүткил дүнья астрономиялық обсерваториялары тәрепинен пайдаланылады.

Орбиталары есапланып, майда планеталардың дизиминен бекем орын алған астероидлардың саны хәзирге келе 2000 ден артып кетти.

Астероидлар ишинде ең ирилериниң өлшемлери де Жердің радиусы менен салыстырғанда жүдә киши болып шығады. Олардан ең үлкенлери - Церера (көлденең кесими 1000 км), Паллада (610 км), Веста (540 км) хәм Гигея (450 км). Тек 14 киши планетаның көлденең кесими 250 км ден артық, қалғанлары болса бир қанша киши, ең кишилериниң кесими 1 км этирапында (Гермес). Астероидлардың массалары  $1,4 \cdot 10^{21}$  кг нан (Церера), яғный Жер массасынан 4,4 мың есе киши,  $10^{12}$  кгға (Гермес) шекем барып, орташа тығызлығы  $2 \text{ г/см}^3$  тан (таслы астероид)  $7-8 \text{ г/см}^3$  қа шекем (темир-никелли астероид) барады. 100-сүўретте бир топар астероидлардың Қуяш этирапындағы орбиталарының өз-ара жайласыўы сүўретленген.



Бир топар киши планеталардың орбиталары.

Астероидлардан Икар, Гермес, Эрос хәм Адонислар Жерге дәуірли рәуиште жақынласып турады. Бул жағдайда Олар Жерге 6 млн км ден 23 млн км ге шекем жақынласып, Жер ушын үлкен қәуип туўдырады.

Бирақ астероидлардың Жерге дәуірли рәуиште бундай жақынласып турыўынан қәуетерлениўдиң кереги жоқ. Себеби бундай астероидлардың орбиталарының есаплаўлары менен Халық аралық Астрономиялық Союздың бир топар алымлары турақлы түрде шуғулланады. Сонлықтан планетамыз бенен бир астероидтың соқлығысыў итималлығының жүз бериўин олар бир неше жыл алдын ала ескерте алады. Бундай ескертиў тийкарында планетамыз Жерди астероид пенен соқлығысыўдың ақыбетинде набыт болыўдан қутқарып қалыўдың ҳәр қыйлы жолларын алымларымыз таўып қойған.

## Кометалар

«Комета» - грекше сөз болып, «шашлы» деген мағананы аңлатады. Кометаларға «шашлы» ямаса «қуйрықлы жұлдызлар» деген ат олардың Қуяшқа жақын өтип баратырғандағы көринислерине сәйкес берилген болып, тийкарында қозғалыслары даўамында олардың сыртқы пишинлери кескин өзгерип турады. Мысалы комета Қуяштан жүдә узақ қашықлықта болғанда (сол ўақытта комета планетамыздан да узақ қашықлықта турады) оның тийкарғы массасы белгили бир формаға ийе ядро деп аталыўшы белиминде жыйналған болып, гүңгирт жұлдызша тәризли көзге тасланады. Ол Қуяшқа жақынласқан сайын ядро этирапын кома деп аталыўшы сийрек газ булты орайды. Соның менен бирге бул дәуирде комадан Қуяшқа қарама-қарсы тәрепке карап жақты болып көринетуғын «қуйрық» созылады (сүўретте көрсетилген).

Комета Қуяшқа жақынласқан сайын кометаның диаметри де, «қуйрығы» ның узынлығы арта береді. Қызығы соннан ибарат, диаметри шама менен миллион километрге шекем болған комета ядросын ораўшы кома да, узынлығы бир неше жүз миллион километрге шекем жететуғын «қуйрық» та үлкенлиги тек бир неше километр келетуғын музланған киши ядродан, оның Қуяш температурасынан қызыўының себебинен ажыралып шығады.

Кометаның ядросы кома менен биргеликте оның басы деп аталады. «Бас» хәм «қуйрық» тан қуралған бул «жұлдыз» өзін илимге хәзирги ўақытлардағыдай етип таныстырғанға шекем өзиниң көриниўи менен адамларды көп тәшўишлерге салған аспан денелериниң бири болып есапланады.

Хәтте XVII әсирде Шығыста тарқалған «Кәраматлар тарийхы» топламында да «қуйрықлы жұлдызлар» қудай ғәзебиниң елшилері деп талқыланған. Мысалы еслетилип өтилген «тарийх» та мынадай сөзлер келтирилген: «Комета бахытсыз қубылыслардың анық белгиси болып хызмет етеди. Хәр дайым адамлар Айдың тutyлыўын, кометаны көргенде Жердиң силкиниўи, суў алыў хәм соған уқсас бахытсызлықлар жүз берип, буннан соң көп өтпей қорқынышлы ўақыялар - қан төгиспелер, адам өлтириўлер, уллы монархлардың өлими, сатқынлықлар, империя менен патшалықлардың қыйраўы, ашлық, қымбатшылық, қуласы бир сөз бенен айтқанда, инсаниятты бахытсызлық өзиниң қысқысына алады. Соның ушын ҳеш ким қыямет хәм қорқынышлы сүрен жақынлап киятырғанда, анығырағы, аспанда турып есик қағып дерек бериўши самалдың бул елшилериниң хабарларының дурыслығына гүманланбаслық керек».

Жақын жылларға шекем де комета бахытсызлық елшиси деп есаплайтуғынлар табылып туратуғын еди. Илимде болса сәл кем XVI әсирдиң ақырларына шекем кометалар Жер атмосферасындағы жасыл ямаса полюс сәўлеси сыяқлы қубылыслардың бири деп қаралар еди. 1577-жылы белгили Даниялық изертлеўши, астроном Тихо Браге бақлаўлар тийкарында кометалардың планеталар арасында қозғалыўшы аспан денелери екенлигин тастыйықлады. Буннан соң көп өтпей XVII әсирдиң басларында И.Кеплер хәм Г.Галилей «қуйрықлы жұлдызлар» Қуяш системасын туўры сызық бойынша кесип өтеди хәм кейин оған пүткиллей қайтпайды деп болжады.

Комета көринислериниң өзгериюнде оның қозғалыс траекторияларын үйрениў әҳмийетли орын тутады. Бул бағдарда Браге хәм Кеплерден соң белгили поляк астрономы Гевелийдиң хызмети үлкен болды. Кометалар ҳаққындағы өз изертеўлери тийкарында Гевелий кометалардың траекторияларының иймек сызықтан ибарат екенлигин анықлады. 1681-жылы Георг Дерффел кометалардың орбиталарының парабола түринде болып, олардың фокусында Қуяштың туратуғынлығын анықлады. Кометалар қозғалысының параболалық орбиталар бойынша бақланыўын уллы инглиз физиги Ньютон сыпатлады.

Бақланған барлық кометалардың орбиталарын басқа бир инглиз алымы, Ньютонның шәкирти Эдмунд Галлей есаплады. Ол 1337-жылдан 1698- жылға шекемги дәўирде бақланған 24 комета ҳаққында мағлыўматлар жыйнап, олардың орбита элементлерин өз ишине алатуғын каталогты 1705-жылы баспадан шығарды.

Қызығы сонда еди, бул кометалардан үлкениниң, анығырағы 1531-, 1607-, 1682- жыллары бақланғанының орбита элементлери дерлик бирдей болып шықты. Бул халдың тосыннан емес екенлигине терең исенген Э.Галлей 1705-жылы былай жазды: «1531-жылы Апиан тәрәпинен, 1607-жылы Кеплер хәм Лонгомонтан тәрәпинен бақланған комета, 1682-жылы мен өзим бақлаған кометаның өзи болыўы керек деген пикир маған тынышлық бермей тур. Бул үш кометаның элементлери бир бирине дәл сәйкес келеди. Соның ушын мен бул кометаның 1758- жылы қайтып келиўин исеним менен айта аламан. Егер ол қайтып келсе ол халда басқа кометалардың да Қуяшқа қайта қайтып келетуғынларына (яғный дәўирлигине) гүман қалмайды».

Алым көп жаңылыспаған еди. Галлей болжаған «қуйрықлы жұлдыз» 1759- жылдың 12- мартында перигелийден өтті. Кометаны биринши болып 1758- жылдың 25- декабрде Дрезден этирапында жасаўшы дийхан - астрономия ышқыпазы Г.Палич көрди.

Францияда биринши болып кометаны 1759-жылдың 21-январында Париж теңиз обсерваториясының хызметкери Мессие көрди.

Солай етип Галлейдиң болжаўы табыслы түрде тастыйықланды. Бул болса өз гезегинде, Ньютонның пүткил дүньялық тартылыс нызамының дурыслығын дәлилледі. Нәтийжеде Қуяш системасының ағзасы екенлиги тастыйықланған комета оны ашыўшысының хұрметине Галлей деп аталатуғын болды. 102-сүўретте Галлей кометасының 1986-жылы Қуяшқа жақын областлардан гезектеги өтиўи пайытында Өзбекстан Илимлер Академиясының Астрономия институты хызметкерлери тәрәпинен түсирилген фотосүўрети келтирилген.

Хәзирги заман комета астрономиясының тийкарын салыўшылардан саналған рус изертлеўшиси Ф.А.Бредихин XIX әсирдиң екінши ярымында барлық тийкаргы комета кубылысларын түсиндире алатуғын механикалық теорияны дөретти. Бул теорияға сәйкес Қуяштың кометаға тәсир етиўши тартылыс күшинен бир неше есе артық үлкенликке ийе болған ийтериў күшиниң де бар екенлиги табылды. XIX әсирдиң орталарында инглиз физиги Дж.Максвелл жақтылық нурының ағымының оның жолына қойылған тосқынлыққа басым түсиретуғынлығын теориялық жол менен анықлады. Бирақ бул басымның муғдары жүдә киши болып, оны тәжирийбеде көрсетиў жүдә үлкен өнерди талап етті. 1900- жылы рус алымы Н.Н.Лебедев тәрәпинен бундай нәзик тәжирийбе шеберлик пенен орынланды. Тәжирийбениң көрсетиўинше нурдың басымы ҳақыйқатында да бар болып, оның әсиресе сийрек газ молекулалары ямаса майда шаң бөлекшелерине түсиретуғын шамасы сезилерли дәрежеде үлкен екен.

Нурдың бундай басымына сүйенип комета қуйрығындағы сийрек газлердиң Бредихин болжаған ийтериўши күшлери тәсиринде Қуяштан кери тәрәпке созылғанлығын түсиндириў қыйын болмады.

Кометалардың ядросы музлаған газлер хәм оларға жабысқан хәр қыйлы өлшемлердеги шаң, тас хәм металл бөлекшелерден қуралады. Музлаған газ аммиак, метан, карбонат ангидриди, циан хәм азоттан ибарат болып, комета Қуяшқа жақынласканда ядро оның тәсиринде интенсив түрде пуўлана баслайды хәм ядро этирапында қалың газ қатламы – команы пайда етеди. Қуяштың ультрафиолет нурлары команы кураған газ молекулаларын

«оятады». Нәтижеде команың спектрінде оны қураған нейтрал газлердің (азот, циан, карбонат ангидриды, метан хәм басқалар) жарық жолақты пайда етеди.

Жоқарыда еслетилип өтилгендей кометалардың қуйрықлары Қуяш нурларының басымы хәм Қуяш «самалы» ның (корпускуляр бөлекшелердің ағымы) тәсирінде пайда болады. Комета Қуяшқа жақынласқан сайын комаға газ бенен шаңның интенсив түрде айрылып шығыуының нәтижесінде оған тәсир етиўши басым күши де артып, кометаның қуйрығы күн сайын созыла барады.

Кометаның қуйрығын қураған газ хәм шаң әдетте жүдә сийрек болады. Қуяштың ультрафиолет нурлары тәсирінде газ молекулалары ионласады хәм бөлинип нурланады. Соның ушын бундай газли қуйрықлардың спектрінде ионласқан азот, карбонат ангидриды хәм  $\text{CO}_2$  газының эмиссиялық сызықлары пайда болады.

Шаңлы комета қуйрықларының спектри Қуяш нурларының оларда шашырағанлығына байланысly Қуяш спектри менен бирдей болады.

Комета массасының тийкарғы бөлими оның ядросында топланған болып, ең ири кометаларда да ол Жердің массасының жүз миллионнан бир бөлиминен артпайды. Команың тығызлығы болса тек болғаны  $10^{-12} - 10^{-13} \text{ г/см}^3$  ты қурайды. Комета бас бөлиминиң диаметри оның массасы хәм Қуяштан узақлығына байланысly 25 мың км ден (гүңгирт кометаларда) 2 млн. км ге шекем (жарық кометаларда), қуйрық бөлими болса 150 млн. км ге шекем барады. Кометаларға тийисли бул мағлыўматлардың көпшилиги 1986-жылы Қуяш жанына Галлей кометасының гезектеги өтиўи барысында «Джотто» (Уллы Британия), «Планета» (Япония) хәм «Вига» (бурынғы Союз) автомат станциялары жәрдемінде алынды.

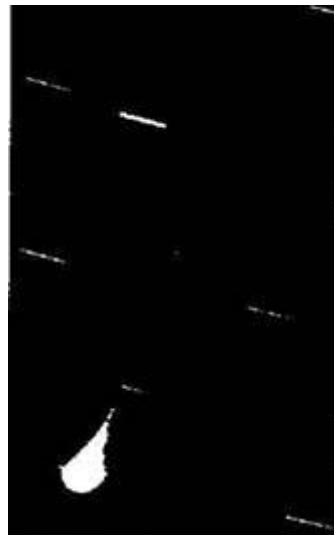
Әдеттеги көзге көринетуғын кометалар жүдә кем ушырасып, хәр бир неше жыл даўамында орташа биреўи ғана көринеди. Бирақ оларды телескоплар жәрдемінде астрономлар дерлик хәр жылы бақлайды.

1950- жылға шекем 1500 дан артық комета есапқа алынды. Олардың 400 ге жақыны телескоплар пайда болғанға шекем, қалғанлары болса телескоплар жәрдемінде ашылған.

Астроном Болденның «Комсты до начала 1948 года» китабында бақланған 1619 «қуйрықлы жулдыз» хаққында мағлыўмат келтирилген. Егер 1948- жылдан 1972-жылға шекем бақланған кометалар бул санға қосылса, онда бақланған кометалардың саны 1834 ға жетеди. Әлбетте булардың ишинде қуралланбаған көз бенен бақланғанлары жүдә аз. Дәўирли кометалардың бир топарының Қуяш этирапындағы айланыў орбиталары сүүретте келтирилген.



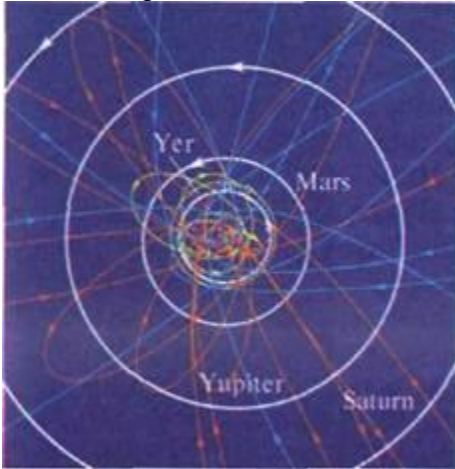
«Қуйрықлы жулдыз» - кометаның көриниси.



1986-жылы Галлей кометасының Қуяштың жанынан өтиўи.

Кометалар қайсы орынларда «туўылады»? бул сораў кометалар мәселесінде еле толық шешилмеген, жумбақларға бай сораўлардан болып есапланады. Биринши болып бундай сораўға Лаплас жуўап бериўге умтылды. Ол өзиниң «Әлем системасының баянламасы»

шығармасында кометалар «... думанлықтарды қураған затлардан жүзеге келип, Қуяш системасына сырттан келеді» деп жазған еді.



«Куйрықлы жұлдыз» лардың бир топарының Қуяш этирапындағы орбиталары.

1929-30- жыллары рус алымы С.К.Всехсвятский қысқа дәуірлі кометалардың хәр гезектегі көринислеріндегі жақтылықтың өзгериўин үйрениўлер тийкарында олардың жасының бир неше онлаған жылдан бир неше жүзлеген жылға шекем барыўының мүмкинлигин анықлады. Бул дәлиллер өз гезегінде қысқа дәуірлі кометалар Юпитер системасының шегарасында туўылатуғынлығынан дерек береді. Бул дәлиллерге сүйенген ҳалда өз изертлеўлери тийкарында С.Всехсвятский қысқа дәуірлі кометалар Юпитер ямаса оның жолдаслары туратуғын материядан пайда болады деген гипотезаны ортаға таслады. Бирақ көплеген параболалық орбитаға ийе болған узын дәуірлі кометалардың пайда болыўын бундай гипотеза тийкарында түсиндириўге болмайтуғынлығы, олардың Қуяш системасына сырттан келиўи ҳаққындағы гипотезаны қабыл қылыўды талап етеді.

Голландия астрономы Й.Оорт жақында өткерилген өз изертлеўлери тийкарында бундай кометалардың дереги Қуяш системасын орап турыўшы хәм Қуяштан шама менен 20 мың астрономиялық бирликке шекем созылған шегара ишинде жатыўшы үлкен көлемли комета бултылары деген жуўмаққа келди.

Көпшилик «куйрықлы жұлдызлар» орбиталарының перигелийлеринин Қуяштан хәм Жерден жүдә узакта жатқанлықларына байланыслы оларды көриўге болмайди. Бундай узын дәуірлі кометалардың мәңги музлаған ҳалда болғанлығынан өз газларын планеталар аралық бослыққа дерлик сарыпламайды хәм соның ушын да миллиардлаған жыллар даўамында өзгериссиз жасай алады. Бирақ жақын жайласқан жұлдызлар хәм Қуяш системасы планеталарының тәсиринде бундай кометалар орбиталарының перигелийин өзгертп, нәтийжеде ол кометалар Қуяштан киши қашықлықтан өтиўши орбиталар бойынша қозғалатуғын кометаларға айланыўы мүмкин. Есаплаўлар «куйрықлы жұлдыз» лардың айырымларының бундай тәсирлердин нәтийжесинде ўақыттың өтиўи менен Қуяш системасын пүткиллей таслап кететуғын параболалық орбиталарға өтип кетиўлеринин де мүмкинлигин көрсетеди.

### **Метеорлар «ушыўшы жұлдызлар» хәм метеор «жамғырлары»**

Түнде шырайлы из қалдырып «ушқан жұлдыз» ларды ким көрмеген дейсиз? Бирақ бул «ушыўшы жұлдыз» лардың ҳақыйқый жұлдызларға хеш байланысы жоқлығын барлық адам билмесе керек. Тийкарында олар аспанның «адасыўшы» майда тас бөлекшелери болып табылады. Олардың үлкенликлери миллиметрдин этираплары, массалары болса миллиграммларда өлшенеди. Олар Жерге жақынлап планета атмосферасына секундына 10 километрден 70-80 километрге шекемги тезликлер менен киреди. Бундай үлкен тезликтеги тас бөлекшелери атмосфера молекулалары менен сүйкелисип қызады хәм ушыў даўамында жүдә тез жанып кетеди. Илимдеги метеорлар деп аталыўшы «ушыўшы



жұлдыз»лар жолының ұзындығы бұл аспан денелерінің үлкенліклеріне байланысты болатұғынлығы өзі өзінен түсиники.

Метеор бөлекшелер қандай пайда болады, олардың деректері қайсы орынларда деген тәбиғий сорау туғылады. Гәп соннан ибарат, айырым кометалар Қуяш системасының басқа аспан денелерінен айрылып, ұақыттың өтіуі менен ыдырайды. Комета хәр дайым Қуяштың қасынан өтіп баратырып ядросына тийисли болған газ хәм шаңның бир бөлімін жоғалтады. Комета ядросындағы бұл газ хәм шаңлардың запасының шегараланғанлығын итибарға алсақ белгили бир дәуірден соң «қуйрықты жұлдыз» лардың бассыз хәм қуйрықсыз қалатуғынын түсиниұ қыйын емес. Перигелийден өтіп баратырған кометаның қуйрықсыз хәм комасыз болыуы оның «ғаррылығы» нан дерек береді. Белгили бир комета қанша ұақыттан соң өз ядросындағы газдың сарыпланыуын есаплау мүмкин болып, тап усындай есаплауларды рус алымы С.В.Орлов Галлей кометасы ушын орынлады. Оның есаплаулары бұл комета Қуяш этирапында 330 рет айланғаннан соң, яғный шама менен 25 мың жылдан кейин газ запасынан толық айрылатұғынлығын мәлим қылды.

Астроном С.К.Всехсвятский өз изертеулері тийкарында дәуірли комета хәр дайым Қуяштың қасынан жаңадан өтіп баратырғанды оның жақтылығының кемейетуғынлығын анықлады. Бундай дәлил де салыстырмалы қысқа ұақыт ишінде кометаның газ запасларының азайып кетиуінен дерек береді. Тийкарында комета газ запасынан қутылғаннан кейин де шаңлы қуйрық пайда қылып, «шашлы» деген атты бир қанша ұақытқа шекем ақлап жүреді. Кометаның пүткиллей ыдырап көзден жоғалыуы басқа бир процесстин – механикалық ыдыраудың ақыбетінде де болады. Механикалық ыдырау Қуяш жанынан өтіп баратырған жүдә көп кометаларда бақланған. Мысалы 1846-жылы бақланған Биела кометасы Қуяшқа жақын аралықлардан өтіп баратырып еки бөлекке бөлінген. Гезектеги 1857-жылы бақланғанда бұл бөлеклердің бири екіншісінен еки миллион километрге узакласқан хәм буннан кейин усы пайтларға шекем қаншама тырысуларға қарамастан бұл комета хеш ким тәрәпинен бақланбаған. 1872- жылы бұл кометаның Жерге жүдә жақын аралықтан өтіуі пайытында комета орнында күшли «метеор жамғыры» бақланған (сүүретти қараңыз).

1950-жылы алым Д.Д.Дубяго ыдыраған комета ядроларының метеор ағысларының жүзеге келиуіндеги тутқан орнын терең үйренип шықты. Оның есаплауларының көрсетиуінше комета ядросын «таслап кеткен» метеор бөлекшелерінің булты Қуяш тәрәпинен түсетуғын басыу күши тәсирінде де созылып хәм кеңейип барады хәм бир неше мың жылларын соң комета орбитасы бойынша бир тегис бөлінеді. Ыдыраған кометалардың қалдықтары келешекте метеор ағысларын пайда етиу дәлилдерінде жақсы тастыйықланды. Буның ушын ыдыраған комета орбитасы менен жыллық дәуір менен қайталанып бақланатуғын метеор ағысларының жұлдызлар ишіндеги орнын салыстырыу жеткилики. Сондай салыстырыу нәтижесінде хәр жылы август айында күшейетуғын «метеор жамғырлары» ның бири - Персеид метеор ағымы «1862 III» деп аталған ыдыраған комета ядросының бөлекшелері тәрәпинен пайда қылынатуғынлығы анықланды. Белгили Галлей кометасы да еки - Орионид деп ат алған Орион жұлдыз топарыдағы хәм май айында бақланатуғын Акварид жұлдыз топарларындағы метеор ағысларын жүзеге келтиреді. Усы түрдеги «метеор жамғыры» ның онға жақыны илимге мәлим.



Метеор «жамғыры».

Айдарха жұлдыз топарына проекцияланған  
Драконид «метеор жамғыры».

## Метеоритлер

Базда аспанның таслары бир қанша үлкен болып Жер атмосферасы қатламынан өтип баратырғанда жанып үлгермейди хәм болид түрінде Жердің бетине түседі (сүўретти караңыз). Олар метеоритлер деген ат пенен аталады. Метеоритлер тийкарынан тастан, темирден, тас-темирден хәм базы бир муздан ибарат болады.

Тарийхта адамлар бир неше рет аспан денелериниң Жерге «қыдырып келген» «ўэкили» ниң муздан ибарат болғанлығын көрген. Тап сондай кубылыстың бири Киев об-ластында бақланған: 1970- жылдың 8-майында Иаготина қаласында бултсыз ашық хаўадан үлкен муз бөлеги Жерге урылып, бир неше бөлекшелерге ыдырап кеткен. Өлшеп көрилгенде бөлеклердің улыўмалық аўырлығы 15 килограммға жеткен.

Уллы Карл заманындағы қол жазбалардың биринде болса аспаннан үлкенлиги сәл кем үйдей келетуғын муз бөлегиниң түскенлиги хаққында жазылады. 1908- жылы Сибир тайгасына «мийман» болған басқа бир аспан денесиниң неден ибарат болғанлығын анықлаў алымлар арасында он жыллап созылған дискуссияларға себеп болып, хәзирге ше-кем өз сырын сақламақта.

Сибир «мийманы» Подкаменная Тунгуска дәрьясының оң жағасында жайласқан Вановаре аўылынан жүз километрге жакын арқа-батысқа ертелеп, Куяш бираз көтерилгенде келип түскен. Жерди күшли силкиниўге салып, планетамызға «қәдем қойған» бул аспан денеси кейинирек Тунгус метеорити аты менен илимде кең танылды.

Жердің бетине түсип атырған метеориттиң  
аспанда қалдырған изи - болид.

Есаплаўлардың көрсетиўинше планетамызға жылына 500 дан артық бундай таслар ке-лип түседі. Бирақ Жер бетиниң шама менен 70 проценти суў менен қапланғанлығын итибарға алсақ, бул таслардың 350 ге жақыны теңиз хәм океан түплеринен орын алып, из-сиз жоғалатуғынлығы мәлим болады. Қалған қурғақлыққа түсетуғын 150 тастың бәршеси де адамлар жасайтуғын орынларға түсе бермейди. Соның ушын аспан «мийманлары» н көриў хәр кимге несип бола бермейди.

1947-жылдың 12-феврал күни басқа бир аспан тасы - Сихоте-Алинск метеоритиниң түсиўине Узақ Шығыстағы Иман қалашасында ислеўши художник Медведев гүўа болды.



Оның айтыуынша, отлы шар арқасынан бурқыраған түтинли из қалдырып хәм хәр қыйлы тәреплерге ушқынлар атып, үлкен тезлик пенен горизонт тәрепке ушты. Отлы шар горизонттан жоғалғаннан кейин ол тәрептен жүдә күшли партлау дауысы еситилди. Кейинги жыллары бул темир метеоритти үйрениу бойынша шөлкемлестирілген илимий экспедициялар бул «аспан мийманы» ның Жер бетине түспестен алдынырақ хаўада ыдырағанлығын хәм оның бөлеклеринен пайда болған воронкалар бир неше квадрат километрли майданды ийелегенлигин анықлады. Пайда болған воронкалардың (уралардың) диаметри 60 сантиметрден 28 метрге шекем болып, олардан табылған метеорит бөлеклериниң аўырлығы 1 килограммнан 70 килограммға шекем болды. Есаплаулар метеорит бөлеклериниң улыўмалық аўырлығының 100 тоннадан кем емес екенлигин көрсетти.

Биринши болып аспаннан тастың түсиўиниң мүмкин екенлигин Петербург Илимлер академиясының хабаршы ағзасы Е.Ф. Хладний өзиниң 1794-жылы басылып шыққан «Паллас тәрепинен табылған темир бөлегиниң келип шығыуы хәм ол менен байланыслы тәбият кубылыслары хаққында» шығармасында илимий жақтан тийкарлады. Е.Ф.Хладний Красноярск үлкесине түскен темир метеоритти узақ ўакыт үйренип, оның аспаннан түскенлигине толық исеним пайда етти хәм жоқарыда тилге алынған илимий шығарманы жазыу менен метеориткаға биринши болып тийкар салды.

Аспан тасларының Жерге түсиўи жүдә әйеменнен бери бақланған болып, бул таслар қудайдың Жерлилерге инамы деп қарар хәм муқаддес деп есапланатуғын еди. Сондай аспан «мийман» ларының бири 1514-жылы Германияға түскен тас метеорит болып, ол түскен орынға жақын жайласқан ширкеўге орнатылған хәм қайтадан «аспанға ушып кетпеслиги» ушын темир шынжырлар менен байлап қойылған. Бул ширкеў де қудайға табыныўшылар ушын муқаддес орынға айланған.

Жерге түсип туратуғын бул таслар қайсы орынлардан келеди деген сораў туўылады. Гәп соннан ибарат, аспанда хәр қыйлы үлкенликке ийе болған хәр қыйлы таслар мың-мыңлап табылатуғын болып, олар да планеталар сыяқлы Қуяштың этирапында айланады. Олардың ишинде хәр қыйлы орбиталалары менен бирге, орбиталары жалғыз болғанлары да Көплеп ушырайды. Мысалы ыдыраған комета («қуйрықлы жулдыз») орбитасында мыңлап хәр қыйлы үлкенликлердеги аспан денелери де ушырайды. Орбитасы бойынша қозғалатуғын бундай майда денелер Жерге жақыннан өтип баратырып оның күшли тәсирине бериледи хәм өз «жолларын» планетамыз тәрепке қарай бурыўға мәжбүр болады.

Метеорит Жерге урылғанда оның тезлигине байланыслы хәр қыйлы үлкенликтеги уралар (ойықты) пайда етеди. Ураның тереңлиги урылыў орнының жумсақлығына да байланыслы. 1871-жыл 10-декабрде Бандуга (Ява) қасындағы шөл майданға түскен метеориттиң аўырлығы 8 килограмм болып, Жерге 1 метрге шекем кирип кеткен. 1910-жылдың 12-июлында Сант-Михел (Финляндия) қасына түскен аспан тасының аўырлығы болса 10 килограмм болып, ярым метр тереңликтеги ураны пайда еткен. 1948-жылы Нортон (Канзас штаты) қаласы қасындағы мәкке атызына түскен аспан денелери «ўәкили» ниң аўырлығы бир тоннаға жақын болып, пайда қылған урасының тереңлиги үш метрге жетти.



Аризона штатындағы сахраға түскен метеориттиң пайда еткен кратери  
( $d = 1300$  м,  $h = 175$  м).

Бирақ метеоритлер Жер атмосферасына секундына онлаған километр тезликке ийе халда кирсе де хаўаның үлкен қарсылығы олардың тезден «хәўирден түсиреди». Есаплаулардың көрсетиўинше Жерге урылыў пайытында олардың орташа тезлиги

секундына 200-300 метрди курайды. К.П.Станякович тезлиги секундына 4 километрге шекем болған таслардың Жерге урылыуы партланыу менен тамам болатуғынлығын жақтан тийкарлады. Партлауға метеорит урылыу пайытында кратер (хәуиз) пайда етип, оның бөлеклери бир неше километрге шекем атылып кетеди. Тезлиги секундына 4 километрден артық болған аспан тасының Жерге урылыуынан ажыралып шыққан энергияның муғдары сондай массалы партлаушы затлардан (партлау пайытында) ажыралған энергиядан бир неше есе артық болады. Бундай үлкен тезлик пенен урылыушы метеорит энергиясының бир бөлими оны толық пуўландырып жиберийге сарып етилсе, қалған бөлими кратер пайда қылыу хәм топырақты қыздырыуға кетеди. Бундай үлкен тезликке ерисиуши метеориттиң массасы жүдә үлкен (шама менен 100 тонна) болыуы есаплаулардан мәлим. Соның ушын да массасы 100 тоннадан артық аспан «мийман»ларын Жерде табыуға болмайды, олар «автограф» сыпатында Жерде үлкен кратерлер ғана қалдырады. Метеорит пайда қылған бундай ири кратерлердің бири Аризона штатында (АҚШ) табылған болып, оның диаметри 1300 метрге, тереңлиги болса 175 метрге жетеди.

1891-жылы бир топар Америка алымлары Аризона штаты бойынша сапарға шыққанда олар сахра ортасында жүдә үлкен воронкаға (ураға) дус келди. Воронка этирапында 10 километрге шекемги қашықлыққа ылақтырылған таслардың табылыуы, воронка топырағының бир бөлиминиң езилип унтақ топыраққа айландырылғанлығы хәм басқа бир бөлиминиң ерип болып қатпаға айланғанлығы тийкарында алымлардың тәрепинен кратер партлауға байланыслы жүзеге келген деген жуўмаққа келиулерине тийкар болды. Алымлар набыт болыу жүз берген бул орыннан көп узақта болмаған орында жасаған, әйjemги ўақытлардағы белгили хинд кәўимлериниң әўладларынан сорастырып, кратер этирапы зонасын Алвасти жырасы деп аталатуғынлығын хәм әпсаналарға сәйкес, «бул Жерге бир ўақытлары қудайдың өз от арбасында түскенлигин» анықлады. Буннан соң алымлар кратер - аспан тасының «иси» деген гүман менен оның этирапын қыдырды. Нәтийжеде кратер қасынан хәм хәтте оннан онлаған километрге шекемги қашықлықлардан метеорит бөлеклерин тапты. Мыңлап табылған метеорит бөлеклериниң улыўмалық аўырлығы 20 тоннадан артық болып шықты.

Бундай ири метеорит пайда қылған кратерлерден және бири Техас штатында табылды. Оның диаметри 162 метр болып, тереңлиги 5 метрди курайды. Кратер хәм оның этирапындағы майданда шама менен бир ярым мың темир метеорит бөлеклери табылған.

1931-жылы Австралияның Хенбери шөлинде болса метеоритлер «жамғыры» нан пайда болған 13 кратер табылды. Олардан ең үлкениниң диаметри 165 метр болып, тереңлиги 15 метрге жетеди. Кратерлар топары жайласқан майданнан шама менен бир ярым мың метеорит бөлеклериниң табылыуы да жергиликли тұрғынлар арасында тарқалған «тик жар артында жанып түскен Қуяш» әпсанасы бул кратерлердің аспан таслары «бомбардировка» сының ақыбети екенлигинен дерек береді. Табылған таслардың аўырлығы бир неше килограммнан ярым тоннаға шекем жетеди.



Хенбери шөлинен табылған метеорит бөлеги.

Тәбиаттың бундай әжайып кубылыстарында бас атқарыушы сыпатында қатнасқан онлаған ири метеоритлер планетамыздың хәр қыйлы мүйешлеріндегі музей экспонатлары қатарынан орын алған. Чихуахуада (Мексика) табылған Морита деп аталатуғын туұры конус тәризли метеориттің аұырлығы 11 тонна болып, хәзир Мехикода сақланады. Аргентинаның Кампо-дел-Съело («Жулдызлы майдан») майданында табылған аспан «ўәкили» ниң аұырлығы 13 тоннаны, Американың тәбият тарийхы музейінде сақланып турған 1902-жылы Орегона тоғайларынан табылған Вилламетте темир метеоритиниң аұырлығы 14 тоннаны қурайды. Синсзйан (Қытай) областының Арманти қалашасы қасына түскен метеориттің аұырлығы 20 тонна, Танганикаға түскен Мбози атлы басқа бир метеориттің бойы 4 метр шамасында болып, ени хәм қалыңлығы 120 сантиметр, аұырлығы болса 25 тонна. Мексиканың Синапоа штатына түскен аспан тасы да басқаларынан қалыспайды. Оның бойы 4 метрди, ени шама менен 2 метрди, қалыңлығы болса 1 метр 60 сантиметрди қурап, аұырлығы 27 тонна шығады. Шығыс Гренландияға түскен метеорит Жерге урылғанда бөлекленип кетти. 1897- жылы Нью-Йоркқа алып келинген хәм Кейи-Йорк деп аталатуғын бул метеориттың үш үлкен бөлеклериниң аұырлығы 30 тонна («Палатка»), 3 тонна («Айол») хәм 408 килограмм («Ит») ны қурайды.

Планетамызда табылған ири метеоритлер ишиндегі ең ириси түслик-батыс Африкаға «өкпелеў қәдем» ин қылған болып, бул темир метеориттің бойы хәм узынлығы шама менен 3 метрден, ени болса 1 метрден артық. Бул гигант темир «мийман» ның аұырлығы 60 тонна! Алым С.Гордонның анықлаўы бойынша метеорит Жер атмосферасына кирместен алдын 100 тонна шығатуғын болған.

Жоқарыда еслетилип өтилгениндей, метеоритлердің адамлар жасайтуғын аймақларға түсиў итималлылығы жүдә кем. Пүтин инсаният тарийхында метеорлардың 15 данасы ғана адамлар жасайтуғын орынларға түскенлиги анық есапқа алынған. Соннан төртеўинде адамлар жеңил жарақатланған хәм контузия алған.

## Жулдызлар

### Көринерлик жулдыз шамасы

Жулдызлар - Әлемнің ең кең тарқалған объектілері деп есепланады. Усыған байланысты олардың физикалық табиғатын үйреніу астрономиядағы әхмийетлі мәселе болып табылады.

Жулдызлардың көринерлік жақтылықтарын (жақтылық дәрежесін) бір биринен айырыу үшін астрономияда жулдыз шамасы деген түсиник қабыл етилген. Жақтыртқыштың жақтылығы оннан Жерге шекем жетип келген нурланыу интенсивлиги болып, ол жақтыртқыштың улыұмалық нурланыуының аз ғана бөлегін қурайды.

Жақтыртқышлардың көринерлік нурланыу интенсивликтері олардың нурланыуды есапқа алыушы қабыллағышларда (көз, фотопластинка, фотоэлемент хәм басқалар) пайда қылған *жақтыртылғанлығына* байланысты анықланатуғынлығы мәлім. Астрономияда жақтыртқышлардың жақтылық бергішлигі физикадағыдай жақтылық бірліклерінде (люксларда) емес, ал *жулдыз шамалары* деп аталыушы салыстырмалы бірліклерде аңлатылады хәм  $m$  хәрипи менен белгіленеді.

Жулдызлардың жақтылық бергішлигін жулдыз шамаларында белгілеуді бизің эрамыздан бурынғы II әсирде адам көзінің нурға сезгірлігине сүйенген халда грек астрономы Гиппарх баслап берді. Ол қабыл қылған шкалаға сәйкес бір биринен 1 жулдыз шамасына парық қылған жулдызлар жақтылығының парқы шама менен 2,5 есеге туұры келген.

Хәзіргі ўақытлары жулдыз шамаларын белгілеу илимий тийкарда, яғнай адам көзі сезгірлігінің психофизиологиялық нызамларына сүйенген халда қабыл етилген. Буның ушын жақтылықтары бір биринен 100 есеге парық қылыушы екі жулдыздың жулдыз шамаларының айырмасы шәртлі рәуиште бес жулдыз шамасына тең деп алынған. Жулдыз шамаларының бул парқы бес жулдыз шамасы интервалы ушын қабыл етилгенліктен бір жулдыз шамасына туұры келген екі жулдыз жақтылықтары ямаса жақтылықтарының парқы  $\sqrt[5]{100} = 2,512$  ге тең болады. Жулдыз шамаларының шкаласы  $m$ : ...,  $-5^m$ ,  $-4^m$ ,  $-3^m$ ,  $-2^m$ ,  $-1^m$ ,  $0^m$ ,  $+1^m$ ,  $+2^m$ ,  $+3^m$ ,  $4^m$ ,  $+5^m$ , ... избе-излік түрінде аңлатылып, ол артқан сайын жулдыздан Жерге шекем келген интенсивлік (жақтыландырылғанлық) киширейип барады. Мейли екі жулдыздың көринерлік жулдыз шамалары, сәйкес рәуиште,  $m_1$  хәм  $m_2$ , олардың көринерлік жақтылық бергішлигін тәріплеуші шамалары  $E_1$  хәм  $E_2$  болсын. Бул жағдайда

$$E_1 = 100E_2$$

болғанлығынан

$$m_2 - m_1 = 5$$

ке тең болады. Сонлықтан, бул екі жулдыздың жақтылық бергішликтерінің қатнасы олардың көринерлік жулдыз шамалары менен төмендегідей байланыста болатуғынлығына аңсат аңлау мүмкін:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$$

яки бул теңліктің хәр екі тәрепін де логарифмлеп

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = (m_1 - m_2) * 0,4$$

аңлатпасына ийе боламиз. Бул аңлатпа *Погсон формуласы* деп аталады.

Жуұмақлап айтқанда жулдуз шамаларының шкаласы деп, бақланатуғын жақтыртқышлардың жақтылық бергішликтері салыстырылатуғын логарифмлик шкалаға айтылады.

Адамның нормал көзі 6-шамаға шекемги болған жұлдызларды көреді. Жақты жұлдызлардан Веганың (Лира жұлдызлар топарының ең жақтылы жұлдызы) жұлдыз үлкенлиги  $+0,04^m$  ди, Венераники  $-4,4^m$  (ең жақтылы пайытында) ди, толық Айтики  $-12,5^m$  ди, Қуяштики болса  $-26,7^m$  ди қурайды. Хәзирги заман телескоплары көзимиз көретуғын әззи жұлдызлардан 100 млн есе әззи болған (жұлдыз үлкенлиги  $+24^m$ ,  $+25^m$ ) жұлдызларды көре алады.

### Абсолют жұлдыз шамасы

Жұлдызлардың көринерлик жұлдыз шамалары олардың толық жақтылықтарын (олардан ўақыт бирлиги ишинде ажыралып шығатуғын толық нурланыў энергиясының муғдарын) салыстырыўға имканият бермейди. Себеби бирдей жақтылыққа ийе болған хәр қыйлы қашықлықта жатыўшы еки жұлдыздың көринерлик жұлдыз шамалары бирдей болмайтуғынлығы алдыңғы параграфтан белгили. Сонлықтан жұлдызлардың қашықлықтарын билмей турып олардың көринерлик шамаларына сәйкес жақтылықтарын салыстырыўдың ҳеш илажы жоқ. Бул мәселени шеший ушын астрономлар барлық жұлдызларды Жерден (яки Қуяштан) бирдей қашықлыққа алып келип, жұлдыз шамаларын анықлаўды хәм кейин усы тийкарда олардың ҳақыйқый жақтылықтарын салыстырыўды мақсет етип қойды. Бундай аралық сыпатында астрономлар 10 парсекли қашықлықты алды. Солай етип жұлдызлардың бизден 10 парсек қашықлыққа келтирилгендеги анықланған көринерлик жұлдыз шамалары олардың *абсолют жұлдыз шамалары* деп аталатуғын болды хәм М хәрипи менен белгиленди. Бул 10 парсекли стандарт аралық шама менен  $2 \cdot 10^6$  астрономиялық бирликке тең болады. Сонлықтан Қуяшты 10 парсек қашықлыққа алып барып қойғаннан кейинги интенсивлиги оның 1 а.б. қашықлықта

турғандағы интенсивлигинен  $\frac{1}{(2 \cdot 10^6)^2}$  есе, яғный  $4 \cdot 10^{12}$  есе кемейеди. Интенсивликтин

хәр 100 есе кемейиўи 5 жұлдыз шамасыне туўры келетуғынлығын итибарға алса, онда интенсивликтин  $4 \cdot 10^{12}$  есе кемийиўи жұлдыз шамасының 31,5 есе артыўына алып келеди. Сонлықтан 10 пк қашықлыққа «қойылған» Қуяштың көринерлик жұлдыз шамасы  $-26,7 + 31,5 = 4,8$  ге тең болады екен. Басқаша айтқанда, Қуяштың абсолют жұлдыз шамасы

$$M_{\epsilon} = +4,8$$

ге тең екен.

Центавр жұлдыз топарының бизге ең жақын жайласқан жақтылы жұлдызының (Проксима) көринерлик жұлдыз шамасы  $m = 0$  болып, Қуяштан узақлығы 13 пк. Ол 10 пк қашықлыққа алып келингенде оның интенсивлиги  $\frac{1}{(1,3)^2} = 8^2 = 64$  есе артады. Бул жұлдыз

шамасының 4,5 есе кемийиўине алып келеди. Демек оның абсолют жұлдыз шамасы  $M_{\text{Pr}} = 0 - 4,5 = -4,5$  болады. Буннан көринип турғанындай, бир жұлдыздың көринерлик жұлдыз шамасы хәм оған шекемги болған аралық парсеклерде берилген болса, оның абсолют жұлдыз шамасын аңсат анықлаў мүмкин екен. Буның ушын астрономлар төмендегидей арнаўлы есаплаў формуласын анықлаған:

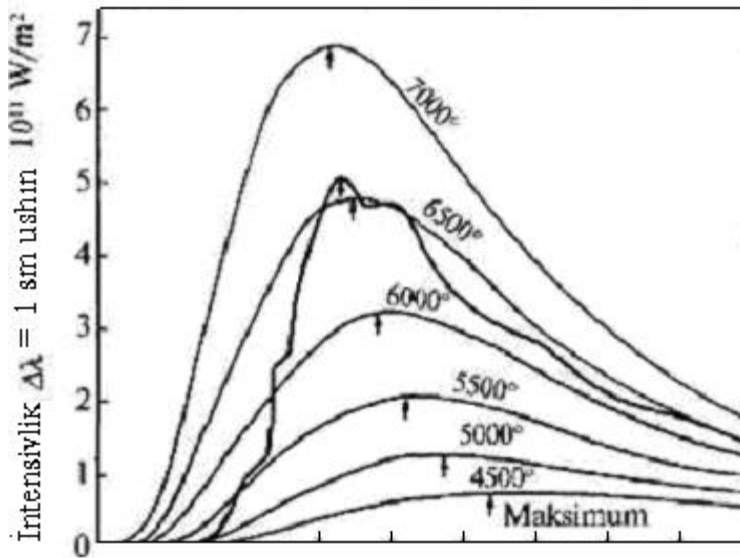
$$M = m + 5 - 5 \lg r.$$

Бул Жерде  $r$  арқалы жұлдызға шекемги парсеклерде аңлатылған қашықлық белгиленген.

### Жұлдызлардың рени хәм температурасы

Жұлдызлы аспанға дыққат пенен қараған хәр бир адам жұлдызлардың бир биринен реңлери менен айрылатуғынлығынын аңсат аңлайды. Мәлим, темир қыздырылып

атырғанда дәслеп тоқ қызыл реңге, кейін температурасының арта беріуі менен ақшыл сары, сары хәм ақырында ақ реңге ийе болады. Усыған уқсас жұлдызлардың реңі де олардың бетинің температуралары хақында белгили мағлыұмат береді. Мысалы Қуяшымыз сары реңдеги жұлдыз болып есапланады. Бетинің температурасы 6000 К этирапында. Тоқ қызыл реңде көринетуғын жұлдызлардың температурасы 2500-3000 К, ақшыл сары реңдеги жұлдызлардики 3500-4000 К, ақ реңдеги жұлдызлардың температурасы болса 17000-18000 К этирапында болады. Аспанда көринетуғын жұлдызлар ишинде ең жоқары температуралысы көк-хаўа реңли болып, олардың температуралары 25000-50000 К арасында болады.



Жұлдызлар спектріндегі энергияның бөлистирилиуі (ийрек сызық Қуяш үшін).

Жұлдызлардың температурасын анықлаудың бир неше түрли усылы бар. Олардың бири жұлдызлардың спектріндегі энергияның таркалыуын изертлеу болып табылады. Бул жағдайда нурланыу энергиясының максимумы тууры келген толқын узынлығына сүйенген халда Виннің аўысыу нызамынан пайдаланылады (сүүрет):

$$\lambda_{\text{max}} * T = 0,29 \text{ град} * \text{см.}$$

Соның менен бирге жұлдыз спектринің хәр қыйлы участкаларындағы нурланыу энергиясының айырмасына сәйкес астрономлар олардың анық реңин белгилайди хәм соңынан жұлдыздың табылған бул рең көрсеткиши тийкарында да жұлдызлардың температураларын анықлайды. Жұлдызлардың реңи көк реңге жақынласқан сайын олардың температуралары артып барады. Бундай усыллар менен табылған жұлдыз температурасы тек оның бетине тийисли болып, олардың ишки бөлиминде тийисли температуралары жұлдызлардың спектри, массасы, тығызлығы хәм анықланған ишки басымына сәйкес теориялық есаплаулар жәрдемінде табылады. Бундай жол менен табылған жұлдызлардың ишки бөлиминде тән температуралар бир неше миллионнан онлаған миллион градусқа шекем (орайында) барады. Қуяштың орайындағы температура 16 миллион градусты курайды. Ыссы жұлдызларда болса бул шама 100 миллион градусқа шекем барады.

### Жұлдызлардың жақтылық бергишлиги

Көпшилик жұлдызлар көринерлик жақтылықтары менен бир бирине усаса да тийкарғы тәбиятлары менен бир биринен кескин айырмаларға ийе болатуғынлығы анықланған. Буның себеплеринің бири олардың хәр қыйлы қашықтықларда жайласқаны болса, екіншиси олардың хәр қыйлы кууаттылықта нурланыуында болып табылады.

Жулдыздың нурланыу қуаты оның *жақтылық бергишлиги* деп аталып, ол жулдыздан бир секундта бөлиніп шығатуғын толық нурланыу энергиясы менен характерленеди. Жулдызлардың жақтылық бергишлиги көбинесе Қуяш жақтылық бергишлиги бирлигинде аңлатылады. Қуяштың оннан келетуғын нурланыу энергиясына сәйкес табылған жақтылық бергишлиги  $3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$  ты қурайды.

Көринерлик жулдыз шамасы  $m_{\epsilon}$  болған Қуяшты (1 а.б. қашықлықта) белгили бир  $r$  а.б. қашықлыққа апарып қойылғанда көринерлик жулдыз шамасы  $m'$  ға артып, олар арасында төмендегидей қатнас орын алады:

$$m' = m_{\epsilon} + 5 \lg r_{a.b.}$$

Тап сондай қашықлықта ( $r_{a.b.}$ ) жайласқан жулдыздың көринерлик жулдыз шамасы  $m_*$  хәм Қуяштың көринерлик жулдыз шамасы  $m'$  арасындағы айырма жулдыз Қуяшқа салыстырғанда қанша есе көп нурланыу энергиясына, басқаша айтқанда, жулдыз хәм Қуяштың жарықлықтарының қатнасы  $L_*/L_{\epsilon}$  шамасының қаншаға тең екенлиги төмендеги формула жәрдемінде табылады:

$$m' - m_* = 2,5 \lg (L_*/L_{\epsilon})$$

бул аңлатпада

$$\lg (L_*/L_{\epsilon}) = 0,4(m' - m_*) = 0,4(m' - m_* + 5 \lg r_{a.b.}).$$

Демек бул қатнас  $L_*/L_{\epsilon}$  Қуяш пенен жулдыздың көринерлик жулдыз шамалары хәм жулдызға шекем болған қашықлыққа (астрономиялық бирликлерде аңлатылған) байланыссы болады екен.

Егер Қуяш хәм ықтыярлы жулдыз абсолют жулдыз шамаларында ( $M_{\epsilon}$  хәм  $M_*$ ) берилген болса, онда олардың жарықлықтарының қатнасының логарифми мына аңлатпадан табылады:

$$\lg (L_*/L_{\epsilon}) = 0,4(M_{\epsilon} - M_*).$$

Жулдызлардың жарықлықтарын үйрениуден олардың жарықлықтарының 0,0001 Қуяштың жақтылық бергишлигинен бир неше он мың Қуяш жақтылық бергишлигине шеккемге шегарада өзгеретуғынлығын көрсетеди.

Жүдә үлкен жарықлыққа ийе болған жулдызлар ишинде гигантлар хәм аса гигантлар айрықша орын ийелейди. Гигантлардың бир бири менен салыстырылғанда бетиниң температурасы төмен ( $3,4 \cdot 10^3 \text{ K}$ ) болған қызыл реңли болғанларына *қызыл гигантлар* деп ат берилген. Алдебаран (Савр жулдыз топарының ең жарық жулдызы), Арктур (Хукизбағар жулдыз топарыдағы ең жақтылы жулдыз) сыяқлы жулдызлар гигантлардың қатардағы үекиллери болып есапланады.

Аса гигантлар болса жарықлықтары Қуяштыкинен он мың еседей артық болған жулдызлар болып, олардың реңи хәр қыйлы болады. Көк реңдеги аса гигантларға мысал ретінде Ригелди (арабша «Риж-Әл-Жавзо» сөзлериниң бузылған формасы - «Пахлавонның аяғы» - Орион жулдыз топарының бетасы); қызыл аса гигантларға - Антарести (Акраб жулдыз топарыдағы ең жақты жулдыз), Бетелгейзени (арабша «ибт-ал-Жавзо» сөзлериниң бузылған формасы - «Пахлавонның оң желкеси» - Орионның ең жақты жулдызы) келтириу мүмкин.

Хәр қыйлы жарықлықтағы жулдызлардың спектрлери де бир биринен бираз парық қылады. Усыған байланыссы базы бир спектрдағы сызықларға сәйкес оның жақтылық бергишлигин бахалау мүмкин. Усы жол менен жарықлықтары анықланған жулдызлардың көринерлик жулдыз шамалары жәрдемінде оларға шеккемге қашықлықтарды анықлау мүмкин болады. жулдызларға шеккемге қашықлықтарды анықлаудың бул усылы спектраллық параллакс усылы деп аталады.

## Жұлдызлардың спектри хәм спектраллық класслары

Астрономлар жұлдызларға тийисли болған әхмийетли мағлыұматларды олардың спектрлерин талқылап қолға киргизеди. Жұлдызлардың спектри, мысалы Қуяштың спектри де сызыклы жутылыұ спектри болып, жарық тутас спектрдің фонында атомлар, ионлар хәм молекулаларға тийисли жутылыұ (Фраунгофер) сызықларынан турады.

Жұлдызлардың спектрлері бир биринен толқын узынлығы бойынша нурланыұ энергиясының хәр қыйлы шама менен бөлистирилиўине сәйкес парықланады. Соның менен бирге бул спектрлер олардағы атмосфераның химиялық курамына тийисли хәр қыйлы элементлерге тийисли сызықлары хәм усы сызықлардың интенсивликлері менен де бир биринен парық қылады.

Температуралары бир бирине жақын жұлдызлардың химиялық курамы бир биринен кескин парық қылмайды. Жұлдызлар спектринде ең көп тарқалған элементлер - водород пенен гелий болып табылады. Бул элементлердің жұлдыз спектринде бақланған интенсивлиги бул жұлдыз атмосферасының физикалық халын белгилеп, көп тәрептен оның температурасына байланысly болады.

Жұлдызлардың спектрлары жети тийкарғы спектраллық классларға бөлінген. Олар латын әлипбесинде аңлатылып төмендеги тәртипте жайласады: O-B-A-F-G-K-M. Белгили бир классқа топланған спектрлер өз гезегинде және он киши классларға бөлінген. Мысалы, А классы жұлдызлары A1, A2, A3 < ... A9 киши классларға бөлінген (Қуяш өз спектрына сәйкес G2 классына киреди).

Класслар избе-излиги, ең дәслеп, жұлдызлардың температурасы хәм реңлері избе-излигинде өз орнын табады. Салыстырмалы салқын - қызыл жұлдызлардың спектринде нейтрал атомлардың хәм хәтте молекулалық бирикпелердің сызықлары көп ушырайды, ал, ыссы хаўа реңли жұлдызлардың спектринде ионласқан атомлардың сызықлары көплек ушырайды.

Сол классқа кириўши жұлдызлардың спектринде ионласқан гелий, углерод, азот хәм кислородтың интенсив жутылыұ сызықлары, сондай-ақ спектрдың ультрафиолет бөлиміндеги айырым химиялық элементлер атомларының көп есе ионласқан сызықлары да ушырайды. Хаўа реңли бундай жұлдызлардың температурасы 25000-30000 градусқа шекем жетеди.

В классқа кириўши жұлдызлардың спектринде нейтрал гелий сызықлары жүдә интенсивли болады. Ақ-көгис реңдеги бундай жұлдызлардың температурасы 17000 К әтирапында.

А классқа кириўши жұлдызлардың спектринде водородтың жутылыұ сызықлары интенсивли болып, жұлдыз бетинде температурасы 11000 К болады.

F классқа кириўши жұлдызлардың спектринде водород сызықлары күшсизленип, кальцийдің ионласқан сызықлары интенсивли болады. Ашық сарғыш реңли, температурасы 7000 К.

G классқа кириўши жұлдызлардың спектринде (соның ишинде, Қуяш спектринде) металларға тийисли нейтрал хәм толық емес ионласқан атомлардың сызықлары интенсивли хәм кең тарқалған. Водородтың сызықлары бир қанша күшсизленген (интенсивлиги пәсейген) болады. Температурасы 6000 К.

K классқа кириўши жұлдызлар спектринде металлардың жутылыұ сызықлары менен бирге молекуляр бирикпелердің де сызықлары бақланады. Реңи ақшыл сары, температурасы 3500 К.

M классқа кириўши жұлдызлардың спектринде болса молекулалардың спектрал жолақлары (айрықша титан оксидине тийисли) интенсивли түрде түс алады. Қызыл реңли, температурасы 2500 К.

Жұлдызлардың спектринің хәр қыйлы болыұы олардың атмосферасындағы физикалық шараятқа, химиялық курамының хәр қыйлылығына хәм (ең әхмийетлисi) хәр қыйлы температураға ийе екенликлері менен түсиндириледи. Жұлдызлардың



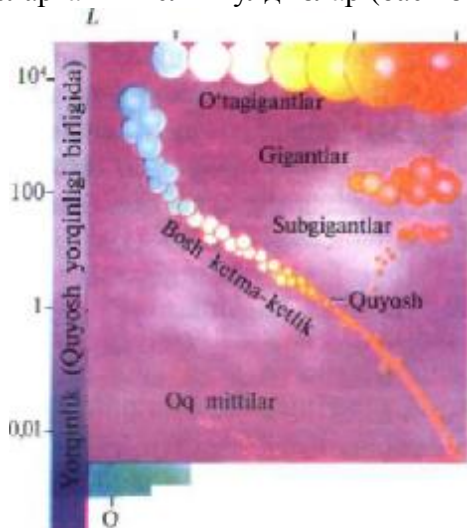
температурасы артқан сайын оның атмосферасындағы молекулалар атомларға бөлінеді. Буннан да жоқары температурада атомлар да бөлеклерге бөлініп, электронларын жоғалтады хәм ионларға айналады. Бул нәрсе жұлдызлардың спектраллық классларының өзгешеликлеринен аңсат көрінеді.

### Спектр-жақтылықлық диаграммасы

Жұлдызлардың спектраллық класслары хәм олардың температуралары арасында байланыстың бар екенлиги бақлаўлардан мәлим болды. Сондай-ақ, жұлдызлардың жақтылықлығы олардың абсолют жұлдыз шамалары арқалы аңлатылыўының да мүмкин екенлиги анық болғаннан соң алымлар өз гезегинде бул еки байланыслар арасында да байланыстың болыўы керек деген гүман менен оны излеўге киристи. Бундай байланысты бир биринен байланыссыз халда XX әсирдин басларында Даниялық астроном Герцшпрунг хәм Америкалық астрофизик Рессел анықлады. Олар жұлдызлардың жақтылықлықлары хәм спектраллық класслары арасындағы байланысты характерлеўши графикти алды. Белгили болыўынша, егер координата көшерлериниң бири бойынша жұлдызлардың спектраллық классларын, екіншиси бойынша олардың абсолют жұлдыз шамалары қойылса, жұлдызлардың бул параметрлери арасындағы байланыслары бир неше топарға ажыралған халдағы график пайда болады екен. Бундай байланысларды тәриплеўши диаграмма кейинирек спектр-жақтылықлық ямаса Герцшпрунг-Рессел диаграммасы деп аталған. Спектр-жақтылықлық диаграммасында жұлдызлардың абсолют жұлдыз шамаларына параллел көшерде логарифмлик шкалада жұлдызлардың жақтылықлықлары (Қуяш жақтылықлығы бирлигинде,  $L_{\odot} = 1$ ), спектраллық класслар көшерине параллел көшерде болса олардың рең көрсеткишлерин ямаса эффективли температураларын алыў мүмкин (сүүретте берилген).

Герцшпрунг-Рессел диаграммасы улыўмалық физикалық тәбиятқа ийе болған жұлдызларды хәр қыйлы топарларға ажыратып, олардың температурасы, жақтылықлығы, спектрал классы хәм абсолют шамалары сыяқлы параметрлери арасындағы байланысларды анықлаўға имканият беретугын хәм жұлдызлар физикасын үйрениўде әҳмийетли орын тутатуғын диаграмма болып есапланады.

Бул диаграммада жұлдызлардың тийкарғы бөлими бас избе-излик деп аталыўшы иймеклик бойынша жайласып, оның шеп бөлиминде жақтылықлықлары жоқары болған басланғыш спектрал классларға тийисли жұлдызлар жайласады. Оң тәрепке барған сайын жұлдызлардың жақтылықлықлары (сонлықтан, температуралары) төменлеп, кейинги классларға тийисли жұлдызлар (бас избе-излик иймеклигинен) орын алады.



Спектр-жақтылық бергишлик диаграммасы.

Бас избе-излик иймеклигинен жоқарыда салыстырмалы төмен температуралы, бирақ диаметри жүдә үлкен хәм соның ушын да жоқары жақтылықлыққа ийе болған абсолют

жұлдыз шамалары  $-4^m$ ,  $-5^m$  ли аса гигант хәм гигант (абсолют жұлдыз шамалары  $0^m$  этирапында) жұлдызлар жайласады. Диаграмманың төменги бөлиминде тийкарынан А спектрал классына хәм салыстырмалы кем жақтылықлықка ийе болған өз алдына топар - киши жұлдызлар жайласады.

Диаграммада жұлдызлардың бир тегис бөлинбегенлиги олардың жақтылықлықлары хәм температуралары арасында сезилерли байланыс бар екенлигинен дерек береді. Бул байланыс, айрықша, бас избе-изликке тийисли жұлдызларда жақсы көринеді.

Бирақ жұлдызлардың жақтылықлықлары хәм спектраллық класслары арасындағы байланысты итибар менен үйрениў диаграммада бас избе-изликтен басқа және де бир неше избе-изликлердің ашылыўына алып келеді. Бул избе-изликлер *жақтылықлық класслары* деп аталады хәм олар I ден VII ге шекем рим цифралары менен белгиленеді (111-сүўрет). Бул цифралар болса өз гезегинде жұлдыздың спектраллық классынан кейин қойылады.

Жақтылықлық класслары бойынша жұлдызлар төмендегидей группаларға бөлинеді:

I класс - аса гигантлар. Бул жұлдызлар Герцшпрунг-Рессел диаграммасының жоқары бөлиминен орын алып, өзлери де және бир неше избе-изликлерге ( $I_{ao}$ ,  $I_a$ , хәм  $I_b$ ) бөлинеді.

II класс - жақты гигантлар;

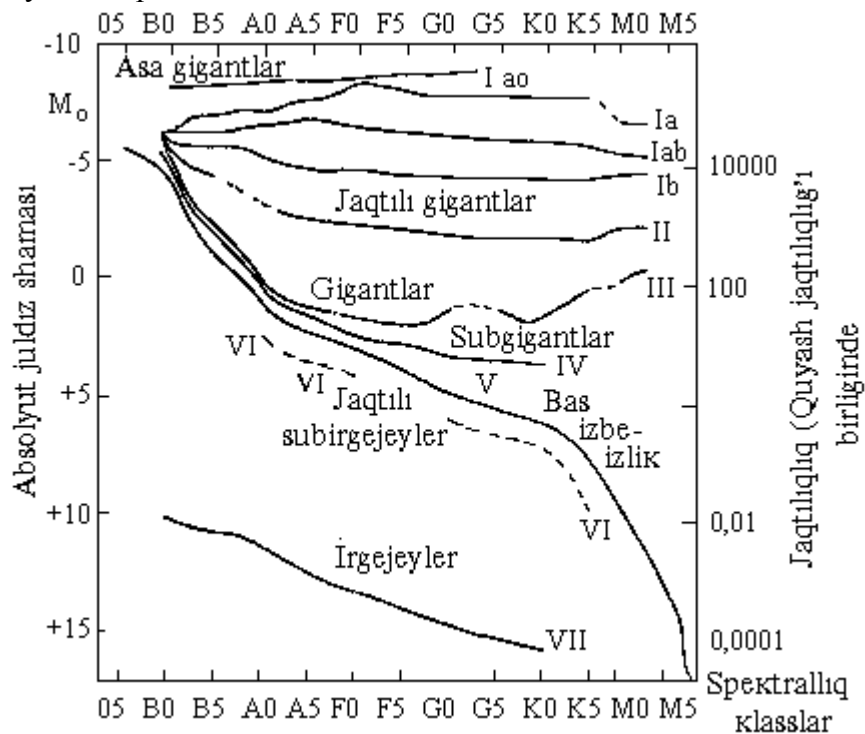
III класс - гигантлар;

IV класс - субгигантлар;

V класс - бас избе-излик жұлдызлары;

VI класс - жақты субиргежейдер. Бас избе-изликтен шама менен бир жұлдыз шамасына парық қылып, оның астынан орын алады.

VII класс - ақ киши жұлдызлар. Диаграмманың төменги бөлиминен орын алыўшы жұлдызлар болып табылады.



Жұлдызлардың  
жақтылықлық классла-  
ры.

Бир жұлдызды белгили бир жақтылықлық классына тийислилиги спектраллық класстың арнаўлы белгилери арқалы аныкланады. Мысалы, аса гигантлардың спектри спектринде кең сызықлар болған ақ киши жұлдызлардың спектринен парық қылып, жиңишке хәм контуры жүдә терең (интенсивлиги жоқары) спектраллық сызықларға ийе болады. Белгили бир спектраллық классқа тийисли киши жұлдызлардың тап сондай спектраллық класстағы гигантлардан парқы соннан ибарат, киши жұлдызлардың спектринде айырым металлардың сызықлары гигантлартикине салыстырғанда күшсиз бо-

лады, бирақ басқа бир металларға тийисли сызықлардың интенсивликлери жүдә аз парық қылады.

Жулдызлардың спектраллық класслары олардың жақтылықлық класслары менен қосып үйренилгенде жулдызлардың абсолют шамаларын анықлаўға имканият береді. Жулдызлардың анықланған абсолют жулдыз шамалары болса өз гезегинде жулдызларға шекемги қашықлықларды анықлаўға имканият береді.

Жулдызлар жақтылық бергишлигиниң олардың спектриндеги анық сызықлар интенсивликлериниң қатнасына эмперикалық байланыслылығына тийкарланған жулдызларға шекемги қашықлықларды анықлаў методы жоқарыда еслетилгендей спектраллық параллакс методы деп аталады.

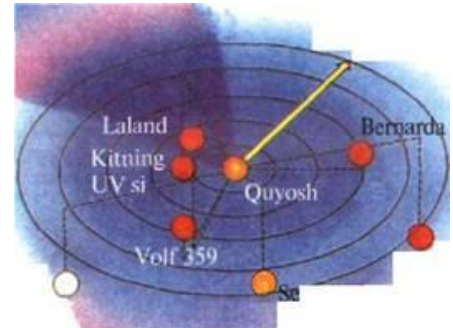
Спектраллық параллакс методының тригонометриялық методлардан әпиұайылығы соннан ибарат, спектраллық параллакс жүдә үлкен қашықлықларда жайласқан хәм спектрлерин алыў имканияты болған барлық жақтыртқышлардың қашықлықларын анықлаўға имканият береді.

### Жыллық параллакс хәм жулдызларға шекемги қашықлықларды анықлаў

Жулдызларға шекемги қашықлықты анықлаў олардың жыллық параллакслық жылжыўларына тийкарланады. Қуяш этирапында радиусы шама менен 150 миллион километрли шеңбер бойынша қозғалатуғын Жердеги бақлаўшы салыстырмалы жақын қашықлықлардағы жулдызлардың узақтағы жулдызлар фонында жылжып, бир жыл ишинде шеңбер (жулдыз Жер орбитасы тегислигине перпендикуляр бағдарда жайласқанда), эллипс (жулдыз Жер орбита тегислигине мүйеш жасап жайласқанда) сызыўын бақлайды.



Жулдызлардың жыллық параллаксы.



Қуяштан 10 жақтылық жылына тең қашықлыққа шекем жайласқан жулдызлар.

Жақтыртқыштың параллакслық жылжыўы деп жүргизилиўши бундай сызықлардың (шеңбер ямаса эллипс) мүйешлик өлшеми жулдыздың узақтылығына сәйкес хәр қыйлы үлкенликте болып, ол бул жақтыртқыштан қаралғанда қараў сызығына перпендикуляр болған Жер орбитасы радиусының көринерлик мүйеши  $\pi$  ди өлшеўге имканият береді (112-сүүрет). Жақтыртқыштың жыллық параллаксы деп аталыўшы бул  $\pi$  мүйеш болса өз гезегинде усы жақтыртқыштың Қуяш системасынан (демек, Жерден) узақтығын өлшеўге имканият береді. Тең тәрепли туўры мүйешли үш мүйешлик QEM нен

$$\sin \pi'' = \frac{r}{l} \quad \text{ямаса} \quad l = \frac{r}{\sin \pi''}.$$

Бул аңлатпада  $r$  Жер орбитасының радиусын,  $l$  болса жақтыртқышқа шекем қашықлықты тәриплейди. Жыллық параллакс мүйеши  $\pi$  жүдә киши болып, мүйешлик секундтың үлеслеринде өлшенгенликтен жақтыртқышқа шекемги

аралық ( $r = a.b$ ):  $l = \frac{r}{\pi * \sin 1''} = \frac{1 * 206265}{\pi}$  а.б формуласы жәрдеминде есапланады. Егер аралық парсеклерде өлшенсе  $l = \frac{1}{\pi''}$  болады.

Биринши рет 1886-жылы сондай усыл менен Веганың (Лираның альфасы) жыллық параллаксы өлшенип, бул жұлдызға шекем қашықтықты белгили Пулково (Россия) обсерваториясының тийкарын салыўшы В.Я.Струве анықлады. Бундай усыл менен салыстырмалы жақын ( $\pi \geq 0,01''$ ) жұлдызларға шекемги қашықтықлар анықланады. Сондай усыл менен қашықтығы өлшенген Қуяштан 10 жақтылық жылына шекемги қашықтықта жатқан жұлдызлар сүүретте келтирилген. Жүдә узақтағы жұлдызларға шекемги аралық болса олардың көринерлик хәм абсолют шамалары ( $m, M$ ) тийкарында  $\lg r = \frac{m - M}{5} + 1$  (пк) формуласы жәрдеминде табылады.

### Жұлдызлардың өлшемлерин есаплаў

Жұлдызлар жүдә узақ қашықтықта болғанлықтан ең ири телескоплар арқалы қаралғанда да олар тийкарынан ноқат тәризли болып көринеди. Тек айырым жұлдызлардың мүйешлик өлшемлерин ғана арнаўлы телескоплар - жұлдыз интерферометрлери жәрдеминде өлшеўдин илажы бар.

Жұлдыздың бул усыл менен анықланған көринерлик диаметри ( $d''$ ), оған шекемги аралық  $L$  мәлим болғанда жұлдыздың сызықлы өлшеми (диаметри)  $D$  мына аңлатпадан табылады  $D = L * \sin d''$ . Бирақ көпшилик жұлдызлар ноқат түринде болғанынан олардың өлшемлерин табыў ушын басқа усылдан пайдаланады.

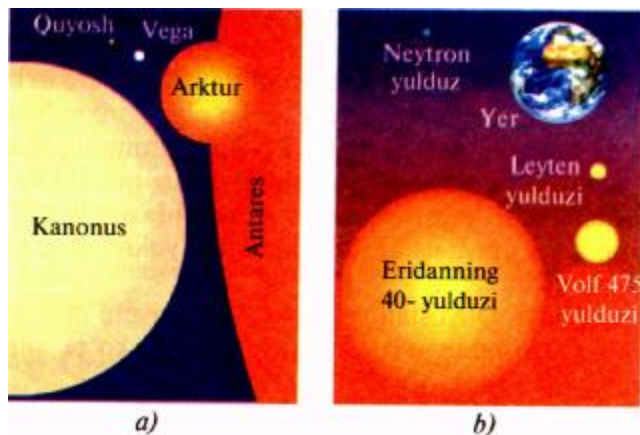
Мәлим, жұлдызларды абсолют кара дене деп қарап олардың толық нурланыў қуўатын Стефан-Больцман нызамына сәйкес  $L_* = S_* * \sigma T_*^4$  деп жазыў мүмкин. Бул Жерде  $\sigma$  Стефан-Больцман турақлысы  $\sigma = 5,7 * 10^{-8} \text{ W}/(\text{м}^2 * \text{K}^4)$ ,  $S_*$  жұлдыздың бети (шар бети),  $T_*$  бетиниң температурасы. Шар бети  $S = 4\pi R^2$  болғанлықтан жұлдызлардың жақтылық бергишлиги  $L_* = 4\pi R_*^2 * \sigma T_*^4$  болады. Егер бул аңлатпаны Қуяш ушын жазсақ  $L_{\epsilon} = 4\pi R_{\epsilon}^2 * \sigma T_{\epsilon}^4$  кге ийе боламыз. Бул аңлатпалардың сәйкес тәреплериниң қатнасын алсақ

$$\frac{L_*}{L_{\text{с}}} = \left( \frac{T_*}{T_{\text{с}}} \right)^4 \left( \frac{R_*}{R_{\text{с}}} \right)^2 \text{ аңлатпасына ийе боламыз.}$$

Жұлдыздың жақтылық бергишлиги  $L_*$  хәм температурасын басқа жоллар менен анықлап, оның радиусын Қуяш радиусы бирликлеринде ( $R_{\epsilon} = 1$ ) жоқарыдағы теңликтен тапсақ, онда

$$\lg R_* = \frac{1}{2} \lg \frac{L_*}{L_{\text{с}}} - 2 \lg \frac{T_*}{T_{\text{с}}}$$

болады.



Қуяштың өлшеми гигант жұлдыздар (а) хәм Жер өлшеминдегі киши жұлдыздар (б) менен салыстырғанда.

Қуяштың радиусы оның көринерлик радиусына ( $\rho = 16'$ ) сәйкес

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{R_s}{\Delta}$$

бул жерде  $\Delta = 1,5 \cdot 10^{11}$  м Қуяштан Жерге шекемги орташа қашықтық. Бул жағдайда Қуяштың радиусы:

$$R_s = 1,5 \cdot 10^{11} \cdot \operatorname{tg} 16' \approx 7 \cdot 10^8 \text{ м}$$

яки шама менен 700000 километрге тең.

Гигант хәм аса гигант жұлдыздар ишинде радиусы Қуяштың радиусынан мың есе үлкенлери ушырайды. Цефей жұлдыз топарындағы VV деп аталған жұлдыздың радиусы Қуяштыкинен 6000 есе үлкен. Үлкен Ийт жұлдыз топарының ең жарық жұлдызы Сириустың радиусы Қуяштыкинен 2 есе үлкен, яғный 1400000 км. Базы бир жұлдызлар болса, керисинше, Қуяштан бир неше онлаған есе киши хәм диаметрлери планетаники сыяқлы тек бир неше мың километрди қурайды. Бундай жұлдызлардың көпшилиги ақ реңде болып, оларды ақ иргежейлилер деп атайды. сұўретте қызыл гигантлар менен ақ иргежейлилердің өлшемлери Қуяштың хәм Жердің өлшемлери менен салыстырылған.

### Жұлдызлардың массаларын есаплаў

Жұлдызларды тәриплеўши ең әхмийетли шамалардың бири олардың массалары болып табылады. Жұлдызларға тийисли көплеген параметрлер қандайда бир дәрежеде массаларына байланыслы болып табылады. Басқа параметрлеринен паркы соннан ибарат, жұлдызлардың массаларын анықлаў ең қурамалы мәселелердің қатарына киреди. Егер жұлдыздың этирапында жолдасы болса, онда жұлдыздың оған түсиретуғын гравитациялық тәсири тийкарында жұлдыздың массасын анықлаў мүмкин.

Усындай жол менен Қуяштың этирапында айланыўшы планеталардың дәўирлери де Қуяштан орташа қашықтықларына байланыслы анықланған Қуяштың массасы  $2 \cdot 10^{30}$  кг ды қурайды.

Жұлдызлар этирапында олардың жолдасларының көпшилик болыўына байланыслы (айырымларын есапқа алмағанда) бул усыл менен олардың массаларын анықлаўдың ила-жы жоқ. Бирақ көп жағдайларда жұлдызлар қос халда ушырасып, олардың улыўмалық масса орайы этирапында айланыў дәўирлерине сәйкес массаларын есаплаўдың имканияты бар. Бул жағдайда Кеплердің Ньютон тәрәпинен анықлаў киргизилген ызымынан пайдаланылады. Қос жұлдызлардың бул усыл менен анықланған массалары есаплаўлардың көрсетиўинше 0,1 Қуяш массасынан 100 Қуяш массасына шекем болады екен. Массалары 10-50  $M_s$  шегарасында болған жұлдызлар салыстырмалы кем ушырайды.

Ең киши массалы жұлдызлардың өзи де планеталардың массасынан жүзлеген есе артық массаға ийе. 0,1 Қуяш массасынан киши «жұлдызлар» жақтылық нурларында нурлана алмайды, яғный жұлдыз сыпатында көринетуғын бола алмайды.

Массалары анықланған жұлдызларды олардың жақтылықтары менен салыстырып үйрениу нәтижесінде бул еки физикалық шамалар арасында байланыстың бар екенлиги анықланды: жұлдыздың жақтылықлығы оның массасының шама менен төртінши дәрежесине пропорционал екен, яғный:

$$\frac{L_*}{L_{\text{с}}} = \left( \frac{M_*}{M_{\text{с}}} \right)^4.$$

Бул аңлатпадан көринип турғанындай жұлдыз Қуяштан үш есе артық массаға ийе болса оның жақтылық бергиглиги Қуяштыкинен 81 есе артық болады екен.

Масса хәм жақтылық арасындағы бундай байланыс тийкарында жақтылықтары анықланған жұлдызлардың массаларын табыу мүмкин. Бул хәзирге шекемги ўақытларда астрономияда жолдасы анықланбаған ямаса Қос системаны қурамайтуғын жеке жұлдызлардың массаларын анықлаудың бирден бир жолы болып есепланады.

### Қос жұлдызлар

Биринши рет қарағанда аспанда жұлдызлар жеке түрінде жасайтуғын болып көринсе де олардың көпшилиги тийкарынан екиден, үштен ямаса оннан да көбирек санда бир бири менен динамикалық байланысқан ҳалда жасайды. Олар ишинде айрықша қос жұлдызлар (яғный жуп ҳалдағылары) көбирек ушырайды. Бирақ қос болып көринген жұлдызлардың хәммеси де қос бола бермейди. Олардың ишинде хәр қыйлы қашықлықларда жайласып, өз-ара хеш бир динамикалық байланыспаған хәм белгили бир қарау сызығы жанында жатқанларынан аспанда бир бирине жақындай болып көринетуғынлары да көп болады. Бундай жұлдызлар *оптикалық қос жұлдызлар* деп аталады. Бизди өз-ара динамикалық байланысқан *хақыйқый* ямаса илимий тил менен айтқанда *физикалық қос жұлдызлар* қызықтырады.

Егер физикалық қос жұлдызлардың қураушылары қуатлы телескоп пенен қаралғанда бир биринен тиккелей ажыратып көриу мүмкин болған мүйешлик қашықлықта жайласқан болса оларды *визуал қос жұлдызлар* деп атайды. Бир бирине салыстырғанда жүдә киши мүйешлик қашықлықларда жайласқан қос жұлдызларды өз алдына ажыратып көриудің хеш илажы жоқ болып, олардың қос екенлиги фотометрлик ямаса спектраллық усыллар жәрдемінде анықланады. Соған байланыслы олар сәйкес рәуиште *тутылыушы қос жұлдызлар* хәм *спектраллық қос жұлдызлар* деп аталады.

Визуал қос жұлдызға мысал ретінде көпшиликке жақсы таныс болған үлкен Жети қарақшы (Шөмиш) жұлдыз топарыдағы «шөмиш ручкасы» ның ақырынан санағанда екинши жұлдызын алыу мүмкин. Әйемги ўақытлары араблар ол жұлдызға Алқор (Шабандоз) деп ат қойған. Оның қасындағы көзге зорға көринетуғын жұлдызшаны Мицар деп атаған. Бул еки жұлдыз өз-ара динамикалық байланыстағы визуал қос жұлдыз болып табылады. Олардың арасы тек 11' ке тең. Әдеттеги дала дүрмийини арқалы визуал қос жұлдызлардың көпшилигин көриу мүмкин (сүүретте келтирилген). Буннан кейинги сүүретте визуал қос жұлдызлардың ўәкили Үлкен Жети қарақшының ξ иниң тийкаргы жұлдызға салыстырғанда бақланған жолдастың орбитасы келтирилген.

*Тутылыушы қос жұлдызлардың* қатардағы ўәкили әйемги ўақытлары араблар анықлаған хәм Алгул («Девтиң көзи» мағанасын береді) деп атаған Персей жұлдыз топарының β жұлдызы болып табылады. Бул қос жұлдызлардың орбита тегисликлериниң қарау сызығы бойлап жатқанлығынан, улыўмалық масса орайы әтирапында шеңбер бойынша айланыу барысында олар бир бириниң алдынан өтеди хәм нәтижеде жұлдыздың жақтылығы дәуирли рәуиште (3 суткалық) өзгерип, олардың қос екенлигинен дерек береді (сүүретте көрсетилген).

Ал спектраллық қос жұлдызлардың қос екенликлери олардың бир бириниң үстине түскен спектрлериндеги улыўмалық сызықлардың (хәр еки жұлдыз спектринде де бар

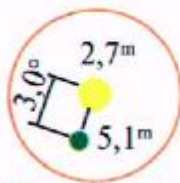


сызықлардың) бір бирине салыстырғанда дәуірли жылжыуынан (жұлдызлардың бір бирине салыстырғандағы қозғалғанлығына байланысly) билинеди.

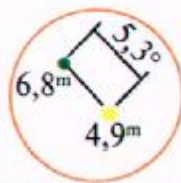
Андромеданың $\gamma$ сы.	Қурбақаның $\epsilon$ си.	Қурбақаның $\xi$ жұлдызы.	Жүгириуши тазылардың $\alpha$ сы.
Саратанның $\iota$ жұлдызы.	Кассиопеяның $\eta$ сы.	Аққуудың $\beta$ сы.	Дельфиннің $\gamma$ сы.
Явзонның $\kappa$ сы.	Геркулестің $\alpha$ сы.	Геркулестің $\delta$ сы.	Персейдің $\eta$ сы.
		Ақрабтың $\delta$ сы.	Ақрабтың $\beta$ сы



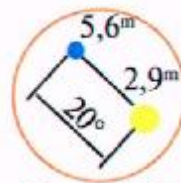
Andromeda-  
ning  $\gamma$  si



Ho'kizboqar-  
ning  $\epsilon$  si



Ho'kizboqar-  
ning  $\xi$  si



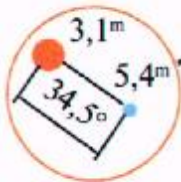
Yugurivchi  
tozilarning  $\alpha$  si



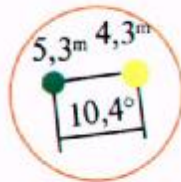
Saratonning  
 $\iota$  si



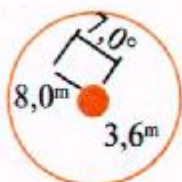
Kassiopeya-  
ning  $\eta$  si



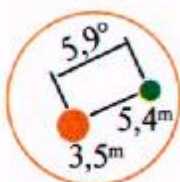
Oqqushning  
 $\beta$  si



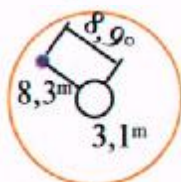
Delfinning  
 $\gamma$  si



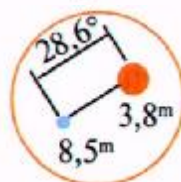
Javzonning  
 $\kappa$  si



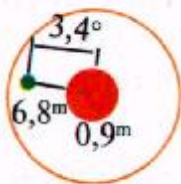
Gerkulesning  
 $\alpha$  si



Gerkulesning  
 $\delta$  si



Perseyning  
 $\eta$  si

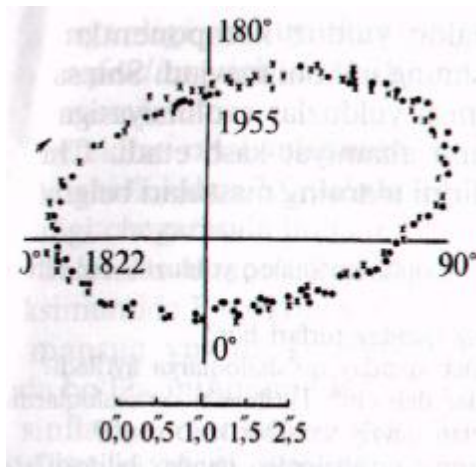


Aqrabning  
 $\delta$  si

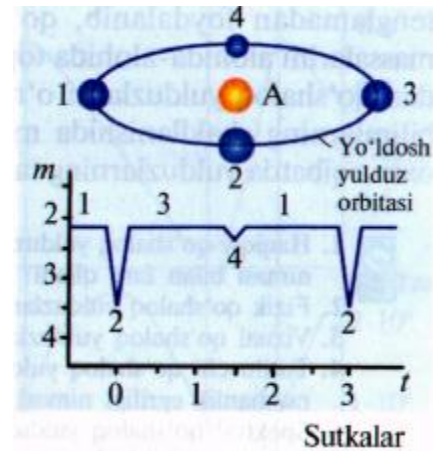


Aqrabning  
 $\beta$  si

Таныс жұлдызлар дүркінлерінде бақланатуғын қос жұлдызлар (Жұлдыз шамалары хәм өз-ара мүйешлик қашықлықлар берилген).



Визуал қос жұлдыздың (Үлкен Жети қарақшының  $\xi$  сы) орбитасы.



Тутылыушы қос жұлдыз (Алгол - Персейдің  $\beta$  сы).

Көпшилік қос жұлдызлардың хақыйқый қос жұлдыз ба ямаса оптикалық қос жұлдыз ба екенлигин анықлау үшін олардың қозғалыстарын ұзақ жыллар бақлауға тууы келеді. Хақыйқый қос жұлдызлар қураушыларының жеке қозғалыстарының дерлік бірдей көриніуінде болады. Хәзирге шекем хәр қыйлы методлар жәрдемінде табылған тығыз Қос жұлдызлардың саны онлаған мыңды қурайды. Олардан 10% ға жақынының салыстырмалы (бас жұлдызға салыстырғандағы) орбиталары анықланған.

Қос жұлдызлардың қураушылары кеңіслікте Кеплер нызамларына бойсынған халда қозғалып, олардың екеуі де олардың улыұмалық массалары орайы этирапында бір бири-не уқсас эллипстер бойынша қозғалады. Қызығы соннан ибарат, жолдас жұлдыздың бас жұлдыз этирапындағы салыстырмалы қозғалыс траекториясы да тек сондай эксцентритетли эллипстен ибарат болады. Пайда болған бундай эллипстің үлкен ярым көшери қураушы жұлдызлардың эллипс тәрізлі орбиталарының үлкен ярым көшерлеринің қосындысынан ибарат болады.

Егер қос жұлдызлардың улыұмалық масса орайына салыстырғандағы орбиталарының үлкен ярым көшерлеринің қатнасы мәлим болса, усы тийкарда олардың массаларының қатнасын анықлау мүмкін. Соның менен бирге жолдас жұлдыздың орбитасының үлкен ярым көшери тийкарында Кеплердің улыұмаласқан 3-нызамынан пайдаланып жұлдызлар массаларының қосындысын да табыу мүмкін. Сонлықтан бул еки теңлемеден пайдаланып қос жұлдыз қураушыларының массаларын өз алдына табыудың имканияты бар. Усы себептен қос жұлдызларды үйрениу жұлдызлар эволюциясына тән билимлердің қәлиплесіуінде әхмийетли орынды ийелейди. Себеби ақыр-аяғында жұлдызлардың тәғдирин олардың массалары белгилейди.

## Физикалық өзгеріуші жұлдызлар

Физикалық өзгеріуші жұлдызлардың жақтылықтарының өзгеріуінің тутылыушы қос жұлдызлар жақтылықтарының дәуирли өзгеріуінен парқы усы жұлдызлардың қорында өтетуғын физикалық процесслерге байланыслы пайда болады. Физикалық өзгеріуші жұлдызлар жақтылығының өзгеріуі характерине байланыслы пулсацияланыушы хәм еруптив өзгеріуші жұлдызларға бөлинеди.

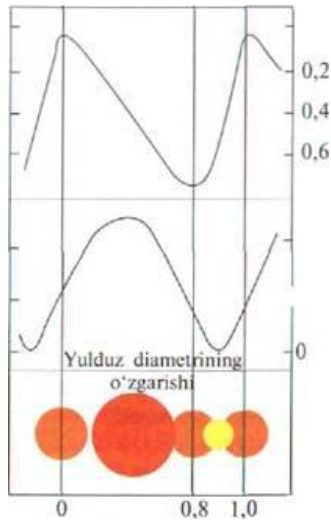
**1. Пулсацияланыушы өзгеріуші жұлдызлар** – жақтылығының бир қәлипли өзгеріуі менен характерленеди. Бундай өзгеріуші жұлдызлар жақтылықтарының өзгеріуі тийкарынан олардың бет қатламларының пулсацияланыуының салдарынан болғаны ушын да олар сондай деп аталады. Пулсацияланыуға байланыслы бундай жұлдызлардың радиуслары артып атырғанда олардың жақтылықлығы хәм температурасы максимумға ериседи. Керисинше киширейіу барысында (яғный жұлдыз қысылып



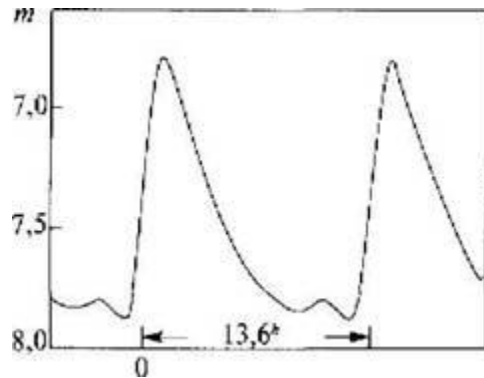
атырғанда) болса жақтылықлығы хәм температурасы төменлейди. Пулсацияланыўшы өзгериўши жулдызлар дәўирлериниң узынлығы хәм жақтылықларының өзгериў дәрежесине байланысly цефеидлерге хәм Лираның RR типиндеги жулдызларға бөлинеди.

**Цефеидлердиң** жақтылықларының иймеклиги өзине тән формаға ийе болып, олардың тийкарғы физикалық шамаларынан есапланған көринерлик жулдыз шамаларының ўақыт бойынша өзгериў дәўири бир неше суткадан бир неше онлаған суткаға шекем жетеди. Бундай жулдызлардың жақтылықларының иймеклиги Цефей жулдыз топарының  $\delta$  жулдызының өзгериўине уксағанлығы ушын да олар *цефеидлер* деп аталады (сүўретте көрсетилген).

Цефеидлердиң жақтылығының өзгериўи 0,1 дан 2,0 жулдыз шамасы аралығында болады.



Цефеидлердиң (Цефейдиң  $\delta$  типиндеги жулдызы) жақтылығы ( $\Delta m$ ) хәм радиусының өзгериў ( $\Delta R$ ) иймекликлери.



Лираның RR өзгериўши жулдызы жақтылығының өзгериси.

Цефеидлер шақмағының максимумында F спектрал классқа кириўши жулдыздың түринде болып, минимумида G, K классларына кириўши жулдызлардың түрине енеди. Жақтылықларының бундай болып өзгериўи жулдыз температурасының орташа 1500 градусқа өзгериўине сәйкес келеди. Цефеидлер спектринде бақланатуғын сызықлар оның жақтылығының өзгерисиниң фазасына сәйкес рәўиште қызыл ямаса фиолет тәрәпке қарай жылжып турады. Бундай жылжыўлар да дәўирли характерге ийе болып, қызыл жылжыўының максимумы цефеид жақтылығының минимумына, фиолет жылжыўдың максимумы болса жақтылығының максимумына туўры келеди. Цефеидлердиң дәўирлери хәм жақтылықлары арасында байланыс бар болып, олар жақтылықларының артыўы дәўирлериниң артыўында өз сәўлесин табады.

Цефеидлер F хәм G класларға кириўши гигант хәм аса гигант жулдызлар болғанлықтан олардың Галактикамыздан сырттағы объектлерде де көриўиниң имканияты бар.

**Лираның RR типиндеги өзгериўши жулдызлар** A спектраллық классына кириўши гигант жулдызлар болып, жақтылығының өзгериў интервалы 1-2 жулдыз шамасына шекем барады. Спектраллық классларының өзгериўи A хәм F класслар менен шегараланады. Бул типтеги жулдызлардың жақтылықларының өзгериў дәўири 0,05 суткадан 1,2 суткаға шекем болып, жүдә үлкен дәллик пенен бақланады (сүўрети келтирилген).

Цефей жулдыз топарының  $\beta$  сы ямаса үлкен ийт жулдыз топарының  $\beta$  сы типиндеги физикалық өзгериўши жулдызлар жақтылығының иймеклиги бойынша RR типиндеги жулдызларды еслетсе де, жақтылық бергишлигиниң жүдә аз өзгериўи (0,2 жулдыз шамасында) менен олардан парық қылады. Бул типтеги жулдызлардың өзгериў дәўири 3 сааттан 6 саатқа шекем барып, цефеидлердики сыяқлы жақтылықларының өзгериўи дәўирине байланысly болады.

Өзгериуши жұлдызлардың бул еки тийкарғы түринген басқа узын дәуирли өзгериуши жұлдызлар да бар.

Савр жұлдыз топарының RV типиндеги жұлдызлардың жақтылығының өзгериу дәуириниң салыстырмалы анықлығы менен басқа типтеги физикалық өзгериуши жұлдызлардан парық қылады. Олардың дәуири 30 суткадан 150 суткаға шекем барып, жақтылықтары 3 жұлдыз шамасына шекем өзгереді. Бул типтеги жұлдызлардың спектраллық өзгериу шегарасы G класстан K классқа шекем барады.

Кит жұлдыз топарындағы Мира типиндеги жұлдызлар узын дәуирли өзгериуши жұлдызлардан болып, олардың өзгериу дәуири 80 суткадан 1000 хәм оннан да артық суткаға шекем барады. Жақтылығының өзгериу амплитудасы болса 2,5 жұлдыз шамасына шекем жетеді. Бундай жұлдызлар жақтылық бергишлигиниң максимумында, жақтылығының минимумына оның спектринде бақланған металл сызықлар орнын водородтың эмиссиялық сызықтары ийелейді.

### **Жаңа хәм аса жаңа жұлдызлар**

Жаңа хәм аса жаңа жұлдызлар салыстырмалы киши жақтылықлыққа ийе жұлдызлар (тийкарынан, мини жұлдызлар) болып, олардың жақтылығы қысқа ўақытлар ишинде жүзлеген, хәтте миллионлаған есе шақмақ түринде өседі. Бундай шақмақлар көпшилик жағдайларда бул жұлдызлардан плазманың ылақтырылыуы (ерупциясы) менен түсиндирилгени ушын олар еруптив өзгериуши жұлдызлар деп те аталады. Бундай жұлдызлардың әдеттегидей ўәкиллери жаңа хәм аса жаңа жұлдызлар болып табылады.

**Жаңа жұлдызлар** еруптив өзгериуши жұлдызлардың раўажланыуының белгили бир басқышында орын алып, «жаңа» деген ат оларға шәртли рәуиште берилген.

Бундай жұлдызлар тийкарында ескиден бар жұлдызлар болып, өз эволюциясының белгили бир басқышында шақмақ сыяқлы жақтылығы 10-13 жұлдыз шамасына шекем артып, әдеттеги көз бенен көринетуғын жақты жұлдызға айланады. Өз шақмақларының максимумында олардың абсолют жұлдыз үлкенликлериниң орташа муғдары -8,5 жұлдыз шамасына шекем барып, бул жағдайда олардың А-F спектраллық классларға киретуғынлығы аса гигант жұлдызлардың көриниўине жүдә усап кетеді.

Жаңа жұлдызлардың шақмақ иймеклиги өз алдына көриниске ийе болып, ол шақмақ процессин бир неше басқышқа ажыратып үйрениўге имканият береді (120-сүўрет). Шақмақтың дәслепки басқышы жүдә тез, 2-3 суткада жүз берип, максимумға ерисиўден алдын бир «тоқтап алады». Максимумнан соң жұлдыз жақтылықлығы пәсейе барып, дәслепки қалына жетиўи ушын бир қанша жыллар өтеді. Жақтылықтың дәслепки 3 жұлдыз шамасына шекем пәсейиў басқышы дерлик бир тегис өтеді. Жақтылықтың кейинги 3 жұлдыз шамасына төменлеўи орта басқыш деп аталып, бул жағдайда жұлдыздың жақтылықлығы бир тегис пәсейиўи тербелислер менен кешиўи мүмкин хәм сөниўдиң акырғы басқышы және де бир тегис өтип, нәтийжеде жұлдыз шақмаққа шекемги болған жақтылығына ериседі.

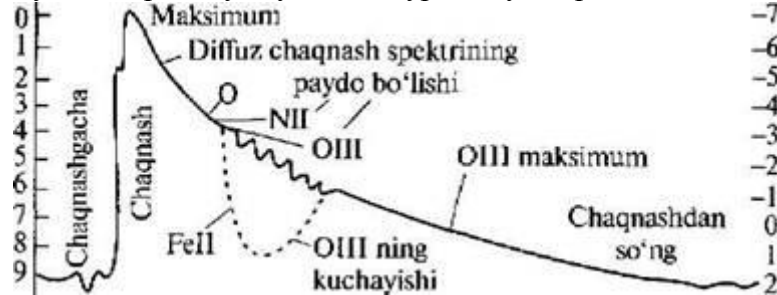
Жаңа жұлдызлардың шақмақ механизми ҳаққында хәзирге шекем анық бир пикирге келинген жоқ. Бул ҳаққындағы белгили гипотезалардың биринде сәйкес жұлдыздың шақмағы оның ишинде өтип атырған физикалық процесстин ақыбети деп есапланса, екиншисинде бул кубылыста сыртқы факторлар тәсири тийкарғы орынды ийелейді деп қарайды.

Жаңа жұлдызлардың партлаў процесси қос жұлдызлардың өз-ара затлар алмасыуы нәтийжесинде жүз береді деген гипотеза бул мәселедеги итибарға миясар гипотезалардың бири болып есапланады. Тийкарғы жұлдыздың водородқа бай бир бөлиминиң затлары жолдас деп есапланып ақ киши жұлдыз бетине түссе оның бетинде термоядролық синтез бенен өтетуғын партлаў (шақмақ) жүз берип, үлкен муғдарда энергия ажыралып шығады. Жаңа жұлдызлар шақмақ дәуиринде толық нурланыў энергиясы  $10^{38}$ - $10^{39}$  Дж ды қурап, бундай энергияны Қуяш бир неше онлаған мың жылда ғана бериўи мүмкин.

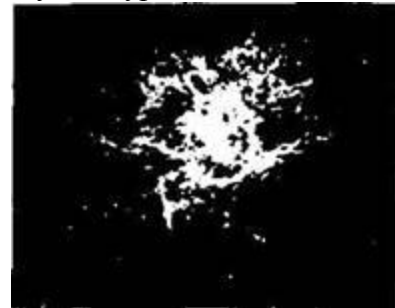
Жулдыз бетинде партлаў жүз бергенде оның бетинен үлкен массалы затлар (шама менен  $10^{-4} - 10^{-5} M_{\odot}$ ) 1500-2000 км/с қа шекемги тезликлер менен ылақтырылады. Ақыбетинде жаңа жулдыз этирапында тарқалып атырған газ үлкен думанлықты пайда етеди. Бақлаўлар нәтийжесинде салыстырмалы жақын жайласқан барлық жаңа жулдызлардың этирапында ҳақыйқатында да кеңейиўши сондай газ думанлықлары бақланады.

Хәзирге шекем жаңа 300 ге жақын партлаған жаңа жулдыз белгили болып, олардың 150 ге жақыны өзимиздиң Галактикамызда, 100 ге жақыны қоңсы Андромеда думанлығында бақланады.

Аса жаңа жулдызлар да еруптив өзгериўши жулдызлар болып, жақтылықлығы кескин өзгериўши (жылт етиўши, шақмақтың шаққанындай, партланғандай) жулдызлар болып табылады. Олардың шақмақлары партланыў есабынан болады. Партлаўға байланысly бундай жулдызлардың жақтылығы бир неше күн даўамында онлаған миллион есе артады. Жулдыз өз жақтылығының максимумына ерискенде өзи жайласқан галактика жақтылығындай, базы бир жағдайларда оннан да бир неше есе артық жақтылыққа ийе болады. Жақтылығының максимумыда, оның абсолют жулдыз шамасы -18 дан -19 жулдыз шамасына шекем жетеди. Аса жаңа жулдызлар өз жақтылықлығының максимумына партлаў жүз бергеннен 2-3 хәпте өткеннен кейин ериседи хәм соңынан бир неше ай даўамында оның жақтылықлығы 25-30 есе кемейеди. Шақмақ даўамында аса жаңа жулдызлардың улыўмалық нурланыў энергиясы  $10^{41}$ - $10^{42}$  Джоулди курайды.



120-сүўрет. Жаңа жулдыздың шақмағының иймеклиги.



Савр жулдыз топарындағы Краб тәризли думанлық - 1054-жылы партлаған аса жаңа жулдыздың қалдығы.

Белгили бир галактикада аса жаңа жулдызлардың бақланыўы шама менен хәр 100 жыл ишинде 1-2 рет ғана болыўы мүмкин. Тарийхта бизиң Галактикамызда да бир неше жаңа жулдызлардың шақмағы бақланған. Олар ишинде Савр жулдыз топарында 1054-жылы Қытай астрономлары тәрeпинен бақланған аса жаңа ең куўатлыларының бири болып есапланады. Бул жулдыз партлаўдан соң бир неше күн даўамында күндиз де көринип турған. Шақмақ пайытында бундай жулдызлар, 0,1 дан то 1,0 Куяш массасына шекем муғдардағы өз затларын 6000 км/с қа шекемги тезликлер менен жулдызлар ара бослыққа ылақтырады. Сәл кем 1000 жылға жақын ўақыттың өткенине қарамастан бул жулдыздан ылақтырылған газ массасы хәзирги күнлери де секундына сәл кем 1000 км тезлик пенен кеңейиўди даўам етпекте. Партлаған жулдыз этирапында тарқалып баратырған бул газ массасы жүдә үлкен газ думанлығын пайда еткен. Савр жулдыз топарындағы бул думанлық Краб тәризли думанлық аты менен белгили. 1572-жылы басқа бир аса жаңа жулдыз Даниялық астроном Тихо Браге тәрeпинен Кассиопея жулдыз топарында, 1604-жылы болса Кеплер тәрeпинен Жылан ертиўши жулдыз топарында бақланды.

Бирақ аса жаңа жулдызлардың партланыўы механизмине байланысly мәселе елеге шекем үзил-кесил шешилмеген болса да бул кубылыстың 2-3 Куяш массасына тең жулдызлар эволюциясының ақырғы басқышында жүзеге келетуғын тең салмақтықтың бузылыўының ақыбети екенлиги анық.

# ЭЙНШТЕЙННИҢ ГРАВИТАЦИЯ ТЕОРИЯСЫН АЙЫРЫМ АСТРОФИЗИКАЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРДИ ШЕШИҮҮҮШЫН ҚОЛЛАНЫҮ

## Киpисіу

Альберт Эйнштейннің пүткіл тәбияттаныу илимлердеги фундаменталлық көз-қарасларды өзгертиуге алып келген үш мақаласының жарық көргенлигине 100 жыл толды. Усы тарийхый сәнени ылайықлы белгилеу мақсетинде Бирлескен Миллетлер шөлкеминің бас Ассамблеясы өзинің 2004-жыл 10-июнь күнги пленарлық мәжилисінде арнаулы резолюция қабыл етти. Оның мазмуны төмендегидей:

«Бас Ассамблея,

тәбият ҳаққындағы билимлерди тереңлестириуідеги физиканың әҳимийетли тийкар болып ҳызмет етиуин мойынлап,

физика ҳәм оның әмелий қолланылыуы ҳәзирги заман техникалық прогрессин тәмийинлеуіге үлкен үлес қосатуғынлығын белгилей отырып,

ерлер ҳәм ҳаяллар физиканы үйрениу барысында өзлеринің раўажланыуы ушын зәрүрли болған илимий инфраструктураны дүзиу қуралларына ийе болатуғынлығын исенген ҳалда,

2005-жыл ҳәзирги заман физикасының тийкарларын дүзген Альберт Эйнштейннің уллы илимий ашылыуларының жүз жыллығына сәйкес келетуғынлығын есапқа алып

1. Билимлендириу, илим ҳәм мәденият ислери бойынша Бирлескен Миллетлер Шөлкеминің 2005-жылды Халық аралық физика жылы деп жәриялауын қоллап-қуўатлайды;

2. Билимлендириу, илим ҳәм мәденият ислери бойынша Бирлескен Миллетлер Шөлкемине Халық аралық физика жылын өткеріу ушын физикалық жәмийетлер ҳәм дүньяның басқа топарлар, соның ишинде раўажланып атырған еллердеги топарлар менен бирге ислесиу илажларын шөлкемлестириуди усыныс етеди;

3. 2005-жылды Халық аралық физика жылы деп жәриялайды.»

Бул халық аралық әҳмийетке ийе болған ҳүжжет Альберт Эйнштейннің дүнья илимине қосқан үлесинің оғада жоқары екенлигинен дерек береді. А.Эйнштейннің 1905-жылы шыққан ҳәм арнаулы салыстырмалылық теориясын өз ишине толық қамтыйтуғын «Қозғалыушы денелер электродинамикасына» атлы мақаласының биринши бетинің фрагменти 1-сүўретте келтирилген.

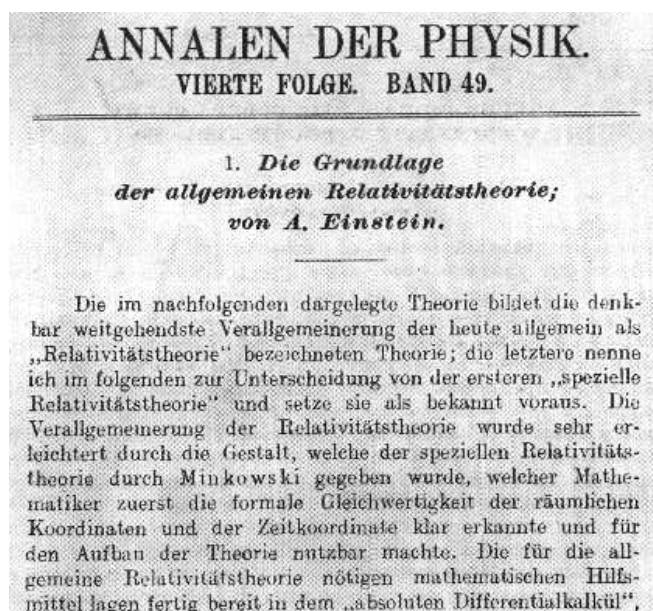
Усы айтылғанларды есапқа алып бул питкеріу қәнигелик жұмысы А.Эйнштейннің гравитация теориясын айырым космологиялық мәселелерди шешиу ушын қолланыуға бағышланған.

Әлбетте, А.Эйнштейннің мийнетлери, өмири, оның мийнетлеринің басқа илимпазлар тәрепинен раўажландырылыуы, Эйнштейн дүзген гравитация теориясының шекленгенлиги, бул теорияның мүмкиншиликлери менен мүмкиншиликлеринің шеклери ҳаққында оғада көп санлы илимий дереклер бар. Олардың саны Пүткіл дүньялық Internet тармағы пайда болғанынан бери көп есе артып кетти. Сонлықтан бул жұмыста солардың ишиндеги ең әҳмийетлилери ҳәм көргизбелиги жоқарылары пайдаланылды.

## Гравитация теориясының физикалық хәм математикалық тийкарлары.

### § 1. Интервал, улыўма қабыл етилген белгилеўлер, Лоренц хәм Пуанкаре группалары

Биз дүньялық ноқат деп төрт шаманы түсинемиз: ўақыт хәм үш кеңисликлик координаталар. Дүньялық сызық деп дүньялық ноқатлардың үзликсиз сызығына айтамыз. Сонлықтан материаллық ноқаттың қозғалысы дүньялық сызық түрінде сәўлеленеди. Егер дүньялық сызық пенен басқа ноқатларға тәсир ете алатуғын қандай да бир «ўақыя» жүз берсе, онда сол дүньялық ноқат «сигнал» жибереди деп есаплаймыз. Сигнал тәсирлесіўлердің тарқалыў тезлигине тең максималлық тезлик пенен тарқалады. Ҳәр дайым тәсирлесіўдің максималлық тезлигиниң инвариантлылығын өз алдына постулатқа киргизеди. Бирақ бул жағдай айрықша мәниске ийе емес. Себеби бул салыстырмалылық принципиниң хәм тәсирлесіўдің тарқалыў тезлигиниң шекли екенлигин дәлиллейтуғын экспериментлердің салдары (бул тезликтің шекли тезлик екенлиги ҳаққында ҳәзирше гәп етилип атырған жоқ).



1-сүүрет. А.Эйнштейнниң 1905-жылы шыккан хәм арнаўлы салыстырмалылық теориясын өз ишине толық қамтыйтуғын «Қозғалыўшы денелер электродинамикасына» атлы мақаласының биринши бетиниң фрагменти (Zur Elektrodynamik der bewegter Körper. Ann. Rhys., 1905, 17, 891-921).

Сигнал киши  $dt$  ўақыты ишинде  $cdt$  аралығын өтеди. Усының салдарынан кеңисликтеги координаталар  $dx$ ,  $dy$  хәм  $dz$  шамаларына өзгередиди. Демек  $(cdt)^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$  (бул Пифагор теоремасының салдары, киши көшиўди туўры сызық бойынша болады деп есаплаймыз) ямаса  $(cdt)^2 = dx^2 - dy^2 - dz^2 = 0$ . Мейли  $dt$ ,  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$  бир бирине жақын еки ықтыярлы ўақыя арасындағы қашықлық болсын. Енди интервал түсинигин киргиземиз:

$$ds^2 = (cdt)^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2. \quad (1-1)$$

Сигналдың тарқалыў тезлиги  $c$  есаплаў системасынан ғәрезли емес болғанлықтан базы бир есаплаў системасында нолге тең интервал басқа қәлеген есаплаў системасында да нолге тең болады.

(1)-аңлатпа егер белгилерин есапқа алмағанда 4 өлшемли Евклид кеңислигиндеги вектордың узынлығының квадратын берген болар еди. Бирақ биз вектордың узынлығы тап усындай аңлатпа бойынша анықланатуғын кеңисликти пайдаланыўға киргизиўимиз мүмкин. Бундай кеңислик Миновскийдің псевдоевклидлик кеңислиги деп аталады. Бундай кеңислик  $(+1 \ -1 \ -1 \ -1)$  түриндеги метрика менен тәрипленеди.

4 өлшемли Минковский кеңислигин пайдаланыў жаңадан қандай да бир философиялық шынлықты пайда етпейди. Бул түсиник тек көплеген аңлатпаларды

эпиұайыластыратуғын математикалық мағана сыпатында ғана киргизилген. Соның ушын «биз метрикасы Евклидлик болмаған 4 өлшемлі кеңіслик-ұақытта жасаймыз» деп гәп етсек дурыслыққа сәйкес келмейди.

Интервалдың еки хәр қыйлы инерциал есаплау системаларындағы мәнислерин қараймыз: олар  $ds^2$  хәм  $(ds')^2$ . Олардың екеуі де бирдей тәртіптаги шексиз киши шамалар болып табылады хәм соған сәйкес  $ds^2 = a^2 (ds')^2$  деп жаза аламыз ( $a$   $ds'$  шамасынан ғәрезсиз болған базы бир функция). Қала берсе  $a$  функциясы  $ds'$  пенен  $ds$  лер өлшенген есаплау системаларының салыстырмалы тезликлери менен байланысly (бул тезликти  $\dot{V}$  арқалы белгилеймиз). Бул өз-өзинен түсиникли,  $a$  функциясының координаталарға байланысly болыуы мүмкин емес<sup>4</sup>. Себеби ғәрезли болған жағдайда кеңіслик-ұақыттың барлық ноқатларының бирдей екенлиги хәққындағы постулатқа сәйкес келмеген болар еди. Соның менен бирге  $a$  функциясы  $\dot{V}$  ның бағытына да байланысly болмайды (биз кеңісликтеги айрықша бағытты сайлап ала алмаймыз<sup>5</sup>).

Енди  $a(|\dot{V}|)$  функциясының түрин анықлаймыз. Буның ушын  $K_1$ ,  $K_2$  хәм  $K_3$  үш инерциал есаплау системаларын (ИЕС) аламыз.  $K_1$  де интервал  $ds^2$  қа,  $K_2$  де  $ds_2^2 = a(V_{21})^2 ds^2$ ,  $K_3$  те  $ds_3^2 = a(V_{31})^2 ds_2^2$  шамаларына тең. Соның менен бирге  $ds_3^2 = a(V_{32})^2 ds_2^2$  ямаса  $a(V_{32})^2 (V_{21})^2 ds_2^2$ . Буннан  $a(V_{31}) = a(V_{32})^2 a(V_{21})$  екенлигин аламыз.  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  лердеги индекслерди избе-из өзгерте отырып  $a(\dot{V})=1$ , яғный  $(ds')^2 = ds^2$  бир мәнисли шешимлерине ийе теңдемелер системасын аламыз.

Интервалдың инвариантлылығы хәққындағы алынған нәтижемизди арнаулы салыстырмалылық теориясының (АСТ) формаль түрдеги математикалық жазылыуы деп қараймыз. Бундай қолайлы хәм қысқа форманы биз төменде жийи қолланамыз.

Енди  $K$  системасындағы интервалдың квадратын  $s^2$ , ал  $K'$  системасындағы интервалдың квадратын  $s'^2$  арқалы белгилеймиз. Егер  $s^2 > 0$  болса (еки ұақыя арасындағы интервал хәқыйқый мәниске ийе) интервалды ұақытқа мегзес, ал  $s^2 < 0$  болса интервалды кеңісликке мегзес интервал деп атаймыз.

Енди басқа ИЕС на өтиу ушын қолланылатуғын ұақыт хәм кеңіслик координаталарын түрлендиретуғын математикалық аңлатпаны алыуымыз керек.

Жоқарыда атап өтилгениндей биз интервалды Минковский кеңіслигиндеги базы бир вектордың узынлығының квадраты деп қабыл етемиз. Бул векторды координаталардың 4 лик векторы деп атаймыз. Бундай векторды бир ИЕС дан екіншисине өткенде түрлендириуде Минковский кеңіслигиндеги узынлық сақланатуғынлығын басшылыққа аламыз. Евклид кеңіслигиндеги бизге белгили болған түрлендириуге сәйкес бул түрлендириуди бурылыу деп атаймыз. (себеби евклид кеңіслигинде қашықлық өзгермей қалатуғын, параллель алып өтиуге қарағанда қурамалырақ түрлендириу бурылыу<sup>6</sup> болып табылады). Буннан кейин тек бир тегисликтеги бурыуды көрип шығамыз (4 координатаның тек екеуін қамтыйтуғын). Себеби қәлеген қурамалылықтағы бурылыу эпиұйы бурылыулардың қосындысынан турады. Соның менен бирге 0- (ct) координатаға тиймейтуғын кеңісликтеги координаталарды аламыз. Усындай жоллар менен координата басы дөгертегинде вектордың ct хәм x қураушылары ушын аңлатпа аламыз. Әлбетте биз координата басынан есапланған қашықлықтың инвариантлығын, яғный  $(ct)^2 - x^2 = \text{const}$  екенлигин талап етиуимиз мүмкин. Усы жағдайды қанаатландыратуғын қәлеген түрлендириуди былай жазады:

$$\begin{pmatrix} ct \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{ch}(\phi) & \text{sh}(\phi) \\ -\text{sh}(\phi) & \text{ch}(\phi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct' \\ x' \end{pmatrix} \quad (2)$$

<sup>4</sup> «Байланысly» хәм «ғәрезли» сөзлери бир мәнисте қолланылады.

<sup>5</sup> Кеңісликтің бир теклиги менен изотроптылығы хәққында гәп етилип атырғанлығын нәзерде тутамыз.

<sup>6</sup> Ямаса бурыу нәзерде тутады.

Бул аңлатпадағы  $\phi$  базы бир шама. Биз оны «бурылыў мүйеши» деп атаймыз (гейде  $\phi$  ти тезлик деп те атайды).  $\text{Ch}$  хәм  $\text{sh}$  функцияларын сәйкес гиперболалық косинус хәм гиперболалық синус деп атайды, қала берсе

$$\text{ch}(\phi) \equiv \frac{e^{\phi} + e^{-\phi}}{2}, \quad \text{sh}(\phi) \equiv \frac{e^{\phi} - e^{-\phi}}{2}.$$

Демек  $\text{ch}^2(\phi) - \text{sh}^2(\phi) = 1$ .

Мейли  $x' = 0$  болсын. Онда  $\frac{x}{ct} = \text{th}(\phi) = \frac{\text{sh}(\phi)}{\text{ch}(\phi)}$ .  $x/t$  болса штрик белгиси бар

системаның штриғы жоқ системаға салыстырғандағы қозғалыс тезлиги, яғный  $V$ .  $\text{th}(\phi) = V/c$ . Усының менен биз түрлендириўдин түрин де алдық. Тек ғана гиперболалық функциялардан қутылыў керек (тек қолайлылық ушын). Белгилеўлер киргиземиз:  $\beta = V/c$ ,  $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ . Бундай жағдайларда гиперболалық синус пенен гиперболалық косинустың мәнислерин мына түрде жазамыз:  $\text{sh}(\phi) = \beta\gamma$ ,  $\text{ch}(\phi) = \gamma$ . Усы аңлатпалардағы  $\beta$  шамасын салыстырмалы тезлик ямаса тек тезлик деп атаймыз.

Енди бурыў матрицасын көширип жазамыз:

$$L = \begin{pmatrix} \gamma & \beta\gamma & 0 & 0 \\ -\beta\gamma & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Вектор-бағана  $X = (ct, x, y, z)$  тиң бурылыўын  $X = L * X'$  түринде жазамыз (ТХ тегислигиндеги бурылыў, яғный К есаплаў системасына салыстырғанда  $\beta$  тезлиги менен қозғалыўшы  $K'$  системасы, оның көшерлері К системасындағы сәйкес көшерлерге параллел, қозғалыс Х көшери бағытында болады. Бурылыўдың бул матрицасы Лоренц матрицасы деп те аталады хәм усындай түрдеги координаталар-ўақытты түрлендириўди Лоренц түрлендириўлері деп атайды. Бул түрлендириўлерди буст деп те атайды.

Улыўма түрде қабыл етилген белгилеўлер: 4 лик вектор, метрлик тензор, ковариант хәм контрвариант шамалар, гүң индекслер. Физикалық шамаларды Минковскийдин кеңислигинде белгилеў ушын 4 лик векторларды пайдаланған қолайлы. Анықлама бойынша 4 лик вектор деп бир ИЕС нан екінши ИЕС на өткенде Лоренц түрлендириўлері менен түрленетуғын шамаға айтамыз:  $u = L * u'$ . Әлбетте биз бир 4 лик вектордан оны бир инвариант шамаға көбейтип басқа бир 4 лик векторды алыўымыз мүмкин. Басқа барлық жағдайларда 4 лик вектордың келтирилип шығылыўының дурыслығын дәлиллеў керек (4 лик тезликти келтирип шығарыўды қараңыз). 4 лик вектордың қураўшыларын ковариант хәм контрвариант деп аталатуғын еки формада жазыў мүмкин. Ковариант шама төмендеги индекс пенен жазылады (мысалы  $P_\mu$ ), ал контрвариантлық шама болса жоқарыдағы индекс пенен жазылады (мысалы  $P^\mu$ ). Ковариантлық шама контрвариантлық шамадан былайынша алынады:  $A^0 = A_0$ ,  $A^1 = -A_1$ ,  $A^2 = -A_2$ ,  $A^3 = -A_3$ . Солай етип 4 лик вектордың квадратын былайынша жазамыз

$$S^2 = \sum_{i=0}^3 A^i * A_i.$$

Әдетте усындай жазыўларда сумма белгисин қалдырып жазыў қабыл етилген, яғный  $S^2 = A^i * A_i$ . Индекслер 0 ден 3 ке шекемги мәнислерге ийе болады хәм еки рет қайталаныўшы индекс бойынша суммалаў жүргизиледи. Бундай жазыўларды гүң индекслер менен жазыў деп атайды. Ковариант хәм контрвариант шамаларды түрлендириўлердин қолайлы болыўы ушын метрлик тензор деп аталатуғын тензор (Минковский кеңислигиниң тензоры) киргизиледи хәм ол мынадай түрге ийе болады:

$$g = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Бундай жағдайда  $A^j$  шамасын  $A_i$  шамасына түрлендириуі былайынша жазылады. Қалеген еки 4 лик вектордың скаляр көбеймеси былайынша жазылады:

$$AB = A^\mu B_\mu = g_{\mu\nu} A^\mu B^\nu = g^{\mu\nu} A_\mu B_\nu.$$

Жоқарыдағы  $g$  ның бир мәнисиндеги бир рет индекстин көтерілиуі ямаса түсирилиуі белгини қарама қарсы белгиге өзгертеди.

Булардың барлығы да бир түрли хәм керек еместей болып көринеди. Бирақ гүң индекслердің киргизилиуінің көп аңлатпаларды жазыуды күшли түрде әпиұайластыратуғынлығын көремиз.

Енди түрлендириуі группасы түсинигин киргиземиз. Мейли еки  $f$  хәм  $g$  түрлендириуілері болсын.

$G$  ны топыр деп атаймыз, егер  $G$  топарына киретуғын ( $f \in G$  хәм  $g \in G$ )  $f$  хәм  $g$  шамаларының қалегени ушын төмендегидей шәртлер орынланатуғын болса:

1.  $gf \in G$ ,  $fg \in G$ .
2.  $Ig \in g$  ( $I$  арқалы бирлик түрлендириуі белгиленген,  $I \in G$ ).
3.  $gg^{-1} = I$  ( $g^{-1}$  арқалы кері түрлендириуі белгиленген).

Демек  $X= LX'$  түриндеги түрлендириуі группаны пайда етеди. Лоренц группасының қалеген түрлендириуі ушын еки 4 лик вектордың скаляр көбеймеси инвариант болып табылады. Егер  $X$  хәм  $X'$  тензорлар болып табылатуғын болса, онда Лоренц группасының инварианты

$$X_{\nu\rho}^\mu X_\mu^{\nu\rho} = X_{\nu\rho}^\mu X_{\mu'}^{\nu'} g_{\nu'}^{\mu'} g_\mu^{\nu\rho}$$

болып табылады. Тензордың ранги де Лоренц группасының инварианты болып табылады.

Лоренц түрлендириуінің және де бир көзге көринип турған қәсийети  $(\det L)^2=1$  болып табылады. Бул жерде төмендеги еки дара жағдайдың орын алыуы мүмкин:

1.  $L_0^0 \geq 1$ ,  $\det L = +1$  - бул Лоренц группасының түрлендириуі.

2.  $L_0^0 \leq 1$ ,  $\det L = -1$  - бул Пуанкаре группасының түрлендириуілері (яғный ўақыттың белгисин өзгертиуі хәм (ямаса) кеңисликтің айналық сәўлелендириуі менен болатуғын түрлендириуі).

Усы параграфтың ақырында «релятивистлик масса» хәққындағы аңыз хәққында гәп етемиз.

Релятивистлик механикада энергия менен импульс бир 4 лик вектордың кураўшылары болып табылады. Бөлекшениң энергиясы  $E$  менен белгиленгенде оның ковариант кураўшылары  $p_i = (E/c, -\mathbf{p})$ , ал контрвариант кураўшылары болса  $p^i = (E/c, \mathbf{p})$ . Импульс пенен энергияның бир есаплаў системасынан екинши есаплаў системасын өткенде былайынша түрлендириледі:

$$p_x = \frac{p_x' + \frac{v}{c^2} E'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad p_y = p_y', \quad p_z = p_z', \quad E = \frac{E' + vp_x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

4 лик тезликти Лоренц-инвариант  $m$  скаляр шамасына көбейтемиз. Алынған 4 лик вектор

$$\mathbf{p} = \gamma^* m, \quad m^* \gamma / (c^* v)$$

ды энергия-импульстың 4 лик векторы деп (ямаса тек 4 лик импульс деп) атаймыз. Оның бириши кураўшысы  $E/c^2$  энергия болып табылады, ал кеңисликлик кураўшылары  $\mathbf{p}/c$  им-



пульс болып табылады [бул аңлатпада  $p_i = (E/c, -\mathbf{p})$  сыяқлы етип  $\gamma^*m$ ,  $m^*\gamma/(c^*v)$  шамаларын қаўсырма ишинде жазбадық].

4 лик импульстың узынлығының квадратын  $p^\mu p_\mu = m^2$  түрінде жазамыз. Бул жерде  $m$  арқалы 4 лик тезликти жоқарыда көбейткен инвариант шама.

Усы жерде 4 лик тезлик ушын жазылған аңлатпадағы  $\gamma$  ның  $m$  нен бурынырақ пайда болғанлығын еске түсиремиз. Сонлықтан  $m$  ге  $\gamma$  ны киргизиў ақылға муўапық келмейди. Яғный «релятивистлик масса» ҳаққындағы гәптин дурыс емес екенлиги усы жерде анық болады. Бир ўақытлары кимгедур 3 лик импульсты классикалық формада, яғный  $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$  деп қалдырыўға ықлас келген хәм сонан «релятивистлик масса», «тынышлықтағы масса» сыяқлы түсиниклер келип шыққан. Эйнштейнниң мийнетлерин басшылыққа алып, биз бул түсиниклерди толығы менен бийкарлаймыз хәм массаның релятивистлик инвариант екенлигин умытпаймыз.

## § 2. Ўақыттың салыстырмалылығы менен узынлықтың қысқарыўы

Ўақытқа мегзес интервалды қараймыз.

$$ds^2 = c^2 dT^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = c^2 dT'^2 - dx'^2 - dy'^2 - dz'^2 > 0.$$

Бул аңлатпаны былайынша жазамыз:

$$c^2 dT^2 - dR^2 = c^2 dT'^2 - dR'^2 > 0.$$

Бул жағдайда интервал нолден үлкен болғанлықтан бир бирине шексиз жақын ўақыялардың кеңисликтиң бир ноқатында болатуғын координата системасы (мысалы штрихланған) табылады ( $dR'^2 = 0$ ). Онда кеңислик-ўақытлық интервал тек штрихланған системадағы айырмаға алып келинеди:

$$c^2 dT'^2 = c^2 dT^2 \left[ 1 - \frac{1}{c^2} \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 \right] = c^2 dT^2 \left[ 1 - \frac{v^2(T)}{c^2} \right].$$

Бул жерде  $V(T) = dR/dt$  тезлиги киргизилген. Бул аңлатпадан штрихланған есаплаў системасында локализацияланған (бир ноқатта жүзеге келетуғын) процесс ушын еки системадағы ўақыттың өзгериси арасындағы байланысты аламыз:

$$dT' = dT \sqrt{1 - \frac{v^2(T)}{c^2}};$$

$$T_2' - T_1' = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 - \frac{v^2(T)}{c^2}} dT.$$

Бул аңлатпа Эйнштейн ўақытының салыстырмалылығының көриниси болып табылады. Бул теңлемени биринши болып келтирип шығарған адам Эйнштейн болып табылады<sup>7</sup>.

Енди еки ўақыя арасындағы интервал кеңисликке мегзес интервал болсын:  $ds^2 < 0$ . Бундай жағдайда сол еки ўақыя бир ўақытта жүзеге келетуғын есаплаў системасы табылады ( $dT' = 0$ ). Егер усы ўақыялар  $X$  көшери бойындағы ноқатларда болып өтетуғын болса, онды кеңислик-ўақытлық интервал

$$ds^2 = -dX'^2$$

мәнісине тең болады (яғный таза кеңисликлик ўақытқа алып келинеди). Басқа қалеген есаплаў системасы ушын ийе боламыз:

$$ds^2 = c^2 dT^2 - dX^2.$$

Еки ўақыя болып өткен ноқатларды тутастыратуғын кесиндинің узынлығы ушын  $dl_0^2 = dX^2$ ,  $dl^2 = dX'^2$  белгилеўлерин қолланамыз. Буннан штрихланған есаплаў

<sup>7</sup> Соны атап өтиўимиз керек, Лоренц өзиниң бәршеге белгили түрлендириўлерин ашқаны менен олардың мәнісин толық түсинген жоқ хәм арнаўлы салыстырмалылық теориясын дүзиўде оннан кейинги тийкарғы жумысты бир биринен ғарезсиз хәм хәр қыйлы жоллар менен Анри Пуанкаре менен Альберт Эйнштейн иследи. Пуанкаре төрт өлшемли кеңисликтиң группалық қасийетлерин математикалық изертлеў көз-қарасы менен, ал Эйнштейн болса ўақыттың салыстырмалылығын операциялық анализ жолы менен.

системасындағы кесиндинің ұзынлығы  $dl$  штрихланбаған есаплау системасындағы кесиндинің ұзынлығы  $dl_0$  ден киши екенлиги келип шығады:  $dl < dl_0$ . Лоренцтің кери түрлендириуін пайдалансақ<sup>8</sup>:

$$dT = \frac{dT' + \frac{v}{c^2} dX'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

екенлигин табамыз. Биз қарап атырған жағдайда  $dT'=0$  болғанлықтан

$$dl = dl_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

формуласына ийе боламыз. Бул жерде биз ұзындықтың қысқарыуының төрт өлшемлі кеңістік-уақыттың геометриясының структурасы менен қозғалыушы кесиндинің ұзындығын өлшеудің ұсылының нәтижесі екенлигин көреміз.

### § 3. Релятивистлик механика

4 лик тезлик векторынан пайдаланамыз хәм бөлекшениң импульсинің 4 лик импульсин киргиземіз:

$$p^i = mU_i, \quad p_i p^i = m^2 c^2. \quad (3-1)$$

Бөлекшениң тезлиги барлық уақытта да  $c$  дан киши болғанлықтан инвариант уақыт  $d\tau$  ды табамыз:

$$ds^2 = c^2 d\tau^2 = c^2 (1 - v^2/c^2). \quad (3-2)$$

4 лик тезликтен инвариант уақыт  $\tau$  арқалы алынған тууынды да 4 лик вектор болып табылады. Оны тезлениудің 4 лик векторы деп атайды.

Анықлама бойынша күштің 4 лик векторы былайынша жазылады:

$$\mathbf{F} = \frac{\mathbf{f}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad \text{скаляр формада } F = \frac{f}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Бул аңлатпада  $\mathbf{f}$  арқалы бир бирлик зарядқа тәсир етиуші күш белгиленген ( $f$  сол күштің сан шамасы). Усындай белгилеулерди қабыл етип механиканың релятивистлик теңдемелерин былайынша жазамыз:

$$m \frac{dU^i}{d\tau} = F^i \quad (3-3)$$

ямаса үш өлшемлі түрде:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{m\mathbf{V}}{1 - V^2/c^2} \right) = \mathbf{f}; \quad (3-4)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{mc^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \right) = (\mathbf{V}\mathbf{f}). \quad (3-5)$$

Бул еки теңлемени биринши рет ашқан алым Анри Пуанкаре болып табылады (гейпара мағлыұматлар бойынша релятивистлик механиканы дөреткен адам А.Пуанкаре).

(3-5) ти (3-4) тен теңлемениң еки тәрәпин де  $\mathbf{V}$  векторына көбейтиу арқалы аламыз. Сол еки аңлатпадан бөлекшениң импульсы  $p$  менен энергиясы  $E$  ни ала аламыз:

$$p = \frac{m\mathbf{V}}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}; \quad E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}; \quad (3-6)$$

Сонлықтан

<sup>8</sup> Лоренцтің кери түрлендириулері:

$$T = \frac{T' - vX'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad X = \frac{X' - vT'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad Y = Y', \quad Z = Z'.$$

$$p^i = \left( \frac{E}{c}, p \right) \quad (3-7)$$

Соның менен бирге

$$F^i p_i = 0 \quad (3-8)$$

екенлигин аңсат дәлилдеуге болады.

Импульс хәм энергия ушын жазылған (3-6) аңлатпасын Лагранж функциясы жәрдемінде де былайынша алыўға болады:

$$L = -mc^2 \sqrt{1 - V^2 / c^2}. \quad (3-9)$$

Бундай жағдайда импульс  $p$  мынаған тең:

$$p = \frac{\partial L}{\partial V} = \frac{mV}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}}. \quad (3-10)$$

Гамильтониан

$$H = V \frac{\partial L}{\partial V} - L \quad (3-11)$$

болғанлықтан

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}} \quad \text{ямаса} \quad E = c \sqrt{p^2 + m^2 c^2}. \quad (3-12)$$

(3-9) Лагранж функциясы биринши рет Пуанкаре дүзди. Бул жерде интеграл дүньялық сызық бойындағы еки белгиленген нокат арасында алынады. Ықтыярлы координаталар системасында интервал

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k \quad (3-13)$$

түрине ийе болады хәм соған сәйкес бөлекше ушын Лагранж функциясы мынадай түрге ийе:

$$L = -mc^2 \sqrt{g_{00} + \frac{1}{c} 2g_{0\alpha} \dot{x}^\alpha + \frac{1}{c^2} 2g_{\alpha\beta} \dot{x}^\alpha \dot{x}^\beta}. \quad (3-14)$$

Усындай нәтижелер тийкарында Гамильтон функциясы былайынша жазамыз:

$$H = \frac{\partial L}{\partial \dot{x}^\alpha} \dot{x}^\alpha - L. \quad (3-15)$$

$$\dot{x}^\alpha \frac{\partial L}{\partial \dot{x}^\alpha} = L - (mc^2)^2 \frac{g_{00} + \frac{1}{c} g_{0\beta} \dot{x}^\beta}{L} \quad (3-16)$$

екенлигин есапқа алсақ

$$H = -(mc^2)^2 \frac{g_{00} + \frac{1}{c} g_{0\beta} \dot{x}^\beta}{L}. \quad (3-17)$$

Енди импульстың 4 лик векторын киргиземиз

$$p_i = mc g_{ik} \frac{dx^k}{ds}. \quad (3-18)$$

Бул жерде

$$p_0 = H/c. \quad (3-19)$$

ямаса

$$p^i = mc \frac{dx^i}{ds}. \quad (3-20)$$

$$g_{ik} \frac{dx^i}{ds} \frac{dx^k}{ds} = 1 \quad (3-21)$$

болғанлықтан

$$g_{ik} p^i p_k = m^2 c^2. \quad (3-22)$$

Тап усыған сәйкес

$$g^{ik} p_i p_k = m^2 c^2. \quad (3-23)$$

#### § 4. Векторлар, тензорлар хәм геодезиялық сызықлар

Арнаулы салыстырмалылық теориясында инерциал системаларында Галилей координаталары қолланылып, онда интервал (1-1) түрінде жазылады. 4 өлшемлі кеңістіктегі ийкем сызықты координаталарға өткенде тензор менен вектор түсиниклери улыўмаласады<sup>9</sup>. Ең дәслеп векторлардың ковариант хәм контрвариант қураўшылары киргизиледи (бул ҳаққында жоқарыда еслетилип өтилди).

Контрвариант 4 лик вектор деп  $x^i = x^i(\tilde{x}^0, \tilde{x}^1, \tilde{x}^2, \tilde{x}^3)$  түрлендирилиўинде (индекслер жоқарыда)

$$B^i = \frac{\partial x^i}{\partial \tilde{x}^k} \tilde{B}^k \quad (4-1)$$

нызамы бойынша түрленетуғын  $B^i$  шамаларының жыйнағына айтамыз.

Контрвариант вектор (мысалға) қатарына координаталардың дифференциалларының жыйнағы  $dx^i$  киреди (себеби  $dx^i = \frac{\partial x^i}{\partial \tilde{x}^k} d\tilde{x}^k$ ).

Сол  $B_i$  векторының ковариант қураўшылары (индексleri төменде) былайынша анықланады:

$$B_i = g_{ik} B^k. \quad (4-2)$$

(3-13) тиң коэффициентleri сыпатындағы анықламасынан олардың түрлендирилиў нызамы келип шығады

$$g_{ik} = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^i} \frac{\partial \tilde{x}^m}{\partial x^k} g_{lm}. \quad (4-3)$$

Бул нызам менен (4-2) ни пайдаланып вектордың ковариант қураўшылары ушын түрлендириў нызамын табамыз:

$$B_i = g_{ik} B^k = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^i} \frac{\partial \tilde{x}^m}{\partial x^k} g_{lm} \frac{\partial x^k}{\partial \tilde{x}^n} \tilde{B}^n = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^i} \tilde{B}_l. \quad (4-4)$$

Усыған сәйкес тензор түсиниги улыўмаластырылады:  $B^{ik}$  контравариант тензоры ушын

$$B^{ik} = \frac{\partial x^i}{\partial \tilde{x}^l} \frac{\partial x^k}{\partial \tilde{x}^m} \tilde{B}^{lm}; \quad (4-5)$$

Оның ковариантлық қураўшылары ушын

$$B_{ik} = g_{li} g_{mk} B^{lm} = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^i} \frac{\partial \tilde{x}^m}{\partial x^k} \tilde{B}_{lm}. \quad (4-6)$$

Соның менен бирге аралас қураўшыларды да пайдаланыўға болады:

$$B^i_k = B^{il} g_{lk} = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^k} \frac{\partial x^l}{\partial \tilde{x}^m} \tilde{B}_l^m. \quad (4-7)$$

Түрлендириў нызамлары  $g_{ik}$  қураўшыларының тензорды пайда ететуғынлығын көрсетеди. Салыстырмалылық теориясында<sup>10</sup> бул тензор фундаменталлық орынды ийелейди хәм **фундаменталлық метрлик тензор** деп аталады.

$$g = |g_{ik}| \quad (4-8)$$

<sup>9</sup> Вектордың биринши рангалы тензор, ал скалярдың нолинши рангалы тензор екенлигин умытпаймыз.

<sup>10</sup> Улыўмалық салыстырмалылық теориясында.

анықлаушысы **фундаменталлық анықлаушы** деп аталады.

$$g^{ik} = A^{ik} / g \quad (4-9)$$

шамалары ( $A^{ik}$  арқалы  $g_{ik}$  элементинің алгебралық қосымшасы белгіленген) метрлік тензордың контрвариант құраушылары деп аталады.

(4-9) дан

$$g_{il} g^{im} = \delta_l^m \quad (4-10)$$

екенлигі келип шығады.  $\delta_l^m$  арқалы Кронекер символы белгіленген. Буннан (4-6) ны пайдаланып

$$B^{ik} = g^{il} g^{mk} B_{lm} \quad (4-11)$$

екенлігін табамыз.

Солай етип белгілерді түсіріу  $g_{ik}$  ковариант құраушыларының ковариант. көтеріу  $g^{ik}$  контрвариант құраушыларының жәрдемінде әмелге асады екен.

Аралас  $g_k^i$  тензоры Кронекер символына тең ( $g_k^i = \delta_k^i$ ).  $A^i B_i$  шамасы векторлардың скаляр көбеймеси болып табылады хәм ол координаталарды түрлендіргенде өзгеріске ұшырамайды. Мысалы вектордың ұзындығының квадраты

$$A^2 = A^i A_i. \quad (4-12)$$

Тап ұсындай жоллар менен екі тензордан скаляр пайда етіуге болады

$$A^{ik} B_{ik} = A_i^k B_k^i = A_{ik} B^{ik}.$$

Үш жазыудың барлығы да эквивалент. Дара жағдайда, егер екінші вектор фундаменталлық тензор болса, онда  $A^{ik} g_{ik} = A_i^i$  шамасын **тензордың изи** деп атайды.

Тап ұсындай жоллар менен жоқары рангалы тензорлардан рангасы төменірек болған тензорларды пайда етіуге болады. Мысалы

$$A_{klm}^i g_i^m = A_{kli}^i = A_{kl}.$$

Бундай операцияны тензорларды свертывание деп атаймыз.

Иймек сызыклы координаталарда векторлар менен тензорларды дифференциаллау түсиниги улыұмаластырылады. Контрвариант вектор менен ковариант вектордың ковариант туұындысы (үтири бар ноқат пенен аңлатылады) деп сәйкес мына шамалар (тензорлар) айтылады:

$$B_{;k}^i = \frac{\partial B^i}{\partial x^k} + \Gamma_{ik}^i B^i, \quad (4-13)$$

$$B_{i;k} = \frac{\partial B_i}{\partial x^k} + \Gamma_{ik}^l B_l. \quad (4-14)$$

Бул жерде  $\Gamma_{mn}^l$  арқалы Кристофель символлары (олар тензорлар емес!) белгіленген. Олар мына аңлатпалар жәрдемінде анықланады:

$$\Gamma_{mn}^l = \frac{1}{2} g^{lk} \left( \frac{\partial g_{km}}{\partial x^n} + \frac{\partial g_{kn}}{\partial x^m} + \frac{\partial g_{mn}}{\partial x^k} \right) \quad (4-15)$$

Декарт координаталарында барлық  $\Gamma_{mn}^l = 0$  хәм ковариант дифференциаллау әдеттегі дифференциаллауға алып келинеди.

Енди 4 өлшемлі кеңіслікте екі ноқатты бир бири менен тутастыратуғын геодезиялық сызықты анықлайтуғын иймек сызыклы координаталардағы теңлемени келтиремиз:

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \Gamma_{kl}^i \frac{dx^k}{ds} \frac{dx^l}{ds} = 0. \quad (4-16)$$

Минковский кеңіслігінде (псевдоевклид кеңіслігінде<sup>11</sup>) денелердің инерция бойынша қозғалысы туұры сызық (соның менен бирге ўақытқа мезгес) сәулелендіриледі. Сонлықтан (4-16) инерциал емес есаплау системасының иймек сызыклы координатала-

<sup>11</sup> Өз ўақытында Клейн хәм Гильбертлер бундай кеңісликті псевдоевклидлік кеңіслик деп атауды ұсынды.

рында жазылған денениң инерция бойынша қозғалысының теңлемесі. Геодезиялық сызық үшін жазылған майысқан кеңіслик-ұақыттағы дифференциал теңleme де тап сондай (иймек сызықты координаталардағы тегіс кеңіслик-ұақыттағы туұры сызық үшін жазылған теңlemeдей) түрге ийе болады.

## § 5. Кеңіслик-ұақыттың иймеклиги<sup>12</sup>

Улыұмалық салыстырмалылық теориясы кеңіслик-ұақыт майысады хәм 4 өлшемлі Риман кеңіслиги болып табылады (дәлиреги псевдориман кеңіслиги)<sup>13</sup>. Киши емес, ал шекли областлар үшін усы 4 өлшемлі кеңіслик үшін интервал (1-1) дей болып жазылатуғын Галилей координаталар системасын пайдалана алмаймыз. Бирақ (1-1) ди киши областларда қоллана аламыз. Бул жағдайларда еркин қозғалыұшы (салмақ майда-нында еркин түсиұшы) есаплаұ системасын киргиземиз. Бундай есаплаұ системасы локаллық Галилей есаплаұ системасы деп аталады<sup>14</sup>. Локаллық Галилей системасында салмақ күши бақланбайды – бундай системада салмақсызлық орын алады. Усындай системаны сайлап алыұдың математикалық мүмкиншилиги соннан ибарат, иймек (майысқан) кеңісликтің киши участкасы тегіс урынба кеңіслик болып табылады.

Енди төрт өлшемлі кеңіслик-ұақыттың иймеклигин тәриплейтуғын математикалық қуралларды пайдаланамыз. Бул иймеклик төртинши рангалы тензор менен тәриппленеди:

$$R^i_{klm} = \frac{\partial \Gamma^i_{km}}{\partial x^l} - \frac{\partial \Gamma^i_{kl}}{\partial x^m} + \Gamma^i_{nl} \Gamma^n_{km} - \Gamma^i_{nm} \Gamma^n_{kl}. \quad (5-1)$$

$R^i_{klm}$  тензоры Риманның иймеклик тензоры деп аталады. Бул тензордың геометриялық мәніси төмендегилерден ибарат. Мейли вектор базы бир ноқаттан геодезиялық сызықлардан дүзилген туйық контур бойынша усы вектордың ортогоналлық координаталар көшерлері бойынша қураұшылары киши қозғалыс барысындағы хәр бир ноқатта өзгериссиз қалатуғын болып жылжыйтуғын болсын (биз бундай жылжыұды вектордың параллел алып жүрилиұи деп атаймыз). Тегіс кеңіслик-ұақытта вектор өзиниң дәслепки ноқатына қайтып келгенде өзиниң дәслепкидей халына қайтады, ал иймек кеңісликте болса вектордың ориентациясы өзгереді (оның узынлығы өзгериссиз қалады). Киши еки өлшемлі  $\Delta f^{lm}$  бетин қоршап турған контур бойынша жүргизилип өтилгендеги  $A_k$  вектордың қураұшыларының өзгерісі мына формула менен тәриппленеди:

$$\Delta A_k = \frac{1}{2} R^i_{klm} A_i \Delta f^{lm}. \quad (5-2)$$

Биз бул жерде иймеклик тензорының алгебралық хәм дифференциаллық қасиетлерін тереңірек талламаймыз. Тек оның бир биринен ғәрезсиз болған қураұшыларының санының 20 ға тең екенлигин атап өтемиз<sup>15</sup>.

Свертывание операциясы жолы менен Риман тензорынан екинши рангалы тензор алыұ мүмкин:

<sup>12</sup> Тилекке қарсы қарақалпақ хәм өзбек тиллеріндеги терминология толық қәлипплесегенликтен рус тилиндеги «кривизна» сөзи «иймеклик» деп аұдарылған. Бирақ айырым орынларда биз «майысқанлақ» сөзин де қолланамыз.

<sup>13</sup> Улыұмалық салыстырмалылық теориясында кеңіслик-ұақыттың майысыұы тек затлар менен майданлардың қатнасыұында жүзеге келмейди. Биз төменде гравитациялық толқынлардың бар екенлигин де қарап өтемиз. Бундай толқынлар өзи менен энергияны алып жүреді хәм кеңісликті майыстырады. Усының менен қатар улыұмалық салыстырмалылық теориясының теңлемелериниң (Эйнштейн теңлемелериниң) бос кеңіслик-ұақыт үшін да шешімлері бар. Бул шешімлер затларға ийе емес кеңісликтің анизотропиялық деформациясын тәриплейди. Гравитациялық толқынлар үшін шешімлер сыяқты бул шешімлер де еркин гравитациялық майданды тәриплейди.

<sup>14</sup> Хәр бир ноқаттағы усундай системалар саны шексиз үлкен. Соның менен бирге бундай системадағы усундай ноқатта тек  $ds^2$  Галилей түрине ийе болмастан, барлық  $\frac{\partial g_{ik}}{\partial x^i} = 0$ .

<sup>15</sup> Уш өлшемлі кеңіслик үшін бир биринен ғәрезсиз қураұшыларының саны 6.

$$R_{km} = R_{klm}^i g_l^i = R_{kim}^i. \quad (5-3)$$

Бұл симметриялы тензор

$$R_{km} = R_{mk}$$

хәм оның атын Риччи тензоры деп атаймыз. Ең ақырында  $R_{km}$  сверткасы кеңисликтің иймеклигинің скалярын береді:

$$R = R_{km} g^{km} = R_k^k. \quad (5-4)$$

$R_{klm}^i$  тензоры 4 өлшемлі кеңислик-ұақыттың иймеклигин толық тәріптейді. Мысалы базы бір областтағы усы тензордың нолге теңлиги ( $R_{klm}^i=0$ ) бұл областтағы кеңислик-ұақыттың иймек емеслигинің (майыскан емеслигинің) зәрүрлі хәм жеткиликлі шәрті. Бірақ усының менен бір қатарда скаляр  $R$  диң нолге теңлиги ( $R=0$ ) ямаса хәтте  $R_{ik} = 0$  шәрті кеңислик-ұақыттың тегислигинің жеткиликлі шәрті емес. Соның менен бирге материядан тыстағын гравитация майданы  $R_{ik} = 0$  теңлемеси менен тәріпленеди.

## § 6. Эйнштейн теңдемелери хәм қозғалыс теңлемеси

Улыұма салыстырмалылық теориясындағы Эйнштейн теңдемелери кеңислик-ұақыттың иймеклиги менен затлар хәм майданлардың бөлистирилиуі хәм қозғалысы арасындағы байланысты анықлайды<sup>16</sup>. Бұл теңдемелер былайынша жазылады:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \frac{\chi}{c^2} T_{ik}. \quad (6-1)$$

Бұл жерде  $\chi = \frac{8\pi G}{c^2}$  Эйнштейннің тартылыс турақлысы деп аталады.  $T_{ik}$  арқалы энергия-импульс тензоры берілген (бұл тензор затлар менен майданлардың тарқалыуы менен қозғалысларынан ғәрезлі)<sup>17</sup>. Газ ушын бұл тензор иймек сызықлы координаталарда былайынша жазылады:

$$T^{ik} = (\epsilon + P) u^i u^k - P g^{ik}. \quad (6-2)$$

Бұл аңлатпадағы  $\epsilon = \rho c^2$  арқалы заттың энергиясының усы зат тыныш тұрған есаплау системасындағы тығызлығы,  $P$  арқалы басым белгіленген. Бир газдың жабысқақлығын киши деп есапладық хәм сонлықтан оны  $\rho c^2$  қа салыстырғанда есапқа алмадық.

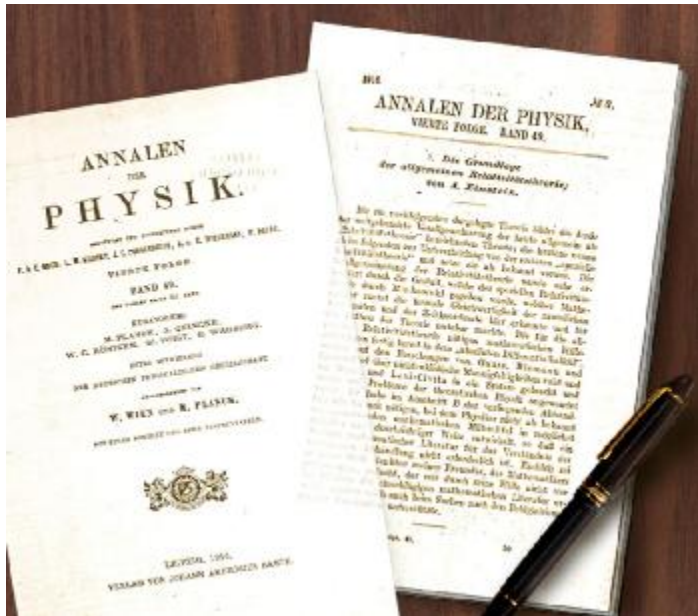
Егер энергия-импульс тензорын жоқарыдағыдай  $T^{ik}$  деп белгилесек, онда  $T^{00}$  масса-энергияның тығызлығы (әдетте  $\rho$  менен аңлатылады),  $T^{0j}$  арқалы импульстың тығызлығының  $j$ -қураушысы,  $T^{ij}$  арқалы әдеттегі кернеулер тензоры,  $T^{xx}$  арқалы  $x$  көшери бағытындағы басымның қураушысы белгіленген.

Егер  $T^{ik}$  энергия-импульс тензоры системада бар барлық майданларды, суйықлықтарды, бөлекшелерди хәм тағы басқаларды тәріплейтуғын болса, онда импульс ағысы менен энергия алмасыу арасындағы өз-ара байланыс хаққындағы толық информация қозғалыс теңдемелеринде бериледи:

$$T^{\mu\nu}_{;\nu} = 0.$$

<sup>16</sup> Анықлық ушын: демек биринши тәрептен кеңислик-ұақыттың иймеклиги хәм оны екінши тәрептен затлар хәм майданлардың бөлистирилиуі хәм қозғалысы менен байланыстырады.

<sup>17</sup> Бұл теңлемени А.Эйнштейн 1915-жылы келтиріп шығарды. Соның ушын 1915-жылды улыұмалық салыстырмалылық теориясының ашығлған жылы деп қабыл етилген. Ал усы жумыстың өзи 1916-жылы «Улыұмалық салыстырмалылық теориясының тийкарлары» деген ат пенен үлкен мақала түрінде жарық көрди. Бұл мақаланың 1-бетинің фрагменти 2-сүўретте келтирилген.



2-сүүрөт.

А.Эйнштейннің «Улыұмалық салыстырмалылық теориясының тийкарлары» атлы мақаласының биринши бети менен сол журналдың биринши бети (Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. Ann. Phys., 1916, 49, 769-822).

Электромагнит майданының энергия-импульсы тензоры:

$$T^{ik} = -\frac{1}{4\pi} g_{lm} F^{il} F^{km} + \frac{1}{16\pi} g^{ik} F_{lm} F^{lm}. \quad (6-3)$$

Бул жерде  $F_{lm}$  аркалы электромагнит майданы тензоры белгиленген.

Локаллық Лоренц координаталар системасындағы тыныш турған газ ушын (6-2) тензорын жазайык:

$$T_{ik} = \begin{vmatrix} \epsilon & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P \end{vmatrix}.$$

Бул системада  $T_{0\alpha} = T_{\alpha 0}$ . Себеби энергия ағысы жоқ хэм газдың импульсы нолге тең. Тензорды кеңисликлик бөлими диагоналлық  $T_{\alpha}^{\beta} = P\delta_{\alpha}^{\beta}$ , барлық көшерлер бойынша басым бирдей мәниске ийе. Бул нызамды Паскаль нызамы деп атаў қабыл етилген (сонлықтан Паскаль суйықлығы ямаса гази ҳаққында гәп етиў қабыл етилген).

Х көшериниң оң бағытында жақтылықтың тезлиги менен қозғалыўшы бөлекшени

$$T_{ik} = \begin{vmatrix} \epsilon & \epsilon & 0 & 0 \\ \epsilon & \epsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

тензоры береди. Ал қозғалыс х көшериниң шеп тәрәпине қарай бағытланған болса

$$T_{ik} = \begin{vmatrix} \epsilon & -\epsilon & 0 & 0 \\ -\epsilon & \epsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

аңлатпасы орын алады. Барлық тендей ҳуқықларға ийе бағытлардағы бөлекшелердің ағысын қосқанда да релятивистлик газдың энергия-импульсиниң тензорын аламыз  $P=\epsilon/3$ .

Енди улыұмалық  $T_{ik}$  ға қайтып келемиз хэм энергия-импульстың сақланыў назымын жазамыз. Арнаўлы салыстырмалық теориясында декарт координаталарында энергия-импульс тензоры



$$\frac{\partial \Gamma_i^k}{\partial x^k} = 0 \quad (6-4)$$

қатнасын қанаатландырады. Ал бул қатнас энергия менен импульстың сақланыуы нызамын аңлатады.

(6-4) аңлатпасының иймек сызықты координаталарға улыұмаластырылыуының нәтийжеси ковариант дивергенцияның нолге тең екенлигинде. Яғный

$$T_{i;k}^k = \frac{\partial \Gamma_i^k}{\partial x^k} + \Gamma_{ik}^k T_i^l - \Gamma_{ik}^l T_l^k = 0. \quad (6-5)$$

(6-5) нызамының майданның теңлемеси (6-1) ден келип шығатуғынлығы оғада әхмийетли.

(6-5) аңлатпасын қозғалыс теңлемелери деп атаған дурыс болар еди. Себеби бул аңлатпа гравитацияны есапқа алған жағдайдағы материяның қозғалыс нызамларын тиккелей аңлатады. Усы жағдайды газдың  $T_{ik}$  сы ушын көрсетиу мақсетинде заттың өзи менен қозғалатуғын есаплау системасын қабыл етемиз хәм бундай есаплау системасын жолдас есаплау системасы (сопутствующая система отчета) деп атаймыз. Басқа сөз бенен айтқанда Лагранж координаталарын хәм заттың хәр бир элементиниң меншикли ўақытын пайдаланамыз. Заттың  $V$  көлеминдеги энергияны  $E$  арқалы белгилеймиз ( $E = \epsilon V$ ) хәм (6-2) ни пайдаланып (6-5) ти  $i=0$  ушын

$$dE + PdV = 0 \quad (6-6)$$

түрине келтиремиз, ал  $i$  индексиниң кеңисликлик мәнислери ушын (6-5) ти былайынша жазамыз:

$$\frac{\partial P}{\partial x^\epsilon} = \frac{g_{0\alpha}}{g_{00}} \frac{\partial P}{\partial x^0} = (\epsilon + P) \frac{F_\alpha}{c^2}. \quad (6-7)$$

(6-6) теңлемеси газди деформациялағандағы басым күшлериниң жумысын тәриплейди, (6-7)-теңлемелер болса Лагранж координаталарындағы заттың импульсының сақланыуын анықлайды. Релятивистлик емес жағдайларға өткенде ( $g_{0p} \rightarrow 0$ ,  $\epsilon \gg P$ ) (6-7) де импульс ушын жазылған әдеттегидей теңлемелерге келемиз.

## Эйнштейн теңлемелерин космологиялық мәселелерди шешиу ушын қолланыу

### § 7. Космология турақлысы

Әдетте гравитация теориясы теңлемелерине қойылатуғын улыұмалық талап тәсирге<sup>18</sup> ийе вариациялық принципти

$$s = -mc \int ds - \frac{c^3}{16\pi G} \left[ \int R dV + \int 2\Lambda dV \right] \quad (7-1)$$

түринде жазыуға руқсат етеди. Бул аңлатпада  $V$  арқалы 4 өлшемли көлем берилген. Усындай жағдайда Эйнштейн теңлемелери мына түрге ийе болады:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R - \Lambda g_{ik} = \frac{\chi}{c^2} T_{ik}. \quad (7-2)$$

Бул аңлатпадағы  $\Lambda$  космология турақлысы, ал бул шамаға пропорционал болған шамалар ( $\Lambda dV$ ,  $\Lambda g_{ik}$ ) космологиялық ағзалар деп аталады.  $\Lambda$  ағзалары жоқ теңлемелер де қозғалыс теңлемелерин өз ишине алатуғын болғанлықтан (7-2) де локаллық лоренц-инварианттылық шәртин қанаатландырады. Сонлықтан бұрынғыдай  $T_{i;k}^k = 0$ .

(7-2) түриндеги теңлеме 1917-жылы А.Эйнштейнниң «Космология мәселелери хәм улыұмалық салыстырмалылық теориясы» мақаласында пайда болды. Бул мақаланың 1-

<sup>18</sup> Тәсир деп «действие» сөзи нәзерде тугылады.

бетинің фрагменти 3-сүретте берілген. Сонлықтан 1917-жылды хәзирги заман космологиясының туўылған жылы деп атаймыз.

А.Эйнштейн дәрхәл-ақ (6-1) теңлемесинің стационар шешимге ийе болмайтуғынлығын түсинди. Ал сол ўақытлары Әлемнің стационар, ўақытқа байланыслы өзгермейди деген пикир ҳүким сүрген еди. Сонлықтан Эйнштейннің алдында стационар шешимлерге ийе теңлемелер керек болды. Сонлықтан ол (6-1) ге  $\Lambda$  ағзасын қосып (7-2) түриндеги теңлемени алды<sup>19</sup>

Әлбетте  $\Lambda$  ағзаны теңлемеге киргизиўдеги А.Эйнштейннің алдына қойған мақсет нолге тең емес орташа тығызлық  $T_0^0 = \rho c^2 = \text{const}$  қа сәйкес стационар шешим алыў еди.

Буның ушын  $\Lambda = \frac{8\pi G\rho}{3c^2}$  деп алыў керек. Бирақ қызылға аўысыў қубылысы бақланғаннан кейин А.Эйнштейн  $\Lambda=0$  болған теңлемеге қарай көбирек аўды. 1930-жылларға шекем  $\Lambda \neq 0$  болғандағы стационар хәм стационар емес шешимлер терең изертленди. Бирақ  $\Lambda$  ағзасынаң нолге теңлиги ямаса тең емес екенлиги, егер нолге тең болмағанда қандай мәниске тең болатуғынлығы елеге шекем анық шешилген жоқ.

Космология турақлысының физикалық шешими неден ибарат? Физика ушын оның қандай әҳмийети бар?

$\Lambda$  ниң өзине тартатуғын бир қәсийети оның өлшеминде ( $[\Lambda = \text{см}^{-2}]$ ). Усындай көз-қарастан  $\Lambda$  бос кеңисликтің жоқ қылыўға болмайтуғын иймеклиги болып табылады (материясыз хәм гравитациялық талқынларсыз бос кеңисликтің). Бирақ тартылыс теориясы иймекликти материяның энергиясы, импульсы хәм басымы менен байланыстырады.  $\Lambda$  ны майдан теңлемениң оң тәрәпине өткерип мына түрге ийе теңлемени аламыз:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik} - g_{ik} \Lambda. \quad (7-3)$$

$\Lambda \neq 0$  болжаўы  $\Lambda = 0$  болған жағдайдағыдай, бирақ барлық көлемди массасының тығызлығы  $\rho_\Lambda = \frac{c^2 \Lambda}{8\pi G}$ , энергиясының тығызлығы  $\epsilon_\Lambda = \frac{c^4 \Lambda}{8\pi G}$ , басымы  $P_\Lambda = \epsilon_\Lambda$  болған бос кеңисликтің гравитациялық майдан пайда ететуғынлығын өз ишине алады. Егер  $\Lambda = 10^{-55} \text{ см}^{-2}$  деп болжасақ  $\rho_\Lambda = 10^{-28} \text{ г/см}^3$ ,  $\epsilon_\Lambda = 10^{-7} \text{ эрг/см}^3$ . Усындай мәнисте вакуумның энергиясының тығызлығы менен басымы (керим тензоры) ҳаққында айтамыз.

Бизің  $\rho_\Lambda$  хәм  $\epsilon_\Lambda$  ҳаққындағы болжаўларымыздың себебинен теорияның релятивистлик инвариантлығы бузылмайды,  $\rho_\Lambda$  пенен  $P_\Lambda$  шамалары бир бирине салыстырғанда қозғалатуғын барлық координаталар системасында бирдей (Лоренц бойынша түрлендирилгенде).

Космология турақлысы  $\Lambda$  нолге тең болмаса да абсолют шамасы бойынша жүдә киши. Соның ушын  $\Lambda$  тек космологияда ғана әҳмийетке ийе бола алады. Сонлықтан төменде еки жағдайды да (нолге тең болған, нолге тең болмаған) қараймыз.

## § 8. Эйнштейн теңлемелеринің стационар шешими

Биз дәслеп А.Эйнштейннің 1917-жылы шыққан «Космология мәселелери хәм улыўмалық салыстырмалылық теориясы» мақаласын талқылаймыз. Бул мақала мына сөзлер менен басланады:

«Пуассонның дифференциал теңлемеси

$$\Delta\phi = 4\pi K\rho \quad (1)$$

ның материаллық нокаттың қозғалыс теңлемеси менен Ньютонның узақтан тәсирлесіў теориясын алмастыра алмайтуғынлығы белгили. Кеңисликтеги шексизликте потенциал  $\phi$  диң белгили бир шекке умтылатуғынлығын қосыў зәрүр. Салыстырмалылықтың

<sup>19</sup> Соны атап өтиўимиз керек, А.Эйнштейн кейинирек (1930-жылларға келе) өз теңлемелерине  $\Lambda$  ағзасын қосыўын өмиринде жиберген ең үлкен қәтелиги деп есаплады.

улыұмалық принципін тап сондай аұхалдың тартылыс теориясында да орын алатуғынлығы келип шығады. Егер биз кеңіслікте шексізлікке шекем тарқалған дұнъяны қарайтуғын болсақ, онда дифференциал теңлемелерге кеңісліклік шексізлік ушын шегаралық шәртлерди киргизиұимиз керек.

Планеталық системаға байланысly мәселени қарап шыққанымызда кеңісліклік шексізлікте тартылыстың барлық потенциаллары  $g_{\mu\nu}$  турақлы болып қалатуғын координата системасын сайлап алдық. Бирақ Әлемнің үлкен бөлімлерин қарағанымызда усындай шегаралық шәртлердің дурыс болатуғынлығы көзге анық көринип туған жоқ. Усы ұақытқа шекем бул әхмийетли мәселе бойынша алынған нәтижелер төменде баянланған.»

Буннан кейин мақалада Ньютон теориясы талқыланады. А.Эйнштейн былай жазады:

«Кеңісліктеги шексізлікте  $\phi$  ушын турақлы шектің болыұы формасындағы Ньютонның шегаралық шәртинен материяның тығызлығының шексізлікте нолге айланатуғынлығы келип шығатуғынлығы белгили. Хәқыйқатында да этирапында материяның гравитациялық майданы тутасы менен алғанда сфералық симметрияға (орайға) ийе болатуғын таптық деп есаплайық. Бундай жағдайда Пуассон теңлемесинен қашықлық  $r$  диң өсиұи менен шексізлікте  $\phi$  диң базы бир шекке тең болыұы ушын орташа тығызлық  $\rho$  ның  $1/r^2$  қа салыстырғанда тезирек нолге умтылатуғынлығы келип шығады. Бундай мәнисте шексіз үлкен массаға ийе бола алатуғын болса да Ньютон дұнъясы шекли.

Буннан аспан денелери тәрепинен шығарылған нурланыұ Ньютон дұнъясын ортадан радиал бағытлар бойынша кейнинен изсиз жоғалыұ ушын таслап кетеди. Бирақ бундай аұхал тутас аспан денесинде болыұы мүмкин емес...

Егер газ молекулаларының Больцман бөлистирилиұин жулдыз системасын стационар жыллылық қозғалысындағы газ деп қарап жулдызлар ушын қолланатуғын болсақ Ньютон әлеминің болыұының мүмкин емес екенлигин көремиз. Себеби орай менен шексізлік арасындағы шекли мәнистеги потенциаллар айырмасына тығызлықтардың шекли қатнасы сәйкес келеди. Демек шексізліктеги ноллик тығызлық орайдағы ноллик тығызлыққа алып келеди.

Көринип турғанындай, бул қыйыншылықтардан Ньютон теориясы рамкаларында турып шығыұ мүмкин емес. Усыған байланысly сораұ туұалы: Ньютон теориясын модификациялаұ жолы менен сол қыйыншылықтардан шығыұ мүмкин емес пе? Буның ушын ең алдын дыққат қойып қабыл етиұ ушын жолды көрсетемиз, себеби бул жол кейинги талқылаұларды жақсырақ түсинип алыұ ушын хызмет етеди. Пуассон теңлемесинің орнына жазамыз

$$\Delta\phi - \lambda\phi = 4\pi K\rho \quad (2)$$

Бул аңлатпадағы  $\lambda$  базы бир универсал турақлы шама болып табылады.

Егер  $\rho_0$  массаның тарқалыұының турақлы тығызлығы болса, онда

$$\phi = -\frac{4\pi K}{\lambda}\rho_0 \quad (3)$$

(2)-теңлемениң шешими болып табылады. Бул шешим қозғалмайтуғын жулдызлардың кеңісліктеги тең өлшеұли тарқалыұына сәйкес келеди. Бундағы тығызлық  $\rho_0$  дұнъялық кеңісліктеги материяның хәқыйқый орташа тығызлығына тең болыұы керек. Бул шешим материя менен орташа тең өлшеұли толтырылған шексіз үлкен кеңіслікке сәйкес келеди.»

Усындай жоллар менен А.Эйнштейнде ұақытқа байланысly өзгермейтуғын (стационар) шексіз үлкен әлем пайда болған. Материя менен бир текли толтырылған бул әлемди биз Эйнштейн әлеми деп атаймыз.

Эйнштейннің биз қарап атырған мақаласының 3-параграфы «Тең өлшеұли тарқалған материясы бар кеңісліктеги туйық дұнъя» деп аталады. Бул параграфта биз мынадай жағдайлар менен танысамыз:

«Материяның тарқалыуы хаққындағы бизге белгили мағлыұматлар ишиндеги ең әҳмийетлиси жұлдызлардың салыстырмалы тезликлериниң жақтылықтың тезлигинен жүдә киши екенлигинде. Сонлықтан мен дәслеп мынадай жууық болжауды талқылауларымызға тийкар етип аламан: материя көп ўақытлар даўамында тынышлықта туратуғын координата системасы бар деп есаплаймыз. Усы координата системасында материяның тензоры мынадай эпиўайы түрге ийе болады:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \rho \end{pmatrix}$$

Тығызлықтың бөлистирилиўи скаляр  $\rho$  (орташа) кеңисликтеги координаталардың функциясы болыуы мүмкин. Бирақ биз дүньяны кеңислик бойынша туйық деп болжаймыз. Сонлықтан  $\rho$  турған орыннан ғәрезли емес деген гипотезаны қабыл етемиз хәм бул гипотеза буннан кейинги талқылауларымыздың тийкарында турады.

Гравитация майданына келетуғын болсақ

$$\frac{d^2 x_v}{ds^2} + \left\{ \begin{matrix} \alpha & \beta \\ & \gamma \end{matrix} \right\} \frac{dx_\alpha}{ds} \frac{dx_\beta}{ds} = 0$$

қозғалыс теңлемесинен статикалық гравитациялық майданда тек  $g_{44}$  орынға байланыссыз болғанда материаллық ноқаттың тынышлықта туратуғынлығы келип шығады.

Мақаланың 4-параграфы «Гравитациялық майданға киргизиў зәрүр болған қосымша ағза хаққында» деп аталады. Онда

«Ықтыярлы түрде сайлап алынған координаталар системасындағы гравитациялық майданның теңлемелери мына түрге ийе болады:

$$G_{\mu\nu} = -\chi(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}T). \quad (13)$$

Бул жерде

$$G_{\mu\nu} = -\frac{\partial}{\partial x_\alpha} \left\{ \begin{matrix} \mu & \nu \\ \alpha & \end{matrix} \right\} + \left\{ \begin{matrix} \mu & \alpha \\ \beta & \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} \nu & \beta \\ \alpha & \end{matrix} \right\} + \frac{\partial^2 \lg \sqrt{-g}}{\partial x_\mu \partial x_\nu} - \left\{ \begin{matrix} \mu & \nu \\ \alpha & \end{matrix} \right\} \frac{\partial^2 \lg \sqrt{-g}}{\partial x_\alpha}.$$

...(Бул) теңлемелер системасы салыстырмалылық постулатына хәм (2)-түрдеги Пуассон теңлемесин улыўмаластырыўға сәйкес бир улыўмаластырыўға мүмкиншилик береді. Улыўмалық ковариантлықты бузбай (кейинги) теңлемениң шеп тәрәпине хәзирше белгисиз фундаменталлық константа  $\lambda$  ге көбейтилген фундаменталлық тензор  $g_{\mu\nu}$  ды қоса аламыз. Онда (сол теңлемениң) орнына

$$G_{\mu\nu} - \lambda g_{\mu\nu} = -\chi \left( T_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}T \right) \quad (13a)$$

теңлемесин аламыз. Бул теңлеме  $\lambda$  ниң жеткиликли дәрежеде киши мәнислери ушын Қуяш системасында жүргизилген бақлауларға сәйкес келеді. Бул теңлеме импульс пенен энергияның сақланыў нызамларын да қанаатландырады...

5-параграф есаплаулар нәтижелерин баянлайды хәм «Есаплаулар. Нәтиже» деп аталады. Онда былай делинеді:

«Бизиң континуумның барлық ноқатлары бирдей болғанлықтан есаплауларды мысалы координаталары  $x_1 = x_2 = x_3 = x_4$  болған бир ноқат ушын орынлаған жеткиликли болады.

Бундай жағдайда (13a) дағы  $g_{\mu\nu}$  диң орнына ( $g_{\mu\nu}$  лар дифференциалланбаған ямаса бир рет дифференциалланған орынлар ушын) мына мәнислердиң қойылыуы мүмкин:

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Солай етип дәслеп мына аңлатпа алынады:

$$G_{\mu\nu} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left\{ \begin{matrix} \mu & \nu \\ & 1 \end{matrix} \right\} + \frac{\partial}{\partial x_2} \left\{ \begin{matrix} \mu & \nu \\ & 2 \end{matrix} \right\} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left\{ \begin{matrix} \mu & \nu \\ & 3 \end{matrix} \right\} + \frac{\partial^2 \lg \sqrt{-g}}{\partial x_\mu \partial x_\nu}.$$

...барлық (13а) теңдемелериниң егер

$$-\frac{2}{R^2} + \lambda = -\frac{\chi\rho}{2}, \quad -\lambda = -\frac{\chi\rho}{2}$$

катнастары орынланған жағдайда қанаатландырылатуғынлығы келип шығады. Ямаса

$$\lambda = \frac{\chi\rho}{2} = \frac{1}{R^2}.$$

Солай етип егер тең салмақлық халында сақланатуғын орташа тығызлық  $\rho$ , сфералық кеңісликтің радиусы  $R$  хәм оның көлеми  $2\pi^2 R^3$  белгили болса жаңадан киргизилген универсаллық константа  $\lambda$  ниң мәнисин анықлаў мүмкин болады. Бизиң көз-қарасымыз бойынша Әлемниң толық массасы шекли хәм

$$M = \rho 2\pi^2 R^3 = 4\pi^2 \frac{R}{\chi} = \frac{\sqrt{32}\pi^2}{\sqrt{\chi^3 \rho}}$$

шамасына тең.».

Хәзирги ўақытлардағы мағлыўматлар бойынша  $\rho \approx 10^{-30}$  г/см<sup>3</sup>, ал Әлемниң радиусы болса  $R \approx 10^{28}$  см. Демек

$$M_{\text{Әлем}} = 2\pi^2 R^3 \rho \approx 2 \cdot 10^{56} \text{ г.}$$

Егер Қуяштың массасының  $2 \cdot 10^{33}$  г екенлигин есапқа алсақ, онда  $M_{\text{Әлем}}/M_{\text{Қуяш}} = 10^{24}$  екенлиги келип шығады. Бул хәзирги ўақытлары қабыл етилген мағлыўматларға толық сәйкес келеди.

## § 9. Эйнштейн теңдемелерин айырым космологиялық мәселерди шешиўде пайдаланыў. Фридман космологиясы

Улыўмалық талаптар. Егер Әлем бир текли хәм изотроп болса, оның геометриясы Робертсон-Уокер метрикасы менен бериледи:

$$ds^2 = -dt^2 + R^2(t) \left[ \frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d\Omega^2 \right]. \quad (9-1)$$

Бул аңлатпада  $k = +1, 0, -1$  (+1 жабық, 0 кеңіслиги тегис хәм -1 ашық моделлер ушын).  $R(t)$  функциясының ўақытқа ғәрезлиги менен  $k$  шамасын анықлаў ушын Эйнштейн теңдемелери қолланылатуғын болса алынған кеңіслик-ўақыт Фридман модели деп аталады (гейпара ўақытлары, әсиресе космология турақлысы нолге тең болмаған жағдайларда бул модельди Леметр модели деп те атайды).  $R(t)$  дан алынған еки биринши туўынды хәзирги дәўирлер ушын (хәзирги дәўирди 0 индекси менен белгилеймиз) Хаббл турақлысы

$$H_0 \equiv \left( \frac{dR}{dt} \right) R \quad (R = R_0 \text{ де}) \quad (9-2)$$

хәм әстелениў параметри деп аталатуғын

$$q_0 \equiv \left[ \left( \frac{d^2 R}{dt^2} \right) R \right] / \left( \frac{dR}{dt} \right)^2 \quad (R = R_0 \text{ де}) \quad (9-3)$$

параметриниң жәрдемінде параметрлестириледі.

Космологияда улыўма айтқанда затлар кеңейиў хәм қысылыў халларында болады. Соның ушын базы бир бақлаўшыға жеткен жақтылық нуры өзиниң дерегине салыстырғанда қызылға ямаса фиолетке аўысқан болып шығады. Бул аўысыў  $z$  шамасы менен тәрипленип, мына формула бойынша анықланады:

$$1+z \equiv \frac{v_{\text{нурл}}}{v_{\text{бакл}}} = \frac{\lambda_{\text{бакл}}}{\lambda_{\text{нурл}}}. \quad (9-4)$$

Көпшилик жағдайларда  $z$  тиң шамасы бақлаўшыдан қашықлыққа байланысly моно-тонлы өзгереді, сонлықтан ҳәрдайым « $z$  қызылға аўысыўында турған объект» деген түсиникти пайдаланады.

Мейли  $\rho$  хәм  $p$  арқалы Әлемди толтырып турған масса-энергияға ийе материяның тығызлығы менен басымы белгиленген болсын. Онда  $\rho \gg p$  жағдайда затлар басым модель, ал  $p \approx (1/3)\rho$  нурланыў басым болған модель ҳаққында гәп етиледі.

Биз дәслең

$$ds^2 = -dt^2 + R^2(t) \left[ \frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2(d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2) \right] \quad (9-5)$$

түринде жазылған Робертсон-Уокер метрикасын

$$ds^2 = -dt^2 + R^2(t) [d\chi^2 + \Sigma^2(\chi)(d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2)] \quad (9-6)$$

ямаса

$$ds^2 = R^2(\eta) [-d\eta^2 + d\chi^2 + \Sigma^2(\chi)(d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2)] \quad (9-7)$$

түринде жазыўға болатуғынлығын көрсетемиз. Бул аңлатпалардағы

$$\Sigma^2(\chi) = \begin{cases} \sin^2 \chi & k = +1 \text{ ушын,} \\ \chi^2 & k = +0 \text{ ушын,} \\ \text{sh}^2 \chi & k = -1 \text{ ушын.} \end{cases}$$

Мейли

$$r = \begin{cases} \sin \chi & k = +1 \text{ ушын,} \\ \chi & k = +0 \text{ ушын,} \\ \text{sh} \chi & k = -1 \text{ ушын.} \end{cases}$$

болсын. Онда

$$dr = \begin{cases} \cos \chi \\ d\chi \\ \text{ch} \chi \end{cases} \quad \frac{dr^2}{1-kr^2} = \begin{cases} d\chi^2 \\ d\chi^2 \\ d\chi^2 \end{cases}$$

Демек

$$\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\Omega^2 = d\chi^2 + \Sigma^2(\chi) d\Omega^2,$$

бул жерде

$$\Sigma^2(\chi) = \begin{cases} \sin^2 \chi & k = +1 \text{ ушын,} \\ \chi^2 & k = +0 \text{ ушын,} \\ \text{sh}^2 \chi & k = -1 \text{ ушын.} \end{cases}$$

Енди  $t$  өзгеріўшисинен  $\eta$  өзгеріўшисине

$$dt = R(\eta) d\eta$$

қатнасының жәрдеминде түрлендириўди анықлаймыз. Онда

$$ds^2 = -dt^2 + R^2(t)(d\chi^2 + \Sigma^2 d\Omega^2 = R^2(\eta)(-d\eta^2 + d\chi^2 + \Sigma^2 d\Omega^2).$$

Енди Робертсон-Уокер метрикасының Эйнштейннің майдан теңлемелерін қанаатландыратуғынлығын талабынан шығып идеал сұйықтық пенен толтырылған космологиялық Фридман модели үшін динамикалық теңлемелерді келтиріп шығарайық.

Ортонормировкаланған жолдас координата системасында

$$T_0^0 = -\rho, \quad T_r^r = T_\phi^\phi = T_\theta^\theta = p. \quad (9-8)$$

Демек (кери ізге ийе) энергия-импульс тензоры  $\bar{T}$  мынадай құраушыларға ийе болады:

$$T_0^0 = -\frac{1}{2}(\rho + 3p), \quad T_1^1 = \frac{1}{2}(\rho - p). \quad (9-9)$$

Бұл шаманы  $1/(8\pi G)$  ға көбейтеміз хәм алынған нәтижени Риччи тензорына көбейтеміз. Бұл тензордың құраушылары

$$R_0^0 = 3\ddot{R}/R, \quad (9-10)$$

$$R_1^1 = \frac{1}{R^2}(R\ddot{R} + 2\dot{R}^2 + 2k).$$

Буннан

$$3\ddot{R} + 4\pi G(\rho + 3p)R = 0, \quad (9-11)$$

$$R\ddot{R} + 2\dot{R}^2 + 2k - 4\pi G(\rho - p)R^2 = 0$$

теңлемелерін аламыз.

Егер (9-11) деги биринши теңлемени  $\ddot{R}$  ге бөлсек, онда

$$\ddot{R} + k = \frac{8\pi G}{3}\rho R^2 \quad (9-12)$$

теңлемесін аламыз.

$$\frac{1}{2}d\left[\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2\right]/dR = \ddot{R}/R \quad (9-13)$$

екенлигин еске түсіреміз. Онда (9-11) диң биринши теңлемесінен

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dR} \left( \frac{8\pi G}{3} \rho R^2 \right) = \frac{1}{2} \frac{d}{dR} \left( \frac{\dot{R}}{R} \right)^2 = \ddot{R}/R = -\frac{4}{3} \pi G(\rho + 3p)R,$$

$$\frac{d}{dR} (\rho R^2) = -(\rho + 3p)R, \quad (9-14)$$

$$\frac{d}{dR} (\rho R^2) = -3pR^2$$

екенлигине ийе боламыз хәм (9-11) диң екінши теңлемесін аламыз.

Енди Фридман модели үшін  $\rho$ ,  $k$  хәм  $q$  шамалары арасындағы байланыстарды келтиріп шығарамыз.

$$H \equiv \dot{R}/R$$

анықламасынан хәм (9-12) ден

$$\frac{8\pi G\rho}{3} = \frac{k}{R^2} + H^2 \quad (9-15)$$

теңлемесін тиккелей аламыз. Ал егер усы теңлемени  $R$  бойынша дифференциалласық, (9-13) пенен биринши тәртіпті басқа

$$d(\rho R^3)/dR = -3pR^2$$

теңлемени хәм

$$q \equiv -\ddot{R}R/\dot{R}^2$$

анықламасын есапқа алсақ биз

$$-8\pi G\rho = \frac{k}{R^2} + H^2(1 - 2q) \quad (9-16)$$

теңдемесіне ийе боламыз.

Егер  $\rho \gg \rho$  болса (9-16) ның шеп тәрепін оң тәрепін салыстырғанда есепке алмай кетіуге болады (бұл модельде затлар басым болған жағдайға сәйкес келеді) хәм биз

$$\frac{k}{R^2} = (2q-1)H^2 \quad (9-17)$$

аңталпасына ийе боламыз. (9-17) ни (9-15) ке қойсақ

$$\frac{8\pi G\rho}{3} = 2qH^2$$

аңлатпасын аламыз.

Егер  $\rho = \frac{1}{3}\rho$  болса, онда (9-15) пенен (9-16) дан  $\rho$  ны жоғалтып

$$\frac{k}{R^2} = (q-1)H^2$$

екенлігін көреміз. Ал  $k/R^2$  ағзасын жоқ етіу барысында

$$\frac{8\pi G\rho}{3} = qH^2$$

екенлігіне исенеміз.

Солай етип  $\rho$  менен  $\rho$  арасындағы хәр қыйлы қатнастар хәр қыйлы теңдемелерге алып келеді екен<sup>20</sup>.

Енді биринши тәртіпті Фридман теңлемесін  $R(t)$  ға қарата еки жағдай ушын шешеміз. Биринши жағдайда материяның тығызлығына затлар, екінши жағдайда материяның тығызлығына нурланыу тийкарғы үлес қосатуғын болсын. Хәзирги дәуірдің параметрлерін  $H_0$  хәм  $q_0$  арқалы белгилейміз және усы шамалардың мәніслерінің турақлы екенлігін ескертип өтемиз<sup>21</sup>.

Биринши жағдай. Затлар материяның басқа түрлеріне қарағанда көп болған жағдайда басымды есепке алмай кетіуімізге болады. Бундай аўхалда масса-энергияның тығызлығы Әлемнің көлемінің үлкейіуі менен кемейеди:

$$\rho = \rho_0 \left( \frac{R_0}{R} \right)^3, \quad (9-18)$$

$$d\eta = dt / R$$

<sup>20</sup> Биз Әлемнің раўажланыу барысында  $\rho$  менен  $\rho$  арасында хәр қыйлы қатнастардың болғанлығын билеміз.

<sup>21</sup> Адетте бир текли хәм изотроп кеңіслік ушын Эйнштейннің теңлемесін әпиұайылағырады хәм мына түрдегі теңдеме алады:

$$\frac{\ddot{R}}{R} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + \frac{3P}{c^2}) + \frac{\Lambda c^2}{3},$$

$$\frac{1}{2} \left( \frac{\dot{R}}{R} \right)^2 - \frac{4\pi G\rho}{3} = -\frac{kc^2}{2R^2} + \frac{\Lambda c^2}{2}.$$

Егер усы теңдемелер системасындағы биринши теңдемелер Mathematica 5 тинде шешетуғын болсақ (шугаралық шәртлер ушын  $t=0$  де  $R=0$ , ал  $t=t_1$  де  $R=R_1$  деп алынған). Бундай жағдайда теңдеме былай жазылады: DSolve[{R''[t] + ((4π\*G/3)\*(ρ + 3P/c^2))\*R[t] == 0, R[0] == 0, R[t1] == R1}, R[t], t]. Ал компьютер болса мынадай шешімді береді:

$$R[t] \rightarrow \frac{\left( \frac{-2t\sqrt{-3GP\pi - c^2G\rho}}{\sqrt{3}c} + \frac{2t_1\sqrt{-3GP\pi - c^2G\rho}}{\sqrt{3}c} \right) \left( -1 + e^{\frac{4t\sqrt{-3GP\pi - c^2G\rho}}{\sqrt{3}c}} \right) R_1}{-1 + e^{\frac{4t_1\sqrt{-3GP\pi - c^2G\rho}}{\sqrt{3}c}}}$$



аңлатпасының жәрдеминде жаңа ўақытлық координатаны анықлаймыз<sup>22</sup>. Бундай жағдайда Фридман теңлемеси былайынша жазылады:

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \left(\frac{dR/d\eta}{R^2}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho_0\left(\frac{R_0}{R}\right)^3 - \frac{k}{R^2} \quad (9-19)$$

ямаса

$$\frac{1}{\sqrt{R}} \frac{dR}{d\eta} = 2 \frac{d}{d\eta} \sqrt{R} = \left( \frac{8\pi G}{3} \rho_0 R_0^3 - kR \right)^{1/2}. \quad (9-20)$$

Алынған теңлемени интегралласақ мынаған ийе боламыз:

$$\frac{1}{2}\eta = \int_0^{R^{1/2}} \frac{dR^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3 - kR\right)^{1/2}} = \begin{cases} k = +1 \text{ болганда} & \arcsin \frac{R^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3\right)^{1/2}} \\ k = 0 \text{ болганда} & \frac{R^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3\right)^{1/2}} \\ k = -1 \text{ болганда} & \operatorname{arSh} \frac{R^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3\right)^{1/2}} \end{cases} \quad (9-21)$$

Енди

$$q_0 = \frac{4\pi G}{3} \frac{\rho_0}{H_0^2} \quad (9-22)$$

хәм

$$R_0^2 = \frac{k}{(2q_0 - 1)H_0^2}, \quad (k = \pm 1) \quad (9-23)$$

екенлигин есапқа аламыз. (9-23) тиң шеп тәрәпиниң оң мәниске ийе екенлигинен  $k = \operatorname{sign}(2q_0 - 1)$  екенлигинен түсиникли. Демек (9-21) де мынаған ийе боламыз:

$$\frac{8\pi}{3}\rho_0 R_0^3 = \frac{2q_0}{H_0 |2q_0 - 1|^{3/2}}, \quad k = \pm 1.$$

Енди (9-21) ди  $R_0$  ге қарата шешсек мына аңлатпаларға ийе боламыз:

$$R = \begin{cases} k = +1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}} (1 - \cos\eta), \\ k = 0 \text{ ушын} & \frac{1}{12} H_0^2 R_0^3 \eta^2. \\ k = -1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}} (\operatorname{Sh}\eta - 1). \end{cases} \quad (9-24)$$

Ең кейинде  $dt = R d\eta$  шамасын интеграллап мыналарды аламыз:

$$t = \begin{cases} k = +1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}} (\eta - \sin\eta), \\ k = 0 \text{ ушын} & \frac{1}{12} H_0^2 R_0^3 \eta^3. \\ k = -1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(1 - 2q_0)^{3/2}} (\operatorname{Sh}\eta - \eta). \end{cases} \quad (9-25)$$

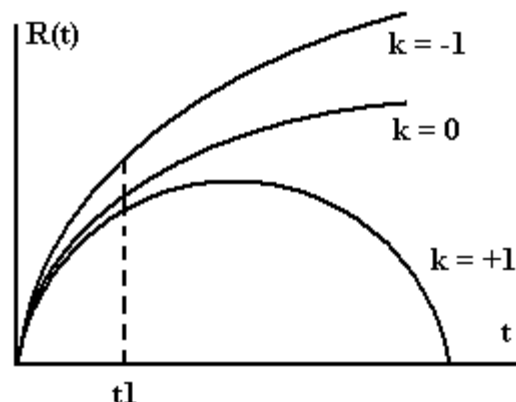
<sup>22</sup> Әдетте бул координатаны «угол развертки» деп атайды.

Жоқарыда шешілген мәселеде  $k=0$  болған жағдай үшін жууаптан  $R_0$  ди жоқ қылыу мүмкин емес екенлигин аңсат аңлау мүмкин. Бул факт усындай жағдайларда Әлемнің кеңисликлик қашықлықларда ықтыярлы масштабларға ийе болатуғынлығын, ал оның геометриясының уақыттың барлық моментлерінде бирдей болып «көринетуғынлығын» сәулелендиреди. Сонлықтан  $R_0$  диң сан мәніси қалеген физикалық өлшенетуғын шамаға кирмейди.

Биз (9-24)- пенен (9-25)-аңлатпалардан әхмийетли жууақлар шығарамыз:

А). Әлем жабық болған жағдай ( $k=+1$ ).  $R = \frac{q_0}{H_0(2q_0-1)^{3/2}}(1-\cos\eta)$ . Демек  $R$  диң мәніси  $\eta$  ның мәнісине ғарезли  $(1-\cos\eta)$  нызамы. Егер  $\eta = 0$  хәм  $\eta=\pi$  болса ( $n=0, 1, 2, \dots$ )  $R=0$ . Ал  $\eta=(n/2)\pi$  болған жағдайларда  $R = \frac{q_0}{H_0(2q_0-1)^{3/2}}$ .

Биз көрген мысаллардың үшеуінде де  $R=0$  болған жағдайларды көремиз. Соның менен бирге бул жағдай  $\eta = 0$  де  $t = 0$  болатуғын мәніслерге сәйкес келеди хәм  $t \rightarrow 0$  де  $R \rightarrow 0$ , ал тығызлық  $\rho = \infty$  екенлиги келип шығады. Жабық моделде  $R=0$  жағдайы дәуирли түрде қайталанады, ал ашық хәм тегис моделлерде  $t = 0$  ( $\eta = 0$ ) болған уақыт моментінде тек бир рет орын алады.  $R(t)$  функциясы  $t = 0$  ( $\eta = 0$ ) болған моменттен баслап монотонлы түрде өседи.  $R$  диң максималлық мәніси [әлбетте тек жабық модельде ( $k=+1$ )]  $R_{\max}=2 \cdot \frac{q_0}{H_0(2q_0-1)^{3/2}}$ . Ал ашық хәм тегис моделлерде  $R$  диң мәніси шексиз өседи. Бул 4-сүүретте келтирилген.



4-сүүрет.  $R = R(t)$  ғарезлилилиги. Бул сүүретке  $\Lambda = 0$ , бир текли хәм изотроп әлем сәйкес келеди.  $k = +1$  болған жағдайда кеңейиу қысылуы менен алмасады,  $k = 0$  хәм  $k = -1$  болған жағдайларда кеңейиу шексиз дауам етеди.  $t_1$  уақыт моменті хәзирги Әлемге сәйкес келеди. Үш жағдайда да  $R(t) = 0$  болған жағдай бақланады (сингулярлық)

Солай етип  $t=0$  мәнісиндаги  $R \rightarrow 0$  изотроп моделдің кеңислик-уақытлық моделинің айрықша нокаты болып табылады (усы гәплер жабық моделдеги  $R=0$  болған барлық нокатларға да сәйкес келеди). Егер  $R$  менен  $t$  арасындағы байланысты анықлайтуғын болсақ [(9-24) пенен (9-25) ти салыстырып табамыз хәм ол байланыс  $R = \sqrt{\text{const}} \cdot t$  түрінде болады], онда  $t$  ның белгиси өзгергенде  $R(t)$  шамасының жормал мәніске ийе болатуғынлығын дәлиллейди. Интервал үшін аңлатпадағы  $g_{ij}$  тың барлық төрт кураушысы терис мәніске, ал  $g$  анықлаушысы оң мәніске ийе болған болар еди. Физикалық жақтан бундай метрика мәніске ийе емес. Бул метриканы айрықша нокаттан  $t$  ның терис мәніслерине қарай дауам еттириудің физикалық мәніске ийе болмайтуғынлығын көрсетеди.

Екинши жағдай. Нурланыу басым болған уақытлары жолдас кеңисликтің берилген көлеміндеги масса-энергия турақлы болмайды. Бул жағдайда фотонлардың қызылға ауысуының есабынан тығызлықтың қосымша кемейиу эффекти орын алады. Сонлықтан

$$\rho = \rho_0 \left( \frac{R_0}{R} \right)^4. \quad (9-26)$$

(9-19) дың аналогы мына теңлеме болып табылады:

$$\left( \frac{R}{R_0} \right)^2 = \left( \frac{dR/d\eta}{R^2} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_0 \left( \frac{R_0}{R} \right)^4 - \frac{k}{R^2}$$

ямаса

$$\frac{dR}{\left( \frac{8}{3} \pi G \rho_0 R_0^4 - k R^2 \right)} = d\eta.$$

Бул теңлемениң шешими мына түрге ийе болады:

$$R = \left( \frac{8\pi}{3} G \rho_0 R_0^4 \right)^{1/2} \begin{cases} k = +1 \text{ ушын } \text{Sin}\eta, \\ k = 0 \text{ ушын } \eta, \\ k = -1 \text{ ушын } \text{Sh}\eta. \end{cases} \quad (9-27)$$

(9-22) ниң орнына енди

$$q_0 = \frac{8\pi G}{3} \frac{\rho_0}{H_0^2},$$

ал (9-23) тиң орнына

$$R_0^2 = \frac{k}{(q_0 - 1)H_0^2}, \quad (k = \pm 1)$$

аңлатпаларына ийе боламыз. Демек (9-27) енди

$$\frac{8\pi}{3} G \rho_0 R_0^4 = \begin{cases} k = \pm 1 \text{ ушын } \frac{q_0}{(q_0 - 1)^2 H_0^2} \\ k = 0 \text{ ушын } H_0^2 R_0^4. \end{cases} \quad (9-28)$$

Ал  $dt = R d\eta$  қатнасын интеграллау бизге мынаны береді:

$$t = \begin{cases} k = +1 \text{ ушын } \frac{1}{H_0} \left[ \frac{q_0^{1/2}}{q_0 - 1} \right] (1 - \text{Cos}\eta), \\ k = 0 \text{ ушын } \frac{1}{2} H_0 R_0^2 \eta^2. \\ k = -1 \text{ ушын } \frac{1}{H_0} \left[ \frac{q_0^{1/2}}{q_0 - 1} \right] (\text{Ch}\eta - 1). \end{cases} \quad (9-29)$$

Усы параграфтың ақырында және бир космологиялық мәселени шешейик. Жабық Фридман әлемин қарайық ( $k=+1$ ). Бул әлемнің барлық өмири ушын кеткен уақыттың тек жүдә киши бөлегин нурланыу дәуири тутатуғын болсын. Жоқарыда алынған нәтижелерден пайдаланып усы әлем «тууылғаннан» баслап өлгенге шекем фотонның неше рет әлемди айланып шығатуғынлығын есаплайық.

Егер Фридман метрикасында уақыт  $d\eta = dt/R$  аңлатпасы менен есапланатуғын «раз-вертка мүйеши» менен анықланатуғын болса радиус бойынша тарқалатуғын фотон ( $df = dv = 0$ ) ушын жазылған интервал мына түрге ийе:

$$0 = ds^2 = R^2(\eta)(-d\eta^2 + d\chi^2).$$

Бул аңлатпадағы  $d\chi^2 = dr^2/(1-r^2)$  шамасы 3 лик сферадағы «тригонометриялық» радиаллық координата. (9-24) хәм (9-27) лерден әлемнің жасау уақыты ( $R$  функциясының еки ноли арасындағы аралық)  $\Delta\eta = 2\pi$  аралығына сәйкес келеди. Демек сол фотон әлемди тек бир рет айланып шығады екен.

Солай етип Эйнштейн теңлемелери изотроп хәм бир текли әлем ушын әпиуайыласады екен. Бундай әлемди Фридман әлеми деп атаймыз. Ал Фридман әлеми ушын көплеген

мәселелерді сол әпіуайыластырылған Эйнштейн теңлемелерін пайдаланып шешиўге болады екен.

## § 10. Улыўма салыстырмалылық теориясының улыўмалық әҳмийети хәм альтернатив теориялар ҳаққында

Улыўмалық салыстырмалылық теориясы ҳаққында жоқарыда келтирилген мағлаўматлар менен бир қатар Internet тармағы арқалы алынған көп санлы илимий мағлыўматлар тийкарында төмендегидей жуўмақлар шығарыў мүмкин:

1. Улыўмалық салыстырмалылық теориясы бақланатуғын астрономиялық эффектлерди дәл түсиндиреди (планеталардың траекторияларына дүзетиўлер киргизиў, жақтылықтың жийилигиниң өзгериўи, нурлардың иймейиўи, радиосигналлардың белгили бир аралықларды өткенде кешигиўи);

2. Улыўмалық салыстырмалылық теориясы Әлемниң тутасы менен алғандағы ең улыўмалық қәсийетлерин түсиндиреди. Қара қурдымлардың бар екенлиги болжанды. Қара қурдымлар түсинигиниң жәрдемінде рентген қос системаларындағы, галактикалар менен квазарлардың ядроларындағы қубылыслар табыслы түрде түсиндириледі.

3. Гравитациялық толқынлардың бар екенлиги болжап айтылды. Олардың ҳақыйқатында да тәбиятта бар екенлиги өз ишине пульсарларды алыўшы қос жулдызлардың қозғалысынан анықланды.

4. Тартылыс теориясын геометриялық жақтан формулировкалаў кеңислик-ўақытлық многообразияның қәлеген ноқатында хәм қәлеген еркин қозғалыўшы бақлаўшының дүньялық сызығы бойлап локаллық инерциаллық координаталарды енгизиўдиң мүмкиншилигин автомат түрде өз ишине алады. Бундай координаталар системасында салмақсызлық орын алады ал жоғалтылмайтуғын гравитациялық тәсир қоршаған орталықты тасыў-қайтыў характеринде деформациялайды. Теорияда салмақ майданы<sup>23</sup> хәм координата системасының тезлениўши қозғалысы арасындағы локаллық эквивалентлилик принципи орынланады. Тәжирийбе эквивалентлилик принципін тастыйықлайды.

5. Тартылыс теңлемелери материяның қозғалысы менен кеңисликти толтырып турған майданның өзгерисине белгили бир шеклер қояды. Дара жағдайда ноқатлық бөлекше ушын қозғалыс теңлемесиниң өзи кеңислик-ўақыттың геометриясының салдары болып табылады. Улыўма жағдайда сол шеклеўлер гравитациялық күшлердиң тәсирин есапқа алғандағы энергия, импульс хәм момент ушын баланс теңлемелери түрине ийе болады.

Усы атап өтилген улыўмалық салыстырмалылық теориясының 5 өзгешелигиниң өзи бул теорияның әҳмийетин хәм дурыслығын айқын сәўлелендиреди.

Егер космологияға келетуғын болсақ биз төмендегилерге тоқтап өтемиз:

Эйнштейн теңлемелериниң қолланылыў областлары киши қашықлықлар менен материяның үлкен тығызлықларында<sup>24</sup> шекленбеген (бул гәплер киши қашықлықлар менен үлкен тығызлықларда теңлемелердиң ишки қарама-қарсылықларға алып келмейтуғынлығының салдарында айтылған<sup>25</sup>). Бундай мағанада айтқанда кеңислик-ўақытлық метриканың өзгешеликлерин изертлеў толықы менен корректли жұмыс болып табылады. Соның менен бирге сондай қашықлықлар менен үлкен тығызлықларда квантлық қубылыстардың басым болып кететуғынлығына гүмән жоқ. Бирақ бундай қубылысоар ҳаққында ҳәзирги теория хеш нәрсе билмейди. Тек болажақта ғана тартылыс теориясы менен квант теориясының синтези классикалық теорияның қайсы нәтийжелериниң ҳақыйқый мәнислерин сақлайтуғынлығын анықлай алады. Қалай деген менен Эйнштейн теңлемелериниң шешимлеринде айырықша жағдайлардың пайда болыў факти терең физикалық мәниске ийе болады деп есаплаймыз.

<sup>23</sup> «Салмақ майданы», «Тартылыс майданы» сөзлери бир мәнисте қолланылған.

<sup>24</sup> Гәп Планк масштабындағы қашықлық ( $10^{-33}$  см) хәм тығызлық ( $10^{96}$  г, см<sup>3</sup>) ҳаққында кетип атыр.

<sup>25</sup> Классикалық электродинамикада бундай жағдайларда ишки қарама-қарсылықлар айқын көринеди.

Бирақ усы айтылғанларға қарамастан, улыұмалық салыстырмалылық теориясына альтернатив теориялар пайда болмақта. Неликтен альтернативлик теориялар пайда болмақта? Усы сораұға байланысly еки тенденцияны атап өтемиз:

Биринши тенденция улыұмалық салыстырмалылық теориясын классикалық (квантлық емес) гравитация областындағы дурыс емес хәм қанаатландырмайтуғын теория деп дағазалайды. Мәселениң бундай етип қойылыұының өзинше нюанслары бар. Екинши жағдайлар улыұмалық салыстырмалылық теориясы жәрдемінде есапланған айырым шамалардың экспериментлерде анықланған шамаларға дәл сәйкес келмеуінде. Тәжірийбелер бундай теориялардың узак ўақыт жасап атырмағанлығын көрсетеди.

Альтернативлик теориялардың ең белгилелериниң бири А.А.Логуновтың басшылығында дөретилген гравитацияның релятивистлик теориясы болып табылады. Бул хәм басқа да альтернатив теориялардың көпшилиги гравитацияны кеңислик-ўақыттың геометриясының өзгешелиги емес, ал ҳақыйқый физикалық майдан (мысалы электромагнит майданы, ядро күшлери майданы хәм басқалар) сыяқлы майдан деп қарайды. Демек сол теориялардың авторлары теорияның мазмунына емес, ал формасына қайыл емес. Мысалы электромагнит майданы Максвелл электродинамикасы тийкарында толық түсиндириледи хәм электромагнит майданы ҳақыйқый физикалық майдан болып табылады (электромагнит майданың Фарадей-Максвелл типіндеги физикалық майдан деп атаймыз, бундай көз қарастан қарағанда улыұма салыстырмалылық теориясындағы гравитация майданы физикалық майдан емес, ал кеңислик-ўақыттың иймейиұи екенлиги биз көрдик). Оның (электромагнит майданының) энергия-импульс тензоры сәйкес түрлендириұ хәм сақланыұ нызамларына ийе жақсы хәм локаллық анықланған физикалық шама болып табылады. Улыұма салыстырмалылық теориясының стандарт «геометриялық» формулировкасында болса гравитациялық энергияның локализациясы анық емес болып қалады. Бул улыұма салыстырмалылық теориясының ең тийкарғы «кемшилиги» болып табылады.

2004-жылы «Успехи физических наук» журналының 6-санында «Гравитацияның релятивистлик теориясының авторлары А.А.Логунов, М.А.Мествиришвили хәм В.А.Петровлардың «Как былы открыты уравнения Гильберта-Эйнштейна» мақаласы шықты. Бул мақаланың авторларының мағлыұматлары бойынша гравитациялық майданның теңлемелерине Гильберт пенен Эйнштейн бир биринен ғәрезсиз еки түрли жол менен келген. Бул жоллар хәр қыйлы еди, биак бул жоллар бир мақсетке алып келген. Еки автор да өзлериниң атларының гравитациялық майданның теңлемесінде турыұи ушын урынған. Ал улыұмалық салыстырмалылық теориясы болса толығы менен А.Эйнштейнниң теориясы болып табылады. Мақаланың авторларының «салыстымалылықтың дара теориясының аңлатпаларының сызықлы ортогоналлық түрлендириұлерге қарата ковариант болыұының зәрүрлиги постулатына сүйенгенлиги сыяқлы улыұмалық салыстырмалылық теориясы барлық теңлемелер системасының анықлаұшысы (определители) 1 ге тең болған түрлендириұге қарата ковариантлылығын постулатына тийкарланған. Бул теорияның гөззаллығы усы теорияны ҳақыйқатында да түсинетуғын адамлардан жасырынып қала алмайды, теория Гаусс, Риман, Кристофел, Риччи хәм Ливи-Чивиталар тәрeпинен раўажландырылған абсолют дифференциаллық есаплаұдың ҳақыйқый шыңын аңғартады» сөзлери орынлы болып табылады.

## Космология

### Кирисиұ

Әлемниң пайда болыұи менен раўажланыұи барлық ўақытлары адамзат цивилизациясы тарийхында дыққат орайында болып келди. Соның нәтийжесінде ең уллы илимпазлар өзлериниң изертлеұлерин Әлемниң қурылысын анықлаұға бағышлады (Гиппарх, Аристо-

тель, Птолемей, Эл Беруний, Мырза Улыбек, Коперник, Джордано Бруно хәм басқалар). Бирақ бул хаққында тек соңғы дәуірлерде ғана тәжірийбелер менен исенимли теорияларға (салыстырмалылық теориясы, майданның квант теориясы, хәзирги элементар бөлекшелер теориясы) тийкарланған илимий тәлимаат анық түрде қәлиппести. Бул тәлимаат инфляциялық космология болып табылады.

Инфляциялық космология ең ертедеги Әлемнің физикалық халы менен кеңейиу нызамы хаққындағы гипотезаға тийкарланып, Әлемнің дәслепки кеңейиуиниң себеплерин оның хәзирги ўақытлардағы қәсийетлерин түсиндириўге қолланылады. Сонлықтан инфляциялық космология бизиң күнлеримиздеги стандарт космологиялық модель деп аталатуғын модельдиң тийкарғы мәнисин курайды.

Стандарт модель рамкаларында (инфляциялық космологиясыз) Әлем ең дәслеп үлкен дәлликте бир текли хәм изотроп, ал оның динамикалық эволюциясы Планк дәуиринен баслап (Әлем кеңейе баслағаннан кейин ( $t_{\text{Пл}} \approx 10^{-43}$  с,  $\rho_{\text{Пл}} \approx 10^{93}$  г/см<sup>3</sup>) рекомбинация дәуирине шекем (буннан кейинги шама менен 300 мың жыллық дәуир)  $p = \varepsilon/3$  ( $p$  басым,  $\varepsilon$  энергияның тығызлығы) аңлатпасына жақын болған хал теңлемеси менен анықланады. Усы дәуир ишинде масштаблық фактор  $R(t)$  ўақыттың  $1/2$ -дәрежесине пропорционал (яғный  $R(t) \propto t^{1/2}$ ), ал  $p \ll \varepsilon = \rho c^2$  ( $\rho$  арқалы заттың тығызлығы белгиленген) хал теңлемеси орын алатуғын хәзирги күнлерге шекем  $R(t) \propto t^{2/3}$  нызамы бойынша өскен. Усындай стандарт космологиялық модель бақлаўлар мағлыўматларының көпшилигин жақсы түсиндиреди. Бирақ хәзирги Әлемнің базы бир қәсийетлерин түсиндире алмайды.

Усындай қәсийетлердиң бири Әлемнің үлкен масштаблардағы бир теклилиги менен изотропиясы болып табылады. Әлемнің хәзирги ўақытлары бақланыўы мүмкин болған өлшеми  $l_0$  өзиниң шамасының дәрежеси бойынша Хаббл қашықлығы деп аталатуғын қашықлыққа сәйкес келеди ( $R_H = c/H_0 \approx 10^{28}$  см,  $H_0$  арқалы Хаббл турақлысы белгиленген). Басқа сөз бенен айтқанда хәзирги заман обсерваторияларында дүньяның бир биринен қашықлығы  $l \leq l_0$  болған участкаларын (бөлекшелерин) бақлаў мүмкин. Усы бөлекшелер арасындағы қашықлықлар  $R(t)$  ға пропорционал өскен, ал өткен дәуірлерде<sup>26</sup> болса бул қашықлықлар киши болған. Стандарт модель бойынша Планк дәуиринде ( $t_{\text{Пл}} \approx 10^{-43}$  с) бул қашықлық  $l' = l_0 R(t_{\text{Пл}})/R(t_0) \approx 10^{-3}$  см ғана болған. Ал бир бири менен себеп пенен байланысқан областлардың өлшемлери (бул шаманы горизонттың өлшеми деп атайды)  $l_{\text{Пл}} = ct_{\text{Пл}} \approx 10^{-33}$  см ден аспайды. Демек бизди қызықтыратуғын көлемде бир бири менен себеплилик пенен байланыспайтуғын шама менен  $10^{90}$  дай область болған. Усыған байланыссы биз Планк дәуиринде сол областлардың барлығында да бирдей басланғыш шәртлер болған деп болжаўға<sup>27</sup> мәжбүр боламыз. Басланғыш шәртлер хаққындағы бул талқылаўлар бақланбайтуғын (бақланыўы мүмкин болмаған), соның менен бирге хәзирги заман физикалық теорияларының қолланылыўының шегарасы болған Планк дәуирине тийисли. Бирақ тап сондай жуўмақларға кейинги, бақланыўы мүмкин болған дәуірлерге (мысалы рекомбинация дәуири) байланыссы да келемиз. Хақыйқатында да бизге бир неше мүйешлик градуслардан келетуғын реликтив нурлар фотонлары ең кейинги рет стандарт модель бойынша бир бири менен себеплилик байланыслары жоқ областлардағы плазма элементлери менен тәсирлескен (яғный сол атомларда шашыраған). Сонлықтан сол реликтив нурларды бирдей қәсийетлерге ийе деп қараўға хеш қандай тийкар жоқ. Бирақ соған қарамастан хәр қыйлы бағытлардан келетуғын реликтив нурлардың температурасы үлкен дәлликлерде ( $\sim 10^4$ ) бирдей. Солай етип бақлаўлар Әлемнің бир текли хәм изотроп екенлигин дәлиллейди. Ал усындай қәсийетлердиң пайда болыўының себеплери түсиниксиз болып қалады.

<sup>26</sup> Бул жумыста дәуирдиң аты айқын көрсетилмеген жағдайларда астрономиялық дәуірлер (яғный миллиардлаған жыллар) нәзерде тutyлады.

<sup>27</sup> Бул болжам постулат болып табылады. Сонлықтан биз болжаймыз деген сөздиң орнына «постулатлаймыз» (русшасы «постулируем») деген сөзди де қолланамыз.

Әлемнің ұсы ұақытларға шекем түсиндирилмеген екінші қасиеті  $\Omega = \rho/\rho_{кр}$  параметрінің мәнісінің бірге жақынлығында ( $\Omega \approx 1$ , ал  $\rho_{кр} \approx 5 \cdot 10^{-10} \text{ г/см}^3$ ). Бағалаулар нәтижелері бойынша хәзиргі ұақытлары  $\Omega = \Omega_0$  шамасының мәнісі  $0,003 < \Omega_0 < 2$ . Демек дүняның<sup>28</sup>  $\Omega$  ның бірге тең, бірден үлкен ямаса бірден киши екенлігіне байланыс-лы «-» ямаса «+» белгісіне ийе болған кеңісліклик майысқанлығының радиусы Хаббл қашықлығынан әдеуір киши бола алмайды. Соның менен бірге  $\Omega = 1$ , соған сәйкес дүняның тегіс болыуы да мүмкін (кеңісліктің майысқанлығы нолге тең). Динамиканың теңлемелерінен егер хәзиргі дәуірлерде  $\Omega$  ның мәнісі бірге тең болмаса, бірақ жоқарыда көрсетілген шеклер ишінде жатса, ұақыттың функциясы болғанлықтан бурынлары  $\Omega = 1 \pm 10^{-8}$  дәллікте бірге жақын болғанлығы келип шығады. Басқа сөз бенен айтқанда кеңейіуші затлардың кинетикалық хәм потенциал энергиялары арасында жоқары дәлліктегі баланс (теңлік) орын алған.

Үшіншіден, Әлемнің қурылысының неликтен галактикалар менен олардың топарларынан туратуғынлығы ұсы ұақытларға шекем стандарт космология тийкарында түсиндирилген жоқ.

Жоқарыда келтирилген тийкаргы үш мәселені түсиндириу мақсетінде 1980-жыллардан баслап хәзиргі ұақытлары космологияның ажыралмас бөлегіне айланған инфляциялық космология қәлиплесе баслады. Бул космологияның тийкаргы өзгешелігі ең дәслепки Әлемнің рауажланыуының белгілі бір этапларындағы  $R(t) \propto t^{1/2}$  ғәрезілілігінен бас тартыу болып табылады. Инфляциялық космология моделинде (ИКМ) барионлық зарядлар пайда болатуғын дәуір алдында Әлем  $R(t) \sim 1/\text{Нехр}(Ht)$  нызамына жақын нызам бойынша кеңейеди. Бул аңлатпадағы  $H$  аркалы кеңейіудің инфляциялық стадиясындағы Хаббл турақлысы белгіленген. Оның мәнісі  $10^{42} \text{ с}^{-1} > H > 10^{36} \text{ с}^{-1}$  шеклері ишінде болады хәм Хаббл турақлысының хәзиргі ұақытлардағы мәнісінен оғада үлкен. Кеңейіудің бундай нызамы  $p = -\varepsilon$  болған хал теңлемесіне сәйкес келиуіші физикалық майданлардың халлары менен тәмійинленеди (яғный теріс мәніске ийе басымға ийе хал). Кеңейіудің бундай стадиясын инфляциялық стадия деп атайды. Себеби инфляция барысында масштаблық фактор хәм соның менен бірге қәлеген екі нокат арасындағы қашықлық үлкейеди, ал энергияның тығызлығы  $\varepsilon$  өзгермей қалады. Усындай әдеттегідей емес кубылыс тек теріс мәнісін басымлар (бул керіуіге сәйкес келеді) орын алғанда жүзеге келеді<sup>29</sup>. Ал энергиясының мәнісі оң, басымының мәнісі теріс болған хал турақлы емес. Сонлықтан Әлемнің кеңейіу стадиясын жүзеге келтиретуғын майданның энергиясы  $\varepsilon$  әдеттегі бөлекшелердің энергиясына айланады. Затлар менен нурланыу жоқары температураға ийе болады хәм Әлем кеңейіудің радиация басым болатуғын режиміне өтеді (бул режимде  $R(t) \sim t^{1/2}$ ). Инфляция стадиясының жеткілікті дәрежедегі ұзақлығында (ұақыт бойынша) хәзиргі ұақытлары бақланатуғын Әлемнің барлық бөлігі инфляцияға шекемгі себеп пенен байланысқан бір областтың кеңейіуінің нәтижесі болып шығады. Бул жағдайлар өзінше хәзиргі ұақытлардағы ирі масштаблық бір теклилік пенен изотроплыққа кепилік бермесе де оның жүзеге келиуін түсиндире алады. Себеби ең дәслепки себеплилік пенен байланысқан областты бір текли хәм изотроп деп есаплау тәбійий болып табылады. Усының менен бір қатар кеңейіудің инфляция стадиясында кеңісліклик майысқанлық радиусы соншама үлкейеди, нәтижеде  $\Omega$  ның хәзиргі ұақытлардағы мәнісі автомат түрде бірге жақынласады.

Инфляциялық Әлем моделинің және бір әхмийеті анық амплитудаға хәм спектринің формасына ийе тығызлық флуктуациясының пайда болыу мүмкіншілігінде (буны возмущениелердің тегіс спектрі деп атайды). Бундай спектр үлкен масштаблардағы бір теклилік пенен изотроптылықты сақлап қалыу менен бірге Әлемнің бақланатуғын структуралылығының (галактикалар менен олардың жыйнақларының) қәлиплесіуін

<sup>28</sup> Дүня сөзі Әлем сөзінің синоними сыпатында қолланылады.

<sup>29</sup> Биз улыуа физика курсынан әдеттегі басымға оң мәніске ийе энергия сәйкес келетуғын болса керіуіге (теріс мәнісін басымға) теріс мәнісін энергияның сәйкес келетуғынлығын билеміз.

түсіндіреді алады. Тығызлық возмущениелерінің пайда болуы себептері де шама менен ең ертедегі Әлемдегі интенсивлі гравитация майданында бөлекшелердің пайда болуы себептері менен бірдей. Бір қатар теориялық жұмыстарға сәйкес инфляциялық Әлем модели кеңейудің инфляциялық стадиясын болдыратуғын майдан теориясы мәселелерін де шеше алады. Мысалы магнит монополи сыяқлы экзотикалық бөлекшелердің санының үлкен емес екенлігі (бул жуымақ баклаулар нәтижелеріне сәйкес келеді). Мәселенің ең әхмийетлі тәрептерінің бири соннан ибарат, инфляциялық Әлем модели Әлем не ушын кеңейеді деген сорауға жуыап бере алады. Бул жуыап төмендегідей: Жеткиликли дәрежедегі үлкен терис мәнісли басымларда (мысалы  $p = -\varepsilon$  болғанда) улыўма салыстырмалылық теориясына сәйкес күш әдеттегі күшке салыстырғанда терис мәніске ийе болады. Бул жағдайда гравитация  $p = -\varepsilon$  майданындағы бөлекшелер арасындағы өз-ара ийтерисиўди тәмийинлейди. Демек инфляциялық стадиядағы кеңейіўге бөлекшелердің бир биринен тезлениўши түрдегі қашықласыўы сәйкес келеді. Себеби тезлениў

$$\frac{d^2(Ae^{Ht})}{dt^2} = +H^2 Ae^{Ht}$$

оң мәніске ийе, ал радиация басым болған дәуірдегі кеңейіў

әстелениў менен жүреді, себеби  $\frac{d^2(B\sqrt{t})}{dt^2} = \frac{1}{4} \frac{B}{\sqrt{t^2}}$  тезлениўи терис мәніске ийе болады

(бул аңлатпаларда  $A > 0$  хәм  $B > 0$  лар аркалы константалар белгиленген).

Усы жағдайларды есапқа алған ҳалда бул питкеріў қәнигелик жұмысында инфляциялық космология ҳәзирги заман космологиясының тийкарғы буўыны сыпатында баянланған хәм бул тараўға байланысly айырым изертлеў жұмыслары орынланған. Зәрүрли болған мағлыўматлар интернет тармағынан алынды (бул ҳаққында питкеріў жұмысы ақырында дизим берилген), ал есаплаў процедуралары Mathematica 5 тилинде әмелге асырылды.

Питкеріў қәнигелик жұмысы 2004/2005-оқыў жылы даўамында орынланды.

## СТАНДАРТ КОСМОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛЬ

### § 1. Стандарт космологиялық моделдің тийкарғы өзгешеликлері

Космология Әлемнің астрономиялық баклауларға алынған бөлегін тутасы менен изертлейтуғын, баклаў мағлыўматлары менен теориялық жуўмақларға тийкарланатуғын физикалық тәлимаат болып табылады. Космологияның теориялық фундаменти сыпатын тийкарғы физикалық теориялар (гравитация теориясы, электро-магнит майданы теориясы, квант теориясы хәм басқалар) ийелейди. Космология ушын эмперикалық мағлыўматларды тийкарынан галактикадан тыс астрономия береді, ал оның жуўмақлары менен улыўмаластырыўлары пүткил дүнья ҳаққындағы улыўма илимий хәм философиялық әхмийетке ийе.

Космологияда әхмийетлі орынды тартылыс ийелейди. Себеби тартылыс массалардың космология ушын характерли болған үлкен аралықлардағы тәсирлесіўлерін хәм соған сәйкес космослық материяның динамикасын анықлайды. Космослық материяның динамикасын үйрениў менен бир қатар космология оның ҳәзирги ўақытлардағы физикалық қәсийетлерін және эволюциясын изертлейди.

Жулдызлардың, галактикалардың қурамындағы затлар, галактикалар аралық газлер хәм басқалар бурынғы ўақытлары басқа қәсийетлерге ийе болған. Хәзирги ўақытлардағы космологиялық көз-қараслар бойынша ол затлар усы ўақытларға шекем эксперименталлық физика жете алмаған басымлар менен жоқары температуралар стадиясын өткен. Бул стадия ҳәзирги күнлерден  $13,7 \pm 0,3$  млрд жыл бурын өтті. Шамасы сол ўақытлары дәслепки материя бир текли хәм изотроп болып тарқалған хәм тығызлық пенен температураның төменлеўине алып келетуғын кеңейіў халында болған.  $10^{12}$ - $10^{11}$  К температураларында кеңейіўдің характерли ўақыты (мысалы температураның мәнісинің еки



есе кемейіу ұақыты) секундтың мыңнан бир үлесин кураған. Температура  $\sim 10^{11}$  К ке шекем төменлегенде материяның тығызлығы (соның ишинде нурланыу да, бөлекшелер де, антибөлекшелер де бар) ядролық заттың тығызлығындай болыуы керек. Эволюцияның усы моментинен баслап материяның қасиетлерин үйрениу ядролық физикада ашылған фактлер менен теориялар тийкарында жүргизиледи.

$T \gg 10^{10}$ - $10^8$  К температурасына хәм  $t \sim 1$  секунд кеңейіу ұақытына сәйкес келиуши Әлем тиккелей бақлау мағлыұматларына ийе ең дәслепки әлем болып табылады. Бул дәуирде протонлар менен нейтронлардан гелий, дейтерий хәм басқа да жеңил элементлердің ядролары пайда болған болыуы керек. Бул элементлердің хәзирги ұақытлардағы космослық затларда болыуы есаплау мағлыұматларына сәйкес келеди хәм сол элементлердің космологиялық пайда болыуынан дерек береді (ауыр элементлер жулдызларда синтезленеди).

Жеңил элементлердің ядролары пайда болғаннан кейин ( $t \sim 100$  с) затлар еле де (шама менен 1 млн. жыл) плазма халында болады. Усы плазма менен нурланыу да тең салмақлық халда турған затлардың (яғный протонлардың, электронлардың, жеңил элементлердің) ядроларының температуралары нурланыу температурасына тең. Жокары тығызлық пенен жокары температура нейтрал атомлардың пайда болыуына мүмкиншилик бермеген. Температура  $T = 4000$  К ға шекем төменлегенде электронлар элементлердің ядролары менен бириге алған. Бул дәуирди затлар менен нурланыудың бөлиниу дәуири (рекомбинация дәуири) деп атайды. Фотонлар затлар менен актив түрде тәсирлесе алмаған. Усының нәтижесинде олар еркин түрде тарқалған. Бул фотонлар хәзирги ұақытлары тең салмақлық реликтив нурлар (микротолқынлық фонлық нурланыу) түринде бақланады.

Шамасы, Әлемнің эволюциясының ең дәслепки дәуирлеринің өзинде бир теклилик пенен изотроплықтан киши-гирим ауытқыұлар болған. Рекомбинация дәуиринен тиккелей кейинги дәуирде бир теклилик пенен изотропияның возмущениелери гравитациялық турақсызлықтың салдарынан үлкейе баслайды. Атап айтқанда тап усындай киши возмущениелер акыр-аяғында хәзирги ұақытлары бақланатуғын галактикалар хәм олардың жыйнақлары түриндеги кеңисликтеги курылыстың пайда болыуына алып келди деп болжанады.

Хәзирги ұақыттағы Әлем тек галактикалардың көп сандағы жыйнақларын өз ишине камтыйтуғын үлкен масштабларда ғана жокары дәрежедеги бир теклилик пенен изотропияға ийе. Ал киширек масштабларда (айырым галактикалар ямаса олардың жыйнағы ушын) бир теклиликтің жоқлығы менен анизотропия орын алады. Усыған байланыслы космология еки бағытта рауажланып атыр. Олардың бири бир теклилик пенен изотроплық принципнен шығып хәзирги Әлемнің үлкен масштаблардағы курылысын, оның эволюциясын хәм дәслепки (ертедеги) Әлемдеги физикалық процесслерди тәриплейди. Екинши бағыт өз ишине бир теклилик пенен изотроплықтан қанша болса да үлкен ауытқыұларды есапқа алады (бул бағытты бир текли емес анизотропиялық Әлем теориясы деп те атайды). Бул бағыт Әлемнің киши масштаблардағы курылысының пайда болыуы менен рауажланыуын тәриплеуде кеңнен қолланылады.

Затлар менен гравитациялық майданның эволюциясын тәриплеудің теориялық тийкары тартысыудың релятивистлик (квантлық емес) теориясы менен затлар хәм нурланыудың квант теориясы болып табылады. Олардың бириншиси материяның механикалық қозғалысын, ал екиншиси жақтылықтың жутылыуы менен шығарылыуы, бөлекшелер менен антибөлекшелердің тууылыуы менен аннигиляциясы процесслерин, ядролық реакцияларды хәм басқаларды тәриплейди. Дәслепки материяның тарқалыуының (бөлистирилиуинің) бир теклилиги менен изотроплығы хәкқындағы болжаұлар өзинің дурыслығын кеңейіуши бир текли изотроп Әлем моделлеринде табады. Бундай моделлерди Фридманның космологиялық моделлери деп атайды. Себеби Әлемнің биринши стационар емес моделлери биринши рет 1922-жылы А.А.Фридман тәрепинен А.Эйнштейннің улыұмалық салыстырмалылық теориясы (тартысыу теориясы) тийкарында усынылды. Бул моделлерде Әлемнің кеңейіуі тығызлығы шексиз үлкен болған халдан

(сингулярлықтан) басланады. Бундай халдағы затлардың қасиеттери белгисіз.

Затлардың хәзирги ўақытлары бар теорияларды затларға  $\rho_{\text{Пл}} = \frac{c^5}{G^2 h} \sim 10^{93} \text{ г/см}^3$ , ал темпе-

ратура  $T_{\text{Пл}} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{c^5 h}{G}} \sim 10^{32} \text{ К}$  нан төмен болғанда ғана қолланыўға болады. Тығызлық пе-

нен температураның бул мәнислери Планк тығызлығы хәм Планк температурасы деп атайды. Олар жақтылықтың тезлиги  $c$ , гравитация тураклысы  $G$ , Планк тураклысы  $h$  хәм Больцман тураклысы  $k$  ның мәнислеринен алынған. Фридманның космологиялық модел-

лерине сәйкес  $T_{\text{Пл}}$  менен  $\rho_{\text{Пл}}$  дың мәнислери жасы  $t \sim t_{\text{Пл}} = \sqrt{\frac{Gh}{c^5}} \sim 10^{32} \text{ с}$  болған Әлем

ушын характерли. Хәзирги ўақытлардағы физикалық шараятлар сондай, оларды тәриплеў ушын физика илиминде еле дөретилмеген тартысыўдың квант теориясы (гравитацияның квант теориясы) зәрүр.

## § 2. Хәзирги заман космологиясының бақлаў тийкарлары

Галактикалар дүньясы. Кеңисликтің бүгинги күнге шекем жақсы изертленген облас-  
тында (яғный 1500-2000 Мпк ке шекемги аралықлар) бир неше миллиард жулдызлар сис-  
темалары – галактикалар жайласқан. Солай етип Әлемнің бақланатуғын областы (бул  
областты Метагалактика деп те атайды) биринши гезекте галактикалар дүньясы болып та-  
былады. Галактикалардың басым көпшилиги хәр қайсысында онлаған, жүзлеген хәм  
мыңлаған галактикалары бар топарлар менен жыйнақлардың қурамына киреди. Бизің Га-  
лактикамыз<sup>30</sup> болса галактикалардың жергиликли топарына киреди. Ал усы жергиликли  
топар болса Дева шоқ жулдызы тәрәпиндеги галактикалар топарына жалғасады. Девадағы  
галактикалар жыйнағы мыңнан аслам ағзаға ийе хәм  $\gg 3$  Мпк өлшемге ийе, ал оған ше-  
кемги қашықлық  $\gg 20$  Мпк.

Галактикалардың кеңисликтеги тарқалыў нызамлылықларын анықлаў ушын аспан  
сферасындағы хәр қыйлы бағытлардағы галактикалардың хәр қыйлы «тереңликлерге» ше-  
кемги саны есапланды (яғный үлкен көриниўши жулдызлық шамаларға шекем). Бақлаўлар  
14-жулдызлық шамадан хәзирги ўақытлардағы телескоплар менен бақланыўы мүмкин  
болған ең әззи галактикалар (шама менен  $24^m$ ) ушын кеңисликтеги бир текли  
тарқалыўдың характерли екенлигин көрсетти. Характерли өлшеми  $\sim 100$  Мпк болған  
көлемде (бундай көлемде галактикалардың көп санлы жыйнақлары жайласады) заттың  
орташа тығызлығы  $\rho$  (галактикалардың «шашыратылған» затлары) бир неше мың Мпк  
болған көлемдеги тығызлық пенен бирдей ( $\gg 3 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3$  анаў ямаса мынаў тәрәпке  
қарай бир қанша қәтелик пенен, қәтеликтің шамасы  $3 \cdot 10^{-31}$  ден бир неше есе үлкен).

Жулдызларды пайда етиўши затлардан басқа Метагалактикада затлар менен  
нурланыўдың басқа да түрлери бар: нейтрал хәм ионласқан газ (галактикалар жыйнағында  
хәм жыйнақлар арасында), шаң-тозаң, космос нурлары, әззи магнит майданлары (оның  
жүде әхмийетли қураўшысы реликтив радионурланыўы болып табылады). Затлардың  
усындай түрлериниң энергияның улыўмалық тығызлығына қосқан үлеси үлкен емес.  
Энергияның тығызлығына әдеттеги затлар менен әззи тәсирлесетуғын, соның ушын  
бақланыўы қыйын болған материяның түрлериниң үлеси де белгили емес. Әсиресе  
нейтриноның (массасыз ямаса массаға ийе екенлиги еле белгисіз) хәм гравитациялық  
толқынлардың энергияларының тығызлығын билген әхмийетли болған болар еди. Галак-  
тикалар арасындағы кеңисликлерде материяның еле ашылмаған түрлериниң де болыўы  
мүмкин.

Метагалактикадағы материяның барлық түрлериниң бир теклилигин алыстағы  
радиодереклердің (олар кеңисликти бир текли толтырады) санларын есаплаў да,

<sup>30</sup> Бизің Галактикамызды (оны әдетте Кус жолы деп те атаймыз) үлкен хәрип пенен жазамыз.

галактикалардың пекуляр тезликлерінің (яғный системалық емес, ал тосыннан болатуғын) киши екенлігі де, реликтив нурлардың изотропиясы да тастыйықлайды.

Галактикалар жыйнақтарының, басқа да заттардың хәм нурлардың кеңістіктегі бир теклі тарқалғанлығының экспериментте тастыйықланғанлығын есапқа алып Космология Метагалактиканы тутас орталық деп қарайды. Әлемнің үлкен масштаблардағы қурылысы хәққындағы усындай көз-қараслар ең кемінде бирінші жақынласыу сыпатында (в качестве первого приближения) жарамлы.

### § 3. Әлемнің стационар емес екенлігі

Әлемнің стационар емес екенлігін жұлдызлар менен жұлдызлар топарларының эволюциясы, жұлдызлардың партланыуы менен жұлдызлардан, галактикалар ядросынан заттардың ағып шығыуы көрсетеді. Соның менен бирге Әлемнің бақланатуғын бөлімінің стационар емес екенлігі оның кеңейіуінде көрінеді. Бул кеңейіу алыстағы галактикалардың системалы қозғалысларынан анықланған.

Алыстағы галактикалардың спектріндегі сызықтар Жердегі лабораторияларда алынған тап сол сызықтарға қарағанда спектрдің қызыл тәрәпине қарай жылысқан. Спектр сызығының толқын ұзындығының салыстырмалы өзгерісі (яғный қызылға ауысыуы)

$$z = (1 - l_0)/l_0. \quad (1)$$

Бул аңдатпада  $l_0$  арқалы лабораториялық толқын ұзындығы,  $l$  арқалы узақтағы галактиканың ауысқан сызығының толқын ұзындығы аңлатылған. Аңдатпадағы  $z$  тиң шамасы узақтағы квазарлар ушын 3,5 ке жетеді. Спектр сызықтарының қызылға ауысыуы жақтылықтың дерегінің бақлаушыдан қашықласыу бағытындағы қозғалысына байланысly болған Допплер эффекті жәрдеминде түсіндіріледі. Егер деректің тезлігі  $v \ll c$  болса жийіліктің өзгерісі  $z \gg v/c$ . Солай етип өлшенген  $z$  тиң мәнісі бойынша галактикалардың қашықласыу тезлігінің нурлық тезлігін анықлауға болады. Барлық узақтағы галактикалардың спектрлеріндегі қызылға ауысыу сол галактикалардың бизің Галактикамыздан хәм бир бирінен қашықласып баратырғанлығын билдіреді. Галактикалардың бундай қозғалыслары улыұмалық хәм тийкарғы қозғалыслар болып табылады. Бул қозғалысларға айырым галактикалардың киши (пекулярлық) қозғалыслары қосылады.

Метагалактиканың кеңейіуі (стационар емеслігі) исенімлі түрде анықланған. Усы кубылысты бирінші рет бақлаған Америкалы астроном Э. Хаббл 1929-жылы бақлаулар мағлыұматлары бойынша  $z$  хәм алыстағы галактикаларға шекемгі қашықлық арасындағы пропорционаллықты тапты:

$$z = H \cdot r / c. \quad (2)$$

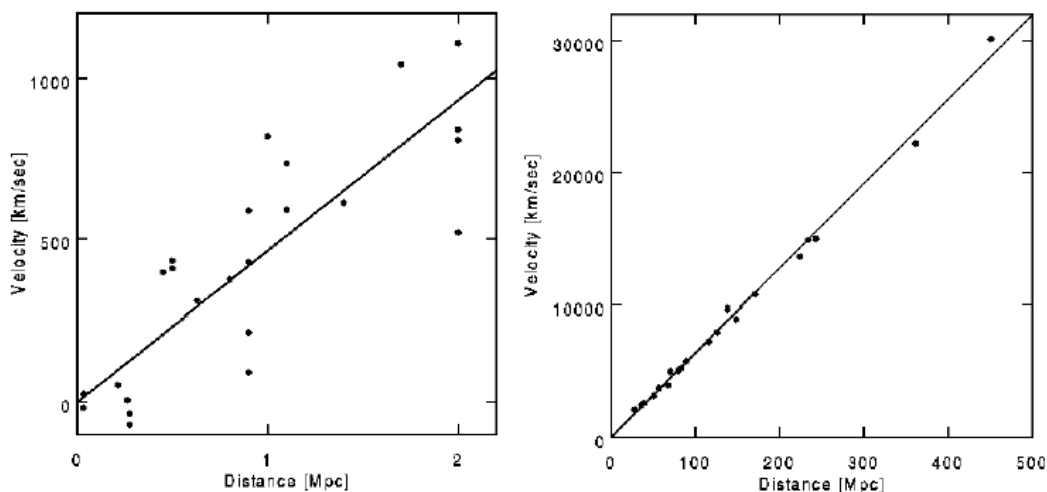
Бул аңдатпада  $H$  арқалы Хаббл турақлысы (Хаббл параметрі белгіленген). Бул аңдатпадан галактикаға шекемгі қашықлық қаншама үлкен болса, оның радиаллық (нурлық) тезлігінің де соншама үлкен болатуғынлығы келип шығады:

$$v = H \cdot r \quad (3)$$

$H$  тиң мәнісі аспан сферасындағы бағытқа ямаса галактикаға шекемгі қашықлыққа ғәрезлі емес. Хәзіргі бақалаулар бойынша оның мәнісі шама менен 72 км/(Мпс\*с). Кері шамасы болса ўақыттың өлшеміне тең хәм  $t_H = 1/H \gg 10$  млрд жыл.

(2)-нызамның дурыслығы исенімлі түрде тексеріліп көрілген. (3)-нызам болса айырым галактикалар ушын дәл орынланбайды, ал олардың жыйнақтары ушын дәл орыныланады (себеби бул жағдайларда айырым галактикалардың тосыннан болатуғын тезліктері орталанады). Жыйнақтағы галактикалардың тезліклерінің дисперсиясы 1000 км/с қа жетеді, ал галактикалардың жыйнағы ямаса топарларының орайларының, соның менен бирге бундай жыйнақтар менен топарларға кирмейтуғын индивидуал галактикалардың тезліктері (3)-нызамға 15 процентлік дәллікте сәйкес келеді (1-сүүрет). Улыұмалық Хаббл

кеңейіуіне қосымша болған тосыннан тезліктердің шамалары 50-100 км/с шамасынан аспайды.



1-сұрет: Хаббл диаграммалары галактикалардың бір биринен қашықласуы тезліктерінің қашықтыққа ғарезилигин сәулендиреди.

Шеп тәрептегі сұрет (бул жерде қашықтықтың ең үлкен мәнісі 2 Мпс тен армаз үлкен) Хабблдың өзі алған диаграмма. Оң тәрептегі сұрет (қашықтық 500 Мпс) кейингі ўақытлары алынған диаграмма.

Бақлаўлардың ең әхмийетли фактлери қатарына Хаббл турақлысы  $H$  тың мүйешлик өзгериўшилерге хәм  $r$  ге ғарезилигиниң жоқлығында. Кеңейіудің изотропиясы, яғный кеңейіудің бақланатуғын картинасының аспан сферасындағы бағытқа ғарезсизлиги, орайы бақлаў ноқатында болған сфералық симметрияның бар екенлигин билдиреди.  $H$  тың  $r$  ден ғарезсизлиги әхмийетлирек нәрсени – бақланатуғын картинаның хәр қандай бақлаў ноқатларында бирдейлигин, яғный Әлемниң бир теклилигин аңғартады. Жерде турған бақлаўшының аўхалы хеш нәрсе менен айырып алынған емес. Бақлаўшы қашықласып баратырған галактикалардың қәлеген биреўинде турыўы мүмкин хәм ол ушын кеңейіу нызамы (3)-формула менен анықлана береді. Хәқыйқатында да орайы  $A$  ноқатында жайласқан қозғалыўшы координаталар системасына өтиў мына формулалар бойынша әмелге асырылады:

$$\begin{aligned} r' &= r - r_A, \\ v' &= v - v_A. \end{aligned}$$

Жаңа штрихланған координаталар системасы ушын (3)-нызам

$$v' = v - v_A = Hr - Hr_A = Hr'$$

түрине, яғный бурынғы  $v = H \cdot r'$  түрине ийе болады..

Аспан сферасындағы қандай да бир айрықша бағытлардың жоқ екенлиги реликтив радионурланыўының температурасының изотропиясынан да тастыйықланады. Реликтив нурлардың фотонлары бизге ең алыс галактикаларға шекемги қашықтықлардан бир неше есе үлкен қашықтықлардан келеді. Бирақ сол жағдайға қарамастан хәр қыйлы бағытлар ушын сол нурларға сәйкес келиўши температураның мәніслери проценттиң оннан бир үлесиндей дәлликте бирдей болады.

(1)-формула менен анықланған  $z$  аўысыўы оның қәлеген мәнісинде физикалық мәніске ийе бола береді. Бирақ  $z = v/c$  теңлигине байланысly оған тек киши болған  $v/c$  хәм  $z$  ларда ғана мәніс бериледи ( $z$  тиң қасында  $z^2$  ты есапқа алмаўға болатуғын жағдайларда). Ал  $z \geq 1$  болған жағдайларда  $z = v/c$  формуласынан пайдаланыўға болмайды. Мысалы, айырым квазарлар ушын  $z > 2$ . Әлбетте бул жағдай квазарлардың бизден  $> 2c$  тезлиги менен қашықласып баратырғанлығын аңлатпайды. Арнаўлы салыстырмалылық теориясына сәйкес деректиң тезлиги жақтылықтың тезлигине жақынлағанда  $z$  тиң шамасы шексизликке умтылады. Үлкен  $z$  лерде жақтылықтың деректен бақлаўшыға жолындағы

затлардың гравитациялық майданы да үлкен тәсир жасайды. Бул қубылыстың толық тәрипнамасын релятивистлик космология береді (бул хакқында 5-параграфта толығырақ гәп етиледі).

#### § 4. Реликтив радионурланыў

Әлемнің реликтив нурланыўы (көпшилик әдебиятта Әлемнің микротолқынлық фонлық нурланыў деген термин қолланылады) 1965-жылы Америкалы астрономлар А. Пензиас хәм Р.Вильсон тәрепинен ашылды. Жулдызлардың, галактикалардың хәм басқа да астрономиялық дереклердің нурланыўынан реликтив нурланыў өзиниң еки әхмийетли қәсийетлери менен айрылады: мүйешлик анизотропиясы (яғный аспанның барлық учаткаларындағы бирдей интенсивлилик) хәм спектринің Планк (тең салмақлық) формасы. Оның температурасы  $2,736 \pm 0,003$  К. Космология ушын реликтив нурлардың бар екенлигиниң өзи хәм оны Әлемдеги процесслер хәм Әлемнің қурылысы жәрдеминде изертлеў әхмийетли.

Хәзирги ўақытлары (2005-жылы) реликтив нурланыўдың спектрли барлық диапазонда толық изертленген (мысалы 1990-жыллары 3 мм ден 21 см ге шекемги толқын узынлықлары диапазонында жақсы изертленген еді). Барлық диапазонда бул нурланыўдың интенсивлиги аспан сферасындағы бағытқа байланысly емес (проценттиң оннан бири дәллигинде). Бул жағдайды биз нурланыўдың мүйешлик изотропиясы деп атаймыз. Бирақ бул изотропия бир қанша өзгешеликлерге ийе. Мысалы изотропия хакқындағы мағлыўматлар қаралып атырған мүйешлик масштабларға байланысly бир биринен бираз айрылады. Майда масштабларда (3 тен 150' ке шекем) мүмкин болған анизотропияға  $dT/T < 10^{-4}$  теңсизлиги түринде шек бар (бул аңлатпада  $dT$  арқалы температураның тең салмақлық мәниси  $T$  дан аўытқыў аңлатылған).  $>> 30^\circ$  масштабында  $dT/T < (3-5) \cdot 10^{-4}$ . Ал, ақырында, үлкен мүйешлик масштабларда  $dT/T >> 10^{-3}$  шамасындағы эззи диполлик анизотропия орын алады. Температуралардың бундай айырмасы Қуяш системасының реликтив нурлар фонына салыстырғандағы  $v \approx 420$  км/с тезликтеги қозғалысы болып табылады. Қуяштың қозғалыс бағытына қарама-қарсы бағыттағы реликтив нурлардың температурасы оған қарама-қарсы бағыттағы температурадан жоқары. Хәтте Жердің қуяш дөгерегинде айланыўына байланысly болған температураның жыллық вариациясы да бақланады.

Реликтив нурланыўдың тығызлығы  $5 \cdot 10^{-13}$  эрг/см<sup>3</sup>. Усындай характеристикаға ийе болған нурланыў дереги термоядролық реакциялар болған жулдызлардың ямаса басқа да дискрет дереклердің (космологиялық қашықлықларда жайласқан квазарлар хәм басқалар) нурланыўының нәтийжеси бола алмайды. Соның менен бирге реликтив нурланыўды Метагалактиканың раўажланыўының тығыз хәм жоқары температуралы стадиясынан қалған нурланыў деп қараў (усы себеплерге байланысly бул нурланыў реликтив нурланыў деп аталады) тәбийий болып табылады хәм басқа да эксперименталлық нәтийжелерге сәйкес келеді. Фонлық нурланыўдың спектринің Планклық характери оның реликтивлик келип шығыўының жуўмағы болып табылады. Себеби Әлемнің кеңейиўи процессинде дәслепп Планк нызамына сәйкес келиўши нурланыў спектри, Планк спектри болып қала береді, ал тек ғана оның температурасы төменлейді. Егер  $R(t)$  арқалы Метагалактиканың қандай да бир кеңейиўши көлеминиң өлшеми берилген болса, онда энергияның тығызлығы кеңейиўге байланысly  $R^{-4}$  ға пропорционал нызам, фотонлардың орташа концентрациясы ( $\sim R^{-3}$ ) хәм сол фотонлардың хәр қайсысының энергиясы ( $\sim R^{-1}$ ) нызамы бойынша өзгереді. Демек нурланыў температурасы  $T \sim R^{-1}$  нызамы бойынша төменлейді.

Әлемнің кеңейиўиниң ең дәслеппки стадияларында, яғный жоқары температуралар дәўиринде нейтрал атомлар да, молекулалар да болмаған. Себеби сол дәўирлердеги фотонлар менен бөлекшелердің жыллылық қозғалысларының энергиясы атомлар менен молекулалардың байланыс энергияларынан артық болған. Сонлықтан затлар тутасы менен

плазма халында турған хәм реликтив нурлар спектри нурланыўдың плазма менен тәсир етисиўиниң салдарынан қәлиплескен. Плазма менен нурланыўдың температурасы 4000 К қа шекем төменлегенде реликтив нурлар фотонлары атомларды ионластыра алмайды. Электронлар атомлардың ядролары менен биригеди хәм затлар нейтрал затларға айланады. Усы дәўирден баслап (бул дәўирге  $z = z_{\Gamma} \gg 1400-1500$  сәйкес келеди) реликтив нурлар фотонлары еркин тарқалады. Реликтив нурлардың фотонларының оғада үлкен еркин жүриў жолы (соңғы шашыраў актынан кейин миллиардлаған жақтылық жыллардың узынлығындай) бундай нурларды Әлемниң үлкен масштаблардағы курылысын изертлеўдеги эффективлик куралға айландырды<sup>31</sup>.

## § 5. Затлардың химиялық курамы хәм Метагалактиканың жасы

Изертлеўлердиң хәр қыйлы методлары (Куяштың спектраллық анализи, дәслепки космос нурларының курамын изертлеў, метеоритлердиң химиялық анализи хәм көп басқалар) химиялық элементлердиң қаншама тарқалғанлығын анықлаўға мүмкиншилик береді. Ең көп тарқалған әпиўайы элемент водород болып табылады. Егер водородтың (H) тарқалыў муғдарын 1 ге тең етип қабыл етсек, онда гелийдиң ( ${}^4\text{He}$ ) салыстырмалы муғдары шама менен  $10^{-1}$  ди, водородтың изотопы болған дейтерийтики ( ${}^2\text{D}$ ) шама менен  $10^{-5}$  ти курайды. Басқа элементлер буннан да кем тарқалған. Әдетте (көпшилик жағдайларда) элементлердиң тарқалғанлығын атомлардың саны менен емес, ал космослық затлардың улыўмалық массасындағы үлеси бойынша анықлайды. Бундай жағдайларда массаның шама менен 75 процентин водород хәм шама менен 25 процентин гелий тутады. Басқа элементлердиң үлеси әдеўир төмен. Хәзирги көз-қараслар бойынша  ${}^{12}\text{C}$  дан  ${}^{56}\text{Fe}$  ге шекемги элементлер жулдызлар ишинде олардың эволюциясының тыныш стадиясында термоядролық реакциялар өними сыпатында пайда болады. Ал аўырырақ элементлер болса аса жаңа жулдызлардың партлаўының нәтийжесинде қәлиплеседи. Усындай партлаўдың нәтийжесинде аўыр элементлер жулдызлар аралық газлердиң курамына өтеди.

Гелий менен дейтерийде жулдызлар ишинде жүретуғын термоядролық реакциялардың нәтийжесинде пайда болады хәм жанады. Бирақ олардың ҳакыйқый (көп муғдардағы) тарқалыўы олардың космологиялық (жулдызлардың пайда болыўына шекемги) келип шығыўын дәлиллейди.  ${}^4\text{He}$  ниң тарқалыўы дым көп, сонлықтан оны жулдызлардағы синтездиң нәтийжеси деп қараўға болмайды. Егер жулдызлардың шығаратуғын энергиясының дерегин тек водородтың гелийге айланыўының термоядролық реакциясы деп есаплайтуғын болсақ, онда шама менен  $10^{10}$  жыл ишинде пайда болған гелийдиң муғдары хәзирги бар муғдардан 15 есе кем болған болар еди. Соның менен бирге жулдызлар ишинде пайда болған гелий қоршаған орталыққа жиберилмейди хәм гелий пайда болатуғын стадияда жулдызлар партланбайды (жарылмайды). Гелийди (әсиресе жулдызлардағы нуклеосинтездиң салдарынан пайда болмаған дәслепки гелийди) туўрыдан-туўры бақлаў қыйын. Бирақ соған қарамастан хәр қыйлы астрофизикалық усыллар гелийдиң салыстырмалы муғдарының масса бойынша 25 процент екенлигинен дерек береді. Демек гелийдиң үлкен бөлеги космологиялық жақтан пайда болған. Ал дейтерийге келетуғын болсақ, хәр қыйлы ядролық реакцияларда оның пайда болғанынан жанғаны аңсатырақ. Сонлықтан дейтерийдиң бақлаўлар тәрепинен анықланған муғдары оның дәслепки (жулдызлар пайда болмастан бурынғы) шеги болып табылады. Гелий менен дейтерийдиң пүткил Әлемдеги тарқалыўын, олардың муғдарын дәслепки ыссы Әлемниң ядролық нуклеосинтези теориясы табыслы түрде түсіндиреди.

Жерде хәм космослық затларда бақланатуғын элементлер ишинде өзінен-өзи ыдырайтуғын радиоактив элементлер де бар. Бундай радиоактивли элементлерди

<sup>31</sup> [66] ниң авторлары реликтивлик нурлардың Үлкен партланыўдан кейин 379000 жылдан соң затлардан бөлинип шыққанлығын дәлиллейди.

Галактикалардың, жұлдызлардың кәлиплесіуі менен жұлдызлық нуклеосинтез нәтижесінде пайда бола бастады деп есепләу тәбийй. Усындай элементтердің пайда болуы менен олардың ыдырауы тезликлерін салыстырып, сол элементтердің хәзіргі уақытлардағы салыстырмалы муғдарларын есапқа алып Галактиканың жасын бахалау мүмкін (жылларды есепләудың усындай усылын ядролық космохронология деп атайды). Элементтердің радиоактивлі распады хаққындағы мағлыұматлар бойынша бул уақыттың (жастың) шамасы  $(11-13) \cdot 10^9$  жылдан үлкен. Гелийдің дәслепки муғдары 25 %, водородтың дәслепки муғдары 75 % деп есепләйтуғын жұлдызлар эволюциясы теориясы да, шар тәрізлі галактикалар жыйнақларының жасын есепләу да усындай нәтижелерге алып келеди. Бул жерде характерлі Хаббл уақытының  $t_H \sim (10-20) \cdot 10^9$  жыл екенлигин еске түсіріп өтеміз.

Солай етип жоқарыда келтирилген барлық мағлыұматлар: Метагалактиканың кеңейіуі, Планк спектрине ийе реликтивлік нурланыудың бар екенлиги, хәр қыйлы астрономиялық системалардың жасын анықлау буннан 10-20 млрд жыл бурын (бүгінгі мағлыұматлар бойынша  $13,4 \pm 0,4$  жыл бурын, 1-санлы кестеге қараңыз) Әлемде хәзіргі қурылысының пайда болуына алып келген ең әхмийетлі процесслер басланған. Бул процесслер менен Әлемнің эволюциясын толығырақ тәріплеу тартылыс күшлеринің затлардың динамикасына тәсірін есапқа алатуғын физикалық космологияның мәселеси болып табылады.

## § 6. Материяның орташа тарқалыуы.

### Қозғалыс ызаамлары хәм физикалық қәсіетлери

Классикалық механика тийкарында туратуғын космологиялық моделлер. Хәзіргі Әлем ийе болған бир теклилик хәм изотроплық қәсіетлер «ең дәслепки» сыпатында шекленген сфералық симметрияға ийе областты қарауға хәм усы областты тәріплеу ушын классикалық механиканы хәм Ньютонның пүткил дүньялық тартылыс ызаамын пайдаланыуға мүмкіншилик береді.

Бир текли, изотроп хәм стационар емес бир бирине тартысуышы денелерди тәріплеуіуғын теңлемелерди келтиріп шығаруы ушын затлар уақыттың ең бастығыш моментінде сфералық формаға ийе көлемде бир текли тарқалған деп болжаймыз. Мейли радиал бағыттағы тезликлер  $v = H \cdot r$  аңлатпасына бағынатуғын болсын (бул аңлатпадағы  $H > 0$ , хәм соған сәйкес затлар кеңейеди).  $H$  тың шамасы кеңісликтеги координаталарға ғәрезлі бола алмайды хәм оның шамасы уақытқа байланыссы киширейіуі керек. Хақыйкатында да инерция бойынша қозғалысларда (яғный гравитацияның тормозлауышы тәсірін есапқа алмағанда) бөлекшелердің тезлиги  $v$  траектория бойынша турақлы болып қалады,  $r$  уақытқа ғәрезлі өседі хәм соған сәйкес  $H$  уақытқа ( $t$  ға) кери пропорционал кемейеди. Гравитацияның тәсірінде кеңейіу тезлиги кемейеди, яғный биз қарап атырған сфераның ишіндеги бөлекшелердің бир бирине тартысуы кеңейіуге тормоз (қарсылық деген мәниде) жасайды. Сонлықтан  $H$  тың  $t$  ға ғәрезлилиги курамалырақ (бул ғәрезлилик кейинирек алынады).

Егер бастығыш уақыт моментінде қандай да бир бөлекшениң ийелеген орны  $r_0$  дин мәніси менен тәріпленген болса, онда буннан кейін ол  $r(t) = r_0 R(t)$  ызаамы бойынша өзгереді. Ал  $v = dr/dt = H(t) \cdot r$  болғанлықтан  $H(t) = (1/R) \cdot dR/dt$ .  $R(t)$  менен  $H(t)$  ғәрезлиликлерін анықлау ушын биз қарап атырған көлемдеги масса менен толық механикалық энергияның сақланыу ызаамын басшылыққа алуымыз керек. Көлем кеңейгенде затлардың тығызлығы  $\rho$  уақытқа ғәрезлі кемейеди. Ал шардың массасы  $M$  болса өзгеріссіз қалады:

$$M = r \cdot (4/3) \pi \rho r^3 = \text{const.} \quad (5)$$

Бул теңлемени былайынша да жазуы мүмкін:

$$r R^3 = \text{const} \quad (6)$$

Жердің салмақ майданында жоқары қарай ылақтырылған бир бирлік массаға ийе көлемнің элементінде кинетикалық энергия киширейеди хәм потенциаллық энергия ар-

тады. Олардың қосындысы (толық энергия) тұрақты болып қалады (потенциаллық энергияның мәнісін теріс екенлігін ұмытпаймыз):

$$e = \frac{1}{2} \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{r} = \text{const} \quad (7)$$

(7)-теңлемедегі константаны  $k r_0^2 c^2/2$  түрінде жаза аламыз ( $k$  тұрақты шама). Бұл шама массасы бір бірлікке тең болған көлемнің толық (механикалық) энергиясын тәріптейді. (5) ти пайдаланып (7)-теңлемени былайынша көшіріп жазамыз:

$$\frac{3kc^2}{8\pi G R^2} = \rho - \frac{3H^2}{8\pi G} = \rho - \frac{3}{8\pi G} \left( \frac{1}{R} * \frac{dR}{dt} \right)^2. \quad (8)$$

$$(6)-, (8)-\text{теңлемелер } t = t_0 \text{ болғанда } R = 1 \text{ шәрти менен, } r_0 = r(t_0) \text{ хәм } H_0 = \left( \frac{1}{R} * \frac{dR}{dt} \right)_{t_0}$$

белгили болғанда  $R(t)$  ғәрезлилігін хәм соған сәйкес моделдің барлық динамикалық қәсіяттерін толық анықлайды.

(6) хәм (8) шардың өлшемлери кирмейді. Бұл теңлемелердің киши шарлар үшін да, үлкен шарлар үшін да дурыс болатуғынлығын аңлатады. Сонлықтан бұл теңлемелерді затлар менен тең өлшеулі толтырылған шексіз кеңістік үшін да дурыс деп болжауға болады.

(6)- хәм (8)-теңлемелер системасын интегралламастан-ақ моделдің сапалық эволюциясын қарап шығуға болады. Көлемнің қалеген элементінің қозғалысының характери оның толық энергиясынан ғәрезли. Егер  $k < 0$  болса толық энергия оң мәніске ийе (кинетикалық энергия потенциал энергиядан артық) хәм бөліп алынған элемент симметрия орайынан барқулла қашықласа береді.. Демек  $k < 0$  болғанда затлар шексіз кеңейеді. Егер  $k > 0$  болса толық энергияның мәнісі теріс хәм затлардың кеңейіуі базы бир уақыттан кейін тормозланады хәм кеңейіу қысылу менен алмасады.  $k = 0$  жағдайы аралықтық болып табылады – кеңейіу шексіз дауам етеді, бірақ хәр бир бөлекшенің тезлігі  $t \rightarrow \infty$  де нолге асимптоталық ұмтылады.

(8)-теңлемеге сәйкес  $k$  ның белгісі хәм соған сәйкес материяның қозғалыс характери  $r - r_c$  айырмасының белгісіне байланысly. Бұл аңлатпадағы  $r_c = 3H^2/8\pi G$  тығызлықтың критикалық мәнісі деп аталады. Егер  $r > r_c$  болса кеңейіу базы бир уақыттардан кейін тоқтайды хәм қысылу менен алмасады. Егер  $r < r_c$  болса кеңейіу шексіз көп уақыт дұам етеді.  $r_c$  шамасы да  $r$  шамасындай кеңейіу барысында өзгереді, бірақ  $r - r_c$  айырмасының белгісі тұрақты болып қалады.

(6)-, (8)- теңлемелер системасын интеграллап  $R$  дің  $t$  дан ғәрезлилігін анықлау мүмкін. Әпиуайы жағдайда ( $k = 0$  болғанда) (6)- хәм (8)-теңлемелерден

$$R(t) = (6\pi G r_0)^{1/3} t^{2/3}, \quad r(t) = \frac{1}{6\pi G t^2}, \quad H(t) = \frac{2}{3t},$$

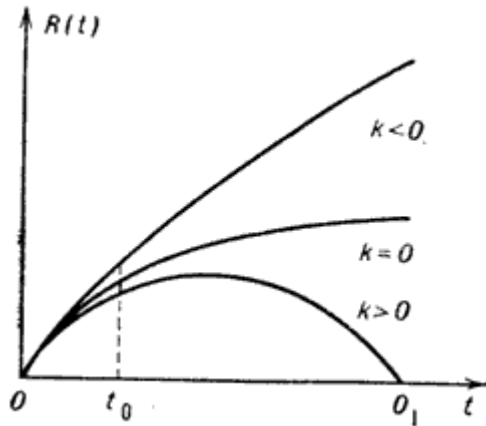
екенлігі келип шығады. Қала берсе  $t = 0$  де  $R = 0$  деп алынған.  $R(t)$  дің  $k$  ның хәр қыйлы мәніслеріндегі өзгеріслері 2-сұйретте берілген.

Жоқарыда классикалық механиканың хәм Ньютон гравитациясының ызымлары пайдаланылды. Бундай теңлемелер арнаулы хәм улыұмалық салыстырмалылық теорияларының теңлемелеріндегі дара жағдайлар болып табылады<sup>32</sup>. Сонлықтан оғада үлкен емес кеңістікте хәм эволюцияның жүдә көп болмаған интервалында затлардың тәріптеу релятивисттік тәріптеу менен сәйкес келеді деп күтіуге болады. Соның менен бирге бир теклилікке байланысly космологиялық моделлер шексіз кеңістіктегі қалеген орында пайдаланыу мүмкін. Демек классикалық физиканы космология тәрепинен қарап шығылатуғын оғада көп санлы кубылыстарға қолланыу мүмкін деген сөз. Бірақ классикалық физиканың ызымларын космология ис алып баратуғын үлкен қашықтықтар

<sup>32</sup> Биз бұл жұмыста «арнаулы салыстырмалылық теориясы» деген терминді пайдаланамыз. Ал шын мәнісінде бұл теория «дара салыстырмалылық теориясы» деп аталады.



ушын пайдаланыўға болмайды. Бундай мақсетлер ушын тартысыўдың релятивистлик теориясы зәрүр.



2-сүүрет. Бир текли, изотроп Әлем моделиндеги денелер арасындағы салыстырмалы қашықлық  $R$  дің (масштаблық фактор деп атаймыз) ўақытқа байланыслы өзгерісі.:  $k < 0$  ( $r < r_c$ ) шексиз (гиперболалық) кеңейіў;  $k = 0$  ( $r = r_c$ ) шексиз (параболалық) кеңейіў;  $k > 0$  ( $r > r_c$ ) шекли кеңейіў жағдайлары. Ийемкликте еки айрықша  $O$  хәм  $O_1$  нокатлары (сингулярлық) бар.  $t_0$  арқалы хәзирги ўақыт аңлатылған.

## § 7. Тартылыстың релятивистлик теориясы хәм Фридманның космологиялық шешимлери

Релятивистлик емес физика кеңислик пенен ўақытты физикалық процесслер ойналатуғын «сахна» сыпатында қарайды. Бул физика кеңислик пенен ўақытты бир түсиникке байланыстырмайды. Арнаўлы салыстырмалылық теориясы кеңислик пенен ўақытты «кеңислик-ўақыт» деп аталатуғын бирден бир төрт өлшемли дүньяға айландырды. Келеси қәдем Эйнштейннің релятивистлик тартылыс теориясында – улыўмалық салыстырмалылық теориясында (УСТ) қойылды. УСТ ға сәйкес материяның тарқалыўы менен қозғалысы кеңислик-ўақыттың геометриялық қасийетлерин өзгертеди, ал екинши тәрептен олардың өзлери кеңислик-ўақыттан ғәрезли болады.

Ийемклик кеңисликтің әхмийетли геометриялық характеристикасы болып табылады<sup>33</sup>. Усындай жағдайда сфера турақлы оң мәнисли ийемкликке ийе еки өлшемли кеңислик (бет) болып табылады.

Үш өлшемли хәм төрт өлшемли майысқан кеңисликлер де олардың ийемкликлерин тәриплейтуғын шамалардың жыйнағы менен характерленеди. Қала берсе хәр қыйлы нокатларда хәм хәр қыйлы еки өлшемли бағытларда ийемликтің сан мәниси де, белгиси де хәр қыйлы бола алады. Эйнштейннің теориясы бойынша гравитациялық майдан кеңислик-ўақыттың майысыўы түринде жүзеге келеди. Кеңислик-ўақыттың ийемклиги қаншама үлкен болса, гравитациялық майдан да соншама күшли болады.

Улыўмалық салыстырмалылық теориясындағы гравитация майданының теңлемеси төмендегидей түрге ийе:

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

Бул теңлемедә  $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{с}^2}$  гравитация турақлысы<sup>34</sup>.  $R_{ik}$  арқалы симметриялы Риччи тензоры белгиленген ( $R_{ik} = g^{lm} R_{limk} = R_{ilk}$ ),  $R = g^{ik} R_{ik} = g^{il} g^{km} R_{iklm}$  кеңисликтің скаляр ийемклиги болып табылады.  $T_{ik}$  арқалы энергия-импульс тензоры белгиленген (макроскопиялық денелер ушын энергия-импульс тензоры  $T_{ik} = (p + \epsilon) u_i u_k - p g_{ik}$ ).

<sup>33</sup> Рус тилиндеги «кривизна» сөзин «ийемклик» сөзи менен алмастырамыз. Бундай жағдайда «кривизна пространства» сөзлери «кеңисликтің ийемклиги» мәнисин аңғартады. Сонлықтан «ийемклик» сөзи геометриялық терминге айланады.

<sup>34</sup> Гейпара жағдайларда  $G$  ның орнына  $\chi = \frac{8\pi G}{c^2} = 1,86 \cdot 10^{-27} \text{ см} \cdot \text{г}^{-1}$  шамасын да пайдаланады хәм оны Эйнштейн турақлысы деп атайды.

Кеңисликтің симметриялық метрлік тензоры  $g_{ik}$  бір биринен ғәрезсиз болған 10 кураушыдан турады (бул тензордың кураушылар саны 16, бирак  $g_{ik} = g_{ki}$  болғанлықтан бір биринен ғәрезсиз кураушылар саны 10 ға шекем кемейеди). Сонлықтан (9)-теңдемелер он теңдемеден туратуғын система болып табылады. Бул теңдемелердің шеп тәрәпи кеңислик-ұақыттың геометриялық қасиетлерин тәрәплейди, ал оң тәрәпи болса материяның тарқалыуын хәм қозғалысын тәрәплейди.

Кеңисликтің геометриялық қасиетлерин метрлік тензордың он кураушысының хәм олардың 2-тәртипке шекемги тууындыларының жәрдемінде анықланады. Материяның халын тәрәплеуши шамалар қатарына мыналар киреди: массаның тығызлығы (бір шама), оның импульсы ямаса массаның ағысы (3 шама) хәм импульс ағысы ямаса керимлер (6 шама). Солай етип Ньютонның тартылыс теориясынан (бул теорияда тек жалғыз массаның тығызлығынан ғәрезли болған гравитация майданының потенциалы бар) айырмасы соннан ибарат, Эйнштейннің теориясында майдан 10 дана потенциал менен тәрәпленеди хәм бул майдан тек массаның тығызлығынан емес, ал массаның ағысы және импульс ағысы менен де пайда етиледи. Релятивистлик космология релятивистлик тартылыс теориясы менен бирликте классикалық физиканың бир қанша түсиниклеринен бас тартады хәм өзиниң түсиниклерин киргизеди. Мысалы барлық ұақытлары қолланылып келген инерциал есаплау системасы түсиниги өзиниң мәнисин жоғалтады (Ньютон космологиясында усындай системаға салыстырғандағы гравитация майданы хәм затлардың қозғалыслары үйренилетуғынлығын умытпаймыз). Оның орнына кеңислик-ұақыттың иймеклиги хәм локаллық-инерциаллық есаплау системасы түсиниги киргизиледи. Локаллық-инерциялық есаплау системасындағы киши областларда иймейген кеңислик-ұақыт пенен арнаулы салыстырмалылық теориясы дурыс болатуғын тегис кеңислик-ұақыт арасындағы айырма аз.

1917-жылы Эйнштейн өзиниң теңдемелери тийкарында биринши космологиялық модельди дүзиуге умтылды. Ол бир теклилик пенен изотроптылық пенен бир қатар космологиялық моделдің қасиетлериниң ұақыттан ғәрезсизлиги болжауын (статикалық Әлем) басшылыққа алды. Моделдің статикалығын тәмийинлеу үшін Эйнштейн өз теңдемелерине 1917-жылы космологиялық ағза деп аталатуғын  $\Lambda$  ағзаны қосты хәм теңдеме төмендегидей түрге енди:

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

$\Lambda$  тартылыс күшине қарсы бағытланған гипотезалық ийтерисиу күшин тәрәпледи. 1922-жылы болса А.А. Фридман Эйнштейннің статикалық дүньясының бир текли хәм изотроп моделлер үшін гравитациялық теңдемелердің тек дара жағдайы екенлигин көрсетти. Ал улыұмалық жағдайларда болса теңдемениң шешими ұақыттан ғәрезли. Қала берсе егер  $\Lambda$  ағзаны киргизбесе шешимлер шәртли түрде ұақытқа ғәрезли болып шығады. Бул шешимлер Метагалактикадағы затлардың орташа тарқалыуын тәрәплегенликтен усы Метагалактиканың стационар емеслиги хәкқында жуұмақ келип шығады. Тартылысқа қарсы бағытланған басымның градиентлери хәм қәлеген басқа күшлер болмаса системаның статикалығы мүмкин емес. Оның минез-құлқы тартылыс күшлери хәм басланғыш шәртлер менен анықланады. Басланғыш шәртлер басланғыш кеңейиу шексиз көп ұақыт дауам ететуғындай ямаса кеңейиу ақыр-аяғында қысылыу менен алмасатуғындай етип бериледи. Бир теклилик хәм изотропиялыққа тийкарланған Эйнштейн теңдемелериниң стационар емес шешимлери Фридман шешимлери ямаса Фридманның космологиялық моделлери деп аталады.

Сәйкес теңдемелер келтирилип шығарылғанда галактикалар менен галактикалар аралық затлардың тарқалыуы тығызлығы  $\rho$ , басымы  $p$  болған идеалластырылған тутас орталық пенен алмастырылады.  $\rho$  менен  $p$  арасындағы байланыс хал теңдемелери жәрдемінде орнатылады. Бундай теңдемелер, мысалы,  $\rho$  менен  $p$  ның өзгерислериниң айырым участкаларында  $p = a \cdot \rho c^2$ , ( $a = \text{const}$ ) түрине ийе болады. Шаң тәрәзли затлар үшін  $p = 0$  ( $a = 0$ ), нурланыу үшін  $p = \frac{1}{3} \rho c^2$  ( $a = \frac{1}{3}$ ). Болып өтетуғын процесслерди

таллаудың қолайлылығы үшін жолдас координаталар системасы деп аталатуғын координата системасынан пайдаланады<sup>35</sup>. Бундай координаталар системасының өзі деформацияланады, ал заттар оған салыстырғанда қозғалады. Жолдас координаталар системасында гравитация майданының барлық потенциаллары (метрлік тензордың қураушылары) тек бір белгисіз болған  $R(t)$  функциясы менен анықланады хәм бул функция улыұмалық масштаблық фактордың орнын ийелейди. Бул функция ноқатлар арасындағы қашықтықтың ўақытқа байланыслы өзгерисин көрсетеди. Ал сол ноқатлар болса жолдас координаталардың тұрақлы мәнислерине ийе болады. Орталықтың элементлери жолдас координаталардың өзгермейтуғын айырмасына ийе болады хәм тұрақлы интервал  $dl$  менен айрылған, ал олар арасындағы физикалық қашықтық  $dL(t)$  болса  $dL(t) = R(t)dl$  нызамы бойынша өзгереді. Үш өлшемлі кеңістіктің ийемклиги де  $R(t)$  функциясы арқалы анықланады. Базы бир  $t = t^*$  ўақыт моментиндеги ийемклик  $k/R^2$  шамасына тең. Бул аңлатпадағы  $k = +1, 0, -1$  шамаларына оң белгиге ийе, ноллик хәм терис белгиге ийе ийемклик сәйкес келеди. Солар ишиндеги  $k = +1$  де үш өлшемлі кеңістіктің көлеми шекли хәм хәр бир ўақыт моментинде  $V = 2\pi^2[R(t)]^3$  аңлатпасы жәрдемінде есапланады.

Релятивистлик космологияда  $t$  ўақыт моментиндеги  $v$  жийилиги менен шығарылған жақтылық  $t_0$  ўақыт моментинде  $v_0$  жийилиги менен қабыл етилгенде қызылға ауысыў

$$z = \frac{v - v_0}{v_0} = \frac{R(t_0)}{R(t)} - 1 \quad (9)$$

формуласы менен бериледи. Космологиялық модельдің эволюциясын тәриплеў үшін  $R(t)$  функциясын билиў керек. Бул функция Эйнштейн теңлемелери арқалы анықланады. Егер  $\Lambda = 0$  деп қабыл етсек Эйнштейн теңлемелерин мына түрдеги еки теңлемелер системасына алып келиўге болады:

$$rR^3(1 - a) = \text{const}, \quad (10)$$

$$\frac{3kc^2}{4\pi GR^2} = \rho - \frac{3H^2}{8\pi G}. \quad (11)$$

Усы еки теңлемеден гравитациялық майданның пайда болыўы үшін басымның қандай орын тутатуғынлығын ( $\rho = a \cdot r \cdot c^2$ ) көрсететуғын

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} R\rho(1 + 3\alpha) \quad (12)$$

теңлемесин аламыз. Бул теңлемелердеги Хаббл тұрақтысы былай анықланады:

$$H(t) = \frac{1}{R} * \frac{dR}{dt}. \quad (13)$$

Қызылға ауысыў нызамына усы шама киреди.

$W = \rho/\rho_c$  параметрин пайдаланған қолайлы.  $a$  шамасы белгили болғанда  $R(t)$  функциясы  $W$  хәм қандай да бир ўақыт моментиндеги  $H$  тың шамалары жәрдемінде толығы менен анықланады. Хәзирги ўақытлары Әлем кеңеймекте. Буннан кейинги эволюцияның характери  $W$  шамасынан ғәрезли. Егер  $W < 1$  болса кеңейиў шексиз көп ўақыт даўам етеди, ал егер  $W > 1$  болса кеңейиў қысылыў менен алмасады.  $W$  шамасы (11) ге сәйкес  $k$  ның белгисин де анықлайды (яғный жолдас координаталар системасының ийемклигинин белгисин). Хәзирги дәўир үшін  $H = 73$  км/(с·Мпк) шамасында  $\rho_c \gg 5 \cdot 10^{-30}$  г/см<sup>3</sup>. Галактикалардың санын анықлаў хәм дейтерийдің Әлемде қаншама муғдардағы тарқалғанлығын биле отырып  $r < r_c$  хәм  $W \gg 0,03-0,06$  екенлигине ийе боламыз. Бул мәнис ашық Әлемге ( $k = -1$ ) хәм Метагалактиканың шексиз кеңейиўине сәйкес келеди. Бирақ Әлемде тығызлыққа өзиниң үлесин қосатуғын еле табылмаған (бақланбаған) материяның түрлериниң болыўы мүмкин. Усы бақлаў мағлыұматларының тийкарында  $W_0$  ның шамасы 1 ге жүдә жақын деп есаплайды. Ондай болса  $k \gg 0$ .

<sup>35</sup> «Сопутствующая система координат» дегер түсиникти қарақалпақ тилине «Жолдас координаталар системасы» деп аударамыз.

$a = 0$  яғнай  $p = 0$  болса (10)- хәм (11)- релятивистлик формулалар өзлериниң формалары бойынша релятивистлик емес (6)- хәм (8)-формулалар менен сәйкес келеди. Усы формулаларға кириўши шамаларды хәм қатнастарды интерпретациялаў олардың тек жүдә үлкен болмаған областларда хәм үлкен емес ўақыт аралықларында ғана релятивистлик емес шамаларға сәйкес келетуғынлығын умытпаў керек. Бирақ космология үлкен қашықлықлар хәм ўақытлар менен ис алып барады. Сонлықтан Космологияның релятивистлик болыўы шәрт.

$z$  бойынша квадратлық ағзаларды есапқа алып (2)-нызамның орнына (9) дан төмендеги жуўық формуланы алады:

$$r_{\Phi} = \frac{1}{H} \left[ cz + \frac{1}{2c} (1 - q)(cz)^2 + \dots \right].$$

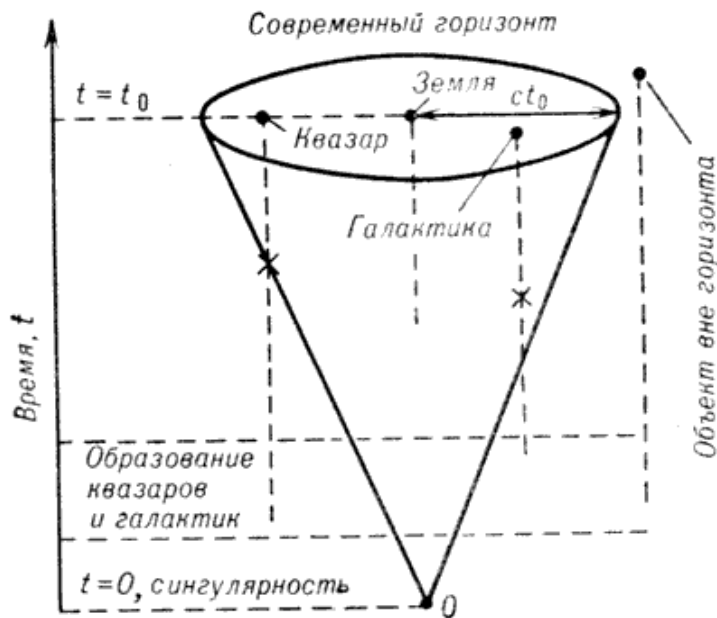
Бул жердеги  $q = \frac{1}{2} W (1 + 3a)$  шамасы әстелениў параметри деп аталады хәм қаралып атырған моделдеги кеңейиўши Әлемниң тормозланыўын анықлайды.

Тилекке қарсы ҳәзирги ўақытлардағы бар бақлаў мағлыўматлары  $r_{\Phi}(z)$  ғәрезлилигин хәм  $W$  шамасын зәрүрли болған дәрежеде дәл анықлаў ушын жеткиликли емес. Ҳәзирги ўақытлары  $a$  шамасының мәниси киши хәм оны есапқа алмай кетиўге де болады. Бирақ бас анықсызлық  $r_{\Phi}$  тиң мәнисин өлшеўдеги кемшиликлерде болып табылады. Бул шама объектлердиң көринип турған жақтылығы (видимая светимость) бойынша анықланады. Бирақ усы процедураны орынлағанда сол объектлердиң ҳақыйқый жақтылығы белгили деп есапланады. Ал алыстағы объектлер ушын (оларды раўажланыўының дәслепки фазаларында бақлаймыз) эволюцияның белгисиз болған факторы – жақтылықтың ўақытқа ғәрезлилиги әҳмийетли орынды ийелейди. Солай етип бақлаўлардан  $W$  параметрин анықлаў эволюцияның белгисиз болған факторынан ғәрезли.

Релятивистлик космологияда моделдиң эволюциясы тек тығызлық  $\rho$  менен ғана емес, ал басым  $p$  менен де анықланады. Себеби УСТ сына байланысly басым «салмаққа ийе болып» гравитация майданын пайда етеди. [(12)-теңлемеге қараңыз]. Дәслепки ўақытлары реликтив нурланыўдың толық тығызлыққа үлеси басым болған жағдайларда басым нурланыў менен анықланды:  $p = \frac{1}{3} \rho c^2$ . Әлбетте, оң мәниске ийе басым Метагалактиканың бақланып атырған кеңейиўин пайда ете алған жоқ. Себеби ол өзиниң гравитациялық тәсири бойынша кеңейиўди тезлетпейда, ал оны әстелетеди. Сапалық жақтан  $p > 0$  деги  $R(t)$  ғәрезлилиги  $p = 0$  болған жағдайдағыдай характерге ийе (2-сүўретти қараңыз). Усыған байланысly ең дәслепки ўақытлары басымның мәниси  $p < 0$  болған деп болжайтуғын теория бар (бул теорияны инфляциялық космология деп атаймыз хәм бул ҳаққында кейинирек толығырақ гәп етиледі).

Бир текли изотроп моделлердиң ең әҳмийетли қәсийети олардың эволюциясының ўақыт бойынша шеклилиги хәм  $R(t)$  нолге айланатуғын, тығызлық шексизликке тең болатуғын айрықша (сингулярлық) ҳалдың бар болыўында. Бир ўақытлары сингулярлықтың болыўы Әлемди бир текли хәм изотроп деп әпиўайыластырыўдың ақыбети деп есаплады. Бирақ Эйнштейнниң теңлемелерин изертлеўлер (әсиресе кейинги изертлеўлер) материяның қәсийетлери ҳаққындағы базы бир қосымша болжаўлар орынланғандағы теңлемелердиң улыўмалық қәсийетлери екенлигин көрсетти. Әлбетте сингулярлық қасында классикалық теңлемелердиң шешимлерин қолланыўға болмайды<sup>36</sup>. Бундай жағдайларда гравитациялық майданның квантлық қәсийетлериниң көриниўи керек.

<sup>36</sup> Эйнштейн теңлемелери де классикалық теңлемелер (квантлық емес) қатарына киреди.



3-сүүрет. Әлемдеги горизонтқа шекемги қашықтықтың ұақыт бойынша өзгерісі.

Эволюцияның ұақыт бойынша шекленгенлиги Әлемнің жасы түсинигин пайда етеди. Опиұайы моделде ( $k = 0$ ,  $p = 0$  болған) (10)- хәм (11)-теңлемелерден (13) ти есапқа алғанда  $t_0 = \frac{2}{3} H_0^{-1}$  екенлиги келип шығады. Демек сингулярлықтан хәзирги дәўирге шекем  $t_0 \gg 13 \cdot 10^9$  жыл ұақыт өткен.

Сингулярлық моментинен бери шекли ұақыттың өтиұи космологиялық горизонт деп аталатуғын (ямаса тек горизонт деп аталатуғын) Әлемдеги қашықтықтың пайда болыұына алып келеди. Хәқыйқатында да ең шеклик тезлик пенен (жақтылық тезлиги менен) қозғалыұшы қәлеген сигнал бақлаұшыға  $t_0$  ұақыт моментине шекем келемен дегенше белгили бир аралықты өтеди. Максималлық қашықтық (яғный горизонтқа шекемги қашықтық) сингал  $t = 0$  ұақыт моментинде жиберилгенлигинен анықланады (3-сүүрет). Бундай жағдайда  $t = 0$  да жиберилген сингалдың аұысыұы (бул ұақыт моментин  $t_0$  моментин деп қабыл етемиз) (9)-формулаға сәйкес шексизликке айланады ( $v_0 \rightarrow 0$ ,  $z \rightarrow \infty$ ).  $t_0$  ның өсиұи менен шамасы бойынша  $ct_0$  ға сәйкес келетуғын  $t_0$  ұақыт моментинде бақланыұы мүмкин болған кеңисликтің характерли областын қарайды. Ыақыттың өтиұи менен бул область ұлкейеди. Солай етип космологиялық горизонт Әлемнің ұлкен масштабларындағы қурылысы хәққында гәп етилгенде қандай масштабтың нәзерде тутылатуғынлығын анықлайды. Хәзирги ұақытлары  $ct_0 \gg c/H_0 \gg 86000 \text{ Мпк} \gg 2,8 \cdot 10^{28} \text{ см}$  [ $H_0 = 73 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$  болғанда].

## § 8. Ыссы Әлемдеги физикалық процесслер

Фридманның космологиялық моделлери Әлемнің эволюциясының хәр қыйлы стадияларындағы өтетуғын физикалық процесслерди есаплаұдың тийкары болып табылады. Реликтив нурлардың хәзирги ұақытлардағы орташа тығызлығы  $1 \text{ см}^3$ . Олардың хәр қайсысынаң энергиясы шама менен  $10^{-15}$  эрг ке тең. Әдеттеги затлардың орташа тығызлығы хәр қайсысының массасы шама менен  $10^{-24} \text{ г}$  болған барионлар менен анықланады хәм  $\rho \gg 3 \cdot 10^{-31} \text{ г}/\text{см}^3$ . Протонлардың бир қанша бөлеги водород атомының ядросы болып табылады. Қалған протонлар  $^4\text{He}$  хәм басқа элементлердің ядроларында нейтронлар менен байланысқан. Әлемде (тәбиятта) еркин нейтронлар жоқ. Солай етип хәр бир барионға  $\sim 10^9$  фотон сәйкес келеди. Көлем бирлигиндеги фотонлар саны  $n_\gamma$  ниң барионлар саны  $n_b$  ға қатнасы әхмийетли өлшем бирлиги жоқ шама болып табылады:  $s = n_\gamma / n_b \gg 10^9$ . Усы  $s$  шамасының ұлкен мәниси Әлемди ыссы деп есаплаұға тийкар береди. Хәзирги ұақытлары Әлемдеги нурланыұ энергиясының тығызлығы аз, ал реликтив нурланыұдың температурасы төмен ( $2,736 \pm 0,003 \text{ К}$ ). Бирақ бурынлары ( $T > 10^4 \text{ К}$  болған

кеңейіудің ең ертедегі стадияларында) нурланыу энергиясының тығызлығы басым еді. Бундай жағдайларда  $T(t)$  ның уақыттан гәрезлиги  $[a = 1/3$  де (10)- хәм (11)- теңлемениң нәтийжесиндей, (4)-формулань да қараңыз]

$$T = \frac{10^{10}}{\sqrt{t}}$$

формуласы менен анықланады ( $T$  - Кельвинлерде,  $t$  - секундларда).

Ыссы Әлемде киши  $t$  ларда жүдә жоқары температуралар дәуири болып, жыллылық фотонларының энергиялары белгили болған барлық бөлекшелер менен антибөлекшелердің жупларын пайда етиуге (тууыуға) жеткен. Тынышлық массасына ийе қандай да бир сортқа кириуши бөлекшелер тууылады хәм жоғалады (егер фотонлар энергиясының шамасы бөлекшелердің берилген сортының тынышлықтағы массасынан үлкен болса). Температураның хәр бир мәниси ушын бөлекшелердің хәр қыйлы сортлары арасында тең салмақлық қатнас болады. Егер усындай тең салмақлық еле жүзеге келген болмаса белгили бир уақытлардан кейин жүзеге келеди. Температура менен тығызлықтың шамалары қанша жоқары болса тең салмақлық халдың жүзеге келиуи ушын зәрүр болған уақыттың шамасы соншама кем болады. Әлем кеңейген сайын температура төменлейди хәм соған сәйкес бөлекшелердің жупларының тууылыуы менен аннигиляциясы реакцияларының өтиу шараятлары өзгереді. Егер белгили бир типтеги реакциялар өткен температуралар интервалында Әлем уақыттың киши бир интервалын өткен болса, онда тең салмақлық халда турған температуралар интервалы кеңейіудің характерли уақытынан киши болады. Бундай болмағанда тынышлық массасына ийе бөлекшелердің берилген сорты тең салмақлық халдан шыққан болар еді. Буннан кейин жуплардың бир қаншасы аннигиляцияға ушырайды, ал сол бөлекшелердің қалған өзінше ыдырауға қәбилетли стабил емес бөлекшелер болса ядро физикасынан белгили болған экспоненциал нызам бойынша ыдырайды. Берилген температурада нурланыу менен тең салмақлық халда турған бөлекшелердің сортлары хәм температуралары бойынша Әлемнің эволюциясындағы белгили бир дәуирлерди (эраларды) бөледі (4-сүүрет): адронлық, лептонлық, нурланыу эрасы, затлар эрасы хәм басқалар.

$T \sim 10^{13}$  K температурада нуклонлар хәм антинуклонлардың<sup>37</sup>, мезонлардың, электронлар хәм позитронлардың нейтринолар менен антинейтринолардың, басқа да тураклы хәм тураксыз бөлекшелердің «тууылыу» хәм «жоғалыу» реакциялары жүреді. (затлардың жоқарырақ температуралардағы қәсийетлери хаққында кейинирек гәп етиледі).

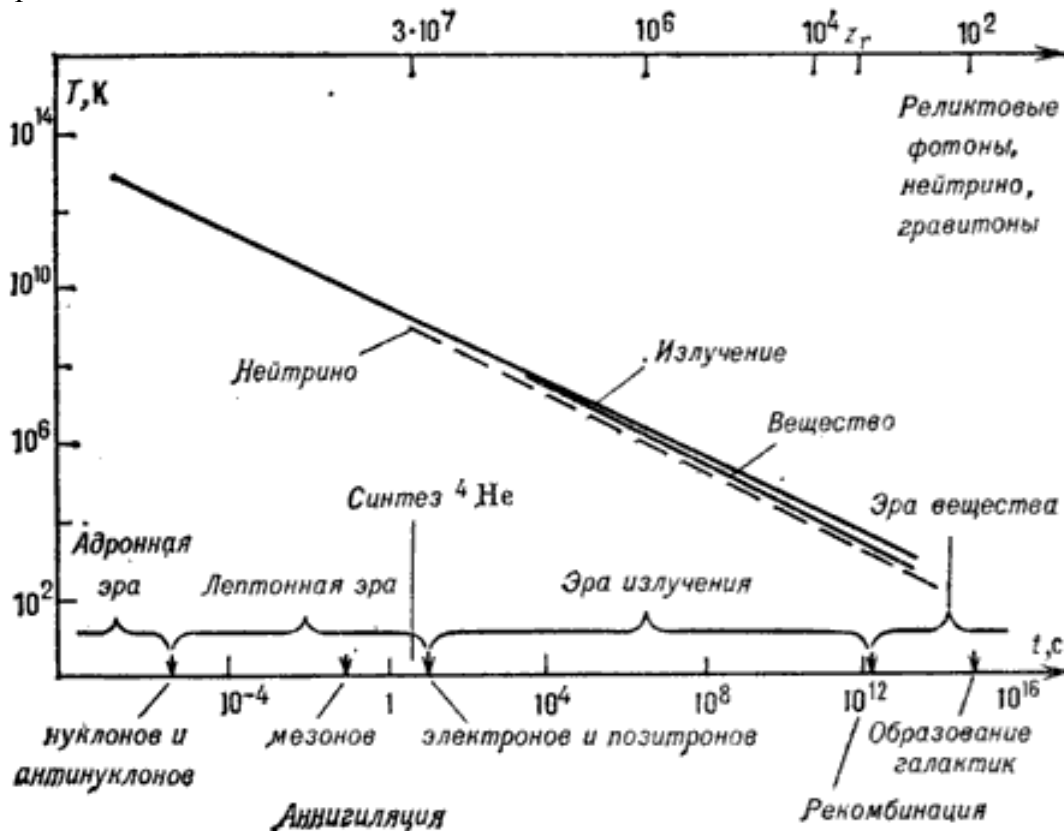
Сондай жоқары температураларда  $s$  параметри басқаша анықланады:  $s \gg n_g/n_b$  формуласындағы  $n_b$  ди барионлар менен антибарионлардың санының айырмасы менен алмастыру керек. Бирақ усы хәм буннан кейинги дәуирлердеги эволюцияның барысындағы процесслерде барионлар менен антибарионлардың санларының айырмасы сақланады<sup>38</sup>. Сонлықтан сол уақытлары  $s \sim 10^9$  еді. Температура  $5 \cdot 10^{12}$  K ге шекем төменлегенде фотонлар тәрәпинен нуклон-антинуклонлық жуплар арасындағы тең салмақлық бузылады. Нуклонлар менен антинуклонлар тийкарынан аннигиляцияға ушырайды хәм антибөлекшелер жетпей қалған артық нуклонлар сақланып қалады. Артық нуклонлар саны тең салмақлық дәуирдеги нуклонлар санының шама менен  $10^{-9}$  бөлегін ғана қурайды. Ал усы жағдайға қарамастан сол артық нуклонлар хәзирги Әлемдеги затлардың тийкарын қурайды. Егер сол азмаз артық нуклонлар болмағанда дүнья хәзирги уақытлары «бослықтан» турған болар еді.

$T \gg 2 \cdot 10^{10}$  K температурада электронлық нейтринолар бөлекшелер менен эффектив түрде тәсир етисиуден қалады. Нейтринолар стабил бөлекшелер болғанлықтан хәм олар затлар менен жүдә эззи тәсирлескенликтен. Олар ушын дүнья практикалық жақтан мөлдир болып табылады хәм олардың энергияларының тығызлығы тек Әлемнің кеңейіуиниң салдарынан кемейеді. Хәзирги уақытлары космологиялық нейтринолық газдың (релик-

<sup>37</sup> Протонлар менен нейтронлардың.

<sup>38</sup> Бул кубылысты барионлық зарядтың сақланыу нызамы деп атаймыз.

тивлик нейтриноның) температурасы шама менен 2 К ға, ал оның тығызлығы 450 нейтрино\*см<sup>-3</sup> болуы керек (1 см<sup>3</sup> көлемдегі орташа 450 диң ишінде нейтриноның барлық тип-лери есапқа алынған)<sup>39</sup>. Космологиялық нейтриноны бақлаудың (регистрациялаудың) усыллары елге шекем исленип шығылмаған.



4-сүрөт. Өлөмнің ыссы моделиндегі затлардың хэм нурланыудың эволюциясы. Төмөнгү горизонт бағытындағы көшөр бойынша сингулярлық моментинен бергі үақыт, жокарғыға кызылға аұысыудың сәйкес мәнісі, ал вертикал көшөрге температура қойылған.

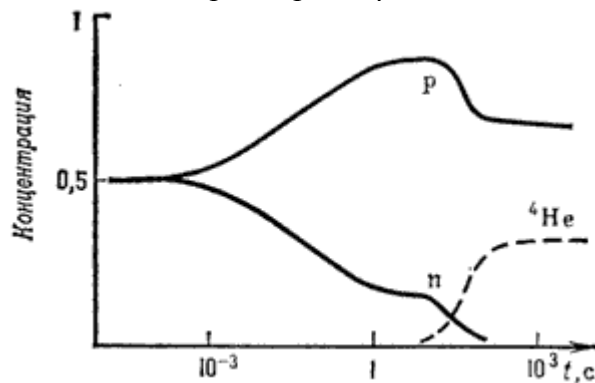
Соңғы экспериментлердің нәтижелері бойынша нейтриноның тынышлықтағы массасының болуы мүмкін<sup>40</sup>. Егер бул мағлыұматлар басқа эксперименттерде де тастыйықланса, онда нейтриноларды рекомбинация дәуірінен әдеуір бурын релятивист-лик емес бөлекшелерге айланған, ал олардың массаларының хәзіргі тығызлығы тиккелей бақланатуғын затлардың массасының тығызлығынан онлаған есе көп, хәтте тығызлықтың критикалық мәнісі  $\rho_c$  ға жетеди деп жуұмақ шығарамыз. Солай етип нейтринолардың Өлемдегі затлардың орташа тығызлығына үлеси әдеуір үлкен шаманы қурай алады.

Ең ертедегі Өлемдегі протонлар менен нейтронлардың санлары арасындағы қатнас олардың массалары арасындағы айырма  $\Delta m = m_n - m_p > 0$  ( $\Delta mc^2 = 1,3$  МэВ) хэм температура менен анықланады. Мына  $e^+ + n \rightarrow p + \bar{\nu}$  хэм  $\bar{\nu} + n \rightarrow p + e^-$  реакцияларының салдарынан үлкен тезлік пенен нейтронлардың протонларға хэм кері айланыуының салдарынан протонлар менен нейтронлардың санлары шама менен бирдей болған. Буннан кейін нейтронлар хэм температураға ғәрезли протонлар арасындағы тең салмақлықты анықлаушы (соған сәйкес кеңейіудің басынан баслап өткен үақытты) формула  $n_n/n_p \sim \exp(-\Delta mc^2/kT)$  ға сәйкес нейтронлардың саны кемейеди.  $T \gg 5 \cdot 10^9$  К моментінде  $n_n/n_p$  қатнасы  $\gg 0,2$  шамасында турақласады.  $T$  ның шамасы  $(1-2) \cdot 10^9$  К ге шекем төменлегенде бир неше секунд даұам ететуғын ( $t \gg 1-3$  с) актив ядролық синтез дәуірі басланады.

<sup>39</sup> Электронлық, мюонлық хэм тау-нейтринолар нәзерде туылмақта.

<sup>40</sup> <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1167482&s=> адресіндегі «Нейтронлық осцилляциялар» деп аталатуғын мақалада «По данным Садбери, сумма масс трех сортов нейтрино заключена в интервале 0.05-8.4эВ, и следовательно, космологические нейтрино могут заключать в себе 0.1-18% массы Вселенной» мағлыұматы берілген (мақала 2001-жылы 6-июль күні жарық көрген).

Аман қалған нейтронлар хәм саны нейтронлардың санына тең болған протонлар биригеди хәм  ${}^4\text{He}$  ядроларын пайда етеди (5-сүүрет). Есаплаўлар бойынша  ${}^4\text{He}$  ядроларына нуклонлардың улыўма массасының шама менен 25 проценти туўры келеди. Қалған 75 % алған протонлартики болады (водород ядролары). Басқа элементлер жүдә аз муғдарда пайда болады. Мысалы дәслепки дейтерийдің үлеси затлардың улыўма массасының 0,01% ғана курайды. Дейтерийдің муғдарына затлардың (барионлардың) орташа тығызлығы күшли тәсир етеди. Затлардың тығызлығы қаншама жоқары болса, соншама көп муғдардағы дейтерий жанады хәм  ${}^4\text{He}$  ге айланады. Дейтерийдің тәжирийбелерде бақланып жүрген көплиги хәзирги ўақытлары затлардың орташа тығызлығының киши екенлигинен дерек береді ( $\rho \gg 3 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3$ ).



5-сүүрет. Протонлар саны  $p$  менен нейтронлар саны  $n$  арасындағы қатнастың өзгериуі хәм  ${}^4\text{He}$  ний пайда болыуы Әлемнің кеңейиуі басланғаннан кейин  $t \gg 100\text{-}200$  секундтан кейин жуўмақланады.

Термоядролық реакциялар стадиясынан кейин де шама менен 300 000 мың жыл даўамында температура жоқары болып қалады хәм соның салдарынан затлар рекомбинация дәўирине шекем плазма халында қалады. Усы ўақытлары протонлар электронлар менен биригеди хәм нейтраль водородқа айланады. Бираз ертерек нейтраль гелий пайда болады. Усы дәслепки водород пенен гелийден кейинирек дәслепки жулдызлар хәм галактикалар пайда болды деп болжайды.

## § 9. Жүдә ертедеги Әлем

Ең дәслепки нуклеосинтез дәўири Әлемнің эволюциясындағы туўрыдан-туўры бақлаў мағлыўматлары бар ең ертедеги дәўир болып табылады (4-сүүрет). Дәслепки гелийдің (соның менен бирге дейтерийдің) бақланып жүрген молшылығы  $T \sim 10^9 \text{ К}$ ,  $\rho \sim 10^2 \text{ г/см}^3$  хәм  $t \gg 100 \text{ с}$  болған дәўирдеги физикалық шараятлар ҳаққында мағлыўматлар береді. Буннан да жоқары температуралар менен тығызлықлар «жүдә ертедеги Әлем» дәўири деп аталатуғын дәўирге тийисли.

$T \sim 10^{10} \text{ К}$  температурасындағы жүдә ертедеги Әлем ҳаққында реликтив электронлық нейтрино бойынша билиўге болар еди. Олар сол дәўирде басқа бөлекшелер менен тәсирлескенди тоқтатады. Бирақ оларды регистрациялаў проблемасы еле шешилмеген.

Хәзирги ўақытлардағы элементар бөлекшелер теориясы  $T \sim 10^{13}\text{-}10^{14} \text{ К}$  (адронлық эра) температурада затлар көп санлы еркин кварклерди өз ишине алды деп болжайды<sup>41</sup>. Бул эра күшли тәсирлесиў теориясы тийкарында тәриппленетуғын болғанлықтан бул эра ҳаққында үлкен исеним менен айтыўға болады.

Буннан да ертедеги дәўирдеги затлардың қәсийетлерин түсиниў ушын ( $T \sim 10^{14}\text{-}10^{16} \text{ К}$ ) электроэззи тәсирлесиў теориясын қолланады. Бул тәсирлесиў теориясы электромагнитлик хәм эззи тәсирлесиўлерди бир позициядан хәр қыйлы аралықлық бозонлардың қатнасыуындағы тәсирлесиў деп қарайды. Бул дәўирди аралықлық бозонлар дәўири деп атаўға болады. Себеби  $T \sim 10^{15} \text{ К}$  температурада бирден бир электрэззи тәсирлесиўди жүзеге келтиретуғын көп сандағы аралықлық бозонлардың пайда болыуы ушын физикалық шараятлар пайда болады. Бул тәсирлесиўдің теориясы басқа аспектлерде экспериментлерде тастыйықланған.

<sup>41</sup> Бир бири менен күшли тәсир етисетуғын адронлар кварклерден турады.



Итимал, елде жоқары температураларда Әлемнің зарядлық жақтан симметриялы емес екенлігін ізлеу керек (барионлардың саны антибарионлардың санына қарағанда артық) Әлемдегі барионлық асимметрияның пайда болуын түсіндіріуге урынулар электромагниттік, элли және күшті әсерлесіулерді бірлестіретуғын және барионлық зарядтың сақланбайтуғынлығын өз ішіне алатуғын теорияны дүзіуге байланысты. Бұл бірлескен теорияға сәйкес жоқарыда атап өтілген үш әсерлесіудің барлығы да бөлекшелердің энергиялары шама менен  $10^{16}$  ГэВ (бұл  $T \sim 10^{29}$  К температураға сәйкес келеді) болғанда бірдей мәніске ийе болады. Егер бірден бір әсерлесіу  $T \sim 10^{29}$  К температурада хақықаттан да орын алатуғын болса, онда оғада массалы ( $\sim 10^{-9}$  г) және жүде қысқа жасайтуғын Х-бөлекшелерінің болуы керек. Бұл бөлекшелер бірден бір әсерлесіуді тәміинлейді. Х-бөлекшелері қатнақан жағдайларда кварклердің лептонларға және лептонлардың кварклерге айланыуында барионлық зарядтың сақланбайтуғынлығы жүзеге келіуі керек<sup>42</sup>.

Солай етип жоқарыдағы параграфларда биз Эйнштейннің улыұмалық салыстырмалылық теориясы менен оның Фридман тәрепинен табылған стационар емес шешімлері тийкарында туратуғын стандарт космологиялық модель деп аталатуғын моделдің тийкаргы мазмұны және өзгешеліктері менен таныстық. Бірақ тилекке қарсы бұл модель Әлемнің қурылысы менен қасиеттеріне байланысты бір қанша әхміетті мәселелерді толық шеше алмайды. Олар мыналар: бір теклілік пенен изотроптылықтың пайда болуы, горизонт проблемасы, Әлемнің ең дәслепкі ыссы дәуірінде пайда болуы мүмкін болған айырым экзотикалық бөлекшелердің (магнит монополлерінің) жоқлығы және басқалар. Усы машқалаларды шешіу үшін 1980-жыллардан баслап инфляциялық космология пайда болды және ол хәзіргі уақыттары пүткіл космологияның тийкаргы бууынына айланды.

## СТАНДАРТ КОСМОЛОГИЯНЫҢ ҚЫЙЫНШЫЛЫҚЛАРЫ ХӘМ ИНФЛЯЦИЯЛЫҚ КОСМОЛОГИЯНЫҢ ТИЙКАРЛАРЫ

### § 9. Стандарт (классикалық) космологияның қыйыншылықтары

Көп астрономиялық бақлауларда дурыслығы дәлілленген Фридман космологиясы теориясы (Эйнштейн теңлемелерінің стационар емес шешімі), ыссы Әлем моделі (дәслепкі нуклеосинтез, реликтив нурланыудың түсіндіріліуі) тез арада көп санлы қыйыншылықтарға дуушакерлесті. Солардың бири мынадай: Әлемнің масштаблық факторы  $R(t)$  уақытқа байланысты жүде әстелік пенен өседі (тегіс моделде  $t^{1/2}$  ге ямаса  $t^{2/3}$  ке пропорционал). Сонлықтан бурынлары (ертеде) киши  $t$  уақытына жүде үлкен масштаблық фактор  $R$  дың сәйкес келіуі керек. Классикалық космологияның парадокстары инфляциялық Әлем моделинде шешіледі. Бұл моделде эволюцияның ең ертедегі стадияларында масштаблық фактор экспоненциал нызам бойынша өскен деп болжау қабыл етіледі:

$$R(t) = R_0 * e^{Ht} \quad (14)$$

Масштаблық фактордың усындай болып өсіуі нызамы үшін Хабб турақлысы уақытқа ғәрезлі өзгермейді, яғнай  $H = \frac{\dot{R}}{R} = \text{const}$ .

Енді горизонт машқаласын (себеппілік машқаласын) толығырақ қарайық.

Реликтив нурланыу үшін рекомбинация моментіндегі горизонттың физикалық өлшемі шама менен  $R(t_r)l_h \approx c * t_r$ . Сонлықтан мүйешлік өлшемлері  $\theta \sim (1+z_r)(t_r/t_0) \approx 2^\circ$

<sup>42</sup> Бұл айтылған гәплердің барлығы да гипотезалық болып табылады. Хәзіргі уақыттары пайда болған бірден бір теориялардың саны көп болғаны менен, олардың хеш қайсысы да көплеген фундаменталлық мәселелерді шеше алмайды. Сонлықтан олардың хеш қайсысы да Эйнштейннің салыстырмалылық теориясындай болып мойынланған жоқ.

болған участкалары бір бири менен себеплилик пенен байланыспаған болыуы керек. Егер хақыйқатында да усындай аўхал болып өткен болса затлар менен реликтив нурланыўдың соншама изотроплық тарқалыуы орын алған? Фридман моделлерінде горизонт кеңейіу басланғаннан бери өткен ўақытқа пропорционал өседі. Сонлықтан болажақта қалеген область «горизонтқа киреди».

Горизонт машқаласын Әлемнің энтропиясы терминлерінде қайтадан дүзиу мүмкін. Хәзирги ўақытлардағы энтропия релятивистлик бөлекшелерде топланған (фотонларда, нейтриноларда). Өлшем бирлиги жоқ энтропия (яғный Больцман турақлысы  $k$  ның бирлигиндеги) релятивистлик бөлекшелер ушын көлем бирлигинде (бозон ба ямаса фермион ба, оларға ғәрезсиз)  $s \approx 4(n_\gamma + n_\nu + n_{\bar{\nu}} + \dots)$  ке тең. Хәзирги ўақытлардағы релятивистлик бөлекшелердің тығызлығы (фотонлартики  $500$  дана/см<sup>3</sup>, ал нейтринолартики  $400$  дана/см<sup>3</sup>)  $500$  дана/см<sup>3</sup> +  $400$  дана/см<sup>3</sup> =  $900$  дана/см<sup>3</sup>, демек бүгинги горизонттың ишиндеги Әлемнің энтропиясы

$$S_U \sim (c/H_0)^3 s \sim 10^{90} \quad (15)$$

Енди Әлемнің ең ертедеги дәўирдеги энтропиясын есаплаймыз. Салыстырмалы энтропия  $s \sim n \sim T^3$  болғанлықтан радиация басым болған дәўирдеги горизонт ишиндеги энтропия

$$S_{\text{HQR}} \sim (c/H)^3 T^3 \quad (16)$$

шамасына тең.

Энергиясының тығызлығы  $\rho_r = \alpha_r T^4$  шамасындағы релятивистлик плазма басым болған дәўирде Хаббл турақлысы төмендеги катнастардан анықланады:

$$H^2/G \sim H m_{\text{pl}}^2 \sim T^4 \rightarrow H \sim T^2/m_{\text{pl}}$$

Бул жерде  $m_{\text{pl}} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 10^{-5} \text{ г} \approx 10^{19} \text{ ГэВ}$  Планк массасы деп аталады. Солай етип горизонт ишинде Планк дәўиринде

$$S_{\text{HQR}} \sim (m_{\text{pl}}/T)^3 \sim 1.$$

Демек усыншама «ыссы» Әлем ең ертедеги дәўирлерде  $10^{90}$  дана бір бири менен себеплилик пенен байланыспаған областлардан турыуы керек. Олай болса бақланып атырған бір теклилик пенен изотроптылық қайдан келип шыққан?

Егер масштаблық фактор экспоненциал түрде өскен дәўир орын алған болса, онда дәслепп себеплилик пенен байланысқан областлар горизонттың үлкенлигинен ( $\sim cH^{-1}$ ) де көбирек қашықтықларға тарқалып кеткен болар еди. Демек масштаблық фактордың әстелик пенен өсетуғын дәўиринде бул областлардың себеплилик пенен байланыспаған областлардай болып көриниуі таң қаларлық емес.

Хақыйқатында да (14)-нызам ушын горизонттың физикалық өлшеми

$$l_h(t) = -\exp(Ht) \int_0^t \frac{cdt'}{\exp(Ht')} = -\frac{c}{H} \exp(Ht) [e^{-Ht} - 1] = \frac{c}{H} [e^{Ht} - 1]. \quad (17)$$

ўақытқа байланыслы экспоненциал түрде тез өседі. Бирақ масштаблық фактор буннан да тезирек өседі. Демек, егер ўақыттың дәслеппки моментинде еки бөлекше арасындағы қашықтық  $l_{12} < c/H$ , яғный олар себеплилик пенен байланысқан областта турған болса, онда  $l_{12}(t) \sim l_{12}(0) \exp(Ht)$  тезден горизонттың арғы тәрәпине өтип кетеді (яғный  $c/H$  тан үлкен болады). Бирақ усындай болса да бөлекшелер өзлеринің бурынғы байланыслары хаққында «есинде сақлайды».

Экспоненциал кеңейіудің кинематикасын  $r_h = l_h/R(t)$  жолдас координаталардың өзгерислеринен де түсиндириуе болады. Өзинің физикалық мәніси бойынша бөлекшенің жолдас координатасы оның Лагранжлық координатасы болып табылады хәм кеңейіу барысында өзгермейди. Атап айтқанда усы координаталарда кейинирек Әлемнің қурылысының қәлиплесиуіне алып келетуғын дәслеппки возмущениелердің өсиуі процесслери үйрениледі.

Инфляция барысында горизонттың жолдас координатасы дерлік өзгерисіз қалады:

$$r_h = \frac{c}{R_0 H} [1 - e^{-Ht}] \approx \frac{c}{R_0 H}. \quad (18)$$

Буннан экспоненциал кеңейіу барысындағы хәтте шексіз болажақта дәслеп радиусы  $c/H$  болған сфераның ишіндегі нокатлар ғана жақтылық сигналлары менен алмаса алатуғынлығы келип шығады.

Керисинше Фридман дәуирінде  $R(t) \sim t^\alpha$ ,  $\alpha < 1$  горизонттың жолдас координатасы ўақыттың өсиўши функциясы болып табылады ( $l_h / R(t) \sim t^{1-\alpha}$ ) хәм Фридман кеңейіуінде болажақта себеплилик пенен байланысқан областта барлық кеңислик жайласады.

$H^{-1} \equiv t_{pl}$  қа сәйкес келиўши Әлемнің «туўылыўы» ушын себеплилик пенен байланысқан областтың радиусы  $l_h \equiv l_{pl} \approx 10^{-33}$  см. Бирақ экспоненциал кеңейіуде 70 Хаббл ўақытында бул стадияның  $t_{inf1}$  ўақыты ишінде ол  $l_h \sim 10^{-3}$  см ге өседі. Бул шама горизонт машқаласын шешиў ушын жеткиликлі. Инфляцияның хәзирги заман моделлерінде  $Ht_{inf1} > 100$ . Сонлықтан себеплилик пенен байланысқан областтың өлшемлери өтмиште де хәзирги горизонттың өлшемлеринен әдеўир көп болған.

## § 10. Тегис дүнья машқаласы

Бул машқала эволюциясының ең ертедегі дәуірлерінде Әлемнің тығызлығы  $\rho$  ның критикалық тығызлық  $\rho_c$  ға жүдә жақынлығында (яғный  $\rho/\rho_c = \Omega_0 = 1$ ). Усы мәселени талқылаўды әпиўайыластырамыз. Былайынша болжайық: дүньяның квантлық туўылыўы  $t_{pl} = 10^{-43}$  с ўақыт моментінде өткен болсын. Туўылған ўақыт моментіндегі дүньяның тәбийий радиусы  $l_{pl} = 10^{-33}$  см. Баҳалаў ушын кеңейіуді бәрхама дәрежели нызам  $R(t) \sim \sqrt{t}$  бойынша жүрди деп болжаймыз. Хәзирге шекем  $t_0 = 10^{10}$  жыл хәм усыған сәйкес иймеклик радиусы  $R = (3 \cdot 10^{17} / 5 \cdot 10^{-44})^{1/2} \cdot 10^{-33} \sim 10^{-2}$  см болған болар еди.

Енди кери бағыттағы есаплаўлар жүргиземіз. Хәзирги ўақытлардағы иймеклик радиусы  $R > R_H \sim 10^{28}$  см. Өтмишке кетип  $t_{pl}$  моменти ушын  $R(t_{pl}) \sim 10^{-2}$  см шамасын аламыз, ал горизонттың өлшеми болса  $l_{pl} \ll R(t_{pl})$ . Бул теңсизлик усы дәуірде Әлемнің  $l_{pl}/R(t_{pl}) \sim 10^{-31}$  шамасына шекемгі дәлликте тегис екенлигин билдиреди ( $\Omega \sim 1/R^2$  терминінде  $10^{-60}$  қа шекемгі дәллик). Бундай жоқары дәлликте қалай түсиндириўге болады?

Усындай жуўмақларға дәлирек таллаўлар нәтийжесинде де келиўге болады. Хәқыйқатында да масштаблық фактор ушын Фридман теңлемесин  $\Omega = \rho/\rho_c$  хәм Хаббл тураклысы  $H = \frac{\dot{a}}{a}$  арқалы да мына түрде жазыўға болады

$$|\Omega - 1| = \frac{c^2 |k|}{R^2 H^2} \quad (19)$$

Бул жерде  $k=0$  тегис модель ушын ямаса  $k=\pm 1$  жабық хәм ашық моделлер ушын. Бул аңлатпаның оң тәрәпи Хаббл узынлығы  $d_H = c/H$  тың иймеклик радиусы  $R = a/k$  ға қатнасы болып табылады. Фридман стадиясында  $R(t) \sim t^\alpha$ ,  $\alpha < 1$  хәм  $t \rightarrow \infty$  те  $|\Omega - 1| \sim t^{2(1-\alpha)} \rightarrow +\infty$ , яғный Хаббл радиусы иймеклик радиусына (масштаблық факторған) қарағанда тезирек өседі хәм  $aH$  шамасы барлық ўақытта кемейеди. Сонлықтан бизиң бақланатуғын Әлемимиздің тегис Әлемге жақынлығы бизге бир түрлі болып көринеди.

Енди (19) дың оң тәрәпин дәслепки иймекликтен ғәрезсиз Әлем автомат түрде тегис болыўға умтылатуғындай етип кеңейіу барысында кемейтип көремиз. Бул шәрт ўақытқа ийе жолдас Хаббл координатасын киширейткенге эквивалент ( $d(c/aH)/dt < 0$ ). Буннан масштаблық фактор  $d^2 a/dt^2 > 0$  ға эквивалент талап аламыз. Бул шәрт  $R \sim R_0 e^{Ht}$  экспоненциаллық кеңейіуде орынланады.

## § 11. Антроплық принцип хәм инфляциялық космология

Физиклердің ең әхмийетли тилеклеринің бири фундаменталлық бөлекшелердің экспериментлерде анықланған барлық параметрлерин тәбийий түрде болжап анықлайтуғын теорияны дүзиу болып табылады. Бизің әсиримизде сөзсиз пайда болатуғын усындай дурыс теория әпиуайы хәм сулыу болады деп исениу керек.

Бирақ элементар бөлекшелердің көпшилиқ параметрлери тосыннан алынатуғын санлардың жыйнағына усайды. Мысалы электронның массасы протонның массасынан мың есе үлкен (әлбетте шама менен алғанда). Ал протонның өзи болса W-бозонның массасынан жүзлеген есе киши. Ал W-бозонның массасы болса фундаменталлық Планк массасынан  $10^{17}$  есе киши. Бирақ усыған қарамастан электронның массасының, жуқа структурадың турақлысы  $\alpha_e$  нин, күшли тәсирлесіу константасы  $\alpha_s$  тин, тартылыс турақлысы  $G = M_p^{-2}$  ның азмаз өзгериси болған жағдайда биз билетуғын тиришиликтің типинің пайда болмайтуғыны әдеуір уақытлардан бери белгили<sup>43</sup>. Бир кеңисликлик өлшемди қосыу ямаса сол өлшемди алып таслау планеталар системаларының пайда болыуы мүмкин емес еди. Хәқыйқатында да кенислик-уақыттың өлшеми  $D > 4$  болса гравитациялық тәсирлесіу күши  $r^{-2}$  нызамынан тезирек кемейеди, ал  $d < 4$  болса улыұмалық салыстырмалылық теориясы бундай күштин пүткиллей болмайтуғынлығын тастыйықлайды. Бул сөзлер  $d \neq 4$  болған жағдайларда планеталар системасының пайда болмайтуғынлығын айтып тур. Соның менен бирге биздей тиришилиқ ийелеринің Әлемде пайда болыуы ушын Әлемнің өзи жеткиликли дәрежеде үлкен, геометриясы тегис, бир текли хәм изотроп болыуы керек. Усылардың барлығы және де соларға қосымша бир қанша аргументлер тийкарында *антроплық принцип* деп аталатуғын принципти келтирип шығарды. Усы принципке сәйкес *биз Әлемди қандай болса, тап сондай етип көремиз, себеби тек усындай Әлемде ғана тиришиликтің хәм соған сәйкес бизің өзимиздің пайда болыуымыздың мүмкиншилиги бар*.

Тап жақын уақытларға шекем көп илимпазлар өзинің илимий жумысларында антроплық принципти пайдаланбады. Бул принципке көп ушырасқан қатнас Колб пенен Тернердің (Kolb хәм Turner) «Ертедеги Әлем» китабында «Авторлардың биреуине усындай ақылға мууапық келмейтуғын антроплық усаған идеяның принцип қәддине шекем көтерілиуі пүткиллей түсиниксиз» деп берилген. (Kolb, 1990).

Бундай скептикалық қатнасты ақлауға болады. Әлбетте антроплық принципти пайдаланбай-ақ проблемалардың физикалық шешимин табыу әдеуір аңсатырақ (мысалы усындай машқала жоқ Әлемде ғана бизің жасауымыз мүмкин дегенге қарағанда). Антроплық принципти қолланғанда бул принцип машқаланы шеше алмайды, ал тек ғана сүйенгендей ғана хызмет етеди.

Бирақ басқа көз-қараслардан бул принцип жүдә курамалы хәм фундаменталлық машқалаларды шешіуге жәрдем береді. Бийкарлаудың орнына бул принципти хәр бир айқын жағдайда пайдаланыуға умтылыу керек.

Антроплық принциптің тийкарынан еки түри бар: әззи хәм күшли антроплық принцип. Әззи антроплық принцип былай дейди: егер Әлем хәр қыйлы қәсийетлерге ийе бөлимлерден туратуғын болса, онда биз бизің тиришилигимиз мүмкин болған бөлимінде жасаймыз. Бул көзге көринип турған жағдайдай болып қабыл етиледі. Бирақ Әлемде қәсийетлери хәр қыйлы болған областлар бар ма? деген сорау тууылады. Егер жоқ болса, онда электронның массасының хәм тәсирлесіулердің турақлыларының өзгерислери хәққындағы қәлеген гәплер мәниске ийе болмай қалады.

Күшли антроплық принцип мынаны тастыйықлайды: Әлем бизің жасауымыз мүмкин болғандай болып жаратылған. Биринши рет еситилгенде бул тастыйықлау хәқыйқатлыққа тууры келмейтуғындай болып көринеди. Себеби адамзат Әлемнің тийкарғы қәсийетлери

<sup>43</sup> Әлбетте  $G = M_p^{-2}$  теңлигинің орын алыуы ушын элементар бөлекшелер физикасында кеңнен пайдаланылатуғын  $\hbar=c=1$  есаплау системасы қолланылады.

қәлиплескеннен  $10^{10}$  жылдан кейін пайда болды хәм сонлықтан ол Әлемнің қурылысына хәм ондағы элементар бөлекшелердің қәсийетлерине хеш қандай тәсир ете алмайды.

Илимпазлар антроплық принципті Әлемді көп мәртебе жаратыўға байланыстырды. Әлемді дәретиў менен ким шуғылланды, бизиң жасаўымыз ушын жарамлы болған Әлемді дәретиўдің қандай зәрүрлиги болды деген сораўларға жуўап болмады. Қала берсе бизиң жасаўымыз ушын қолайлы шараятларды пүткил Әлемде емес, ал Қуяш системасын өз ишине алатуғын үлкен емес областта жаратып қойғанда болмаса еди? Мәселени қурамаластырыўдың неге кереги бар еди?

Антроплық принцип пенен байланыслы болған машқалалардың көпшилиги инфляциялық космология пайда болғаннан кейін көп ўақыт өтпей-ақ шешилди. Сонлықтан төменде сол инфляциялық космологияның тийкарғы принциптери гәп етиледі.

## § 12. Инфляциялық космология модели

Демек Әлемнің инфляциялық моделинің тийкарғы идеясы: ең ертедеги Әлемде «антигравитация» пайда ететуғын хәм соның салдарынан Әлемді  $\mathbb{R} > 0$  тезлениўи менен кеңейтиўге умтылатуғын материяның әдеттегидей емес формасы болған. Антигравитацияның айрықша бир нәрсе болып көринбеўи керек. Себеби улыўмалық салыстырмалық теориясы бойынша гравитациялық майданның дереги тек зат емес, ал басым да (импульс ағымы) майданның дереги болып табылады. Терис мәнисли басымды қадаған ететуғын хеш бир физикалық нызам жоқ. Соның менен бирге хәзирги заман элементар бөлекшелер физикасы скаляр майданлар деп аталатуғын майданлардың бар екенлигин болжайды<sup>44</sup>. Бундай майданлардың бир қәсийетлериниң бири базы бир жеткиликли дәрежедеги улыўмалық жағдайларда  $p = -\varepsilon$  хал теңлемесин жүзеге келтиреді (терис мәнисли басым!).

Егер Әлемнің қандай да бир ықтыярлы киши областында ертедеги стадияларда усындай майдан пайда болса  $p = -\varepsilon$  хал таңлемеси жағдайында масштаблық фактор ўақытқа ғәрезли экспоненциал нызам бойынша өседі:  $R(t) \sim e^{Ht}$ . Бул жерде  $H = \mathbb{R}/a = \text{const}$  Хаббл турақлысы болып табылады.  $H = \text{const}$  болғандағы (14) түриндеги шешим 1917-жылы Голландиялы физик Виллем де Ситтер тәрәпинен Эйнштейннің космологиялық турақлысы бар теңлемелерин шешіў арқалы алынды хәм сол кисиниң аты менен аталады. Терис мәнисли басым «антигравитация» түринде эффектив түрде Әлемді жүдә үлкен тезлик пенен кеңейиўге мәжбүрлейди. Усы мәселени толығырақ талқылап өтеміз.

Фридман теңлемелеринен мынаған ийе боламыз (масштаблық факторды  $a$  хәриби жәрдемінде белгилейміз):

$$\frac{d^2 a}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} \left( \rho + \frac{3p}{c^2} \right) a. \quad (\text{бул қозғалыс теңлемеси болып табылады})$$

$$\frac{dp}{dt} = -3H \left( \rho + \frac{p}{c^2} \right) \quad (\text{бул үзликсизлик теңлемеси})^{45}$$

Сонлықтан  $p = -\varepsilon = -\rho c^2$  болған жағдайда  $p = \varepsilon = \text{const}$  хәм

$$a(t) = a_0 \exp \left[ \sqrt{\frac{8\pi G \rho}{3}} t \right] \quad (20)$$

<sup>44</sup> Соны атап өтиў керек, хәзирги заман физикасының принциптери бойынша усы ўақытларға шекем эксперименттерде ашылмаған скаляр майданлар бөлекшелерге масса (инертлилик) береді, ал векторлық майданлар бөлекшелердің динамикасын анықлайды.

<sup>45</sup> Усыған қосымша энергия ушын да теңлемениң бар екенлигин хәм оның  $\left( \frac{\mathbb{R}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G \rho}{3} - \left( \frac{kc^2}{a^2} \right) + \frac{\Lambda c^2}{3}$

түрине ийе болатуғынлығын атап өтеміз.

энергияның тығызлығы тұрақты болғандағы экспоненциаллық нызамына ийе боламыз (бул жағдайда басым күшлериниң жұмысы кеңейгендеги энергияның кемейиўин толық компенсация кылады).

Тығызлық тұрақты болғандағы областтың өлшемлериниң экспоненциаллық өсиўи областтың ишиндеги массаның «хеш нәрседен» өсиўине сәйкес келеди. Өлбетте бул жағдай биринши карағанда қолайсыз жағдайдай болып көринеди. Бирақ энергияның сақланыў нызамы бул жерде бузылмайды: оң мәнисли энергияның өсими гравитациялық майданның терис мәнисли энергиясы менен дәл компенсацияланады. Ал гравитация майданының терис мәнисли энергиясы болса кеңейиўши областтың ишинде «пайда болатуғын» оң энергия тәрәпинен пайда етиледі. Сонлықтан инфляциялық кеңейиў барысында толық энергия сақланады.

Буннан да формалырақ термодинамикалық қатнасты да қарап шығыў мүмкин (термодинамиканың биринши басламасын, яғный энергияның сақланыў нызамын). Кеңейиўде энтропияның сақланыўы керек (яғный  $dS=0$ ). Сонлықтан көлем элементиндеги энергияның өзгериўин басым күшлериниң жұмысы компенсациялайды:

$$D(\epsilon V) + p dV = 0$$

Басым  $p = -\epsilon$  екенлигин есапқа алсақ  $d\epsilon V + \epsilon dV - \epsilon dV = 0$  екенлигин табамыз. Демек көлем өзгергенде энергия өзгермейди екен.

Терис басымлы хал (антигравитация пайда ететуғын хал) принципиаллық жақтан тұрақты емес. Бул хал өз-өзинен әдеттегидей гравитация пайда етиўши затларға ыдырайды (радиоактив ядролардың ыдырағанындай болып). Бул тұрақсыз халдың ыдыраўының характерли ўақыты Хаббл ўақыты  $1/H$  тай болып анықланады. Ыдыраў барысында әдеттеги затлардың релятивистлик бөлекшелери пайда болады (лептонлар, кварклер хәм олардың суперсимметриялы жолдаслары). Олардың бир бири менен соқлығысыўы хәм тәсир етисиўлери релятивистлик материя ушын хал теңлемесине ( $p = +\epsilon/3$ ) сәйкес тең салмақлыққа тезден келиўин тәмийинлейди. Жоқарыда аталып өтилген Фридман космологиясының парадокслерин шешиў ушын инфляция стадиясының (дәўириниң) 70 Хаббл ўақытындай даўам етиўи жеткилики. Усындай ўақыт ишинде масштаблық фактор  $e^{70} \approx 10^{30}$  есе өседі хәм Фридман стадиясы басланатуғын моментте масштаблық фактордың шамасы  $10^{-33} \times 10^{30} = 10^{-3}$  см ди курайды. Бул горизонт проблемасын шешиў ушын жеткилики. Басланғыш тығызлық керекли дәлликте ( $10^{-60}$  дәллигинде!!!) 1 ге тең болады (Әлемниң тегис екенлиги машқаласының шешими)<sup>46</sup>. Масштаблық фактордың экспоненциаллық өсиминиң нәтийжесинде дәслепки квант флуктуациялары горизонттың арғы тәрәпинен кетеди, ал кейинги стадияларда горизонт ишине және де «киреди». Усының менен бир қатар Әлемниң курылысының қәлиплесиўи ушын зәрүрли болған возмущениелердиң басланғыш спектри генерацияланады.

Солай етип инфляция стадиясы  $10^{-34}$  с ишинде өлшеми шама менен 0,01 см көлем ишинде жүдә ыссы дәслепки затты «таярлайды». Ал бул область болса инерциясы бойынша  $\epsilon < 0$  менен кеңейеди. Бул ыссы Әлем модели («Үлкен партланыў») болып табылады. Енди «партланыўдың» орнын инфляция дәўири (стадиясы) ийелейтуғынлығы түсиникли болды.

Ертедеги Әлемдеги Фридман стадиясына шекем кеңейиўдиң инфляциялық стадиясының орын алғанлығына гүәа болатуғын аргументлерди атап өтемиз:

1. Әлемниң үлкен энтропиясы ( $\sim 10^{90}$ ). Инфляция моделинде усындай үлкен сан масштаблық фактордың 70 есе үлкейиўиниң «куны» менен алынады.

2. Бир текли хәм изотроплы Хаббл кеңейиўиниң орын алыўы. Бул ертедеги Әлемдеги антигравитацияның тәсири сыпатында тәбийий түрде алынады.

<sup>46</sup> Айырым авторлардың реликтив нурларды изертлеў барысында берген мағлыўматлары бойынша Әлемниң хақықый диаметри 78 миллиард жақтылық жылына тең болыўы керек. Ал хәзирги заман техникасы болса 14 миллиард жақтылық жылына тең қашықлықлар шегин көре алады (горизонт машқаласы).

3. Үлкен масштабларда Әлемнің бір теклиги менен изотропиясы (горизонт машқаласы). Барлық флуктуациялардың инфляцияға шекемги дәуірлердегі себепли байланысының бар екенлиги менен түсиндириледі.

4. Әлемнің толық тығызлығының критикалық тығызлыққа жақынлығы (дәл тең екенлиги деп айта аламыз, бұл Әлемнің геометриясының тегис екенлиги машқаласы). Тығызлықтың дәслепки шамасынан ғәрезсиз инфляция стадиясында зәрүрли болған дәллікте  $\Omega \rightarrow 1$ .

5. Магнит монополлеринің жоқтығы<sup>47</sup>. Үлкен партланыудың стандарт моделинде бундай монополлер  $T \sim 10^{16}$  ГэВ пайда болады хәм оның Әлемнің тығызлығына қосқан үлесі хәзирги күнлери Әлемнің орташа тығызлығынан  $10^{12}$  есе үлкен болар еди. Инфляция моделинде болса инфляцияға шекем пайда болған монополлер экспоненциаллық кеңейіуде бір биринен сонша аралықларға қашықласады, олардың саны хәзирги горизонттің иши ушын хеш қандай қәуіп пайда етпейди.

6. Хәр қандай мүйешлик масштаблардағы реликтив нурлардың флуктуацияларының фазаласқан (бирдей фазаларға түсирилген) осцилляциялары (Сахаров тербеліслери). Бұл инфляцияға шекемги дәуірлердегі себеплилік пенен байланысқан областтың ишиндегі дәслепки флуктуациялардың пайда болыуының туұрыдан-туұры себеби.

Ең ақырында мәңги инфляция модели (мәңги хаотик инфляция) хәққында қысқаша гәп етемиз. Оның мәніси төмендегидей: Әлемдегі бір орында басланған инфляция тоқтай алмайды. Хәқыйқатында да радиоактивли ыдыраудан парқы, инфляциядағы антигравитация пайда етиуши субстанцияның (дәслепки заттың) әдеттегі затларға ыдырауы инфляция тәрәпинен ийеленген областтың өлшемлеринің экспоненциаллық өсиуіне алып келеді. Ал бұл областтағы әдеттегі затлар менен ийеленген область киши (себеби әдеттегі затлар әстеленіу менен кеңейеди). Солай етип барлық Әлем кеңейіуши инфляциялық фаза менен толған болады, ал соның ишинде әдеттегі материяның себеп пенен байланыспаған шексиз көп «атаулары» пайда болады ("бизің Әлемимиз" болса сол атаулардың бири).

Усындай теориялардың мүмкин болған нәтижелерин демонстрациялау ушын хаотик инфляция процессіндегі еки скаляр майданнан туратуғын системаның эволюциясының компьютерлик моделин қарап шығамыз. Мейли  $\phi$  инфлатон, яғный инфляцияны пайда етиуши (туұдырыушы) майдан. Оның шамасы әлемнің<sup>48</sup> еки өлшемли кесиміндегі  $\phi(x, y)$  бетинің бийиклиги менен берилген.  $\chi$  майданы симметрияның спонтан бузылуы теориясындағы мүмкин болған майданның типі. Егер майдан берилген нокатта эффектив потенциалдың еки минимумының ишиндегі бір халға туұры келсе қара менен бояймыз, ал екінші халға сәйкес келсе ақ түрге бояймыз. Булар симметрияның бузылуының хәр қыйлы типлерине, яғный төменгі энергияларда физиканың ызыамларының хәр қыйлы жыйнақларына сәйкес келеді.

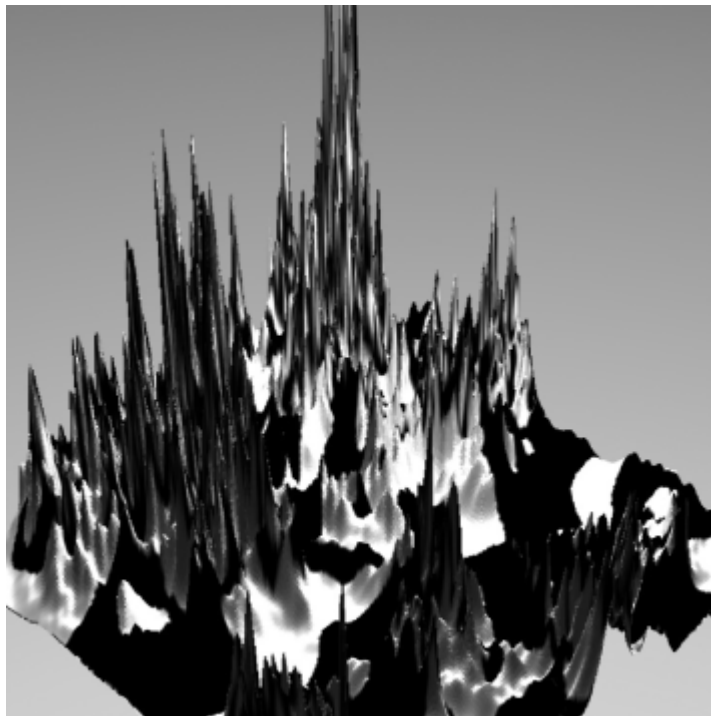
Дәслеп барлық инфляциялық область қара хәм еки майданның тарқалыуы бір текли болған. Буннан кейін область экспоненциаллық үлкен масштабларға шекем кеңейеди хәм хәр қыйлы қәсийетлерге ийе экспоненциаллық үлкен доменлерге бөлінген болады (б-сүүрет). Сүүреттегі хәр бір пик Планк тығызлығына сәйкес келеді хәм жаңа Үлкен партланыудың басы сыпатында қаралыуы мүмкин. Ол жерде физиканың ызыамлары жүдә тез өзгереді. Бирақ бұл ызыамлар  $\phi$  майданы киши орынларда (яғный б-сүүреттің жайпауытларында) өзгермейді. Скаляр майданлардың квантлық флуктуациялары Әлемди экспоненциаллық жақтан үлкен областларға бөледі. Хәр бір областта төменгі температураларда хәм хәр қыйлы тығызлықтарда өзине тән физиканың ызыамлары хуқим сүреді.

Скаляр майданлардың квантлық секиріулеринің нәтижесінде әлем киши энергияларда физиканың хәр қыйлы ызыамларына ийе шексиз көп санлы экспоненциаллық үлкен

<sup>47</sup> Магнит монополлеринің бар екенлиги биринші рет П. Дирак тәрәпинен болжап айтылды. Оның массасы  $10^{16}$  ГэВ болыуы керек. Эксперименттерде еле бақланған жоқ.

<sup>48</sup> Бұл жерде айқын бизің Әлемимиз хәққында гәп етилип атырған жоқ.

областларға бөлінген болып шығады. Усы областлардың хәр қайсысы соншама үлкен болап, оны айырым бир әлем деп қарауға мүмкін болады. Сол әлемлерде жасаушы тиришилик ийелери оның шегараларынан экспоненциал түрде қашық жасап, басқа қасиетлерге ийе басқа әлемлердің бар екенлигин биле алмайды.



6-сүүрет. Әлемнің өзін-өзі қайта тууы процессіндегі скаляр майданлар  $\phi$  пенен  $\chi$  ның әдеттегидей тарқалыуы. Тарқалыудың бийиклиги инфляцияны болдыратуғын  $\phi$  майданының шамасын сәулелендиреди. Егер  $\chi$  майданы эффектив потенциалдың еки минимумының биринде жайласса бет кара менен боялған, ал сол майдан минимумның екіншисинде жайласса бет ақ пенен боялған. Киши энергияларда хәр қыйлы областлардағы физиканың нызамлары хәр қыйлы. «Таулардың» ең жоқарғы ноқатлары (төбелери) квантлық флуктуациялар скаляр майданларды Планк тығызлығына қайтаратуғын ноқатларға сәйкес келеди. Базы бир мәнислерде усындай хәр бир ноқатты жаңа Үлкен партланыудың басы (басланғыш ноқаты) деп қарауға болады.

Егер усы сценарий дурыс болып шықса физика илими өзінше әлемнің бизге тийисли бөлегинің барлық қасиетлерин толық түсиндирип бере алмайды. Бир физикалық теория хәр қыйлы қасиетлерге ийе әлемнің хәр қыйлы областларын тәрипнлей алады. Усы сценарийге сәйкес биз бизиң физикалық нызамларға ийе әлемнің төрт өлшемли областында жасаймыз. Бул басқада өлшемлерге ийе ямаса басқа нызамларға ийе областлардың бар болыу мүмкиншилигинің жоқлығынан ямаса итималлылығының кемлигинен емес, ал ондай областларда биздегидей типтеги тиришиликтің болыуы мүмкін емес.

Усыннан эззи антроплық принциптің дурыс екенлиги дәлилленеди. Бизиң жасауымыз ушын зәрүрли болған жағдайларға хәм қасиетлер менен параметрлерге, сондай-ақ физиканың нызамларына ийе әлемди арнаулы түрде дөретип отырыудың кереги болмай қалады. Инфляциялық әлем сырттан тәсирсиз-ақ физиканың барлық мүмкін болған нызамларыны ийе экспоненциаллық үлкен областларды тууады (пайда етеди). Сонлықтан бизиң жасауымыз ушын шараятлардың үлкен областларда пайда болғанлығына таңланбауымыз керек. Егер сондай шараятлар дәслепп тек бизиң этирапымызда пайда болған болса, онда инфляция бундай шараятларды әлемнің бақланатуғын бөлиминің барлығында да пайда етеди.

**Ахмед әл-Ферғаний**



Қадимий қадириятларымызды қайта тиклеу, теберик топырағымызда жасап өткен даңқлы ата-бабаларымызды таныу, олардың дүньялық цивилизацияға қосқан үлеслерін аңлап билиу бизиң миллий мәдениатымызды раўажландырыу, жаңа әўладты тәрбиялау мәселелериндеги тийкарғы талаплардан болып табылады. Сонлықтан ҳәзирги ўақытлары Өзбекстан Республикасының Президенти И.Каримовтың бул тараўда алып барып атырған сиясаты, елимиздиң келешеги, мәмлекетимиздиң хәмме тараўлардағы раўажланыўы ушын зор әхмийетке ийе.

1994-жылы уллы астрономымыз хәм математигимиз Мырза Улығбектиң туўылғанының 600 жыллығының, 1996-жылы болса, сахыпқыран сәркарда Әмир Темирдиң 660 жылығының пүткил жер жүзилик көлемде көтеринкилик пенен белгилениўи бизиң руўхый турмысымызда жүз берген үлкен ўақыя болды хәм ўатанымыздың әййемнен басланған бай мәдениатының буннан былай да раўажланыўында айрықша тәсир қалдырды.

Әл-Ферғанийдың 1200 жыллығын белгилеу ЮНЕСКОның 1998-жылдағы илажлар режесине киргизилди. Усыған байланысly жақында ғана Өзбекстан Республикасы Министрлер Кабинетиниң Ахмед әл-Ферғанийдиң 1200 жыллығын белгилеу ҳаққындағы қарары бизиң миллий қадириятларымыздың тиклениўиндеги үлкен ўақыялардың бири болып табылады. Соған сәйкес, биз бул мақаламызда Ферғана жеринде туўылып кәмалға келген орта әсирлерде өз илими менен пүткил дүньяда абырайға ерискен атақлы алым Ахмед әл-Ферғанийдиң мәңгиге қалдырылған астрономия, география хәм оларға тиккелей байланысly болған математика тараўларындағы илимий мийраслары менен кең жәмийетшилигимизди жақыннан таныстырып өтиўди мақул көрдик.

Уллы астрономымыз Мырза Улығбек хәм оның илимде қалдырған мийраслары ҳаққында 1994-жылы усы қатарлардың авторының қатнасыўында китапша шығарылған еди. Аталған китапшада Мырза Улығбектиң астрономия илимине қосқан үлесин, оның илимде ийелеген орнын анық көрсетиў Ахмед әл-Ферғанийдиң бул тараўлардағы салмақлы мийнетлерин атап өтпеу мүмкин емеслиги айқын көринеди. Усындай жағдай өз гезегинде бизиң әййемги қәсийетли жеримизде илимниң ерте дәўирлерден баслап-ақ дүньялық әхмийетке ийе дәрежеде раўажланғанлығынан хәм бул жетискенликлердиң әўладтан-әўладқа өтиў арқалы нызамлы избе-изликте әмелге асқанлығынан айқын дәрек береді. Сол дәстүрий мийраслылық арқалы биз илимде өзлериниң өшпес излерин қалдырып кеткен уллы тулғаларымыздан Хорезмийлерди, Ахмед әл-Ферғанийди, Әбиў Райхан әл-Берунийди, Әбиў Әлий ибн Синаны, Омар Хайямды, Мырза Улығбекти хәм басқа да көплеген аллама аталарымызды билемиз, қадирлеймиз хәм мақтаныш етемиз.

Тарийхый дәреклерден VIII әсирдиң ақыры хәм IX әсирдиң басында пайтахты Бағдад қаласы болған Араб халифатлығының пайда болғанлығын билемиз. Бул жерде тийкарынан дийханшылық хәм соған сәйкес ирригацияның, қурылыстың, қурақ хәм суў жоллары менен болатуғын саўда-сатлық ислериниң тез пәтлер менен жанланыўы астрономияны, географияны хәм олар ушын тиккелей тийкар болып табылатуғын математиканы раўажландырыу зәрүрлигин пайда етти. Араблар өзлери басып алған Орайлық Азияда хәм басқа да мәмлекетлерде жоқары мәденияттың бар екенлигин көрди. Нәтийжеде Бағдад басшылығы өзиниң қол астындағы еллерден көп сандағы илимпазларды жыйнады. Бул жерде 795-жылы университет, 829-жылы астрономиялық обсерватория ашылды. IX әсирде араб тилине әййемги грек билимпазларының тийкарғы мийнетлери аўдарылды. IX-X әсирлерде Бағдад қаласында жумыс ислеген илимпазлардың көпшилигин Орайлық Азиядан алып келингенлер (Әл-Хорезмий, Әл-Мәрўезий, Әл-Ферғаний хәм басқалар) қурады.

Ахмед әл-Ферғаний ҳәзирги Ферғана ойпаты аймағында туўылған. Оның балалық жыллары, қай жерлерде оқығанлығы ҳаққында мағлыўматлар сақланбаған. Алымның дәретиўшилиқ мийнетлериниң басым көпшилиги Бағдад қаласындағы обсерваторияда ислеўиниң барысында жазылды хәм илимпаздың исми сол ўақытлардың өзінде-ақ

раўажланып атырған Европа мәмлекетлерине Алфраганус аты менен кеңнен тарала баслады.

«Астрономия элементлери» атлы китап Эл-Ферғанийдың тийкарғы астрономиялық мийнети болып табылады хәм сол ўақытлардағы астрономиялық энциклопедия сыпатында танылғанлығын еслеп өтиўимиз абзал. Бул мийнетинде бизиң жерлесимиз сол ўақытлардағы астрономияның тийкарларын системалы түрде баян етип ғана қоймай, өзине шекемги жетип келген грек астрономларының мийнетлерине әдил түрде сын көз бенен қарады, математикалық хәм астрономиялық географияны дәретти, жер шарының алымға белгили болған аймақларындағы хаўа райының кестесин дүзди.

Адамзат тарийхындағы ең уллы астрономиялық мийнет қатарына әйемги грек астрономы хәм математиги Клавдий Птолемейдің (шама менен бизиң эрамыздың 90-168 жыллары) «Альмагест» мийнети киреди. Эл-Ферғаний ең бириншилер қатарында бул мийнеттиң авторы тәрәпинен саналы түрде жиберилген қәтеликлерди ашып көрсете алды хәм астрономия илимин геоорайлық көз-қарастан дурыс жолға бағдарлады.

Эл-Ферғанийдың китабында сол дәўирлердеги астрономияның тийкарлары, жулдызлар кестеси менен бир қатар да астрономиялық әсбап-үскенелердиң сыпатламалары хәм зәрүрли болған математикалық есаплаўлар да берилген. Дәслеп бул китап Азия хәм Европа еллерине қолжазба түринде тезден тарқалған. 1493-жылы Италияның Ферраре қаласындағы типографияда «Аспан қозғалыслары хәм жулдызлар ҳаққындағы илимлер жыйнағы» деген ат пенен жарық көреді. Эл-Ферғанийдың мийнетлери Европа мәмлекетлеринде XVII әсирде екінши хәм үшінши рет қайтадан басылып шыға баслады. Мысалы қууо-жылы алымның «Астрономия элементлери» китабы голландиялы илимпаз Якоб Голиус тәрәпинен латын тилине аўдарылып Амстердам қаласында басып шығарылды. Нәтийжеде Европалықларға математикалық хәм астрономиялық география илимин түп нуска да үйрениўге мүмкиншилик туўылды.

Ахмед әл-Ферғанийдың жоқары геометрияның элементлерин қамтытуғын «Астролябияны соғыў ҳаққында китап» деген мийнети хәзирги ўақытлары да көп санлы оқыўшыларда қызығыўшылықты пайда етеди. Астролябия орта әсирлердеги жулдызлардың аспан сферасындағы координаталарын анықлайтуғын әсбап болып, Эл-Ферғаний оның қозғалмалы бөлимлерин соғыўдың тәртиплерин баянлайды. Китаптың басланғыш бөлеги стереографиялық проекциялар ҳаққындағы теоремаларды дәлиллеўден ибарат. Бул жерде хәр қандай геометриялық фигуралардың сфералардағы проекцияларын қурыўдың усыллары айқын көрсетилген. Усыған муўапық хәзирги күнде стереографиялық проекциялар усылы кеңнен қолланылатуғын Кристаллография, Минералогия хәм сол сыяқлы илимлердиң қәлиплесиўинде Эл-Ферғаний уллы орын тутты деп есаплай аламыз.

Бул мийнетти үйренген хәр бир адам Эл-Ферғанийдың өзине шекемги хәм өз дәўириндеги уллы илимпазлардың мийнетлерин жақсы билгенлигин анық көреді. «Астролябияны соғыў ҳаққында» ғы китап IX әсирдиң басында жазылған Мухаммед ибн Муўсаның «Тегис хәм шар тәризли фигураларды өлшеў китабында» келтирилип шығарылған геометриялық жаңалықлардың тиккелей даўамы болып саналады.

Эл-Ферғанийдың астрономиялық хәм математикалық мийнетлери өзинен кейин илимниң бул тараўларын раўажландырыў бағдарында зор хызмет етти. Мысал ретинде бизиң уллы жерлесимиз Эл-Берунийдың «Дөңгелектеги хордаларды оларда жүргизилген сынық сызықлардың жәрдемінде анықлаў» мийнетин алып қарасақ болады. Бул китапта Мухаммед ибн Муўса Эл-Хорезмийдың зиджинде (жулдызлар кестесинде) келтирилген әл-Ферғанийдың Қуяштың теңлемесин есаплаў жолы менен анықлаўы ҳаққында}, «Эл-Хорезмийдың зиджиндеги (жулдызлар кестесиндеги) Эл-Ферғаний тәрәпинен есаплаўлар жолы менен келтирилип шығарылған теориялық тийкарлармалардың дурыслығын мениң дәлиллеўим» атлы параграфлары Эл-Ферғанийдың жумысларының қандай дәрежеде илимпазларға белгили болғанлығынан дәрек береді. Эл-Ферғанийдың аспан денелериниң қозғалысын сыпатлаўға мүмкиншилик беретутғын математикалық мийнетлериниң

нәтижелери, әсіресе оның стереографиялық проекцияларды дүзіу бойынша ашқан жаңалықтары Омар-Хайям тәрепинен XI әсирдің ақырында толық пайдаланылды.

Мырза Улығбектің басшылығында жер жүзінде кеңнен тарқалған астрономиялық кестелердің дүзиіуінде де (Астрономиялық Султан-Қурағаний кестелери) Әл-Ферғанийдің астрономиялық хәм соған сәйкес математикалық мийнетлеринің кеңнен пайдаланылғанлығын атап өтеміз.

IX-XVI әсирлерде Әл-Ферғаний менен бир қатарда Орайлық Азия жерлеринен шыққан жүзден аслам илимпазлар жулдызлар хәм басқа да астрономиялық кестелер дүзіушілер, астрономиялық әсбап-үскенелер соғыушылар, астрономия, тригонометрия, алгебра хәм геометрия бойынша теориялық трактатлардың авторлары сыпатында даңққа бөленди. Олардың илимий мийнетлеринің нәтижелери Европадағы қайта тиклениуге пайдалы бағдар болды. Мысалы XV әсирдің екінши ярымындағы пүткил Европадағы белгили математик хәм астроном Иоханн Мюллер 1464-жылы бириншилер қатарында астроном Әл-Ферғаний мийнетлерин пүткил математика илиминің тарийхы сыпатында танып хәм тән алып, бул бойынша университетте лекция оқый баслаған. Бул бизиң жерлесимиздің уллы мийрасларына қаратылған айрықша дыққаттың белгиси, хұрметтің көриниси екенлиги сөзсиз.

## Әл-Беруний

Әл-Беруний жасаған X әсирдің ақыры хәм XI әсирдің биринши ярымы Орайлық Азияда бириншиден мәдениеттің гүллениуі, екіншиден хәр қандай мәмлекетлер арасындағы басып алыушылық бағдарындағы урыс-жәнжеллердің күшейуі менен сыпатланады. X әсирдің екінши ярымына келип пайтахты Гурганж (хәзирги Гөне Үргениш) қаласы болған арқа Хорезм хәм пайтахты Кәт қаласы болған кубла Хорезм мәмлекетлери биртекли рауажланыуға еристи. Кәт қаласында IX әсирде тийкары салынған Баныу Ирак династиясына киретуғын Хорезмшах, ал Гурганжды болса Орайлық Азия мәмлекетлерин VII әсирде басып алған араблар тәрепинен қойылған әмирлер басқарды.

995-жылы Гурганжли әмир Мамун ибн Мухаммед Кәт қаласын бағындарып, Хорезмнің барлық бөлимлерин бириктирди, Хорезмшах өлтирилди, өзін Хорезмшах, ал Гурганж қаласын болса Хорезмнің пайтахты деп дағазалады. Усы дәуірден баслап Гурганжда X әсирдің үлгисинде ири сарайлар курыла баслады, қалада мәдений орайлар қәлиплести хәм бул жерлердеги өткерилген мәжилислерде XI әсирдің ең ири илимпазлары жыйналды. Хорезм аймағында мәдениеттің гүллениуінде Мамун ибн Мухаммедтің улы хәм оның ақлығы Әлий ибн Мамун хәм Әбиу-л-Аббас Мамунлар үлкен орын ийеледи.

Бул ўақытлары Хорезм бир жағынан Самарқандлы Илекханның, екінши тәрептен күдирети өсип баратырған Махмуд Ғазнауийдің қәупи астында турды. Усының ақыбетинде, әсіресе Махмуд Ғазнауийдің Хорезмдеги болып атырған мәдений хәм экономикалық гүллениуди көре алмауынан 1017-жылы бәхәрде Хазарасп қаласындағы Мамунның әскерлери менен тил бириктирип, көтерилис шөлкемлестириу нәтижесинде Хорезмшах өлтирилди. Тахтқа Махмудтың аталасы Абдул-Харис Мухаммед ибн Әлий отырғызылды. Бирақ оның хәкимлик етиуі үш-төрт айдан аспады, 1017-жылы жаз айларында Хорезм ғәрезсизликтен айырылды хәм толық Ғазнауийлердің қол астына өтті.

Тийкарынан басқа еллерди басып алыушылық, талау менен өзіннің сиясатын жүргизген хәм Хиндстан, Иран, Орайлық Азияның бир қанша аймақларын бағындырған Махмуд Ғазнауий 1030-жылы қайтыс болады. Оның орнына әкесинен тек кемшиликли тәрептерин өзине мийрас етип алған улы Масъуд тахтқа келеди. Басып алыушылық сиясаты Ғазнауийлер мәмлекетин хәлсиретип, 1040-жылы Селжуклар тәрепинен кулатылады. Усының себебинен Хорезм қайтадан толық ғәрезсизликке ериседи.

Минекей усындай аўыр, тынышсыз хәм аласапыранлы тарийхый ўақыялардың барысында бизиң уллы жерлесимиз Әл-Беруний кәмалға келди хәм өзиниң өлмес мийнетлерин дөретти.

Әбиў Райхан Мухаммед ибн Ахмед Беруний 973-жылы 4-сентябринде Кәт қаласының қасында туўылды. Оның заманласларының хәм кейинги изертлеўшилердиң пикирлерлерине қарағанда Әл-Беруний исми «Қала сыртынан келген адам» деген мәнини билдиреди. Оның генеалогиясы белгисиз. Әбиў Райхан, Мухаммед ямаса әкесиниң аты Ахмед айқын адам атлары емес, ал Әл-Берунийдиң өзи тәрәпинен ойлап табылған атлар болса керек. Ол ата-анадан толық жетим қалғанлығына қарамастан айрықша зейинлиги хәм китапларға болған интасы арқасында терең билим алыўға ерискен. Сол ўақытлары Хорезмде бир грек илимпазы жасаған. Әл-Беруний оған хәр қандай өсимликлер, туқымлар, мийўелер терип алып келип, олардың атларының грек тилинде қалай аталыўын хәм жазылыўын үйренген. Киши жасларында ол жоқарыда аты аталған Баныў Ираклар династиясына кириўши бир қатар адамлардың дыққатын өзине қаратқан хәм олардың үйлеринде тәрбияланған. Солардың ишинде астрономия хәм математика бойынша әхмийетли илимий жумыслардың авторы Әбиў Насыр Мәнсүр ибн Ирак Әл-Берунийдиң илимпаз болып қәлиплесиўине өзиниң тиккелей тәсирин тийгизди. Ибн Ирак Хорезмшахқа арналған «Шах алмагести», «Азимутлар китабы», «Математикалық тәрбия», «Аспанның шар тәризлиги екенлиги ҳаққында китап» хәм басқа да мийнетлердиң авторы. Бириншилер қатарында ол тегис хәм сфералық үшмүйешликлер ушын синуслар теоремасын дәлилледди. 16 жастан баслап Әл-Беруний сол Ибн Ирактың басшылығында бәхәрги хәм гүзги күн теңлесиў ўақытларында Кәт қаласындағы Қуяштың бийиклигин өлшеген. Бул нәтийжелер изсиз қалған жоқ, ал алымның соңғы жазған китапларында өз орнын тапты. Ал 17 жасына шыққанда Әл-Беруний өз бетинше изертлеў жумысларын баслады.

Тарийхшылар қалдырып кеткен мийрасларға қарағанда, сол дәўирлерде Кәт қаласында әхмийетли саўда жоллары кесилискен, суўы толған арналардың жағаларында бай хәм ири базарлар ислеп турған. Қалада хәр қандай илимий хәм мәдений жаңалықларды алып келиўши хәм хәмме еллерге таратыўшы сырт елли мийманлар көп болған. Мине, сонлықтан да буннан мың жыл бурын ҳәзирги Беруний қаласының орнында турған Кәттиң жер жүзилик әхмийетке ийе сиясий, экономикалық хәм мәдений орай болғанлығы айрықша тилге алынады. Тап усы жағдайлар келтирип шығаратуғын мәселелерди шешиў зәрүрлиги хәм сол ўақытлардағы адамлардың билим дәрежесине болған талаптар Әл-Берунийдиң илимий-дөретиўшилик мийнетине бағдар берди. Алымның мийнетлериниң нәтийжелери ең әўелден баслап-ақ адамзаттың әлемди көриў горизонтларын кеңейтти хәм жер жүзи халықларының ийгиликтери ушын көп әсирлер даўамында хызмет етти.

Жоқарыда сөз етилгендей, 995-жылы әмир Мамун ибн Мухаммед тәрәпинен Кәт басып алынады. Усыған байланысly тахттан түсирилген хәм қазаланған Хорезмшах пенен тиккелей байланысly болғанлығы себепли Әл-Беруний Рей қаласына (хәзирги Тегеранның бир бөлими) қашыўға мәжбүр болады. Усы ўақыяға байланысly алым көп жыллар өткеннен кейин былай жазады (бул мақалада алымның мийнетлеринен үзиндилер хәзирги әдебий тилге жақынластырып аўдарылған): «Хәр қандай бахытсызлықлардан қәуипсизликти хәм тынышлықты үмит еткенликтен алған нәтийжелеримди ядлағаным жоқ. Оларды тек жазып алыў менен шеклендим. Бахытсызлық күтилмегенде басыма түскенде жазыўларымның барлығын хәм мениң тырысып ислеген мийнетлеримниң жемислерин толық жоқ етти»

Рей қаласында жас алым дәслепп хәр тәрәплеме қыйыншылықларға ушырасады. Бирақ, кейиншелик ол сол ўақытлардағы белгили астроном, математик хәм астрономиялық әсбап-үскенелер соғыўшы, хәзирги Тәжикстанның Хожент қаласынан шыққан Әбиў Махмуд әл-Хожендий менен танысады. Ол киси ҳаққында Әл-Беруний «Астролябия хәм басқа да астрономиялық әсбаптар соғыўда өз дәўириндеги айрықша кубылыс» деп жазды. Астрономиялық әсбаптар соғыў бойынша Әл-Хожендийдиң тәлиматы XV әсирдеги

Улығбек обсерваториясындағы секстетти салыўда фундаменталлық тийкар болды. Сонлықтан да Әл-Хожендийди болажақ уллы алымның тәбияттаныў илиминдеги қатаң эксперименталлық усыллардың тийкарын салыўшылардың бири болып жетилисиўине тиккелей тәсирин тийгизди деп есаплай аламыз. Ал Әл-Берунийдің дөреткен илимининң өзи болса, эксперименталлық жақтан қатаң тийкарланғанлығы менен ажыралып турды хәм ылайықлы баҳаланды.

Арадан еки жыл өткеннен кейин әмир Мамун қайтыс болады хәм оның улы, жаңа Хорезмшах Әлий ибн Мамунның шақырыўы менен Әл-Беруний 997-жылы Кәт қаласына қайтып келеди. Тап усы ўақытта оның Бухара қаласында жасап атырған өзинен сегиз жас киши Ибн Сина менен хат жазысыўы арқалы Аристотель тәлиматы бойынша дискуссиясы басланады. Бул хатлардан алымның философия бойынша да терең билимге ийе, пикирлериниң кескин және өткир екенлиги айқын көринеди. Соның менен бирге усы дәўирде Әл-Берунийдің бизге жетип келген дәслепки «Секстат», «Картография» хәм «Астролябия» шығармалары дөретиледи.

Бирақ, Кәт қаласында илим-изертлеў ислерин терең хәм кең түрде жүргизиўге имканият болмады. Бул жердеги орнатылған илимий әсбап-үскенелер Әл-Берунийди қанаатландырмады. Соның ақыбетинде 999-жылдың басында ол өз ўатанын таслап Каспий теңизиниң кубла бойларына кетеди хәм сол жердеги Гурган қаласында өзиниң ең бас муғаллими - астроном хәм шыпакер Әбиў Сахлем Ййса әл-Масихий менен ушырасады. Усының менен бирге Әл-Беруний Гурган хәм Табаристан әмири Зийарид Қабус ибн Ыәшмгирдинң ғамхорлығында болады хәм оған арналған өзиниң көп әсирлер даўамында жер жүзилик әхмийетин жоғалтпаған «Хронология» («Өткен әўладлардан қалған естеликлер») атлы биринши ири шығармасын дөретти. Бул китаптың жазылыўы пүткил Шығыс илими ушын үлкен ўақыя болып есапланады. Сонлықтан да көпшилик тарийхшылар жер жүзи илиминиң раўажланыўындағы ХІ әсирдинң биринши ярымын «Әл-Беруний дәўири» деп әдил түрде атайды.

Гурган қаласында алым тәрәпинен алты жыл даўамында 15 илимий мийнет, соның ишинде 2 китап дөретилди. Бул ўақыт алымның илимдеги жедел түрдеги дөретиўшилик дәўириниң басламасы болып табылады.

1004-жылдың басында Хорезмшах Әлий ибн Мамунның шақырыўы менен Әл-Беруний Гурганж қаласына жумыс ислеўге келеди. Ал 1010-жылдан баслап тахтқа жаңадан отырған Әбиў-л-Аббас Мамун ибн Мамунның илим мәселелери бойынша бас кеңесгөйи сыпатында алым мәмлекетлик ислерге араласады. Соның менен қатар кейинги мийнетлеринде өз сәўлесин тапқан астрономиялық, минералогиялық хәм математикалық изертлеўлерин даўам етеди. Гурганжға Кәт қаласынан математик Әбиў Насыр Ибн Ирак, Бухарадан Ибн Сина, басқа да аймақлардан философ Әбиў Сахл Масихий, шыпакер Әбиў-л-Хасан Хаммар хәм басқа да белгили илимпазлар келип ислеи баслайды. Нәтийжеде бул аймақ Президентимиз И.Каримовтың арнаўлы пәрманы менен 1997-жылы қайта тикленген «Мамун академиясы» деп аталатуғын ири илимий орайға айланады. Әл-Берунийдің «Салыстырмалы салмақлар» («Көлеми хәм салмағы бойынша металлар хәм қымбат баҳалы таслар арасындағы қатнастар ҳаққында китап») атлы мийнети жарық көреді. Бул илимий мийнетте Архимед тәрәпинен ашылған хәм оның аты менен аталатуғын белгили ызам тийкарында ҳәзирги «Материалтаныў» илиминиң сол ўақытлары бизиң үлкемизде раўажланыўына үлкен салмақ қосылғанлығын көремиз.

Гурганж қаласында жасаған дәўиринде Әл-Берунийдің қолында көп сандағы жетилистирилген илимий әсбап-үскенелер болды. Ол өзіндеги диаметри 3 метрлик квадранттың жәрдемінде жүргизген астрономиялық изертлеўлерин тоқтатпады. Гидрологиялық хәм физикалық изертлеўлер менен шуғылланыўды баслады. Бирақ жоқарыда айтылғанындай Хорезмди Махмуд Ғазнаўийдің басып алыўына байланыслы Әл-Беруний 1017-жылдың жаз айларында Гурганжды таслап Ғазна қаласына көшиўге мәжбүр болды. Тутқынлар қатарында болғанлығына қарамастан, ол Ғазнаға өзи менен толық илимий архивин алып

кетеди хәм ол жерге барыуы менен қурамалы және қыйын жағдайлар орын алған болса да, теперишлик пенен изертлеу жұмыстарын дауам етиуге киристи.

Өз гезегиде Махмуд Ғазнауий заманының алдыңғы қатар билимли адамларының бири еди. Ол өз этирапына белгили илимпазларды, шайырларды, саяхатшыларды жыйнаған. Олардың ұазыйпасы тийкарынан Махмуд Ғазнауийдің даңқын мәңгилестириуден ибарат болған. Соның себебинен, мысалы, орта әсирлердеги белгили шайыр Фердаусийдың «Шахнама» шығармасы дүньяға келди. Әл-Берунийдің өзиниң жазыуы бойынша оның семьясындағы ҳаял-қызлар да билимли болған хәм хәтте илимий ислер менен де шуғылланған. Ислам Шығысында биринши рет Махмуд Ғазнауий 1018-1019 жыллары мәмлекетлик медресе салдырған хәм оған көплеген китаптарды, қолжазбаларды жыйнатқан. Соның менен бирге ол ислам динин ендириу сылтауы хәм динсизлерге қарсы ғазәуат байрағы астында қоңсы мәмлекетлерге болған урыстарын тоқтатқан жоқ. Бирақ бул шын мәнисинде басқыншылық урыстары еди. Мысалы 998-1030 жыллар аралығында Махмуд Ҳиндстанға, тийкарынан оның Пенжап хәм Кәшмир үәлаятларына 17 рет топылыс жасады.

Дәслепки ўақытлары Ғазнада Әл-Берунийге салқын қатнас жасалған. 1018-жылы оның ықтыярында ҳеш қандай астрономиялық әсбап болмады. Бирақ, 1019-жылға келип, Әл-Беруний диаметри 4.5 метрге тең жоқары дәлликте өлшейтуғын квадрантқа ийе болды. Бундай әсбап сол ўақытқа шекем оның қолында болмаған еди. Соның менен бирге Әл-Беруний қосымша әсбап-үскенелер соғып алыу мүмкиншилигине де ийе болды. Сонлықтан да, алымның Ғазна қаласындағы өмириниң илимий нәтийжелер менен табыс-лы болыуы ушын қолайлы шараятлар жеткиликли дәрежеде жаратылды деп болжап айта аламыз.

1022-1024 жылларда Ҳиндстанға болған топылыслар дәуиринде Әл-Беруний Махмуд Ғазнауийдің қасында болды, ал 1034-жылы өз ўатанына барып қайтыу мүмкиншилигине еристи. Ол өмириниң қалған бөлимин толығы менен Ғазна қаласында өткерди. Алымның бул қаладағы өмирин төмендегидей үш бөлимге бөле аламыз:

Дәслепки 1018-1029 жылларды «Геодезиялық» дәуир деп атаймыз. 1025-жылы оның жер жүзине таралған «Геодезия» («Елатлы пунктлер арасындағы қашықтықты анықлау ушын орынлардың шегараларын белгилеу») атлы мийнети жарыққа шығып, онда 990-жыллардан баслап жыйнаған хәм өзи тәрәпинен алынған илимий нәтийжелерди улыўмаластырады. Әл-Беруний бул мийнети ҳаққында былай жазады: «Мениң сөзимде (мийнетимде) айтыўға умтылып атырған ақырғы мақсетим... белгили болғай. Егерде оны улыўма түрде алсақ Жердің қәлеген орнының координаталарын шығыс хәм батыс арасындағы узынлық, арқа менен кубла арасындағы кеңлик бойынша, соның менен бирге орынлар арасындағы қашықтықты, азимуттарды бир бирине салыстырып анықлау усылларын баянлау болып табылады».

«Геодезия» мийнети үлкен кирисиу бөлиминен, бес теориялық баптан хәм айқын геодезиялық мәселелерди шешиуге қаратылған мысаллардан турады. Бул китаптың дөреўинде Әл-Берунийдің Жер шарының өлшемлерин анықлау бойынша Ҳиндстандағы Нандна қорғанының қасында өткерген есаплаулары айрықша әхмийетке ийе. Оның алған нәтийжелери бойынша Жер шарының радиусы 6613 км ге тең (хәзирги замандағы қабыл етилген мәниси 6371 км). Усы тийкарда Әл-Беруний хәр қандай қалалардың ямаса берилген орынлардың астрономиялық усыллар менен анықланған кеңлик хәм узынлықлары бойынша сфералық Жер бетиниң қайсы ноқатына сәйкес келетуғынлығын анық айта алды. Бизиң уллы жерлесимиз әййемги грек илиминде дәстүрге айланған адамлар тек ғана Жер шары бетиниң бир шерегинде жасайды деген көз-қарасы менен пүткиллей келиспеди. Европаның батысы менен Азияның шығысының Жер шарының арғы тәрәпи арқалы қандай қашықтықлардан кейин тутасатуғынлығын бахалай алды хәм ол тәрәпте қурғақшылықтың бар екенлигин дурыс болжады. Әлбетте, бул болжау кейинирек дурыс болып шыққан болса да Әл-Берунийди Американы биринши болып ашты деп пикир айтыу ҳақыйқатлыққа сәйкес келмейди.

Әл-Берунийдің «Геодезия» сында Африка материгинің формалары, Балтық, Ақ теңіз, Қытайдың шығыс тәрептері хақында жеке болжауларын сыпатлайды хәм өзинің теңізлер теориясын баянлайды. Бул мийнетте Әмиүдәрьяның Каспий теңизине қуйғанлығы хақында мағлыұматлар келтирилген. Сондай-ақ кітапта Әл-Берунийдің 990-жыллары Жердің ярымшар түріндегі моделин (ярым глобусты) дәреткенлигин жазады. Солай етип уллы алымымыздың дүньяда биринши болып глобусты соққанлығы хақында мағлыұматқа ийе боламыз.

Орта әсирлердегі пүткіл араб географиясы бойынша әдебиетте Әл-Берунийдің «Геодезия» хәм басқа да мийнетлерінде баянланған география салмақлы орын тутады.

Ғазна қаласында алымымыз тәрөпинен 1030-жылы жарыққа шығарылған хәм Жер жүзи илими менен пүткіл адамзат мәдениатында көрнекли орын тутатуғын мийнет «Ҳиндстан» (толық аты «Ақылға муўапық келетуғын ямаса бийкарланатуғын хиндлерге тийисли тәлиматларды түсиндириў») деп аталады. Бул кітапты жазыў ушын материалларды алым Ҳиндстанға болған сапарында, сондай-ақ Махмуд Ғазнаўийдің әскерлерине тутқынға түскен илимпазлардан, әскербасылардан хәм басқа да саўатлы адамлардан жыйнаған. Бул хақында Әл-Беруний «Мен мүмкиншилигине қарай өзимнің барлық күшимди хинд кітаптарын табыўға хәм сол кітаптар жасырылған орынларды билетуғын адамларды излеўге жумсадым» деп жазады.

Ҳинд илими менен мәдениаты жер жүзи илими менен мәдениатының раўажланыўына әйдем заманлардан берли өзинің унамлы тәсирин тийгизип келди. Солардың ишинде, мысалы, хәзирги ўақытлары пүткіл жер жүзинде қабыл етилген араб цифрлары деп аталатуғын цифрлар (тоғыз цифрға хәм нолге тийкарланған онлық система) шын мәнисинде VII әсирлерде толық қәлиплескен, соңынан деслеп арабларға, кейиншелик европалыларға таралған хинд цифрлары болып табылады.

Әл-Берунийдің «Ҳиндстан» мийнетинде Ҳиндстанның руўхый мәдениатының өзгешеликлерин баянлаў тийкарғы орынды ийелейди. Бул жерде автордың хиндлердің географиялық хәм космологиялық көз-қараслары менен толық таныс екенлиги қәлеген оқыўшыны таңландырады. Кітаптың 80 бабының хәммесинде де Әл-Беруний өзинің улыўма ескертиўлеринен кейин көп сандағы хинд авторларының жумысларынан үзиндилер келтирип, оларды мусылманлардың, әйдемги греклердің, иранлылылардың, қытайлылардың хәм басқа да халықлардың теориялары хәм өзинің жеке пикирлери менен салыстырады. Усындай жоллар менен илимди түсиндириўдің, басқа халықларға жеткизиўдің әхмийетин хеш нәрсе менен салыстырып болмайды.

Әл-Беруний «Ҳиндстан» кітабы менен бир қатарда 1029-жылы «Жулдызлар хақында илим» деген мийнетин де жазып питкерди. Бул кітап астрономия менен астрологияны үйрениўшилер ушын оқыў куралы болып табылады хәм сол ўақытлары әхмийетли болған 530 сораўға жуўапты өз ишине қамтыйды. Ең қызығы соннан ибарат, автор бул мийнетин өзинің ана тили болған хорезм тилинде емес, ал араб хәм парсы тиллеринде жазған хәм олар бизиң дәўиримизге шекем толығы менен келип жеткен. Әл-Беруний усы кітаптың кирисиў бөлиминде «Әл-Беруний айтты: оқыў хәм қайталаў арқалы әлемнің дүзилисин билиў хәм аспанның, Жердің фигурасы қандай, олар арасында не бар екенлиги үйрениў жулдыз санаў өнери ушын жүдә пайдалы. Өйткени усындай жоллар менен тәлим алған адам ғана бул өнер менен шуғылланыўшылардың пайдаланатуғын тилин үйренеди хәм сөзлеринің мәнисине түсинеди. Бул өнердің хәр қандай себеплерин хәм дәллилеўлерин үйренип оған еркин ой жуўыртыў арқалы қатнас жасайды. Сонлықтан бул кітапты әл-Ҳасанның қызы хорезмли Райханға оның өтиниши бойынша түсиниў жеңил болыўы ушын сораў-жуўап түрінде дүздим...» деп жазған.

Оқылыўы жеңил бул кітапта алымның данышпанлығы айрықша дәрежеде көринеди. Кітап «Геометрия», «Арифметика», «Астрономия», «География», «Астрологиялық астрономия», «Астрология» хәм басқа да бөлимлерден турады және өзинің көрсетпелилиги менен хәр бир оқыўшыны таңландырады. Мысал ретинде «Қус жолы деген не?» деген мазмундағы 167-сораўды алып қараймыз. Жуўапта Қус жолының сыртқы формаларының

қандай екенлігін хәм қандай жұлдызлар топары арақалы өтетугынлығын айта келип «Аристотель Қус жолын түтин түрінде шашыраған оғада көп сандағы жұлдызлардан турады деп есаплады, оларды хаўадағы думанлар хәм бултлар менен салыстырды» деп жазады. Бул мысал данышпан алымымыздың хақыйқатлықты дурыс көре хәм бақалай алғанлығын айқын дәлиллейди.

1030-1037 жыллар Әл-Беруний өмириниң дөретиўшилиқ дәўириниң ең жоқарғы шыңы болып табылады. Бул дәўирде тахтта Махмудтың улы Масъуд отырды. Елде Әл-Берунийге деген исеним хәм хұрмет артты. Оған жемисли мийнет етиўи ушын толық жағдайлар жаратылды. Усы ўақытлары ол өзиниң ҳеш қашан әхмийетин жоғалпайтуғын астрономия хәм математика бойынша энциклопедиялық мийнет болған «Масъуд канон» ын жаратты. Әлбетте, 1030-жылы 57 жасқа шыққан алымның өзи астрономиялық хәм басқа да өлшеўлер менен тиккелей шуғыллана алған жоқ. Ол бул дәўирде тийкарынан өзиниң заманына шекемги илимди (китапта 490 алымның бул тараўдағы жумыслары хаққында мәлимлеме келтирилген), жас ўақытларында алған илимий нәтийжелерин улыўмаластырды хәм келеси әўладлар ушын китаптар түрінде мәңги мийрас болатуғын естеликлер қалдырды.

Дүньялық илимий әдебиятта адамзат тарийхында тәбияттаныў бойынша шыққан хәм оның буннан былай раўажланыўына өзиниң тиккелей тәсирин тийгизген ең әхмийетли еки-үш мийнеттиң биреўи грек илимпазы Клавдий Птолемейдиң бизиң эрамыздың II әсиринде жазылған «Алмагест» китабы болып есапланады деп айтыў қабыл етилген. Бирақ, әдиллик ушын «Масъуд каноны» ның «Алмагест» тен мазмунының тереңлиги, келтирилген илимий нәтийжелердиң кеңлиги, анықлығы хәм дәллиги бойынша анағурлым жоқары туратуғынлығын айрықша атап өтемиз. Соның себебинен, мысалы, арадан 200 жыл өткеннен кейин дүньяға белгили араб географы Якут «Масъуд каноны» ның жер бетиндеги математика хәм астрономия бойынша барлық китаптарды алмастырғанлығын, ал авторының әхмийетиниң Птолемейдиң жер жүзи илиминде тутқан әхмийетинен де асып кеткенлигин дәлилlep көрсетти.

Китаптың кирисиў бөлиминде автор былай жазады «Мен барлық ўақытта математиканың бир тараўы менен (астрономия менен - Б.Ә.) тығыз байланыста болдым, оған жармастым, оған өзимди бағышладым. Бул тараў мени дүньяға келиўимнен баслап-ақ үзликсиз қызықтырды. Сонлықтан өзимди даналық мөри басылған Масъудтың китап-лар байлығына хызмет етиўимди, Масъудтиң абырайлы, бийик аты менен аталатуғын астрономия өнери бойынша канонды дүзиў керек деп таптым... Бул китап басқа жазба естеликлер арасында ең көп жасайтуғын хәм егер ығбал алып бара қойған жағдайларда Жер жүзиндеги хәмме орынларда пайдаланыўға жарайтуғын қолланба болады.

... Хәр кимге өз тараўы бойынша не ислеўи керек болса мен де сол жол менен жүрдим. Өзиме шекемги илимпазлардың мийнетлерин хұрмет пенен қабыл еттим, қәтеликлери табылған жағдайларда тартынбай дүзеттим.... Мен уллы хәм мәртебели Алла-таалаға усы нийетимниң әмелге асыўында мени қоллаўын хәм дурыс жол көрсетиўин сорап табынаман. Хәр бир инсанның тәбиятына тән болған қәтеликлер жиберийден сақлағай деп Аллаға сыйынаман».

Китапта тийкар етип алынған көз-қарас бойынша «Дүнья тутасы менен алғанда ишки бөлими қозғалмайтуғын шекли сфера тәризли дене... Шеңбер бойынша қозғалатуғын дүньяның бөлимин жоқары дүнья, ал туўры сызық бойынша қозғалатуғын дүньяны төменги дүнья деп атаўға болады... Шеңбер бойынша қозғалыўшы денелердиң жыйнағын улыўма түрде эфир деп атаймыз... Эфир жети планета бойынша бири бирине тийип туратуғын жети сфераға бөлинеди. Жети сфераның үстинде барлық қозғалмайтуғын жұлдызлар орналасқан сегизинши сфера жайласады.

Хәр бир планета дүньяны тәртипке салып турыўшы жаратыўшының күдиретлилиги хәм даналығы менен дөретилген хәм өзлери ушын анықланған ўазыйпаларды орынлаў ушын дүньяда орнатылған ызамлар бойынша қозғалып жүреди», - деп жазады алымымыз.



Әл-Беруний барлық мийнетлерінде, соның ишінде айрықша «Масъуд каноны» кітабында өзіне шекем қәлиплескен төмендегидей космологиялық жағдайларды толық қабыл еткен: аспан өзінің пишинлери бойынша да, қозғалысы бойынша да сфералық, Жер өзінің формасы бойынша сфера тәрізлі, Жердің орайы пүткіл Әлемнің орайына сәйкес келеді, аспан сферасының өлшемлеріне салыстырғанда Жердің өлшемлери сезилерліктей үлкен емес, Жердің өзі хеш қандай қозғалысқа қатнаспайды, аспанда батыстан шығысқа қарай хәм шығыстан батысқа қарай болған қозғалыстардың екі түрі әмелге асады.

Әлбетте, хәзирги заман көз-қарастары бойынша біразы надурис болған бундай космологиялық жағдайлардың алым тәрәпинен қабыл етилиуи физика илиминдеги қозғалыс ызымларының ол дәуірде еле ашылмағанлығының себебинен болып табылады. Бул ызымлар Әл-Беруний заманынан алты әсирден соң белгилі астрономлар Н.Коперниктің гелиоорайлық системасы және И.Кеплердің аты менен аталатуғын планеталардың қозғалыс ызымлары табылғаннан кейін XVII әсирде И.Ньютон тәрәпинен толық ашылды хәм пүткіл тәбияттаныуды дурис жолға салды. Бирақ, бундай жағдай алымның буннан дерлік мың жыл бурын жазылған мийнетинің қунын, гөззаллығын, адамларды өзіне тарта алыу қәбилетлилігін хеш қандай төмендете алмайды.

Ғазнауийлер мәмлекети қулағаннан кейінги 1040-1048 жыллары Әл-Беруний Ғазна қаласын таслап кеткен жоқ. Бул ақырғы дәуір оның дәрәтиушилиқ энергиясының төменлеуі, кекселиктің басланыуы, денсаулығының, әсиресе көзлерінің көриуінің пәсейіуі дәуіри болды. Алым астрономия илими менен шуғылланыуды пүткіллей тоқтатты, ал оның орнына минералогия хәм фармакогнозия бойынша жұмыстарға тийкарғы дыққатты қаратты. Нәтижеде Әл-Беруний бул уақытлары адамзат тарихының өлмес естеликлери болып қалған «Минералогия» (толық аты «Қымбат бағалы затларды таныу үшін арналған мәлимлемелердің жыйнағы») хәм «Фармакогнозия» («Медициналық дәрилер хәкқында кітап») мийнетинлерін дәрәтте. Алым шапакер болған жоқ, соның менен бирге дәрилік қәсийетлери болған өсимликлердің, басқа да затлардың адам организмине тәсири хәкқында пикирлерін жазған жоқ. Ал «Фармакогнозия» болса Әл-Беруний заманына шекемги дәрилік затлар хәкқындағы жер жүзилик тәлиमतты қамтытуғын энциклопедиялық мийнет болып табылады.

Өмиринің ақырғы күнлеріне шекем Әл-Беруний 140 тан асламырақ мийнет жазды. Солардың ишіндеги 113 мийнеттің дизимін 1036-жылы өзі жазып қалдырды хәм бул дизим бизің дәуиримізге шекем жетіп келді. Хәзирги әуладтың қолларына келип жеткен мийнетлерінің саны 26 хәм олар алымның ең әхмийетли шығармаларын қурайды. Хәзирги күнлери Әл-Берунийдің мийрасларын ізлеп табыу және қайта тиклеу жұмыстары жер жүзи масштабында жүргизилип атыр.

Әл-Беруний 60 жылдай жемисли мийнетинен кейін 1048-жылы декабрь айында Ғазна қаласында 75 жасында Масъудтың улы Мәудиттің кишкене ғана сарайында қайтыс болды. Алымның өмиринің ақырғы саатлары хәкқында төмендегидей тарихый мағлыұматлар бар.

Хәзирги жыл есаплау бойынша 1048-жылы 11-декабрь күні кеште оның жағдайлары төменлеген хәм усыған байланысly сарай хызметкери Әбиұ Фазылға Әбиұ Хәмидти тез шақырыуды сораған. Ол ақыл-хушын жоғалтпай, толық санасында қайтыс болған. Әтирапындағылардың жыллы жүзилик пенен атларын айтып, оларға жақсы тилеклер тилеген. Әл-Берунийдің алақанына шекесін тийгизген қазы Әбиұ Хасан Ұәлұәлийжийден «Хийлекерлік жоллар менен табылған пайданы есаплау усыллары хәкқында сен маған бир уақытлары не айтқан едиң?» деп сораған. Усы сорауды еситкен Әбиұ Хасан Ұәлұәлийжий «Усындай аұхалда турып сорап атырсаң ба?» деп таңланған. Ал Әл-Беруний болса «Усы нәрсени билип болып бул дүньядан кетиу дүньядан надан болып кеткеннен жақсы ғо». Алымның усы гәпин еситип хәмме күлген, ал Әл-Беруний болса көзін ақырғы рет жумған.

Өмириниң ақырында оның бийтаплық хәм аўыр халынан хабардар болғандай илимпаздың я бала-шағасы, я ағайин-туўғаны болған жоқ. Алымымыздың қадир-қымбатын билген аз сандағы сарай илимпазлары, басқа да алдыңғы қатар адамлар оны ең ақырғы жолға шығарып салды хәм басына елеспесиз мақбара орнатты. Ыақыттың өтиўи менен бабамыздың қәбири умытылды.

Солай етип бизиң аты әлемге белгили алымымыз ақырғы деми жеткенше өзин илимге бағышлады. Оның несийбесине аўыр өмир тийди. Жаслық шағы киси есигинде, өмириниң қалған бөлегиниң дерлик барлығы патшалар, ханлар сарайларында өтти. Сонлықтан да Өл-Беруний бабамыз кейинги әўладқа өзиниң китапларынан басқа хеш нәрсе де қалдыра алмады.

## УЛУҒБЕК ХӘМ АСТРОНОМИЯ

### I. УЛУҒБЕККЕ ШЕКЕМГИ АСТРОНОМИЯ

Астрономия ең әйемги илимлер қатарына жатады. Оның пайда болыўы биринши ге-зекте дийханшылық пенен байланысly. Егинди егиў басланатуғын хәм тамам болатуғын йақытларды дәл билиў зәрүрлиги астрономияның пайда болыўына хәм раўажланыўына алып келди. Жылдағы күнлердиң санын, мәўсимлердиң алмасыўын билиў дәслепки астрономлардың тийкарғы мәселеси болды. Соның менен бирге бизди қоршап турған Өлемниң (дүньяның) қурылысын, сырларын ашыў адамзаттың ең әйемги заманнан берги алдына қойған мақсетлериниң бири болып табылады. Бул тараўдағы изертлеўлер мәңги даўам ете береди.

Әйемги астрономияның хәм астрономлардың хызмети хәзирги Елликқала районының территориясындағы Қойқырылған қаланың мысалында айқын көринеди (бул қала бизиң эрамыздан бурынғы IV-III әсирлерде салынған). Қаланың ең үстинги орайлық бөлиминиң қурылысы басқа да жерлерде ашылған обсерваторияларды еске түсиреди. Бул жердеги айналардың орналасыўы тийкарынан Қуяш менен Айды жыл даўамында бақлаў ушын қолайластырылған. Қаланы қазыў барысында әйемги бизиң жерлеслеримиз тәрeпинен қолланылған мүйеш өлшейтуғын әсбаплардың (астролябияның) қалдықлары да табылған.

Қарақалпақстанның түслик районларында жүргизилген археологиялық изертлеўлер әйемги Хорезмде раўажланған, дерлик хәмме қалаларда да астрономиялық бақлаўлардың жүргизилгенлигин, бул жумыслардың тийкарынан дийханшылық ушын хызмет еткенлигинен дерек береди. Тилекке қарсы бул жерде алынған нәтийжелер, усы нәтийжелердиң дәллигиниң дәрежеси хаққында бизге хеш нәрсе мәлим емес.

Әйемги Хорезм менен қатар астрономия әйемги Грецияда үлкен пәтлер менен раўажланды. Бул жерде де бақлаўлар тарийхынан дийханшылықты өз йақтында жүргизиў, дәстүрге енген күнлерди дәл белгилеў, қурақлықта, теңизде турған орынды дәл анықлаў мәселелерин шешиў зәрүрлигиниң бар болыўының салдарынан алып барылды. Биз төменде Грециядағы бақлаў астрономиясы деп аталатуғын астрономияның раўажланыў барысы хәм оның араб еллериндеги, Мавереннахрдағы астрономияның раўажланыўына тәсирин баянлаймыз.

Тарийхта аты қалған хәм өзиниң изертлеўлериниң нәтийжелери менен белгили грек илимпазларының ең жасы үлкенлериниң бири математик-астроном Пифагор (бизиң эрамыздан бурынғы шама менен 580-500 жыллар) болып табылады. Ол тәжирийбелери хәм күнделикли жүргизген бақлаўларының нәтийжелери бойынша есаплаўлар тийкарында Жердиң шар тәризли екенлиги хаққында пикир айтты. Системалы жүргизилген бақлаўлар хақыйқатында да Жердиң шар тәризли екенлигин көрсетеди. Мәселен, теңиздеги корабл-лер жағадан қашықлаған сайын дәслеп оның төменги корпусы, кейнинен желқомлар көриниў майданынан жоғалады. Усыған сәйкес келетуғын кубылыс Ай тутылғанда да

бақланады. Айдың бетіндегі саясына қарап Жердің шар тәрізлі екенлігіне көз жеткізіуі мүмкін. Бұндай пікірге астрономиялық бақылаулар менен шұғылланған әйемгі Хорезмлік астрономдардың да келіуі тәбйғый нәрсе.

Пифагор хәм оның ислерин дауам еттирушілер Жердің өлшемлерин, Жер менен басқа планеталар арасындағы қашықтықтарды да анықлады. Мәселен, олар Жер менен қозғалмайтуғын жұлдызлар сферасы арасындағы қашықтық ушын 140 000 км шамасын алды. Бул нәтижеден Пифагоршылар ушын дүньяның жүдә тар болып шыққанлығын көремиз.

Пифагордың ислерин дауам етиушілер Әлемге болған көз-қарасларды әдеуір рауажландырды. Мысалы, бизиң эрамыздан бұрынғы III әсирде жасаған Гераклит Понтийский Меркурий хәм Венера планеталары Қуяштың дөгерегинде, соның менен бирге олар Жердің дәслепки геогелиоорайлық (дүньяның орайына бир ўақытта Жерди де, Қуяшты да қоятуғын система) система болып табылады.

Белгили әйемгі грек илимпазы Платонның (бизиң эрамыздан бұрынғы 428-347 жыллар) пикири бойынша Әлем орайы Жер есапланып, ол жалғыз, тири хәм жетилискен сфера болып табылады. Жер өзиниң көшери дөгерегинде айланады. Планеталар өзлериниң сфераларына бекитилген болып, олардың реңлери сфералардың реңлерине сәйкес келеди. Платон сфералардың Жердің дөгерегинде айланыу тезликлери хаққында да пикирлер жүритти. Оның тәлиматы бойынша аспан денелериниң Жердің дөгерегиндегі қозғалысы шеңбер тәрізлі, тең өлшеули болады.

Платонның тәлиматын оның оқыушысы Аристотель (бизиң эрамыздан бұрынғы 384-322 жыллар) рауажландырды. Оның пикири бойынша барлық ауыр денелер Әлемнің орайы болған жерге тартылады. Жердің бетінде су, оның үстінде хауа, ал хауадан да жоқарыда от жайласады. Оттан да жоқарыда эфир деп аталыушы орталық болып, барлық аспан денелери (соның ишинде Қуяш та) сол эфирден турады. Аристотельдің пикири бойынша Қуяш от емес, ал эфирдің үлкен жыйындысы. Кометалар (куйрықлы жұлдызлар) тек ғана өтип кетиуши кубылыслар болып, олар атмосферада пайда болады хәм жоқ болып кетеди. Хақыйкатында да хәзирги көз-қарас бойынша көпшилик кометалар өткинши космослық денелер болып табылады. Олардың тек ғана айырымлары Қуяштың дөгерегинде астрономиялық масштаблар бойынша қысқа ўақыт ишинде (миллионлаған жыллар) эллипс тәрізлі орбита бойынша жүзлеген, мыңлаған рет айланбалы қозғалыс жасап өмирин тамам етеди (мысалы белгили Галлей кометасы). Қалғанлары Қуяштан 10-30 млрд км қашықтықта (Оорт кометалар қоры) деп аталатуғын температурасы оғада төмен сфералық кеңісикте музлатқышта сақланып атырғандай болып Қуяш системасы менен бирликте жасайды. Әлбетте, Аристотель заманы ушын бұндай жағдайларды билиу мүмкиншилиги жоқ еди.

Аристотель бириншилер қатарында Жердің өлшемлерин анықлады. Оның нәтижеси бойынша радиус 10032 км болып хақыйқый мәнисинен 1,6 есе артық. Қалай деген менен Аристотель заманы ушын басқа астрономиялық шамаларды анықлауда үлкен әхмийетке ийе болды. Бул исте грек математиги хәм астрономы Эратосфен (бизиң эрамызға шекемги 276-194 жыллар) үлкен табысқа еристи.

Эратосфен жаздың ең узын күни Қуяштың нурлары тал түсте хәзирги Асуанда тик бағытта, ал Александрияда тик бағыттан 7 градус 12 минутқа ауысатуғынын өлшеп билди. Асуан менен Александрияның ара қашықтығының 5000 Египет стадиясына тең екенлигин есапқа ала отырып Эратосфен Жер шарының радиусының 6290 км екенлигин тапты (хәзирги астрономия бойынша экватордағы радиус 6378,39 км)<sup>49</sup>.

Планеталардың көринерлик қозғалысларын түсиндириудің қыйынлығынан Аристотельге аспан денелерин орналастыруу ушын жаңа сфералар зәрүр болды. Сонлықтан да сфералардың санын ол 55 ке жеткерди. Астрономия хрустальдан исленген мөлдір сфералар хаққындағы надурис түсиник пенен әдеуір курамаласты.

<sup>49</sup> Белгили астрофизик Стивен Хокиннің тастыйықлауы бойынша 1 стадияның (стадийдің) неге тең екенлиги анық белгили емес.

Астрономия тарихы менен қызығатуғын адамлардың дерлік барлығында “Неликтен әйемги греклер, орта әсирлердегі Ислам мәмлекетлерінің илимпазлары, Уллы Беруний, Улуғбеклер астрономия илиминдегі билимлерінің дәрежесіне, қолланған изертлеу ұсылларының дәллігінің жеткілікті болуына қарамай дүняның орайына Жерді орналастырды?” деген тәбйғый сорау пайда болады. Тарихый дереклерге сүйенетуғын болсақ бул жерде диннің үлкен ролиннің болғанлығын көреміз. Диний фанатизм хәм соннан келип шығатуғын Жер дүняның орайы деген түсиник астрономларға бизиң эрамыздың XVI әсирине шекем Жердің Әлемде тутқан орны, оның Қуяштың дөгерегинде айланатуғынлығы (бундай системаны гелиоорайлық айтыуға мүмкіншилик бермеді. Сонлықтан Жерді дүняның орайы деп келген көз-қарасты бийкарлау илимде революциялық әһмийетке ийе. Илимдегі бундай революцияны Польша илимпазы уллы Николай Коперник XVI әсирдің биринши ярымында ислеі.

Аспан денелерине шекемги аралықларды есаплау мәселесі менен ең дәслеі грек илимпазы Аристарх Самосский (бизиң эрамыздан бурынғы шама менен 310-250 жыллар) шуғылланды. Ол бириншилер қатарында Жер менен Ай арасындағы қашықтықты есаплады. Аристарх есаплауларының тийкарында төмендегідей нәтижелер кирді: Айға жақынлық Қуяш тәрепинен түседі. Жер Айға салыстырғанда нуқта хәм орай болып табылады. Ай тууылғаннан 14 күн өткеннен кейингі оның қараңғы хәм жақты бөлімлерін бөліп туратуғын сызық бизиң көзіміз арқалы өтетуғын тегісликте жатады. Жердің саясына екі Айды жайғастыруға болады. Нәтижеде Аристархта Айдың радиусы ушын Жердің радиусынан шама менен екі еседей кем шама алынды. Бул бақлаулар тийкарында Аспан денелерінің өлшемлері ушын алынған дәслеікі нәтижелердің бир еді.

Грек илимпазларының ишиндегі дин тәрепинен ең үлкен жәбир көрген адам Аристарх Самосский болып табылады. Ол биринши болып дүняның орайына Қуяшты орналастырды хәм соның нәтижесінде өзіннің заманласлары тәрепинен “еси онша дурыс емеслер” қатарына шығарылады. Басқа астрономлар тәрепинен Аристархтың идеясы есапқа алынбады хәм ұмытылып кетті. Аристархтың дүняның орайына Қуяшты қойу хәкқындағы тәліматы бизге Архимедтің “Құмның түйірлерін есаплау” мийнетинен мәлім болды.

Әйемги грек илимпазларының ишинде астрономияның рауажланыуына салмақты үлес қосқанларының бири Архимед (бизиң эрамыздан бурынғы 287-212 жыллар) болып табылады. Ол Сицилияда тууылған, Александрияда оқыды хәм сол жерде Эратосфен менен танысты. Архимед бақлаулары хәм сол уақытқа шекемги астрономиялық билимлер тийкарында дүняның орайы Жер болған гео-гелиоорайлық системасын ислеі шықты. Бул система Меркурий, Венера хәм Марс Қуяштың дөгерегинде, ал Қуяш солар менен бирге, Юпитер хәм Сатурн Жердің дөгерегинде айланады. Усы айтылғанлар менен қатар Меркурийдің, Венераның хәм Марстың салыстырмалы радиустары хәкыйқый мәніслерине жақсы сәйкес келеді.

Биз жоқарыда астрономия илиминдегі өлшеулердің дәллігінің бизиң эрамыздың басына шекем әстелик пенен жақсыланғанлығын көреміз. Хәзиргі уақытлары астрономияны Гиппархтан (бизиң эрамыздан бурынғы 185-125 жыллар) баслап «дәл илимге» айланды деп есаплау қабыл етилген. (Тилекке қарсы бизлердің көпшилигіміз “дәл” “яма” “дәл емес” илим деген қолайсыз хәм көп узамай жоқ болып кететуғын түсиникке үйренгенбіз. Илимнің “дәллігін” сол илим менен шуғылланыушы адам жақсы биледі. Нәтижелері хәкыйқатлыққа сәйкес келмей қала беретуғын “дәл емес илимлер” ден бас тартатуғын уақытлар әллі қашан ақ келді). Гиппарх бириншилерден болып системалы түрде астрономиялық бақлаулар жүргізді хәм алынған нәтижелерді математикалық жақтан терең талықлау жасады. Ол Қуяш пенен Айдың қозғалыс теориясын дүзді, Қуяш пенен Айдың тутылуларының уақытын анықлау ұсылын тапты хәм сфералық астрономияның, тригонометрияның тийкарларын дүзді.

Гиппарх Туркияда тууылды, Александрияда оқыды хәм жасады, Родос атауында обсерватория салды хәм өзіннің бақлауларын өткерді. Ол биринши рет жулдызлық жыл (Жердің белгіленген жулдыздың тусынан екі өтуі арасындағы уақыт) хәм тропикалық

жылдың ұзындығы 365 күн 5 саат 55 минут 16 секунд айырмасын тапты хәм оның процессияның себеби екенлигин түсіндірди. Гиппарх бойынша тропикалық жылдың ұзындығы 365 күн 5 саат 55t минут 16 секунд хәм жұлдызлық жылдан 20 минутқа кем. Хәзирги мусылманша деп аталатуғын айдың ұзындығы Гиппархта 29 күн 12 саат 44 минут, 2,5 секунд болып шықты. Бул хәзирги ўақыттағы қабыл етилген мәнисинен 0,3 секундқа кем. Гиппархт күннің хәм айдың көзге көринбейтуғын қозғалысларының тең өлшеўли емес екенлигин анықлады хәм кубылысты олардың орбиталары орайының Жердің орайы менен сәйкес келмегенлигинен деп түсіндірди. Усы тийкарда ол Қуяш пенен Айдың жылдың қалеген ўақытындағы аспандағы орнын анықлаўға мүмкиншилик беретугын аспандағы орнын анықлаўға мүмкиншилик беретугын кесте ислеп шықты. Ал планеталардың қозғалысы жөнинде Гиппарх хеш нәрсе ислеми. Гиппархтың мийнетлериниң нәтийжесинде астрономлар аспанды орап туратуғын планеталар хәм жұлдызлар бекитилген сфералар хаққындағы дурыс емес пикирден қутылды.

Бизиң эрамызға шекем дәл илимге айланған астрономияның Европадағы раўажланыўы астроном-математик Клавдий Птоломейдің (бизиң эрамыздың 90-168 жыллары) жумысларында ең жоқары дәрежеге жетти. Оның 13 кітаптан туратуғын “Астрономия бойынша математикалық трактаты” атлы мийнети адамзат мәдениаты тарийхының ең уллы естеликлериниң бири болып табылады. Дәслепп бул кітап автордың жазыўы бойынша “Мегале синтаксис” деп аталады. Хәзирги ўақыттағы бул кітаптың аты “Альмагест” араб астрономларының тәсиринде пайда болған. Типографиялық усыл менен бул мийнет биринши рет латын тилинде араб тилинен аўдарма ретинде қайтадан басылды. Немец тилинде “Альмагест” Лейпцигте 1912 хәм 1963 -жыллары басылды.

“Альмагест” рус тилине де аўдарылды хәм 1998-жылы жарық көрди (Москва. «Наука» баспасы. 1998. 672 бет)

“Альмагест” тиң автордың өмирбаяны хаққында мағлұматлар жүдә кем. Тек ғана оның Египетте туўылғаны, 127-141 жыллары Александрияда бақлаўлар жүргизгени хәм шама менен 168-жылы қайтыс болғаны белгили. Сонлықтан көпшилик авторлар К.Птоломейди Александриялы илимпаз деп те атайды.

Клавдий Птоломей дүньяның геоорайлық системасы тийкарында өзиниң астрономиялық изертлеўлерин жүргизди. Ол өзинен бурынғы астрономлардан үлкен мйрас алды, бизиң эрамызға шекем астрономиялық әспаблар (тийкарынан мүйешти өлшейтуғын) бираз жетилистирилди.

Птоломей бойынша хәр бир планета эпицикл деп аталатуғын киши шеңбер бойынша тең өлшеўли қозғалады. Эпициклдың орайы өз гезегинде деферент деп аталатуғын үлкен шеңбердің бойы бойынша қозғалады. Усындай жоллар менен Птоломей планеталардың Жерден қарағанда бақланатуғын курамалы қозғалысларын түсіндірди.

“Альмагест” тиң жетинши хәм сегизинши кітапларында бизиң күнлеримизге шекем жеткен ең әйемги жұлдызлар кестеси келтирилген. Бул кестеде хәрқандай дереклерге сүйенип 1022 ден 1030 ға шекем жұлдыздың дизиминен турады деп айтыў мумкин. Егерде кестеде келтирилген барлық жұлдызды санасаңыз 1027 келип шығады. Бирақ солардың бесеўи белгили жұлдызды еки рет қайталаўдан пайда болған. Кейинирек және бесеўиниң жұлдыз емес, ал думанлық (галактика) екенлиги мәлим болды. Сонлықтан хәзирги ўақытлары Птоломейдің жұлдызлар кестесинде 1017 жұлдыз бар деп анық айта аламыз.

Птоломей кестесиндеги жұлдызлардың көпшилиги жоқарыда айтылған Гиппарх бақлады. Сонлықтан кестениң тийкарғы авторы ретинде Гиппархты қабыл етиўимиз керек. Екиншиден, Птоломей өзи бақлаған жұлдызлардың координаталарын өлшегенде тийкарғы салыстырыў ушын қабыл етилген жұлдыздың координаталары ретинде қәте санларды қабыл етти. Үшиншиден, Птоломей Гиппарх тәрөпинен анықланған жұлдызлардың ұзынлық координатасына прецессия кубылысына киргизилетуғын дүзетиў ретинде тийкарсыз 1 мүйешлик градустан қосып шықты. Бул астрономия тарийхында исленген үлкен жынаят еди. Бундай қәтеликлер биринши рет Птоломей тәлиматы бойынша 509-жылы 17-июль күни бақланыўы керек болған Марс пенен Юпитердің бир-бириниң

артына жайласуының 13-июль күні бақланғанынан табылды. Бірақ усындай жағдайларға қарамай Птоломейдің абыройының себебинен мыңлаған жыллар дауамында “Альмагест” те келтирилген санлар дурыс деп қабыл етилип келді.

Қалай деген менен К.Плотомей өзінің “Альмагести” менен астрономия тарийхында үлкен естелик қалдырды. Әдиллік ушын адамзат тарийхында тәбияттаныу бойынша шыққан ең әхмийетли еки-үш мийнеттиң ишиндеги биреуінің “Альмагест” екенлигин айтып өтиуимиз керек.

Птоломей астрономиясы сол уақытқа шекемги астрономияның шыңы болып табылады. Оның аты менен әйемги Грециядағы аспан денелерінің қозғалыс нызамлықлары хаққындағы илим питеди. Бизің әсиримиздің басында хәуиж алған христиан дини Европада илимнің буннан былайғы рауажланыуына үлкен зиянын тийгизди.

Астрономияның буннан былай рауажланыуы Араб еллерине хәм Орайлық Азияға өтті.

Араблар VII әсирден баслап әтирапындағы мәмлекетлерди басып алыу хәм ислам дини ендириу менен шуғылланды. Жуз жылдың ишинде олар Сирияны, Иранды, Арка Африканы, Периней ярым атауын хәм Орайлық Азияны бағындырды. 712-жылы араблар тәрепинен Хорезм бағындырылды. Дәслеппи уақытлары басып алынған халықлардың мәдений естеликлери жоқ етилди, илимпазлар кууғынға ушырады. Бірақ көп узамай аұхал өзгерди. Араблар жергиликли мәдениетти өзлестирди. Араб мәмлекетінің пайтахты Багдад илимий ислердің орайына айланды. Бул жерде 795-жылы университет, ал 829-жылы астрономиялық обсерватория ашылды. IX әсирде араб тилине Аристотельдің хәм басқа да әйемги грек илимпазларының, соның ишинде Птоломейдің “Альмагести” араб тилине аударылды.

Көп узамай мусылман еллерінде үлкен обсерваторияларда жүргизилген бақлаулар тийкарында дүзилген “Зиджалар” деп аталатуғын астрономиялық кестелер пайда болды. Бул кестелер бойынша планеталардың аспандағы қәлеген уақыттағы аұхалын анықлау мумкин. Әлбетте бул аұхалды анықлау Зиджада келтирилген санларды анықланыу дәллилине тиккелей байланыссы. Усы жерде К.Птоломей тәрепинен дүзилген жулдызлар кестесінде Зиджаның бир түри деп айтып кескенимиз орынлы болады.

Багдад обсерваториясының илимпазларының ең баслыларын Орайлық Азиядан шыққан астрономлар Ахмед ал-Фергани, Мухаммед-бин-Муса, Ал-Хорезми, Аббас-бин-Саид ал-Жауһари, Ахмед-бин-Абдулла ал-Мервазилер курады.

IX-әсирде хәзирги Ферғана хәлиятінің аймағында тууылған Ахмед бин-Мухаммед ал-Ферғани уллы математик хәм астроном ретінде атын тарийхта қалдырды (Европада Альфраганус аты менен белгили). Оның “Астрономияның басламасы” мийнети сол уақыттағы астрономия бойынша ең алдыңғы қатардағы китап болып астрономиялық энциклопедияның орнын ийеледи. Әл-Ферганидің китабы латын хәм әйемги еврей тиллерине аударылып XV әсирдің ортасында Европада кеңнен белгили болды.

Әл-Фергани өзінің бақлауларында Птоломей тәрепинен жиберилген кәтеликлерди аша алды хәм оған сын көз бенен қарады.

Хорезм жерінде уллы илимпаз, алгербраның тийкарын салыушы Мухаммед бин-Муса ал-Хорезми (787-850 жыллар) камалға келди. Оның “Китаб ал-мухта сар фи хисаб ал-жабр ва-л мукабала” китабында алгебраның хәм хәзирги заманда кеңнен пайдаланылып атырған алгоритмлер дүзиудің тийкарлары баянланды. Ал-Хорезмий өзінің Багдад обсерваториясында жүргизген бақлаулары тийкарында 200 жыл дауамында кеңнен пайдаланылған жаңа Зидж дүзди. Бул китаптардың барлығы өз уақытында араб, латын тиллерине аударылды хәм көплеген илимпазлардың оқыу куралына айланды.

Орта әсирлердің көрнекли илимпазы Ал-Баттани (850-929) өзінің Дамаск обсерваториясында жүргизген бақлаулары тийкарында Гиппарх пенен Птоломейдің астрономиялық есаплауларын дурыслады. Ол “Сабей кестелери” деп аталатуғын зидждың авторы, 880-жылы Ал-Баттани Айдың, кейинирек Куяштың мүйешлик диаметрлерин, 890-жылы эк-

лептика тегислиги менен экватор тегислиги арасындағы мүйешти (23 градус 35 минут 14 секунд, кәтелик 17 секундты курайды) анықлады.

Жокарыда аты айтылғанлардан басқа Орайлық Азия илимпазларынан Хорасанда туўылған Абу-ль-Вафаны (940-998), оның оқыўшысы, Каир обсерваториясында ислеген хәм “Такемит кестелериниң” авторы ибн-Юнусты (Ибн-Юнус Алий ибн Ахмед, 950-1009) көрсетиўге болады.

Ибн-Юнус 1008-жылы өзиниң “Аз-зий ал-Кабир ал-Ҳакимий” китабында Птоломей кестелеринде келтирилген жулдызлар менен планеталардың координатларының Ислам мәмлекетлериниң астрономлары тәрәпинен алынған координаталарға сәйкес келмейтуғынын, ал Гиппарх кестелериниң ҳақыйқатлыққа жақын екенлигин атап көрсетти.

Астрономия, математика хәм тәбияттаныўдың басқа да тараўлары Орайлық Азияда Әбиў Райхан Мухаммед ибн Ахмед ал-Берунийдиң (973-1048) хәм Омар ибн Ибрагим ал-Ҳайямидиң (Омар Ҳайям, 1017-1123) жумысларында кеңнен раўажланды.

Әл-Беруний 16 жасынан баслап астрономиялық бақлаўлар жүргизди, 21 жасында өзи соғып алған мүйеш өлшейтуғын әсбаптың жәрдеминде эклиптиканың экваторға еңкейиўин үлкен дәлликте анықлады. Бир жылдан кейин Әл-Беруний диаметри 5 метрге тең Жер экваторының арқа таманына сәйкес келетуғын ярым глобусты соқты.

995-жылы түслик Хорезм арқа Хорезм (хорезмшах ал-Мамун) тәрәпинен басып алынғанлықтан Әл-Беруний Тегеранның этирапында 1004-жылға шекем жасады. Усы жылы ол Хорезмниң жаңа пайтахты Гурганджға қайтып келди хәм илимий ислерин жедел түрде раўажландырды. 1017-жылдан баслап Хорезм Мухаммед Газнаўийдиң қол астына өтти хәм Әл-Беруний жаңа мәмлекеттиң пайтахты Газна қаласына мәжбүрий түрде көшти. Әл-Берунийдиң қалған өмириниң көпшилиги усы қалады өтти.

Әл-Берунийдиң мийнетлериниң саны 150 ге жетеди хәм олар сол ўақытлардағы илимниң хәмме тараўларын да өз ишине қамтыйды. Бирақ орта әсир илимпазларының тийкарғы искерлиги математика менен астрономияны раўажландырыўға бағдарланған.

Индияда жүрип Әл-Беруний Жердиң радиусын өлшеди хәм 6613 км нәтийжесин алды (Эратосфенниң нәтийжелерин еске түсиремиз). Өзиниң астрономиялық бақлаўларының нәтийжелери тийкарында ол 1031-1037 жыллары ең тийкарғы болған “Масъуд қаноны” мийнетин жазды. Арадан 200 жыл өткеннен кейин белгили араб географы Якут “Масъут қанонының” жер бетиндеги математика хәм астрономия бойынша барлық китапларды алмастырғанлығын хәм автордың әхмийети Птоломейденде асып кеткенлигин атап өтти.

1973-жылы ЮНЕСКО ның шешими менен дүнья жүзиниң жәмийетшилиги Әл-Берунидың мың жыллығын белгиледи хәм усыған байланысly “Фан” баспасы оның көп томлық таңдамалы шығармаларын басып шығарды.

Әл-Берунийден Улуғбекке шекемги астрономияда үлкен орын алған илимпаз Омар-Ҳайям болып табылады. Селжуклар султанының астрономы сыпатында ол басқарған комиссия 1074-жылы тийкарында 33 жылды алыў менен Қуяш календарын түптен қайта иследи. Календарда жылдың орташа узынлығы 365,24242 сутка болып 4500 жыл даўамында 1 суткаға кәтелик береді. Демек бул календарь ҳәзирги қабыл етилген календардан әдеўир дәлликте болып табылады.

Омар-Ҳайям Исфахан қаласындағы астрономиялық обсерваторияға басшылық етти. Тарийхта “Маликаның жыл санаўы” деп аталатуғын календарлық реформаның еңгизилиўи бул обсерваторияның ең әхмийетли нәтийжелериниң бири болып табылады.

XIII әсирден баслар Орайлық Азия хәм басқа да мәмлекетлерге Монгол татарларының басып алыўшылық шабыўлы басланды. Нәтийжеде бул еллерде шама менен 150 жылдай ўақыт ишинде илимниң раўажланыўының барысы бираз төменледи.

XIII әсирге шекем астрономия илиминде тийкарынан төмендегилер белгили хәм қабыл етилген еди:

1. Жердиң шар тәризли екенлиги хәм оның өлшемлери.

2. Планеталардың шама менен алынған өлшемлери хәм оларға шекемги аралық, Өлемнің орайы ретинде Жер қабыл етилди.

3. Жылдың, айдың узынлықлары, эклиптика тегислиги менен экватор тегислиги арасындағы мүйеш. Шама менен 1020 дай жұлдыздың аспан сферасындағы координаталары. Жұлдызлар кестелериниң улыўма саны 50 ден асты. Планеталардың, көзге көринетуғын барлық жұлдызлар топарының атамалары да жоқарыда сөз етилген ўақытлары қабыл етилди.

4. Астрономия илими тийкарынан ўақытты, географиялық орынды анықлаў ушын хызмет етти. Астрологиядағы (жұлдызлар менен планеталардың аспандағы жайласыўларына қарап тәғдирди, басланған истиң сәтли ямаса сәтсиз болыўын, болажақты анықлаў) әхмийети астрономияның раўажланыўын, дин менен болған жақсы қатнасын тәмийинледди.

Астрономия илиминиң буннан былайғы раўажланыўы бизиң жерлесимиз Улуғбектиң аты менен тиккелей байланыслы.

## **II. УЛУҒБЕК ХӘМ ОНЫҢ АСТРОНОМИЯ МЕНЕН МАТЕМАТИКАҒА ҚОСҚАН ҮЛЕСИ**

Бир ярым әсирдей хұкимлик еткен монгол татарларының аўхалы XIV әсирдиң ортала-рында бираз курамаласты. Мәселен, тарийхый дереклерден биз усы әсирдиң 40-жыллары Мавереннахрда монгол татарларынан Қазан ханды ушыратамыз. Бул хан өзиниң үстемлигин арттырыў барысында урыў хәм тайпалардың басшылары менен душпаншылығын күшейтти. Усындай жақдайларға байланыслы 1346-жылы Қазан Қазаған басшылығындағы урыста өлтирилди. Ол Мавереннахрға үстемлик ете баслады. Ал бурынғы Шақатай мәмлекетиниң қалған бөлеги дулатлар урыўының басшысы болған басқа әскербасының қол астына өтти. Бул адамлар Шыңғысханның урпақларынан емес. Сонлықтан да, жоқарыда аты келтирилген адамлардың мәмлекет басына келиўин монгол татарларының хұкимлигиниң Мавереннахрдағы ақыры деп қараўымызға болады.

Қазаханның өзи күйеў баласы тәрәпинен 1358-жылы өлтириледди. Буннан кейин хұкимлик оның баласы Абдуллаға өтти. Мавереннахрдың пайтахты Самарқандқа көшиўи Абдулланың аты менен байланыслы. 1362-жылы монгол ханы Тулук-Тимур Мавереннахрды қайта басып алыў максетинде шабыўыл жасады. Болажақ әмир Тимурдың биринши сәтли әскерий хызметлери басланды хәм ол Шахрисабз бенен Қаршының хәкими етип тайынланды. Қазақанның ақлығы болған Хусейн менен Тимур биргеликте хәрекет етти, биресе бир-бирине қарсы гүрес жүргизди. Усындай хәрекетлердиң нәтийжесинде Тимур 1370-жылдан баслап пайтахты Самарқанд болған Мавереннахрдың әмири дәрежесине жетти.

Тимур тәрәпинен хәкимшилик етилген мәмлекет мусылман хәм парсы мәдениетларының элементлери бар, түрк-монгол әскерий дүзимге ийе мәмлекет еди. Алтын орданы қыйратыўы. Иранға, Кавказ еллерине, Индияға, Киши Азияға болған басып алыўшылық топылысларының нәтийжесинде Тимур мәмлекетиниң шегаралары әдеўир кеңейди хәм қудирети асты. Самарқанд қаласында үлкен архитектуралық әхмийетке ийе болған сарайлар, оқыў орынлары салынды. Соның менен бирге Мавереннахрдың пайтахтының экономикалық хәм мәдений турмысына Индия, Қытай, Иран, Шығыс Европа менен болған тығыз қатнас әдеўир унамлы тәсирин жасады.

Улуғбек (Тимурдың баласы Шахрухтың улы) 1394-жылы 22-март екшемби) күни Султанияда Тимурдың Иранға хәм Киши Азияға болған екнши бес жыллық шабыўылы ўақтында туўылды. Балаға Мухаммед Тарақай аты қойылды (Тарақай Тимурдың әкесиниң аты). Кишкене ўақтынан баслап болажақ илимпаз әмир Тимурдың үлкен хаялы Сарай-Мүлик ханымына тәрбияға бериледи. Улуғбек 1405-жылы 18-февраль күни Тимур қайтыс болғанға шекем дерлик барлық ўақытлары атасы жүргизген шабыўылларда бирге алып



жүриледі, әмірдің шет ел елшілерін қабыллау салтанаттарына қатнасты. Біраз жылдардан кейін Тарағай кем-кемнен Улуғбек (Мырза Улуғбек) аты менен алмастырылды.

Тимур қайтыс болғаннан кейін оның балалары арасында әкеден қалған мийрасты бөліуге хәм сиясий үстемшилікке байланысly үлкен жәнжеллер, урыслар басланды. Соңғы бес жыл ишінде мәмлекет тийкарынан екиге бөлінди. Мавереннахрда 1409-жылы тахт басында 15 жасар Улуғбек келди. Пайтахты Герат болған Тимур мәмлекетиниң түслик бөлими Улуғбектиң әкеси Шахрухтың қол астына өтті.

Улуғбектиң қандай билим алғанлығы хаққында тарийхта дерлик хеш нәрсе қалмаған. Оны жаслық ўақытында тәрбиялаған Сарай-Мүлик ханым да, қамхорлық еткен Шах-Мелик те саўатлы адамлар болмаған. Бирақ Улуғбектиң әкеси Шахрух китаплар оқығанды, жыйнағанды жақсы көрген. Ол Герат қаласында сол ўақытлардағы ең бай китапхана дүзди. Улуғбек бул китапханада көп жұмыс иследи. Жоқарыда келтирилген Платонның, Аристотель, Гиппарх, Птоломей, ал-Ферганий, Әл-Беруний, Әбиў-Әлий ибн-Сино, ал-Хорезмий хәм Омар Хайямның жұмыслары менен танысты.

1417-жылы Улуғбек Самарқандта медресе салыўды баслады. Бул қурылыс үш жылда питти. Медресениң оқытыўшыларын Улуғбектиң өзи таңлап алған. Мысал ретинде олардан Мухаммед-Хавафиди (медреседеги биринши лекцияны оқыған адам), математик хәм астрономлар Салахутдин-Муўса-бин-Махмудты (Қазызада деп те аталады), Ғияс-ад-дин Жәмшид бин-Масъудты (бул киси 1416-жылдың өзінде астролябия хаққында трактат жазды), Муин-ад-дин-ди, оның улы болған Мансур-Қашыны, Улуғбек мийнетлериниң түсиндириўшиси Әлий-ибн-Мухаммед Биржанжийди көрсетиўге болады. Медреседе тийкаргы дин таныў менен бирге математика хәм астрономия оқытылған.

Мавереннахрдың әмири болыўдың барысында Улуғбек көплеген шәкиртлер де таярлады. Олардың ишіндеги ең көрнеклилеринен Әлеўәтдин Әлий-ибн-Мухаммед Қусшыны, кейін ала Улуғбектиң мийнетлерин халықлар арасында кеңнен тарқатыўға үлес қосқан Марям Шалабийди атап өтемиз.

Гейпара тарийхий дереклер бойынша Улуғбектиң 1417-жылы астрономиялық бақлаўлар жүргизиў ушын обсерватория салыўға бағышланған кеңес өткергенин билемиз. Бул хаққында мәселен Улуғбектиң заманында жасаған Әбдиразак Самарқандий былай деп жазады. “...Усы мақсетте ол (Улуғбек) өзлериниң ислерин жақсы билетуғын тәжирийбели математиклерди, геометрлерди, астрономларды, қурылысшыларды шақырды. Кеңесте сол ўақыттың Платоны Салхутдин-Муўса Қазызада, сол ўақыттың Птоломейи Әлий Қусшы, Ғияс-ад-дин Жәмшид, Муўин-ад-дин ... лер қатнасты” (кейінге екеўи баска жерлерден шақырылған). Улуғбек алдыңғы қатар илимпазлардың бул жыйналысында сол ўақытларға шекем астрономия илимине үлес қосқан Бағдад, Дамаск, Исфахан, Мараге обсерваториялары хаққында гәп еткен. Ғияс-ад-дин Жәмшид бин-Масъуд сол ўақыттағы астрономиялық әсбаплар хаққында баянат иследи. Кеңес катнасыўшылары болажақ обсерваторияда исленетуғын изертлеў жұмысларының зәрүрлигин де атап көрсеткен. Усы жерде Орта әсирлердеги Орайлық Азия халықларының илимпазларында өзлеринен бурынғы ойшыллар қалдырған мийрасларға үлкен хұрмет пенен қараў, мийнетлеринде өзлеринен бурынғылардың исенимли етип тексерилген нәтийжелерин келтириў дәстүрлериниң бар болғанлығын айтып өткенимиз орынлы болады.

1417-жылғы кеңесте астрономиялық обсерваторияның қурылыўының, оның қандай болыўының керекли екенлиги хаққындағы мәселелер шешилген. Усы шешим бойынша обсерваторияда сол ўақытлардағы ең дәл өлшеўлер жүргизилиўиниң кереклиги, бундай өлшеў жұмысларының әсирлер даўамында алып барылыўының зәрүрлиги мойынланған. Тарийхий дереклер обсерваторияның да үш жылда питкерилгенлигин айтады.

Жоқарыда келтирилген мысаллардың барлығы да Улуғбектиң илимдеги жалғыз изертлеўши болмағанын, ал оның өзиниң этирапына көплеген илимпазларды топлағанын, илимди, мәдениятты раўажландырыў мақсетинде медреселер, обсерваториялар салдырғанлығынан дерек береді. Соның менен бирге медреселерде, обсерваторияда

көплеген кітаптар жыйналған. Адамзат тарихында бұндай әмір-илимпазды бірінші мәртебе ұшыратамыз.

Обсерваторияның құрылыс хақында гәпти кейинирекке қалдырамыз хәм Улуғбек, оның илимий хызметкерлери тәрәпинен алынған нәтижелерди баянлаймыз.

Улуғбек басқарған илимий жұмыстардың ең тийкарғы нәтижелер “Улуғбек Зиджи” ямаса “Қурағаний Зиджи” деп аталатуғын астрономиялық кестелерде берілген (Қурағаний аты Улуғбектің кейин журтына байланыслы келип шыққан хәм оның заманласлары тәрәпинен гейде Улуғбек Қурақоний деп те аталған). Жигирмалаған жыл ишинде жүргизілген бақлаулардың нәтижедерин өз ишине алатуғын бұл мийнет кирисиўден хәм астрономиялық кестелердің өзинен турады. Улуғбектің 4 бөлимнен туратуғын кирисиўиниң теориялық хәм методологиялық әхмийети уллы.

Кирисиўдің бірінши бөлимінде греклердің, сириялықлардың персиялықлардың, Қытай халықларының, уйкурлардың календардары, жыл, ай хәм олардың бөлимлери хақында терең мағлыұматлар берілген. Текст Шығыс илимпазлары тәрәпинен алынған нәтижелерди басқа астрономлардың аңсат қоллана алыўы ушын көпсанлы кестелер менен байытылған. 22 баптан туратуғын екінши бөлими астрономия илиминиң усылларын тәрийплеўге бағышланған. Үшінши бөлимнің 13 бабы Қуяштың, Айдың хәм планеталардың аспан сфферасында анықлау усылларын баянлайды. Қалған еки бап Қуяш пенен Айдың тутылыўларын өз ишине алады.

Кирисиўдің кейинги 4-бөлими астрологияға бағышланып аспан денелериниң жайласыўларының адам тәғдирине тәсирин тийкарлаўды қамтыйды. Усы жерде астрологиялық мәселелерди шешіўдің Улуғбек хәм оның заманласлары ушын ең тийкарғы мәселелердің бири болғанын аңғарыўымыз керек.

Улуғбектің жүргизген илимий жұмыстарының динге қайшы келмегенлигин де айтып өтиўимиз керек. Бұл хақында жоқарыда аты келтирилген ибн-Юнус былай жазған “Аспан денелерин изертлеу динге жат емес. Тек усы изертлеўдің нәтижелери ғана намаз оқыўдың ўақтын, ораза пайынтында аўқат жеўге, суў ишиўге болмайтуғын ўақытта билемиз. Қуяш, Ай тутылғанда қудайға өз ўақытында сыйыныў ушын қашан тутылыў болатуғынлығын алдын-ала билиў керек. Бұндай изертлеўлер намаз оғылғанда адам жүзин қаратып турыў ушын Қабаның қайсы тәрәпте екенлигин билиў ушын зәрүрли...”.

Улуғбектің кестелеринде астрономияның тийкарғы турақлылары берілген. Мәселен Улуғбек бойынша жулдызлық жылдың узынлығы 365 күн 6 саат 10 минут 8 секунд (хәзирги күнлери қабыл етилген мәнисинен 1 минут 2 секундқа көп). Улуғбек бойынша Сатурн планетасы жылына 12 градус 13 минут 39 секундқа аўысады (хәзир қабыл етилгеннен 3 секундқа артық). Бұндай масылларды көплеп келтириў мүмкин. Олардың барлығы да Улуғбектің жүргизген өлшеўлериниң қандай дәрежеде дәл болғанлығын көрсетеди.

Улуғбек фундаменталлық әхмийетке ийе дәл жулдызлар кестесин дүзиўдеги Гиппархтан кейинги астроном болып табылады. Бұл кесте 1018 жулдызды өз ишине алады. Солардың 900 иниң узынлығы (долгота) хәм 878 иниң кеңликлери (широта) Улуғбек обсерваториясында өлшенген (солардың ишинде 700 жулдыздың еки астрономиялық координатасы болған узынлық хәм кеңлик обсерватория хызметкерлери тәрәпинен толық қайта өлшенген). Қалған жулдызлардың узынлықлары хәм кеңликлери сол ўақытқа шекем белгили болған кестелерде көрсетилген жулдызлардың узынлықлары менен кеңликлерине дүзетиўлер киргизиў жолы менен пайдаланылған. Улуғбек ушын Әбдирахман Суфийдің жулдыз кестеси тийкарғы болып табылды. Өз гезегинде бұл кестедеги нәтижелердің басым көпшилиги Птоломей кестесинде бар болып шықты. Улуғбек кестелери дәллиги жағынан сол ўақытқа шекемги ең дәл болған Гиппарх кестелериниң дәллигинен жоқары турып Тихо Браге (1546-1601) заманына шекем біріншиликти қолдан бермеді<sup>50</sup>.

<sup>50</sup> Тихо Браге тәрәпинен алынған дәл нәтижелер Кеплер тәрәпинен пайдаланылып, белгили үш ызамның (Кеплер ызамларының) ашылыўының себепшиси болды.

Улуғбек кестелерде келтирилген математикалық изертлеулер хәзирги күнлерге шекем әхмийетин жоғалтқан жоқ. Кестелердің тригонометриялық кестелерге бағышланған бөлими синус, косинус хәм олар арасындағы қатнастарды тәриплеу менен басланады. Улуғбек бул жерде минутлардың синусларының келтирилгенлигин, ал секундлардың синусларының интерполяцияның жәрдемінде есаплаудың мүмкинлигин жазады. “Синуслардың хәм саялардың (тангенслер менен котангенслер) кестесин есаплау, - деп жазды Улуғбек, - усы ўақытқа шекем хеш ким исенимли етип анықланбаған бир градустың синусына тийкарланған“. Нәтийжеде бир градустың синусы ушын 0,017 452 406 437 283 571 шамасы алынды. Бундай дәл есаплауларды жүргизиу ушын қанша есаплаушылардың қатнасканын айтыу қыйын. Хәзирги ўақытлары көпшилигимиздің қолларымызда есаплау машиналары бар болғанлықтан жоқарыда келтирилген мысалдың дурыс екенлигин тексерип көриуди оқыўшыларға усыныс етемиз.

Өзиниң мийнетлеринде Улуғбек өзине шекем қабыл етилген Птолемей системасы тийкарындағы көз-қарасларда турады. Оның алған нәтийжелери (өлшеу дәллигиниң еле де жеткиликсизлиги), сол замандағы көз-қараслар Улуғбекке гелиоорайлық системаға өтиу бойынша революциялық пикирлер айтыуға мүмкиншилик бермеди. Бирақ қалай деген менен Улуғбек кестелерин, оның менен бирге ислескен илимпазлардың мийнетлерин оқығанымызда дүньяның орайындағы Жерди Қуяш пенен алмастырғанда да сезилерликтей өзгерислердің болмайтуғынлығы хәққында пикирлерди табамыз. Мәселен, жоқарыда айтылған Қазызада өзиниң “Шарх Жағмини“ шығармасында “... айырым илимпазлар Қуяшты планеталардың орбиталарының ортасында жайласқан деп есаплайды. Әстерек қозғалатуғын планета Қуяштан үлкенирек қашықлықта турады“. Усы мийнеттиң өзінде былай да жазылған “Жер қозғалмайды. Оның орайы Әлемниң орайына сәйкес келеди. Усындай гипотеза үлкенирек итималлыққа ийе. Бирақ басқа да гипотеза бар. Қай жерде орналасқанлығына қарамастан аўыр дене Жердің орайына қарап қозғалатуғын болғанлықтан Жердің орайы тек ғана Жердің этирапындағы аўыр денелердің ғана орайы болып табылады. Сонлықтан Жердің орайының хәм усы орай менен биргеликте Жердің өзи де қозғалады деп санауға болады. Бундай гипотеза да дым жақсы. “ Усындай пикирлерди биз Улуғбектиң ең жақын жәрдемшилеринен болған Әлий Қусшының “Теологияның тезислерине түсиниклер“ мийнетинде де табамыз. Жоқарыда келтирилген тарийхий дереклердің барлығы да Улуғбектиң гелиоорайлық системадан қашық болмағанлығын дәлиллейди.

Зидждың дүзилиу барысында Улуғбектиң ең жақын жәрдемшилеринен Ғияс-ад-дин Жәмшид 1429-жылы, Салахутдин-Муўса Қазызада 1435-жылы қайтыс болды.

1449-жылы 27-октябрь күни Улуғбек баласы Абдулләтиф тәрәпинен өлтириледі. Усының менен бирге Орта әсирлердеги Орайлық Азиядағы астрономияның раўажланыуы да тамам болды. Улуғбектиң садық досты Әлеўәтдин Әлий-ибн-Мухаммед Қусшы кәрўан дүзип Самарқандтан жулдызлар кестеси менен көплеген қолжазбаларды алып кетип үлгерди. Ол Стамбулға жетип сол жердеги жоқары оқыу орнының дәслепп оқытыўшысы, кейинен ректоры болып иследи хәм өмириниң ақырына шекем (1474-жыл) Улуғбектиң илимий мийрасларын хәр қандай еллер арасында тарқатыу менен шуғылланды.

Улуғбек кестелериниң екінши нұсқасы Герат қаласына жеткен хәм Алишер Наўайының заманында көширип жазыулар арқалы парсы хәм араб тиллерине аўдарылып, көп жерлерге таратылған.

Улуғбектиң жулдызлар кестеси 1665-жылы Оксфордта, 1843-жылы Лондонда басылды. Кестеге кирисиу Париж қаласында 1853-жылы жарық көрди. Ал Вашингтон қаласында Улуғбек кестелери бойынша жүргизилген изертлеу жумысларының нәтийжелери 1917-жылы баспадан шықты.

Улуғбектиң жулдызлар кестесинде келтирилген астрономиялық шамалардың дәллигиниң жоқарылығы соңғы ўақытта жасаған астрономларда Улуғбектиң өзиниң, обсерваториясының ХҮ әсирде дүньяда болғанлығы хәққында гүмән пайда етти. Әсиресе

XVIII хәм XIX әсирдің астрономлары соншама дәрежедеги жоқары дәлликтің XV әсирде алыныуының мумкин емеслигин дәлиллеуге тырысты.

Хақыйқатында да Улуғбек қайтыс болыудан оның обсерваториясы талам-тараж етилди, қолға илингендей нәрселериниң бәри де урланды, 1499-жылы Тимурдың душпаны болған Шейбаны-хан тәрәпинен кек алыудың бир түри ретинде обсерватория пүткиллей қыйратылды. Кейин ала обсерваторияның турған жери билинбей кеткен хәм сонлықтан оның бар болғанлығының өзи әсиресе илимпазлар арасында гүман туўдырды.

Обсерваторияның бар болғанлығы хаққында Улуғбектиң заманласлары хәм оннан кейинги бир қанша тарийхшылар жазба түрде мийраслар қалдырған. Улуғбектиң киши заманласы, обсерваторияны өз көзи менен көрген Әбдиразак Самарқандий өзиний “Еки бахытлы жулдызлар топарының туўылыуы” шығармасында былай жазады: “астрономиялық бақлаўлар жүргизиў ушын (қурылған) әсбапларды тексерип хәм жетилистирилип болғаннан кейин (Улуғбек) кестелерди дүзиў хаққында буйрық берди... Бина беккем етип салынған еди... (Илимпазлар) жыйналысы бинаны узақ ўақыт, мәңги сақланыўы, аўыспаўы, тербелмеўи ушын беккем етип салыныўының кереклиги хаққында қарар шығарды. Соның салдарынан бийик, дөңгелек тәризли сарай салынды... Кейнинен Қуяштың, жулдызлардың қозғалысларын бақлаўға буйрық берилди, анықлығы хәм дәллиги менен айрылатуғын Қуяштың хәм жулдызлардың қозғалысларының кестесиниң дүзилиўи басланды”.

XV әсирдің ақырының тарийхшысы Мирхонд былай жазады: “Соның менен бирге шебер усталардың обсерваторияның қурылысына кирисиўи ушын уллы буйрық шықарылды. Бул иске астрономия илиминиң сүйениши, екинши Птоломей Ғиясаддин Жамшид хәм илимди өзине сыйдырыўшы мырза Низамаддин ал-Қашылар қатнасты. Қурылыс тырысыўлардың, пухталықтың хәм табан тиреўшиликтиң салдарынан тез арада питти”. Мирхондтың бул мийнети Алишер Наўайының усынысы бойынша жазылған деген тарийхий дереклер бар.

Улуғбек өлгеннен кейин обсерваторияны Захреддин Бабур (ең атақлы Тимуридлердің бири хәм моголидлер мәмлекетиниң тийкарын салыўшы) барып көрген хәәм XV әсирдің басында “Бабурнамада” былай жазады... “обсерватория үш басқыштан (қабаттан) турады. Бул жерде Улуғбек хәзир пүткил дүньяда қолланылып атырған “Қурағаний кестелерин” дүзди. Басқа кестелер кем қолланылады... Пүткил дүньяда жети ямаса сегиз обсерватория қурылған болса керек. Солардың ең уллысы Улуғбек обсерваториясы болып табылады”.

Улуғбек обсерваториясы 1908-жылы Самарқанд археологы В.Л.Вяткин тәрәпинен Самарқанд қаласының арқа-шығыс тәрәпинде Ташкент жолына жақын жерде Куҳақ төбелигиниң басынан табылды. Төбеликтиң бийиклиги 21 метр болып оның басына шыққан адамға кең горизонт ашылады. Обсерваторияны излеў жумыслары тарийхий хұжжетлер тийкарында өткерилди. Археологиялық қазылмалар буннан кейин 1914-, 1941-хәәм 1948-жыллары жүргизилди хәм обсерватория хәм онда қолланылған бас әсбап хаққында бир қанша толық мағлыўматлар алынды. Қазба жумысларының барысында обсерваториядан 6000 куб метрдей қулап қалқан қурылыстың қалдықлары ашылды. Бул шама Улуғбектиң қандай үлкенликтеги жайды салдырғанлығы хаққындағы дәслепки мақлыўматларды береди.

Архитектор-археологлардың тастыйықлаўы бойынша Улуғбек обсерваториясы цилиндр тәризли болып оның тырнағының диаметри 48-50 метрге, бийиклиги 29 метрге тең болған. Обсерваторияға орнатылған бас әсбап секстант (айырым изертлеўшилердің пикири бойынша квадрант) шама менен 40 метрлик радиусқа тең. Оның бираз бөлеги жер астында жайласқан болып доғасының узынлығы секстант болған жағдайда кеминде 42 метрге тең. Бундай жағдайда доғаның хәрбир 701,85 миллиметрине 1 мүйешлик градус сәйкес келеди. Бул секстант меридиан бойынша (арқадан түсликке) дәл бағытланған болып, оның жәрдемінде Қуяштың, Айдың, планеталардың, жулдызлардың меридиан сызығы арқалы өткен пайытындағы координаталары жоқары дәлликте өлшенген.

Жоқарыда келтирилген мағлыұматлар Улуғбек тәрәпинен сол дәуирге шекем болмаған илимий обсерватория салынғанлығынан дерек береді. Бундай ис сол ұақытлары тек ғана құдіретли мәмлекет басшысы хәм ең алдыңғы қатар алымның қолынан келиуі мүмкин еді.

Тилекке қарсы, Улуғбек заманында кеңнен орын алған диний фанатизм, Жерди Әлемнің орайы деп есаплау дәстүри бизиң Уллы жерлесимизге системасыздың орайында Қуяш жайласқан деп есаплайтуғын гелиоорайлы астрономияға батыл түрде өтиуге мүмкиншилик бермеді.

Мусылман еллериниң, соның ишинде Орайлық Азия еллердиң астрономиясы Улуғбектен кейин айтарлықтай табысқа ериспеди. Улуғбек бул еллерди астрономиялық хәм математикалық билимлер менен төрт әсирдиң дауамында толық тәмийинледі.

### III. ӘЛЕМГЕ ХӘЗИРГИ ЗАМАНДАҒЫ КӨЗ-ҚАРАС

Бизиң әсиримизге келип астрономияның рауажланыуы ең жоқары басқышқа минди. Астрономиялық кестелер дүзиу машқалалары толық шешилип болынды. Планеталардың Қуяштың дөгерегинде айланыу нызамлары орта әсирлерде бақланылып жүрген аспан кубылысларының бәрін әпиуайы түрде түсиндирип бере алды. Нәтийжеде Птолемейдиң деференти менен эпицикллары толық сапластырылды. Астрономиялардың қолында хәр қыйлы телескоптар астрономияның құдіретли математикалық аппараты болды. Усыларға байланыссы бизиң әсиримиздиң ең уллы илимпазларының бири Альберт Эйнштейн былай жазды: “Бизлер тәбияттың қалай дүзилгенин билип ғана қоймай, тәбият неликтен басқаша емес, ал тап усындай болып жаратылғанын билиуге қаратылған, сырттан қарағанда әдеуір турпайы, мумкин утопиялық хәм мәртлерше қойылған сорауға жууап бергимиз келеди”. Данышпан физиктиң бул сөзлериниң дурыслығын бизиң турмысымыз айқын дәлиллейди.

Бизлер хәзирги күнлери Қуяш системасының қурылысын жақсы билемиз. Бизиң Қуяшымыздың дөгерегинде 8 планета, көп сандағы астероидлар, кометалар, басқа да аспан денелери айланады. Хәзирги ұақытлардағы илим бойынша Қуяш системасы диаметри шама менен 20 млрд километрге тең зағараның формасына ұқсас система болып табылады.

Бизиң Қуяшымыз барлық шамалары бойынша орташа болған жулдыз болып табылады. Қуяштың ең жақын қоңсысы Проксима деп аталатуғын жулдыз болып оннан шыққан жақтылық бизге 4 жылда жетеди (жақтылық нуры 1 секундта 300 000 км аралықты өтеди). Усындай жулдызлар биригип галактикаларды пайда етеди. Спираль тәризли бизиң галактикамызда 150 миллиардтай жулдыз бар. Бизге қоңсысы галактикалардың бири Андромеда думанлығы деп аталады хәм оннан шыққан жақтылық Жерге (Қуяшқа) шама менен 2,5 млн. жылда келип жетеди (егер Андромеда галактикасының планеталарының биринде биз жиберген сигналды қабыл ететуғынлар бар бола қойған жағдайда биз тәрәпинен бүгін жиберилген радио сигнал 2 млн. 500 мың жылдан кейин қабыл етиледі). Улыұма алғанда илимнің хәзирги нәтийжелери бойынша бизиң Әлемимиз шар тәризли бир текли хәм изотроп болып ол өз ишине миллиардлаған галактиканы алады. Әлемнің бир шетинен шыққан жақтылық оның диаметри бойлап екінши шетине 25-30 миллиард жылда жеткен болар еді. Хәзирги ұақытлары Әлемнің массасы хаққында да үлкен итималлық пенен тастыйықланған илимий нәтийжелер бар. Соның менен бирге бизиң Әлемимиздиң бир теклиги менен изотроптылығы оның барлық бөлимлериниң (ортасының да, шетлериниң де) қәсийетлериниң бирдей болатуғынлығын билдиреди. Сонлықтан бизиң Әлемимиздиң жасаушыларының бәри де (егер олар бар болатуғын болса) өзлериниң жасайтуғын жериниң қай жерде екенлигин изертлегенде Әлемнің дәл ортасы екенлиги хаққында нәтийже алады. Бул бизиң Әлемимиздиң ең тийкарғы қәсийетлериниң бири болып табылады. Туйық кеңисликтің ишиндеги барлық ноқатлар да басқа ноқатларға салыстырғанда орайда жайласқан болып табылады. Усы жерде биз Улуғбек жасаған заманнан бери

Әлемге болған көз-қараслардың қаншама, бизің билимлеримиздің қалай рауажланғанлығы хаққында қысқаша гәп етемиз.

1917-жылы астрономия илиминде үлкен революциялық ислер жүз берди. Усы жылы А.Эйнштейн өзинің улыұмалық салыстырмалылық теориясын пүткіл Әлем (дүнья) ушын қолланды хәм бул хаққында оның «Космология хәм улыұмалдық салыстырмалық теориясы» мақаласы баспадан шықты. 1917-жылы Эйнштейн Әлемди стационар (ұақыттың өтиуі менен өзгериске ушырамайтуғын), бир текли хәм изотроп үш өлшемли сфералық болып табылады деп есаплады. Оның пикири бойынша Әлемнің өлшемлери өзгермеуі керек. Сонлықтан да бул Әлем ұақыт бойынша шексиз. Өзинің салыстырмалылық теориясынан бундай көз алдымызға аңсат түрде келтире алғандай нәтийжелерди алыу Эйнштейн ушын аңсат болмады. Мәселени көрсетпели етип шешиу ушын әсиримиздің белгили илимпазына әлемди қураушы затлар өз-ара ийтерисиуі де керек хәм соған сәйкес келетуғын қосымша лямбда - ағза деп аталатуғын шаманы жасалма түрде өзинің атақлы теңдемелерине киргизиуге туура келди. Усындай етип әпиұайы ақылға сәйкес келтириу мақсетинде жасалма түрдеги санды ойлап табыу усылы Эйнштейнди дурыс жолдан шығарды. Оның стационар Әлеми бизің Әлемимизге сәйкес келмей шықты. 1922-жылы Ленинградлы А.А.Фридман теориялық жол менен Эйнштейннің өзинің улыұмалық салыстырмалылық теориясының теңдемелерин хеш нәрсе қоспай шешиу жолы менен, ал 1929-жылы Америка астрономы Э.Хаббл айнасының диаметри 2,5 метр болған телескопта жулдызлардың спектрлериндеги сызықлардың қызыл тәрепке қарай ауысқанлығын үйрениудің барысында биз жасап атырған Әлемнің стационар емес, ал кеңейип баратырғанлығын дәлилледі. Дәслепки ұақытлары А.Эйнштейн А.Фридманның алған нәтийжелерин мойынламады хәм усы мәселеге байланысly үштен бир беттен туратуғын мақаласын жәриялады (1922-жылы). Бирақ көп узамай Эйнштейннің өзи А.Фридманның алған нәтийжелеринің дурыс екенлигин дәлилледі (А.А.Фридман Эйнштейн теңдемелерин Әлем ушын қолланыу бойынша 1922- хәм 1924-жыллары шыққан еки мақала ғана жазып үлгерди. Ол тиф кеселинен 1925-жылы 14-сентябрь күни қайтыс болды).

Арадан он жыл өткеннен кейин (1934-жылы) Э.Мили хәм В.Маккрилер бир текли Әлемдеги галактикалардың қозғалыс нызамларын анықлау ушын салыстырмалылық теориясының қурамлы математикалық аппаратының керегинің жоқлығын, ал мәселени Ньютон механикасының тийкарында да шешиудің мүмкин екенлигин көрсетти.

А. Эйнштейннің тийкарсыз қосқан лямбда-ағзасының илимге үлес қосқанлығын да әдиллик ушын айтып кетиуимиз керек. Голландиялы физик-теоретик Виллем де Ситтер 1917-жылдың өзінде-ақ Эйнштейн теориясының теңдемелерин лямбда-ағзаны қосыу арқалы шешти хәм станционар туйық Әлемнің екинши түринің (төрт өлшемли кеңисликтеги цилиндрлик Әлемнің) болыуының мүмкинлигин анықлады. Бул түр бизің Әлемимиздің ең жас ұақытларына сәйкес келди. Бул ұақытлары Әлем бос, онда хеш нәрсе де жоқ еди. Бундай нәтийже бизің әсиримиздің 30-жыллары көп астрономларға жақпады. Мысалы, Белгиялы аббат Жорж Леметр Энштейн де Ситтерлердің теорияларын анализлеудің барысында Әлемнің түрлеринің көп болыуының принципиаллық жақтан мүмкин екенлигин дәлилледі. Солардың ишиндеги биреуі Леметрге айрықша унады. Бул модель бойынша Әлемнің пайда болыуы Үлкен партланыу менен басланады. Белгили бир ұақытлар өткеннен кейин партланыудың салдарынан басланған Әлемнің кеңейиуі кем-кемнен әстеленеди хәм белгили бир пайтлары станционарлық басланады. Леметр бойынша тап усы ұақытлары галактикалар пайда болады.

Жорж Леметрдің нәтийжелери көрнекли инглиз илимпазы астрофизик Эддингтонға (1882-1944) жүдә унады. Хәтте ол жоқарыда айтылған Энштейн моделинің де стационар емес екенлигин көрсете алды. Энштейннің станционар Әлемине бир тәрептен түртки берсең қысыла баслайды екен. Демек Әлем хаққында 1917-жылы жаңа нәтийже ала баслағанлардың бәри де шынлықтың әтрапында жүрген деген жуумақ шығарамыз.

Жорж Леметр (кейинрек Ватикандағы Папаның илимлер Академиясының Президенти) өзінің идеяларын көп жыллар дауамында үлес табыс пенен рауажландырылады хәм сонлықтан басқа астроном Фред Хойлдың усынысы менен оның теориясы Үлкен партланыу теориясы деп атала баслады. Академик Я. Б. Зельдовичтиң айтыуы бойынша “Хәзирги ўақытлары Үлкен партланыу теориясы сезилерликтей кемшиликлерге ийе емес. Жердиң Қуяштың дөгерегинде айланатуғынлығы қаншама дәрежеде дурыс хәм исенимли тастыйықлаған болса Үлкен партланыу теориясы да тап сондай деп айтар едим“. Бул гәплер 1983-жылға тийисли.

Астрономияның Үлкен партланыу теориясынан хәм оның экспериментлердеги тексерилиўиниң ең кейинги нәтийжелери бойынша бизиң Әлемимиз буннан шама менен 13,7 млрд жыл бурын оғада үлкен тығызлыққа ийе болған (тығызлығы бир куб сантиметрде 1 диң кейнинде 83 нөл бар грамм) өлшемли атом ядросының өлшеминдей болған (радиусы он триллионнан бир см) микроскопиялық бөлекшениң партланыуы менен туўылды. Партланыу пайытында температура жүдә көп жоқары болған. Партланыудан кейин температура төмен түсе баслайды хәм 1 млрд градусларға төменлегенде ядролық реакциялар жүре баслайды хә кем-кемнен дәслеп атом ядролары, кейинирек атомлардың өзлери пайда болады. Усындай жоқары температуралардан басланатуғын избе-изликти илимге киргизген адам Георгий Гамов (1904-1968) болады (бул илимпаз Екинши Жер жүзилик урыстан бурын СССР дан АҚШ қа қашып кеткен). Үлкен партланыудан қалған излер 1964-жылы америкалы физиклер А. Панзиас хәм Р. Вильсон тәрәпинен реликтив нурлар деп аталатуғын нурларды ашыу менен 1965-жылы тастыйықланады. Бул нурларға сәйкес келетуғын температура Кельвин шкаласы бойынша 2,7 градусқа тең болып шықты. Усы тийкарда буннан 18 млрд жыл бурын туўылған бизиң Әлемимиз тутасы менен алғанда хәзирги пайытта 2,8 градусқа шекем суўыған деп айтамыз.

Бизиң Әлемимиздиң антроплығы үлкен әхмийетке ийе. 1960-жыллары америкалылар тәрәпинен усынылған антроплық принципке муўапық Әлем өзін өзи биле алатуғындай қурылысқа хәм қасийетлерге ийе. Бул принцип бойынша дүньяны биз дүнья қандай болса, тап сондай түрде бақлаймыз, себеби тек усындай дүньяда ғана биз хәм бизге усаған бақлаўшылар өмир сүре алады. Ал бизиң хәм бизге усағанлардың өмир сүре алыуы ушын әлемимиз жеткиликти дәрежеде үлкен, бир текли хәм изотоп болыуы шәрт.

Хәзирги астрономия бизиң Әлемимиздиң ендиги тәғдириниң қандай болатуғынлығын да айта алады. Әлемниң келешегі оның орташа тығызлығына байланыслы екенлиги анықланады. Егер тығызлық критикалық тығызлық деп аталатуғын тығызлықтан кем болса кеңейиу мәңги дауам ете береді. Жулдызлардың ең ақырғылары жүзлеген млрд жылдан кейин сөнип болады. Галактикаларды қурайтуғын сөнген жулдызлар биригип қара оқпан (черная дыра) деп аталатуғын космослық объектлерге айланады. Олар кем-кемнен электромагнит нурланыуының нәтийжесинде “пуўланады“ (инглис физиги Стивен Хокинг тәрәпинен киритилген түсиник). Қара оқпанлар өз гезегинде 10 дәрежеси 100 ге тең жыл өткеннен кейин толығы менен электромагнит толқынларына айланып болады. Демек, биз қараған жақдайда дүньяның ақыры электромагнит толқынларына айланыуы менен питеди.

Бирақ Әлемимиздиң тығызлығы критикалық тығызлықтан артық болса ендиги 40-50 млрд жыл ишинде айтарлықтай хеш нәрсе болмайды. Жулдызлардың көпшилиги сөнеди. 100 млрд жылдан кейин кеңейиу қысылу менен алмасады. Хәзирги ўақытта бақланатуғын спектр сызықларының қызылға қарап ауысыуы фиолетке қарап ауысыуға өзгереді. Галактикалар бир-бирине жақынласады, кейинирек пүткиллей биригип кетеди хәм хәзирги күннен баслап есаплағанда шама менен 200 млрд жылдан кейин Әлем өзиниң дәслепки микроскопиялық аса тықыз халына қайтып келеді. Оннан кейин Үлкен партланыу қайтадан болатуғын болса керек.

Хәзир биз Әлемниң орташа тығызлығын дәл билмеймиз. Қолымыздағы бар сан критикалық тығызлықтан 100 еседей киши<sup>51</sup>. Бирақ усы ўақытқа шекем есапқа алынбаған

<sup>51</sup> Хәзирги ўақытлардағы (2008-жыл) мағлыұматлар бойынша Әлемниң орташа тығызлығы критикалық тығызлыққа тең.

массалар бар. Мысалы, егер хәммемизге де белгили болған нейтрино тынышлық массасына ийе болып шыкса, онда ол Әлемге болған көз-қарасларымызды тағы да әдеуір өзгерістерге ушыратады<sup>52</sup>.

Қуяштың болажақ тәкдири хақында биз толығырақ билемиз. Ол еле 10 млрд жыл дауамында хәзиргидей болып турыұын дауам етеди. Хәзир оның энергиясы протонлардың гелий атомларының ядроларына биригиуиниң есабынан нурланып атыр. Гелий атомлары ядроларының массасы көбирек болғанлықтан олар Қуяштың орайына топланады. Усы процесс Қуяштың орайының температурасының көтерилиуине алып келеди. Нәтийжеде оның көлеми үлкейеди хәм кем-кемнен қызара баслайды хәм «қызыл гигант» деп аталатуғын астрономиялық объектке айланады. Ол дәслеп өзине жақын Меркурийді жу-тады. Кейин бундай катастрофа гөззал Венераға жетеди. Үлкейиудің барысында Қуяштың бетиниң шетлери Жерге шамаласады. Бир ўақытлары Жер бетиниң температу-расы мыңлаған градусқа жетеди, органикалық затлардан хеш нәрсе қалмайды. Соның ме-нен бирге Қуяштың орайындағы температура 100 млн градусқа жетеди хәм гелий ядроларының басқа массасы көбирек болған ядроларға синтези басланады (басқаша сөз бенен айтқанда “гелий ядролық бомбасы болған Қуяш” партланады). Нәтийжеде Қуяштың өзи сөнип нейтрон жулдызына айланады, ал Қуяш системасының қалған ағзаларының дерлик бәри де партланыудың ақыбетинен қыйрайды. Системамыз энди жигирмалаған миллиард жылдан кейин өзиниң өмирин тамам етеди. Усындай сценарийдиң тийкарғы ав-торлары ингилис Эддингтон хәм индус Чандрасекарлер болып табылады. Бизиң хәм басқа да галактикалардың жулдызларын бақлаўлар жоқарыда баянланған Қуяштың тәгдириниң дурыс екенлигин айқын дәлилледи.

Биз жоқарыда бизиң Әлемимиз хақында тәлиматты дәреткен тийкарғы илимпазлардың атларын көрсетип өттик. Усы дизимге Әлемдеги аўыр элементар бөлшеклер-барионлар бойынша симметрияның жоқ екенлигин (дүньяда неликтен затлардың бар екенлигин) теориялық жақтан дәлилленгенлердиң бири А. Д. Сахаровты қосамыз. Егерде бизиң Әлемимизде бундай симметрия болып, бөлшеклер менен антибөлшеклердиң муғдары тендей жағдай орнағанда атомлар пайда болмаған болар еди.

Тилекке қарсы, елимиздиң (бурынғы Советлер Союзын қосқанда) илимпазлары өзлериниң атлары астрономия илиминиң тарийхында қалғандай хеш нәрсе ислей алмады. Бул бир жағынан тәбийғый да нәрсе. Себеби бир қанша илимлердиң раўажланыуына тосқынлық жасаў СССР да 40-50 жыллары мәмлекетлик сиясатқа айланды (мысалы ки-бернетиканы жалған илим деп дағазалаў, генетиканы бийкарлаў, илимий коммунизмге усаған компартияны қоллайтуғын партиялық деп аталатуғын илимлерге айрықша дыққат аўдарыў хәм қошеметлеў, тағы басқалар). Бундай жағдай Үлкен Совет Энциклопедиясының екінши басылыуының (1953-жыл) 23-томындағы “Космокология” атлы мақаласында айқын көринеди. Мақалада компартияның көрнекли искери А.А.Ждановтың бир философиялық дискуссияда ислеген баянатынан үзинди келтирилген. Ол киси “Хәзирги буржуазиялық илим поповшылықты, фидеизмди жаңа аргументлер ме-нен тәмийинленеп атыр. Бур аргументлерди аямай әшкаралаў керек. Санлардың Пифагорлық мистикасына туп-туўры алып келетуғын ингилис астрономы Эддингтонның дүньяның физикалық турақлылары хақындағы тәлиматын алып көрейик. Билиудің диалектикалық жолын, абсолют хәм салыстырмалы шынлықтың қатнасын түсинбей ту-рып Эйнштейнниң көплеген изин дауам етиўшилер Әлемниң шекли, шегараланған областының қозғалыс ызамларын пүткил Әлем ушын улыўмаластырып Әлемниң шекли екенлигин, оның кеңислик хәм ўақыт бойынша шегараланғанлығын айтыўға шекем жетти. Астроном Милн хәтте дүньяның буннан еки миллиард жыл бурын пайда болғанлығын “есаппап шықты”. Бул ингилис илимпазларына олардың ўатанласы Бэконның “өзиниң илиминиң күшсизлигин тәбиятқа қарсы қаратылған жалаға айландырыў” сөзи мүнәсип келеди”.

<sup>52</sup> Нейтринолардың айырым типлериниң массаға ийе екенлиги хақында хәзирги ўақытлары исенимли мағлыұматлар бар.



Гәп етилип атырған мақалада былай делинеди: “Хәзирги буржуазиялық космология пүткил Әлем ушын Метагалактиканың бизге белгили болқан қәсийетлерин қолланыў менен шуғылланады... Усындай қолланыў менен қызылға аўысыў қубылысы “Допплер эффекти“ деп қабыл етилип “кеңейиўши Әлем теориясы дүзилди“ (бельгиялық физик аббат Ж. Леметер хәм басқалар). Солай етип, буржуазиялық космология Әлемнің шексиз көп түрлилигин бийкарлап саналы түрде идеалистлик хәм фидеистлик идеяларды таратады... Совет илимпазларының алдында қызылға аўысыўдың тәбиятын толық шешиў арқалы дүньяның материалистлик теориясын түптен ислеп шығыў мәселеси тур“.

Қызылға аўысыўдың тәбиятын буржуазия илимпазлары табыс пенен шешти. Нәтийжеде XX әсиримдиң 70-жылларына келе СССР дағы аўхал Эйнштейнның хәм оның исин даўам еттириўшилердиң пайдасына шешиле баслады. Марксизм-ленинизмди жедел түрде партиялық тийкарда раўажландырыўшылардың тилегине қарсы жоқарыда аталқан буржуазиялық космология хәзирги заман астрономиясының шыңы дәрежесине жетти.

Бизиң әлемимиз ҳақыйқатында ўақыт бойынша да, кеңислик бойынша да шекли. Бирақ Әлемлердиң санлары хәм түрлери белгили шекке ийе емес. Олардың айырымларының өмири электромагнит толқынларына айланыў менен, екинши бир түрлериники дәслепкидей ҳалға қайтыў менен питеди. Үшиншилериңде басқа да вариантлардың бар болыўы принципиаллық жақтан толық мүмкин.

Заманлар өзгереди, Әлемге болған бизиң көз-қарасларымыз буннан былай да байыйды. Жоқарыда баян етилген дүнья ҳаққындағы илимлер кеңейип жаңа Улуғбеклер, жаңа Эйнштейнлер пайда болады. Гөззал астрономия өзиниң беккем тырнақлары болған физика хәм математиканың тийкарында раўажлана береди.

(«Улуғбек хәм асторонмия» мақаласы 1994-жылы жазылды, өз алдына китап болып шықты, ал 2008-жылы айырым өзгерислер киргизилди)