

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

Бердақ атындағы Қарақалпақ мәмлекетлик университети

Физика факультети

Улыўма физика кафедрасы

Б.Абдикамалов

**АСТРОНОМИЯ ҲӘМ АСТРОФИЗИКА
ТИЙКАРЛАРЫ**

(Лекциялар текстлери хэм методикалық көрсетпелер)

Адреси www.abdikamalov.narod.ru сайтында

Нөкис - 2010

Мазмуны

Кирисиў.	3
Әлем санлар менен.	5
Астрономия хәм астрофизиканың қысқаша тарийхы.	10
Астрономияның бөлимлери.	12
Әлемнің қурылысы хәққында қысқаша очерк.	13
Әлемнің масштаблары.	13
Пүткил дүньялық тартылыс ызамы – астрономияның бас ызамы сыпатында.	17
Планеталардың қозғалыс ызамлары.	20
Кеплер ызамлары.	23
Орбиталар элементлери.	24
Шеңбер тәризли орбита бойынша қозғалыс.	27
Эллипс тәризли орбита бойынша қозғалыс.	27
Парабола тәризли орбита бойынша қозғалыс.	30
Гиперболалық орбита бойынша қозғалыс.	31
Кеплер ызамлары хәм аспан денелериниң массаларын анықлаў.	32
Жер.	34
Жердиң айланыўы.	36
Жердиң дәлирек формасы.	37
Жердиң массасы.	38
Сфералық координаталар системасы хәм аспан сферасы.	40
Географиялық координаталар.	45
Горизонталлық координаталар системасы.	47
Экваторлық координаталар системасы хәм аспан сферасының суткалық айланысы.	48
Қуяш системасының дүзилиси.	53
Космонавтика элементлери.	68
Планеталар хәм олардың жолдаслары.	97
Жулдызлар.	150
Эйнштейнниң гравитация теориясын айырым астрофизикалық мәселелерди шешиў ушын қолланыў.	175
Космология.	210
Улығбек хәм астрономия.	248
Әл-Беруний.	254
Ахмед әл-Ферғаний.	261

Кирисиў

Астрономия Өлем хаққындағы илим болып, аспан денелери менен олардың системаларының қозғалысларын, қурылысын, пайда болыуын хәм раўажланыуын изертлейди.

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

Аспан денелериниң қурылысы менен раўажланыуын, олардың ийелеп турған орынларын, кеңисликтеги қозғалысларын изертлей отырып астрономия Өлемниң тутасы менен алғандағы қурылысы менен раўажланыуы хаққындағы көз-қарасларды пайда етеди. «Астрономия» сөзи еки грек сөзинен келип шыққан: «астрон» - жұлдыз 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 хақыйқый 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 х.т.б.).

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

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

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

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

Енди биз астрономия илими бойынша ХХ әсирдиң жуўмақлары менен ХХІ әсирде шешилиўи керек болған мәселелер хаққында тоқтап өтемиз.

ХХ әсирдиң жуўмақлары:

Планеталық астрономияда:

- көп мың жыллар бұрынғы хәм кейинги планеталардың ийелеп турған орынларын есаплаўға мүмкиншилик берететуғын 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 жұлдызлардағы платенаталық системалар ашылды.

Бирақ хәзирше:

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

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

Жұлдызлар астрономиясында:

- жұлдызлардың ишки дүзилисинің теориясы дөретилди; жұлдызлардың сыртқы қатламаларының вибрациясы (гелиосейсмология) хәм термоядролық реакциялардың акыбетинде тууылатуғын нейтриноларды регистрациялау жолы менен жұлдызлардың ишки қурылысын 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:

- Қуяштың барлық бақланатуғын қәсийетлерин (мысалы ядродан шығатуғын нейтринолардың ағымын) түсіндиретуғын Қуяштың анық теориясы еле дөретилген жоқ;

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

Галактикалық хәм галактикадан тыс астрономияда:

- Галактиканың хәм оның тийкарғы бақланатуғын қураушыларының қурылысы улыма түрде анықланған;

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

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

- галактикалардың тийкарғы типлери менен олардың жыйынларының қурылысы үйренилди;

- галактикалар жыйынларының тәртипсиз түрде тарқалмағанлығы, ал олардың Әлемнің ири масштаблы ячейкалық қурылысын 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 ұақытларға шекем жасырынып турған болуы итимал;

- галактикалардың пайда болуының бирден бир теориясы жоқ;

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

XX әсир астрономиясының жуўмақлары 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 қәлиплесуине қандай процесслер мүмкиншилик береді?

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

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

- Галактикалар қашан хәм қай жерде қәлиплести?

- Әлем шексиз кеңейе бере ме ямаса оның кеңейуі қысылуы менен алмаса ма?

Бирақ жаңа әулад астрономлардың тийкарғы дықкатының жоқарыда келтирилген машқалаларға қаратылмауы да итимал. Хәзирги күнлери нейтринолық хәм гравитациялық-толқынлық астрономия өзлеринің дәслепки нық қәдемлерин қоймақта.

Жигирмалаған жыллардан кейин олардың Әлемнің жаңа бетин ашатуғынлығының итималлығы жоқары.

Қызғын раўажланыўына қармастан астрономияның бир өзгешелиги өзгериссиз қалады. Оның дыққатының предмети – Жердеги қәлеген орыннан қараўға хәм үйрениўге мүмкин болған жулдыз аспаны. Аспан бәрше ушын бир хәм хәр бир адамның ықласы болса оны үйрениўи мүмкин. Хәтте хәзирги күнлери де (XXI әсирдин басында) астроном-ышқыпазлар бақлаў астрономиясының базы бир тараўларына өзлериниң үлеслерин қоспақта. Бул тек илимге үлес болып қалмастан, сол астроном-ышқыпазлардың өзлери ушын да оғада үлкен хәм басқа хеш нәрсе менен салыстырыўға болмайтуғын қуўаныш болып табылады.

Әлем санлар менен

Фундаменталлық турақлылар

Гравитация турақлысы	$6.67 \cdot 10^{-8}$	$\text{См}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$
Вакуумдеги 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 ³
1 эВ энергия бирлиги	$1.6 \cdot 10^{-12}$	эрг
Ядроның хәр бир нуклон ушын салыстырмалы байланыс энергиясының характерли шамасы	7 ÷ 8	МэВ
Протонның массасы / Электронның массасы	1836	
Массаның атомлық бирлиги	(12С ядроны массасы)/12	
Массаның атомлық бирлигиниң 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 ÷ 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 ³
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 уақытты 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 ³ хаўадағы молекулалар саны (Лошмит саны)	$3 \cdot 10^{19}$	
Хаўаның тығызлығы	$1.3 \cdot 10^{-3}$	г/см ³
Хаўаның моллик массасы	29	г/моль
Хаўа молекулаларының жыллылық тезликлери	0.5	км/с
Хаўа молекулаларының жыллылық энергиялары	0.025	эВ
Қоршаған орталық температурасы	300	К
Тығызлықлар: суў	1	
Темир	7.8	г/см ³
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 ³
Жер бетиниң қашыу тезлиги	11.2	км/с
Жердиң экватордағы айланыу тезлиги	0.5	км/с
Еркин түсиу тезлениуи	980	см/с ²
Магнит майданының кернеулиги	0.5	Гс

Жердің жасы	$4.5 \cdot 10^9$	Жыл
Жердегі тиришиліктің жасы	$4.5 \cdot 10^9$	Жыл
Сутқадағы секундлар саны	86 400	
Жылдағы секундлар саны	$3 \cdot 10^7$	
Толық Айдың көриніуінің жұлдызлық 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 ²
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 дөгерегинде айланыу дәуірі	250	Жыл
Юпитер Қуяш дөгерегинде айланыу дәуірі Орбитасының үлкен ярым көшери массасы	12 5 0.001 300	жыл а.б. Қуяш массасы Жер массасы
орташа тығызлығы өз көшери дөгерегинде айланыу дәуірі	1.3 10	г/см ³ саат

Егер арқа полюс тәрәптен қарасақ Қуяш дөгерегинде барлық планеталар саат стрелкасының бағытына қарама-қарсы бағытта айланады

Қуяш

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

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

Қуяш дискисінің орайында 1" 750 км ге сәйкес келеді

Қуяш жұлдыз сыпатында

«Бетинің» температурасы	5800	К
«Бетіндегі» тығызлық	10^{-7}	г/см ³
Қуяш атмосферасының химиялық құрамы (массасы бойынша)		
водород	70%	
гелий	27%	
Басқа элементлердің барлығы	3%	
Абсолют жұлдызлық шама (V жолағында)	+48 ^m	
Көриніудің жұлдызлық шамасы		
V жолағында	-26.7 ^m	
Болометрлік	-26.8 ^m	
B - V рең көрсеткіші	+0.65 ^m	
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		Қуяш радиусларында
Бас избе-излік	0.1 ÷ 25	
Қызыл гигантлар хәм аса гигантлар	10 ÷ 1000	
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 избе-излік	0.01 ÷ 100	г/см ³
Қызыл гигантлар хәм аса гигантлар	$10^{-7} \div 10^{-2}$	
"Бетлеринің" температуралары	3000 ÷ 50000	К

Б. Ақ иргежейлилер

Массалары:		
------------	--	--

орташа максималлық	0.6 1.4	Қуяш массасы
Радиуслары	0.01 шамасында	Қуяш радиусы
Орташа тығызлықтары	$10^5 \div 10^7$	г/см ³
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 тығызлықтары	$10^{13} \div 10^{14}$	г/см ³
Магнит майданлары	10^{14}	Гс
Өз көшери дөгерейінде айланыу дәуірлері	0.001 ÷ 10	с

Жұлдызлар аралық орталық

Галактиканың жұлдызлары массасы/ Жұлдызлар аралық затлар массасы	30	
Жұлдызлар аралық газлер массасы/ Жұлдызлар аралық шаңлар массасы	100	
Жұлдызлар аралық газлер температурасы диапазоны.	$10^1 \div 10^7$	К
Жұлдызлар аралық орталықтардың орташа тығызлығы	10^{-24}	г/см ³
Бөлекшелер концентрациясы	$10^{-3} \div 10^8$	См ⁻³
Магнит майданының кернеуілиги	$(3 \div 5) * 10^{-6}$	Гс
Газ думанлықлар Бөлекшелер концентрациясы Газ температурасы	$10^2 \div 10^4$ $(8 \div 12) * 10^3$	см ⁻³ 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 шекемгі аралық	8	кпк
Галактиканың орайы дөгерейінде Қуяштың қозғалыс тезли- ги	200	км/с
Галактикалық жыл	2 . 108	лет

Жулдызлар аралық қашықтықтар бірліктері

1 пк = 3.26 жақтылық жылы = 206 265 а.б. = $3 \cdot 10^{18}$ см.

Жулдызлар астрономиясындағы тезліктер бірлігі (1 а.б./жыл)	4.74	км/с
α Сен 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 заттардың тығызлығы (жұлдызлардың заттарын есапқа алғанда)	10^{-23} 0.1	г/см ³ Қуяш массасы/пк ³
Шар (тәризли) жыйнақтар Галактикадағы толық саны Тиккелей бақланады Бір жыйнақтағы жұлдызлар саны	~ 200 ~ 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 өлшеми	$10 \div 100$	
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 ³
Әлемдегі көринетуғын заттардың орташа тығызлығы	10^{-30}	г/см ³

Астрономия хәм астрофизиканың қысқаша тарихы

Бизиң эрамызға шекемгі 360-жыл шамасы.	Аристотелдің дүньяның геоорайлық системасы.
Бизиң эрамызға шекемгі II әсир.	Дүньяның биринши гелиоорайлық системасы (Аристарх Самосский).
Бизиң эрамызға шекемгі 240-жыл.	Жердің өлшемлерин (радиусын) биринши өлшеу (Эратосфен).
Бизиң эрамызға шекемгі II әсир.	Гиппарх. Прецессияның ашылуы, жұлдызлық шамалардың киргизилдиуі, жұлдызлар каталогы.
Бизиң эрамыздың 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 айланыслары хаққында»).
1610-жыл.	Галилей. Телескоплық астрономияның басланыуы.
1610-1620 жыллар.	Кеплер. Планеталардың қозғалыс ызымлары.
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 ауысыуды ашты: $z = (\lambda_{\text{дерек}} - \lambda_{\text{бакл}}) / \lambda_{\text{бакл}}.$ Бул аңлатпада $\lambda_{\text{дерек}}$ хәм $\lambda_{\text{бакл}}$ арқалы дерек пенен баклаушының меншикли координаталар системасындағы нурланыу ызынлықлары белгиленген.
1915-жыл.	Эйнштейн. Улыумалық салыстырмалылық теориясы (Эйнштейннің гравитация теориясы).
1917-жыл.	Альберт Эйнштейннің «Космология мәселелери хәм улыумалық салыстырмалылық теориясы» мийнетінің жарық көриуі.
1918 жыл.	Шепли. Галактоорайлық революция.
1922-1924 жыллар.	А.Фридман. Эйнштейн теңлемелерінің сатционар емес шешимлери (Фридманның космологиялық моделлери).
1929-жыл.	Э. Хаббл, қашықласыушы галактикалар ушын $v = H_0 r$ ызымы. Қашықласыушы галактикалардың тезликлери қызылға ауысыуды Допплер эффекти деп интерпретациялау жолы менен анықланады: Киши z лерде $z = \Delta\lambda / \lambda = v / c.$ Хаббл турақлысының мәнисин 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") хәм температурасы $T \sim 5 \text{ К}$ болған реликтив нурлардың бар екенлигин болжау.
1950-жыллар.	Жұлдызлар эволюциясы.
1960-жыллар.	Квазарлар, 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 хәм 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) хәм "COBE" (АҚШ) космослық экспериментлерінде реликтив нурланыудың киши флукутациялары

	бақланды.
1998-жыл.	Реликтив микротолқынлық нурланыудың флуктуацияларының мүйешлік спектри өлшенді.
1995-1996 жыллар.	Жақын жұлдызлардың планеталар системаларының ашылыуы.
1998-жыл.	Комослық вакуум хәм антигравитация.

Астрономияның бөлімлері

Астрономияның баслы бөлімлері төмендегілер болып табылады:

1. *Астрометрия* — кеңілік пенен уақытты өлшеу хакқындағы илим. Ол мыналардан турады: а) *сфералық астрономия* (хәр қыйлы координаталар системаларының жәрдемінде аспан денелериниң көринетуғын орынларын хәм қозғалысларын анықлайтуғын математикалық усылларды ислеп шығады хәм жақтыртқышлардың координаталарының уақытқа 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 уақытты анықлау усыллары 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 тәсириндеги 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 усыллары хәм сәйкес әсбап-үскенелер исленип шығады); б) *теориялық астрофизика* (физика нызамлары тийкарында аспан денелеринде бақланып атырған физикалық кубылыслар түсиндириледи) болып екиге бөлинеди.

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

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

Бул еки бөлімде тийкарынан астрономияның екінши мәселесі шешиледи.

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

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

Аспан денелері хакқында алынған барлық мағлыұматлар тийкарында астрономияның кейинги еки бөліми оның үшінши мәселесин шешеди.

Ал улыұма астрономия курсы болса астрономияның хәр қыйлы бөлімлері тәрепинен алынған нәтижелер менен қолланылған тийкарғы усыллардың системалы баянланыуын өз ишине алады.

Әлемнің құрылысы хаққындағы қысқаша очерк

Адамлар тәрәпинен үйренілген кеңіслик бизиң Қуяшымыз тәризли аспан денелери болған оғада көп санлы жулдызлар менен толған.

Жулдызлар кеңісликте тәртипсиз түрде тарқалған, олар галактикалар деп аталатуғын системаларды пайда етеди. Галактикалар көпшилик жағдайларда эллипс тәризли, кысылған хәм тағы да басқа түрлерге ийе болады. Галактиканың бир шетинен шыққан жақтылық екинши шетине онлаған, жүзлеген мың жылда жетеди (жақтылықтың тезлигиниң 300 000 км/сек екенлигин умытпаймыз).

Айырым галактикалар арасындағы қашықлықлар оннан да үлкен – галактикалардың өзлериниң өлшемлеринен онлаған есе үлкен.

Хәр бир галактикадағы жулдызлар саны оғада үлкен – жүзлеген миллионнан жүзлеген миллиардқа шекем. Жерден айырым галактикалар эззи думан сыяқлы дақлар түринде көринеди хәм сонлықтан оларды бұрынлары галактикадан тыс думанлықлар деп атады. Тек жақын галактикаларда ғана күшли телескоплар жәрдемінде айырым жулдызларды көриўге болады.

Галактикалардың ишиндеги жулдызлардың тарқалыўы бир текли емес. Мысалы галактиканың орайлық бөлимлеринде жулдызлардың концентрациясы жоқары. Көпшилик жағдайларда жулдызлар хәр қыйлы жыйнақларды пайда етеди.

Галактикадағы жулдызлар арасындағы орталық газ, шаң, элементар бөлекшелер, электромагнит нурланыў хәм гравитациялық майдан түриндеги материя менен толған. Жулдызлар менен галактикалар аралық орталықлардағы затлардың тығызлығы оғада аз. Аспанда бақланатуғын Қуяш, жулдызлардың көпшилиги, жулдызлар топарлары бизиң Галактика деп аталатуғын системаны пайда етеди. Бул Галактикаға кириўши эззи оғада көп сандағы жулдызлар куралланбаған адам көзине аспан арақалы өтетуғын хәм Қус жолы деп аталатуғын жақты жолақ болып көринеди.

Қуяш бизиң Галактикамыздың көп миллиард жулдызларының бири. Бирақ Қуяш жалғыз жулдыз емес – ол Бизиң Жер сыяқлы планеталар менен қоршалған. Планеталар (барлығы емес) да өзиниң жолдасларына ийе. Жердиң жолдасы Ай болып табылады. Қуяш системасының құрамына планеталар хәм олардың жолдасларынан басқа астероидлар (киши планеталар), кометалар хәм метеорлық денелер киреди.

Хәзирги ўақытлардағы астрономия бизиң Галактикамыздағы жулдызлар менен басқа да галактикалардағы жулдызлардың басым көпшилиги бизиң Қуяшымыз сыяқлы өз жолдасларына ийе екенлигин биледи¹.

Әлемдеги барлық нәрселер қозғалыста болады. Планеталар хәм олардың жолдаслары, кометалар хәм метеорлық денелер қозғалады. Соның менен бирге галактикалардағы жулдызлар да, галактикалардың өзлери де бир бирине салыстырғанда қозғалыста. Материясы жоқ кеңісликтің жоқ екенлиги сыяқлы, қозғалмайтуғын материя да жоқ.

Жоқарыда гәп етилген Әлемнің тийкарғы қәсийетлери мыңлаған жыллар даўамында өткерилген изертлеў жұмысларының нәтийжелери болып табылады. Әлбетте Әлемнің хәр қыйлы бөлимлери хәр қыйлы тереңликте үйренілген. Мысалы XIX әсирге шекем тийкарынан Қуяш системасы, тек XIX әсирдиң орталарынан баслап Қус жолының құрылысы, ал XX әсирдиң басынан баслап жулдызлар системасы изертлене баслады.

Әлемнің масштаблары

Бул параграф көргизбелилик мақсетинде жазылған. Биз төменде астрономияның не менен шуғылланатуғынлығын хәм тәбиятта бос орынлардың қаншама ямаса қандай екен-

¹ Бизиң Галактикамыз, Қуяш, Жер, Ай үлкен хәриплер менен жазылады.

лигин көреміз. Бул мақсетке жетіу үшін Әлемнің базы бир масштаблардағы моделин дүземіз.

Дәслеп Жерда диаметри 10 см болған шар деп қабыл етеміз (демек масштаб 1:127 млн.). Бундай жағдайда Жердің экваторлық хәм поляр радиуслары арасындағы айырма (бул айырма 22 км ге тең) 0.17 мм ге тең болады. Жер атмосферасы әдеуір қалың. Бирақ егер ондағы барлық хаўа теңиз бети қәддиндегидей тығызлыққа ийе болуўы үшін оның қалыңлығы 8 км болуўы керек. Хақыйқатында 8 км ден бийиктеги хаўа дем алыу үшін жарамсыз. Соның үшін сол 8 км деген шаманы биринши жақынласыўда атмосфераның жоқарығы шегарасы деп қабыл етиўге болады. Бизиң моделимизде қалыңлығын 8 км болған қатлам қалыңлығы 0.06 мм болған пленкаға сәйкес келеди. Шама менен 100 км бийикликте молекулалардың концентрациясы 10^{13} молекула/см³, усы бийикликке шекем Жер атмосферасындағы хәр қыйлы газлердің араласыўы орын алады. Сонлықтан 100 км бийикликтен төменги бийикликлерде хаўаның химиялық қурамы шама менен бирдей. Ал жоқары бийикликлерде болса молекулалардың салмағы бойынша айрылыўы орын алады (бул шегара гомопауза деп аталады). Метеорлар тап сондай бийикликлерде жана баслайды. Биз қарап атырған моделде бул қатламның қалыңлығы 0.8 мм ге сәйкес келеди. 300 км ден баслап Жердің жасалма жолдасларының орбиталары жайласқан область басланады. Бизиң 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 болуўы үшін 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 мағлыўматлардан 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 - диаметрлері 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, диаметрлері 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) өлшемлері 15 м болған астероидлар сәйкес келеди. Ең жақтылы кометалардың өлшемлері (қуйрықлар менен қоса есаплағанда қысқа ўақытлар ишинде (Қуяшқа жақындаған ўақыт моментлеринде) планеталар арасындағы қашықлықлар менен барабар болады. Бирақ ең үлкен кометалардың ядроларының өлшемлері бир неше онлаған километрден үлкен болмағанлықтан хәм олардың массаларының планеталар массаларына карағанда оғада киши болғанлығынан оларды есапқа алмаўға болады.

Усы моделдегі жақтылық тезлигі 0.2 см/с қа, Жердің орбиталық тезлигі 0.7 мм/саат қа ямаса 6.3 м/жыл ға тең. Сонлықтан биз жоқарыда гәп еткен футбол майданы менен ба- рабар кеңіслик статикалық (қозғалыстар көзге түспейтуғын) кеңіслик болып шығады.

Жерден Қуяш 30' лық мүйешлік өлшемде көринетуғын болғанлықтан Қуяштан Жерге салыстырғанда 30 еседей қашықтықта жайласқан Нептунда диаметрі 1' болған диск бо- лып көринеді (қуралланбаған көзге ноқатлық жақтыртқыш болып көринеді). Усыған сәйкес Нептунның бетинің майдан бирлигине келип түсетуғын Қуяш нуры (жақтыланғанлығы, освещенность) Жердегиге карағанда 900 есе кем болады. Сонлықтан салқынлық (төмен температуралар) пенен бир катарда Қуяш системасының шетлери караңғылыққа шүмген. Бул жағдай Қуяш системасының шетлериндеги (Плутоннан да сырттағы) планеталарды излеуді әдеуір қыйынластырады.

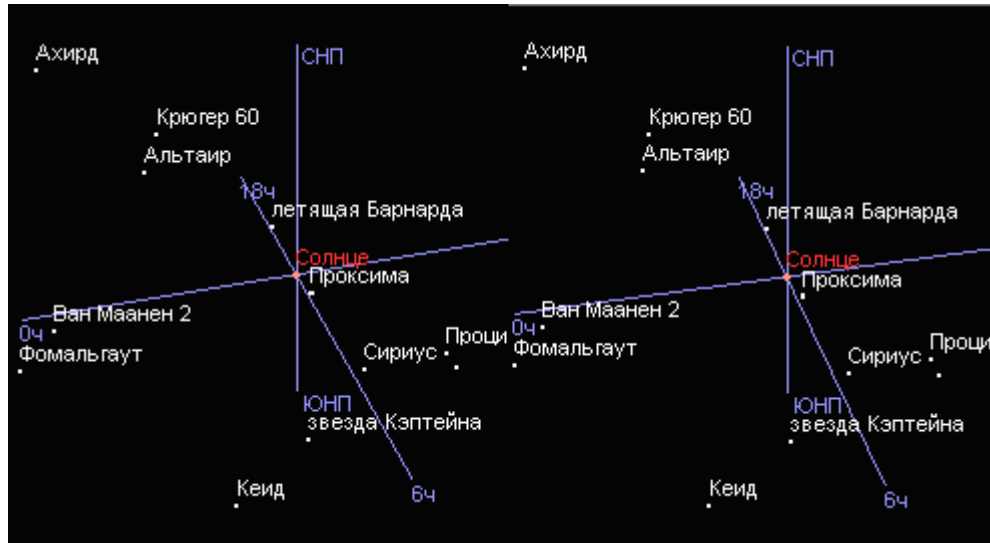
Биз қабыл еткен Қуяш моделинен шама менен 100 м қашықтықта (100 а.б.) гелиопауза деп аталатуғын шегара жайласқан (бундай шегарада Қуяш самалының тәсири жулдызлар самалының тәсиринен киши болып қалады). Бул жулдызлар аралық кеңісликтің басланыуы болып табылады. Буннан кейин шама менен 100 км ге шекемги аралықта (100 тыс. а.б.!) гипотезалық Оорт беллиги жайласады. Бул белликти Қуяш системасы ушын кометалардың ямаса кометалық материалларды жеткизип бериуши деп есаплайды. Ал буннан да үлкен қашықтықларда жулдызлар жайласқан. Олардың ишиндеги ең жақыны - Центаврдың α сы ямаса Толиман бизиң моделимизе диаметрлери 1 см болған шариклер болып табылады хәм сондай болған шариктен (Қуяштан) 278 км (1.35 пк = 278 мың а.б.) қашықтықта жайласады. Бул системаның үшінши кураушысы Центаврдың Проксимасы диаметри 1 мм болған қум дәнешесиндей түрге ийе болып Қуяшқа 11 км жақын жайласа- ды.

Бул мысалдан жулдызлардың Жерден қандай мүйешлік өлшемлер менен хәм олардың бир бири менен соқлығысыуының итималлылығының қаншама киши екенлиги көринип тур. Қала берсе, бундай масштаблардағы Қуяштың этираптағы жулдызларға салыстырғандағы тезлиги (20 км/с) 0.5 мм/саат ғана болады. Бундай тезлик пенен ол бир жылда тек 4.2 м ге орнын алмастырады. Жулдызлар аралық қашықтықларға 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.

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

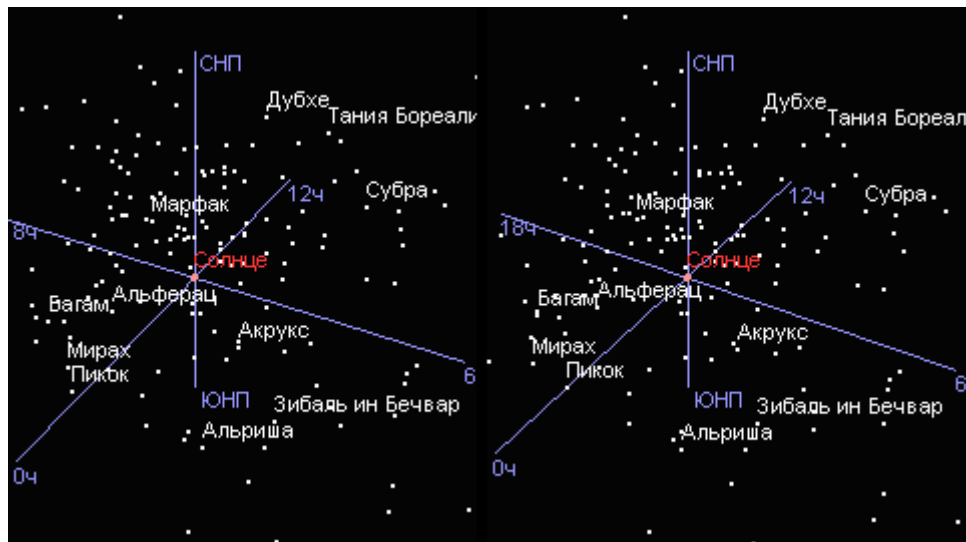
Галактиканы көз алдымызға келтириу ушын 1 см де 1 пк масштабты қабыл етемиз ($1 : 3.1 \cdot 10^{18}$). Бундай жағдайда Қуяштың дөгерегиндеги жулдызлар арасындағы орташа қашықтық 1.5 см ди курайды, ал жулдызлардың өзлеринің өлшемлери болса протонның өлшемлеринен де киши болып қалады.

Қуяшқа ең жақын жулдызға шекемги аралық (α Центавра системасы) 1.3 см, Барнард жулдызына 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 кеңісліктегі жайласулары берілген.

Жұлдызлардың ең жақын жыйнағы (Гиадлар) Қуяштан 40 см қашықтықта жайласады. Оның өзінің меншік өлшемі 13 см ди қурайды. Тап сол сыяқты Плеядалардағы жұлдызлар жыйнағына шекемги қашықтық 1.3 м (оның диаметрі 6.8 см), χ хәм h Пер қос жыйнағы 20 м ге жайластырыуға тууры келеди (диаметрлері 17 см хәм 14 см). Геркулестегі әдеттегідей шар тәрізлі жыйнақтың диаметрі 23 см болып, оған шекемги қашықтық 50 м. Лирадағы «Жүзик» деп аталыушы планеталық думанлық 2x3 мм өлшемге ийе хәм 7 м қашықтықта жайласады (тап сол сыяқты Орион думанлығының өлшемлері 5 см болып 3.5 м қашықтықта, Краб тәрізлі думанлық 1 см өлшемге ийе болып 10 м қашықтықта жайласады).



Жоқарыдағы сүүрет Қуяштан шама менен 100 пк шаклерінде.

Галактиканың орайын Қуяштан 100 м қашықтықта жайластырыуға туура келеди. Бул орай Sgr A радиодереги болып табылады. Оның интенсивли қураушыларының бири 10 см лик диаметрге ийе болады хәм өзінің ишине диаметрі ~ 1.5 см болған жақтылы ядроны (кернди) алады. Олардың барлығы да Галактиканың созылған ядросы менен қоршалған

(ярым көшерлері 11x11x5 м болған). Галактика дискнің радиусы 150 м хәм оның ишинде кемінде үш спирал тәризли тармақ болады: бириншиси Галактиканың орайына жақыны (Атқыш жеңі), органшысының шетінде Қуяш системасы жайласады (Орион жеңі), үшіншиси сыртқысы Қуяштан ~40 м қашықлықта жайласады (Персей жеңі). Усылардың барлығы да радиусы 250 м ден кем болмаған сфералық жұлдызлық галонның ишинде жайласады. Ал усы галодан 500-600 м болған қашықлықта 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 айланады. Галактиканың жолдаслары Үлкен хәм киши Магеллан бултлары сәйкес 5.2 хәм 7.1 см қашықлықларда 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 қашықлықта 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 қашықлықта) хәм Геркулесте (190 м). Ең жақын квазарды (3С273, ол да Девада) 630 м қашықлыққа, ал ең алыс квазарларды 3.7 км қашықлыққа қойыўға туўра келеди.

Әлемнің ўақыялар горизонтына (14 млрд. жақтылық жылы) бизиң кейинги моделимизде 4.6 км лик қашықлық сәйкес келеди.

Пүткил дүньялық тартылыс нызамы астрономияның ең бас нызамы сыпатында

Бул нызам И.Ньютон тәрепинен 1687-жылы тәжирийбелерде 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 қашықлық, G арқалы гравитация турақлысы белгиленген. Массасы m_1 болған денеден r қашықлығында 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 қашықлық болып табылады. Сфералық емес денелер ушын нызам жуўық түрде орынланады. Соның менен бирге дене-

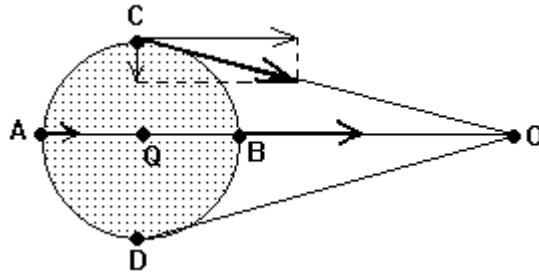
лер арасындағы қашықтық олардың өлшемлерінен қанша үлкен болса нызам да соншама үлкен дәллікте дурыс орынланады.

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

(1) ге сәйкес тартылыс күши массаларға туўры пропорционал, ал қашықтықтың квадратына кери пропорционал. Бирақ масса денениң сызықты өлшеминиң кубына туўры пропорционал. Демек, егер тығызлықтарын өзгертпей денелердиң өлшемин де, олар арасындағы қашықтықларды да (мысалы) 10 есе арттырсақ, онда денелердиң 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 турақтысының мәнисиниң жүдә киши болғанлығынан Жердиң бетинде жайласқан айырым денелер арасындағы тартылыс Жердиң өзи менен тартылысқа салыстырғанда оғада аз. Бирақ планеталар аралық масштабларда (жүзлеген миллион километрлерде) массаның үлкейиўи G ниң киши мәнисин компенсациялайды хәм гравитация бас күшке айланады.

Масштаблар киширейгенде кери эффект бақланады. Бул биологиядан да белгили. Мысалы адамның өлшемлерин кумырысқаның өлшемлерине шекем киширейтсек (яғный жүз есе), оның массасы миллион есе кемейеди. Ал булшық етлердиң күши олардың кесекесимине (яғный сызықты өлшеминиң квадратына) пропорционал болғанлықтан, бул күштиң шамасы тек 10 000 есе киширейеди (демек күштен 100 есе утамыз). Усы жерде насекомалардың ири хайўанларға салыстырғанда төменлетилген гравитацияда жасайтуғынлығына көз жеткериў мүмкин. Сонлықтан егер кумырысқаны пилдей өлшемлерге үлкейтсек қандай күшке ийе болар еди деп сораў қойыў мәнисизликке алып келеди. Насекомалардың (барлық киши хайўанлардың) денелериниң 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) өмириниң көп бөлимин суўда өткерген болса керек.

Тири дүньядағы ушыўшылық қәбилетлик те денениң массасы менен шекленген. Булшық етлердиң күши менен бирге қанаттың майданы да сызықты өлшемлерге пропорционал өседи. Яғный массаның базы бир шеклеринде ушыў мүмкин болмай қалады. Массаның бул критикалық мәниси шама менен 15-20 кг ды курайды (бул ең аўыр куслардың массасы). Сонлықтан әйемги гигант кесирткелердиң узақ аралықларға ушқанлығы хәққындағы мағлыўматлардың дурыслығы гүмән пайда етеди. Олардың қанатлары тек бир теректен екинши терекке секиргенде жәрдем берген болса керек.



1-сүүрет. Тасыў күшлери.

Енди астрономияға қайтып келемиз.

Егер O 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 B ноқаты алыста жайласқан A ноқатына салыстырғанда қашықлықлардың хәр қыйлы болғанлығынан үлкенирек күш тәсир етеди. Сонлықтан сол еки денениң орайларын тутастырыўшы QO сызығы бойынша O денеси AB кесиндисин керийге тырысады. OQ сызығынан қашықласқан C хәм D ноқатларына тартысыў күшлери QO сызығына белгили бир мүйеш пенен тәсир етеди. Сонлықтан бул күшти еки кураўшыға жиклеўге болады: биринши кураўшысы QO бағытына параллел, ал екиншиси оған перпендикуляр – Q денесиниң орайы бағытында. Яғный OQ көшеринде жатпайтуғын денелерге усы көшерге перпендикуляр бағытта қысатуғын күшлер тәсир етеди екен. Бул керий хәм қысылыў күшлерин тасыў күшлери деп атаймыз². Ай тәрәпинен Жерге усындай күшлердиң тәсир етиўи тасыўлар менен қайтыўларды пайда етеди.

Жер бетиндеги тасыў толқынының бийиклигин анықлаў ушын есаплаўлар жүргиземиз. Эпиўайылық 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:

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

Бул аңлатпада $g_n(r)$ арқалы Айға перпендикуляр бағыттағы радиус бойынша еркин түсиў тезлениўи, $g_l(r)$ арқалы Айға қарай бағытланған радиус бағытындағы еркин түсиў тезлениўи, M_l арқалы Айдың массасы, b арқалы Ай орбитасының үлкен ярым көшери a менен r радиус-векторы арасындағы айырмаға тең Айға шекемги аралық. Еркин түсиў

² «Тасыў күшлери» (орысшасы «приливные силы») теңизлер менен океанлардың бир сутка ишиндеги тасыўлары хәм қайтыўларына байланыслы пайда болған.

тезлениуінің r ден ғәрезлилиги еки радиуста да бирдей: $g_{II}(r) = g_I(r) = GM/r^2$, бул жерде M арқалы r радиусы ишиндеги масса белгиленген: $M(r) = \rho \cdot 4\pi r^3/3$ (ρ заттың тығызлығы). Усылардың барлығын да (3)-теңлемеге қойсақ, буннан кейин m хәм G ге қыскартсақ хәм Жердің барлық радиусы бойынша интегралласақ мынаған ийе боламыз:

$$R_{II}^2 = R_I^2 - M_{II}/2/\pi/\rho \cdot (1/a - 1/(a-R_I)). \quad (4)$$

Егер усы аңлатпаға Жердің радиусын, Айдың массасы менен орбитасының үлкен ярым көшеринің мәнислерин қойсақ $R_I - R_{II} \sim 7.3$ м шамасы алынады. Бул шама хақыйқый тасыў толқынының шамасынан әдеуір үлкен. Бирақ хақыйқатында Жердің өз көшери дөгерегинде айланыуының себебинен оның қатты қабығы өзинің формасын өзгертип үлгере алмайды хәм сонлықтан тасыў толқынын тийкарынан хаўа хәм суў қатламы пайда етеди деп болжаў керек³.

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

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

Радиусы a_R болған сфера ишинде денинің пайда болыуы ушын заттың конденсациясы да орын алмайды. Гигант планеталардың сақыйналарының пайда болыу себеби де усыннан болса керек деп болжаймыз.

Планеталардың қозғалыс нызамлары

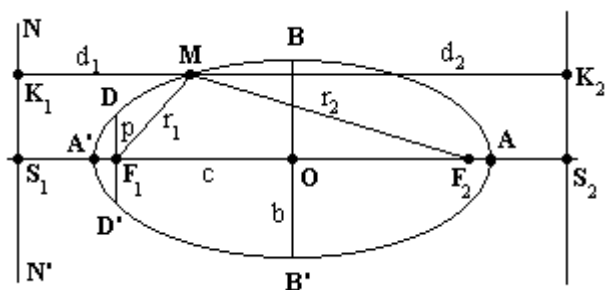
Конуслық кесимлер

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

Конуслық кесимлер туўры дөңгелек конус тегислик пенен кесискенде пайда болады. Бундай кесимлерге екінши тәртипли иймекликлер киреди: эллипс, парабола хәм гипербола. Бул иймекликлердің барлығы да ноқатлардың геометриялық орны болып, усы ноқатлардан берилген ноқатқа (фокусқа) хәм берилген туўрыға (дирктрисаға) шекемги

³ Хақыйқатында да Жердің қатты қабығының тасыў амплитудасы 1 метрден артпайды.

қашықтықтардың қатнасы эксцентритет e ге тең тұрақты шама болады. Егер $e < 1$ болса эллипс, $e = 1$ де парабола, $e > 1$ де гипербола алынады.



1-Сүўрет. Эллипс.

Эллипс 1-сүўретте көрсетілген. А, А', В, В' нокәтлары эллипстинң төбелери, О орайы, АА' – үлкен көшери $|OA| = |OA'| = a$ (а арқалы үлкен ярым көшер белгиленген), ВВ' киши көшер $|OB| = |OB'| = b$ (b арқалы киши ярым көшер белгиленген), F_1 хәм F_2 арқалы эллипстинң көшерлери белгиленген (үлкен көшердинң бойында жатқан, эллипстинң орайынан еки тәрәп бойынша $c = (a^2 - b^2)^{1/2}$ қашықтықта 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 нокәттан (F_1 хәм F_2 нокәтлары) қашықтықларының қосындысы тұрақты шама болып қалатуғын нокәтлардың геометриялық орнына айтады екенбиз: $r_1 + r_2 = |AA'| = 2a$.

Директрисалар деп киши көшерге параллел хәм оннан $|OS_1| = |OS_2| = d = a/e$ қашықтығында жайласатуғын туўрыларға айтамыз. Егер эллипстинң қәлеген ықтыярлы М нокәтынан директрисаларға шекемги қашықтықты $|MK_1| = d_1$ хәм $|MK_2| = d_2$ деп белгилесек, онда эллипстинң қәлеген М нокәты ушын $r_1/d_1 = r_2/d_2 = e$ қатнасы орынланады.

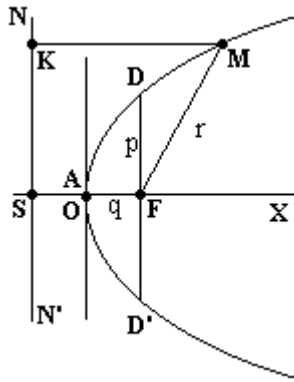
Эллипстинң шеклик жағдайы шеңбер болып табылады. Шеңберди фокуслары орайында бир нокәтта жайласқан эллипс деп караў мүмкин. Соның ушын шеңбер ушын

$$c = 0,$$

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

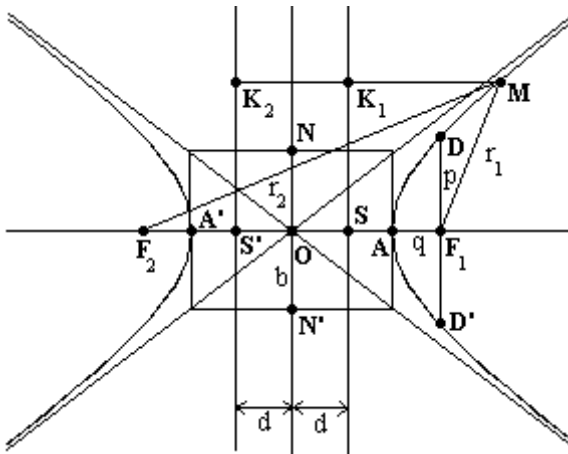
$$e = 0$$

Шеңбер ушын директрисалар анықланбаған.



2-сүўрет. Парабола.

Парабола 2-сүўретте көрсетилген. ОХ параболаның көшери, О төбеси, F - фокус (төбесинен $p/2$ қашықлығында орналасқан нокат), NN' - директриса (көшерине перпендикуляр хэм оны фокусынан қарама-қарсы тәрәпинде төбесинен $|OS| = p/2$ қашықлығындағы нокат арқалы жүргизилген туўры), p – фокаллық параметр (фокустан директрисаға шекемги қашықлық ямаса фокус арқалы көшерге перпендикуляр жүргизилген DD' хордасының ярымы). Парабола берилген нокаттан (фокустан) хэм берилген туўрыдан (директрисадан) бирдей қашықласқан нокатлардың геометриялық орны болып табылады: $|MF| = r = |MK|$. Сонлықтан парабола ушын эксцентриситет $e = 1$.



3-сүўрет. Гипербола.

Гипербола 3-сүўретте келтирилген. $AA' = 2a$ хақыйқый көшер, A, A' төбелери, O орайы, F_1 хэм F_2 фокуслары (хақыйқый көшерде, орайдың еки тәрәпинде сол орайдан $c > a$ қашықлығында жатқан нокатлар), NN' жормал көшер ($|NN'| = 2b = 2\sqrt{c^2 - a^2}$), $p = b^2/a$ фокаллық параметр (хақыйқый көшерине перпендикуляр бағытта фокус арқалы жүргизилген хорданың ярымы). Гиперболаның эксцентриситети $e = c/a > 1$. Гипербола берилген еки нокаттан (фокуслардан) қашықлықларының айырмасы тураклы хэм $2a$ ға тең нокатлардың геометриялық орны сыпатында анықланады.

Директрисалар хақықый көшерге перпендикуляр хәм орайдан $d = a/e$ қашықлығында жайласқан туўрылар болып табылады. Гиперболаның қәлеген M ноқаты ушын $r_1/d_1 = r_2/d_2 = e$ қатнасы орынланады ($d_1 = |MK_1|$ хәм $d_2 = |MK_2|$).

Кеплер ызыамлары

Планеталардың қуяштың дөрегегинде қозғалыўының үш ызыамы XVII әсирдин ба-сында немис астрономы И.Кеплер тәрәпинен әмпирикалық (тәжирийбелердин нәтийжелерин улыўмаластырыў) жолы менен ашылды хәм сонлықтан олар Кеплер ызыамлары деп аталады. Бул ызыамлар И.Ньютон тәрәпинен пүткил дүньялық тартылыс ызыамын ашыўда анықлаўшы орынды ийеледи хәм улыўмаласқан хәм дәллиги арттырылған түрде аспан механикасына кирди. Усындай формада Кеплер ызыамлары гравитациялық жақтан байланысқан еки денениң орбитасын тәриплейди (еки дене мәселеси). Сол еки денеге басқа денелердин тәсири тиймейди деп есапланады.

Кеплер ызыамларының мазмуны төмендегилерден ибарат:

1-ызыам. Қозғалыўшы денениң орбитасы екинши тәртипте ийемклик болып табылады (эллипс, парабола ямаса гипербола), фокустарының биринде тартыў күшиниң орайы жайласады (ямаса системаның масса орайы).

2-ызыам (теңдей майданлар ызыамы). Басқа денелердин (үшинши, төртинши х.б.) тәсири болмаған жағдайларда қозғалыўшы денениң радиус-векторы басып өтетуғын майданның шамасы ўақытқа пропорционал болады (бирдей ўақыт аралықларында бирдей майданды басып өтеди).

3-ызыам. Бул ызыам тек эллипс тәризли орбиталар ушын қолланылады хәм улыўмаластырылған түрде былай айтылады: Қуяштың дөрегегинде айланыўшы еки планетаның айланыў дәўирлери 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 көшерлердин 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 ызыамда массалары M_1 хәм M_2 болған денелер арасындағы тәсирлесий есапқа алынбайды. Егер сол денелердин массаларын Қуяштың массасына салыстырғанда жүде киши деп есапласақ ($M_1 \ll M_S$, $M_2 \ll M_S$), И.Кеплердин өзи тәрәпинен келтирилип шығарылған 3-ызыамның формулировкасы алынады:

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

Кеплердің 3-нызамын планетаның массасы M , айланыу дәуірі T , орбитасының үлкен ярым көшери a арасындағы ғәрезилік сыпатында көрсетіуге болады (G гравитация турақлысы):

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

Бирақ бір ескертіуді келтиріп өтіу керек. Әпиұайылық ушын бір денени екінші дене этирапында айланады деп есаплайды. Бул жағдай бір денениң массасын екінші денениң массасы (тартыушы орай) қасында есапқа алмауға болатуғын болғанда ғана дурыс. Егер массалардың шамалары бір бирине жақын болса массасы киши болған денениң массасы үлкен болған денеге тәсирин есапқа алыу керек. Басы еки денениң массаларының орайында жайласқан координата системасында еки денениң орбиталары да конуслық кесімлер болып табылады. Бул кесімлер бір тегисликте жатады, фокуслары массалар орайында жайласады, олардың эксцентриситетлери бирдей болады. Айырма тек орбиталардың сызықлы өлшемлеринде болады (денелердің массалары хәр қыйлы болатуғын болса). Қала берсе қалеген уақыт моментинде массалар орайы денелердің орайларын тутастыратуғын туурының бойынша жайласады, ал массалары M_1 хәм M_2 болған денелердің орайлары r_1 хәм r_2 ге шекемги қашықлықлар төмендегидей қатнастар менен байланысқан:

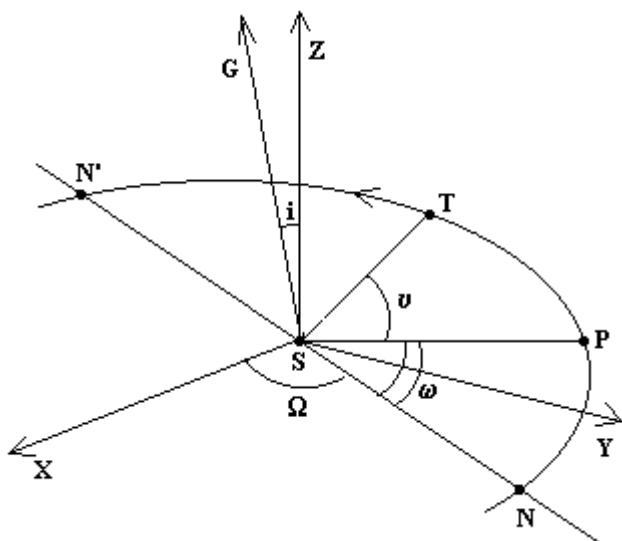
$$r_1 / r_2 = M_2 / M_1$$

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

Орбиталар элементлери

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

Денениң орбитасының тартыушы орайға (фокусқа) ең жақын ноқаты периорай, ал ең алыс ноқаты (тек эллипсте) апоорай деп аталады. Егер тартыушы дене Жер болса бул ноқатлар сәйкес перигей хәм апогей, Қуяш болса перигелий хәм афелий, егер ықтыярлы жұлдыз болса периастр хәм апоастр деп аталады. Переорайды фокус пенен тутастырыушы тууры (эллипстин үлкен көшери, параболаның көшери ямаса гиперболаның хақыйқый көшери) апсид сызығы деп аталады.



4-сүўрет. Орбитаның элементлери.

Орбитаның кеңісліктеги ориентациясын тәриплеу үшін басы орбита фокусы S пенен бир нокатта жайласқан базалық координаталар системасын қабыл етиу керек. Базалық координаталар системасы XSY базалық тегислик пенен тәрипленеди (4-сүўрет). Жердиң жасалма жолдастарының қозғалыстарын үйренгендеги базалық тегислик ретинде әдетте Жер экваторы тегислигин қабыл етеди, ал планеталардың Қуяш дөгерегинде айланыстарын изертлегенде эклиптика тегислиги, ал жұлдызлар астрономиясында галактикалар тегислиги қабыл етиледі. SX көшери басланғыш бағыт болып табылады. Қуяш системасындағы орбиталар үшін бул бағыт ретинде әдетте бәхәрги күн теңлесіу нокатына қарай бағытланған бағыт қабыл етиледі.

NPN' орбита тегислигиниң (P орбитаның периаорайы) базалық тегислик XSY пенен кесилисіу 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 бақлау жүргизилгенде T аспан денеси саат стрелкасының бағытына қарама-қарсы бағытта қозғалатуғын болса, онда N нокаты орбитаның шығыу түйини (восходящий узел), ал N' нокаты орбитаның батыу түйини (нисходящий узел) деп аталады. Базалық тегисликтің дәслепки бағыты SX пенен түйинлер сызығы SN ниң оң бағыты арасындағы мүйеш Ω шығыушы түйинниң узынлығы (долгота восходящего узла) деп аталады хәм SX көшеринен SU көшери тәрепке 0° тан 360° қа шекем өлшенеди.

Орбита тегислиги менен базалық тегислик арасындағы мүйеш i орбитаның еңкейіуи (наклонение орбиты) деп аталады хәм 0° ден 180° 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 ω перицентр аргументи деп аталады. Бул мүйеш денениң қозғалыс бағытында өлшенеди хәм 0° тен 360° қа

шекемги мәнислерди қабыл етеди. Бир қанша жағдайларда ω мүйешиниң орнына перицентрдің узынлығы (долгота перицентра) деп аталатуғын π мүйешин қолланады. Бул мүйеш базалық тегисликте SX көшеринен баслап SN түйинлер сызығына шекем, буннан кейин орбита тегислигинде SP апсидлер сызығына шекем өзгереді. Сонлықтан $\pi = \Omega + \omega$.

Орбитаның өлшеми менен оның формасы е эксцентритети хәм фокаллық параметр p жәрдемінде 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 жәрдемінде анықланатуғын φ менен алмастырады.

T аспан денесиниң базы бир ўақыт моменти t дағы аўхалы денениң радиус-векторы ST менен апсидлер сызығы арасындағы мүйеш ν жәрдемінде анықланады. Бул ν мүйеши t дәўириндеги ҳақыйқый аномалия деп аталады. Көпшилик жағдайларда элемент сыпатында денениң орбита периорайы P арқалы өтиў ўақытының моменти τ қолланылады.

Жоқарыда келтирилген p , e , i , Ω , ω хәм τ элементлери орбитаның Кеплер элементлери деп аталады хәм орбитаны оның типинен (эллиптикалақ, 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 денениң кинетикалық энергиясы, $E_p = -G \cdot M \cdot m / r$ массасы m болған, M массалы денеден r қашықлығында турған денениң 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 ($V_0^2 < 2 \cdot GM / r_0$) денениң кинетикалық энергиясы гравитациялық байланысты басып өтиўге жетпейди (денениң радиус-векторы жоқарыдан шекленген) хәм усыған сәйкес туйық, эллипс тәризли орбита бойынша айланыс орын алады. Бундай қозғалысты маятниктиң қозғалысы менен салыстырып көриў мүмкин – бул жағдайда көтерилю барысында кинетикалық энергияның потенциал энергияға айланыў, ал түсиў барысында кери 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 денениң қашықласыў тезлиги нолге тең болмайды. Бул гипербола бойынша қозғалыс болып табылады.

(4)-теңлемеден гравитация пайда етиўши орайға жакынласқанда денениң орбиталық тезлигиниң артатуғынлығы, ал қашықласқанда киширейетуғынлығы көринип тур. Бул Кеплердиң екинши 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 пүткил дүньялық тартылыс нызамы бойынша массасы M болған орайлық денеден r қашықлығында турған массасы m болған денеге $F = G * M * m / r^2$ (G - гравитация турақлысы) тартылыс күши тәсир етеди. Бул күш орайдан қашыўшы күш $F' = m * \omega^2 * r$ пенен теңлеседи (ω арқалы массасы m болған денениң мүйешлик тезлиги белгиленген). Айланбалы қозғалыс ушын r өзгериссиз қалады хәм сонлықтан F күши шамасы бойынша өзгериссиз қалады. Бул мүйешлик тезликтин де өзгермей қалатуғынлығын билдиреди. Сызықлық тезлик $V = \omega * r$ (бул да турақлы). Соның ушын $F = F'$ теңлигинен

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

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 дәўир T радиусы r болған шеңбердиң узынлығын V_1 ге бөлиў арқалы алынады, яғный

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

Егер (5) хәм (6) ға Жердиң 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 Жердиң 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 $V_1 = 3.07$ 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 умытпаўымыз керек).

Эллипс тәризли орбита бойынша қозғалыс

Эллипс тәризли орбита бойынша қозғалысларды тәриплеў ушын бир катар арнаўлы параметрлер зәрүрли болады. 5-сүүретте мынадай белгилеўлер киргизилген: S – эллипс фокусы, O – оның орайы, P - периорай, A - апоорай, $q = |SP|$ - периорайдағы аралық, $a =$

Жоқарыда еслетилип өтилгениндей, эллипс тәрізлі орбита бойынша қозғалыс $V_0^2 < 2*GM/r_0$ шәрті орынланғанда жүзеге келеді. Эллипс тәрізлі орбитаның хәр қыйлы параметрлери арасындағы байланыслар төмендегидей қатнаслар менен бериледи:

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

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

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

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

3. Тезлик V хәм радиус-вектором r арасындағы

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

4. Хәқыйқый аномалия хәм эксорайлық аномалия арасындағы

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

5. Радиус-вектор хәм хәқыйқый 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 тәрізлі орбита бойынша дәўирдиң формуласы (6)-формулаға сәйкес, тек орбитаның радиусының мәнисиниң орнына эллипстиң үлкен ярым көшери алынады:

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

Базы бир ўақыт моментиндеги орбита параметрлериниң басланғыш шәртлердеги ғәрезлилиги қызығыў пайда етеди: r_0 радиус-вектордың, V_0 тезликтин хәм радиус-вектор менен тезлик бағыты арасындағы мүйеш δ_0 диң. Басланғыш шәртлерден фокаллық параметрдиң хәм эксцентриситеттиң 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 δ_0 мүйеши 0° ден 90° қа шекем өскенде p параметри де 0 ден $p_{\max} = r_0^2*V_0^2/G/M$ ке шекем өзгеретуғынлығы, ал δ_0 диң шамасы 90° тан 180° қа шекем өзгергенде p ның шамасы p_{\max} шамасынан 0 ге шекем киширейетуғынлығы көринип тур. Егер $\delta_0 = 0^\circ$ хәм $\delta_0 = 180^\circ$ болғанда параметр $p = 0$ хәм 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 хәм δ_0 мүйеши 0° ден 90° қа шекем өзгергенде 1 ден $e_{\min} = (r_0 * V_0^2 - G * M) / G * M$ ге шекем, ал δ_0 90° тан 180° қа шекем үлкейгенде e ниң шамасы кайтадан e_{\min} ден 1 ге шекем үлкейеди. $q = p / (1 + e)$ болғанлықтан δ_0 шамасы 0° ден 180° қа шекем өскенде периорайдағы қашықлық q дың шамасы 0 ден r_0 ге шекем өседі.

Үлкен ярым көшер a хәм 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 хәм туўрыға айланған эллипстиң төбелери болып табылады. Қала берсе оның ушларының бири – периорай координата басы менен бетлеседи (яғный тартыўшы орай менен бетлеседи).

Парабола тәризли орбита бойынша қозғалыс

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

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

шәрти орынланады.

V_0 тезлиги параболалық ямаса V_{II} екинши космослық тезлик деп аталады. Бул формуланы (5)-аңлатпа менен салыстырып $V_{II} = V_I * 2^{1/2}$ екенлигин аңғарамыз. Тартыўшы орайдан берилген r_0 қашықлығы ушын екинши 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 қашықлығында турған денениң ($r_0 = 149.6$ млн. км) Қуяш системасын биротала таслап кетиўи ушын $V_{III} = 42.1$ км/с тезлигин бериў керек. V_{III} тезлигин үшінши космослық тезлик деп те атайды.

Парабола тәризли орбитаның теңлемесин радиус-вектордың фокаллық параметр p (ямаса периорайдағы қашықлық $q = p/2$ ден) хәм ҳақыйқый аномалия ν ден ғәрезлилиги сыпатында көрсетиў мүмкин:

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

Парабола бойынша қозғалыс теңлемеси - ҳақыйқый аномалия ν диң ўақыт t дан ғәрезлилиги (хәм периорайдан өтиў ўақыты τ дан) мына түрге ийе болады:

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

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

Фокаллық параметр p ның дәслепки радиус-вектор r_0 хэм радиус-вектор менен басланғыш тезлик векторы арасындағы δ_0 тен фәрезлилиги мына аңлатпа менен бериледи:

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

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

Гиперболалық орбита бойынша қозғалыс

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

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

Гипербола бойынша қозғалыс теңлемеси - F параметриниң уақыт t (эллипслик қозғалыстағы (7) Кеплер теңлемесиниң аналогы) дан фәрезлилиги былайынша жазылады:

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

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

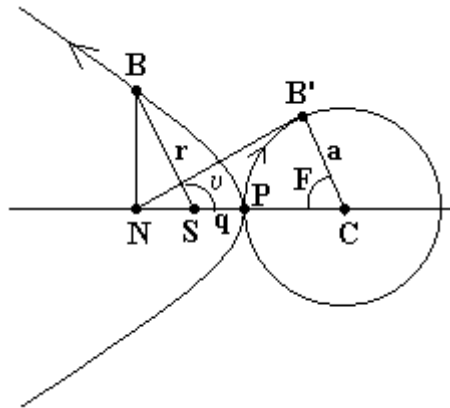
$$\operatorname{tg}(v/2) = ((e+1)/(e-1))^{1/2} * \operatorname{tg}(F/2) \quad (22)$$

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

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

$t = \tau$ да (периорайдың өтиуі) $v = 0$ хэм радиус-вектор өзиниң максималлық мәнисине жетеді $r_{\min} = q = a * (e - 1)$, ал тезлик болса минималлығына $V_{\max}^2 = G * M / a * (e + 1) / (e - 1)$. Егер r шексизликке шекем өссе қақыйқық аномалия өзиниң шеклик мәнисине шекем өседі v_{\max}

$= \arccos(-1/e)$, F параметри максималлық мәнісіне жетеди $F_{\max} = 90^\circ$, ал тезлік болса $V_{\min}^2 = G*M/a$ минималлық мәнісіне жетеди.



6-сүрет. Гипербодалық орбитаның параметрлері

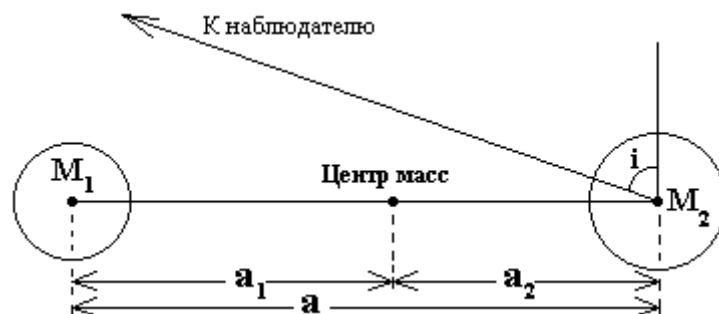
Гиперболаның эксцентритеті e ниң басланған радиус-вектор, тезлік хәм олар арасындағы мүйештен ғәрезлилігі (14)-формулада көринип тур. Егер δ_0 мүйеши 0° ден 90° қа шекем өссе e 1 ден $e_{\max} = (r_0 * V_0^2 - G*M)/G/M$ ға шекем өседі, ал δ_0 90° ден 180° қа шекем өссе e және де e_{\max} нан 1 ге шекем кемейеді. Егер a арқалы гиперболаның хақықый көшерин белгилесек, онда

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

Параболадағыдай, шектегі 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 усыллары Кеплердиң үшінши нызамына тийкарланған



7-сүрет

7-сүүретте массалары M_1 хэм M_2 болған хэм олардың улыўмалық массалар орайы дөгерегинде айланатуғын еки сфералық дене көрсетилген. Объектлер арасындағы кашықлық a ға тең, ал соған сәйкес массалар орайына шекемги кашықлықлар a_1 хэм a_2 .

Демек $a = a_1 + a_2$ хэм

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

Егер еки денениң биреўиниң массасы белгили болса, онда (26)-аңлатпаның жәрдемінде екинши 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 кашықлық Жердиң 60.08 радиусына тең. Сонлықтан Жердиң массасының Айдың массасына қатнасы 81.3 ге тең. Жердиң өзиниң массасы басқа усыллар менен анықланады (бул ҳаққында кейинирек гәп етемиз). Қуяштың массасын Кеплердиң 3-нызамын (1)-формада Жердиң Қуяш дөгерегиндеги хэм Айдың Жер дөгерегиндеги қозғалысларына қолланыў арқалы анықлаўға болады. Себеби дәўирлер менен үлкен ярым көшерлердиң мәнислери бақлаўлардан белгили. Тап сол сыяқлы тәбийий ямаса жасалма жолдасларына ийе планеталардың массаларын анықлаў мүмкин. Ал жолдаслары жоқ планеталардың массаларын олардың басқа қоңысылас планеталарға, астероидларға, кометаларға ямаса космослық аппаратларға тәсири бойынша анықлаўға болады.

Жулдызлардың массаларын анықлаў бир канша өзгешеликлерге ийе. Егер жулдыз қос жулдызлар системасына киретуғын, соның менен бирге қос жулдыздың еки қураўшысы да өз алдына көринетуғын болса, онда жулдыздың массасын анықлаў мүмкин. Егер қос жулдыздың қураўшылары өз алдына көринбейтуғын болса, онда олардың массаларын нурлық тезликлер (лучевые скорости) бойынша анықлаў мүмкин (орбиталық тезликлердиң көриў бағытына түсирилген проекциясы бойынша). Мейли сол денелер шеңбер тәризли орбиталар бойынша қозғалатуғын болсын хэм орбита тегислиги көриў нурына i мүйешин жасасын (7-сүүрет). Бундай жағдайда массасы M_1 болған денениң орбиталық тезлигиниң көриў нурына түсирилген проекцияларының вариацияларының амплитудасы мынаған тең:

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

P – орбиталық дәўир. Кеплердиң 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 бақлаў шамаларынан ғәрезли (қала берсе системаға шекемги аралықтан ғәрезли емес). Бул шамалар системаның айланыў дәўири P хәм M_1 денесиниң спектр сызықларының дәўирли түрдеги Допплер аўысыўы бойынша анықланатуғын v_1 [ямаса $a_1 \cdot \sin(i)$] нур тезлигиниң дәўиринен ғәрезли. f шамасы қос системаның массаларының функциясы деп аталады. Егер қос системаның массаларының тек бир функциясы табылатуғын болса хәм басқа қосымша мағлыўматлар болмаса (27)-анлатпа бойынша айырым массалар ҳаққында айтыўға болмайды.

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

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

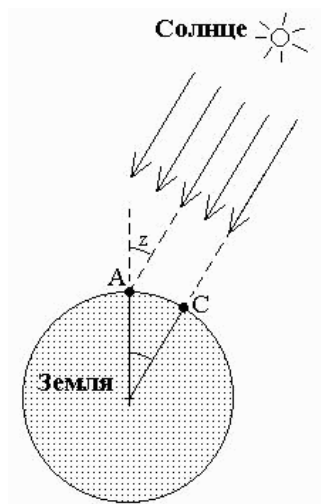
M_1 массасының дәл мәнисин билиў ушын $\sin(i)$ шамасын да билиў керек. Тутылыўшы-өзгермели жұлдызлар (затменно-переменные звезды) хәм бир қанша рентген дереклери ушын бетиниң жақтылығының ийемклиги бойынша $\sin(i)$ тиң мәнисине геометриялық шек қойыўға болады. Егер $\sin(i)=1$ деп болжанса, онда M_1 денеси ушын массаның төменги шеги алынады.

Мысал ретинде рентген дереги Аккуў Х-1 диң массасын анықлаўды келтирип өтиў мүмкин (Аккуў Х-1 қара құрдым болса керек деп есапланады). Оның оптикалық қураўшысы HDE 226868 жұлдызы деп есапланады. Оптикалық бақлаўлардан орбиталық дәўир хәм нурлық тезликлер анықланды. Ал бул шамалар бойынша тек рентген дереги ушын массалар функциясы анықланды. Бирақ жұлдыздың жақтылығы хәм оның спектри бойынша системаға шекемги аралық баҳаланды (~ 2.5 пк), ал буннан кейин (жақтылық шығарыўы бойынша) оның шама менен алынған массасы анықланды (> 8.5 Қуяш массасы). Бул мағлыўматлардың барлығы рентген қураўшысы ушын массаны берди (> 3.3 Қуяш массасы). Бул мағлыўмат қураўшының қара құрдым екенлигинен дерек берди. Галактиканың массасын Қуяштың Галактиканың орайы дөгерегинде айланыў тезлиги ($v_0 \sim 220$ км/с) хәм сол орайға шекемги қашықлық ($R_0 \sim 3 \cdot 10^{22}$ см) бойынша анықлаўға болады. Бундай қозғалыс Қуяштың орайдан қашыўшы тезлениўин береді $g = v_0^2 / R_0 \sim 1.6 \cdot 10^{-8}$ см/с². Буннан Галактиканың массасы $M_r = g \cdot R_0 / G \sim 2.2 \cdot 10^{44}$ г. Тап усындай жоллар менен басқа да галактикалардың массалары есапланады.

Жер

Формасы хәм өлшемлери ҳаққындағы улыўмалық көз-қараслар

Жердің формасы хәм өлшемлери хәққында 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 Жердің саясының шеңбер тәризли екенлигин алды.

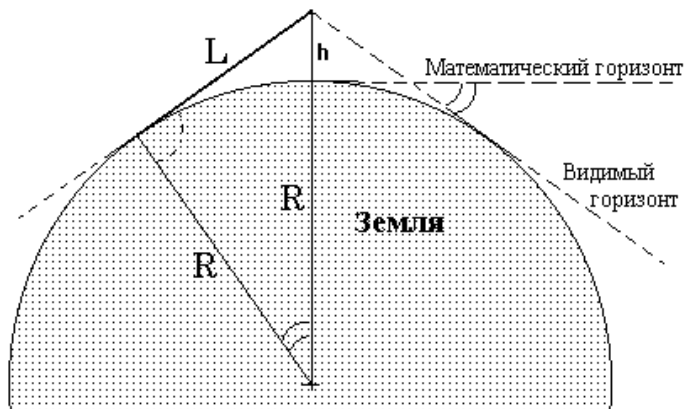


1-сүүрет. Жердің өлшемлерин Жердің бетиндеги еки ноқатта турып Қуяшты бақлау жәрдемінде анықлау.

Жердің 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 тоқтау 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 (Жердің 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 Жердің радиусын аңсат есаплауға болады. Егер 1 стадия шама менен 158 м ге тең болса, онда Эратосфен тәрәпинен алынған Жердің радиусы 6290 км болып шығады (хәзирги қабыл етилген мәнисиниң 6378,39 км екенлигин еске түсиремиз хәм хәқыйқатында 1 стадийдың неше метрге тең екенлиги мәлим емеслигин атап өтемиз).

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

Усы айтылғанлардан Христофор Колумбтың Жердің өлшемлерін болжағанда нелицтен соншама қателер жибергенлігін түсіню оғада қыйын. Себеби Эратосфеннен бир ярым мың жыл жасаса да Америка континентін ол Индияның бир бөлеги деп кабыл етти!



2-сүүрет.

Горизонттың узықлығын анықлау.

Жердің тек радиусын биле отырып (Жерди шар тәризли деп есаплаймыз) және бир әхмийетли шаманы – горизонттың узақлығын есаплай аламыз. 2-сүүретте көринип турғанындай радус бақлау пунктинде Жердің радиусы R бақлаушының бийиклиги h пенен бирге тууры мүйешли үш мүйешликтиң гипотенузасы болып табылады. Сонлықтан горизонттың узақлығы L төмендегидей әпиуайы формула жәрдемінде анықланады:

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

Егер $R = 6370$ км хәм $h = 1.6$ м мәнислерин қойсақ 4.5 км шамасы алынады. Принципінде керисинше L бойынша R ди де есаплау мүмкин. Бирақ горизонттың узақлығын дәл өлшеу мүмкин емес (мысалы көлдің ямаса теңиздің бетінде де). Ай ушын $R = 1737$ км, сонлықтан $h = 1.6$ м болғанда горизонттың узақлығы тек 2.4 км ди ғана курайды.

Солай етип бизиң планетамыздың формалары менен өлшемлери әйемнен бери белгили. Ал енди оның бетінде турып өз көшери дөгерегинде айланатуғынлығын дәлиллеуге болма ма? Деген сорау тууылады. Бул сорауға «әлбетте мүмкин» деп жууап бериу керек (хәтте бир неше усыллар жәрдемінде).

Жердің айланыуы

1672-жылы француз Рише маятникли саатлардың экваторда Париждегиге қарағанда әстерек жүретуғынлығын тосыннан сезип қалды. Бул фактке түсиники Англиялы физик, математик хәм астроном Исаак Ньютон (1643 - 1727) тапты. Жердің айланыуы орайдан қашыушы күштиң пайда болыуына алып келеди. Бул күштиң бағыты айланыу көшерине перпендикуляр. Сонлықтан орташа кеңликлерде орайдан қашыушы күшлер шамасы

бойынша экваторға қарағанда киширек. Соның менен бирге орташа кеңдиклерде орайдан қашыушы күшлер горизонтқа базы бир мүйеш жасап бағытланған. Экваторда орайдан қашыушы күштің шамасы ең үлкен мәниске ийе. Бул салмақ күшинің киширейиуине (g ның киширейиуине) хәм соның салдарынан маятниктің тербелиуі дәуиринің үлкейиуине алып келеди [себеби $T = 2\pi(l/g)^{1/2}$].

1851-жылы француз физиги Жан Фуко (1819 - 1868) тәжирийбеде маятниктің тербелиуі тегислигинің уақытқа байланыслы бурылатуғынлығын көрсетти. Бул кубылыс та Жердің өз көшери дөгерегинде суткалық айланыуы менен түсиндириледи. Кейинирек бул тәжирийбе басқа қалаларда да қайталанды (соның ишинде Санкт Петербургтағы Исаакиев соборында). Әлбетте маятниктің тербеліс тегислигинің бурылыуы эффекти тәжирийбе өткерилген кеңдиктен ғәрезли: эффект полюстарда жақсы көринеди, ал экваторда пүткиллей бақланбайды. Сол Жан Фуко гироскоп ойлап тапты. Бул гироскоптың айланыу көшеринің бағытын сақлай алыу қәсийети де Жердің суткалық айланысын дәлилледі (гироскоп көшери қәлеген аұхалда бир сутка ишинде шеңбер сызады, бул хаққында кейинирек айтылады).

Жердің айланысының басқа бир дәлили сыпатында Кориолис күшинің қозғалыушы хаўа ямаса суу массасына тәсири болып табылады (мысалы Әмиўдәрьяның барлық уақытта да оң тәрепке қарай – шығыс тәрепке қарай дегіш 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 (φ 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 пүткил 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 $F_{ц}$ күшинің 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 қойсак, онда $F_{ц} / F_g = 3.45 \cdot 10^{-3}$ екенлигине ийе боламыз. Яғный қәлеген дененің экватордағы салмағы полюстағы салмағынан 0.3 % ке киши болыуы керек. Ал хақыйқатында 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 орайы-

на карай сол орайда бир бири менен байланысатуғын қудық қазылса сол қудықлардағы суўдың қәдди хәр қыйлы болатуғынлығын теориялық жақтан дәлиледи. Полярлық қудықтан суўға тек салмақ күши тәсир етеди, ал экваторлық қудықта болса салмақ күши менен бирге орайдан қашыўшы күш те тәсир етеди. Суўдың еки бағанасы да Жердиң орайына бирдей басым түсириўи ушын экваторлық қудықтағы суўдың қәдди бийикте жайласыўы керек. Ньютонның есаплаўлары бойынша бул айырма Жердиң орташа радиусының 1/230 шамасын қураўы керек.

Бундай есаплаўлар жүдә қурамалы да емес. Тек ғана заттың полюстағы хәм экватордағы хәр бир элементар көлеминиң салмақларын қосып шығыў керек. Яғный Жердиң орайынан қәлеген қашықлықтағы r қашықлығы ушын

$$m \cdot g_{\text{п}}(r) = m \cdot g_{\text{э}}(r) - m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (3)$$

қатнасының орынланыўы керек.

Еркин түсиў тезлениўиниң радиустан ғәрезлиликлери полярлық хәм экваторлық қудықларда бирдей: $g_{\text{п}}(r) = g_{\text{э}}(r) = GM/r^2$, бул жерде M арқалы r радиусы ишиндеги масса: $M(r) = \rho \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^3 / 3$, бул аңлатпада ρ арқалы қудықлар инидеги затлардың тығызлығы белгиленген. Егер усы формулаларды тең салмақлық теңлемеси (3) ке қойсақ, буннан кейин m ге қысқартсақ хәм Жердиң барлдық радиусы бойынша интегралласақ (шеп тәрәпин 0 ден полярлық радиус $R_{\text{п}}$, оң тәрәпин 0 ден экваторлық радиус $R_{\text{э}}$ ге шек), онда мынадай қатнас алынады:

$$R_{\text{п}} = R_{\text{э}} \cdot (1 - 3 \cdot \omega^2 / (4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot G))^{1/2} \quad (4)$$

(4) ке Жердиң орташа тығызлығы 5.52 г/см^3 шамасын хәм экваторлық радиус $R_{\text{э}} = 6378140 \text{ м}$ ди қойсақ $R_{\text{п}} \sim 6356130 \text{ м}$ шамасын аламыз. Яғный полярлық радиус экваторлық радиустан шама менен 22 км ге кем, ал $f = (R_{\text{э}} - R_{\text{п}}) / R_{\text{э}} = 1/289.8$ болыўы керек. Бул аңлатпадағы f шамасы **Жердиң қысылғанлығы** деп аталады хәм хақыйқатында $1/298.257$ шамасына тең. Солай етип жоқарыда келтирилген теориялық есаплаўлар Жер бетиниң хақыйқый формасына толық сәйкес келеди екен (биз хәтте тығызлықтың радиустан ғәрезлилигин есапқа алмай, орташа тығызлықты алған жағдайда да қанаатландыралық нәтийжелерди алдық).

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

Жердиң массасы

Жердің массасын жеткиликли дәрежедеги дәллікте 1797-жылы Генри Кавендиш өлшеді. Бул үшін ол ушларында қорғасыннан соғылған шариклер бекитилген айланбалы тәрзиден пайдаланды. Бул шариклерге хәр қыйлы тәреплерден массалары белгили болған еки үлкен қорғасын шарды жақынлатыу арқалы киши шардың үлкен шарға тартылыу күшиниң Жерге тартылыу күшинен каншаға айрылатуғынлығын анықлады. Нәтийжеде Жердің массасы үшін $6 \cdot 10^{21}$ тонна алынды. Бул шама хәзирги ўақытлары қабыл етилген шамаға жүдә жақын (кестени қараңыз).

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

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

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

Жердің эллипс тәризли формасы үшін салмақ күшиниң бағыты эллипсоидтың геометриялық орайынан парк кылады. Бул аўысыу экватор менен полюслерде нолгее тең, ал $\pm 45^\circ$ лық кеңликлерде максималлық мәнисине тең (5',7). Ал экваторда Жердің формасының эллипс тәризли екенлигине байланыслы тартылыс күшиниң мәниси полюслердегиге қарағанда $f/2$ шамасына киши (шама менен $1/600$ бөлеги).

Усының менен бирге салмақ күшиниң тезлениуине Жердің суткалық айланысының салдарынан пайда болатуғын орайдан қашыушы тезлениу де киреди. Бул тезлениу айланыу көшери бағытына перпендикуляр. Орайдан қашыушы тезлениу $\omega^2 \cdot r$ шамасына тең ($\omega = 2 \cdot \pi / T$ айланыудың мүйешлик тезлиги, T айланыу дәуири). Жер үшін жулдызлар суткасының шамасы алыныуы керек ($T = 86146$ с). Экваторда орайдан қашыушы тезлениу максималлық мәнисине тең: $\omega^2 \cdot r = 3.39$ см/с². Экваторда орайдан қашыушы күш салмақ күшиниң бағытына қарама-қарсы, сонлықтан толық тезлениу $g = 980.03$ см/с² шамасына тең. Полюсларда болса орайдан қашыушы күш жоқ.

Аралықлық кеңликлерде орайдан қашыушы күш параллелдің радиусына пропорционал $r = \rho \cdot \cos(\varphi_a)$. Бул аңлатпадағы ρ Жердің орайына шекемги қашықлық (радиус-вектор), ал φ_a геоорайлық кеңлик. Бул аңлатпадағы φ_a шамасының әдеттеги географиялық кеңлик φ ден айырмасы $\varphi - \varphi_a = 11.6 \cdot \sin(2 \cdot \varphi)$ 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 мүмкин. Егер φ_a хәм φ шамалары арасындағы үлкен емес айырманы есапқа алмасақ, онда орайдан қашыушы күштиң горизонт бағытындағы қураушысы $\omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\varphi) \pm 45^\circ$

болған кеңлікте максималлық 1.7 см/с^2 мәнісине жетеді. Бул шама мүйешлік өлшемлерде асып қойылған заттың түслик тәрәпке карай 5.9 аўысыўын тәмийинлейди. Орайдан қашыўшы тезлениўдиң вертикаллық қураўшысы $\omega^2 \cdot r \cdot \cos(\varphi)$ экваторда $\omega^2 \cdot r$ ға, ал $\pm 45^\circ$ болған кеңлікте - $0.5 \cdot \omega^2 \cdot r$ хәм на полюслерде нолге тең. Солай етип экваторда салмақ күшиниң тезлениўи орайдан қашыўшы күштиң тәсиринде $f/2$ шамасына киширейген. Нәтийжеде экваторда салмақ күшиниң тезлениўи полюслардағыға қарағанда $f/2 + f = 1.5 \cdot f \sim 1/200$ шамасына киши болып шығады.

Салмақ күшиниң тезлениўиниң бийикликтен ғәрезлилигин 1743-жылы француз математиги А.Клеро тапты:

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

Бул аңлатпада g_0 арқалы экватордағы, g_p полюстеги еркин түсиў тезлениўи белгиленген, ал коэффициент $\beta = 2.5 \cdot q - f$ (бул жерде q арқалы экватордағы орайдан қашыўшы тезлениўдиң еркин түсиў тезлениўине қатнасы белгиленген, f - Жердиң қысылыўы). Қәзирги ўақытлардағы санлық мәнислерде Клеро формуласы былайынша жазылады:

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

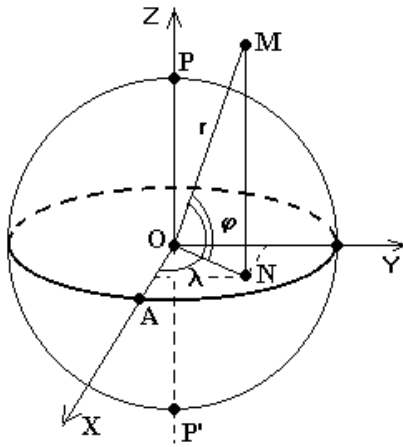
Еркин түсиў тезлениўин хәр қыйлы орныларда өлшеў β шамасының санлық мәнисин табыўға мүмкиншилик береді, ал бул шама арқалы Жердиң қысылыўы f ти ала аламыз. Салмақ күши тезлениўин көп сандағы усыллар менен анықлаў мүмкин. Солардың ишиндеги ең әпиўайысы узынлығы l болған математикалық маятниктиң тербелиў дәўири бойынша:

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

Жердиң бети бойынша салмақ күши тезлениўиниң мәнисин өлшеў хәм оның тарқалыўын табыў менен астрономияның арнаўлы бөлими *гравиметрия* шуғылланады.

Сфералық координаталар системасы хәм аспан сферасы

Жақтыртқышлардың орынларын анықлаў ушын неликтен астрономияда сфералық координаталар системасы қолланылады? Жуўап әпиўайы: себеби көпшилик аспан денелерине шекемги аралықлардың шамасы хәзирги ўақытлары да белгили емес (ал әййемги ўақытлары пүткиллей белгисиз еди). Ал туўры сызықлы координаталар системасында ноқаттың ийелеп турған орны үш сызықлы шама жәрдеминде анықланатуғын болғанлықтан, бундай система басым көпшилик астрономиялық мақсетлерди орынлаў ушын жарамсыз болып табылады.



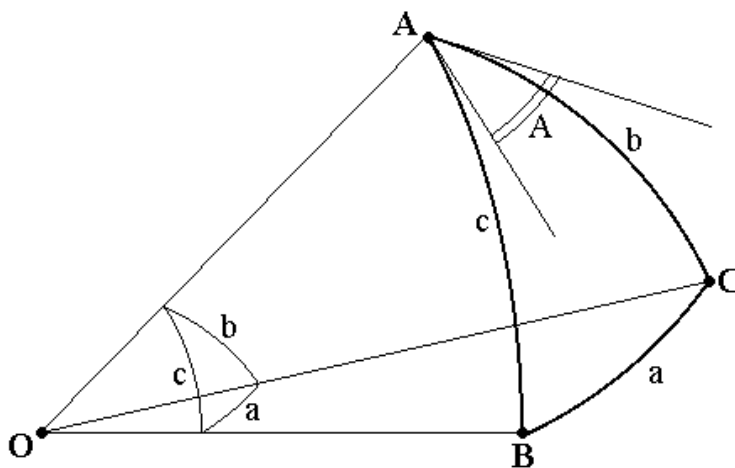
1-сүўрет. Сфералық координаталар системасы.

Сфералық координаталар системасы 1-сүўретте келтирилген. Оның кеңісликтеги ориентациясы еки ноқат пенен белгиленеди. Биринши ноқат системаның полюсы P, полюс арқалы өтиўши сфераның диаметри PP' *системаның бас көшери* деп аталады, ал бул көшерге перпендикуляр болған XOY тегислиги *системаның бас тегислиги* деп аталады. Екинши сайлап алынған A ноқаты OX көшериниң сфера менен кесилисиў ноқаты бас тегисликтеги есаплаў басын бередеди. Бул координаталар системасындағы M ноқатының турған орны (ол сфераның бетинде жатпаўы да мүмкин) M ноқатынан сфераның орайы O ға шекемги аралық r (OM кесиндисиниң узынлығы) хәм еки мүйеш пенен анықланады: φ - OM туўрысы менен бас тегислик XOY бас тегислиги арасындағы мүйеш (-90° тан $+90^\circ$ қа шекем өзгередеди) хәм λ - OM радиус-векторының бас тегислик XOY ке түсирилген проекциясы (ON кесиндиси) менен прямой OA туўрысы арасындағы мүйеш (0° тан 360° қа шекем ямаса -180° тан $+180^\circ$ қа шекем). φ мүйешин радиус-вектор OM хәм бас көшер PP' арасындағы мүйешке 90° қа шекемги косымша түринде анықлаўға болады (0° ден 180° қа шекем). Координаталардың астрономиялық системалары бир биринен бас көшерди хәм бас тегисликтеги есаплаў басын сайлап алыў бойынша бир биринен өзгешелигиниң бар екенлиги төменде көрсетиледи. Координаталардың сфералық системасы ушын P хәм P' полюслары ушын φ мүйеши сәйкес $+90^\circ$ хәм -90° қа тең (анықламасы бойынша).

Солай етип координаталардың сфералық системасында M ноқатының турған орны радиус-вектор r диң узынлығы хәм φ хәм λ мүйешлери менен анықланады екен. Бул мүйешлер қашықлықлардан ғәрезли емес. Жоқарыда айтылғандай, әдетте астрономияда г қашықлығы белгили емес. Сонлықтан әййемги ўақытлардан баслап *аспан сферасы* түсиниги киргизилген. Әдетте аспан сферасын ықтыярлы радиуска ийе сфера, бул сфераның орайы Жердиң бетиндеги бақлаўшы турған орында (топоорайлық) ямаса Жердиң орайында (геоорайлық), Қуяштың 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 сфе-

расы өз ишине барлық жақтыртқышларды алады). Хәр бир аспан жақтыртқышы аспан сферасының бетинде жайласқан деп есапланады (әйемги ұақытлары сондай деп есаплаған). Сонлықтан астрономиялық сфералық координаталар системасында жақтыртқыштың турған орны хаққында гәп еткенде олардың хақыйқый орны емес, ал олардың аспан сферасында ийелеген орынлары нәзерде тutyлады. Сонлықтан сол орынларды анықлау үшін еки мүйеш жеткилики болады.

Аспан сферасының оның орайы арқалы өтетуғын тегисликлер менен кесилису сызықлары үлкен шеңберлер деп аталады. Ал оның орайы арқалы өтпейтуғын тегисликлер менен кесилису сызықлары киши шеңберлер деп аталады. Демек үлкен шеңбер аспан сферасын теңдей екиге бөледі.



2-сүүрет. Сфералық үш мүйешликтің элементтери.

Тегисликте туурылар қандай орынды ийелесе, сферадағы үлкен шеңберлер де сондай орынды ийелейди. Үш үлкен шеңбер (егер олар бир ноқатта кесилиспесе) сферада бир неше үш мүйешликтерди пайда етеди. Әдетте солардың ишиндеги барлық тәреплери менен мүйештери 180° тан кемлери каралады (2-сүүреттеги ABC). Хәр бир үш мүйешликтердин тәреплериниң узынлықтары a, b хәм c мүйешлик шамаларда өлшенеди хәм сфераның O орайындағы сәйкес мүйештер түринде анықланады (сфераның радиусы бир бирликке тең деп қабыл етиледи). Сфералық үш мүйешликтің A, B хәм C мүйештери кесилису орныларындағы доғаларға түсирилген мүйеш пенен анықланады (A мүйешти үшін көрсетилгендей). Сфералық үш мүйешликтерди шешиу менен сфералық тригонометрия деп аталуышы математиканың бөлими шуғыланады. Ал бул бөлимди астрономияға қолланса сфералық астрономия алынады. Тегисликтеги үш мүйешликтер үшін тригонометрияның формулалары сыяқлы сфералық үш мүйешликтердин тәреплери менен мүйештери үшін арналған катнастар бар. Бул катнастардың өзлери жоқары математика бөлиминде тийисли. Бирақ бул катнастар арқалы астрономияда бир координаталар

системасынан екінші координаталар системасына өтiуге мүмкіншілік беретүғын аңлатпаларды алыуға болады. Бул аңлатпалар үш топарға бөлінеді:

Синуслар теоремасы:

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

Косинуслар теоремасы:

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

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

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

$$\cos(A) = -\cos(B)*\cos(C) + \sin(B)*\sin(C)*\cos(a) \quad (3)$$

$$\cos(B) = -\cos(C)*\cos(A) + \sin(C)*\sin(A)*\cos(b)$$

$$\cos(C) = -\cos(A)*\cos(B) + \sin(A)*\sin(B)*\cos(c)$$

Бес элемент формулалары:

$$\sin(b)*\cos(A) = \sin(c)*\cos(a) - \cos(c)*\sin(a)*\cos(B) \quad (4)$$

$$\sin(b)*\cos(C) = \sin(a)*\cos(c) - \cos(a)*\sin(c)*\cos(B)$$

$$\sin(c)*\cos(B) = \sin(a)*\cos(b) - \cos(a)*\sin(b)*\cos(C)$$

$$\sin(c)*\cos(A) = \sin(b)*\cos(a) - \cos(b)*\sin(a)*\cos(C)$$

$$\sin(a)*\cos(C) = \sin(b)*\cos(c) - \cos(b)*\sin(c)*\cos(A)$$

$$\sin(a)*\cos(B) = \sin(c)*\cos(b) - \cos(c)*\sin(b)*\cos(A)$$

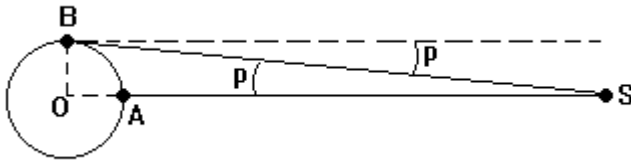
Аспан сферасындағы еки нокат арқалы (егер олар диаметрдің бойында жатпаса) тек бир үлкен шеңбер жүргизиу мүмкін. хәм үлкен шеңбердің доғасы сфераның бетіндеги сол еки нокат арасындағы ең киши кашықлық болып табылады. Бундай сызықты **геодезиялық сызық** деп атаймыз. Аспан сферасындағы еки нокат арасындағы кашықлық ретінде усы нокатлар арқалы өтетуғын үлкен шеңбердің узынлығы алынады.

Жоқарыда келтирилген формулалардың пайдаланылыуына мысал сыпатында аспан сферасындағы еки ықтыярлы нокат арасындағы мүйешлик кашықлықты есаплау формуласын келтирип шығарамыз. 2-сүүреттеги А нокатын сфералық координаталар системасының полюсы деп қабыл етемиз, ал С хәм В нокатлары болса сәйкес λ_1 , φ_1 хәм λ_2 , φ_2 координаталарына ийе болады. Бундай жағдайда В хәм С нокатлары арасында изленип атырған кашықлық а тәрәпинің узынлығына тең болады. Оның шамасын анықлау үшін косинуслар теоремасын қолланамыз. 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 λ_1 хәм λ_2 координаталарының айырмасына тең. Сонлықтан косинуслар теоремасы мына түрге енеді:

$$\cos(a) = \cos(90^\circ - \varphi_1)*\cos(90^\circ - \varphi_2) + \sin(90^\circ - \varphi_1)*\sin(90^\circ - \varphi_2)*\cos(\lambda_1 - \lambda_2)$$

ямаса түрлендириулерден кейин

$$\cos(a) = \sin(\varphi_1) * \sin(\varphi_2) + \cos(\varphi_1) * \cos(\varphi_2) * \cos(\lambda_1 - \lambda_2). \quad (5)$$



3-сүүрет. Параллакслық аўысыў.

Жақтыртқыштың сфералық координаталарының бақлаўшының қозғалысы себебинен өзгерислери **параллакслық аўысыў** ямаса **параллакс** деп аталады. 3-сүүретте көринип турғанындай бақлаўшы А (ямаса О) ноқатынан В ноқатына көшкенде S жақтыртқышы аўысатуғын p мүйеши сан жағынан S тәрепинен OB кесиндиси көринетуғын мүйешке тең, яғный $\text{tg}(p) = |OB|/|OS|$. OB кесиндиси (ең киши қашықлық) **базис** болып табылады.

Суткалық параллакс Жердиң өз көшери дөгерегинде айланыўының салдарынан пайда болады хәм төбеси жақтыртқышта, ал бириншиси Жердиң орайына, екиншиси Жер бетиндеги бақлаўшыға қарай бағытланған еки туўры арасындағы мүйеш болып табылады. Бақлаў орнының горизонтында жайласқан жақтыртқыштың параллакс **горизонталлық параллакс** деп аталады. Ал усында жағдайда бақлаўшы тәрепинен ийеленген орын экваторда болса **горизонталлық экваторлық параллакс** деп аталады. Горизонталлық экваторлық параллакс ушын Жердиң экваторлық радиусы базис болып табылады хәм ол тек жақтыртқышқа шекемги аралықтан ғәрезли болады. Айдың горизонталлық экваторлық параллакс шама менен 1° қа тең, ал Қуяш ушын $8''$.

Жақтыртқыштың **жыллық параллакс** (бул параллакс тригонометриялық параллакс деп те аталады) Жердиң Қуяш дөгерегиндеги айланысының нәтийжеси болып табылады. Бул параллакс ушын Жер орбитасының үлкен ярым көшери хызмет етеди. 3-сүүреттен жыллық параллакстың жақтыртқышта турып карағанда көриў нурына перпендикуляр бағыттағы Жер орбитасының үлкен ярым көшери көринетуғын мүйеш екенлигин аңлаўға болады.

Жыллық параллаксты өлшеў жулдызларға шекемги аралықты анықлаўдың бирден бир жолы болып табылады. Жыллық параллакс $1''$ қа тең болған қашықлық **парсек** (параллакс - секунд, қысқаша пк) деп аталады хәм жулдызлар, галактикалар аралық қашықлықларды өлшеўдиң тийкарғы бирлиги болып табылады. 2-сүүретте көринип турғанындай, 1 пк Жер орбитасының үлкен ярым көшеринен 206264.8 (радиандағы мүйешлик секундлар саны) есе үлкен хәм $3.086 * 10^{18}$ см ге тең. Хәтте жақын жулдызлар ушын параллакс $1''$ тан кем. Сонлықтан жулдызларға шекемги аралықлар олардың параллакслары арқалы аңлатылады.

Усындай киши p ларда $d=1/p$ қатнасы орынланады (d арқалы парсеклердегі қашықтық белгиленген), p доғаның секундындағы жыллық параллакс).

Әсирлик параллакс – Қуяш системасының Галактика бойыша қозғалыуы салдарынан жақтыртқыштың бір жыл дауамындағы мүйешлик аўысыуы (егер жақтыртқыштың қозғалыс бағыты усы қозғалысқа перпендикуляр болатуғын болса). Жулдызлар өзлериниң меншикли қозғалысларына ийе болғанлықтан әсирлик параллакслар жулдызлардың жеткикли дәрежеде үлкен топарлары ушын статистикалық анықланады.

Географиялық координаталар

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

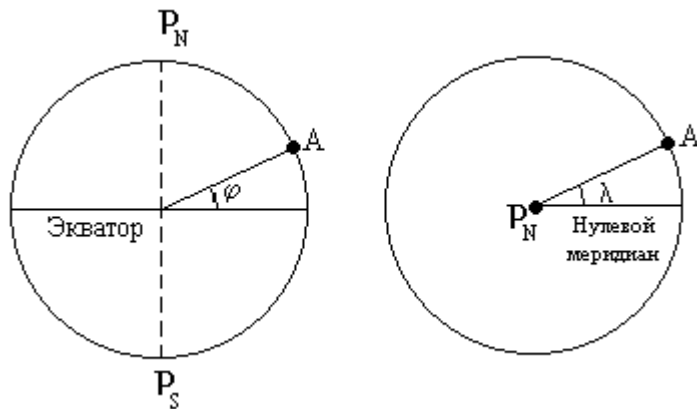


Рис. 1. Географиялық координаталар.

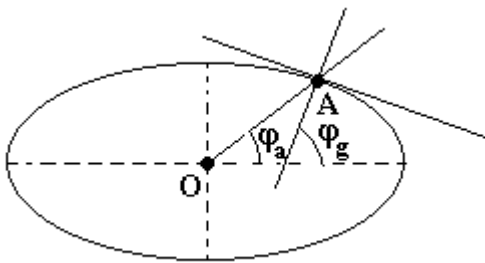
Жер бетиндеги A ноқатының географиялық кеңлиги деп экватор тегислиги менен сол A ноқатына түсірилген радиус арасындағы мүйеш болып табылады (1-сүүреттегі шеп тәрепте). Кеңлик φ хәрипи жәрдемінде аңлатылады хәм экватордан арқа тәрепке қарай өлшенсе (арқа ярым шар) оң мәниске, ал түслик тәрепке қарай өлшенсе (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 алынуатуғын сызықлар географиялық **меридианлар** деп аталады. A ноқаты арқалы өтетуғын меридиан менен нолинши меридиан арасындағы мүйеш географиялық **узынлық** деп аталады хәм λ 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 қарай өлшенеди (шығысқа ямаса батысқа қарай) хәм сонлықтан оның мәнисине «шығысқа қарай узынлық»

(Гринвичтен шығысқа карай) ямаса «батысқа карай узынлык» (Гринвичтен батысқа карай) сөзлери қосылады. Мысалы Москваның географиялық координаталары мынадай: $\lambda = 37^{\circ} 38'$ шығысқа карай узынлык, $\varphi = +55^{\circ} 45'$.

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

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

Бирақ жоқарыда келтирилген мағлыұматлардың барлығы да биринши жақынласыұ болып табылады. Кеңликтің анықламасында А ноқатына карай өткерилген радиус нәзерде тугылады. Ал радиус болса Жердің орайына карай бағытланған бағыт. Оны хәр қыйлы жоллар менен анықлаұ мүмкин. Солардың ишинде ең көп тарқалғаны ушына жүк байланған жиптиң бағыты болып табылады. Бул жиптиң бағыты экватор менен полюсларда хақыйқатында да Жердің орайына карай бағытланған. Ал басқа кеңликлерде ондай емес. Бирақ усы кемшиликке қарамастан жүк байланған жиптиң бағыты *координаталардың горизонталлық системасындагы* бас көшер болып табылады. Бул көшер арқалы анықланған кеңлик φ_g *астрономиялық (ямаса географиялық) кеңлик* деп аталады.



2-сүүрет. Географиялық (φ_g) хәм геоорайлық (φ_a) кеңликлер арасындағы айырма.

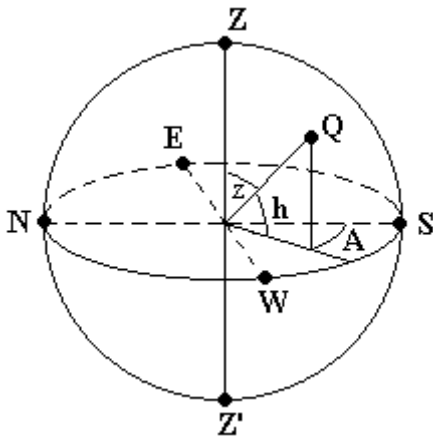
2-сүүретте геоорайлық кеңликтің бар екенлиги көрсетилген (бул жерде орай Жер бетин тәриплейтуғын эллипсоидтың геометриялық орайы). Географиялық хәм геоорайлық кеңликлер арасындағы математикалық айырма:

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



3-сүрөт. Географиялык координаталык тор.

Горизонталлык координаталар системасы



1-сүрөт. Координаталардың горизонталлык системасы

Әдетте горизонталлык координаталар системасы ҳаққындағы әңгиме былайынша басланады: Жүк илдирилген жиптиң ZZ' сызығын жүргиземиз (жоқарғы ноқат Z - *зенит*, төменги ноқат Z' - *надир*). ZZ' сызығына перпендикуляр тегисликтің аспан сферасының үлкен шеңбери *математикалық ямаса астрономиялық горизонт* деп аталды.

Солай етип жүк илдирилген жип сызығы координаталардың горизонталлык 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 мүйештиң мәніси оң, ал горизонттан төменде жайласқан болса терис деп есапланады. Горизонт ушын $h=0^\circ$, зенитте $h=90^\circ$, надирде $h=-90^\circ$. Жақтыртқыш пенен зенитке қарай бағытланған туўрылар арасындағы мүйеш жақтыртқыштың *зенитлик қашықтығы* деп аталады. Аспан сферасын математикалық горизонтқа параллел тегислик пенен кескенде алынған шеңбер *бирдей бийикликлер шеңбери* ямаса *альмукуантарат* деп аталады. Q

жақтыртқышы хәм зенит Z арқалы өткерилген үлкен шеңбер жақтыртқыштың *вертикалы* деп аталады.

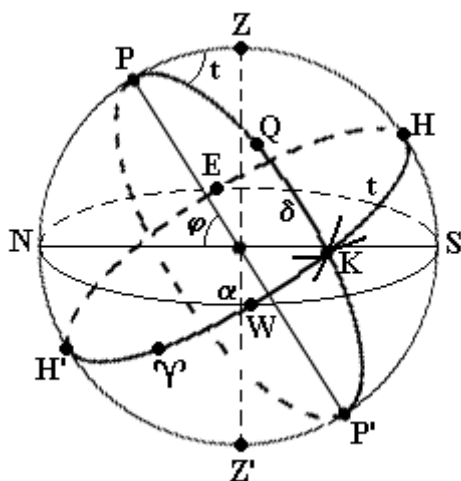
Екинши координатаны анықлау үшін горизонтта есаплау ноқатын, ал оның үшін арқа N ямаса түслик S ноқатларын анықлау керек. Әдетте түслик ноқат деп Қуяш горизонттан максимал көтерілгендеги Қуяш вертикалының горизонт пенен кесилису ноқатын алады. Горизонт тегислигинде жататуғын хәм арқа, түслик ноқатлардан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

Горизонт тегислигиндеги жақтыртқыштың вертикалы хәм есаплау ноқаты арасындағы мүйеш A азимут деп аталады (1-сүүрет). Егер зенит тәрептен карасақ (яғный батыс тәрепке қарай) *астрономиялық азимут* түслик ноқаттан саат стрелкасының қозғалуы бағыты бойынша есапланады. *Геодезиялық азимут* арқа ноқатынан сол бағыт бойынша өлшенеди.

Аспан сферасының зенит, арқа, түслик ноқатлары арқалы өтетуғын үлкен шеңбери *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.

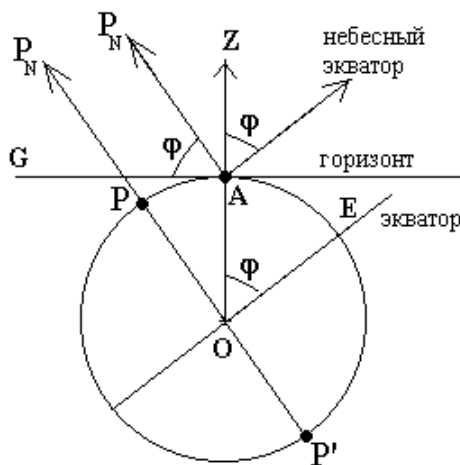
Зенит Z хәм надир Z' ноқатлары үшін $h = \pm 90^\circ$ хәм азимут анықланбаған.

Экваторлық координаталар системасы хәм аспан сферасының суткалық айланысы



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

Экваторлық координаталар системасында бас көшер дүньялық P хәм P' полюслери арқалы өтетуғын дүнья көшери (1-сүүрет), ал бас тегислик – дүнья көшерине перпендикуляр тегислик болып табылады. Бас тегислик аспан сферасын үлкен шеңбер $NWN'E$ 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 шеңбери *еңкейиу шеңбери* деп аталады хәм ол экватор менен K ноқатында кесилиседі. Дүнья көшери Жердиң айланыу көшерине параллел болғанлықтан аспан экваторының Жер экваторының дауамы екенлигин аңсат сезиуға болады. Сонлықтан координаталардың экваторлық системасын аспан сферасына географиялық координаталардың проекциясы деп атауға болады.



2-сүүрет. Дүнья полюсларының бийиклиги теоремасына.

Горизонтқа салыстырғанда дүнья полюслари менен аспан экваторы қалай жайласқан? Бириншиден дүнья полюслари аспан меридианы тегислигинде жатады. Ал аспан меридианы бақлау ноқатындағы Жер меридианының аспан сферасына түсирилген проекциясы болып табылады. Ал бақлау ноқатындағы Жер меридианы болса жергиликли арқа-түслик бағыты болып табылады. Екиншиден горизонт үстиндеги дүнья полюсының бийиклиги бақлау орнының бийиклигине тең. Бул тастыйықлауды *дүньяның полюсының бийиклиги хаққындағы* теорема деп атаймыз. Бул теорема жүдә аңсат дәлилленеди (2-сүүрет). A ноқатының географиялық кеңлиги φ экватор тегислиги менен сол A ноқатының радиусының (OA туұрысы) Жердиң орайы O дағы кесилисиу мүйеши. Горизонт тегислиги A ноқатында (2-сүүреттеги AG туұрысы) OA радиусына перпендикуляр, ал дүньяның арқа полюсына бағыт AP_N экватор тегислиги OE ге перпендикуляр (анықламасы бойынша) болғанлықтан AOE хәм GAP_N мүйешлериниң тәреплери жуп-жуптан перпендикуляр

хәм сонлықтан өз-ара тең. Демек дүнья полюсының бийиклиги P_N хақықатында да бақлаў ноқатындағы географиялық кеңлик φ ге тең.

Енди *экваторлық координаталар хақында* гәп етемиз. Бул координаталардың бири Q ноқатының (1-сүүрет) аспан экваторы (KQ доғасы) мүйешлик қашықлығына тең. Бул координата *еңкейиў* деп аталады хәм δ хәрипи менен белгиленеди. Экватордың арқа тәрәпинде еңкейиў оң мәниске, ал түслик тәрәпинде терис мәниске ийе хәм -90° нан $+90^\circ$ қа шекем өзгередеди. Q жарқтыртқышының дүнья полюсы P ға шекемги мүйешлик қашықлық полярлық қашықлық p деп аталады және δ еңкейиўине 90° қа шекем қосымшаға тең.

Экваторлық системаның екинши координатасын бериў ушын аспан экваторындағы есаплаў ноқатын белгилеп алыў керек. Бул жерде еки вариант бар хәм усыған байланыслы I хәм II типтеги экваторлық системаларға ийе боламыз. I типте есаплаў ноқаты болып аспан экваторының аспан меридианы менен кесилисиў ноқаты H ноқаты хызмет етеди (1-сүүрет). Аспан меридианы тегислиги менен аспан сферасының айланыў бағытында есапланған жақтыртқыштың еңкейиў шеңбери Q дың кесилисиў мүйеши (ямаса НК доғасының узынлығы) *t саат мүйеши* деп аталады. H ноқаты аспан сферасының суткалық айланыўына қатнаспайтуғын болғанлықтан Q жақтыртқышының саатлық мүйеши t ўақытқа пропорционал өзгередеди. Усыған байланыслы оны ўақытлық бирликлер болған саатларда, минутларда хәм секундларда өлшеген қолайлы. Әдетте t аспан меридианының еки тәрәпине карай -12° тан $+12^\circ$ қа шекем өзгередеди.

II типтеги системада есаплаў ноқаты сыпатында бәхәрги күн теңлесиў ноқаты қабыл етилген (\wedge). Бул ноқат экватор менен эклиптиканың кесилисиўиндеги еки ноқаттың биреўи болып табылады хәм атап айтқанда Қуяштың бәхәрде түслик ярым шардан арқа ярым шарға өтиў ноқаты алынады. Бәхәрги күн теңлесиў ноқаты аспан сферасында белгили бир орныды ийелейди хәм аспан сферасының суткалық қозғалысына қатнасады. Сонлықтан оның саатлық мүйеши ўақытқа пропорционал өзгередеди. Бәхәрги күн теңлесиў ноқаты \wedge нан Q жақтыртқышының еңкейиў шеңберине шекемги, аспан сферасының қозғалыс бағытына қарама-карсы бағытта есапланған мүйешлик қашықлық (\wedge K доғасы, есаплаў \wedge дан шығыс тәрәпке карай) *туўры шығыў* деп аталады және α хәрипи менен белгиленеди (1-сүүрет). Әлбетте дүнья полюслары P хәм P' ушын саатлық мүйеш те, туўры шығыў да анықланбаған. Есаплаў бағыты усындай етип сайлап алынғанда H ноқатының туўры шығыўы да ўақытқа пропорционал өзгередеди. Сонлықтан α шамасын да ўақыт бирликлеринде өлшеймиз (бирақ 0° тан 24° қа шекем). Бәхәрги күн теңлесиў ноқатының саатлық мүйеши – 1-сүүреттеги H \wedge доғасының узынлығы *s жұлдызлық ўақыт* деп аталады, ал бирдей аталатуғын бәхәрги күн теңлесиў ноқатының избе-

изликтеги еки кульминациясы арасындағы ўақыт *жұлдызлық сутка* деп аталады. Жұлдызлық суткалардың басы ретинде бәхәрги күн теңлесіў ноқатының жоқарғы кульминация моменти кабыл етилген. Сүүретте көрсетилгениндей жұлдызлық ўақыт, саттлық мүйеш хәм туўры шығыў $s = \alpha + t$ түриндеги аңлатпа арқалы байланысқан.

Жұлдызлық 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 теңлесіў ноқатына салыстырғанда аўысады, жұлдызлық 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. Өтиў формулалары Дүнья полюсы – Зенит – Жақтыртқыш сфералық үш мүйешлигинен келтирилип шығарылады. Еңкейіў δ ны, саатлық мүйеш t ны географиялық кеңлик φ , астрономиялық азимут A хәм зенитлик қашықлық z бойынша есаплаў ушын төмендеги формулалар қолланылады:

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

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

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

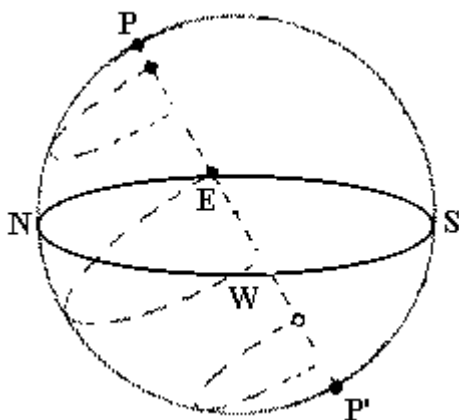
Бул аңлатпалардағы белгисизлер саны еки болса да үшінши теңleme саатлық мүйеш t ны анықлаў ушын керек. Кери өтиў азимута A хәм зенитлик қашықлық z лерди белгили болған φ , t хәм δ лар арқалы төмендеги формулалар менен есаплайды:

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

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

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

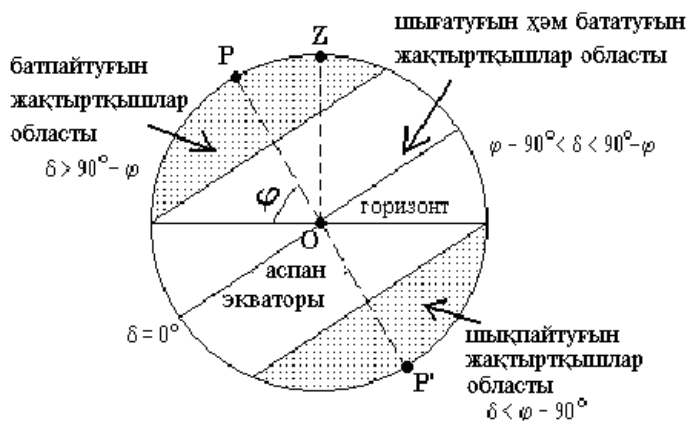
$z = 0^\circ$ хәм $z = 180^\circ$ ушын (зенит хәм надир) азимут A анықланбаған.



3-сүүрет. Жақтыртқыштың орта кеңликлергеги аспан сферасы бойынша қозғалыўы.

Енди аспан сферасының суткалық айланыуы хаққында гәп етемиз. Хәзирше α хәм δ лары турақлы болған жақтыртқышларды караймыз. Жер батыстан шығысқа карай PP' (2-сүүрет) 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-сүүрет). Аспан сферасындағы қәлеген ноқатының еңкейиуи ўақытқа байланыслы өзгермейди, ал саатлық мүйеш болса ўақытқа пропорционал өзгередиди. Сонлықта хәр бир жақтыртқыш суткалық айланыста аспан экваторына параллел козғалады (турақлы еңкейиу менен киши шеңберлер бойынша). Пайда болған параллалерди *суткалық параллеллер* деп атайды.

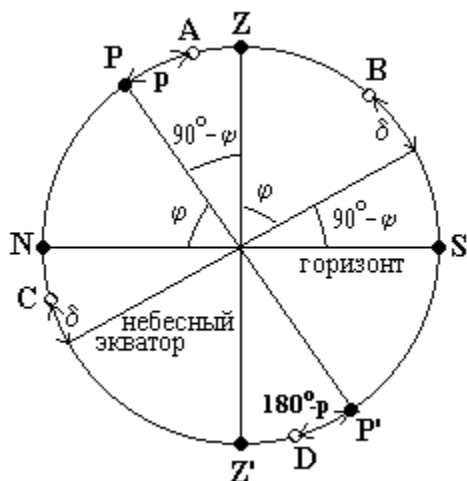
Аспан сферасының хәр қыйлы ноқатларындағы суткалық параллеллерге урынбалар горизонт тегислигине хәр қыйлы мүйешлер менен бағытланған хәм Жақтыртқыштың зенит Z арқалы өтиуин *жоқарғы кульминация* деп атайды (усы моментте жақтыртқыш аспан сферасындағы өзиниң ең жоқарғы ноқаты арқалы өтеди). Ал надир Z' бар аспан меридианының басқа ярымы арқалы жақтыртқыштың өтиуи моменти *төменги кульминация* деп аталады. Бул ноқатта жақтыртқыштың бийиклиги минималлық мәниске жетеди. \pm б^о саат мүйешинде барлығы да керисинше: жақтыртқыштың бийиклигиниң өзгериуи тезлиги максималлық, ал азимуттики минималлық.



4-сүүрет. Аспан сферасындағы жақтыртқышлардың үш областы.

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 жақтыртқыштың суткалық параллелиниң көпшилик бөлеги горизонт астында хәм еңкейиуи үлкен болған сайын бул бөлим арқа ноқатына жақын (жақтыртқыш арқа ноқатына жақын ноқатларда шығады хәм батады). Арқа ноқатының еңкейиуи $90^\circ - \varphi$, сонлықтан $\delta = 90^\circ - \varphi$ де шығыуи хәм батыуи ноқатлары арқа ноқаты менен биригеди. Оның ушын суткалық параллел горизонтқа тийеди. $\delta > 90^\circ - \varphi$ болған жақтыртқышларда

төменги кульминация горизонт астында болады, яғни жақтыртқыш шықпайтуғын жақтыртқыш болады (4-сүўрет). Тап сол сыяклы $\delta < 0^\circ$ де жақтыртқыштың суткалык параллелиниң үлкен бөлеги горизонт астында болады, ал шығыў хәм батыў ноқатлары түслик тәрепке көбирек жылыскан болады. $\delta < \varphi - 90^\circ$ жағдайында жоқарғы кульминация горизонттың астында болып өтеди хәм шықпайтуғын жақтыртқыш болады.



5-сүўрет. Кульминациядағы жақтыртқыштың бийиклиги.

Жақтыртқыштың кульминация моментиндеги бийиклиги айрықша кызыклы. Ең жоқарғы бийиклик (90°) жақтыртқыштың жоқарғы кульминациясы моментинде орын алады (бул ўақытта жақтыртқыш зенит арқалы өтеди, яғни $\delta = \varphi$). 5-сүўретте көринип турғанындай $\delta < \varphi$ шәрти орынланатуғын жақтыртқышлардың жоқарғы кульминациясы зенитке салыстырғанда түслик тәрепте 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 моментинде зениттен арқа тәрепте $h = \varphi + \rho = 90^\circ + \varphi - \delta$ бийиклигинде болып өтеди. Төменги кульминация ушын усы айтылғанлар керисинше өтеди.

Қуяш системасының дүзилиси

1. *Қуяш системасының дүзилиси хаққындағы көз-қараслардың раўажланыўы.* Әлемнің қалай дүзилгенлиги хаққындағы көз-қараслардың раўажланыў тарийхы жүдә Әйемнен басланады. Әйемги ата-бабаларымыз тәбият хәм оның қубылысларын түсиндириўге әззилик қылып, Әлем денелериниң қозғалысларын басқаратуғын қандай да бир кәраматлы күш бар деп исенетуғын еди. Әлемнің өзи де усы күш тәрөпинен жаратылған деген пикирде болды.

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

Әлемнің дүзилісі хәққындағы дәслепки көз-қараслар жүдә әпиұайы болып, оларда Жер менен Аспан бири бирине қарама-қарсы қойылатуғын еди. Адамлар Жерди тегіслик түрінде, аспанды болса жұлдызлар «бекитілген» гүмбез сыпатында көз алдына елеслетти.

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

Эрамыздың II әсиринде белгили Александриялық астроном Кладвий Птолемей Әлемнің дүзилісинің жаңа *геоорайлық* (*яғный орайында Жер туратуғын*) *системасын* дәрәттi. Бул теорияға мууапық Әлемнің орайында Жер турып, басқа планеталар, соның ишинде Қуяш, оның әтирапында 21-сүүретте келтирилген тәртип пенен айланады. Сондай-ақ бул тәлимаатқа сәйкес, ең соңғы сферада жұлдызлар Жерден бирдей қашықлықта жайласып, оның әтирапында айланады.

Бирақ Ұақыттың өтиуи менен планеталар қозғалысларын тереңирек хәм дәл үйрениу, планеталардың жұлдызлар фонында бақланатуғын өзине тән қозғалысларын бул теория тийкарында түсиндириуди қыйынластырып жиберди. Ақыбетинде бул теорияның Әлемнің дүзилісин дурыс сәулелендире алмайтуғынлығы көрине баслады хәм оны бақлау нәтижелерине сәйкес, жаңа теория менен алмастыруу зәрүрлиги тууылды.

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

Бул теорияға сәйкес Әлемнің орайында Қуяш турып, барлық планеталар, соның ишинде Жер, оның әтирапында белгили бир тәртип пенен айланады (22-сүүрет). Жұлдызлар болса Птолемей теориясындағы сыяқлы ең кейинги сферада жайласып, Қуяштың әтирапында бир бирине салыстырғанда қозғалмаған халда айланады.

Коперник биринши болып, планеталардың жұлдызлар фонындағы шеңбер тәризли қозғалысларының себебин Жердің Қуяш әтирапында басқа барлық планеталар қатарында айланыуының себебинен екенлигин көрсетип берди (23-сүүрет). Коперниктің Әлемнің дүзилісі хәққындағы бул теориясы гелиоорайлық теория деген ат алды.

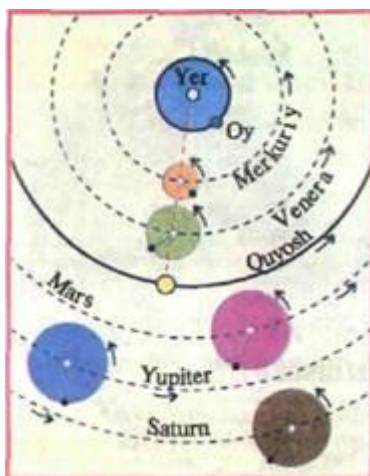
Әлем дүзилісинің гелиоорайлық теориясы белгили Италиялық илимпаз, философ Джордано Бруно (1548-1600) тәрәпинен рауажландырылды. Мысалы ол өз теориясында

Әлемнің көзғалмайтуғын жұлдызлар сферасы менен шегараланбайтуғынлығын, жұлдызлар Қуяштан хәр қыйлы қашықлықларда жайласатуғын оған усыған объектлер екенлигин, олардың этирапында да Қуяштың этирапындағы сыяқлы планеталарының болыуының мүмкинлигин көрсетти. Кейинги жүз жыллар ишинде өткерилген астрономиялық бақлаулар оның хақ екенлигин дәлилледди.

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

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

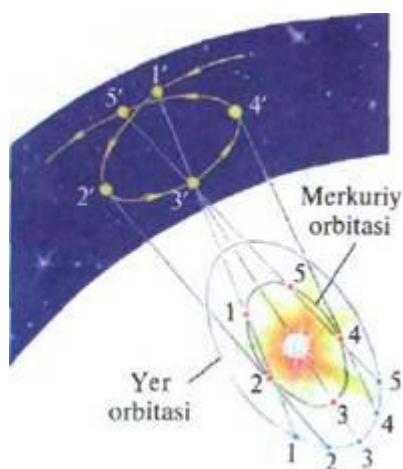
Әлемнің дүзилиси хаққындағы көз-қараслардың қәлиплесиуинде ұатанласымыз уллы алым Әбиу Райхан әл-Берунийдиң (973-1048) үлкен хызмети бар. Ол узақ жыллар дауамында өткерилген астрономиялық бақлауларына сүйенип планеталардан Меркурий менен Венераның Қуяштан узақ кете алмайтуғынлығын (мүйешлик өлшемлер менен есапланғанда) анықлады хәм усы тийкарда бул еки планета Қуяштың этирапында айланса керек деген тууры жуумаққа келди (24-сүүрет). Беруний тийкарында геоорайлық системаның тәрәпдары болып қалған болса да, оның ишки планеталарға (Меркурий хәм Венера) тийисли бул жуумағы XI әсирде Әлемнің дүзилисиниң гелиоорайлық системасын дәретиу бағдарында қойылған уллы қәдем еди.



Птолемейдің геоорайлық системасы.



Әлемнің дүзилисинің гелиоорайлық системасы (орайында Қуяш)



Планеталардың бақланатуғын айланбалы қозғалыстарын түсіндириу.



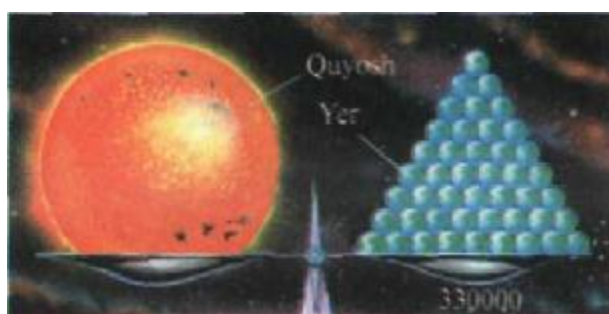
Берунийдің Әлемнің дүзилиси хаққындағы көз-қараслары. Усы көз-қарасларға сәйкес Қуяш өз этирапында айланатуғын жолдаслары – Меркурий хәм Венера менен бирге Жер этирапында айланады.

Қуяш системасының ағзалары хәм өлшемлери

Қуяш системасына кириуши денелер менен биз дәслеп «Тәбияттануы» сабақларында танысқан едик. Бул системаның ең ири денеси Қуяш болып, оның диаметри Жердің диа-

метрден 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. Жердиң Қуяштан орташа узақлығы 150 миллион километр. Демек Плутонның Қуяштан узақлығы орташа 6 миллиард километрди қурайды. Қуяштан Жерге шекем оның нурлары 8 минуттан сәл көбирек ўақытта жетип келеди. Ал Плутонға шекем 5,5 сааттан көбирек ўақыт «жүреди».

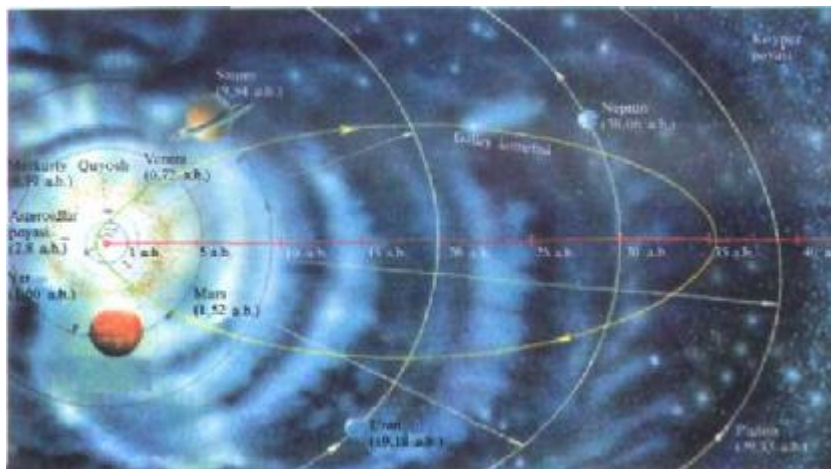


Жер өлшемин Қуяштың өлшеми менен салыстырыў.

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 Юпитердиң орбиталарының арасында жатады.

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

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



Қуяш системасының масштабы.

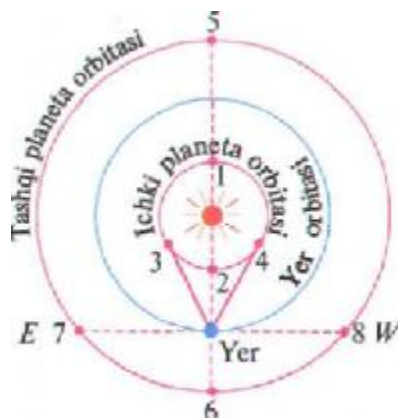
Қуяш системасында қозғалыушы ири планеталардың қаншама үлкен болыуына карамай, Қуяш пенен салыстырғанда жүдә киши аспан денелери болып есапланады. Планеталар хәм барлық майда денелердің массалары биргеликте Қуяш системасы денелериниң улыұмалық массасының 0,1 процентин, Қуяштың массасы болса шама менен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

Планеталардың конфигурациялары хәм көриниу шәртлери

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

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

Жердің сүүреттеги жағдайында ишки планета ийелеген 1- хәм 2-халлар планетаның Қуяш пенен қосылыў ҳаллары деп аталып, 1-төменги қосылыў, 2-жоқары қосылыў деп аталады.



Планеталардың конфигурациялары хәм көриниў шәртлери.

Планета 1- хәм 2- халларда Қуяш нурына көмилип көринбейди, яғный бул оның көринбейтуғын дәуири болады. Ишки планетаның Қуяштан шығыс хәм батыс тәрепке максимал узақласқан (мүйешлик есапта) ҳалдағы көринислери (элонгациялары) оның 3- хәм 4- халларына туўры келеди. Егер ишки планета 3- халда болса, ол Қуяштың шығыс тәрепинде болғанлығы себепли кеш қурын Қуяш батқаннан кейин аспанның батыс тәрепте горизонттан бир қанша бийикликте жақсы көринеди. Егер усы халда, яғный Қуяштан батыс тәрепте болса таң алдында Қуяштың шығыўынан алдын шығыс тәрепте 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° мүйешлик қашықлықта жайласады.

Сыртқы планета 5-халда Қуяш пенен қосылып Жердеги бақлаўшы ушын өзиниң көринбейтуғын дәуирин өтип атырған болады. 6-халда болса Қуяшқа қарама-қарсы турғанлығынан Қуяштың батыўы менен планета шығыс тәрепте горизонттан көтериледи хәм пүткил түн даўамында оны бақлаў мүмкин болады. Планетаның 7- хәм 8-халлары сәйкес рәуиште оның шығыс хәм батыс квадратура ҳаллары 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 үстинде көриў мүмкин болады.

Планеталардың Қуяш этирапында қозғалыстары.

Олардың дәуірлері

Барлық планеталар Қуяш этирапында бір тәрепке қарап, яғни шығыстан батысқа қарай қозғалып айналады. Қуяштан узақлықтарына сәйкес, олардың айланыу дәуірлері хәр қыйлы болып, Қуяшқа жақынлары киши, узақтағылары болса үлкен дәуірлер менен айналады. Мысалы Қуяшқа ең жақын Меркурий оның этирапын 88 суткада айланып шықса, Плутон Қуяш этирапында сәл кем 240 жыллық дәуірде бір рет айналады. Олардың қозғалыс тезликлері де хәр қыйлы болып Қуяштан узақ қашықлықтарда айланатуғын планеталар жақын жайласқан планеталарға қарағанда бір қанша киши тезликлер менен қозғалады.

Қосымшадағы кестеде планеталардың Қуяш этирапында айланыстарына тийісли мағлыұматлар келтирилген. Соның менен бирге, бул кестеде планетаның орбита тегислиги менен Жердің Қуяш этирапында айланыу 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 хәқыйқый айланыу дәуірлері олардың *сидерлик* ямаса *жұлдызлық дәуіри* деп аталады. Планетаның сидерлик дәуіри (T_{pl}) деп оның Қуяш этирапында белгили бир жұлдызға салыстырғанда толық айланып шығыуы ушын кеткен ұақытқа айтылады. Планетаның *синодлық дәуіри* (S_{pl}) деп оның бирдей конфигурациялық жағдайларының, яғни планетаның Қуяш хәм Жерге салыстырғанда қабыл қылынған белгили бир жағдайларының (планеталардың қосылыуы, элонгациялары ямаса қарама-қарсы турыұлары) бирден еки рет избе-из өтиуі ушын зәрүр болған ұақыт аралығына айтылады. Планетаның синодлық дәуіри S_{pl} Жердің қозғалысы менен байланыслы болып Жердің сидерлик дәуіри T_{\oplus} хәм планетаның сидерлик дәуіри T_{pl} менен төмендегидей байланысқан.

Ишки планеталар ушын Жер хәм планетаның суткалық жылжыулары айырмасынан:

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

Буннан

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

Сыртқы планеталар үшін

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

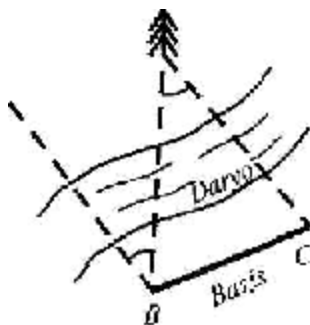
Буннан

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

Қуяш системасы денелеріне шекемгі қашықтықтарды анықлау

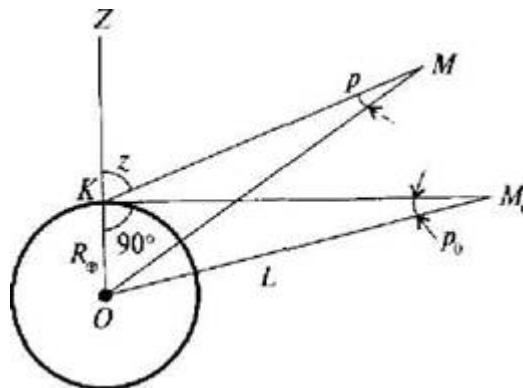
1. Қуяш системасына кириуші денелерге шекемгі (планеталар, Ай, майда планеталар хәм басқалар) қашықтықтар тригонометрик жол менен суткалық параллакс деп аталыушы метод жәрдемінде табылады.

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



30- rasm.

Барыуға болмайтуғын нокатқа шекемгі қашықтықты анықлау усылы.



Жақтыртқыштың суткалық (p) хәм суткалық-горизонталлық параллакслары.

Бунның ушын дәрьяның биз турған тәрәпинде бир С ноқатын алып ВС ның узынлығын үлкен дәллик пенен өлшеймиз. Бул кесиндинің ушларынан А объект (терек алынған) қарасак, оған қараған бағытлардың (АВ хәм АС) 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 ушларынан объект тәрәпке бағытлар менен хасыл қылынған В хәм С мүйешларине (өлшеулер тийкарында олар аңсат табылады) сәйкес объектке шекемги аралық А анықланады.

Енди Қуяш системасы денелерине шекемги қашықлықларды табыу мәселесине келсек, онда базис сыпатында Жер радиусы алынады. Аспан денеси (М) хәм бақлаушы (К) арқалы өткен Жер радиусы ушларына өткерилген тууры сызықлар арасындағы мүйеш бул аспан денесинің (жақтыртқыш) суткалық паралакс мүйеши деп аталады.

Егер жақтыртқыш бақлаушыға салыстырғандағы горизонтта жайласқан болса (M_0 ноқатта), оның паралаксы суткалық горизонталлық паралакс (p_0) деп аталады.

Базы бир планетаның суткалық горизонталлық паралакс мүйешин табыу ушын бир ўақытта Жердің белгили бир меридианының еки ноқатынан (К хәм С) оны бақлау керек болады. Бунда планета узақтағы жұлдызлардың фонында паралакслық жылжыған халда еки (M_1 хәм M_2) ноқатта көринеди. Планетаның паралакслық жылжыуы тийкарында p_0'' мүйеши табылып оған сүйенген халда L планетаға шекемги қашықлық M_0OK тууры 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 Жердің радиусы белгиленген.

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

Бунда Жерден жалғыз планетаға шекем жиберилген сигналдың (электромагнит толқынның) оған барып хәм қайтып келиуі ушын кеткен ўақыт t болса, онда оның өткен жолының $2L$ екенлигин хәм радиотолқынның тарқалыу тезлигинің жақтылық тезлиги c

ға тең екенлігін есепке алсақ $c = \frac{2L}{t}$ деп жазыу мүмкін. Буннан аспан денесіне шекемгі

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

Усы жол менен Жерден Қуяш системасының денелерінің барлығына шекемгі қашықтықтар, соның ишінде Қуяштың өзінше шекемгі қашықтық (1 астрономиялық бірлік = 149598500 км) жүде жоқары дәллік пенен анықланған.

Астрономиядағы узынлық бірліктері

Астрономияда узынлықтың халық аралық системада қабыл етилген бірлікте (метрлерде) тәріплеу қолайлы емес хәм үлкен қыйыншылықтар пайда етеди. Соның ушын астрономияда узынлық төмендегі арнаулы бірліктер менен өлшенеди:

1. Астрономиялық бірлік (а.б.) - Қуяштан Жерге шекемгі болған орташа аралық = 149,6 миллион километрге тең. Бул бірліктен тийкарынан, Қуяш системасындағы аспан денелеріне шекемгі (планеталар, кометалар, Ай хәм басқалар) болған қашықтықтарды тәріплеуде пайдаланылады.

2. Жақтылық жылы (ж.ж.) - жақтылықтың бир жылда өткен жолы менен характерленеди. Бундай узынлықты километрлерде тәріплеу ушын бир жылда қанша секунд барлығы табылып, соңынан оны жақтылық тезлігіне ($3 * 10^5$ км/с) көбейтиледі. 1 жылдағы секундлардың муғдары $365,2422 * 24 * 3600$ 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 екенлігіне ийе боламыз. Табылған нәтижени 149,6 млн км ге бөлсек 1 ж.ж. ның астрономиялық бірліктердегі шамасын табамыз. Ол 63240 а.б. ке тең болып шығады.

3. Парсек (пк) - «параллакс» хәм «секунда» сөзлерінен алынған болып, жыллық параллакс (VIII, 6- §) 1" қа тең болған жақтыртқышқа шекемгі қашықтықты тәріптейди:

$$1 \text{ пк} = 3,26 \text{ ж.ж.} = 206265 \text{ а.б.} = 30,86 * 10^{12} \text{ км.}$$

Әдетте қашықтықтың жақтылық жылы парсек, килопарсек (1000 пк) хәм мегапарсек (Мрк = 10^6 пк) бірліктері Қуяш системасынан сырттағы аспан денелеріне шекемгі (жұлдызлар, жұлдыз топарлары, думанлықтар хәм басқалар) қашықтықтарды, соның менен бирге, сыртқы галактикалар, галактикалық жыйнақтардың өлшемлерін хәм олардың арасындағы қашықтықтарды өлшеуде пайдаланылады.

Қуяш системасы денелерінің өлшемдерін анықтау

Сүзретте келтирилген планетаның r радиусын анықтау үшін бул планетаның параллаксы p_0 туұры мүйешли үш мүйешлик ОЕР дан (сүзретке қараңыз):

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

болады. Туұры мүйешли үш мүйеш ОРО' дан планетаның көриниу радиусы ρ :

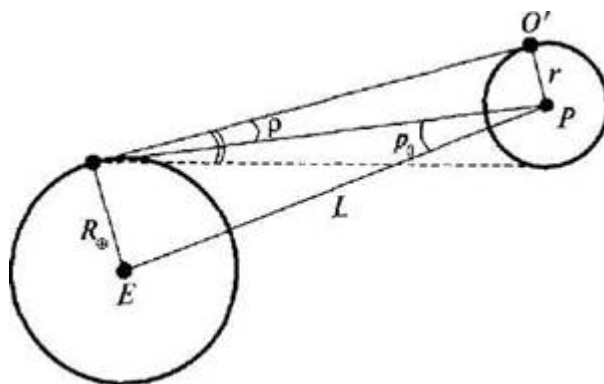
$$\sin \rho = \frac{O'P}{OP} = \frac{r}{R}$$

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 екнши теңлемеге қойып, планета радиусы

(r) ди төмендегише анықтау мүмкин:

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



Қуяш системасы денелерінің радиусларын өлшеу ұсылы.

p_0 хэм ρ мүйешлер секундлы мүйешлерде өлшенетуғын болғанлықтан планетаның радиусын

аңлатпасы $r = \frac{R_{\oplus}}{p_0} \rho$ жәрдемінде табыуымыз мүмкин. Себеби

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

Айдың қозғалысы хэм фазалары

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

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

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

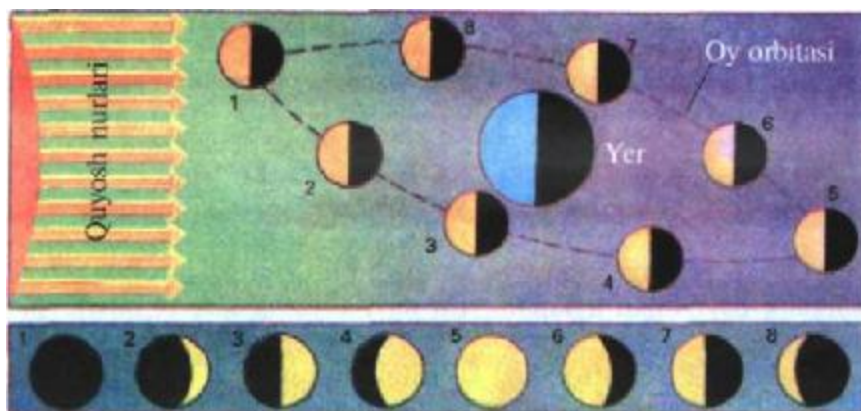
Айдың өз көшери этирапында хәм Жер этирапында бирдей 27,32 суткалық дәуір менен айланатуғынлығы айрықша қызық. Айдың өз көшери этирапында хәм Жер этирапында айланыу дәуірлериниң өз-ара тең болғанлығынан Ай Жерден қарағанда барлық ўақытта да бир тәрәпи менен көринеди.

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

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

Сызылмада Қуяш нурлары параллел дәсте түрінде түскенде Айдың басында, толық Ай пайытында хәм биринши және кейинги шөрек 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 тұрғанындай Қуяш барлық ўақытта да Айдың ярым сферасын жақтыртады. Бирақ оның сол жақтыртылған ярым сферасы Жерден пүткиллей көринбеуи (жаңа Айда - 1-халда) ямаса толық көриниуи (толық Айда - 5- халда) ямаса бир бөлиминиң көриниуи (басқа халларда) мүмкин екен.



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

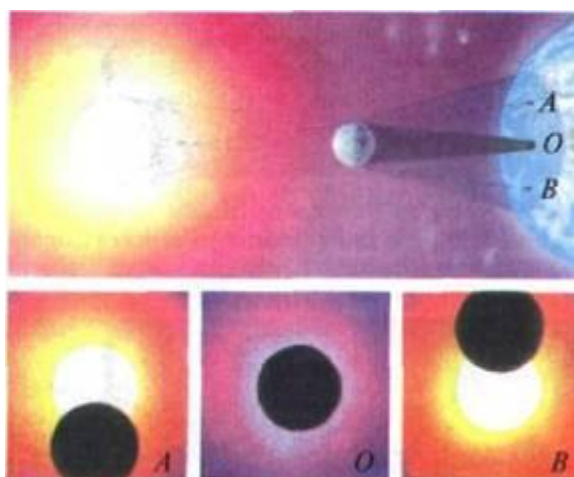
Айдың белгили бир фазасынан (мысалы толық Ай фазасынан) избе-из еки рет өтиуи арасындағы ўақыт 29,53 сутканы курайды хэм ол Айдың синодлық дәўири деп аталады. Синодлық дәўирдин Айдың жулдызларға салыстырғанда айланыў дәўиринен (сидерлик дәўир) узынлығына себеп Жердин Қуяш этирапында айланыўы болып табылады.

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

Бундай ҳалда Айдың Қуяш тәрепинен жақтыртылмаған бөлими қара күл рең түниде көзге түседи. Айдың Қуяш тәрепинен жақтыртылмаған бөлиминиң бундай түрде көриниўи Жерден шағылысып қатқан Қуяш нурлары менен жақтыртылғанлығының себе- бинен жүзеге келеди.

Қуяш пенен Айдың тутылыўлары

1. Қуяштың тутылыўы. Ай Жердин этирапында айланып, усының нәтийжесинде базы бир ўақытлары Қуяш оның артында қалады (34-сүүрет). Бундай ҳалды Қуяштың тутылыўы деп аталады. Бул кубылыс хәр дайым Айдың жаңа ай халында жүзеге келеди.



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

Жердеги бақлаўшыға салыстырғанда Қуяш Айдың саясы ишинде (О) қалса, ол Қуяшты қысқа ўақыт ишинде (бир неше минут) пүткиллей көрмейди, яғный Қуяш толық

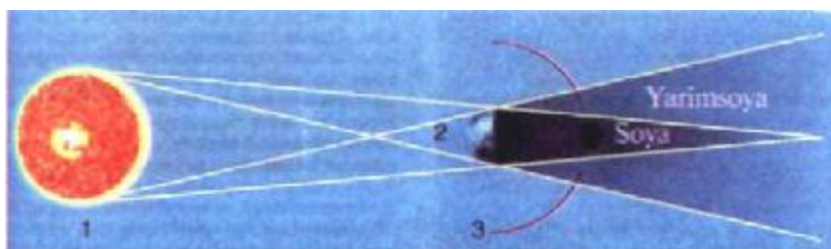
тутылады. Қуяштың толық тутылыуы аспанда жүдә шырайлы көринисті пайда етеді. Бул жағдайда бақлаушы аспанда қап-қара Қуяш изи этирапында Қуяш «тажы» деп аталатуғын нәзік гүмис реңлі нурды шығаратуғынлығын көреді. Соның менен бирге бул пайытта күндиздің болыуына қарамастан аспанда жарық жұлдызлар хәм планеталар көринип тұрады.

Егер Жердеги бақлаушы Айдың ярым саясы ишинде (А ямаса В) қалса, онда ол Қуяштың бир бөлимин ғана көреді, яғнай 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 келеді. Себеби бул жағдайда Айдың көриниу диаметри ол тосып турған Қуяштың көриниу диаметринен киши болады.

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



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



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

2. Айдың тутылыуы. Ай Жер этирапында айланып, усының нәтийжесинде базы бир ўақытлары Жердің саясы арқалы өтеді. Бундай қубылыс *Айдың тутылыуы* деп аталады.

Егер бул жағдайда Ай Жердің саясының иши арқалы өтсе, оны *толық тутылыу*, ярым саясының бир бөлими арқалы өтсе ол халда оны *ярымсаялы тутылыу* деп атайды. Айдың тутылыу барысында ол хэмме уақытта да толық фазасында болады.

Жердің белгили бир орнында Куяштың тутылыуына салыстырғанда Айдың тутылыулары жийирек бақланады. Себеби Куяштың тутылыулары Жердің Ай саясы түскен хэм онша үлкен болмаған майданында ғана бақланады. Айдың тутылыуы болса Жердің Куяшқа қарама-қарсы ярым шарының барлық бөлимінде бир уақытта көринеди.

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

Ай орбитасының эклиптика тегислигине қыялығына (5°09') байланыслы Ай хэм Куяш тутылыулары жаңа Ай хэм толық Ай пайытларында хеш қашан бақланбайды.

Әййемги уақытлары Куяш хэм Айдың тутылыу уақытларында олардың жоқарыда тәриппленген көринислери адамларда қорқыныш хэм хаулығыулар пайда еткен. Енди болса Куяш пенен Ай тутылыуларының сырлары толық анықланған хэм сонлықтан бул кубылыслар хеш кимде хаулығыу пайда етпейди. Алымлар Куяш хэм Ай тутылыуларының болу уақытын бир неше жыл алдын-ала анық есаплап беріу методларын ислеп шыққан. Қосымшадағы кестеде 2005- жылға шекемги Куяш хэм Ай тутылыуларының уақыты келтирилген. Тутылыулар пайытында өткерилген бақлаулар жәрдемінде Куяштың физикалық тәбиятын, Жер атмосферасының дүзилисин хэм Айдың қозғалысына байланыслы болған әхмийетли мағлыұматларды қолға киргизиу имканиятына ийе болды.

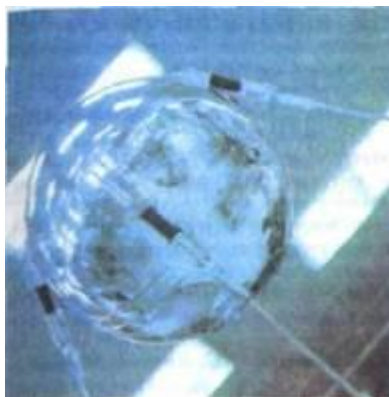
Космонавтика элементлери

Космонавтика хэм оның басқа илимлер менен байланысы

Космонавтика - «kosmos» хэм грекше «nautika» - кеме басқару өнери деген мағананы аңлатыушы сөзлерден турып, ол ракета хэм космослық аппаратлардан пайдаланып инсанияттың зәрүрликлерин тәмийинлеу ушын космослық кеңисликти хэм Жерден сыртқы объектлерин үйрениу хэм өзлестириуіге 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 дүзилеслери, илимий әсбаплар, Жерден турып басқарыў системалары, телеметрия, орбиталық станцияларды тәмийинлеў хәм басқа және бир қанша усы сыяқлы шөлкемлестириў 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 әҳмийетли болып есапланады.



Жердиң биринши жасалма жолдасы.



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

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 кеңисликтин мөлшерленген ноқатына ямаса космослық объектке анық ўақтында жетип барыўы ушын есаплаўларды алымлар техникалық хызметкерлер менен биргеликте астрономиялық билимлерге таянған халда әмелге асырады. Астрономлар аспан денелерине шекемги қашықлықлар, олардың өлшемлери, массалары хәм басқа да физикалық параметрлери хаққында көп ўақытлардан

бери көп санлы билимлер топланган. Қолға киргизилген бул билимлер космосқа ушыўда оғада үлкен әхмийетке ийе.

Жер атмосферасының тығызлығы, температурасы, магнитосферасы хәм 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 хәм олардың жолдасларына тийисли мағлыўматларды (өлшемлерин, қашықлықларын, массаларын хәм басқаларды) тастыйықлаўдан басқа хәзирги ўақытлары астрономия қолланып атырған методлардың қай дәрежеде туўры екенлиги де исеним пайда етеди.

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

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

Космонавтика химиялық билимлерге де кең сүйенеди. Космослық техника затлардың хәр түрли химиялық қәсийетлерине жоқары талаптар қояды. Мысалы ыссыға шыдамлы, тат баспайтуғын хәм 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 хәм ушырыўды әмелге асырыў процесслеринде кеңнен қолланылады. Улыўма айтқанда космонавтикаға тийисли қәлеген изертлеўди есаплаўларсыз әмелге асырыўға болмайды.

Соңғы жылларда космонавтика онлаған биологиялық экспериментлерди өткеріўди 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 тәсирлери ҳаққында адамзатқа оғада әҳмийетли мағлыўматларды берди.

Техника илимлериниң көплеген тәжирийбелери касмонавтикада кеңнен қолланылады. Касмонавтиканың раўажланыўында авиациялық техниканың жетискенликлери айрықша орынларды ийелейди. Хәзирги заман космослық техникасын иске түсириў 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 жеткеріў 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 әтирапында орбиталық станцияларды қурыў хәм оларды басқа планеталарға ушыўда база сыпатында пайдаланыў мүмкинлиги ҳаққындағы 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 ҳақыйқый көз-қарасларда қарап, оларды әдеўир раўажландырды.

XX әсирдиң 20-30 жыллары айырым алымлар топарлары хәм жәмиетлер ракета двигателлерин конструкциялаў хәм сынап көриўди баслады. Түтинсиз порохлы ракеталарды қурыў бойынша биринши тәжирийбе-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

тәрепинен 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 космоқа жол алды.

1959-жылдан баслап Жердиң тәбийий жолдасы - Ай космолық аппаратлар тәрепинен «нышана» ға алына баслады. 1969- жылы АҚШ астронавтары «Аполлон-11» космолық аппаратында Ай бетине қонып, инсанның әсирлик әрманының әмелге асқанлығын көрсетти. 1960- жыллардың басынан планеталар аралық автомат станциялар қоңсы планеталарды (дәслеп 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 космолық аппаратлар жәрдемінде изертлеўдиң жаңа әсири усылай басланып, хәзирги ўақытлары аспан денелерин, космо кеңислигин үйрениўде революциялық даўамын басынан кеширмекте.

Ушыў барысында космолық аппаратқа тәсир етиўши күшлер

Ушыў барысында космолық аппаратқа тәсир ететуғын ең тийкарғы күш пүткил дүньялық тартылыс күши болып табылады. Әдеттеги денелер арасындағы тартылыс күши Ньютон тәрепинен ашылған пүткил дүньялық тартылыс нызамына 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 қашықтықты тәриплейди. 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.

Космолық аппараттың қозғалысы барысында оған тәсир ететуғын басқа бир күш атмосфераның қарсылық күши болып табылады. Ушыў қанша киши бийикликлерде (Жердиң 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 ушыуына 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 нурланыуларының басым күши болып табылады. Егер космослық аппараттың массасы онша үлкен болмай, ал сыртқы бети сезилерли дәрежеде үлкен болса Қуяш нурларының басым күши узақ ушыулар дауамында жетерлише үлкен болып, космослық аппараттың қозғалыс траекториясына сезилерли тәсир көрсетеди. Соның ушын да бундай халларда оны әлбетте есапқа алыуға тууры келеди.

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

Салмақсызлық

Мейли космос кеңілігінде ушып баратырған космослық аппарат белгили бир пайыттан баслап зәрүрли болған тезлікке ийе болғаннан кейин еркин айланбалы қозғалысы тәмийинленген болсын. Бундай қозғалыста денениң барлық ноқатларының бирдей тезлік пенен қозғалатуғынлығын түсиниу 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) тезліклери бирдей болып қалады хәм өзгериске ушыраған жағдайларда бирдей болып өзгереди. Себеби гравитациялық тезлениу қозғалыуша денениң өзиниң массасына байланыссы емес:

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

Бул аңлатпада М арқалы космослық аппарат деталларын тартыушы денениң массасы (деталлардың массасы емес!), r арқалы космослық аппарат деталларын тартыушы М массалы денеге шекемги қашықлық. Бул қашықлықтың шамасын барлық деталлар ушын бирдей деп қарау мүмкин. Бул жағдай космослық аппарат деталларының траекториясының бирдей болып, кеңілікте олардың тарқалып кетпейтуғынлығын көрсетеди. Сонлықтан космослық аппараттың айырым деталлары арасында өз-ара басым жүзеге келмейди, яғный бир бирине түсиретуғын салмағы жоғалады. Космонавт өзи отырған орынлыққа басым түсирмейди, асылған лампа шнурға салмақ түсирип тартпайды, еркине жиберилген қәлем

столға түспей сол аўхалында хәм басқалар. Себеби олардың бәршесиниң тезлиги менен тезлениўи бирдей болады. Кеме кабинасы ишиндеги пол, төбе деген сөзлердиң мәниси жоғалады. Кеме ишинде денелердиң салмақсызлық халы жүзеге келеди.

Сыртқы басқа күшлердиң (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 денелериниң оған тәсирин есаплаўға зәрүрлик болмайды. Егер космос аппараты космос кеңислигинде планеталардан әдеўир узаклықта қозғалатуғын болса, онда тек Қуяштың тартыў күшин есапқа алыў жетерли. Себеби планеталардың космос аппаратына берген тезлениўлери Қуяш берген тезлениўге салыстырғанда жүдә киши шаманы курайды. Мысалы биз Жердиң 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 тәрәпинен берилетуғын орайдан қашыўшы тезлениў оның космос аппаратына хәм Жерге беретуғын хәм өз-ара дерлик бирдей болған тезлениўлериниң 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 Жердиң космос аппаратына хәм Қуяшқа беретуғын тезлениўлериниң айырмасына тең болып, бул айырма Қуяштың космос аппаратына беретуғын тезлениўи менен салыстырғанда сезилерли дәрежеде үлкен муғдарды курайды.

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 бириниң ишинде жайласқан бир текли сфералық қатламлардан куралған дейик. Бундай

дене оның пүткіл массасы орайында (ноқат түрінде) жайласқан орайлық тартыу кәсіетине ийе болады. Бундай тартыу майданы *орайлық* ямаса *сфералық майдан* деп аталады.

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

$W_p = -\frac{G * M * m}{r_0}$ түрінде 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 денесинің массасы.

Гравитациялық емес күшлерди есапқа алмасақ тартыу майданы потенциал майдан болғанлықтан басланғыш (v_0) ҳәм r қашықлықтағы тезлик (v_r) арасындағы байланысты табыу ушын 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 теңликтің шеп тәрәпи космос аппаратының басланғыш толық энергиясын, оң тәрәпи болса оның r қашықлықта v_r тезликке ерискен пайтытағы толық энергиясын тәриплейди. Теңликтің еки тәрәпин де m ге қысқартып космос аппаратының орайлық денеден ықтырлы r қашықлықтағы тезлигин тәриплейтуғын 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 денесинің гравитациялық майданын характерлеп, оның *гравитациялық параметри* деп аталады. Жер ушын $K_{\oplus} = 3,986 * 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$, Қуяш ушын $K_{\odot} = 1,327 * 10^{11} \text{ км}^3/\text{с}^2$, Ай ушын болса $K_f = 4,9 * 10^3 \text{ км}^3/\text{с}^2$ қа тең болады.

Орайлық тартылыс майданындағы денениң қозғалысы

Орайлық майданда бақланатуғын космос аппаратының қозғалыс траекторияларын төрт топарға бөліу мүмкін:

1. Туұры сызықлы қозғалыс. Егер белгили бир бийикликте турған денениң басланғыш тезлиги нолге тең болса ол орайлық майданды бериўши денениң орайы тәрәпине қарай тик түседи. Денениң басланғыш тезлиги орайға қарай емес, ал оған қарама-қарсы тәрәпке (радиал) болғанда да қозғалыс туұры сызықлы қозғалыс болып табылады. Басқа барлық халларда денениң туұры сызық бойлап қозғалатуғынлығы бақланбайды.

2. Эллипс тәризли траектория бойынша қозғалыс. Егер космос аппаратының басланғыш тезлигиниң бағыты радиал бағытқа параллел болмаса, онда оның қозғалыс траекториясы орайлық денениң тартылысы сыяқлы әлбетте ийиледи. Бул жағдайда оның жолы хәр дайым басланғыш тезлик векторы хәм Жер орайы арқалы өтиўши тегисликте жатады. Егер космос аппаратының басланғыш тезлиги Жердиң массасы хәм радиусы менен байланыслы болған тезликтин белгили бир шамасынан артпаса траектория эллипс тәризли болады (39-сүўрет). Бул эллипс тартыўшы аспан денесиниң бетин кесип өтпесе космос аппараты бул денениң жасалма жолдасына, аспан денесиниң орайы болса эллипс фокусларының бирине айланады.

Жоқарыда еслетилип өтилгендей, эллипстин фокуслары деп сондай ноқатларға айтылады, бул ноқатлар менен эллипстин ықтыярлы ноқатын тутастырыўшы кесиндилердиң қосындылары өзгермейтуғын шама болады. Эллипстин еки фокусы арқалы өтетуғын көшер оның *үлкен көшери* деп аталады. Үлкен көшердиң жартысы *үлкен ярым көшер* деп аталып жасалма жолдастың аспан денесинен орташа узақлығын тәриплейди хәм a хәрипи менен белгиленеди. Ықтыярлы ўақыт моментиндеги жолдастың тезлиги v , оның тартыў орайынан узақлығы r хәм эллипстин үлкен ярым көшери a менен төмендегидей байланысды:

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

Орайлық тартылыс майданында эллипс бойынша қозғалыўшы денениң айланыў дәўири T болса эллипстин үлкен ярым көшери a арасындағы төмендеги 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 ұзындығына қатнасы эллипстің эксцентриситети деп аталып, оның шамасы 40-сүўреттен:

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

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 көшеринің де соншама үлкен болатуғынлығы, сонлықтан дәуиринің де артатуғынлығы көринип тур. Орайлық денеден ең киши хәм ең үлкен қашықтықтағы эллипс ноқатлары (сүўретте P хәм A ноқатлар) сәйкес рәуиште, перигей хәм апоцентр деп аталады. Егер тартыушы дене Жер болса, онда ол ноқатлар перигей хәм апогей деп, ал Куяш болса перигелий хәм афелий деп аталады.

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

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

Себеби теңликтің еки тәрәпин де m ге көбейтсек биз қозғалыс муғдары моментинің 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 узақлықтары.

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

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

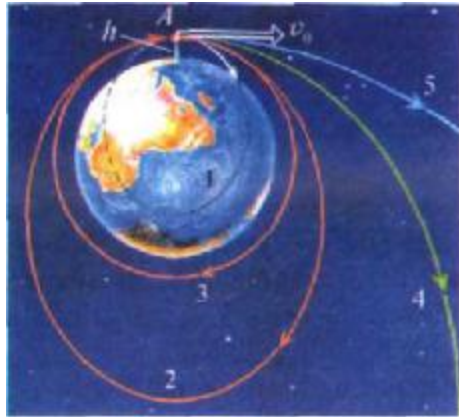
ямаса

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

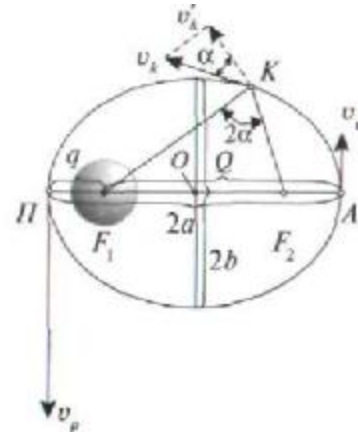
болады. Бул жерде K_{\oplus} ның Жердің гравитациялық параметри екенлигин билген халда оннан ықтыярлы r қашықтықтағы шеңбер тәрізлі орбитаға сәйкес тезликти аңсат табыу мүмкин. Бул жағдайда $r = R_{\oplus} + h$ болады (R_{\oplus} Жердің радиусы, h болса космос аппаратының Жер бетінен бийиклиги). Егер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

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

биринши космослық тезликти тәриплейди. Оның шамасы 7,91 км/с қа тең.



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



Орайлық тартылыс майданында дененің эллипс тәрізлі орбита бойынша қозғалысы.

3. Параболалық траектория бойынша қозғалыс. Апогеи шексизлікте «жатырған» эллипс тәрізлі орбита дұрыс эллипс бола алмайды (4-орбита). Бул жағдайда аппарат тартыу орайынан шексиз қашықласып, тұйық болмаған иймек сызық - парабола бойынша қозғалады. Космослық аппарат тартыу орайынан узақласқан сайын тезлиги киширейип барады. Эллипс бойынша қозғалыста тезликти есаплау формуласы (1) ден шексизлікте $a \rightarrow \infty$ болыуын итибарға алып дәслепки r_0 қашықтықта параболалық орбитаны тәмийинлейтуғын басланғыш тезликтің үлкенлиги 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 есапланған тезлик *параболалық* ямаса *еркинлик тезлиги* деп аталады. Себеби бундай тезликке ерискен космос аппараты парабола бойынша қозғалып тартыу орайына қайтпайды. Басқаша айтқанда еркинлик алады.

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

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

болып, ол екінші космослық тезлик деп аталады. Жер үшін екінші космослық тезликтің шамасы 11,186 км/с ди қурайды.

Бирінші хәм екінші космослық тезликлерди салыстырып:

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

екенлигин табамыз.

Енди бул теңликлерден энергия интегралын (IV. 4- §) жазсақ, тартылыс майданыдағы орайлық денеден r қашықтықтағы тезлик

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

екенлиги келип шығады.

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

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

v_{∞} 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 үшін үлкен уақтықта 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 бирінші болып планеталар қозғалысының эллипс тәризли екенлигин ашқан хәм олардың

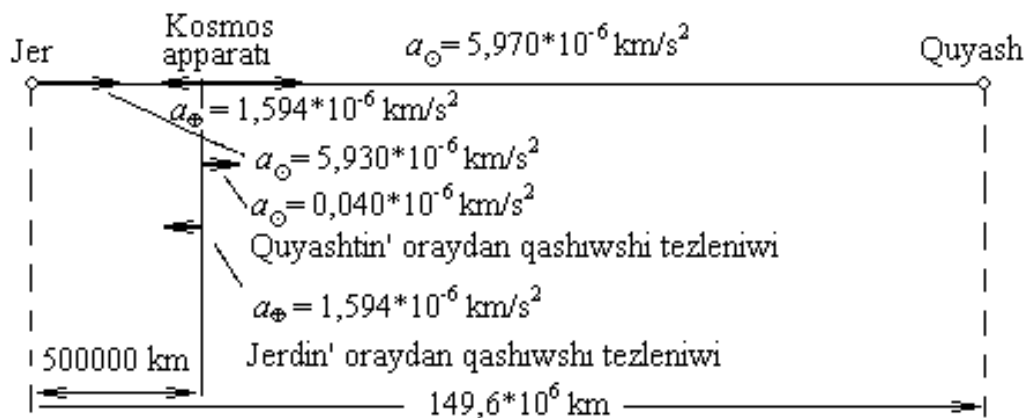
қозғалыс нызамларын анықлаған немис алымы И.Кеплердің хұрметине Кеплерлик қозғалыс деп аталады.

Тәсир сферасы хәм космослық аппаратлардың траекторияларын жуўық есаплаў

Космос аппаратлардың Кеплерлик орбиталары ҳақыйкый аспан денелери ушын тий-карында әмелге асырылып болмайтуғын орбиталар болып табылады. Себеби ықтыярлы аспан денесиниң дәл сфералық симметрияға ийе болмағанлығы себепли оның майданы да дәл орайлық бола алмайды. Соның менен бирге басқа сыртқы аспан денелериниң тәсири хәм басқа факторлардың денениң ҳақыйкый траекториясына тәсир етиўиниң нәтийжесинде оның қозғалысын үйрениўде есапқа алыныўы лазым. Бирақ жүдә әпиўайы болғанлығы себепли хәм усы ўақытларға шекем жақсы үйренилгенликтен Кеплерлик қозғалыстан бас тартыў мүмкин емес. Соның ушын Кеплер орбитасы қозғалыстағы денелер ушын таяныш орбита сыпатында қабыл қылынып, әдетте басқа факторлар беретуғын тәсирлер орбитаны есаплаўларда айырым түрде итибарға алынады. Басқаша сөз бенен айтқанда денениң қозғалыс траекториясы дәлlestириледи.

Сыртқы аспан денелери тәрепинен 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 Жердиң беретуғын тезлениўи $1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км/с}^2$, Қуяштики болса $5,970 \cdot 10^{-6} \text{ км/с}^2$ ты қурайды. Яғный Қуяштың космослық аппаратқа беретуғын тезлениўи Жердикинен бир неше есе үлкен болып шығады. Бирақ бул космос аппаратының Жер этирапынан кетип қалып, оған Қуяшқа «келип түсиўге» имканият бермейди. Ҳақыйқатында егер бизди космос аппаратының геоорайлық (яғный Жерге салыстырғандағы) қозғалысы қызықтыратуғын болса орайдан қашыўшы тезлениў сыпатында Қуяштан космос аппараты хәм Жер алатуғын ($5,930 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$) тезлениўлердиң 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 Жердиң космос аппаратына беретуғын тезлениўи - $1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ салыстырылыўы лазым. Табылған орайдан қашыўшы тезлениў ($0,040 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$) космос аппаратына Жер тәрепинен берилетуғын тезлениўдиң (яғный, $1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$) 2,5 процентин ғана қурайды.



Жердің Қуяшқа салыстырғандағы тәсір сферасын бахалау.

2. Енді космос аппаратының гелиоорайлық (яғни Қуяшқа салыстырғандағы) қозғалысын үйренейік. Бұндай жағдайда Жердің космос аппаратына беретұғын тезлениуі ($1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$) хәм Қуяшқа беретұғын тезлениуінің ($0,00001781 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$) айырмасы Қуяштың космос аппараты беретұғын тезлениуі $5,970 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ ушын орайдан қашыушы тезлениуі болып, ол Қуяштың космос аппаратына беретұғын тезлениуінің ($5,970 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$) 26,7 процентин қурайды. Демек гелиоорайлық қозғалысқа Жердің тәсірінің әдеуір сезилерли екенлиги анықланады.

Енді бұндай есаплауды Жер этирапындағы барлық ноқатларға қоллансақ Қуяшқа салыстырғанда Жер хуқимдарлық қылатуғын кеңісликтің шегарасы сондай жол менен анықланады, оның сфера тәрізлі екенлиги белгили болып, бұл сфераны *Жердің тәсір сферасы* деп атайды. Жердің тәсір сферасының Қуяшқа салыстырғанда радиусы 925000 км, Айдың тәсір сферасының Жерге салыстырғанда радиусы 66000 км, Қуяштың галактика орайына салыстырғандағы есапланған тәсір сферасының радиусы болса $9 \cdot 10^{12} \text{ км} = 1 \text{ ж.ж. ны тең}$.

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

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

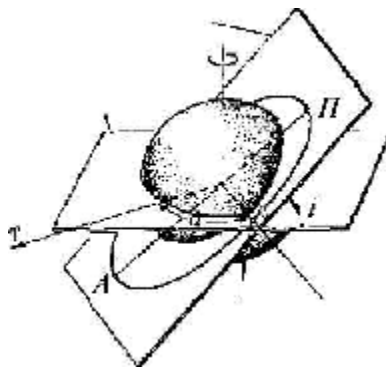
аңлатпасының жәрдемінде табылады.

Космос аппараты бір дененің тәсір сферасының шегарасын кесип өткенде ол тартылыстың бір орайлық майданынан екіншисине өтеди. Космос аппаратының хәр бір тартылыс майданыдағы қозғалысы усы майданларға салыстырғанда өз алдына Кеплерлік орбитаны (конуслық кесімлердің бирин) қурайды. Тәсір сферасының шегарасыдағы космослық аппараттың қозғалыс траекториясы болса белгили бир қағыйдалар бойынша «дүзиледи». Космос аппаратлары траекторияларының есаплаудың жууық усылының

тийкарғы мәнісі сонда болып, ол *базы бир конуслық кесімлерди өз-ара тутастырыў* *усылы* деп те аталады.

Жердиң жасалма жолдасларының орбиталарының элементлери

Жер этирапы кеңислигинде қозғалатуғын жасалма жолдастың Жер экваторы тегислигине салыстырғанда ҳалын ҳәм оның қозғалысы менен байланыслы болған шамаларды өз ишине алыўшы параметрлер оның *орбитасының элементлери* деп аталады.



Жердиң жасалма жолдасының орбитасының элементлери.

Жасалма жолдаслардың төмендегидей орбита элементлери бар (сүўретти қараңыз):

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 Жердиң айланыў бағдарына сәйкес келсе *туўры*, керисинше болғанда болса *кери жолдас* деп аталады ($i > 90^\circ$ болғанда жолдаслар кери қозғалады);

h_a – жасалма жолдас апогейиниң бийиклиги; h_p - перигейиниң бийиклиги;

T – жасалма жолдастың Жер этирапында айланыў дәўири;

a - жасалма жолдас орбитасының үлкен ярым көшери;

e - орбита эксцентриситети;

d - көтерилиў түйининиң Жер экваторы тегислиги бойынша бәхәрги күн теңлесий (\wedge) ноқатынан мүйешлик узақлығы.

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

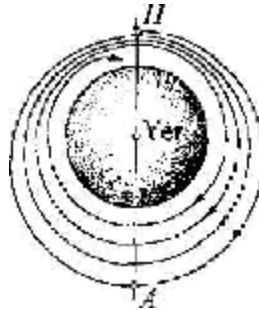
Жер атмосферасында жасалма жолдас орбитасының эволюциясы

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 мәниси 2-2,5 арасындағы өлшемсиз қарсылық коэффициенти, S - жолдастың максимал көлденең кесими, v_{nis} жолдастың сыртқы орталыққа салыстырғандағы тезлигин тәриплейди.

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



Жер атмосферасында жасалма жолдастың орбитасының эволюциясы.

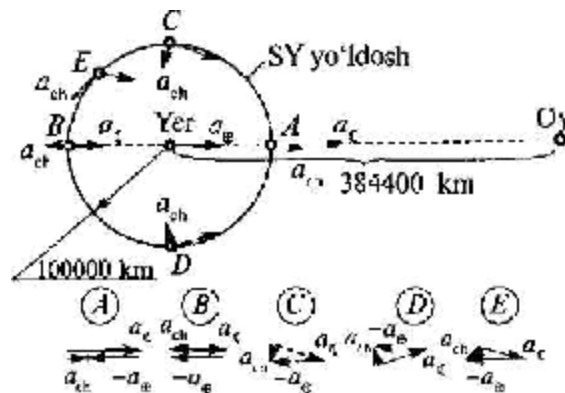
110-120 км бийикликтен баслап (төменге қарай), атмосфераның тығызлығының тез өсетуғынлығына байланыслы жасалма жолдас гезектеги айланыўын жуўмақлай алмай, Жерге қулап түседи. Соның ушын 86,5-86,7 минутлық дәўир менен айланыўшы жасалма жолдас ушын бундай бийиклик кәўипли болып есапланады. Эллипс тәризли орбита бойынша қозғалатуғын жасалма жолдас өз перигейинен өткенде қарсылық салыстырмалы үлкен болғанлығына байланыслы (атмосфераның тығызлығының үлкен болғанлығына байланыслы) тезлигин тез жоғалтып, апогей (А) бийиклигиниң кескин түсиўине себеп болады. Бул болса өз гезегинде перигей (П) бийиклигиниң де түсиўине себеп болады (сүүретке 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 байланыслы 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 тугастырыўшы сызық бойынша «деформацияланады» (созылады) екен.

Аноқатта 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 қурайды.



Жердиң жасалма жолдасы қозғалысына Ай менен Қуяштың тәсири.

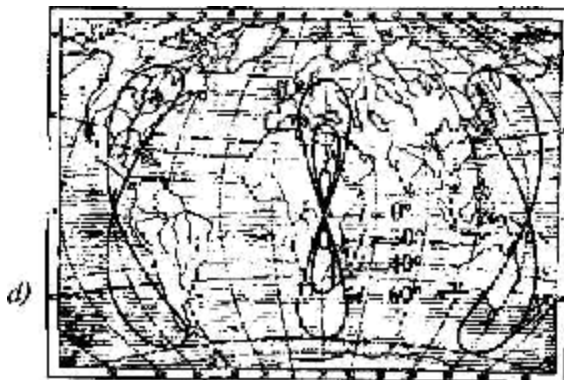
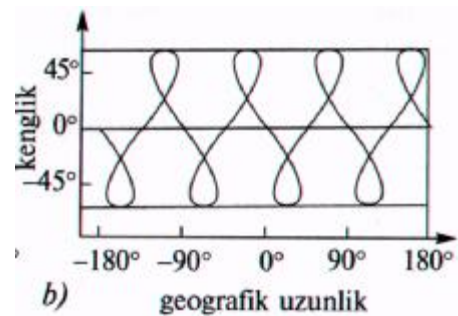
Сызылманың төменги бөлиминде сәйкес ноқатларда жасалма жолдасқа Ай беретуғын тезлениў кери белги менен алынған Жердиң Айдың тәсиринде алған тезлениўиниң қосылыўынан пайда болған орайдан қашыўшы тезлениўлер келтирилген.

Жасалма жолдаслардың Жердің бетине салыстырғандағы қозғалысы

Жасалма жолдаслардың Жердің бетине проекциясы деп Жердің орайы менен жасалма жолдасты тугастырыўшы туўры сызықтың Жердің 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 айланыўына байланыслы жасалма жолдас трассасының Жер экваторын кесип өтиў мүйеши жасалма жолдас орбитасының экваторға аўысыў мүйешинен парық қылады. 45-сўўретте 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 сўўрет). Олар «8» түринде болып, жолдас орбитасының Жер экваторы тегислигине қыялығына байланыслы рәўиште оның «бойы» өзгерип турады. Қыялық қанша киши болса, «8» диң бойы да соншама киши болады. Егер аўысыў мүйеши нолге тең болса ($i=0$) трасса да экваторда жатыўшы ноқатына айланады.



Хәр қыйлы дәўирли Жердің жасалма жолдасларының трассалары:

а) 20 саатлық дәуір менен; б) 30 саатлық дәуір менен; д) 24 саатлық дәуір менен қозғалатуғын жолдаслар.

Басқаша сөзлер менен айтқанда Жер экваторының бул ноқатында турған бақлаушысына жасалма жолдас барлық ұақытта да зенитте көринеди (басының үстiнен басқа тәрeпке жылжымайды). Бундай жолдаслар *геостационар жолдаслар* деп аталады.

Орбитадағы маневрлар

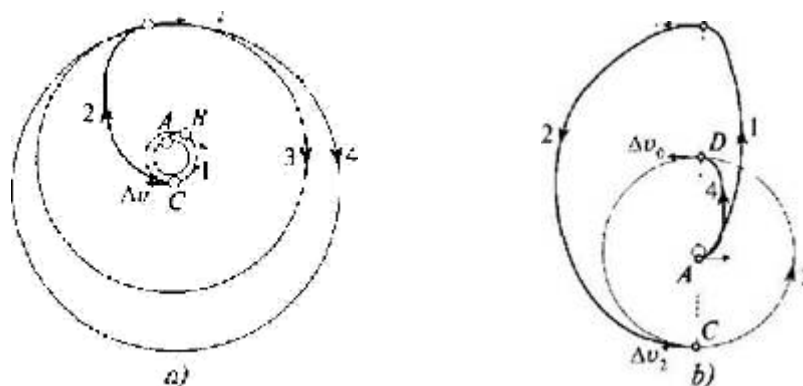
1. Жасалма жолдастың орбитасының бийикликлерин өзгертиұ.

Белгили бир мақсетти көзде тугып жасалма жолдаслар орбиталарын ҳәр қыйлы етип өзгертиұ орбиталық маневрлар деп аталады. ЖЖ лардың маневр қылдырыұ зәрүрлиги олардың орбиталарына дүзетиұлер киргизиұде, жаңа орбитаға өткизиұде, орбитадағы басқа бир ЖЖ пенен жақынластырғанда ямаса жолдасты Жерге қайтарыұ зәрүрликлери пайда болғанда әмелге асырылады.

Орбиталық маневр әдетте жолдас бортындағы ракета двигателлери жәрдемiнде әмелге асырылады. Қысқа ұақытқа двигателди иске түсириұ жолы менен әмелге асырылған маневрлар бир импульслы, бир неше рет двигателди жағыұ жолы менен әмелге асырылған маневрлар болса көп импульслы маневрлар деп аталады. Орбиталық маневрлар киши тартысыұ күшине ийе болған двигателлердин үзликсиз ислеұи процессiнде де әмелге асырылыұы мүмкин.

Көз алдымызға елеслетейик, жасалма жолдасты Жер этирапындағы жүдә бийик шеңбер тәризли 3-орбитаға шығарыұ талап етилсин (46-сүұрет). Бул жағдайда жасалма жолдас дәслеп Жер этирапындағы 1-орбитаға шығарылады. Соңынан С ноқатында қосымша берилген Δv_1 тезлик импульсы жәрдемiнде 2-эллипс тәризли орбитаға өткериледи. Бул орбитаның апогейи мөлшерленген 3-орбитаға урынып өтетуғын қылып таңлап алынады. Жасалма жолдас D ноқатына жеткенде тезликтiң екiнши импульсы Δv_2 жәрдемiнде ол бийигиректеги мөлшерленген шеңбер тәризли орбитаға (3) шығарылады. Егер ЖЖ ты перигейи D ноқаты болған эллипс тәризли 4-орбитаға шығарыұ талап етилсе әдетте екiнши импульс ушын үлкенирек тезлик таңлап алынады.

Алдын ала мөлшерленген орбитаға жасалма жолдасты көп түрли жоллар (маневрлар) менен шығарыұ мүмкин. Бирақ олар ишинде тек биреұи ең экономлы (энергияның жумсалыұы бойынша) усыл деп есапланады.



а) жасалма жолдас орбитасы бийиктиклерин өзгертуу бойынша маневрлар; б) еки хәм үш импульслы маневрлерди салыстырыу.

Мысал ретинде Жер этирапында мөлшерленген орбитаға жасалма жолдасты шығарыудың еки усылы менен танысып, олардың қаншама экономлы екенлигин анықлайық. Жер бетинен (А) берилген басланғыш v_0 тезлик жәрдемінде жасалма жолдас дәслең 1-созылған эллипс тәризли орбита бойынша қозғалады. Соң В ноқатта Δv_1 қосымша тезлик импульсы жәрдемінде ол 2-эллипс тәризли орбитаға өткериледи. Бул эллипс тәризли орбитаның перигейи мөлшерленген шеңбер тәризли орбитаға (3) урынып өтетуғын қылып таңлап алынады. Ең ақырында жасалма жолдас С ноқатына жеткенде, ол тормозлаушы Δv_2 тезлик импульсы жәрдемінде мөлшерленген 3-орбитаға шығарылады.

Екинши усылга өтемиз. Бундай орбитаға (3) ЖЖ ты 4-өтиу орбитасы арқалы да шығарыу мүмкин. Буның ушын 4-эллипс тәризли орбитаның апогейинде (D) жолдасқа қосымша Δv_0 тезлик берилип, оны мөлшерленген 3- шеңбер тәризли орбитаға өткереди.

Энергиялық көз қарастан мөлшерленген 3-орбитаға шығарыудың сол еки 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 келтирейик, жасалма жолдас Жер этирапында 200 км бийикликте $v = 7,789$ км/с тезлик пенен шеңбер тәризли қозғалатуғын болсын. Орбитаның белгили бир ноқатында оған 10 м/с қосымша тезлик берилгенда пайда болған эллипс тәризли орбитаның параметрлериниң бундай маневр ақыбетинде қаншамаға өзгеретуғынлығын анықлайық. Эллипс тәризли орбитаның перигейдеги тезлик ушын аңлатпадан табылған

шамалардан ($K_{\oplus} = 3,986 \cdot 10^5 \frac{\text{km}^3}{\text{s}^2}$, $R_{\oplus} = 6370 \text{ km}$):

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

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

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 тезлик импульсына байланыссыз 34 кмге көтеріледі екен. Демек хәр 1 м/с қосымша тезлик жолдас орбитасын оның апогейінде $3,4 \text{ км}$ ге көтереді екен деген сөз.

2. Жасалма жолдастың орбита тегислигин өзгертіу. Орбитаның басқа параметрлерін (тезлик, экваторды кесіп өтіу ноқаты хәм бийиклиги) өзгертилмеген халда оның Жер экваторы тегислигине салыстырғандағы ауысыу мүйешін Δi мүйешке өзгертіу зәрүр болсын (47-а сүүрет). Бул жағдайда талап етилген маневрды әмелге асырыушы тезлик импульсы Δv вектор, жасалма жолдастың орбиталық тезлиги v_0 хәм алынған нәтийжелік орбиталық тезлик $v_{n.t}$ векторлары менен тең қапталлы үш мүйешлік пайда етеді (47-б сүүрет). Бул тезликлер үш мүйешлигинен

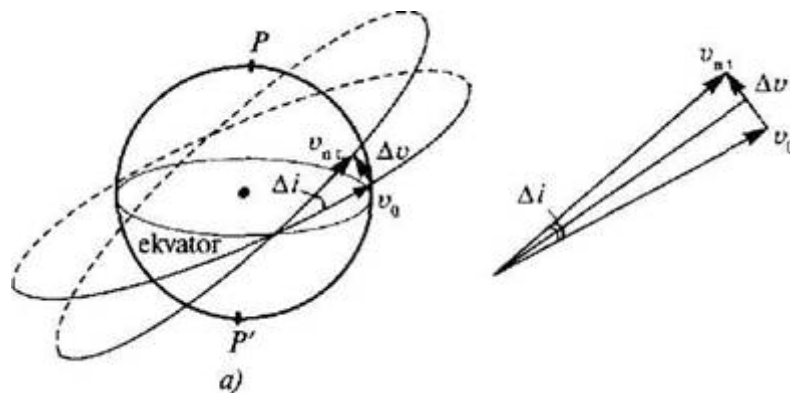
$$\frac{\Delta v}{v_0} = \sin \frac{\Delta i}{2}.$$

Буннан

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

ге тең болатуғынлығы көринип турыпты.

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



ЖЖ орбита тегисликлерин бурыў: а) жасалма жолдас орбитасын Δi мүйешке бурыў; б) Δi мүйешке бурыўдағы тезликлер үш мүйеши (Δv арқалы бурыў ушын зэрүр болған тезлик импульсы белгиленген).

Мысалы шеңбер тәризли орбитада v_0 тезлик пенен қозғалатуғын жасалма жолдас орбитасы тегислигин 90° қа бурыў талап етилсин. Бул ҳалда тезликлер үш мүйешинен орбитаны бурыў ушын зэрүр болған тезлик импульсының шамасы

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

яғный орбитаны 90° қа бурыў ушын зэрүр болған тезлик импульсы екинши космослық тезликке тең болыўы керек екен.

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

Бирақ соны айтыў керек, жасалма жолдас орбитасын 49° дан үлкен мүйешке бурыў талап етилгенде оның орбитасы қосымша Δv тезлик импульсы жәрдемінде параболалық орбитаға өткізилип, буннан соң шексизликте (яғный, жасалма жолдас тезлиги нолге умтылғанда) жүдә киши тезлик импульсы жәрдемінде бурып алынады. Жасалма жолдас перигейден өтип атырғанда тормозлаўшы екинши импульс жәрдемінде Жер әтирапындағы есапланған орбитаға салыстырмалы кем энергия жумсаў арқалы өткізиў имканиятының бар екенлигин есаплаўлар көрсетеди.

Айға ушыў траекториялары

Космос аппаратларын Айға ушырыўдың траекториялары көп қыйлы болып, биз олар ишиндеги ең әпиұайысы - Ай орбитасы тегислигинде жатыўшы траектория менен танысамыз. Соның менен бирге бул мысалды жәнеде әпиұайыластырыў ушын Айдың Жер әтирапындағы орбитасын радиусы 384400 км ли шеңбер тәризли орбитадан ибарат деп

қараймыз (хақыйқатында ол эллипс болып, апогейінде Ай Жерден бул қашықтықтан 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 усыңған алым Гомонның хұрметине Гомон орбитасы деп аталады.

Усы түрдеги Айға ушыу траекториясының есаплаулары менен танысайық. Бунның ушын дәслеп Жер этирапында 200 км бийикликтеги аралық орбитада қозғалатуғын космос аппаратының тезлигин Жердің берилген гравитациялық параметри $K_{\oplus} = 4 \cdot 10^5 \text{ km}^3/\text{s}^2$ хәм орбита радиусы $r = R_{\oplus} + 200 \text{ km} = (6370 + 200) \text{ km} = 6570 \text{ km}$ ге байланыслы анықлаймыз. Бул шама төмендеги аңлатпадан табылады:

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

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

Ярым эллипс тәризли орбитаның үлкен ярым көшери болса

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

Бул жағдайда Гомон траекториясының апогейіндеги космос аппаратының тезлиги:

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

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

$$\Delta v = v_f - v_a = (1,018 - 0,187) \text{ km/s} = 0,831 \text{ km/s}$$

болатуғынлығы көринеди.

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

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

аңлатпасынан табылады.

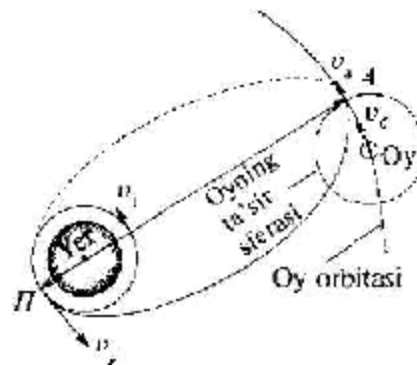
K_{\oplus} хәм π лердің белгили болған мәнислеринен:

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

Бундай жағдайда t ушығу ўақытының T дәўирнің ярымына теңлигинен

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

болады.



Айға ушығу траекториясы.

Апогейинде Ай орбитасына шекем көтерілетуғын созылған өтиў орбиталарының үлкен көшери космос аппаратын аралық орбитаға урынып көтериў тезлигиниң үлкенлигине байланыслы болып, ол ± 2 м/с қәтелик пенен аралық орбитадан көтерилсе, апогейинде оның бийиклиги ± 8000 км ге өзгереди. Ай диаметрин бул үлкенлик (± 8000 км) пенен салыстырсақ ± 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 لازымлығы мәлим болады.

Айдың бетине қоныў

Космос аппаратының Айға жақын қашықлықлардағы қозғалысын оған салыстырғандағы биринши хәм екинши космослық тезликлерге сүйенип изертлеў мүмкин.

Айдың гравитациялық параметрине ($K_f = 4,9 \cdot 10^3 \text{ км}^3/\text{с}^2$) хәм радиусына ($R_f = 1738 \text{ км}$) сәйкес 1- хәм 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 параболалық 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 тартыу күши тәсиринде тезлигин арттырып, оның бетине жеткенде энергияның сақланыу нызамына сәйкес бул дене екінши космослық тезликке (2,375 км/с) ериседи.

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



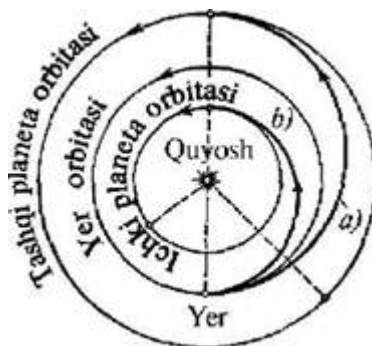
«Аполлон» экипажының Ай бетинин жыныслар жыйнап атырған пайыты.

Усы сыяқлы космос аппаратын Айдың бетине әсте-ақырынлық пенен қондыруу үшін оның тезлигин тормозлаушы импульс жәрдемінде сәндириуіге 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 түсірилди хәм бийиклик 150 м ге жеткенше двигатель ислеп турды. Тезликтин буннан кейинги сәндирилиуі қозғалыс бағдарына дүзетиу киргизиуі киши двигателлер жәрдемінде әмелге асырылды. «Луна» типиндеги космослық станциялардың

барлығы Ай бетине сондай жоллар менен қондырылған. «Луна-13» тен кейинги станциялардың Айдың бетине әсте-ақырынлық пенен қондырылуы Айдың жасалма жолдасы орбитасында берілген тормозлаушы импульстар жәрдеминде орынланған. Ай бетинің топырақ жыныслары менен қайтқан «Луна-16, 20, 24» хәм АҚШ тың «Аполлон» автомат станциялары Айдан вертикал бағытта 2,7 км/с басланғыш тезлик пенен көтерілип Жерге қайтты.

Планеталарға ушыу траекториялары

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



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 тәризли орбиталары арасындағы өтиу траекторияларын (Гомон орбиталарын) есаплауларға жүдә уқсас.

Егер планеталардың Қуяштан орташа узақлықлары км ларда, олардың тезликлери км/с ларда берилсе, Қуяштың гравитациялық параметри $K_{\epsilon} = GM_{\epsilon} = 1,327 \cdot 10^{11} \text{ км}^3/\text{с}^2$ қа тең болады. Егер планеталардың Қуяштан орташа узақлықлары астрономиялық бирликлерде

(а.б.) алынса Қуяштың гравитациялық параметри $K_{\oplus} = 887,153 \text{ (км}^2\text{*а.б.)}/\text{с}^2$ қа тең. Енди бул шамаларды

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

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

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

Бул аңлатпада r хәм a лар астрономиялық бирликлерде берилген.

Мысал ретінде Жерден Юпитерге қарай планеталар аралық Гомон орбитасы бойынша ушырылған космос аппаратының траекториясын есаплауларды келтирейик (50-а сүүрет). Бул жағдайда я Жердиң, я Юпитердиң 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, Жердиң орбиталық тезлигин 30 км/с, Юпитердиң орбиталық тезлигин 13 км/с деп алсақ, онда Гомон орбитасы (ярым эллипс) ның үлкен ярым көшери

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

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 үшін талап қылынатуғын қосымша тезлик орбитаның перигелийіндеги тезлик пенен Жердиң 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 урынуы ноқатында) космос аппараты ерискен тезлик (r_{Yu} Юпитер орбитасы радиусы)

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

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 Жердиң тартыу күши есапқа алынған халдағы космос аппаратының Юпитерге ушып барыуының оптимал болған траекториясын есаплауларды келтиремиз.

Планеталарға ушыуда Жер хэм ушып барылатуғын планетаның тартыу күшин есапқа алыу

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

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

Жоқарыда айтылғанларды итибарға алып енди Юпитерге ушыуда планеталар аралық космос аппаратының Гомон орбитасына шығыуы ушын Жердиң тәсир сферасында оны тезлестиріудің 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 Жердиң тартыу күшинен азат болыуы ушын ол екинши космослық тезликке шекем (11,187 км/с) тезлендирилиуінің лазым екенлиги де түсиникли. Бул тезлик пенен ракета Жердиң тәсир сферасы шеғарасын 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 км/с = 11,187 км/с + 8,790 км/с) пенен Гомон өтиу орбитасына шығарыу мүмкин болса да, бул космос аппараты ушын оптимал траектория бола алмайды.

Тап усындай нәтийжеге буннан бир қанша киши характеристикалық тезлик пенен де ерисиу мүмкин. Буның ушын космос аппаратының толық тезлестилиуіне илажы барынша Жердиң бетине жақын ноқатта ерисиу лазым. Жоқарыда көргениимздей басланғыш (старт пайытындағы) тезлик, екинши космослық тезлик хэм тезликтің гиперболалық қосымшасы менен төмендегидей байланыста болады:

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

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 үшін 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.

Төмендеги кестеде планеталарға ушыу үшін зәрүр болған қосымша тезликлер (екінші бағана) хәм планеталарға ушыу үшін теориялық есаплаулар менен табылған минимал старт тезликлеринің шамалары келтирилген.

Q/c	Планеталар	Қосымша тезлик, v_q , км/с	Минимал теориялық тезлик, v_{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 бериу лазымлығын анықлайық. Мәлим, Гомон орбитасы бул фокусында Қуяш жатқан эллипти характерлейди. Соның үшін Кеплердің III ызамына сәйкес космос аппаратының Юпитерге ушып барыу уақыты (t) бул эллипс бойынша оның айланыу дәуіринің (T) ярымына тең болады, яғнай

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

T ны Кеплердің үшінші ызамының аңлатпасынан табамыз (оң тәрәптеги аңлатпа Жер үшін):

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

Бул жерде a - Гомон орбитасының үлкен ярым көшерин (астрономиялық бирликлерде), T болса космос аппаратының бул орбита бойынша айланыу уақытын (жылларда) тәриптейди. Бул жағдайда ушыу уақыты:

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

Буннан космос аппараты гомон орбитасының апогейинде Юпитер менен ушырасуу ушын Юпитер 0,0831 град/сутка мүйешлик тезлиги менен t уақыты ишинде $\theta = 0,0831^{\circ} * 996,8 = 82,8^{\circ}$ мүйешлик аралығын өтиудің зәрүрлиги анық болады. Сонлықтан космос аппараты Жерден көтеріліп атырған пайытта Юпитер Жерден гелиоорайлық мүйеш шамасында төмендегидей шамада алдында болуы 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 мүддеті Юпитердің Қуяш пенен қосылыуынан

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

алдын берилуінің лазым екенлиги жоқарыдағы есаплаулардан анық көринеди. Юпитердің Қуяшқа салыстырғанда белгили бир халы (қарама-қарсы турыуы ямаса қосылыуы) планетаның синодлық дәуири менен қайталанып турыуын итибарға алсақ, Юпитерге оптимал Гомон траекториясы бойынша ушыу ушын қолай момент. Тап усы синодлық дәуир менен қайталанып турыуы аңлатылады.

ПЛАНЕТАЛАР ХӘМ ОЛАРДЫҢ ЖОЛДАСЛАРЫ

Меркурий

Қуяш системасынғы тоғыз планета ишинде Қуяшқа ең жақыны Меркурий болып, әйемги уақытлары 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 тартуу күши Жердегіден 2,6 есе кем. Басқаша айтқанда, аұырлығы Жерде 80 килограмм болған адам Меркурийде тек болғаны 30 килограмм шығады.

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

Меркурий бетинің күндизги орташа температурасы +345 градусқа шекем (Цельсия шкаласында) көтерилген халда, түнде болса -180 градусқа шекем төменлейди. Бірақ соны да айтыў керек, планета бетинің майда топырағы жыллылықты жаман өткизетуғынлығына байланыслы бир неше он сантиметр тереңликтеги температура бетинің температурасынан кескин парық қылып, +70...+90 °С ны қурайды хәм жүдә әстелик пенен өзгереді. Бул теориялық мағлыўмат кейинирек радиоастрономиялық бақлаўлар тийкарында толық тастыйықланды.

Меркурийдиң бетин жақыннан көриўге 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 қашықлықтан өтип баратырғанда планета бетинің 500 ге жақын сапалы сүүретин түсирди. Бул сүүретлер планета өзинің «бетинің дүзилиси» бойынша Айға жүдә уқсас екенлигин көрсетти. Ай бетиндеги сыяқлы Меркурий бети де метеоритлардың урылыўынан 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. Бірақ бақланған планета кратерлери оларды орап турыўшы бийиклик хәм орайлық таўшаларына қарағанда Ай кратерлерин еслетеди. Планета жүзиндеги бул «гедир-будыр» лық оның өмирине өзине тән «күнделик» болып, Меркурий бетинің қәлиплесиў тарийхынан дерек береді. Сондай-ақ, планета кратерлеринің айырымлары Айдағы базы бир кратерлер сыяқлы радиал бағдарда созылған жақтылы нур системалары менен оралған.

Меркурийде бақланған айырым объектлердиң я Айда яки қоңсы планеталарда бақланбайтуғынлығы адам дыққатын өзине тартады. Олардың бири - *ескарплар* деп аталыўшы 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 әсирдиң 70- жылларында-ақ планетаның сийрек атмосферасының бар екенлигин анықлады. Мәлим, планетада

атмосфераның болыў-болмаслығы талай усыллар менен анықланады. Бирақ булардың ишинде ең әҳмийетлиери планетаның бетинде тартыў күшиниң үлкен-кишилиги хәм температура ең әҳмийетли орынлы ийелейди. Температураның артыўына байланыслы атмосфераны қураған молекула хәм атомлардың тәртипсиз жыллылық қозғалыслары артады. Ақыбетинде белгили бир тезликке ерискен ҳаўа 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) бетиниң соншама жоқары температураға шекем қызыўы (экваторда $+420^{\circ}\text{C}$ ға шекем) планета атмосферасының тийкарғы бөлиминиң оны таслап кетиўине себеп болған деп қаралады.

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

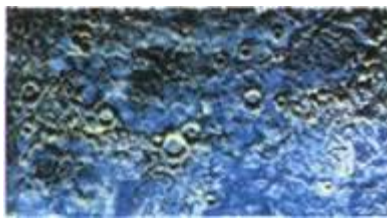
1975-жылдың 16-мартында «Маринер-10» ның Меркурийдиң қасынан үшінши рет өтиўи планетаның магнит майданының бар екенлигин анықлаўға имканият берди. Бул жағдайда автомат станция планета бетинен тек ғана 320 километр ғана келетуғын бийикликтен өтти хәм оның экватор районында 3,5 эрстед, полюсларында болса 7 эстедли майдан кернеўилигин өлшеди. Соның менен бирге магнит көшери хәм Меркурийдиң айланыў көшери арасындағы мүйештиң 7 градусқа тең екенлиги анықланды.

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

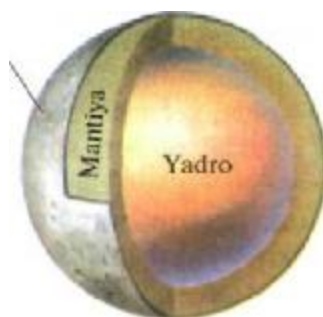
Меркурийдиң жолдасы жоқ.



Меркурийдиң бети («Mariner-10» космос аппараты түсирген).



Меркурий бетиниң рельефи.



Меркурийдиң ишки дүзилиси.

Венера

Әйемги рим мифологиясында мухаббат кудайының 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 әтирапында бир рет толық айланып үлгереди.

Жақтылығы бойынша Қуяш хәм 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 гүұасы 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 курайды.

1761-жылы 6-июнда астрономлар «Таң жұлдызы» менен байланыслы қызық бир қубылыстың гүұасы 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 изертлеулер ХХ ғасырдың 60-жылларынан басланған жаңа методлар Венераға тийисли көп жумбақларды шешиўге имканият берди. Нәтийжеде Венераның өз көшери этирапында хәм Қуяш этирапында хақыйқый айланыў дәўирлери анықланды.

Белгили болғанындай, планетаның айланыў көшери оның орбита тегислигине дерлик тик жайласып (анығы 93°), онда Жердегидей жыл мәўсимлери бақланбайды. Соның менен бирге радиолокациялық бақлаўлар Венераның өз көшери этирапындағы жұлдызларға салыстырғандағы айланыў дәўириниң 243 суткаға теңлигин хәм ол Қуяш 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 Қуяшқа салыстырғандағы өз көшери этирапында айланыўының дәўири 117 Жер суткасына тең болып, бир жыл оның еки суткасынан сәл кем шығады.

Планета атмосферасының химиялық қурамы, 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 халларында 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 қурамына 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 элементлердің муғдарын, самалдың тезлигин, атмосферадағы суў пуўларының муғдарын, планета бетине тийисли температура, басым хәм жарықлықты өлшеди.

1978- жылы болса «Таң жұлдызы» на қарай «қонаққа» төрт автомат станция жолға шықты. Булардан екеуи бурынғы Союздың «Венера-11» хәм «Венера-12» станциялары болса, қалған екеуи 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 қурамын, 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 хеш күтпеген шаманы - 90 атмосфераны көрсетти. Оның 97 процентин карбонат ангидриди, 1 % этирапында суў пуўлары ийелеп, кислород болса тек 1,5% ти курайтуғыны мәлим болды. Планета бетинде өлшенген температура +470 °С қа шекем жетти. Венераның атмосферасында да Жердеги сыяқлы ионосфера қатламының бар екенлиги анықланды. Ол орташа 140 километр бийикликке туўры келеди. Венера аспанында да қалың бултлар бақланып, олардың «көринисиниң» самалдың қолында екенлиги анық болады.

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

Арнауўлы методлар жәрдемінде бултларда нурлардың шашыраўын үйрениў олар пайда еткен тамшылардың тийкарынан сульфат кислотасының суўдағы 75-85 процентли еритпеси деген жуўмаққа 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 қондырылыўшы аппарат берген мағлыўматлардың анализи Венера бетиниң бир бири менен хәлсиз байланысқан майда топырақтан

туратуғынлығын, оның тығызлығының бир куб сантиметрде 1 граммнан (бетінде) 4 граммға шекем (шама менен 3 метр тереңликте) барыўын көрсетти.

Узақ жыллар даўамында алымлардың «басын қатырған» планетаның тийкарғы «тил-сымы» - оның бетине тийисли жоқары температура болды. Ҳақыйқатында да, Жерге салыстырғанда Қуяшқа жүдә жақын болмаған хәм қалың атмосфера менен қапланған Венера бетіндеги температураның буншама жоқары (+480 °С) болыўының себеби неде, деген тәбийий сораў туўылады.

Гәп соннан ибарат, планетаның қалың атмосферасы арқалы қысқа толқынлы Қуяш нурланыўының жүдә кем муғдары оның бетине жетип, оны қыздырады. Нәтийжеде планета бети инфрақызыл диапазонда нурлана баслайды. Бундай жыллылық нурланыўы планета бетин таслап, атмосфера арқалы космослық бослыққа шығыўға умтылады. Бирак CO_2 ге бай бундай атмосфера Венера бетиниң космослық бослықты «гөзлеген» жыллылық нурланыўларының шығып кетиўине дерлик жол бермейди. Нәтийжеде «парник эффект» деп аталыўшы бул эффект планета бетиниң қатты қызыўына 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 ўатанласымыз Нодирабегим аты да бар еди. Венерадағы кратерлердиң бири оның аты менен аталатуғын болды.

Венера бойынша қолға киргизилген мағлыўматлар тийкарынан оның ишки дүзилиси, сыртқы атмосфера қатламы менен биргеликте алымлар тәрeпинен 75-сүүреттегидей етип сәўлелендириледи.

Жуўмақлап соны айтыў мүмкин, соңғы жыллары «Таң жулдызы» на тийисли көп санлы ашылыўлар жүз берген болсада, бирақ бул планетаға байланыслы көп жумбақлар елеге шекем өзлериниң шешимлерин табыў ушын гезек күтпекте.

Венераның тәбийий жолдаслары табылмаған .



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



Венераның ишки дүзилиси.

Жер - планета

Жер Қуяштан узақлығы бойынша үшінши орында турыўшы планета болып, Жер типіндеги планеталар ишиндеги ең ириси болып есапланады. Жер аспанда жүдә шырайлы болып көринетуғынлығы оның Айдың арғы тәрeпинен 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 мәўсимнің бақланыўы себеби Жер көшери орбита тегислигине $66,5^\circ$ қыялық пенен еңкейген.

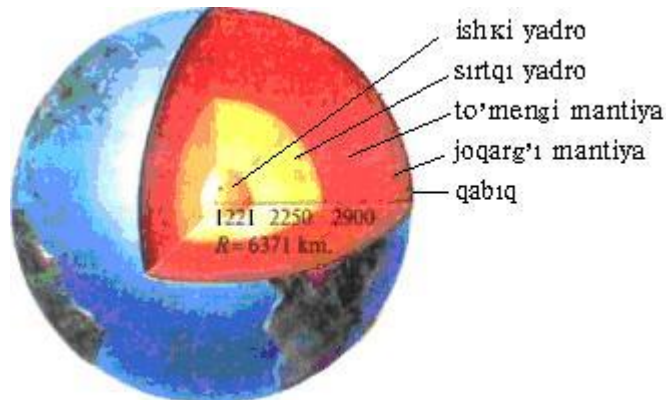
Жер өз көшери этирапында 23 саат 56 минут 4 секундта бир рет толық айланып шығады. Бул оның ҳақыйқый айланыў дәўири болып есапланады. Бирақ оның Қуяшқа салыстырғанда орташа айланыў дәўири бираз узынырақ болып, дәл 24 саатты қурайды. Планетамыздың Қуяшқа салыстырғанда айланыў дәўириниң узынлығы Қуяштың жұлдызлар фонында жыллық көриниў жылжыўына байланыслы (бундай жылжыў Жердиң Қуяш этирапында ҳақыйқый қозғалысына байланыслы пайда болады).

Жердиң 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, аўырлығы шама менен 5 мың 160 триллион тонна келеди! Бундай қалың атмосфера Жерде тиришиликтиң пайда болыўы хәм раўажланыўында әҳмийетли рол ойнаған. Мысалы 20-30 километр шамасындағы бийикликте жайласқан озон қатламы Қуяштың қысқа толқынлы ультрафиолет нурларын күшли жутып, барлық тири хайўанларды, соның ишинде адамзатты бундай нурлардың қәўипли тәсиринен сақлайды. Атмосфераның 21 процентине жақыны кислород, шама менен 78 процентин азот, қалған бөлимин болса басқа газлер: аргон, карбонат ангидриди хәм суў пуўлары қурайды.

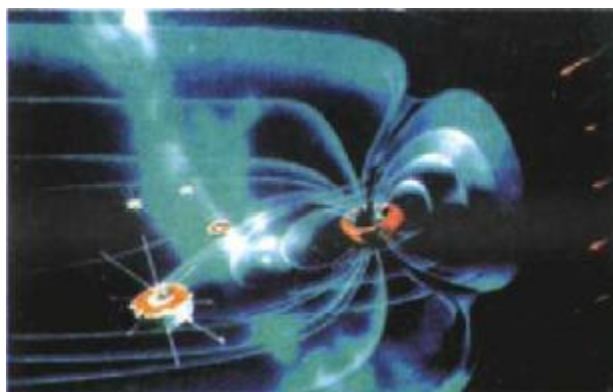


Жердің Ай бетінде турып алынған сүүрети.

Жер гидросферасына (Жер жүзіндегі қатты, сұйық хәм газ халындағы затлардың жыйнағы) байланыслы 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 бетиниң 71 процентин қурайды. Құрғақтықтың орташа бийиклиги теңиз бетинен 875 метр, ал дүнья океанының орташа тереңлиги 3800 метрге шекем барады.



Жердің ишки дүзилиси.



Жер магнитосферасының структурасы.

Суу өзиниң әжайып қәсийетлерине байланыслы Жерде оптималлық жыллылық режиминиң жүзеге келиуінде әхмийетли рол ойнайды. Органикалық тиришилик Жерде

суусыз жүзеге келе алмас еди. Суудың 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 көтерилип, қурғақлықтың және 10 проценти суў астында қалған болар еди.

Жердиң 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 силкиниўлерди изертлеў тийкарында оның ишки дүзилиси ҳаққында жеткиликли анық мағлыўматлар алынған. Жер силкиниўлери пайытында Жердиң бетиниң хәр қыйлы ноқатларында оларды үйрениў жолы менен шама менен 3000 км тереңликтен ишкери тәрәпке қарай көлденең сейсмологиялық толқынлардың тарқала алмаслығы мәлим болды. Көлденең толқынлардың суйықлықларда тарқала алмаслығын билген ҳалда алымлар Жердиң 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 тәрәпи 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° шығыс тәрәптеги узынлықты қурайды. Басқаша айтқанда геомагнит көшер менен Жер көшери арасындағы мүйеш $11,5^{\circ}$. Геомагнит майданының кернеўлиги 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 Жердиң күндизги тәрәпте «сығылған» ҳалда болып, 8-14 Жер радиусы қашықлығына ше-

кем созылған түрде, тунги тәрепте планетамыздың «магнит қуйрығы» бир неше жүз мың километрге шекем созылады.

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

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

Жердиң 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 узаклығы бираз өзгерип турады. Ол Жерге ең жақын келгенде 363400 километр, ең узакласқанда (апогейде) болса 405400 километр қашықлықта болады. Айдың диаметри 3476 километр болып, оның көлеми Жер көлеминиң жүзден еки бөлимин қурайды. Айдың массасы Жер массасынан 81 есе кем. Ай бетинде тартыў күши Жердегиден 6 есе кем. Оның бетинде еркин түсиў тезлениўи $1,63 \text{ м/с}^2$. Айдың орташа тығызлығы $3,3 \text{ г/см}^3$, яғный Жердегиден 1,5 есе кем. Күндизги түс пайытында Айдың экваторы этирапында температура $+120^\circ \text{ С}$, ярым түнде болса -150° С ны қурайды.



Ай Жердиң тәбийий жолдасы.

Айға түскен космонавт биринши гезекте өзін жүдә жеңил сезеди. Бул Айдың тартыу күшиниң кемлигинен келип шығады. Космонавт өз скафандры менен Жерде 90 килограмм болса, Айда тек 15 килограмм болып қалады. Соның менен бирге Айда бақлаушы Жерде көринбейтуғын көп қубылыстардың өзгеше әжайып көринислердің гүұасы болады. Дәслеп Қуяштың шығыуы алдында Жерде бақланатуғын шырайлы картина (таңның атыуы) Айда бақланбайды. Қуяш күтилмегенде бирден горизонт астынан көтериле баслайды. Қуяштың горизонттан көтерилиуі Жердегидей жүдә тезлик пенен болмастан, толық шығыуға шекем бир сааттай уақыт кетеди. Қызығы және соннан ибарат, Қуяштың көтериле баслауы 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 сүүретти пайда етеді. Қуяш өзиниң «тажы» менен биргеликте әдетте көзге көринетуғын Қуяштан бир неше есе үлкен халда көзге түседі.

Ай аспанында жұлдызлардың, Қуяш тажының көриниуі хәм сәүлениң көринбейтуғынлығының себеби Ай бетинде атмосфераның жоқлығынан Қуяш шыққаннан соң түс болғанша 7 сутка 9 саат уақыт кетеди. Бул уақыт ишинде температура бир қанша көтерілип қалған болса да Айда «салқын» орынды табыу қыйын емес. Буның ушын кратерлер этирапын орап турыушы таулар, бийикликлер саялары хызмет етеді. Бул саялы орынларда жеткиликли дәрежеде салқын болыуының себеби – ыссылықты тасыушы хауа молекулаларының жоқ екенлигинде. Усыған байланыслы Қуяш нурлары тиккелей түспейтуғын орынларда түннің сууықлығы узақ уақыт сақланып қалады. Айға бирге саяхатқа шыққан адам жолдасын шақырып әўере болмайды. Себеби ол хеш қандай сести еситпейди. Сес толқынларын тасыушы орталық хауа молекулалары болып, Айда бундай молекулалар жоқ. Буның ушын арнаулы радиопередатчиклерден пайдаланыуға тууры келеді.



Айдың кратерлері менен теңізлері.

Ай аспанының шырайлы кубылыстарының және бири - планетамыз Жердің Айдан көриніуі болып табылады (сүүретке қараңыз). Ай аспанында Жер шырайлы, көкшил шар тәрізлі, Айдың Жер аспандағы өлшемлерінен төрт есе үлкен болып көрinedi. Бірақ Жердің ярымынан көпшилигі ақ бултлар пайда қылған дақлардан ибарат болады. Жер континенттері біраз өзгешеликтерге ийе болып, океанлардан реңі менен парық қылып тұрады. Қалың Жер атмосферасы оларды бөлек-бөлек көріуіге имканият бермейди. Жерде аспандағы Ай сыяқлы хәр қыйлы фазаларда көрinedi. Бул хал оның Қуяшқа салыстырғанда Айдың қайсы тәрепте тұрғанына байланысly болады. Жер өзінiң «толық Жер» фазасында болғанда Ай бетин толық Айдың Жерди жақтыртқанлығынан 40 есе күшлiрек жақтыртады. Ай аспанда «толық Жер» бақланатуғын ўақыт Жерден қарағанда, Айдың жаңа Ай болған ўақытына туўры келеди. Соның менен бирге аспандағы Жер шары этирапында концентрлик қалқалар тәрізлі тоқ қызыл, сары, көк хәм басқа да реңдерден ибарат шырайлы сүүрет бақланады. Егер космонавт Ай тұтылып атырған ўақытта Айда саяхатта болса, онда ол Қуяштың тұтылыўын бақлайды (яғный Қуяштың Жер тәрепинен бекитилип атырған болады) хәм бул тұтылыўының толық фазасы Жердегидей бир неше минут ғана даўам етпей, дерлик 1,5 саатқа созылады.

Жерде Әлемнің Арқа полюсы киши жети қарақшы жұлдыз топарының ең жарық жұлдызына (альфасына) туўры келсе, Ай ушын полюс Айдарха жұлдыз топарының омега жұлдызына туўры келеди хәм усыған байланысly Айдағы бақлаўшы ушын барлық жұлдызлар бул жұлдыз этирапында шеңбер тәрізлі қозғалатуғындай болып көрinedi (Айдың өз көшери этирапында айланғанлығына байланысly). Айда адасқан адамның аўхалы да бир қанша мүшкiл болады. Айдың магнит майданының жоқлығына байланысly ол Жерде компастан пайдаланыўдың кереги жоқ. Айда тек аспандағы жұлдызлардың тұрған орынларына байланысly хәр қыйлы бағдарларды анықлаў мүмкин болады.

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

Ай рельефиниң тийкарғы бөлимин кратерлер қурайды. Бірақ усы менен бирге онда Жердикине ұқсас 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 жәрдемiнде Айды бақлап тапқан. Ол

ойпатларға «теңизлер» деп ат берген. «Теңизлер» деген ат шәртли рәуиште хәзирге шекем колланылса да, хақықатында 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 газлардың 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 көплек 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 тәрәпиниң рельефи биринши рет 1959-жылы ушырылған «Луна-3» автомат станциясы тәрәпинен алынған сүүретлерден 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 жәрдемінде 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) куралғанын көрсетеди. Булардың биринши үш түри химиялық курамы бойынша бирдей болып, реголитлардың болса метеор затларларының араласпа-сынан 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 табыслы қондырып, Жер жолдасының рельефи, физикалық тәбиятына тийисли қымбат мағлыўматларды қолға киргизди.

«Тынышлық теңизи» нен алынған үлги («Аполлон-11») қурамы 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, кобалт, ванадий хәм скандий болса керисинше көбирек болып шықты. Егер Жер менен Ай жынысларының химиялық қурамы хәққында гәп жүритилсе, онда бул жыныслардан бир қанша ғана парық табылады. Әсиресе Ай шаңы деп аталған Ай бети қатламы тәбияты бойынша дыққатқа миясар. Оның қурамы 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 жәрдемінде алынған аспан денелериниң сүүретлеринен 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 мөлдир емес. Айда болса барлық толқын узынлықларында космосты үйрениўдиң толық имканияты бар.

Космостан планетамыз тәрәпке келетуғын хәр қыйлы толқын узынлықларындағы нурлардан басқа элементар бөлекшелердиң ағымы да үзликсиз келип турады. Бул бөлекшелердиң дереклери партланыўшы жулдызлар, думанлықлар хәм тийкарынан

Қуяштағы актив кубылыстар болып табылады. Космослық нурлар деп аталыушы бул бөлекшелер ағымы хәр қыйлы шамадағы энергияларға ийе болып, үлкен энергиялылары Жердеги арнаулы лабораторияларда тезлетилген бөлекшелер менен арқайын «беллесе алады». Космослық нурлардың Жер атмосферасында көплек жутылып қалыуы оларды толық үйрениуіге имканият бермейди. Ай бетинде турып болса бул нурларды арқайын үйрениуі 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 үйрениуден мәлим болды.

Хәзирги дәуирде Айдың келип шығыуы хаққында белгили еки гипотеза бар. Булардың бирине байланыслы (авторлары: Йури, Деибигер хәм Алвен) Ай Қуяш этирапында Жерге жақын қашықлықта айланыушы киши планета болған хәм ўақыттың өтиуи 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 дәуирлерде пайда болған. Бул гипотезаға сәйкес Айдың «жасы» Жердің жасынан 100-200 миллион жылға кемирек болыуы хәм бул жағдай хәзирги заманда алынған мағлыўматларға сәйкес келиуи менен дыққатқа ылайық. Бул еки гипотезаның қайсысына көбирек «мәни бериуі» хәзирше қыйын болса да, Айдың ишки структурасын хәм жасын терең үйрениуі жақын келешекте бул космогониялық машқаланы шешиуіге имканият бередиде деп үмит қылыуі 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 жақынласыуы *қарама-қарсы турыу* деп аталады. Марс орбитасы эллипс тәризли болғанлықтан, қарама-қарсы турыу пайытында ол Жерге ең жақын келгенде (уллы қарама-қарсы турыу пайытында), оннан бизге шекемги аралық 56 млн км ди курайды. Планетаның уллы қарама-қарсы турыуы 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 бір қанша кем - $3,94 \text{ г/см}^3$. Еркін түсіу тезленіуі $3,72 \text{ м/с}^2$.

«Урыс қудайы» өзінің физикалық тәбияты бойынша Қуяш системасының планеталары ишінде Жерге «ағайын» лиги менен айрылып турады. Марстың суткасы Жер суткасынан азмаз парық қылып, 24 саат 39,5 минутқа тең. Соның менен бирге планетада жыл мәусимлеринің орын алыуын тәмийинлеуіши себеп, яғный оның айланыу көшеринің 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° кеңлигинде гүз мәусимінде түс пайытындағы температура -20°C , кешкуруын -40°C , түнде болса -70°C ға төмен түседі. Қыстың күнлери 40° лы кеңликте температура -50°C дан, 60° лы кеңликте болса $-(80-90)^\circ\text{C}$ дан артпайды. Марс бетинің минималлық температурасы оның полюсларында бақланып, ол қыста - 125°C дан төменге түспейді.

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 болыуынша, Марс атмосферасының 95 проценти карбонат ангидриди, 2,5 проценти азот, 1,5-2,0 проценти аргоннан хәм аз муғдардағы кислород (0,2%) хәм суу пууынан (0,1%) қуралған.

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

Планета атмосферасының қурамы анықланғаннан кейин «полюс қалпақлары» ның планета атмосферасы физикасындағы ролиннің үлкен екенлиги мәлим болды. Бәхәрде «полюс қалпақ» ларының күшли ериуі хәм пуұланыуы себебинен полюс төбесиндеги атмосфераға оғада көп муғдарда карбонат ангидриди кирип, басымның кескин артыуына алып келеді. Ақыбетинде күшли самал жүзеге келип, ол жүдә аз массаны түслик ярым шарға алып шығады. Бирақ бул жағдайда самалдың тезлиги секундына орташа 10 метрди қураса да, мәусимлик өзгерислер менен байланыслы болған процесслер тезлиги айырым жағдайларда секундына 70-100 метрге шекем баратуғын күшли самалды пайда етеді. Бундай самал тәсиринде жүзлеген миллион тонна планета шаңы атмосфераға көтериледи. 1971-жылы планетада тап усундай боран көтерилип Марстың бетин шаң бизден тосып

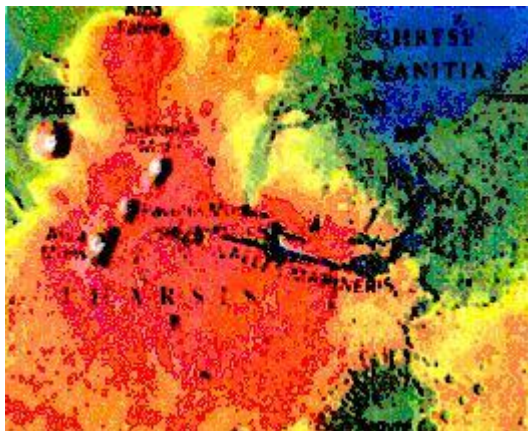
койды. Бул дәуірде көтерілген хәм пүтин планета дискисин қаплаған қызғыш шаң бултлары хәтте оның «полюс қалпақ»ларын да көриўге имканият бермеди. 1971-жылдың декабрь айында бұрынғы Союздың «Марс-3» хәм АҚШ тың «Маринер-9» космослық аппаратлары боран ең күшейген пайытта планетаның көринислерин өз ишине алатуғын сүўретлерди алды. 1976-жылы планета бетине қонған АҚШ тың «Викинг-1, 2» аппаратлары түсирген Марстың сүўретлеринде де боранларды Марстың тез-тезден басынан кеширип туратуғынлығы көринип турады.

Марстың рельефи бир биринен кескин парықланыўшы дүзилерден 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 сүўретлерден 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 (сүўрет). Аргирдағы арқа-шығыс тәрепте үлкен вулканлы таў – 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 турыўшы таў қалқасы менен шегараланады.

Марс рельефиниң тийкарғы эжайып өзгешеликлериниң бири планета таўлары болып табылады. Планетаның Тарсис районында төрт конус тәризли таў көкке бой созады. Бул таўлар вулканлы процесслер тәсиринде пайда болған таўлар болып, олардан ең түсликте жайласқан Арзия таўы тийкарының диаметри 130 километрди қурайды. Бул таўлар ишиндеги ең үлкени Олимп таўы болып, ол Жердеги вулканлы таўлардан бир неше есе үстинлик қылады. Олимп таўы конусы тийкарының диаметри 600 километрге, бийиклиги болса 27 километрге барады (Жердеги ең ири таўдың бийиклиги 9 километр, ең ири вулкан таўы тийкарының диаметри болса 250 километрден артпайды).

Қалған вулканлы таўлар Олимптиң бийиклигинен кейин қалса да, бирақ оларды бийиклиги 15 километр болған шаң бултлардан көринип турыўы (1971-жыл «Маринер-9» дан алынған сүўретлерде), бул таўлардың бийикликлери де 15-20 километрден кем емес екенлигин көрсетеди. Хәр төртинши таўда вулканның тоқтағанына жүзлеген миллион жыл өткен деп болжап айтылады. Олимп таўы төбесиндеги кратердиң диаметри 70 километрге шекем барып, бийик қарық пенен шегараланған. Бир ўақытлар бул вулканнан атылған лава суйық болып, жүдә узақ аралықларға шекем ағып барған.



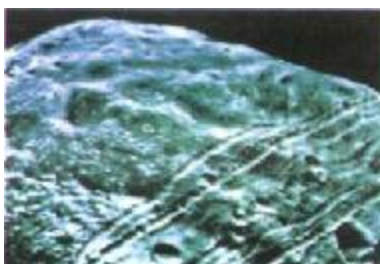
Марстың Эллада, Тарсис хәм Аргир ойпатлықларындағы оазислердин көриниси.



Марстың Ниргал деп аталған дәрьясының сүүрети (узынлығы 400 км дан артык).



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



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 таўынан 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» - дәрья аңғарлары болып табылады. Олар ишинде 30 градуслар шамасындағы түслик кеңликте жайласқан Ниргал деп аталған дәрья аңғары 400 километрге созылған болып, Марстың әйемги

дәрьяларынан болып есапланады (сүўретте көрсетилген). Ниргал дәрьясының әйемги ўақытлары жүдә үлкен теңизге қуйғанлығы «Маринер-9» алған сүўретлерде анық көринеди. Соның менен бирге узынлығы 700 километрге шекем баратуғын басқа бир дәрья аңғары Мадимниң айырым орынларындағы кеңлиги 80 километрге шекем жетеди. Бул дәрья аңғарлары бойынша ҳәзирги ўақытлары ҳеш қандай суйықлықтың ақпайтуғынлығы анық. Бундай болса бул дәрья аңғарлары не себепли пайда болған деген сораў туўылады. Бул сораўға жуўап бериў бир неше жыллар даўамында орын алған узак дискуссияларға себеп болды. Планетаның қурыған дәрьялары ҳаққында гипотезалар туўылып, жылдан жылға көбирек тастыйық таўып атырған гипотеза әйемги ўақытлары дәрья аңғарлары бойынша суў ағып турған деген гипотеза болып табылады.

Жердиң «жан қоңсысы» нда тиришиликтиң бар ямаса жоқлығы мәселеси узак жыллардан бери алымларды қызықтырып келди. 1975-жылы тийкарғы мақсети Марста тиришиликтиң бар ямаса жоқлығын анықлаўға қаратылған ҳәм ҳәр бириниң массасы үш ярым тоннадан келетуғын АҚШ тың «Викинг-1» ҳәм «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 бойынша Жерден парық қылып, этирап көринслерин Жерге узатты. Сүўретлерде ҳәр қыйлы үлкенликтеги ҳәр қыйлы таслар ҳәм топырақ барханлары бирден көзге тасланады. Бундай барханлардың пайда болыўында да боранлардың себепинен екенлиги анық көринип турыпты (84-сүўрет). «Викинг-1» қонғаннан соң көп өтпей Жерге төмендегидей метеорологиялық мағлыўматты жиберди: кеш қурын шығыс тәрәптен ескен күшсиз самал ярым түннен соң түслик-шығыс тәрәптен ескен самал менен алмасты, оның максимал тезлиги секундына 6-7 метрге жетти, басым 7,7 миллибарға тең болып, ерте таңда температура $-85,5^{\circ}\text{C}$ ты, күндиз болса -30°C болды. Жерге узатылған сүўретлерден айырым кратерлердиң үстинен ҳәм жарықларынан думан бултының көтерип атырғанлығы белгили болды. Бундай думанлардың тийкарынан суў пуўларынан туратуғынлығын анықлады. Усы факт «қызыл планета» ның баўырында жеткиликли суў дереклериниң (муз ҳалдағы) бар екенлиги ҳаққындағы гипотезаның дурыслығы ушын және бир дәлил болды.

Марстың бетиниң топырағы үлгисиниң анализи оның қурамында 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) ҳәм аз муғдарда фосфор, рубидий ҳәм стронцийлардың бар екенлигин көрсетти.

Дәслепки затлар алмасыуына тийкарланған биологиялық экспериментлер Марс топырағы курамында микроорганизмлердің бар екенлигин тастыйықлап, карбонат ангидридинің интенсивли түрде ажралып шығып атырғанлығын көрсетти. Бирақ көп ұақыт 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 жуўмаққа келген болса да, бирақ үшінши эксперимент нәтийжеси бул мәселеде 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 «урис қудайы» нда тиришиликтің ең әпиұайы 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 тәрәпинен 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 қашықлықта оның этирапында 7 саат 30 минутта айланып шығады, ал Деймос 30 саат 18 минутта айланып шығады. Жер этирапында айланатуғын Айдан парқы, Марстың оған жақын «Айы» Фобос батыстан шығып шығыста батады. Қызығы және соннан ибарат, бир суткада Фобос күн батыс тәрәпте 3 рет шығып, күн шығыс тәрәпте 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 хеш қандай тийкар жоқ. Планетаның бул еки «Айы» Марстан узақ болмаған майда планеталар орбитасынан адасып шығып, бир неше онлаған миллион жыллар бурын «урис қудайы» ның тәсирине дус келген хәм ол менен «жипсиз байланысқан» аспан денелери болып табылады. Ең кеминде бул еки тәбийий жолдастың «қызыл планета» этирапында пайда болыуын гипотеза солай түсіндиреди.

Юпитер

Қуяш системасының планеталары ишінде ең ириси болып есапланған Юпитер тәбияты хәм дүзилиси бойынша жумбақларға бай екенлиги менен астрономлар дыққатын өзине 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 қашықлықта айланады. Планетаның Қуяш этирапындағы айланыу тезлиги секундына 13 километр болып, 12 жылда бир рет айланып шығады. Басқаша айтқанда Жердеги 60 жасар адам Юпитер жылы менен тек 5 жасқа толған болар еди. Қызығы соннан ибарат, Юпитердің өз көшери этирапында айланыуы Жер типіндеги планеталардың айланысларынан парық қылып, экватор бөлими тезирек - 9 саат 56 минутлы дәуір менен айланады. Планетаның хәр қыйлы кеңликлериниң хәр қыйлы мүйешлик тезлик пенен айланыуларына себеп оның дүзилиси бойынша қатты болмай, газ-суйық халындағы аспан денеси екенлигинде болып табылады. Буның үстине оның көринген бети планета атмосферасында «жүзип» жүриуши бултлардан қуралған.

Планетаның тез айланыуына байланыслы жүзеге келген орайдан қашыушы күш тәсиринде Юпитердің полюслары тәрәпинде сезилерли қысылуы бақланады. Усының нәтийжесинде оның экваторлық диаметри полюслик диаметринен 9 мың 300 километрге үлкен.

Юпитердің көлеми Жердің көлеминен 1314 есе артық, Бірақ бул планетаның тығызлығы Жертикинен 3,5 есе кем болса да, үлкенлигине байланыслы оның массасы Жер массасынан 318 есе артық. Соның ушын Юпитердің тартыу күши Жердің тартыу күшинен еки ярым есе артық. Яғный Жерде 60 килограмм келетуғын адамның ауырлығы Юпитерде 150 килограммнан артық болады. Бул үлкен планетаға телескоп арқалы карағанда оның бетинде хәр қыйлы объектлер бақланады. Олар ишінде тәбияты хәзирге шекем жумбақлығын сақлап киятырған объектлер - ени бир неше мың километрге шекем жететуғын оның экваторына параллел кара-қызғыш жолақлар болып есапланады (86-сүўрет).

Бул жолақлар соңғы жыллары алынған нәтийжелар тийкарында планета атмосферасының қалың бултлары деп түсиндириледі. Олар планетаның параллеллери бойынша бағытланған болып, экваторға салыстырғанда симметриялық халда жайласқан. Планета бултларының бундай шынжырлы структурасы оның 40 градуслы кеңлигине шекем барып, айырым халларда диаметри 1000 километрге шекем баратуғын қоңыр ямаса көгис дақларды пайда етеді.

Юпитердің әйемги «тилсым» ларының басқа бири 1878-жылы табылған узынлығы 80 мың, ени 13 мың километрге созылған Үлкен қызыл дақ болып табылады (87-сүўрет). Қызығы соннан ибарат, бул дақ планетаның бет деталлары қатарында оның суткалық айланыўында қатнасыўы менен бирге гейде бир тәрәпке, гейде екнши тәрәпке қарай бир неше градусқа шекем жылжыйды. Бундай жағдайдан Үлкен қызыл дақ планета бети менен байланыспаған деген жуўмаққа алып келди. Рус алымы Г.Голициннің гипотезасына сәйкес Үлкен қызыл дақ планета атмосферасының узақ даўам ететугын гигант ийрими болып табылады. Алымнің бул теориясы келешекте бир неше усыллар менен тастыйықланғанлығына байланыслы итибарға миясар гипотеза болып есапланады. АҚШ тың «Пионер-10» хәм «Пионер-11» космослық аппаратлары жәрдемінде Үлкен қызыл дақтан алынған сүўретлерге тийкарланып оның деталлары, структурасы бир қанша үйренілген болса-да, хәзирге шекем оған тийисли болған машқалалар жеткиликли дәрежеде көп. Соның ишинде оның қызыл реңи де хәзирге шекем сыр болып есапланады.

Юпитер атмосферасы Жер атмосферасынан кескин парық қылып, водород, гелий, метан хәм аммиак газлеринен турады. Планета атмосферасының тийкарғы бөлимин водород хәм гелий қурайды. Юпитердің спектринде гелийдн өз «автограф» ын қалдырмағанлығы алымларды узақ ўақыт тынышсызландырды. Себеби теориялық есаплаўлар бойынша гелийдн оның атмосферасында кең тарқалғанлығын көрсеткен жоқ еди. Бул мәселе 1973- жылы шешилди: Юпитер жанына өтип баратырған «Пионер-10» планеталар аралық автомат станциясы (ПАС) Жерге жиберген «радиограммасында» планета атмосферасында гелийдн бар екенлигин мәлим қылғанда, астрономлар «жеңил дем» алды. Бул алынған мағлыўматлар гелийдн муғдары планета атмосферасының 25 процентин ямаса 70 Жер массасына тең екенлигин көрсетти. Планета атмосферасының тийкарғы бөлимин қураған водород болса оның атмосферасының 70 процентин ямаса 225 Жер массасына тең бөлимин қурайды.

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

Планетаға тән сырларды ашыўда 1973-жылдың 4-декабринде Юпитерден 130 мың километрли қашықлықтан өткен «Пионер-10» (АҚШ) автомат станциясының хызмети үлкен болды. Бул космослық аппарат Жерден ушырылғаннан кейин шама менен еки жыллық саяхаттан соң Юпитерде «мийман» болды. Автомат станция Юпитерге 6,5

миллион километр жақынласқанда-ақ планета магнитосферасы оның менен «ушырасыуға» шықты. Юпитердің магнитосферасы тийкарынан үш бөлімнен ибарат болып, 20 планета радиусы қашықлығына шекем созылған ишки бөлімінде диполлы (еки полюсли) магнит майданы хукимдарлық қылады. 60 планета радиусына шекем созылған орта бөлімінде болса планета магнитосферасы орайдан қашыушы күш тәсиринде күшли деформацияланыудың 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 куйрық пайда етип, бир неше миллион километрге шекем созылады.

Мәлим, электронлар магнит майданда қозғалғанда еки қыйлы нурланады. Бул нурланыулардың бири циклотрон нурланыуы деп аталып, салыстырмалы төмен энергиялы электронлардың (0,5 MeWқа шекем энергиялы) қозғалыуынан, екиншиси болса синхротрон нурланыуы деп аталып, релятивистик электронлардың (тезлиги жақтылық тезлигине жақын) қозғалыуынан пайда болады.

Гигант планетаның магнит майданы Қуяштан келетуғын оң хәм терис зарядлы космослық бөлекшелер менен тәсирлесип, олардың өз сферасында «тутқын» ға түсиреди хәм ақыбетинде бундай жағдай планета этирапында Жердикине уқсас күшли радиация поясларының пайда болыуына алып келеди. Тороидал формадағы (тесик гүлше түриндеги) радиациялық пояс планетаның экватор тегислигине бираз қыяланған халда болып, 1,5 тен 6 планета радиусына шекемги қашықлыққа созылған. Бул областта магнит майдан «қолға түсирген» электронлардың энергиясы 3 тен 30 MeW қа шекемги аралықта болады. Планетаның бул магнитосферасы хәм радиация пояслары зарядлы бөлекшелер ушын үлкен тәбийий тезлеткиштиң орнын ийелейди. Жерде регистрацияланып жүрген киши энергиялы электронлар Юпитердің тәбийий тезлеткишлердің бири екенлиги, олар ушын характерли 10 саатлық дәуирдің планетаның өз көшери этирапында айланыу дәуири менен бирдей екенлиги анықланды.

Соның менен бирге метрли радиодиапазонда Юпитердің күшли нурланыуының дереги де планета магнитосферасында электронлардың синхротрон нурланыуының нәтийжеси екенлиги мәлим болды. Үлкен планетаның метрли диапазонда ислейтуғын бир неше «радиостанция» 11 метрден 30 метрге шекем аралықтағы толқын узынлықларын өз ишине алады. Булардан «радиоборан» деп ат алған планета радионурланыуының шақмақлары да планетадан келетуғын нурланыуларды хәр қайсысын өз алдына регистрацияланады. Есаплаулардың көрсетиуинше, бундай радиошақмақлардың дереги кууаты бойынша Жер-

деги гүлдирмамалар пайытында бөлинип шыққан нурланыулардан миллиардлаған есе артық қууатқа ийе болған планета атмосферасында электр «шақмағы» ның болыуы лазым.

Юпитер Қуяштан Жерге салыстырғанда 5 есе үлкен қашықлықта болғанлықтан, бул планетаның бетиниң бир бирлигиниң Қуяштан алатуғын энергиясы Жердегиден 27 есе кем. Бирақ соған қарамастан планетаның толық бети тийкарынан радио хәм инфрақызыл диапазонларда оның Қуяштан алатуғын энергиясынан шама менен 2,5 есе үлкен энергия менен нурланады. Бул Юпитер ишиндеги хәзирге шекем механизми белгисиз бундай нурланыу энергиясының бирден-бир дереги гравитациялық қысылыу болыуы мүмкин деген гипотезаның тууылыуына себеп болды. Инфрақызыл спектрометр жәрдемінде планетаның тап усы диапазонда нурланыуы тийкарында анықланған бетиниң күндизги хәм түнги бөлимлериндеги температурлар бирдей болып, -133°C екенлигин анықлады. Юпитердиң бетинде орайға қарай температураның тез артып барыуының ақыбетинде жүдә үлкен тереңликлерде оның затлары тек газ-суйық халда бола алатуғынлығы да соңғы жыллары жүргизилген есаплаулардан мәлим болды.

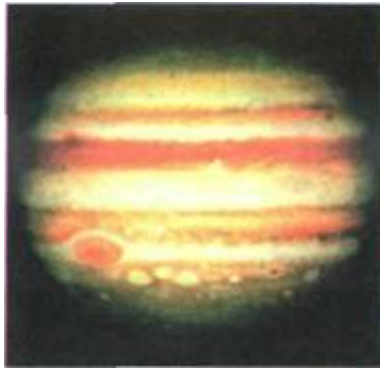
Планета хәққинда қолға киргизилген ең соңғы мағлыуыматлар тийкарынан бул үлкен планетаның ишки дүзилисиниң математикалық моделлестирилиуи болып табылады. Бул моделге сәйкес Юпитер атмосферасының бийиклиги 2 мыңнан 6,5 мың километрге шекем созылған. Егер атмосфераның орташа бийиклиги 4,2 мың км деп алынса есаплаулар оның төмениндеги басымның 200 мың атмосфераға, ал температура болса 2000°C ға жақын екенлигинен дерек береді. Төменинде кескин шегараға ийе болмаған затлардың газ тәризли, 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 никелдиң оксидлеринен куралған ядро жайласқан деп болжанады. Бул ядрода басым 20-100 млн. атм. этирапында болып, температура 15-25 мың $^{\circ}\text{C}$ қа шекем барады (сүүретке қараңыз).

Юпитер өз жолдаслары менен үлкен бир «шаңарақты» қурайды. 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.

Юпитердиң ири жолдасларын олардың айырым параметлерине сәйкес 3 топарға бөлиу мүмкин. Биринши топарға төрт Галилей жолдаслары (Ио, Европа, Ганимед хәм Каллисто) (89-сүүрет) хәм оның бетинен 110 мың километр қашықлықта айланыушы Амалтея кире-ди. Бул топардың Юпитерден ең узақта жайласқан жолдасы - Каллисто планетадан 1,8 млн километр қашықлықта оның этирапында 16,7 Жер суткасына тең дәуір менен айланады. Бул топардағы ең киши жолдас Амалтеяның диаметри 150 км, ең ириси -

Каллистономи болса 5300 километр. Галилей жолдасларының орташа тығызлығы планетадан узақласқан сайын кемейеди: 3,2-3,6 г/см³ тен (Ио ушын) 1,6 г/см³ ке шекем (Каллисто ушын). «Пионер-10» ның анықлағаны бойынша Ганимед хәм Ионың бетинде атмосфера бар. Ганимедтиң бетиндеги температура -115 °С ге шекем жетеди. Галилей жолдасларының албедосын (Қуяш нурларын қайтара алыў қәбилетликлерин) үйрениў олардың бетиниң 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°С, Ганимед ушын болса -105°С). 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 байланыслы алымлар бул жолдас күшли магнит майданына хәм радиациялық поясқа ийе деген гипотезаны усынды. Екинши топар жолдаслары планета этирапында орташа 12 млн километрли қашықлықта 250 Жер суткасына жақын дәўир менен айланады. Бул топарға кириўши жолдаслар салыстырмалы киши болып, олар хәкқында хәзирги ўақытларға шекем жүдә кем мағлыўматларға ийемиз. Екинши топардың ири ағзаларының саны болса 8 дана.

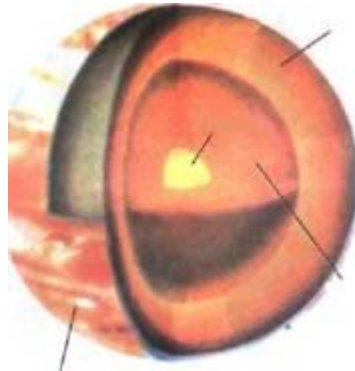
Үшинши топар жолдаслары планетадан орташа 23 млн километр қашықлықта шама менен 2 жыллық дәўир менен айланады. 1979-жылы март айында Юпитерден 278 мың километр қашықлықтан өткен АҚШ тың «Вояджер-1» хәм кейинирек «Вояджер-2» автомат станцияларының Юпитер хәм оның жолдасларын үйрениўде көрсеткен хызметлери үлкен болды (сүўретке қараңыз). «Вояджер» алған сүўретлерде планетаның 30 мың километрге созылған полюс шуғласы 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.



Юпитердің улыұмалық көриниси.



Юпитердің бетинде бақланатуғын Үлкен қызыл дақ.



Юпитердің ишки дүзилиси.



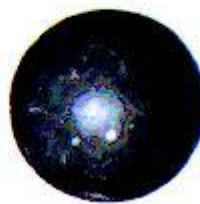
Io



Europa

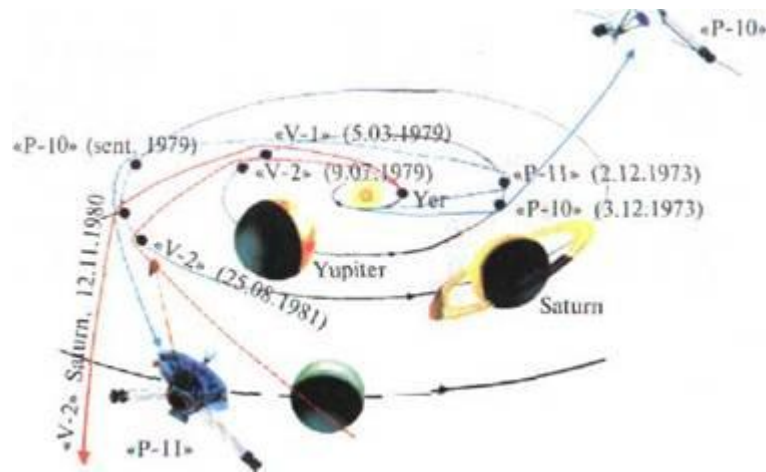


Ganimed



Kallisto

Юпитердің Галилей жолдасларының салыстырмалы өлшемлери.



«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 өтип баратырып оның бетинде хәзирги ўақытлары «атылып атырған» вулканды (бийиклиги 160 км), бир неше жүз километрге созылған таўлар менен жарлықларды көрди. Ганимед пенен Каллистоның бетинде көринген онлаған жарық дақлар болса шама менен кратерлер болса керек деген болжаўға келинди. Каллистодағы кратерлердиң бири бир неше концентрлик таўлар сакыйналары менен оралған болып, айырым орынларда бул дүзиліслер арасындағы қашықтық 1600 километрге шекем жетеди.

Соңғы жыллары үлкен планета Юпитер хәм оның жолдасларына тийисли болған бир қанша әсирлик сырлар «ашылған» болса да, хәзирги ўақытлары 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 Римниң ўақыт хәм тәғдир қудайы Сатурн аты менен аталады. Бул планета шығыста Зухал, греклерде Кронос аты менен аталып, Қуяш системасының

қуралланбаған көз бенен көриу мүмкин болған ең соңғы планетасы болып табылады. Соның үшін Әйемги уақытлары ұзақ жыллар Сатурнның орбитасы Қуяш системасының шегарасы деп қаралған.

Сатурн үлкенлиги бойынша тек Юпитерден кейинги орында тұрады. Оның диаметри 120 мың 800 километр. Қуяштан орташа ұзақтығы 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 айланыуы Юпитертики сыяқты хәр қыйлы кеңликлерде хәр қыйлы. Экватор зонасының айланыу дәуири 10 саат 14 минут, ал полюсқа жақын областлар 10 саат 28 минутлы дәуир 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 дәслеп 1610- жылы Г.Галилей тәрөпинен бақланған болса да, алым сақыйнаның хақыйқый формасын белгилеп бера алмады. Буның себеплериниң бири Галилейдиң «қолдан исленген» телескопында көринген сақыйна сүүретиниң сапасызлығы болса, екиншиси усы дәуирде планета Жерге «жанбастан» тұрғанлығына байланыслы оның сақыйнасы бақлаушыға перпендикуляр тұрғанлығында еди. Сатурнның Жерге салыстырғанда бундай «жанбас» тан тұрыуы Қуяш этирапын бир рет толық айланып шығыуы дауамында еки рет бақланады.

Галилейдиң бул табыссыз урынысынан соң ярым әсир уақыт дауамында 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 бақланыуы көп санлы алымлардың итибарын өзине тартты. Гәп соннан ибарат, сол уақытларға шекем хеш бир планетаның этирапында сақыйна бақланбаған еди. Усы себептен Сатурн сақыйнасының тәбиятын үйрениу үшін талай астрономлар бирден изертлеу жұмысларына киристи. Италиялық Жовани Кассини, инглиз Роберт Гук, немис Иоган Енке, америкалық Джорж Бонд хәм рус София Ковалевскалар сол алымлардан еди.

1750-жылы Сатурнның сақыйнасы хаққында Томас Райт былай жазған еди: «Егер биз Сатурн ды жетерли дәрежедеги қууатлы телескоп жәрдемінде бақласақ онда сақыйнаның биз жолдаслар деп атайтуғын денелерден бир қанша төменде жатыушы шексиз көп майда

планеталардан ибарат екенлигин байқаған болар едик». Кейинги изерттеулер сақыйна хаққындағы 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 дәлилледі. Көп өтпей Максвеллдиң айтқанлары белгили рус астрофизиги А.А.Белополский хәм америкалық Ж.Е.Клерк тәрәпинен өткерилген экспериментлер тийкарында куўатланылды. Бирақ, 1934-жылы өзиниң Семей обсерваториясында (Қырым) өткерилген бир қатар нәзик бақлаўлары тийкарында астроном Г.А.Шайн планета сақыйнасының шаңнан қуралған деген пикирге қарсы шықты.

Соңғы жылларға тийисли изертлеулер планета сақыйнасы хаққындағы мағлыұматларды кескин байытты. Сатурнды үйрениўдеги ири қәдем 1979-жылдың 1-сентябринде 6 жыллық планеталар аралық «саяхат» тан соң Сатурннан 21 мың 400 километр қашықлықтан 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 жәрдемінде 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 °С әтирапында екенлигин мәлим қылды.

Сатурн бетинде экваторға параллел халда 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.

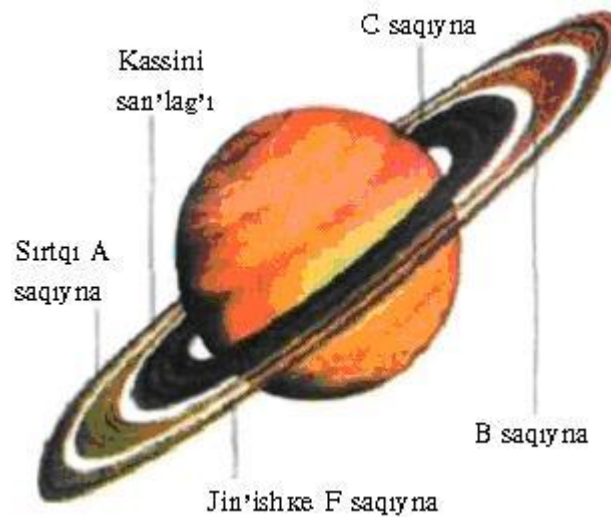
Планета атмосферасында да Юпитертикиндеги сыяқлы метан газы (CH₄) менен биргеликте аммиак (NH₃) ушырасады. Сатурнның бултларының тәбиятына тийисли машқалаларды шешиўде аммиактың тутқан орнының үлкен екенлигине байланыслы бундай газди планета спектринде табыў жүдә әхмийетли еди. Бирақ планета атмосферасында аммиактың муғдары жүз мыңнан бир бөлимин ғана қураған болса да, онша дәл емес есаплаўлар бундай муғдардың Сатурн атмосферасында аммиак бултларын пайда қылыў ушын жетерли екенлигин тастыйықлады.

1974- жылы планета атмосферасында этан (C_2H_6) табылды. Сатурнның элементлер бойынша қурамы Қуяштың қурамынан парық қылмай, водород хәм гелий 99 процентти қурайды.

Сатурн атмосферасының қалыңлығы 1000 км этирапында болып, оның төменинде водородтың гелий менен араласпасы қатламы жайласқан. Планета радиусының ярымы жақынында температура $1000^{\circ}C$, 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» тәрeпинен анықланды. Жер хәм Сатурнның магнит майданларының бир биринен паркы соннан ибарат, бул планетаның магнит көшери оның айланыў көшери менен бетлeседи.

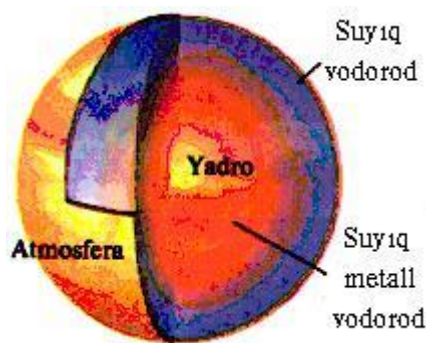
1655-жылы сақыйналы планетаның биринши жолдасын да Гюйгенс тапты. Планета жолдасларын табыўда айрықша Кассинидиң излениўлери жемисли болды. Гюйгенстен соң көп өтпей, ол бир биринен соң Сатурнның төрт жолдасын тапты.



Сатурн хәм оның сақыйнасы.



«Вояджер» түсирген Сатурнның сақыйнасы.



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 екінші орында, яғный Ганимедтен (Юпитердің жолдасы) кейин турады. Диаметри 4850 километр. 1949-жылда-ақ Ж.Койпер онда метанның «из» лерин көрип, планетаның бул жолдасының қалың атмосфераға ийе екенлигин биринші 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.

Ұақыт хәм тәғдир қудайына тийисли тийкарғы жумбақ оның этирапында бундай ири сақыйнаның пайда болыу тарыйхы болып табылады. Планета сақыйнасының пайда болыуын түсиндириуге бағышланған гипотезалар ишинде француз астрономы Роштың теориясы дыққатқа миясар. Бул теорияға сәйкес планетаның жолдаслары орайлық планетадан белгили бир критикалық қашықлықтан киши қашықлықта 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 қашықлықтан жақын келсе планетаның тартыу майданы жүзеге келтирген тасыу күшлери тәсиринде набыт болыу жүзеге келип, майдаланып кетеуғынынан дерек береді. Есаплаулар жолы менен дәретилген бул теорияға байланыс-лы Сатурнның сақыйнасы әйемги ұақытлары 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 тәрәпинен 1781-жылы тосыннан табылды. Мәлим, планета ашылғаннан шама менен жүз жылдай бурын-ақ бақланып келинген екен. Бирақ астрономлар хәр дайым оған гүңгирт бир жұлдыз деп қарап, артықша итибар бермеген екен. Планета орбитасын биринши болып Петербурглық академик А.И.Лексел есаплады.

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

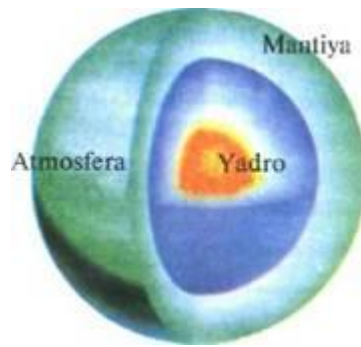
Уранның орбиталық тезлиги секундына 6,8 километрди қурайды хәм Қуяш этирапында 84 жылы бир рет айланып шығады. Бирақ планета өз көшери этирапында салыстырмалы тез айланады - суткасының узынлығы 10 саат 49 минут.

Планета бетиниң деталларын көрип болмаса да, бирақ онда дәуирли 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 мәүсимлериниң хәм күндиз бенен түнниң алмасыуларына қызық бир түс береді. Соның ишинде сексен төрт жыллық Уран «жылы» ның 21 жылы даўамында Қуяш бәркулла горизонттан көтерилип турады. Планетаның белгили бир ярым шарында жаз да бир неше жыл даўам етеді. Бирақ

Қуяштың тәсири оған шекем жақсы жетип бармайды. Себеби Уран аспанында Қуяш диски тек 2 мүйешлік минутына жақын мүйеште көрінеді. Уран бетін радионурлар тийкарында өлшеулер оның орташа температурасының -200°C екенлігін көрсетеді.

Уран, тийкарынан водород пенен гелийден қуралған болып, онда метанның да бар екенлігі анықланды. Уранның ишки дүзилисін алымлар ерисилген мағлыұматлар тийкарында 95-сүүреттегідей етип сәўлелендиреди.



Уран «жанбас» планета (оның ишки дүзилиси).



Oberon Titaniya Umbriel Ariel Miranda

Уранның жолдаслары - Шекспир қахарманлары.

Бул планетаның табылған жолдасларының саны жигирма бирге жетти. Солардың еки ең ириси Гершел тәрәпинен ашылып, Титания хәм Оберон деп ат берилген. Биринши рет бул атлар француз эпосында XII әсирден соң ушырайды. Кейинирек, В.Шекспирдің «Жаздағы таңдағы түс» комедиясының қахарманларының атлары менен аталғанынан кейин, олар бәршелер тәрәпинен қабыл етилди.

Уранның бул жолдаслары табылғаннан соң 64 жыл өткеннен кейин астроном Лексел планетаның және еки жолдасын тапты. Бул еки 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» ертек-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-сүүрет).

Планетаның табылған жолдаслары да оның этирапында планетаның айланыу бағыты менен бирдей бағытта айланады. Айланыу тегисликлери Уранның экватор тегислигине жүдә жақын.

Нептун

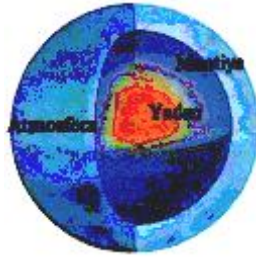
1820-жылға шекем Қуяш системасы тийкарынан төмендеги жети планета - Меркурий, Венера, Жер, Марс, Юпитер, Сатурн хәм Уран хәм олардың жолдасларынан куралған деп есапланатуғын еди.

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

Бундай курамалы математикалық мәселени шешиу үшін бир ўақытта бир-биринен бийхабар халда еки астроном «бел байлады». Булардан бири француз математик У.Леверье, екиншиси болса жас англиз астрономы Ж.Адамс еди. 1846-жылы математикалық есаплаулар тийкарында планетаның орнын анықлап У.Леверье телескоплық жулдызлардың толық картасы бар болған Берлин обсерваториясы хызметкерлерине планетаны бақлауды сорап өтиниш қылады. 1846-жыл 23- сентябрь күни бул обсерваторияның астрономы профессор Галле планетаны Леверье айтқан орыннан тек бир градус қашықлықтан тапты. Планета теңиз хәм океанлар қудайы Нептун аты менен аталды.

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

Қызығы соннан ибарат, Нептунның ашылыуынан бир қанша бурын 1795-жылы 8- хәм 10-майда алынған фотопластинкаларда оны еки рет астроном Лаланд бақлады. Бирақ ол планетаны гүңгирт бир жулдыз деп, ал еки суткада алынған фотопластинкалардағы орын алған планетаның жылжыуын болса өлшеудің қәтелигинен деп түсинди. Егер сол ўақытлары Лаланд нәтийже шығарыуға 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 хәзирги 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 Жердиң массасынан 17,2 есе үлкен. Планетаның орбиталық тезлиги секундына 5,5 километр болып, Қуяш этирапында айланыў дәўири 164 жыл хәм 280 сутка. Нептун өз көшери этирапында 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 әйемги греклердиң мухаббат қудайы Нерей қызының аты Нереида аты берилди. Оның диаметри 300 километр.

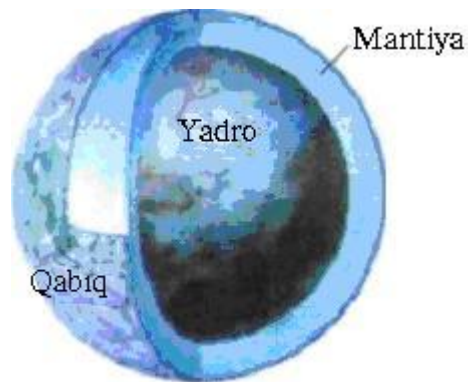
«Вояджер-2» космос аппараты 1989-жылы Нептунға жақынлады. Бул аппарат тәрепинен табылған оның бир неше жолдасы сүўретте келтирилген.

Плутон

Леверьениң табысларынан илхамланған англиз астрономы Форбс 1880-жылы-ак Нептуннан узақта хэм Куяш семьясының ағзаларының болыўын гүман қылып, оның орнын есаплаўға киристи. Қурамалы есаплаўлар нәтийжесинде астроном мәлим емес планетаның орнының Тәрези (Мизон) жұлдызлар топарында екенлигин анықлады. Форбс оны излеп бир неше түнлерди уйқысыз өткерди, аспанның бул бөлиминиң сүўретлерин алды хэм қолда лупа менен фотопластинкалардан сыртқы планетаның «автограф» ын тыным таппай изледи. 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.

Әсиримиздиң басында транснептунның орны менен астроном П.Ловелл қызықты. Оның математикалық есаплаўлары соншама қурамалы еди, бул есаплаўлар алдында Леверьениң есаплаўлары әдеттеги арифметикалық есаплаўлар болып шықты. Бирақ алынған фотопластинкаларда планетаны көриў Ловеллге де несип етпеген екен. Ол 1930-жылы қайтыс болды. Тап усы жылы 13-март күни Ловелл обсерваториясының жас астрономы К.Томбо алынған фотопластинкалардан транснептунды излеп тапты хэм Ловеллдиң есаплап тапқан планета орнының жүдә үлкен дәлликке ийе екенлигине исеним пайда етти. Атап өтилетуғын жери сонда, Ловелл қайтыс болғаннан кейин ол алған фотографиялар дыққат пенен изертленгенде олардың бир нешесинде Плутонның көрингенлиги белгили болды. Тилекке қарсы Ловелл планетаның айқын түрде көриниўи керек деген гүман менен Плутонның гүңгирт жұлдызша түриндеги сүўретин итибарсыз қалдырған.

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



Плутон хэм оның ишки дүзилиси.

Плутонның диаметри анық өлшенген жоқ. Есаплаўлар оның 2500 километрден үлкен емеслигин көрсетеди. Оның жақтылығы 6,4 суткалық дәўир менен өзгерип турады хэм бул ўақыт планетаның өз көшери дегерегиндеги айланыў дәўири деп қабыл қылынған. Планетаның ишки дүзилиси сүүретте келтирилген. Оның диаметри 1770 км ли ядросы тийкарынан тас жыныслар хэм муздан қуралған. Оның үстінде -240 км 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° лы мүйешти пайда етеди. Нәтийжеде ол қозғалысы даўамында белгили бир дәўир ишинде басқа планеталарда болмайтуғын зодиак жұлдыз топарлары шегараларынан шығып кетеди.

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

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

Киши планеталар (астероидлар)

1596-жылы басылған «Космография сырлары» шығармасында Иоганн Кеплер Марс пенен Юпитердің арасында және бир планетаның болыўы керек деген болжаў айтқан еди. Кеплердің бул гипотезасы еки әсирден соң планеталардың Қуяштан орташа

узақлықтарын тәриплеуши эжайып эмпирикалық (тиккелей бақлаулардан анықланған) нызамлықтың ашылыуы менен тастыйықланды. 1772-жылы Виттенбергтик астроном Иоганн Титсиус планеталардың астрономиялық бирликлерде аңлатылған үлкен ярим көшерлери

$$a=(0,4 + 0,3*2^n) \text{ а.б.}$$

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

Төмендеги кестеде планеталар орбиталарының үлкен ярим көшерлериниң жоқарыдағы формула жәрдеминде табылған шамалары олардың Қуяштан хақыйқый узақлықлары менен салыстырылған.

Кесте

Қатар саны	Планета	n	Планетаның Титсиус формуласы жәрдеминде есаплаған үлкен ярим 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 Берлинтик астроном Иоганн Боде бул эмперикалық қатнасты қайта көрип шығып, туурылығына исеним пайда етти хәм оны кең тарқатыуда үлкен хызмет көрсетти. Соннан соң бул нызамлылық Титсиус-Боде нызамы аты менен дүньяға белгили болды. Нәтийжеде бул нызамлылыққа байланыслы Марс пенен Юпитердиң аралығында Қуяштан орташа 2,8 астрономиялық бирлик қашықлықта және бир планетаның болыуына енди көпшилик астрономлар гүман қылмайтуғын болды.

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

Пиаци планетаны бир айға шекем бақлап, январдың ақырларында өзи ашқан жаңалық хаққында Берлинге хәм Миланға (Италия) хат жоллады. Бул дәуирде Наполеон урысы

хәйиж 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 тырысыўлардан 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 бақлаў барысында оған жақын орында және бир таныс болмаған жұлдызшаға көзи түсти. Еки саатлық бақлаў бул объекттиң жұлдызлар фонында жылжыйтуғынлығын 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 тегислигиниң Жер орбитасы тегислигине салыстырғанда айтарлықтай үлкен мүйеш - 34° қа қыяланған ҳалда 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 Юпитердиң аралығында әйемги ўақытлары 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 Семеиз (Қырым) обсерваториясы хызметкери, профессор Г.Неумин тапқан астреоидлардың бирине (қатар саны 1351) «Өзбекстания» деген ат берилди.

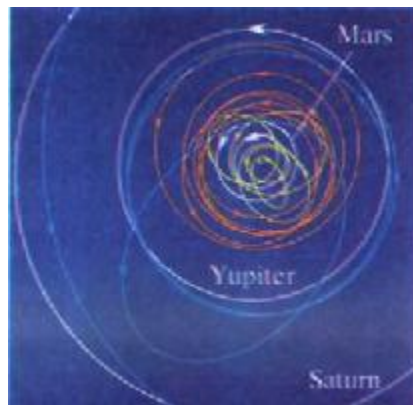
Майда планеталарға тийисли және бир қызық гәп соннан ибарат, олардың биразы табылғаннан кейин орбиталарын есаплаўға үлгермей турып-ақ жоғалтып қойылды. Усындай ҳалда «жоғалған» киши планеталардың планеталардың саны мыңнан артық. XX

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 беккем 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 тәрәпинен пайдаланылады.

Орбиталары есапланып, майда планеталардың дизиминен беккем орын алған астероидлардың саны хәзирге келе 2000 ден артып кетти.

Астероидлар ишинде ең ирилериниң өлшемлери де Жердиң 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 г/см^3 тан (таслы астероид) $7-8 \text{ г/см}^3$ қа шекем (темир-никелли астероид) барады. 100-сүүретте бир топар астероидлардың Қуяш этирапындағы орбиталарының өз-ара жайласыўы сүүретленген.



Бир топар киши планеталардың орбиталары.

Астероидлардан Икар, Гермес, Эрос хәм Адонислар Жерге дәўирли рәўиште жақынласып турады. Бул жағдайда Олар Жерге 6 млн км ден 23 млн км ге шекем жақынласып, Жер ушын үлкен қәўип туўдырады.

Бирақ астероидлардың Жерге дәуірли рәуиште бундай жақынласып турыўынан кәўетерлениўдиң кереги жоқ. Себеби бундай астероидлардың орбиталарының есаплаўлары менен Халық аралық Астрономиялық Союздың бир топар алымлары турақлы түрде шуғулланады. Сонлықтан планетамыз бенен бир астероидтың соқлығысыў итималлылығының 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 бөлиминде жыйналған болып, гүңгирт жұлдызша тәризли көзге тасланады. Ол Қуяшқа жақынласқан сайын ядро этирапын кома деп аталыўшы сийрек газ булты орайды. Соның менен бирге бул дәўирде 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 куралған 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 елшилери деп талқыланған. Мысалы еслетилип өтилген «тарийх» та мынадай сөзлер келтирилген: «Комета бахытсыз қубылыслардың анық белгиси болып хызмет етеди. Хәр дайым адамлар Айдың тутылыўын, кометаны көргенде Жердиң силкиниўи, суў алыў хәм соған уқсас бахытсызлықлар жүз берип, бун-

нан соң көп өтпей қорқынышлы ұақыялар - қан төгиспелер, адам өлтириўлер, уллы монархлардың өлими, сатқынлықлар, империя менен патшалықлардың қыйраўы, ашлық, қымбатшылық, қулласы 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 жулдызлар» Қуяш системасын туўры сызық бойынша кесип өтеди хәм кейин оған пүткиллей қайтпайды деп болжады.

Комета көринислериниң өзгериўинде оның қозғалыс траекторияларын үйрениў әхмийетли 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 англиз физиги Ньютон сыпатлады.

Бақланған барлық кометалардың орбиталарын басқа бир англиз 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 бақланғанларының орбита элементлери дерлик бирдей болып шықты. Бул ҳалдың 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 ҳалда басқа кометалардың да Қуяшқа кайта 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 жасаушы дийхан - астрономия ышқыпазы Г.Палич көрди.

Францияда биринши болып кометаны 1759-жылдың 21-январында Париж теңиз обсерваториясының хызметкери Мессие көрди.

Солай етип Галлейдің болжауы табыслы түрде тастыйықланды. Бул болса өз гезегинде, Ньютонның пүткил дүньялық тартылыс нызамының дурыслығын дәлилледі. Нәтийжеде Қуяш системасының ағзасы екенлиги тастыйықланған комета оны ашыушысының хұрметине Галлей деп аталатуғын болды. 102-сүүретте Галлей кометасының 1986-жылы Қуяшка жақын областлардан гезектеги өтиуи пайытында Өзбекстан Илимлер Академиясының Астрономия институты хызметкерлери тәрөпинен түсирилген фотосүүрети келтирилген.

Хәзирги заман комета астрономиясының тийкарын салыушылардан саналған рус изертлеушиси Ф.А.Бредихин XIX әсирдің екнши ярымында барлық тийкаргы комета кубылысларын түсиндире алатуғын механикалық теорияны дөрөтти. Бул теорияға сәйкес Қуяштың кометаға тәсир етиуши тартылыс күшинен бир неше есе артық үлкенликке ийе болған ийтериу күшиниң де бар екенлиги табылды. XIX әсирдің 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 көрсетиу жүдә үлкен өнерди талап етти. 1900- жылы рус алымы Н.Н.Лебедев тәрөпинен бундай нәзик тәжирийбе шеберлик пенен орынланды. Тәжирийбениң көрсетиуинше нурдың басымы хақыйқатында 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 газлердің Бредихин болжаған ийтериуши күшлери тәсиринде Қуяштан керн тәрөпке созылғанлығын түсиндириу 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 жақынласқанда ядро оның тәсиринде интенсив түрде пуўлана баслайды хәм ядро этирапында қалың газ қатламы – команы пайда етеди. Қуяштың ультрафиолет нурлары команы қураған газ молекулаларын «оятады». Нәтийжеде команың спектринде оны қураған нейтрал газлердің (азот, циан, карбонат ангидриди, метан хәм басқалар) жарық жолақты пайда етеди.

Жоқарыда еслетилип өтилгендей кометалардың қуйрықтары Қуяш нурларының басымы хәм Қуяш «самалы» ның (корпускуляр бөлекшелердің ағымы) тәсиринде пайда болады. Комета Қуяшқа жақынласқан сайын комаға газ бенен шаңның интенсив түрде айрылып шығыуының нәтийжесинде 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 тәсиринде газ молекулалары ионласады хәм бөлинип нурланады. Соның ушын бундай газли қуйрықлардың спектринде ионласқан азот, карбонат ангидриди хәм CO_2 газының эмиссиялық сызықлары пайда болады.

Шаңлы комета қуйрықларының спектри Қуяш нурларының оларда шашырағанлығына байланыслы 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 байланыслы 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.

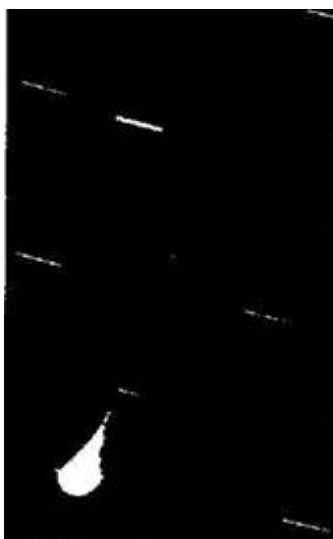
Әдеттеги көзге көринетуғын кометалар жүдә кем ушырасып, хәр бир неше жыл даўамында орташа биреўи ғана көринеди. Бирақ оларды телескоплар жәрдемінде астрономлар дерлик хәр жылы бақлайды.

1950- жылға шекем 1500 дан артық комета есапқа алынды. Олардың 400 ге жақыны телескоплар пайда болғанға шекем, қалғанлары болса телескоплар жәрдемінде ашылған.

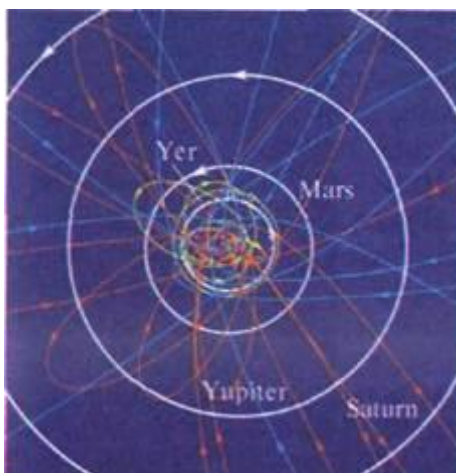
Астроном Болденның «Комсты до начала 1948 года» китабында бақланған 1619 «қуйрықлы жұлдыз» хаққында мағлыўмат келтирилген. Егер 1948- жылдан 1972-жылға шекем бақланған кометалар бул санға қосылса, онда бақланған кометалардың саны 1834 ға жетеди. Әлбетте булардың ишинде қуралланбаған көз бенен бақланғанлары жүдә аз. Дәўирли кометалардың бир топарының Қуяш этирапындағы айланыў орбиталары сүүретте келтирилген.



«Куйрықлы жұлдыз» - кометаның көриниси.



1986-жылы Галлей кометасының Қуяштың жанынан өтиуі.



«Куйрықлы жұлдыз» лардың бир топарының Қуяш этирапындағы орбиталары.

Кометалар қайсы орынларда «тууылады»? бул сораў кометалар мәселесинде еле толық шешилмеген, жумбақларға бай сораўлардан болып есапланады. Биринши болып бундай сораўға Лаплас жуўап бериўге умтылды. Ол өзиниң «Әлем системасының баянламасы» шығармасында кометалар «... думанлықларды қураған затлардан жүзеге келип, Қуяш системасына сырттан келеди» деп жазған еди.

1929-30- жыллары рус алымы С.К.Всехсвятский қысқа дәўирли кометалардың хәр гезектеги көринислериндеги жақтылықтың өзгериўин үйрениўлер тийкарында олардың жасының бир неше онлаған жылдан бир неше жүзлеген жылға шекем барыўының мүмкинлигин анықлады. Бул дәлиллер өз гезегинде қысқа дәўирли кометалар Юпитер системасының шегарасында тууылатуғынлығынан дерек береді. Бул дәлиллерге сүйенген халда өз изертлеўлери тийкарында С.Всехсвятский қысқа дәўирли кометалар Юпитер ямаса оның жолдаслары туратуғын материядан пайда болады деген гипотезаны ортаға таслады. Бирақ көплеген параболалық орбитаға ийе болған узын дәўирли кометалардың пайда болыўын бундай гипотеза тийкарында түсиндириўге болмайтуғынлығы, олардың Қуяш системасына сырттан келиўи хаққындағы гипотезаны қабыл қылыўды талап етеди.

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 бултлары деген жуўмаққа келди.

Көпшилик «қуйрықлы жулдызлар» орбиталарының перигелийлериниң Қуяштан хәм Жерден жүдә уақта жатқанлықларына байланыслы оларды көриўге болмайди. Бундай узын дәўирли кометалардың мәңги музлаған халда болғанлығынан өз газларын планеталар аралық бослыққа дерлик сарыпламайды хәм соның ушын да миллиардлаған жыллар даўамында өзгериссиз жасай алады. Бирақ жақын жайласқан жулдызлар хәм Қуяш системасы планеталарының тәсиринде бундай кометалар орбиталарының перигелийин өзгертип, нәтийжеде ол кометалар Қуяштан киши қашықлықтан өтиўши орбиталар бойынша қозғалатуғын кометаларға айланыўы мүмкин. Есаплаўлар «қуйрықлы жулдыз» лардың айырымларының бундай тәсирлердиң нәтийжесинде ўақыттың өтиўи менен Қуяш системасын пүткиллей таслап кететуғын параболалық орбиталарға өтип кетиўлериниң де мүмкинлигин көрсетеди.

Метеорлар «ушыўшы жулдызлар» хәм метеор «жамғырлары»

Түнде шырайлы из қалдырып «ушқан жулдыз» ларды ким көрмеген дейсиз? Бирақ бул «ушыўшы жулдыз» лардың хақыйқый жулдызларға ҳеш байланысы жоқлығын барлық

адам билмесе керек. Тийкарында олар аспанның «адасыўшы» майда тас бөлекшелери болып табылады. Олардың үлкенликлери миллиметрдің 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 сүйкелісип қызады хәм ушыў даўамында жүдә тез жанып кетеди. Илимдеги метеорлар деп аталыўшы «ушыўшы жулдыз»лар жолының узынлығы бул аспан денелериниң үлкенликлерине байланыслы болатуғынлығы өзи өзинен түсиникли.

Метеор бөлекшелер қандай пайда болады, олардың дереклери қайсы орынларда деген тәбийий сораў туўылады. Гәп соннан ибарат, айырым кометалар Қуяш системасының басқа аспан денелеринен айрылып, ўақыттың өтиўи менен ыдырайды. Комета хәр дайым Қуяштың қасынан өтип баратырып ядросына тийисли болған газ хәм шаңның бир бөлимин жоғалтады. Комета ядросындағы бул газ хәм шаңлардың запасының шегараланғанлығын итибарға алсақ белгили бир дәўирден соң «қуйрықлы жулдыз»лардың бассыз хәм қуйрықсыз қалатуғынын түсиниў қыйын емес. Перигелийден өтип баратырған кометаның қуйрықсыз хәм комасыз болыўы оның «ғаррылығы» нан дерек береді. Белгили бир комета қанша ўақыттан соң өз ядросындағы газдың сарыпланыўын есаплаў мүмкин болып, тап усындай есаплаўларды рус алымы С.В.Орлов Галлей кометасы ушын орынлады. Оның есаплаўлары бул комета Қуяш этирапында 330 рет айланғаннан соң, яғный шама менен 25 мың жылдан кейин газ запасынан толық айрылатуғынлығын мәлим қылды.

Астроном С.К.Всехсвятский өз изертеўлери тийкарында дәўирли комета хәр дайым Қуяштың қасынан жаңадан өтип баратырғанды оның жақтылығының кемейетуғынлығын анықлады. Бундай дәлил де салыстырмалы қысқа ўақыт ишинде кометаның газ запасларының азайып кетиўинен дерек береді. Тийкарында комета газ запасынан қутылғаннан кейин де шаңлы қуйрық пайда қылып, «шашлы» деген атты бир қанша ўақытқа шекем ақлап жүреді. Кометаның пүткиллей ыдырап көзден жоғалыўы басқа бир процесстиң – механикалық ыдыраўдың ақыбетинде де болады. Механикалық ыдыраў Қуяш жанынан өтип баратырған жүдә көп кометаларда бақланған. Мысалы 1846-жылы бақланған Биела кометасы Қуяшқа жақын аралықлардан өтип баратырып еки бөлекке бөлінген. Гезектеги 1857-жылы бақланғанда бул бөлеклердің бири екиншисинен еки миллион километрге узақласқан хәм буннан кейин усы пайтларға шекем қаншама тырысыўларға қарамастан бул комета хеш ким тәрепинен бақланбаған. 1872- жылы бул кометаның Жерге жүдә жақын аралықтан өтиўи пайытында комета орнында күшли «метеор жамғыры» бақланған (сүўретти караңыз).

1950-жылы алым Д.Д.Дубяго ыдыраған комета ядроларының метеор ағыстарының жүзеге келиуіндеги тутқан орнын терең үйренип шықты. Оның есаплауларының көрсетиуінше комета ядросын «таслап кеткен» метеор бөлөкшелериниң булты Қуяш тәрәпинен түсетуғын басыу күши тәсиринде де созылып хам кеңейип барады хәм бир неше мың жылларын соң комета орбитасы бойынша бир тегис бөлинеди. Ыдыраған кометалардың қалдықлары келешекте метеор ағыстарын пайда етиу дәлилдеринде жақсы тастыйықланды. Буның ушын ыдыраған комета орбитасы менен жыллық дәуир менен қайталанып бақланатуғын метеор ағыстарының жулдызлар ишиндеги орнын салыстырыу жеткиликли. Сондай салыстырыу нәтийжесинде хәр жылы август айында күшейетуғын «метеор жамғырлары» ның бири - Персеид метеор ағымы «1862 III» деп аталған ыдыраған комета ядросының бөлөкшелери тәрәпинен пайда қылынаатуғынлығы анықланды. Белгили Галлей кометасы да еки - Орионид деп ат алған Орион жулдыз топарыдағы хәм май айында бақланатуғын Акварид жулдыз топарларындағы метеор ағыстарын жүзеге келтиреді. Усы түрдеги «метеор жамғыры» ның онға жақыны илимге мәлим.



Метеор «жамғыры».



Айдарха жулдыз 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 қубылыстың бири Киев областында бақланған: 1970- жылдың 8-майында Иаготина қаласында бултсыз ашық хаўадан үлкен муз бөлеги Жерге урылып, бир неше бөлекшелерге ыдырап кеткен. Өлшеп көрилгенде бөлеклердиң 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 баска бир аспан денесиниң неден ибарат болғанлығын анықлаў алымлар арасында он жыллап созылған дискуссияларға себеп болып, хәзирге шекем өз сырын сақламақта.

Сибир «мийманы» Подкаменная Тунгуска дәрьясының оң жағасында жайласқан Вановаре аўылынан жүз километрге жакын арқа-батысқа ертелеп, Қуяш 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 келип түседі. Бирақ Жер бетиниң шама менен 70 проценти суў менен қапланғанлығын итибарға алсақ, бул таслардың 350 ге жақыны теңиз хәм океан түплеринен орын алып, изсиз 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 айтыўынша, 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 партлаў даўысы еситилди. Кейинги жыллары бул темир метеоритти үйрениў бойынша шөлкемлестирилген 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. Есаплаўлар 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 шығыўы хәм ол менен байланыслы тәбият қубылыслары ҳаққында» шығармасында илимий жақтан тийкарлады. Е.Ф.Хладний Красноярск үлкесине түскен темир метеоритти узақ ўақыт үйренип, оның аспаннан түскенлигине толық исеним пайда етти хәм жоқарыда тилге алынған илимий шығарманы жазыў менен метеоритикаға биринши болып тийкар салды.

Аспан тасларының Жерге түсиўи жүдә әйjemнен 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 ҳаўаның үлкен қарсылығы олардың тезден «хәўирден түсиреди». Есаплаўлардың көрсетиўинше Жерге урылыў пайытында олардың орташа тезлиги секундына 200-300 метрди қурайды. К.П.Станякович тезлиги секундына 4 километрге шекем болған таслардың Жерге урылыўы партланыў менен тамам болатуғынлығын жақтан тийкарлады. Партлаўға метеорит урылыў пайытында кратер (хәўиз) пайда етип, оның бөлеклери бир неше километрге шекем атылып кетеди. Тезлиги секундына 4 километрден артық болған аспан тасының Жерге урылыўынан ажыралып шыққан энергияның муғдары сондай массалы партлаўшы затлардан (партлаў пайытында) ажыралған энергиядан бир неше есе артық болады. Бундай үлкен тезлик пенен урылыўшы метеорит энергиясының бир бөлими оны толық пуўландырып жиберийге сарып етилсе, қалған бөлими кратер пайда қылыў хәм топырақты қыздырыўға кетеди. Бундай үлкен тезликке ерисиўши метеориттиң массасы жүдә үлкен (шама менен 100 тонна) болыўы есаплаўлардан мәлим. Соның ушын да массасы 100 тоннадан артық аспан «мийман»ларын Жерде табыўға болмайды, олар «автограф» сыпатында Жерде үлкен кратерлер ғана қалдырады. Метеорит пайда қылған бундай ири кратерлердиң 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 жуумаққа келиулерине тийкар болды. Алымлар набыт болыу жүз берген бул орыннан көп уақта болмаған орында жасаған, әйемги уақытлардағы белгили хинд қәуимлериниң әуладларынан сорастырып, кратер этирапы зонасын Алвасти жырасы деп аталатуғынлығын хәм әпсаналарға сәйкес, «бул Жерге бир уақытлары 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 қашықлықтардан метеорит бөлеклерин тапты. Мыңлап табылған метеорит бөлеклериниң улыұмалық аұырлығы 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 турғынлар арасында тарқалған «тик жар артында жанып түскен Куяш» әпсанасы бул кратерлердиң аспан таслары «бомбардировка» сының ақыбети екенлигинен дерек береди. Табылған таслардың аұырлығы бир неше килограммнан ярым тоннаға шекем жетеди.



Хенбери шөлинен табылған метеорит бөлеги.

Тәбиғаттың бундай әжайып қубылыстарында бас атқарыушы сыпатында қатнасқан онлаған ири метеоритлер планетамыздың хәр қыйлы мүйешлеріндеги музей экспонатлары қатарынан орын алған. Чихуахуада (Мексика) табылған Морита деп аталатуғын туұры конус тәризли метеориттиң аўырлығы 11 тонна болып, хәзир Мехикода сақланады. Аргентинаның Кампо-дел-Съело («Жулдызлы майдан») майданында табылған аспан «ўәкили» ниң аўырлығы 13 тоннаны, Американың тәбиғат тарийхы музейинде сақланып турған 1902-жылы Орегона тоғайларынан табылған Вилламетте темир метеоритиниң аўырлығы 14 тоннаны курайды. Синсзйан (Қытай) областының Арманти қалашасы қасына түскен метеориттиң аўырлығы 20 тонна, Танганикаға түскен Мбози атлы басқа бир метеориттиң бойы 4 метр шамасында болып, ени хәм қалыңлығы 120 сантиметр, аўырлығы 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 курап, аўырлығы 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 аўырлығы 30 тонна («Палатка»), 3 тонна («Айол») хәм 408 килограмм («Ит») ны курайды.

Планетамызда табылған ири метеоритлер ишиндеги ең ириси түслик-батыс Африкаға «өкпелеў қәдем» ин қылған болып, бул темир метеориттиң бойы хәм узынлығы шама менен 3 метрден, ени болса 1 метрден артық. Бул гигант темир «мийман» ның аўырлығы 60 тонна! Алым С.Гордонның анықлаўы бойынша метеорит Жер атмосферасына кирместен алдын 100 тонна шығатуғын болған.

Жоқарыда еслетилип өтилгениндей, метеоритлердиң 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 - Әлемниң ең кең тарқалған объектлери деп есапланады. Усыған байланыслы олардың физикалық тәбиғатын үйрениў астрономиядағы әхмийетли мәселе болып табылады.

Жұлдызлардың көринерлік жақтылықтарын (жақтылық дәрежесін) бір биринен айырыу үшін астрономияда жұлдыз 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* байлансly анықланатуғынлығы мәлим. Астрономияда жақтыртқышлардың жақтылық бергишлиги физикадағыдай жақтылық бирликлерінде (люксларда) емес, ал *жұлдыз шамалары* деп аталыушы салыстырмалы бирликлерде аңлатылады хәм m хәрипи менен белгиленеди.

Жұлдызлардың жақтылық бергишлигін жұлдыз шамаларында белгилеуді бизиң эрамыздан бурынғы II әсирде адам көзиниң нурға сезгирлигине сүйенген халда грек астрономы Гиппарх баслап берди. Ол қабыл қылған шкалаға сәйкес бир биринен 1 жұлдыз шамасына парық қылған жұлдызлар жақтылығының паркы шама менен 2,5 есеге тууры келген.

Хәзирги уақытлары жұлдыз шамаларын белгилеу илимий тийкарда, яғный адам көзи сезгирлигиниң психофизиологиялық нызамларына сүйенген халда қабыл етилген. Буның ушын жақтылықтары бир биринен 100 есеге парық қылыушы еки жұлдыздың жұлдыз шамаларының айырмасы шәртли рәуиште бес жұлдыз шамасына тең деп алынған. Жұлдыз шамаларының бул паркы бес жұлдыз шамасы интервалы ушын қабыл етилгенликтен бир жұлдыз шамасына тууры келген еки жұлдыз жақтылықтары ямаса жақтылықтарының паркы $\sqrt[5]{100} = 2,512$ ге тең болады. Жұлдыз 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-излик түринде аңлатылып, ол артқан сайын жұлдыздан Жерге шекем келген интенсивлик (жақтыландырылғанлық) киширейип барады. Мейли еки жұлдыздың көринерлік жұлдыз шамалары, сәйкес рәуиште, m_1 хәм m_2 , олардың көринерлік жақтылық бергишлигін тәриплеуши шамалары E_1 хәм E_2 болсын. Бул жағдайда

$$E_1 = 100E_2$$

болғанлығынан

$$m_2 - m_1 = 5$$

ке тең болады. Сонлықтан, бул еки жұлдыздың жақтылық бергишликлериниң қатнасы олардың көринерлік жұлдыз шамалары менен төмендегидей байланыста болатуғынлығына аңсат аңлау мүмкин:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}$$

яки бул теңликтің хәр еки тәрәпин де логарифмлеп

$$\lg \frac{E_1}{E_2} = (m_1 - m_2) * 0,4$$

аңлатпасына ийе боламиз. Бул аңлатпа *Погсон формуласы* деп аталады.

Жуўмақлап айтқанда жұлдуз шамаларының шкаласы деп, бақланатуғын жақтыртқышлардың жақтылық бергишликтери салыстырылатуғын логарифмлик шкалаға айтылады.

Адамның нормал көзи 6-шамаға шекемги болған жұлдызларды көреді. Жақты жұлдызлардан Веганың (Лира жұлдызлар топарының ең жақтылы жұлдызы) жұлдуз 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 (жұлдуз үлкенлиги +24^m, +25^m) жұлдызларды көре алады.

Абсолют жұлдуз шамасы

Жұлдызлардың көринерлик жұлдуз 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 жұлдуз шамалары бирдей болмайтұғынлығы алдыңғы параграфтан белгили. Сонлықтан жұлдызлардың қашықлықтарын билмей турып олардың көринерлик шамаларына сәйкес жақтылықтарын салыстырыўдың хеш илажы жоқ. Бул мәселени шешиў ушын астрономлар барлық жұлдызларды Жерден (яки Қуяштан) бирдей қашықлыққа алып келип, жұлдуз шамаларын анықлаўды хәм кейин усы тийкарда олардың хақыйқый жақтылықтарын салыстырыўды мақсет етип қойды. Бундай аралық сыпатында астрономлар 10 парсекли қашықлықты алды. Солай етип жұлдызлардың бизден 10 парсек қашықлыққа келтирилгендеги анықланған көринерлик жұлдуз шамалары олардың *абсолют жұлдуз шамалары* деп аталатуғын болды хәм М хәрипи менен белгиленди. Бул 10 парсекли стандарт аралық шама менен $2 * 10^6$ астрономиялық бирликке тең болады. Сонлықтан Қуяшты 10 парсек қашықлыққа алып барып қойғаннан кейинги интенсивлиги оның 1 а.б. қашықлықта турғандағы интенсивлигинен $\frac{1}{(2 * 10^6)^2}$ есе, яғный $4 * 10^{12}$ есе кемейеди. Интенсивликтің

хәр 100 есе кемейиўи 5 жұлдуз шамасыне туўры келетуғынлығын итибарға алса, онда интенсивликтің $4 * 10^{12}$ есе кемайиўи жұлдуз шамасының 31,5 есе артыўына алып келеди.

Сонлықтан 10 пк қашықтыққа «қойылған» Қуяштың көринерлік 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.

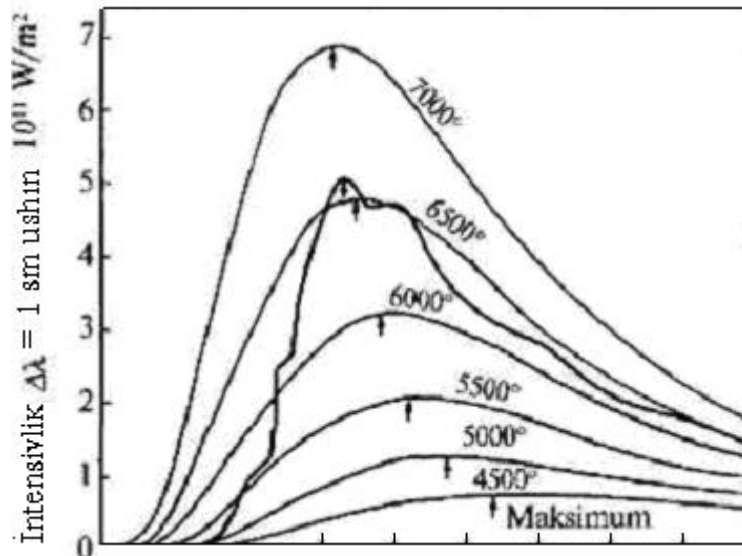
Центавр жұлдыз топарының бизге ең жақын жайласқан жақтылы жұлдызының (Проксима) көринерлік жұлдыз шамасы $m = 0$ болып, Қуяштан узақтығы 13 пк. Ол 10 пк қашықтыққа алып келингенде оның интенсивлиги $\frac{1}{(1,3)^2} = 8^2 = 64$ есе артады. Бул жұлдыз шамасының 4,5 есе кемейіуине алып келеди. Демек оның абсолют жұлдыз шамасы $M_{\text{Pr}} = 0 - 4,5 = -4,5$ болады. Буннан көринип турғанындай, бир жұлдыздың көринерлік жұлдыз шамасы хэм 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 қашықтық белгиленген.

Жұлдызлардың реңи хэм 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, кейин температурасының арта бериўи менен ақшыл сары, сары хэм ақырында ақ реңге ийе болады. Усыған уқсас жұлдызлардың реңи де олардың бетиниң температуралары хаққында белгили мағлыўмат береди. Мысалы Қуяшымыз сары реңдеги жұлдыз болып есапланады. Бетиниң 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.



Жулдызлар спектріндегі энергияның бөлістирилиуі (ийрек сызық Қуяш үшін).

Жулдызлардың температурасын анықлаудың бір неше түрлі ұсылы бар. Олардың бири жулдызлардың спектріндегі энергияның таркалыуын изертлеу болып табылады. Бул жағдайда нурланыу энергиясының максимумы тууры келген толқын ұзынлығына сүйенген халда Виннің ауысыуы нызамынан пайдаланылады (сүүрет):

$$\lambda_{\max} * T = 0,29 \text{ град} * \text{см.}$$

Соның менен бирге жулдыз спектринің хәр қыйлы участкаларындағы нурланыу энергиясының айырмасына сәйкес астрономлар олардың анық реңин белгилайди хәм соңынан жулдыздың табылған бул рең көрсеткиши тийкарында да жулдызлардың температураларын анықлайды. Жулдызлардың реңи көк реңге жақынласқан сайын олардың температуралары артып барады. Бундай ұсыллар менен табылған жулдыз температурасы тек оның бетине тийисли болып, олардың ишки бөлиминен тийисли температуралары жулдызлардың спектри, массасы, тығызлығы хәм анықланған ишки басымына сәйкес теориялық есаплаулар жәрдемінде табылады. Бундай жол менен табылған жулдызлардың ишки бөлиминен тән температуралар бир неше миллионнан онлаған миллион градусқа шекем (орайында) барады. Қуяштың орайындағы температура 16 миллион градусты курайды. Ыссы жулдызларда болса бул шама 100 миллион градусқа шекем барады.

Жұлдызлардың жақтылық бергишлиги

Көпшилик жұлдызлар көринерлік жақтылықтары менен бир бирине уса да тийкарғы тәбиятлары менен бир биринен кескин айырмаларға ийе болатуғынлығы анықланған. Буның себеплериниң бири олардың хәр қыйлы қашықлықларда жайласқаны болса, екиншиси олардың хәр қыйлы қууатлылықта нурланыуында болып табылады.

Жұлдыздың нурланыу қууаты оның *жақтылық бергишлиги* деп аталып, ол жұлдыздан бир секундта бөлинип шығатуғын толық нурланыу энергиясы менен характерленеди. Жұлдызлардың 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.

Көринерлік жұлдыз шамасы m_{ϵ} болған Қуяшты (1 а.б. қашықлықта) белгили бир r а.б. қашықлыққа апарып қойылғанда көринерлік жұлдыз 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 жұлдыздың көринерлік жұлдыз шамасы m_* хәм Қуяштың көринерлік жұлдыз шамасы m' арасындағы айырма жұлдыз Қуяшқа салыстырғанда қанша есе көп нурланыу энергиясына, басқаша айтқанда, жұлдыз хәм Қуяштың жарықлықтарының қатнасы L_*/L_{ϵ} 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_{ϵ} Қуяш пенен жұлдыздың көринерлік жұлдыз шамалары хәм жұлдызға шекем болған қашықлыққа (астрономиялық бирликлерде аңлатылған) байланысы болады екен.

Егер Қуяш хәм ықтыярлы жұлдыз абсолют жұлдыз шамаларында (M_{ϵ} хәм M_*) берилген болса, онда олардың жарықлықтарының қатнасының логарифми мына аңлатпадан табылады:

$$\lg (L_*/L_{\epsilon}) = 0,4(M_{\epsilon} - M_*).$$

Жулдызлардың жарықтықтарын үйрениуден олардың жарықтықтарының 0,0001 Күяштың жақтылық бергишлигинен бир неше он мың Күяш жақтылық бергишлигине шекемги шекарада өзгеретуғынлығын көрсетеди.

Жүдә үлкен жарықтыққа ийе болған жулдызлар ишинде гигантлар хәм аса гигантлар айрықша орын ийелейди. Гигантлардың бир бири менен салыстырылғанда бетиниң температурасы төмен ($3,4 \cdot 10^3$ К) 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 катардағы ўәкиллери болып есапланады.

Аса гигантлар болса жарықтықтары Күяштыкинен он мың еседей артық болған жулдызлар болып, олардың реңи хәр қыйлы болады. Көк реңдеги аса гигантларға мысал ретинде Ригелди (арабша «Риж-Әл-Жавзо» сөзлериниң бузылған формасы - «Пахлавонның аяғы» - Орион жулдыз топарының бетасы); қызыл аса гигантларға - Антарести (Ақраб жулдыз топарыдағы ең жақты жулдыз), Бетелгейзени (арабша «ибт-ал-Жавзо» сөзлериниң бузылған формасы - «Пахлавонның оң желкеси» - Орионның ең жақты жулдызы) келтириў мүмкин.

Хәр қыйлы жарықтықтағы жулдызлардың спектрлери де бир биринен бир аз парық қылады. Усыған байланыслы базы бир спектрдағы сызықларға сәйкес оның жақтылық бергишлигин бахалаў мүмкин. Усы жол менен жарықтықтары анықланған жулдызлардың көринерлик жулдыз шамалары жәрдемінде оларға шекемги қашықтықларды анықлаў мүмкин болады. жулдызларға шекемги қашықтықларды анықлаўдың бул усылы спектраллық параллакс усылы деп аталады.

Жулдызлардың спектри хәм спектраллық класслары

Астрономлар жулдызларға тийисли болған әхмийетли мағлыўматларды олардың спектрлерин талқылап қолға киргизеди. Жулдызлардың спектри, мысалы Күяштың спектри де сызықлы жутылыў спектри болып, жарық тутас спектрдин фонында атомлар, ионлар хәм молекулаларға тийисли жутылыў (Фраунгофер) сызықларынан турады.

Жулдызлардың спектрлери бир биринен толқын узынлығы бойынша нурланыў энергиясының хәр қыйлы шама менен бөлистирилиўине сәйкес парықланады. Соның менен бирге бул спектрлер олардағы атмосфераның химиялық қурамына тийисли хәр қыйлы элементлерге тийисли сызықлары хәм усы сызықлардың интенсивликлери менен де бир биринен парық қылады.

Температуралары бір бирине жақын жұлдызлардың химиялық құрамы бір биринен кескин парық қылмайды. Жұлдызлар спектрінде ең көп тарқалған элементтер - водород пенен гелий болып табылады. Бул элементтердің жұлдыз спектрінде бақланған интенсивлиги бул жұлдыз атмосферасының физикалық халын белгилеп, көп тәрептен оның температурасына байланыссы болады.

Жұлдызлардың спектрлары жети тийкарғы спектраллық классларға бөлінген. Олар латын әлипбесінде аңлатылып төмендеги тәртіпте жайласады: O-B-A-F-G-K-M. Белгили бир классқа топланған спектрлер өз гезегінде 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 реңлери избе-излигинде өз орнын табады. Салыстырмалы салқын - қызыл жұлдызлардың спектрінде нейтрал атомлардың хәм хәтте молекулалық бирикпелердің сызықлары көп ушырайды, ал, ыссы хаўа реңли жұлдызлардың спектрінде ионласқан атомлардың сызықлары көплек ушырайды.

Сол классқа кириўши жұлдызлардың спектрінде ионласқан гелий, углерод, азот хәм кислородтың интенсив жутылыў сызықлары, сондай-ақ спектрдың ультрафиолет бөлиминдеги айырым химиялық элементтер атомларының көп есе ионласқан сызықлары да ушырайды. Хаўа реңли бундай жұлдызлардың температурасы 25000-30000 градусқа шекем жетеди.

В классқа кириўши жұлдызлардың спектрінде нейтрал гелий сызықлары жүде интенсивли болады. Ақ-көгис реңдеги бундай жұлдызлардың температурасы 17000 К этирапында.

А классқа кириўши жұлдызлардың спектрінде водородтың жутылыў сызықлары интенсивли болып, жұлдыз бетинде температурасы 11000 К болады.

F классқа кириўши жұлдызлардың спектрінде водород сызықлары күшсизленип, кальцийдің ионласқан сызықлары интенсивли болады. Ашық сарғыш реңли, температурасы 7000 К.

G классқа кириўши жұлдызлардың спектрінде (соның ишинде, Қуяш спектрінде) металларға тийисли нейтрал хәм толық емес ионласқан атомлардың сызықлары интенсивли хәм кең тарқалған. Водородтың сызықлары бир қанша күшсизленген (интенсивлиги пәсейген) болады. Температурасы 6000 К.

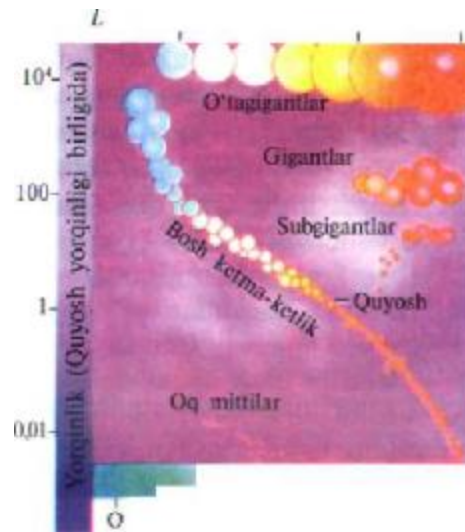
K классқа кириўши жұлдызлар спектрінде металлардың жутылыў сызықлары менен бирге молекуляр бирикпелердің де сызықлары бақланады. Реңи ақшыл сары, температурасы 3500 К.

М классқа кириўши жұлдызлардың спектринде болса молекулалардың спектрал жолақлары (айрықша титан оксидине тийисли) интенсивли түрде түс алады. Қызыл реңли, температурасы 2500 К.

Жұлдызлардың спектриниң хәр қыйлы болыўы олардың атмосферасындағы физикалық шараятқа, химиялық қурамының хәр қыйлылығына хәм (ең әҳмийетлиси) хәр қыйлы температураға ийе екенликлери менен түсиндириледі. Жұлдызлардың температурасы артқан сайын оның атмосферасындағы молекулалар атомларға бөлинеді. Буннан да жоқары температурада атомлар да бөлеклерге бөлинип, электронларын жоғалтады хәм ионларға айланады. Бул нәрсе жұлдызлардың спектраллық классларының өзгешеликлеринен аңсат көринеді.

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 әсирдиң 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, екиншиси 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, $L_{\epsilon} = 1$), спектраллық класслар көшерине параллел көшерде болса олардың рең көрсеткишлерин ямаса эффективли температураларын алыў мүмкин (сүўретте берилген).



Спектр-жақтылық бергишлик диаграммасы.

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.

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 жақтылықлыққа 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 көринеди.

Бирақ жұлдызлардың жақтылықлықлары хәм спектраллық класслары арасындағы байланысты итибар менен үйрениў диаграммада бас избе-изликтен басқа және де бир неше избе-изликлердиң ашылыўына алып келеді. Бул избе-изликлер *жақтылықлық класслары* деп аталады хәм олар I ден VII ге шекем рим цифралары менен белгиленеди (111-

сүүрет). Бул цифралар болса өз гезегинде жұлдыздың спектраллық классынан кейин қойылады.

Жақтылық 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;

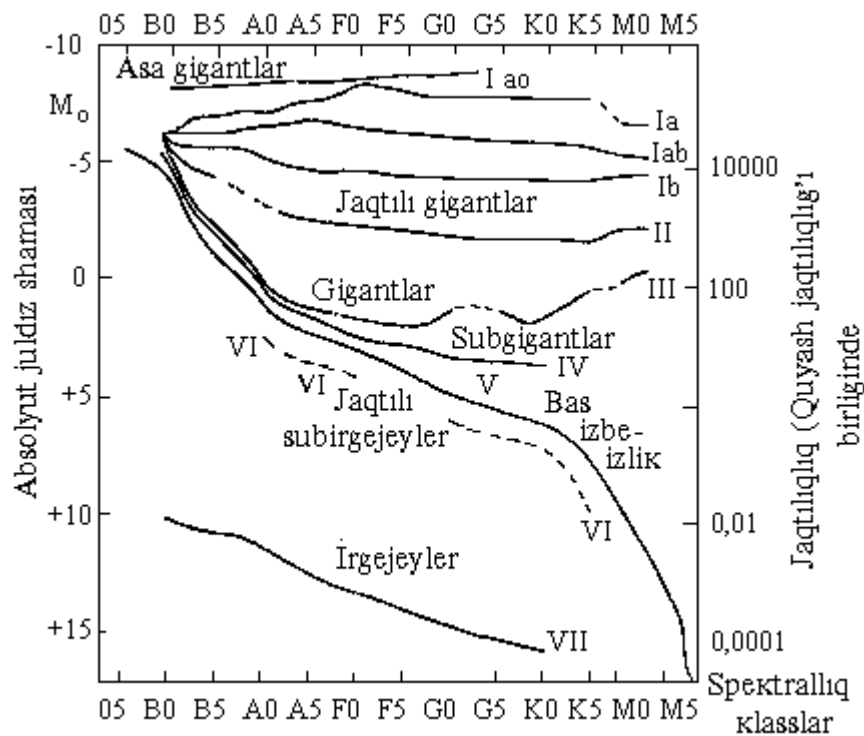
III класс- гигантлар;

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 жақтылық класслары.

Бир жұлдызды белгили бир жақтылық классына тийислиги спектраллық класстың арнаўлы белгилери арқалы анықланады. 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 болады, бирақ басқа бир металларға тийисли сызықлардың интенсивликлери жүдә аз парық қылады.

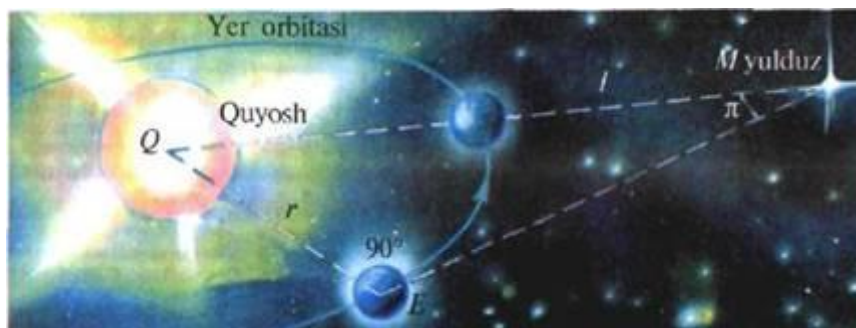
Жұлдызлардың спектраллық класслары олардың жақтылықлық класслары менен қосып үйренілгенде жұлдызлардың абсолют шамаларын анықлаўға имканият береді. Жұлдызлардың анықланған абсолют жұлдыз шамалары болса өз гезегинде жұлдызларға шекемги қашықлықларды анықлаўға имканият береді.

Жұлдызлар жақтылық бергишлигиниң олардың спектриндеги анық сызықлар интенсивликлериниң қатнасына эмперикалық байланыслылығына тийкарланған жұлдызларға шекемги қашықлықларды анықлаў методы жоқарыда еслетилгендей спектраллық параллакс методы деп аталады.

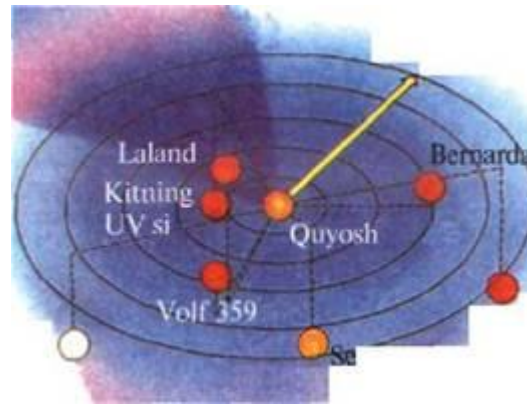
Спектраллық параллакс методының тригонометриялық методлардан әпиўайылығы соннан ибарат, спектраллық параллакс жүдә үлкен қашықлықларда жайласқан хәм спектрлерин алыў имканияты болған барлық жақтыртқышлардың қашықлықларын анықлаўға имканият береді.

Жыллық параллакс хәм жұлдызларға шекемги қашықлықларды анықлаў

Жұлдызларға шекемги қашықлықты анықлаў олардың жыллық параллакслық жылжыўларына тийкарланады. Қуяш әтирапында радиусы шама менен 150 миллион километрли шеңбер бойынша қозғалатуғын Жердеги бақлаўшы салыстырмалы жақын қашықлықлардағы жұлдызлардың узақтағы жұлдызлар фонында жылжып, бир жыл ишинде шеңбер (жұлдыз Жер орбитасы тегислигине перпендикуляр бағдарда жайласқанда), эллипс (жұлдыз Жер орбита тегислигине мүйеш жасап жайласқанда) сызыўын бақлайды.



Жулдызлардың жыллық параллаксы.



Қуяштан 10 жақтылық жылына тең қашықтыққа шекем жайласқан жұлдызлар.

Жақтыртқыштың параллакстық жылжыуы деп жүргизилиуі бундай сызықтардың (шеңбер ямаса эллипс) мүйешлик өлшеми жұлдыздың узақтығына сәйкес хәр қыйлы үлкенликте болып, ол бул жақтыртқыштан қаралғанда қарау сызығына перпендикуляр болған Жер орбитасы радиусының көринерлик мүйеши π ди өлшеуіге имканият береді (112-сүүрет). Жақтыртқыштың жыллық параллаксы деп аталыушы бул π мүйеш болса өз гезегинде усы жақтыртқыштың Қуяш системасынан (демек, Жерден) узақтығын өлшеуіге имканият береді. Тең тәрепли тууры мүйешли үш мүйешлик ҚЕМ 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 қашықтықты тәриплейди. Жыллық параллакс мүйеши π жүдә киши болып, мүйешлик секундтың үлеслеринде өлшенгенликтен жақтыртқышқа шекемги аралық ($r = a.б$): $l = \frac{r}{\pi * \sin 1''} = \frac{1 * 206265}{\pi} a.б$ формуласы жәрдемінде есапланады. Егер аралық парсеклерде өлшенсе $l = \frac{1}{\pi''}$ болады.

Биринши рет 1886-жылы сондай усыл менен Веганың (Лираның альфасы) жыллық параллаксы өлшеніп, бул жұлдызға шекем қашықтықты белгили Пулково (Россия) обсерваториясының тийкарын салыушы В.Я.Струве анықлады. Бундай усыл менен салыстырмалы жақын ($\pi \geq 0,01''$) жұлдызларға шекемги қашықтықтар анықланады. Сондай усыл менен қашықтығы өлшенген Қуяштан 10 жақтылық жылына шекемги қашықтықта жатқан жұлдызлар сүүретте келтирилген. Жүдә узақтағы жұлдызларға шекемги аралық

болса олардың көринерлік хәм абсолют шамалары (m , M) тийкарында $\lg r = \frac{m - M}{5} + 1$

(пк) формуласы жәрдемінде табылады.

Жулдызлардың өлшемлерин есаплау

Жулдызлар жүдә узақ қашықтықта болғанлықтан ең ири телескоплар арқалы қаралғанда да олар тийкарынан ноқат тәризли болып көринеди. Тек айырым жулдызлардың мүйешлик өлшемлерин ғана арнаўлы телескоплар - жулдыз интерферометрлері жәрдемінде өлшеўдиң илажы бар.

Жулдыздың бул усыл менен анықланған көринерлік диаметри (d''), оған шекемги аралық L мәлим болғанда жулдыздың сызықлы өлшеми (диаметри) D мына аңлатпадан табылады $D = L \cdot \sin d''$. Бирақ көпшилик жулдызлар ноқат түрінде болғанынан олардың өлшемлерин табыу үшін басқа усылдан пайдаланады.

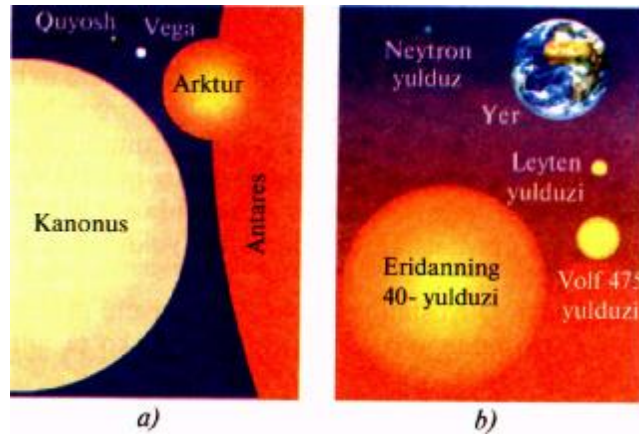
Мәлим, жулдызларды абсолют қара дене деп қарап олардың толық нурланыу куйатын Стефан-Больцман нызамына сәйкес $L_* = S_* \cdot \sigma T_*^4$ деп жазыу мүмкин. Бул Жерде σ Стефан-Больцман турақлысы $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$, S_* жулдыздың бети (шар бети), T_* бетиниң температурасы. Шар бети $S = 4\pi R^2$ болғанлықтан жулдызлардың жақтылық бергишлиги $L_* = 4\pi R_*^2 \cdot \sigma T_*^2$ болады. Егер бул аңлатпаны Қуяш үшін жазсақ $L_{\epsilon} = 4\pi R_{\epsilon}^2 \cdot \sigma T_{\epsilon}^4$ гке ийе боламыз. Бул аңлатпалардың сәйкес тәреплериниң қатнасын алсақ

$$\frac{L_*}{L_{\epsilon}} = \left(\frac{T_*}{T_{\epsilon}} \right)^4 \left(\frac{R_*}{R_{\epsilon}} \right)^2 \text{ аңлатпасына ийе боламыз.}$$

Жулдыздың жақтылық бергишлиги L_* хәм температурасын басқа жоллар менен анықлап, оның радиусын Қуяш радиусы бирликлерінде ($R_{\epsilon} = 1$) жоқарыдағы теңдиктен тапсақ, онда

$$\lg R_* = \frac{1}{2} \lg \frac{L_*}{L_{\epsilon}} - 2 \lg \frac{T_*}{T_{\epsilon}}$$

болады.



Қуяштың өлшеми гигант жұлдызлар (а) хәм Жер өлшеминдеги киши жұлдызлар (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 қашықлық. Бул жағдайда Қуяштың радиусы:

$$R_{\epsilon} = 1,5 \cdot 10^{11} \cdot \operatorname{tg} 16' \cdot 7 \cdot 10^8 \text{ м}$$

яки шама менен 700000 километрге тең.

Гигант хәм аса гигант жұлдызлар 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 курайды. Бундай жұлдызлардың көпшилиги ак ренде болып, оларды ак иргежейлилер деп атайды. сүўретте қызыл гигантлар менен ак иргежейлилердиң өлшемлери Қуяштың хәм Жердиң 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 парқы соннан ибарат, жұлдызлардың массаларын анықлаў ең қурамалы мәселелердиң қатарына киреди. Егер жұлдыздың этирапында жолдасы болса, онда жұлдыздың оған түсиретуғын гравитациялық тәсири тийкарында жұлдыздың массасын анықлаў мүмкин.

Усындай жол менен Қуяштың этирапында айланыушы планеталардың дәуірлері де Қуяштан орташа қашықтықтарына байланысly анықланған Қуяштың массасы $2 \cdot 10^{30}$ кг ды қурайды.

Жұлдызлар этирапында олардың жолдасларының көпшилік болыуына байланысly (айырымларын есапқа алмағанда) бул усыл менен олардың массаларын анықлаудың илажы жоқ. Бирақ көп жағдайларда жұлдызлар қос халда ушырасып, олардың улыумалық масса орайы этирапында айланыу дәуірлерине сәйкес массаларын есаплаудың имканияты бар. Бул жағдайда Кеплердің Ньютон тәрепинен анықлау киргизилген нызамынан пайдаланылады. Қос жұлдызлардың бул усыл менен анықланған массалары есаплаулардың көрсетиуинше 0,1 Қуяш массасынан 100 Қуяш массасына шекем болады екен. Массалары $10-50 M_{\odot}$ 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 жақтылықлықлары менен салыстырып үйрениу нәтийжесинде бул еки физикалық шамалар арасында байланыстың бар екенлиги анықланды: жұлдыздың жақтылықлығы оның массасының шама менен төртинши дәрежесине пропорционал екен, яғный:

$$\frac{L_*}{L_{\odot}} = \left(\frac{M_*}{M_{\odot}} \right)^4.$$

Бул аңлатпадан көринип турғанындай жұлдыз Қуяштан үш есе артық массаға ийе болса оның жақтылық бергишлиги Қуяштыкинен 81 есе артық болады екен.

Масса хәм жақтылықлық арасындағы бундай байланыс тийкарында жақтылықлықлары анықланған жұлдызлардың массаларын табыу мүмкин. Бул хәзирге шекемги ўақытларда астрономияда жолдасы анықланбаған ямаса Қос системаны курамайтуғын жеке жұлдызлардың массаларын анықлаудың бирден бир жолы болып есапланады.

Қос жұлдызлар

Биринши рет қарағанда аспанда жұлдызлар жеке түринде жасайтуғын болып көринсе де олардың көпшилиги тийкарынан екиден, үштен ямаса оннан да көбирек санда бир бири менен динамикалық байланысқан халда жасайды. Олар ишинде айрықша қос жұлдызлар (яғный жуп халдағылары) көбирек ушырайды. Бирақ қос болып көринген жұлдызлардың хәммеси де қос бола бермейди. Олардың ишинде хәр қыйлы қашықтықларда жайласып,

өз-ара хеш бир динамикалық байланыспаған хәм белгили бир қараў 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.

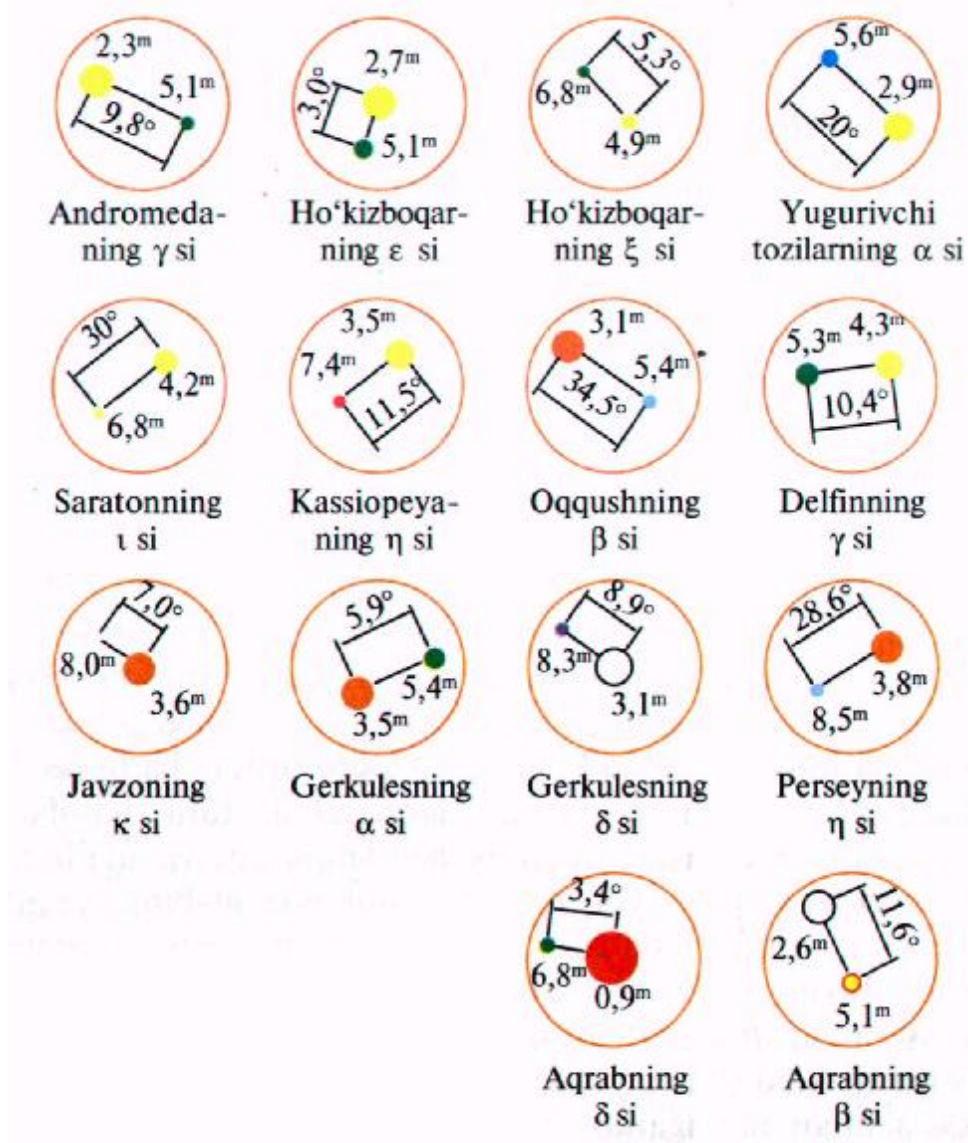
Егер физикалық қос жұлдызлардың қураўшылары қуўатлы телескоп пенен қаралғанда бир биринен тиккелей ажыратып көриў мүмкин болған мүйешлик қашықлықта жайласқан болса оларды *визуал қос жұлдызлар* деп атайды. Бир бирине салыстырғанда жүдә киши мүйешлик қашықлықларда жайласқан қос жұлдызларды өз алдына ажыратып көриўдин хеш илажы жоқ болып, олардың қос екенлиги фотометрлик ямаса спектраллық усыллар жәрдеминде анықланады. Соған байланыслы олар сәйкес рәуиште *тутылыўшы қос жұлдызлар* хәм *спектраллық қос жұлдызлар* деп аталады.

Визуал қос жұлдызға мысал ретинде көпшиликке жақсы таныс болған үлкен Жети қарақшы (Шөмиш) жұлдыз топарыдағы «шөмиш ручкасы» ның ақырынан санағанда екінши жұлдызын алыў 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 көриў мүмкин (сүўретте келтирилген). Буннан кейинги сүўретте визуал қос жұлдызлардың ўәкили Үлкен Жети қарақшының ξ иниң тийкарғы жұлдызға салыстырғанда бақланған жолдастың орбитасы келтирилген.

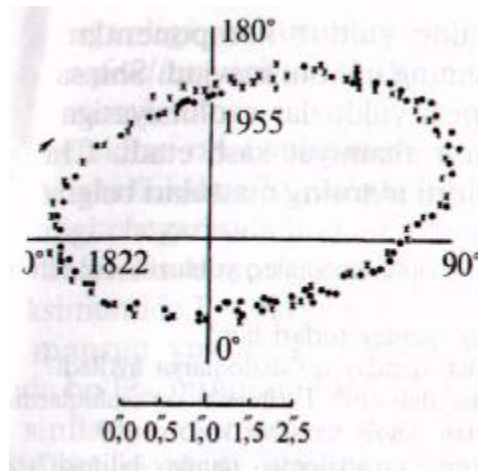
Тутылыўшы қос жұлдызлардың қатардағы ўәкили әйемги ўақытлары араблар анықлаған хәм Алгул («Девтиң көзи» мағанасын береді) деп атаған Персей жұлдыз топарының β жұлдызы болып табылады. Бул қос жұлдызлардың орбита тегисликлериниң қараў сызығы бойлап жатқанлығынан, улыўмалық масса орайы этирапында шеңбер бойынша айланыў барысында олар бир бириниң алдынан өтеди хәм нәтийжеде жұлдыздың жақтылығы дәўирли рәуиште (3 суткалық) өзгерип, олардың қос екенлигинен дерек береді (сүўретте көрсетилген).

Ал спектраллық қос жұлдызлардың қос екенликери олардың бир бириниң үстине түскен спектрлериндеги улыўмалық сызықлардың (хәр еки жұлдыз спектринде де бар сызықлардың) бир бирине салыстырғанда дәўирли жылжыўынан (жұлдызлардиң бир бирине салыстырғандағы қозғалғанлығына байланыслы) билинеди.

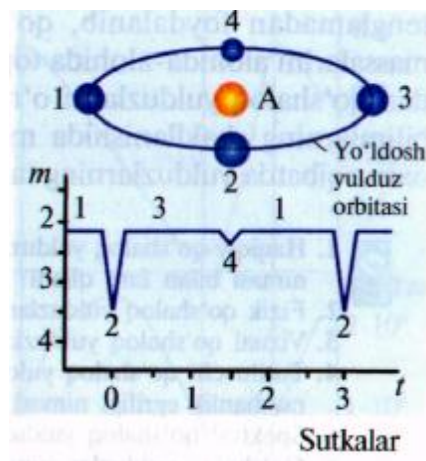
Андромеданың γ сы.	Қурбақаның ε си.	Қурбақаның ξ жұлдызы.	Жүгириўши тазылардың α сы.
Саратанның ι жұлдызы.	Кассиопеяның η сы.	Аққуўдың β сы.	Дельфиннің γ сы.
Явзонның κ сы.	Геркулестиң α сы.	Геркулестиң δ сы.	Персейдиң η сы.
		Ақрабтың δ сы.	Ақрабтың β сы



Таныс жұлдызлар дүркінлерінде бақланатуғын кос жұлдызлар (Жұлдыз шамалары хәм өз-ара мүйешлик қашықлықлар берилген).



Визуал қос жұлдыздың (Үлкен Жети қарақшының ξ сы) орбитасы.



Тутылыўшы қос жұлдыз (Алгол - Персейдің β сы).

Көпшилик қос жұлдызлардың хақыйқый қос жұлдыз ба ямаса оптикалық қос жұлдыз ба екенлигин анықлаў ушын олардың қозғалысларын узақ жыллар бақлаўға туўры келеди. Хақыйқый қос жұлдызлар қураўшыларының жеке қозғалысларының дерлик бирдей көриниўинде болады. Қазирге шекем хәр қыйлы методлар жәрдеминде табылған тығыз Қос жұлдызлардың саны онлаған мыңды қурайды. Олардан 10% ға жақынының салыстырмалы (бас жұлдызға салыстырғандағы) орбиталары анықланған.

Қос жұлдызлардың қураўшылары кеңисликте Кеплер нызамларына бойсынған ҳалда қозғалып, олардың екеўи де олардың улыўмалық массалары орайы этирапында бир бири-не уқсас эллипслер бойынша қозғалады. Қызығы соннан ибарат, жолдас жұлдыздың бас жұлдыз этирапындағы салыстырмалы қозғалыс траекториясы да тек сондай эксцентритетли эллипстен ибарат болады. Пайда болған бундай эллипстин үлкен ярым көшери қураўшы жұлдызлардың эллипс тәризли орбиталарының үлкен ярым көшерлериниң қосындысынан ибарат болады.

Егер қос жұлдызлардың улыўмалық масса орайына салыстырғандағы орбиталарының үлкен ярым көшерлериниң қатнасы мәлим болса, усы тийкарда олардың массаларының

қатнасын анықлау мүмкін. Соның менен бирге жолдас жұлдыздың орбитасының үлкен ярым көшери тийкарында Кеплердің улығмаласқан 3-нызамынан пайдаланып жұлдызлар массаларының қосындысын да табыу мүмкін. Сонлықтан бул еки теңлемеден пайдаланып қос жұлдыз құраушыларының массаларын өз алдына табыудың имканияты бар. Усы себептен қос жұлдызларды үйрениу жұлдызлар эволюциясына тән билимлердің қәлиплесиуінде әҳмийетли орынды ийелейди. Себеби ақыр-аяғында жұлдызлардың тәғдирин олардың массалары белгилейди.

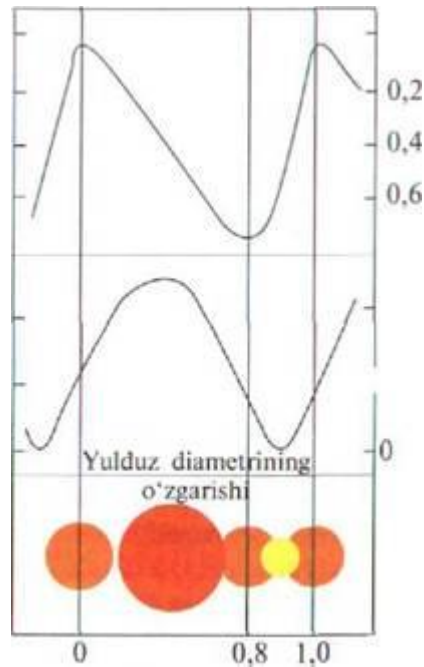
Физикалық өзгериуши жұлдызлар

Физикалық өзгериуши жұлдызлардың жақтылықларының өзгериуиниң тутылыушы қос жұлдызлар жақтылықларының дәуирли өзгериуинен парқы усы жұлдызлардың қорында өтетуғын физикалық процесслерге байланыслы пайда болады. Физикалық өзгериуши жұлдызлар жақтылығының өзгериу характерине байланыслы пулсацияланыушы хәм еруптив өзгериуши жұлдызларға бөлинеди.

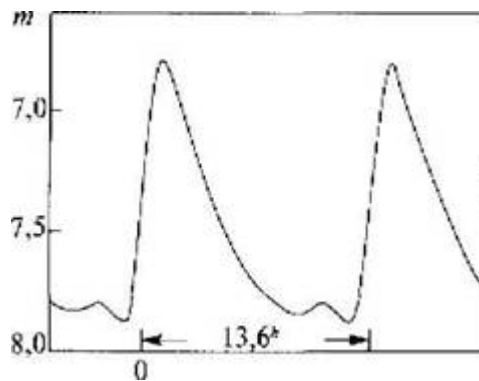
1. Пулсацияланыушы өзгериуши жұлдызлар – жақтылығының бир қәлипли өзгериуи менен характерленеди. Бундай өзгериуши жұлдызлар жақтылықларының өзгериуи тийкарынан олардың бет қатламларының пулсацияланыушының салдарынан болғаны ушын да олар сондай деп аталады. Пулсацияланыуға байланыслы бундай жұлдызлардың радиуслары артып атырғанда олардың жақтылықлығы хәм температурасы максимумға ериседи. Керисинше киширейиу барысында (яғнай жұлдыз қысылып атырғанда) болса жақтылықлығы хәм температурасы төменлейди. Пулсацияланыушы өзгериуши жұлдызлар дәуирлериниң узынлығы хәм жақтылықларының өзгериу дәрежесине байланыслы цефеидлерге хәм Лираның RR типиндеги жұлдызларға бөлинеди.

Цефеидлердің жақтылықларының иймеклиги өзине тән формаға ийе болып, олардың тийкарғы физикалық шамаларынан есапланған көринерлик жұлдыз шамаларының ўақыт бойынша өзгериу дәуири бир неше суткадан бир неше онлаған суткаға шекем жетеди. Бундай жұлдызлардың жақтылықларының иймеклиги Цефей жұлдыз топарының δ жұлдызының өзгериуине ұқсағанлығы ушын да олар *цефеидлер* деп аталады (сүүретте көрсетилген).

Цефеидлердің жақтылығының өзгериуи 0,1 дан 2,0 жұлдыз шамасы аралығында болады.



Цефеидлердин (Цефейдин δ типиндеги жұлдызы) жақтылығы (Δm) хэм радиусының өзгеріуі (ΔR) иймекликлери.



Лираның RR өзгеріуши жұлдызы жақтылығының өзгериси.

Цефеидлер шақмағының максимумында F спектрал классқа кириуши жұлдыздың түрінде болып, минимумида G, K классларына кириуши жұлдызлардың түрине енеди. Жақтылықларының бундай болып өзгеріуи жұлдыз температурасының орташа 1500 градусқа өзгеріуине сәйкес келеди. Цефеидлер спектринде бақланатуғын сызықлар оның жақтылығының өзгерисиниң фазасына сәйкес рәуиште қызыл ямаса фиолет тәрепке қарай жылжып турады. Бундай жылжыулар да дәуирли характерге ийе болып, қызыл жылжыуының максимумы цефеид жақтылығының минимумына, фиолет жылжыуының максимумы болса жақтылығының максимумына туұры келеди. Цефеидлердин дәуирлери хэм жақтылықлары арасында байланыс бар болып, олар жақтылықларының артыуы дәуирлериниң артыуында өз сәулесин табады.

Цефеидлер F хәм G класларға кириўши гигант хәм аса гигант жұлдызлар болғанлықтан олардың Галактикамыздан сырттағы объектлерде де көриўиниң имканияты бар.

Лираның RR типиндеги өзгериўши жұлдызлар A спектраллық классына кириўши гигант жұлдызлар болып, жақтылығының өзгериў интервалы 1-2 жұлдыз шамасына шекем барады. Спектраллық классларының өзгериўи A хәм F класслар менен шегараланады. Бул типтеги жұлдызлардың жақтылықларының өзгериў дәўири 0,05 суткадан 1,2 суткаға шекем болып, жүдә үлкен дәллик пенен бақланады (сүүрети келтирилген).

Цефей жұлдыз топарының β сы ямаса үлкен ийт жұлдыз топарының β сы типиндеги физикалық өзгериўши жұлдызлар жақтылығының иймеклиги бойынша RR типиндеги жұлдызларды еслетсе де, жақтылық бергишлигиниң жүдә аз өзгериўи (0,2 жұлдыз шамасында) менен олардан парық қылады. Бул типтеги жұлдызлардың өзгериў дәўири 3 сааттан 6 саатқа шекем барып, цефеидлердики сыяқлы жақтылықларының өзгериўи дәўирине байланыслы болады.

Өзгериўши жұлдызлардың бул еки тийкарғы түринген басқа узын дәўирли өзгериўши жұлдызлар да бар.

Савр жұлдыз топарының RV типиндеги жұлдызлардың жақтылығының өзгериў дәўириниң салыстырмалы анықлығы менен басқа типтеги физикалық өзгериўши жұлдызлардан парық қылады. Олардың дәўири 30 суткадан 150 суткаға шекем барып, жақтылықлары 3 жұлдыз шамасына шекем өзгереді. Бул типтеги жұлдызлардың спектраллық өзгериў шегарасы G класстан K классқа шекем барады.

Кит жұлдыз топарындағы Мира типиндеги жұлдызлар узын дәўирли өзгериўши жұлдызлардан болып, олардың өзгериў дәўири 80 суткадан 1000 хәм оннан да артық суткаға шекем барады. Жақтылығының өзгериў амплитудасы болса 2,5 жұлдыз шамасына шекем жетеді. Бундай жұлдызлар жақтылық бергишлигиниң максимумында, жақтылығының минимумына оның спектринде бақланған металл сызықлар орнын водородтың эмиссиялық сызықлары ийелейди.

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 ылақтырылыўы (ерупциясы) менен

түсіндірілгени үшін олар еруптив өзгеріуіші жұлдызлар деп те аталады. Бундай жұлдызлардың әдеттегідей үәкиллери жаңа хәм аса жаңа жұлдызлар болып табылады.

Жаңа жұлдызлар еруптив өзгеріуіші 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 көриниуине жүдә усап кетеди.

Жаңа жұлдызлардың шақмақ иймеклиги өз алдына көриниске ийе болып, ол шақмақ процессин бир неше басқышқа ажыратып үйрениуіге имканият береді (120-сүүрет). Шақмақтың дәслепки басқышы жүдә тез, 2-3 суткада жүз берип, максимумға ерисиуден алдын бир «тоқтап алады». Максимумнан соң жұлдыз жақтылықлығы пәсейе барып, дәслепки халына жетиуі үшін бир қанша жыллар өтеди. Жақтылықтың дәслепки 3 жұлдыз шамасына шекем пәсейиу басқышы дерлик бир тегис өтеди. Жақтылықтың кейинги 3 жұлдыз шамасына төменлеуі орта басқыш деп аталып, бул жағдайда жұлдыздың жақтылықлығы бир тегис пәсейиуі тербелислер менен кешиуі мүмкин хәм сөниудиң акырғы басқышы және де бир тегис өтип, нәтийжеде жұлдыз шақмаққа шекемги болған жақтылығына ериседи.

Жаңа жұлдызлардың шақмақ механизми хаққында хәзирге шекем анық бир пикирге келинген жоқ. Бул хаққындағы белгили гипотезалардың биринде сәйкес жұлдыздың шақмағы оның ишинде өтип атырған физикалық процесстин ақыбети деп есапланса, екиншисинде бул қубылыста сыртқы факторлар тәсири тийкарғы орынды ийелейди деп карайды.

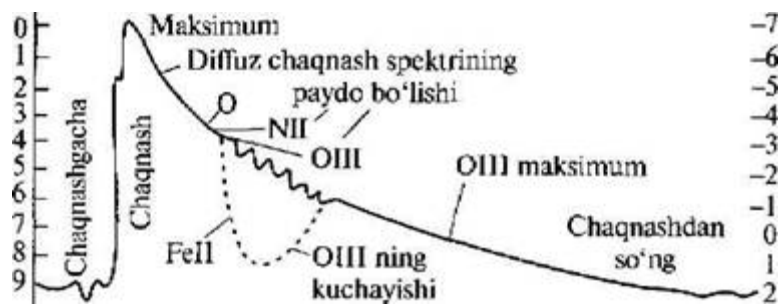
Жаңа жұлдызлардың партлау процесси қос жұлдызлардың өз-ара затлар алмасыуы нәтийжесинде жүз береді деген гипотеза бул мәселедеги итибарға миясар гипотезалардың бири болып есапланады. Тийкарғы жұлдыздың водородқа бай бир бөлиминиң затлары жолдас деп есапланып ақ киши жұлдыз бетине түссе оның бетинде термоядролық синтез бенен өтетуғын партлау (шақмақ) жүз берип, үлкен муғдарда энергия ажыралып шығады. Жаңа жұлдызлар шақмақ дәуиринде толық нурланыу энергиясы 10^{38} - 10^{39} Дж ды қурап, бундай энергияны Қуяш бир неше онлаған мың жылда ғана бериуі мүмкин.

Жұлдыз бетинде партлау 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 жұлдыз этирапында тарқалып атырған газ үлкен думанлықты пайда

етеди. Бақлаўлар нәтийжесинде салыстырмалы жақын жайласқан барлық жаңа жұлдызлардың этирапында ҳақыйқатында да кеңейиўши сондай газ думанлықлары бақланады.

Хәзирге шекем жаңа 300 ге жақын партлаған жаңа жұлдыз белгили болып, олардың 150 ге жақыны өзимиздиң Галактикамызда, 100 ге жақыны қоңсы Андромеда думанлығында бақланады.

Аса жаңа жұлдызлар да еруптив өзгериўши жұлдызлар болып, жақтылықлығы кескин өзгериўши (жылт етиўши, шақмақтың шаққанындай, партланғандай) жұлдызлар болып табылады. Олардың шақмақлары партланыў есабынан болады. Партлаўға байланыслы бундай жұлдызлардың жақтылығы бир неше күн даўамында онлаған миллион есе артады. Жұлдыз өз жақтылығының максимумына ерискенде өзи жайласқан галактика жақтылығындай, базы бир жағдайларда оннан да бир неше есе артық жақтылыққа ийе болады. Жақтылығының максимумыда, оның абсолют жұлдыз шамасы -18 дан -19 жұлдыз шамасына шекем жетеди. Аса жаңа жұлдызлар өз жақтылықлығының максимумына партлаў жүз бергеннен 2-3 хәпте өткеннен кейин ериседи хәм соңынан бир неше ай даўамында оның жақтылықлығы 25-30 есе кемедейди. Шақмақ даўамында аса жаңа жұлдызлардың улыўмалық нурланыў энергиясы 10^{41} - 10^{42} Джоулди курайды.



120-сүүрет. Жаңа жұлдыздың шақмағының иймеклиги.



Савр жұлдыз топарындағы Краб тәризли думанлық - 1054-жылы партлаған аса жаңа жұлдыздың қалдығы.

Белгили бир галактикада аса жаңа жұлдызлардың бақланыуы шама менен хәр 100 жыл ишинде 1-2 рет ғана болыуы мүмкин. Тарийхта бизиң Галактикамызда да бир неше жаңа жұлдызлардың шақмағы бақланған. Олар ишинде Савр жұлдыз топарында 1054-жылы Қытай астрономлары тәрeпинен бақланған аса жаңа ең қууатлыларының бири болып есапланады. Бул жұлдыз партлаудан соң бир неше күн дауамында күндиз де көринип турған. Шақмақ пайытында бундай жұлдызлар, 0,1 дан то 1,0 Қуяш массасына шекем муғдардағы өз затларын 6000 км/с қа шекемги тезликлер менен жұлдызлар ара бослыққа ылақтырады. Сәл кем 1000 жылға жақын уақыттың өткенине қарамастан бул жұлдыздан ылақтырылған газ массасы хәзирги күнлери де секундына сәл кем 1000 км тезлик пенен кеңейиуди дауам етпекте. Партлаған жұлдыз этирапында тарқалып баратырған бул газ массасы жүдә үлкен газ думанлығын пайда еткен. Савр жұлдыз топарындағы бул думанлық Краб тәризли думанлық аты менен белгили. 1572-жылы басқа бир аса жаңа жұлдыз Даниялық астроном Тихо Браге тәрeпинен Кассиопея жұлдыз топарында, 1604-жылы болса Кеплер тәрeпинен Жылан ертиуши жұлдыз топарында бақланды.

Бирақ аса жаңа жұлдызлардың партланыуы механизмине байланыслы мәселе елеге шекем үзил-кесил шешилмеген болса да бул қубылыстың 2-3 Қуяш массасына тең жұлдызлар эволюциясының ақырғы басқышында жүзеге келетуғын тең салмақтықтың бузылыуының ақыбети екенлиги анық.

ЭЙНШТЕЙННИҢ ГРАВИТАЦИЯ ТЕОРИЯСЫН АЙЫРЫМ АСТРОФИЗИКАЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРДИ ШЕШИҮҮ УШЫН ҚОЛЛАНЫҮ

Кирисиү

Альберт Эйнштейнниң пүткил тәбияттаныү илимлердеги фундаменталлық көз-қарасларды өзгертиүге алып келген үш мақаласының жарық көргенлигине 100 жыл толды. Усы тарийхый сәнени ылайықлы белгилеү мақсетинде Бирлескен Миллетлер шөлкеминиң бас Ассамблеясы өзиниң 2004-жыл 10-июнь күнги пленарлық мәжилисинде арнаўлы резолюция қабыл етти. Оның мазмуны төмендегидей:

«Бас Ассамблея,

тәбият хаққындағы билимлерди тереңлестириүдеги физиканың әҳимийетли тийкар болып хызмет етиүин мойынлап,

физика хәм оның әмелий қолланылыўы хәзирги заман техникалық прогрессин тәмийинлеүге үлкен үлес қосатуғынлығын белгилей отырып,

ерлер хәм ҳаяллар физиканы үйрениү барысында өзлериниң раўажланыўы ушын зәрүрли болған илимий инфраструктураны дүзиү куралларына ийе болатуғынлығын исенген ҳалда,

2005-жыл хәзирги заман физикасының тийкарларын дүзген Альберт Эйнштейнниң уллы илимий ашылыўларының жүз жыллығына сәйкес келетуғынлығын есапқа алып

1. Билимлендириү, илим хәм мәденият ислери бойынша Бирлескен Миллетлер Шөлкеминиң 2005-жылды Халық аралық физика жылы деп жәриялаўын қоллап-қуўатлайды;

2. Билимлендириү, илим хәм мәденият ислери бойынша Бирлескен Миллетлер Шөлкемине Халық аралық физика жылын өткериү ушын физикалық жәмийетлер хәм дүньяның басқа топарлар, соның ишинде раўажланып атырған еллердеги топарлар менен бирге ислесиү илажларын шөлкемлестириүди усыныс етеди;

3. 2005-жылды Халық аралық физика жылы деп жәриялайды.»

Бул халық аралық әҳмийетке ийе болған хұжжет Альберт Эйнштейнниң дүнья илимине қосқан үлесиниң оғада жоқары екенлигинен дерек береді. А.Эйнштейнниң 1905-жылы шыққан хәм арнаўлы салыстырмалылық теориясын өз ишине толық қамтйтуғын «Қозғалыўшы денелер электродинамикасына» атлы мақаласының биринши бетиниң фрагменти 1-сүўретте келтирилген.

Усы айтылғанларды есапқа алып бул питкеріу қәнигелик жумысы А.Эйнштейннің гравитация теориясын айырым космологиялық мәселелерди шешиу ушын қолланыуға бағышланған.

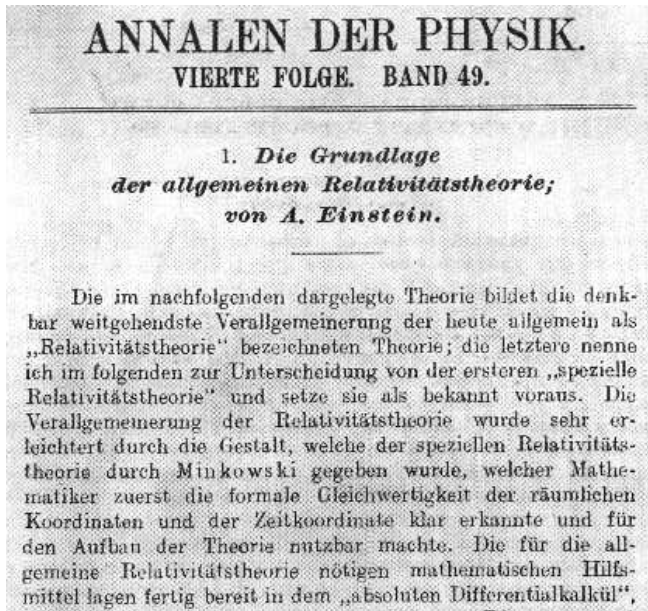
Әлбетте, А.Эйнштейннің мийнетлери, өмири, оның мийнетлеринің басқа илимпазлар тәрепинен раўажландырылыуы, Эйнштейн дүзген гравитация теориясының шекленгенлиги, бул теорияның мүмкиншиликлери менен мүмкиншиликлеринің шеклери ҳаққында оғада көп санлы илимий дереклер бар. Олардың саны Пүткил дүньялық Internet тармағы пайда болғанынан бери көп есе артып кетти. Сонлықтан бул жумыста солардың ишиндеги ең әҳмийетлилери ҳәм көргизбелиги жоқарылары пайдаланылды.

Гравитация теориясының физикалық ҳәм математикалық тийкарлары.

§ 1. Интервал, улыўма қабыл етилген белгилеўлер,

Лоренц ҳәм Пуанкаре группалары

Биз дүньялық ноқат деп төрт шаманы түсинемиз: ўақыт ҳәм үш кеңисликлик координаталар. Дүньялық сызық деп дүньялық ноқатлардың үзликсиз сызығына айтамыз. Сонлықтан материаллық ноқаттың қозғалысы дүньялық сызық түринде 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 тәсирлесіулердиң тарқалыу тезлигине тең максималлық тезлик пенен тарқалады. Хәр дайым тәсирлесіудің максималлық тезлигинің инвариантлылығын өз алдына постулатқа киргизеди. Бирақ бул жағдай айрықша мәниске ийе емес. Себеби бул салыстырмалылық принципинің ҳәм тәсирлесіудің тарқалыу тезлигинің шекли екенлигин дәлиллейтуғын экспериментлердиң салдары (бул тезликтің шекли тезлик екенлиги ҳаққында хәзирше гәп етилип атырған жоқ).



1-сүүрет. А.Эйнштейннің 1905-жылы шыққан хэм арнаулы салыстырмалылық теориясын өз ишине толық қамтыйтуғын «Қозғалыушы 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 хэм dz шамаларына өзгереди. 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 есаплай системасынан ғәрезли емес болғанлықтан базы бир есаплай системасында нолге тең интервал басқа қәлеген есаплай 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 усундай аңлатпа бойынша анықланатуғын кеңисликти пайдаланыўға киргизиўимиз мүмкин. Бундай кеңислик Миновскийдиң псевдоевклидлик кеңислиги деп аталады. Бундай кеңислик $(+1 \ -1 \ -1 \ -1)$ түриндеги метрика менен тәриппленеди.

4 өлшемли Минковский кеңислигин пайдаланыў жаңадан қандай да бир философиялық шынлықты пайда етпейди. Бул түсиник тек көплеген аңлатпаларды әпиўайыластыратуғын математикалық мағана сыпатында ғана киргизилген. Соның ушын «биз метрикасы Евклидлик болмаған 4 өлшемли кеңислик-ўақытта жасаймыз» деп гәп етсек дурыслыққа сәйкес келмейди.

Интервалдың еки хәр қыйлы инерциал есаплай системаларындағы мәнислерин караймыз: олар ds^2 хэм $(ds')^2$. Олардың екеўи де бирдей тәртиптаги шексиз киши шамалар болып табылады хэм соған сәйкес $ds^2 = a \cdot (ds')^2$ деп жаза аламыз (a ds' шамасынан ғәрезсиз

болған базы бир функция). Қала берсе a функциясы ds' пенен ds лер өлшенген есаплау системаларының салыстырмалы тезликтери менен байланыссы (бул тезликті \dot{V} арқалы белгилейміз). Бул өз-өзінен түсиникли, a функциясының координаталарға байланыссы болыуы мүмкін емес⁴. Себеби ғәрезли болған жағдайда кеңіслік-ұақыттың барлық нокатларының бірдей екенлігі хаққындағы постулатқа сәйкес келмеген болар еді. Соның менен бирге a функциясы \dot{V} ның бағытына да байланыссы болмайды (биз кеңісліктегі айрықша бағытты сайлап ала алмаймыз⁵).

Енди $a(|\dot{V}|)$ функциясының түрін 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 $ds_2^2 = a(V_{21}) * ds^2$, K_3 те $ds_3^2 = a(V_{31}) * ds_2^2$ шамаларына тең. Соның менен бирге $ds_3^2 = a(V_{32}) * ds_2^2$ ямаса $a(V_{32}) * (V_{21}) * ds_2^2$. Буннан $a(V_{31}) = a(V_{32}) * a(V_{21})$ екенлігін аламыз. K_1 , K_2 , K_3 лердегі индекслерді избе-из өзгерте отырып $a(\dot{V})=1$, яғның $(ds')^2 = ds^2$ бир мәнісли шешімлеріне ийе теңлемелер системасын аламыз.

Интервалдың инвариантлылығы хаққындағы алынған нәтижемізди арнаулы салыстырмалылық теориясының (АСТ) формаль түрдегі 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 белгилейміз. Егер $s'^2 > 0$ болса (еки ұақыя арасындағы интервал хақыйқый мәніске ийе) интервалды ұақытқа мегзес, ал $s'^2 < 0$ болса интервалды кеңіслікке мегзес интервал деп атаймыз.

Енди басқа ИЕС на өтиу ушын қолланылатуғын ұақыт хәм кеңіслік координаталарын түрлендіретуғын математикалық аңлатпаны алыуымыз керек.

Жоқарыда атап өтилгеніндей биз интервалды Минковский кеңіслігіндегі базы бир вектордың узынлығының квадраты деп қабыл етеміз. Бул векторды координаталардың 4 лик векторы деп атаймыз. Бундай векторды бир ИЕС дан екіншісіне өткенде түрлендіриуде Минковский кеңіслігіндегі узынлық сақланатуғынлығын басшылыққа аламыз. Евклид кеңіслігіндегі бизге белгили болған түрлендіриуге сәйкес бул түрлендіриуді бурылыу деп атаймыз. (себеби евклид кеңіслігінде қашықлық өзгермей қалатуғын, параллель алып өтиуге қарағанда курамалырақ түрлендіриу бурылыу⁶ болып табылады). Буннан кейін тек бир тегісліктегі бурыуды көріп шығамыз (4 координатаның тек екеуін қамтытуғын). Себеби қәлеген курамалылықтағы бурылыу әпиуийи бурылыулардың қосындысынан турады. Соның менен бирге 0- (ст) координатаға

⁴ «Байланыссы» хәм «ғәрезли» сөзлери бир мәністе қолланылады.

⁵ Кеңісліктің бир теклилігі менен изотроптылығы хаққында гәп етилип атырғанлығын нәзерде тутамыз.

⁶ Ямаса бурыу нәзерде тутылады.

тиймейтуғын кеңістіктегі координаталарды аламыз. Усындай жоллар менен координата басы дөгерігінде вектордың ct хәм x қураушылары үшін аңлатпа аламыз. Әлбетте биз координата басынан есапланған қашықтықтың инвариантлығын, яғнай $(ct)^2 - x^2 = \text{const}$ екенлігін талап етпейміз мүмкін. Усы жағдайды қанаатландыратуғын қәлеген түрлендіріуді былай жазады:

$$\begin{pmatrix} ct \\ x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{ch}(\phi) & \text{sh}(\phi) \\ -\text{sh}(\phi) & \text{ch}(\phi) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct' \\ x' \end{pmatrix} \quad (2)$$

Бул аңлатпадағы ϕ базы бир шама. Биз оны «бурылыу мүйеши» деп атаймыз (гейде ϕ ти тезлик деп те атайды). Ch хәм sh функцияларын сәйкес гиперболалық косинус хәм гиперболалық синус деп атайды, қала берсе

$$\text{ch}(\phi) \equiv \frac{e^{\phi} + e^{-\phi}}{2}, \quad \text{sh}(\phi) \equiv \frac{e^{\phi} - e^{-\phi}}{2}.$$

$$\text{Демек } \text{ch}^2(\phi) - \text{sh}^2(\phi) = 1.$$

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, яғнай V . $\text{th}(\phi) = V/c$. Усының менен биз түрлендіріудің түрін де алдық. Тек ғана гиперболалық функциялардан қутылыу керек (тек қолайлылық үшін). Белгилеулер киргиземіз: $\beta = V/c$, $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$. Бундай жағдайларда гиперболалық синус пенен гиперболалық косинустың мәніслерін мына түрде жазамыз: $\text{sh}(\phi) = \beta\gamma$, $\text{ch}(\phi) = \gamma$. Усы аңлатпалардағы β шамасын салыстырмалы тезлик ямаса тек тезлик деп атаймыз.

Енди бурыу матрицасын көшіріп 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 бурылыуын $X = L * X'$ түрінде жазамыз (ТХ тегіс-лігіндегі бурылыу, яғнай K есаплау системасына салыстырғанда β тезлиги менен қозғалыушы K' системасы, оның көшерлері K системасындағы сәйкес көшерлерге параллел, қозғалыс X көшері бағытында болады. Бурылыудың бул матрицасы Лоренц матрицасы деп те аталады хәм усундай түрдегі координаталар-уақытты түрлендіріуді Лоренц түрлендіріулері деп атайды. Бул түрлендіріулерди буст деп те атайды.

Улыуа түрде қабыл етилген белгилеулер: 4 лик вектор, метрлик тензор, ковариант хәм контрвариант шамалар, гүң индекслер. Физикалық шамаларды Минковскийдің

кеңісliğінде белгілеу үшін 4-лік векторларды пайдаланған қолайлы. Анықлама бойынша 4-лік вектор деп бір ИЕС нан екінші ИЕС на өткенде Лоренц түрлендіріулері менен түрленетуғын шамаға айтамыз: $u = L * u'$. Әлбетте биз бир 4-лік вектордан оны бир инвариант шамаға көбейтип басқа бир 4-лік векторды алыуымыз мүмкін. Басқа барлық жағдайларда 4-лік вектордың келтирилип шығылыуының дурыслығын дәлиллеу керек (4-лік тезликті келтирип шығаруыды қараңыз). 4-лік вектордың қураушыларын ковариант хәм контрвариант деп аталатуғын еки формада жазуу мүмкін. Ковариант шама төмендеги индекс пенен жазылады (мысалы P_μ), ал контрвариантлық шама болса жоқарыдағы индекс пенен жазылады (мысалы P^μ). 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-лік вектордың квадратын былайынша жазамыз

$$S^2 = \sum_{i=0}^3 A^i * A_i.$$

Әдетте усындай жазууларда сумма белгисин қалдырып жазуу қабыл етилген, яғный $S^2 = A^i * A_i$. Индекслер 0 ден 3 ке шекемги мәнислерге ийе болады хәм еки рет қайталаныушы индекс бойынша суммалау жүргизиледи. Бундай жазууларды гүң индекслер менен жазуу деп атайды. Ковариант хәм контрвариант шамаларды түрлендіріулердің қолайлы болуы үшін метриклік тензор деп аталатуғын тензор (Минковский кеңісliğинің 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 түрлендіріу былайынша жазылады.

Қәлеген еки 4-лік 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 мәнисіндеги бир рет индекснің көтерілиуі ямаса түсірилиуі белгини қарама қарсы белгиге өзгертеди.

Булардың барлығы да бир түрлі хәм керек еместей болып көринеди. Бирақ гүң индекслердің киргизилиуінің көп аңлатпаларды жазууды күшли түрде әпиуайыластыратуғынлығын көреміз.

Енди түрлендіріу группасы түсинигин киргиземіз. Мейли еки f хәм g түрлендіріулері болсын.

G ны топыр деп атаймыз, егер G топарына киретуғын ($f \in G$ хәм $g \in G$) f хәм g шамаларының қәлегени үшін төмендегидей шәртлер орынланатуғын болса:

1. $gf \in G, fg \in G$.
2. $Ig \in g$ (I арқалы бирлік түрлендириуі белгиленген, $I \in G$).
3. $gg^{-1} = I$ (g^{-1} арқалы кері түрлендириуі белгиленген).

Демек $X=LX'$ түріндегі түрлендириуі группаны пайда етеді. Лоренц группасының кәлеген түрлендириуі үшін екі 4 лик вектордың скаляр көбеймеси инвариант болып табылады. Егер X хәм X' тензорлар болып табылатуғын болса, онда Лоренц группасының инварианты

$$X_{\nu\rho}^{\mu} X_{\mu}^{iv\rho} = X_{\nu\rho}^{\mu} X_{iv}^{\mu'} g_{\nu}^{\nu'} g_{\mu}^{\mu'} g_{\rho}^{\rho'}$$

болып табылады. Тензордың ранги де Лоренц группасының инварианты болып табылады.

Лоренц түрлендириуінің және де бир көзге көринип турған қасиеті $(\det L)^2=1$ болып табылады. Бул жерде төмендегі екі 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 сәулелендириуі менен болатуғын түрлендириуі).

Усы параграфтың ақырында «релятивистлик масса» ҳаққындағы аңыз ҳаққында гәп етеміз.

Релятивистлик механикада энергия менен импульс бир 4 лик вектордың кураушылары болып табылады. Бөлекшениң энергиясы E менен белгиленгенде оның ковариант кураушылары $p_i = (E/c, -\mathbf{p})$, ал контрвариант кураушылары болса $p^i = (E/c, \mathbf{p})$. Импульс пенен энергияның бир есаплау системасынан екинши есаплау 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 тезликті Лоренц-инвариант m скаляр шамасына көбейтеміз. 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 кураушысы E/c^2 энергия болып табылады, ал кеңисликлик кураушылары p/c импульс 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 $p^m p_m = m^2$ түрінде жазамыз. Бул жерде m арқалы 4 лик тезликти жоқарыда көбейткен инвариант шама.

Усы жерде 4 лик тезлик ушын жазылған аңлатпадағы γ ның m нен бурынырақ пайда болғанлығын еске түсиремиз. Сонлықтан m ге γ ны киргизиў ақылға муўапық келмейди. Яғный «релятивистлик масса» ҳаққындағы гәптиң 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 ҳәм сонан «релятивистлик масса», «тынышлықтағы масса» сыяқлы түсиниклер келип шыққан. Эйнштейннің мийнетлерин басшылыққа алып, биз бул түсиниклерди толығы менен бийкарлаймыз ҳәм 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 кеңисликтің 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 табылады⁷.

⁷ Соны атап өтиўимиз керек, Лоренц өзиниң бәршеге белгили түрлендириўлерин ашқаны менен олардың мәнисин толық түсинген жоқ ҳәм арнаўлы салыстырмалылық теориясын дүзиўде оннан кейинги тийкарғы

Енди еки ўақыя арасындағы интервал кеңісликке мезгес 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 кеңіслик-ўақытлық интервал

$$ds^2 = -dX'^2$$

мәнісине тең болады (яғный таза кеңісликлик 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 системасындағы кесиндинің узынлығы dl штрихланбаған есаплаў системасындағы кесиндинің узынлығы dl_0 ден киши екенлиги келип шығады: $dl < dl_0$. Лоренцтиң кері түрлендириўин пайдалансак⁸:

$$dT = \frac{dT' + \frac{v}{c^2} dX'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

екенлигин табамыз. Биз қарап атырған жағдайда $dT'=0$ болғанлықтан

$$dl = dl_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

формуласына ийе боламыз. Бул жерде биз узынлықтың қысқарыўының төрт өлшемли кеңіслик-ўақытың геометриясының структурасы менен қозғалыўшы кесиндинің узынлығын өлшеўдин усылының нәтийжеси екенлигин көремиз.

§ 3. Релятивистлик механика

4 лик тезлик векторынан пайдаланамыз хәм бөлекшениң импульсиниң 4 лик импульсин киргиземиз:

$$p^i = mU_i, \quad p_i p^i = m^2 c^2. \quad (3-1)$$

Бөлекшениң тезлиги барлық ўақытта да c дан киши болғанлықтан инвариант ўақыт $d\tau$ ды табамыз:

$$ds^2 = c^2 d\tau^2 = c^2 (1 - v^2/c^2). \quad (3-2)$$

жумысты бир биринен ғәрезсиз хәм хәр қыйлы жоллар менен Анри Пуанкаре менен Альберт Эйнштейн иследи. Пуанкаре төрт өлшемли кеңісликтиң группалық қасийетлерин математикалық изертлеў көз-қарасы менен, ал Эйнштейн болса ўақыттың салыстылмалылығын операциялық анализ жолы менен.

⁸ Лоренцтиң кері түрлендириўлери:

$$T = \frac{T' - vX'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad X = \frac{X' - vT'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, \quad Y = Y', \quad Z = Z'.$$

4 лик тезликтен инвариант ўақыт τ аркалы алынған туўынды да 4 лик вектор болып табылады. Оны тезлениўдин 4 лик векторы деп атайды.

Анықлама бойынша күштиң 4 лик векторы былайынша жазылады:

$$\mathbf{F} = \frac{\mathbf{f}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}, \text{ скаляр формада } F = \frac{f}{\sqrt{1-v^2/c^2}}.$$

Бул аңлатпада \mathbf{f} аркалы бир бирлик зарядқа тәсир етиўши күш белгиленген (f сол күштиң сан шамасы). Усындай белгилеўлерди қабыл етип механиканың релятивистлик теңлемелерин былайынша жазамыз:

$$m \frac{dU^i}{d\tau} = F^i \quad (3-3)$$

ямаса үш өлшемли түрде:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m\mathbf{V}}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \right) = \mathbf{f}; \quad (3-4)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{mc^2}{\sqrt{1-V^2/c^2}} \right) = (\mathbf{V}\mathbf{f}). \quad (3-5)$$

Бул еки теңлемени биринши рет ашқан алым Анри Пуанкаре болып табылады (гейпара мағлыўматлар бойынша релятивистлик механиканы дөреткен адам А.Пуанкаре).

(3-5) ти (3-4) тен теңлемениң еки тәрәпин де \mathbf{V} векторына көбейтиў аркалы 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

$$p^i = \left(\frac{E}{c}, \mathbf{p} \right) \quad (3-7)$$

Соның менен бирге

$$F^i p_i = 0 \quad (3-8)$$

екенлигин аңсат дәлиллеўге болады.

Импульс ҳәм 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:

$$p = \frac{\partial L}{\partial \mathbf{V}} = \frac{m\mathbf{V}}{\sqrt{1-V^2/c^2}}. \quad (3-10)$$

Гамильтониан

$$H = V \frac{\partial L}{\partial V} - L \quad (3-11)$$

болғанлықтан

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \quad \text{ямаса} \quad E = c\sqrt{p^2 + m^2c^2}. \quad (3-12)$$

(3-9) Лагранж функциясы биринши рет Пуанкаре дүзди. Бул жерде интеграл дүньялык сызық бойындағы еки белгиленген ноқат 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 иймек сызықты координаталарға өткенде тензор менен вектор түсиниклери улыўмаласады⁹. Ең дәслеп векторлардың ковариант хәм контрвариант кураўшылары 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 кураўшылары (индекслери төменде) былайынша анықланады:

$$B_i = g_{ik} B^k. \quad (4-2)$$

(3-13) тиң коэффициентлери сыпатындағы анықламасынан олардың түрлендирилиўи 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 кураўшылары ушын түрлендириўи 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} контрвариант 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 кураўшылары ушын

⁹ Вектордың биринши рангалы тензор, ал скалярдың нолинши рангалы тензор екенлигин умытпаймыз.

$$B_{ik} = g_{li} g_{mk} B^{lm} = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^{li}} \frac{\partial \tilde{x}^m}{\partial x^k} \tilde{B}_{lm}. \quad (4-6)$$

Соның менен бирге аралас кураўшыларды да пайдаланыўға болады:

$$B_k^i = B^{il} g_{lk} = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^k} \frac{\partial x^i}{\partial \tilde{x}^m} \tilde{B}_l^m. \quad (4-7)$$

Түрлендириў нызамлары g_{ik} кураўшыларының тензорды пайда ететуғынлығын көрсетеди. Салыстырмалылық теориясында¹⁰ бул тензор фундаменталлық орынды ийелейди хәм **фундаменталлық метрлик тензор** деп аталады.

$$g = |g_{ik}| \quad (4-8)$$

анықлаўшысы **фундаменталлық анықлаўшы** деп аталады.

$$g^{ik} = A^{ik} / g \quad (4-9)$$

шамалары (A^{ik} арқалы g_{ik} элементиниң алгебралық қосымшасы белгиленген) метрлик тензордың контрвариант кураўшылары деп аталады.

(4-9) дан

$$g_{il} g^{lm} = \delta_l^m \quad (4-10)$$

екенлиги келип шығады. δ_l^m арқалы Кронекер символы белгиленген. Буннан (4-6) ны пайдаланып

$$B^{ik} = g^{il} g^{mk} B_{lm} \quad (4-11)$$

екенлигин табамыз.

Солай етип белгилерди түсириў g_{ik} ковариант кураўшыларының ковариант. көтеріў g^{ik} контрвариант кураўшыларының 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 түрлендиргенде өзгериске ушырамайды. Мысалы вектордың узынлығының квадраты

$$A^2 = A^i A_i. \quad (4-12)$$

Тап усындай жоллар менен еки тензордан скаляр пайда етиўге болады

$$A^{ik} B_{ik} = A_i^k B_k^i = A_{ik} B^{ik}.$$

Үш жазыўдың барлығы да эквивалент. Дара жағдайда, егер екинши вектор фундаменталлық тензор болса, онда $A^{ik} g_{ik} = A_i^i$ шамасын **тензордың изи** деп атайды.

Тап усындай жоллар менен жоқары рангалы тензорлардан рангасы төменирек болған тензорларды пайда етиўге болады. Мысалы

$$A_{klm}^i g_i^m = A_{kli}^i = A_{kl}.$$

¹⁰ Улыўмалық салыстырмалылық теориясында.

Бундай операцияны тензорларды свертывание деп атаймыз.

Иймек сызықлы координаталарда векторлар менен тензорларды дифференциаллаў түсиниги улыўмаластырылады. Контрвариант вектор менен ковариант вектордың ковариант туўындысы (үтири бар ноқат пенен аңлатылады) деп сәйкес мына шамалар (тензорлар) айтылады:

$$B^i_{;k} = \frac{\partial B^i}{\partial x^k} + \Gamma^i_{ik} B^l, \quad (4-13)$$

$$B_{i;k} = \frac{\partial B_i}{\partial x^k} + \Gamma^l_{ik} B_l. \quad (4-14)$$

Бул жерде Γ^l_{mn} аркалы Кристофель символлары (олар тензорлар емес!) белгиленген. Олар мына аңлатпалар жәрдеминде анықланады:

$$\Gamma^l_{mn} = \frac{1}{2} g^{lk} \left(\frac{\partial g_{km}}{\partial x^n} + \frac{\partial g_{kn}}{\partial x^m} + \frac{\partial g_{mn}}{\partial x^k} \right) \quad (4-15)$$

Декарт координаталарында барлық $\Gamma^l_{mn} = 0$ хэм ковариант дифференциаллаў әдеттеги дифференциаллаўға алып келинеди.

Енди 4 өлшемлі кеңісликте еки ноқатты бир бири менен тутастыратуғын геодезиялық сызықты анықлайтуғын иймек сызықлы координаталардағы теңлемени келтиремиз:

$$\frac{d^2 x^i}{dx^2} + \Gamma^i_{kl} \frac{dx^k}{ds} \frac{dx^l}{ds} = 0. \quad (4-16)$$

Минковский кеңіслигинде (псевдоевклид кеңіслигинде¹¹) денелердің инерция бойынша қозғалысы туўры сызық (соның менен бирге ўақытқа мегзес) сәўлелендириледи. Сонлықтан (4-16) инерциал емес есаплаў системасының иймек сызықлы координаталарында жазылған дененің инерция бойынша қозғалысының теңлемеси. Геодезиялық сызық ушын жазылған майысқан кеңіслик-ўақыттағы дифференциал теңлеме де тап сондай (иймек сызықлы координаталардағы тегис кеңіслик-ўақыттағы туўры сызық ушын жазылған теңлемедей) түрге ийе болады.

§ 5. Кеңіслик-ўақыттың иймеклиги¹²

Улыўмалық салыстырмалылық теориясы кеңіслик-ўақыт майысады хэм 4 өлшемлі Риман кеңіслиги болып табылады (дәлиреги псевдориман кеңіслиги)¹³. Киши емес, ал

¹¹ Өз ўақытында Клейн хэм Гильбертлер бундай кеңісликти псевдоевклидлик кеңіслик деп атаўды усинды.

¹² Тилекке қарсы қарақалпақ хэм өзбек тиллериндеги терминология толық қәлиплеспегенликтен рус тилиндеги «кривизна» сөзи «иймеклик» деп аўдарылған. Бирақ айырым орынларда биз «майысқанлақ» сөзин де колланамыз.

шекли областлар ушын усы 4 өлшемлі кеңіслік ушын интервал (1-1) дей болып жазылатуғын Галилей координаталар системасын пайдалана алмаймыз. Бірақ (1-1) ди киши областларда қоллана аламыз. Бул жағдайларда еркін қозғалыушы (салмақ майданында еркін түсіуші) есаплау системасын киргиземіз. Бундай есаплау системасы локаллық Галилей есаплау системасы деп аталады¹⁴. Локаллық Галилей системасында салмақ күши бақланбайды – бундай системада салмақсызлық орын алады. Усындай системаны сайлап алыудың математикалық мүмкіншилиги соннан ибарат, иймек (майысқан) кеңісликтің киши участкасы тегис урынба кеңіслік болып табылады.

Енди төрт өлшемлі кеңіслік-уақыттың иймеклигин тәриплейтуғын математикалық куралларды пайдаланамыз. Бул иймеклік төртінші рангалы тензор менен тәрипленеди:

$$R^i_{klm} = \frac{\partial \Gamma^i_{km}}{\partial x^l} - \frac{\partial \Gamma^i_{kl}}{\partial x^m} + \Gamma^i_{nl} \Gamma^n_{km} - \Gamma^i_{nm} \Gamma^n_{kl}. \quad (5-1)$$

R^i_{klm} тензоры Риманның иймеклік тензоры деп аталады. Бул тензордың геометриялық мәніси төмендегилерден ибарат. Мейли вектор базы бир ноқаттан геодезиялық сызықлардан дүзилген туйық контур бойынша усы вектордың ортогоналлық координаталар көшерлери бойынша кураушылары киши қозғалыс барысындағы хәр бир ноқатта өзгериссиз қалатуғын болып жылжыйтуғын болсын (биз бундай жылжыуды вектордың параллел алып жүрилиуі деп атаймыз). Тегис кеңіслік-уақытта вектор өзинің дәслепки ноқатына қайтып келгенде өзинің дәслепкидей халына қайтады, ал иймек кеңіслікте болса вектордың ориентациясы өзгереді (оның узынлығы өзгериссиз қалады). Киши еки өлшемлі Δf^{lm} бетин қоршап турған контур бойынша жүргизилип өтилгендеги A_k вектордың кураушыларының өзгериси мына формула менен тәрипленеди:

$$\Delta A_k = \frac{1}{2} R^i_{klm} A_i \Delta f^{lm}. \quad (5-2)$$

Биз бул жерде иймеклік тензорының алгебралық хәм дифференциаллық қәсийетлерин тереңірек талламаймыз. Тек оның бир биринен ғәрезсиз болған кураушыларының санының 20 ға тең екенлигин атап өтеміз¹⁵.

¹³ Улыұмалық салыстырмалылық теориясында кеңіслік-уақыттың майысыуы тек затлар менен майданлардың қатнасыуында жүзеге келмейди. Биз төменде гравитациялық толқынлардың бар екенлигин де карап өтеміз. Бундай толқынлар өзи менен энергияны алып жүреді хәм кеңісликті майыстырады. Усының менен қатар улыұмалық салыстырмалылық теориясының теңлемелеринің (Эйнштейн теңлемелеринің) бос кеңіслік-уақыт ушын да шешимлери бар. Бул шешимлер затларға ийе емес кеңісликтің анизотропиялық деформациясын тәриплейди. Гравитациялық толқынлар ушын шешимлер сыяқлы бул шешимлер де еркін гравитациялық майданды тәриплейди.

¹⁴ Хәр бир ноқаттағы усундай системалар саны шексиз үлкен. Соның менен бирге бундай системадағы усундай ноқатта тек ds^2 Галилей түрине ийе болмастан, барлық $\frac{\partial g_{ik}}{\partial x^l} = 0$.

¹⁵ Уш өлшемлі кеңіслік ушын бир биринен ғәрезсиз кураушыларының саны б.

Свертывание операциясы жолы менен Риман тензорынан екінші рангалы тензор алыу мүмкін:

$$R_{km} = R^i_{klm} g^l_i = R^i_{kim}. \quad (5-3)$$

Бұл симметриялы тензор

$$R_{km} = R_{mk}$$

хәм оның атын Риччи тензоры деп атаймыз. Ең ақырында R_{km} сверткасы кеңісликтің иймеклигинің скалярын береді:

$$R = R_{km} g^{km} = R^k_k. \quad (5-4)$$

R^i_{klm} тензоры 4 өлшемлі кеңіслик-ұақыттың иймеклигин толық тәріптейді. Мысалы базы бір областтағы усы тензордың нолге теңлігі ($R^i_{klm}=0$) бұл областтағы кеңіслик-ұақыттың иймек емеслігінің (майыскан емеслігінің) зәрүрлі хәм жеткиликлі шәрті. Бирақ усының менен бір қатарда скаляр R диң нолге теңлігі ($R=0$) ямаса хәтте $R_{ik} = 0$ шәрті кеңіслик-ұақыттың тегислігінің жеткиликлі шәрті емес. Соның менен бирге материядан тыстағын гравитация майданы $R_{ik} = 0$ теңлемеси менен тәріпленеді.

§ 6. Эйнштейн теңлемелери хәм қозғалыс теңлемеси

Улыұма салыстырмалылық теориясындағы Эйнштейн теңлемелери кеңіслик-ұақыттың иймеклігі менен затлар хәм майданлардың бөлистирилиуі хәм қозғалысы арасындағы байланысты анықлайды¹⁶. Бұл теңлемелер 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)¹⁷. Газ ушын бұл тензор иймек сызықлы координаталарда былайынша жазылады:

$$T^{ik} = (\varepsilon + P) u^i u^k - P g^{ik}. \quad (6-2)$$

¹⁶ Анықлық ушын: демек бирінші тәрептен кеңіслик-ұақыттың иймеклігі хәм оны екінші тәрептен затлар хәм майданлардың бөлистирилиуі хәм қозғалысы менен байланыстырады.

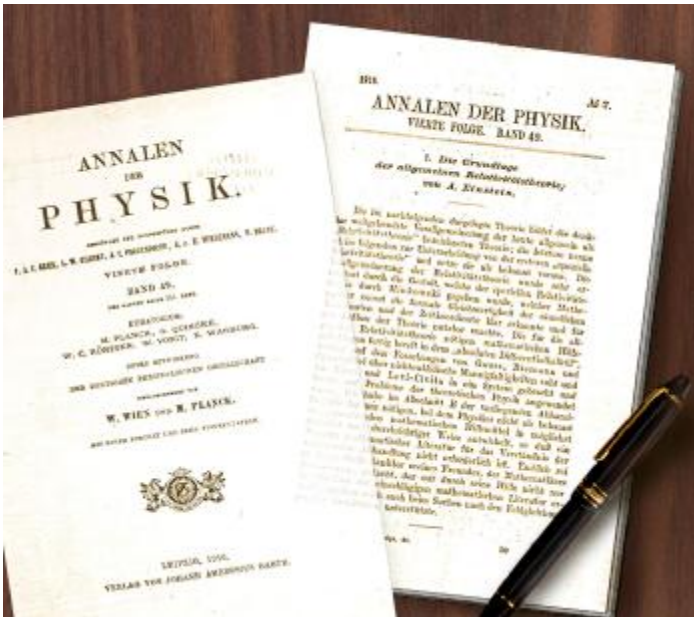
¹⁷ Бұл теңлемени А.Эйнштейн 1915-жылы келтиріп шығарды. Соның ушын 1915-жылды улыұмалық салыстырмалылық теориясының ашығлған жылы деп қабыл етилген. Ал усы жұмыстың өзи 1916-жылы «Улыұмалық салыстырмалылық теориясының тийкарлары» деген ат пенен үлкен мақала түрінде жарық көрді. Бұл мақаланың 1-бетинің фрагменти 2-сұуретте келтирилген.

Бул аңлатпадағы $\epsilon = \rho c^2$ аркалы заттың энергиясының усы зат тыныш турған есаплау системасындағы тығызлығы, P аркалы басым белгиленген. Бир газдың жабысқақлығын киши деп есапладық хәм сонлықтан оны ρc^2 қа салыстырғанда есапқа алмадық.

Егер энергия-импульс тензорын жоқарыдағыдай T^{ik} деп белгилесек, онда T^{00} масса-энергияның тығызлығы (әдетте ρ менен аңлатылады), T^{0j} аркалы импульстың тығызлығының j -кураўшысы, T^{ij} аркалы әдеттеги кернеўлер тензоры, T^{xx} аркалы x көшери бағытындағы басымның кураўшысы белгиленген.

Егер T^{ik} энергия-импульс тензоры системада бар барлық майданларды, суйықлықларды, бөлекшелерди хәм тағы басқаларды тәриплейтуғын болса, онда импульс ағысы менен энергия алмасыў арасындағы өз-ара байланыс хәкқындағы толық информация қозғалыс теңлемелеринде бериледи:

$$T^{\mu\nu}_{;\nu} = 0.$$



2-сүўрет. А.Эйнштейннің «Улыўмалық 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 жазайық:

$$T_{ik} = \begin{vmatrix} \epsilon & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P \end{vmatrix}.$$

Бул системада $T_{0\alpha} = T_{\alpha 0}$. Себеби энергия ағысы жоқ хәм газдың импульсы нолге тең. Тензорды кеңисликлик бөлими диагоналлык $T_{\alpha}^{\beta} = P\delta_{\alpha}^{\beta}$, барлык көшерлер бойынша басым бирдей мәниске ийе. Бул ызамды Паскаль ызамы деп атау қабыл етилген (сонлықтан Паскаль суйықлығы ямаса гази ҳаққында гәп етиу қабыл етилген).

Х көшериниң оң бағытында жақтылықтың тезлиги менен қозғалыушы бөлекшени

$$T_{ik} = \begin{vmatrix} \varepsilon & \varepsilon & 0 & 0 \\ \varepsilon & \varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

тензоры береди. Ал қозғалыс х көшериниң шеп тәрәпине қарай бағытланған болса

$$T_{ik} = \begin{vmatrix} \varepsilon & -\varepsilon & 0 & 0 \\ -\varepsilon & \varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

аңлатпасы орын алады. Барлык теңдей хуқықларға ийе бағытлардағы бөлекшелердиң ағысын қосқанда да релятивистлик газдың энергия-импульсиниң тензорын аламыз $P = \varepsilon/3$.

Енди улыұмалық T_{ik} ға қайтып келемиз хәм энергия-импульстың сақланыу назымын жазамыз. Арнаулы салыстырмалық теориясында декарт координаталарында энергия-импульс тензоры

$$\frac{\partial T_i^k}{\partial x^k} = 0 \quad (6-4)$$

қатнасын қанаатландырады. Ал бул қатнас энергия менен импульстың сақланыу ызамын аңлатады.

(6-4) аңлатпасының иймек сызықлы координаталарға улыұмаластырылыуының нәтийжеси ковариант дивергенцияның нолге тең екенлигинде. Яғный

$$T_{i;k}^k = \frac{\partial T_i^k}{\partial x^k} + \Gamma_{ik}^k T_i^1 - \Gamma_{ik}^1 T_1^k = 0. \quad (6-5)$$

(6-5) ызамының 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 ызамларын 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 уақытын

пайдаланамыз. Заттың V көлеміндегі энергияны E арқалы белгілейміз ($E = \varepsilon V$) хәм (6-2) ни пайдаланып (6-5) ти $i=0$ ушын

$$dE + PdV = 0 \quad (6-6)$$

түрине келтиремиз, ал i индексинің кеңістік мәніслери ушын (6-5) ти былайынша жазамыз:

$$\frac{\partial P}{\partial x^\varepsilon} = \frac{g_{0\alpha}}{g_{00}} \frac{\partial P}{\partial x^0} = (\varepsilon + P) \frac{F_\alpha}{c^2}. \quad (6-7)$$

(6-6) тенлемеси газди деформациялағандағы басым күшлеринің жұмысын тәриплейди, (6-7)-теңлемелер болса Лагранж координаталарындағы заттың импульсының сақланыуын анықлайды. Релятивистлик емес жағдайларға өткенде ($g_{0\rho} \rightarrow 0, \varepsilon \gg P$) (6-7) де импульс ушын жазылған әдеттегидей теңлемелерге келемиз.

Эйнштейн теңлемелерин космологиялық мәселелерди шешиў ушын қолланыў

§ 7. Космология турақлысы

Әдетте гравитация теориясы теңлемелерине қойылатуғын улыўмалық талап тәсирге¹⁸ ийе вариациялық принципти

$$s = -mc \int ds - \frac{c^3}{16\pi G} \left[\int R dV + \int 2\Lambda dV \right] \quad (7-1)$$

түрінде жазыўға рұқсат етеди. Бул аңлатпада V арқалы 4 өлшемлі 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 Λ космология турақлысы, ал бул шамаға пропорционал болған шамалар ($\Lambda dV, \Lambda g_{ik}$) космологиялық ағзалар деп аталады. Λ ағзалары жоқ теңлемелер де қозғалыс теңлемелерин өз ишине алатуғын болғанлықтан (7-2) де локаллық лоренц-инварианттылық шәртин қанаатландырады. Сонлықтан бұрынғыдай $T_{ik}^k = 0$.

(7-2) түріндегі теңleme 1917-жылы А.Эйнштейннің «Космология мәселелери хәм улыўмалық салыстырмалылық теориясы» мақаласында пайда болды. Бул мақаланың 1-бетинің фрагменти 3-сүўретте берилген. Сонлықтан 1917-жылды хәзирги заман космологиясының туўылған жылы деп атаймыз.

¹⁸ Тәсир деп «действие» сөзи нәзерде тугылады.

А.Эйнштейн дәрхәл-ақ (6-1) теңлемесиниң стационар шешимге ийе болмайтуғынлығын түсинди. Ал сол ўақытлары Әлемниң стационар, ўақытқа байланыссы өзгермейди деген пикир хуким сүрген еди. Сонлықтан Эйнштейнниң алдында стационар шешимлерге ийе теңлемелер керек болды. Сонлықтан ол (6-1) ге Λ ағзасын қосып (7-2) түриндеги теңлемени алды¹⁹

Әлбетте Λ ағзаны теңлемеге киргизиўдеги А.Эйнштейнниң 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 кубылысы 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 Λ 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?

Λ ниң өзине тартатуғын бир қәсийети оның өлшеминде ($[\Lambda=\text{см}^{-2}]$). Усындай көз-карастан Λ бос кеңсликтің жоқ қылыўға болмайтуғын ийемклиги болып табылады (материясыз хәм гравитациялық талқынларсыз бос кеңсликтің). Бирақ тартылыс теориясы ийемкликти материяның энергиясы, импульсы хәм басымы менен байланыстырады. Λ 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 $\varepsilon_\Lambda = \frac{c^4\Lambda}{8\pi G}$, басымы $P_\Lambda = \varepsilon_\Lambda$ болған бос кеңсликтің гравитациялық майдан пайда ететуғынлығын өз ишине алады. Егер $\Lambda = 10^{-55}$ см⁻² деп болжасақ $\rho_\Lambda = 10^{-28}$ г/см³, $\varepsilon_\Lambda = 10^{-7}$ эрг/см³. Усындай мәнисте вакуумның энергиясының тығызлығы менен басымы (керим тензоры) хаққында айтамыз.

Бизиң ρ_Λ хәм ε_Λ хаққындағы болжаўларымыздың себебинен теорияның релятивистлик инвариантлығы бузылмайды, ρ_Λ пенен P_Λ шамалары бир бирине салыстырғанда қозғалатуғын барлық координаталар системасында бирдей (Лоренц бойынша түрлендирилгенде).

¹⁹ Соны атап өтиўимиз керек, А.Эйнштейн кейинирек (1930-жылларға келе) өз теңлемелерине Λ ағзасын қосыўын өмиринде жиберген ең үлкен қәтелиги деп есаплады.

Космология турақлысы Λ нолге тең болмаса да абсолют шамасы бойынша жүдә киши. Соның ушын Λ тек космологияда ғана әхмийетке ийе бола алады. Сонлықтан төменде еки жағдайды да (нолге тең болған, нолге тең болмаған) қараймыз.

§ 8. Эйнштейн теңлемелериниң стационар шешими

Биз дәслеп А.Эйнштейнниң 1917-жылы шыққан «Космология мәселелери хәм улыўмалық салыстырмалылық теориясы» мақаласын талқылаймыз. Бул мақала мына сөзлер менен басланады:

«Пуассонның дифференциал теңлемеси

$$\Delta\varphi = 4\pi K\rho \quad (1)$$

ның материаллық ноқаттың қозғалыс теңлемеси менен Ньютонның узақтан тәсирлесіу теориясын алмастыра алмайтуғынлығы белгили. Кеңисликтеги шексизликте потенциал φ диң белгили бир шекке умтылатуғынлығын қосыу зәрүр. Салыстырмалылықтың улыўмалық принципнен тап сондай аўхалдың тартылыс теориясында да орын алатуғынлығы келип шығады. Егер биз кеңисликте шексизликке шекем тарқалған дүньяны қарайтуғын болсақ, онда дифференциал теңлемелерге кеңисликлик шексизлик ушын шегаралық шәртлерди киргизиўимиз керек.

Планеталық системаға байланыслы мәселени қарап шыққанымызда кеңисликлик шексизликте тартылыстың барлық потенциаллары $g_{\mu\nu}$ турақлы болып қалатуғын координата системасын сайлап алдық. Бирақ Әлемниң үлкен бөлимлерин қарағанымызда усындай шегаралық шәртлердиң дурыс болатуғынлығы көзге анық көринип туған жоқ. Усы ўақытқа шекем бул әхмийетли мәселе бойынша алынған нәтийжелер төменде баянланған.»

Буннан кейин мақалада Ньютон теориясы талкыланады. А.Эйнштейн былай жазады:

«Кеңисликтеги шексизликте φ ушын турақлы шектиң болыўы формасындағы Ньютонның шегаралық шәртинен материяның тығызлығының шексизликте нолге айланатуғынлығы келип шығатуғынлығы белгили. Хақыйқатында да этирапында материяның гравитациялық майданы тутасы менен алғанда сфералық симметрияға (орайға) ийе болатуғын таптық деп есаплайық. Бундай жағдайда Пуассон теңлемесинен қашықлық r диң өсиўи менен шексизликте φ диң базы бир шекке тең болыўы ушын орташа тығызлық ρ ның $1/r^2$ қа салыстырғанда тезирек нолге умтылатуғынлығы келип шығады. Бундай мәнисте шексиз үлкен массаға ийе бола алатуғын болса да Ньютон дүньясы шекли.

Буннан аспан денелери тәрәпинен шығарылған нурланыў Ньютон дүньясын ортадан радиал бағытлар бойынша кейнинен изсиз жоғалыў ушын таслап кетеди. Бирақ бундай аўхал тутас аспан денесинде болыўы мүмкин емес...

Егер газ молекулаларының Больцман бөлистирилиўин жұлдыз системасын стационар жыллылық қозғалысындағы газ деп қарап жұлдызлар ушын қолланатуғын болсақ Ньютон әлеминиң болыўының мүмкин емес екенлигин көреміз. Себеби орай менен шексизлик арасындағы шекли мәнистеги потенциаллар айырмасына тығызлықтардың шекли қатнасы сәйкес келеди. Демек шексизликтеги ноллик тығызлық орайдағы ноллик тығызлыққа алып келеди.

Көринип турғанындай, бул қыйыншылықтардан Ньютон теориясы рамкаларында турып шығыў мүмкин емес. Усыған байланысly сораў туўалы: Ньютон теориясын модификациялаў жолы менен сол қыйыншылықтардан шығыў мүмкин емес пе? Буның ушын ең алдын дыққат қойып қабыл етиў ушын жолды көрсетеміз, себеби бул жол кейинги талқылаўларды жақсырақ түсинип алыў ушын хызмет етеди. Пуассон теңлемесиниң орнына жазамыз

$$\Delta\varphi - \lambda\varphi = 4\pi K\rho \quad (2)$$

Бул аңлатпадағы λ базы бир универсал турақлы шама болып табылады.

Егер ρ_0 массаның тарқалыўының турақлы тығызлығы болса, онда

$$\varphi = -\frac{4\pi K}{\lambda}\rho_0 \quad (3)$$

(2)-теңлемениң шешими болып табылады. Бул шешим қозғалмайтуғын жұлдызлардың кеңисликтеги тең өлшеўли тарқалыўына сәйкес келеди. Бундағы тығызлық ρ_0 дүньялық кеңисликтеги материяның ҳақыйқый орташа тығызлығына тең болыўы керек. Бул шешим материя менен орташа тең өлшеўли толтырылған шексиз үлкен кеңисликке сәйкес келеди.»

Усындай жоллар менен А.Эйнштейнде ўақытқа байланысly өзгермейтуғын (стационар) шексиз үлкен әлем пайда болған. Материя менен бир текли толтырылған бул әлемди биз Эйнштейн әлеми деп атаймыз.

Эйнштейнниң биз қарап атырған мақаласының 3-параграфы «Тең өлшеўли тарқалған материясы бар кеңисликтеги туйық дүнья» деп аталады. Бул параграфта биз мынадай жағдайлар менен танысамыз:

«Материяның тарқалыўы ҳаққындағы бизге белгили мағлыўматлар ишиндеги ең әҳмийетлиси жұлдызлардың салыстырмалы тезликлериниң жақтылықтың тезлигинен жүдә киши екенлигинде. Сонлықтан мен дәслеп мынадай жуўық болжаўды талқылаўларымызға тийкар етип аламан: материя көп ўақытлар даўамында тынышылықта

туратуғын координата системасы бар деп есаплаймыз. Усы координата системасында материяның тензоры мынадай әпиұайы түрге ийе болады:

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \rho \end{matrix}$$

Тығызлықтың бөлистрилийі скаляр ρ (орташа) кеңіліктегі координаталардың функциясы болыуы мүмкін. Бірақ биз дүньяны кеңілік бойынша туйық деп болжаймыз. Сонлықтан ρ турған орыннан ғәрезли емес деген гипотезаны қабыл етеміз хәм бул гипотеза буннан кейинги талқылауларымыздың тийкарында турады.

Гравитация майданына келетуғын болсақ

$$\frac{d^2 x_\nu}{ds^2} + \left\{ \begin{matrix} \alpha & \beta \\ & \gamma \end{matrix} \right\} \frac{dx_\alpha}{ds} \frac{dx_\beta}{ds} = 0$$

қозғалыс теңлемесинен статикалық гравитациялық майданда тек g_{44} орынға байланыссыз болғанда материаллық ноқаттың тынышлықта туратуғынлығы келип шығады.

Мақаланың 4-параграфы «Гравитациялық майданға киргизиу зәрүр болған қосымша ағза хәққинда» деп аталады. Онда

«Ықтыярлы түрде сайлап алынған координаталар системасындағы гравитациялық майданның теңлемелери мына түрге ийе болады:

$$G_{\mu\nu} = -\chi \left(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T \right). \quad (13)$$

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)-түрдегі Пуассон теңлемесин улыұмаластырыуға сәйкес бир улыұмаластырыуға мүмкиншилик береді. Улыұмалық ковариантлықты бұзбай (кейинги) теңлемениң шеп тәрәпине хәзирше белгисиз фундаменталлық константа λ 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 теңleme λ ниң жеткиликли дәрежеде киши мәнислери ушын Қуяш системасында жүргизилген бақлауларға сәйкес келеді. Бул теңleme импульс пенен энергияның сақланыу нызамларын да қанаатландырады...»

5-параграф есаплаулар нәтийжелерин баянлайды хәм «Есаплаулар. Нәтийже» деп аталады. Онда былай делинеди:

«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 (13а) дағы $g_{\mu\nu}$ диң орнына ($g_{\mu\nu}$ лар дифференциалланбаған ямаса бир рет дифференциалланған орынлар ушын) мына мәнислердиң қойылыуы мүмкин:

$$\begin{array}{cccc} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}$$

Солай етип дәслепп мына аңлатпа алынады:

$$G_{\mu\nu} = \frac{\partial}{\partial x_1} \begin{Bmatrix} \mu & \nu \\ 1 \end{Bmatrix} + \frac{\partial}{\partial x_2} \begin{Bmatrix} \mu & \nu \\ 2 \end{Bmatrix} + \frac{\partial}{\partial x_3} \begin{Bmatrix} \mu & \nu \\ 3 \end{Bmatrix} + \frac{\partial^2 \lg \sqrt{-g}}{\partial x_\mu \partial x_\nu}.$$

...барлық (13а) теңдемелериниң егер

$$-\frac{2}{R^2} + \lambda = -\frac{\chi\rho}{2}, \quad -\lambda = -\frac{\chi\rho}{2}$$

катнаслары орынланған жағдайда қанаатландырылатуғынлығы келип шығады. Ямаса

$$\lambda = \frac{\chi\rho}{2} = \frac{1}{R^2}.$$

Солай етип егер тең салмақлық халында сақланатуғын орташа тығызлық ρ , сфералық кеңисликтин радиусы R хәм оның көлеми $2\pi^2 R^3$ белгили болса жанадан киргизилген универсаллық константа λ ниң мәнисин анықлау 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/см³, 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 есапка алсақ, онда $M_{\text{Әлем}}/M_{\text{Қуяш}} = 10^{24}$ екенлиги келип шығады. Бул хәзирги ўақытлары қабыл етилген мағлыўматларға толық сәйкес келеди.

§ 9. Эйнштейн теңлемелерін 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 кеңислиги тегис хәм -1 ашық моделлер ушын). $R(t)$ функциясының ўақытқа ғәрезлилиги менен k шамасын анықлаў ушын Эйнштейн теңлемелери қолланылатуғын болса алынған кеңислик-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 параметрлестириледи.

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 байланыслы монотонлы өзгереді, сонлықтан хәрдайым « z қызылға аўысыўында турған объект» деген түсиникти пайдаланады.

Мейли ρ 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 хәққинда гәп етиледі.

Биз дәслеп

$$ds^2 = -dt^2 + R^2(t) \left[\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2(d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2) \right] \quad (9-5)$$

түрінде 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

$$ds^2 = R^2(\eta) [-d\eta^2 + d\chi^2 + \Sigma^2(\chi)(d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2)] \quad (9-7)$$

түрінде жазыуға болатуғынлығын көрсетеміз. 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

$$dr = \begin{cases} \cos \chi \\ d\chi \\ \text{ch} \chi \end{cases}$$

$$\frac{dr^2}{1-kr^2} = \begin{cases} d\chi^2 \\ d\chi^2 \\ d\chi^2 \end{cases}$$

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 өзгеріушисинен η өзгеріушисине

$$dt = R(\eta) d\eta$$

қатнасының жәрдемінде түрлендириуіди 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 теңдемелерін қанаатландыратуғынлығын талабынан шығып идеал сұйықлық пенен толтырылған космологиялық Фридман модели үшін динамикалық теңдемелерді келтиріп шығарайық.

Ортонормировкаланған жолдас координата системасында

$$T_0^0 = -\rho, \quad T_r^r = T_\varphi^\varphi = T_\psi^\psi = p. \quad (9-8)$$

Демек (кери изге 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

$$\begin{aligned} R_0^0 &= 3\mathcal{K}/R, \\ R_1^1 &= \frac{1}{R^2}(R\mathcal{K} + 2\mathcal{K}^2 + 2k). \end{aligned} \quad (9-10)$$

Буннан

$$\begin{aligned} 3\mathcal{K} + 4\pi G(\rho + 3p)R &= 0, \\ R\mathcal{K} + 2\mathcal{K}^2 + 2k - 4\pi G(\rho - p)R^2 &= 0 \end{aligned} \quad (9-11)$$

теңдемелерін аламыз.

Егер (9-11) деги биринши теңлемени \mathcal{K} ге бөлсек, онда

$$\mathcal{K}^2 + k = \frac{8\pi G}{3}\rho R^2 \quad (9-12)$$

теңлемесін аламыз.

$$\frac{1}{2}d\left[\left(\frac{\mathcal{K}}{R}\right)^2\right]/dR = \mathcal{K} \quad (9-13)$$

екенлигин еске түсиреміз. Онда (9-11) диң биринши теңлемесінен

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{d}{dR} \left(\frac{8\pi G}{3} \rho R^2 \right) &= \frac{1}{2} \frac{d}{dR} \left(\frac{\mathcal{K}}{R} \right)^2 = \mathcal{K} = -\frac{4}{3} \pi G (\rho + 3p) R, \\ \frac{d}{dR} (\rho R^2) &= -(\rho + 3p) R, \\ \frac{d}{dR} (\rho R^2) &= -3p R^2 \end{aligned} \quad (9-14)$$

екенлигине ийе боламыз хәм (9-11) диң екінши теңлемесін аламыз.

Енди Фридман модели үшін ρ , k хәм q шамалары арасындағы байланысларды келтиріп шығарамыз.

$$H \equiv \mathcal{K}/R$$

анықламасынан хәм (9-12) ден

$$\frac{8\pi G\rho}{3} = \frac{k}{R^2} + H^2 \quad (9-15)$$

теңлемесин тиккелей аламыз. Ал егер усы теңлемени R бойынша дифференциалласық, (9-13) пенен биринши тәртіпли басқа

$$d(\rho R^3)/dR = -3\rho R^2$$

теңлемени хәм

$$q \equiv -\frac{\rho R}{\rho^2}$$

анықламасын есапқа алсақ биз

$$-8\pi G\rho = \frac{k}{R^2} + H^2(1-2q) \quad (9-16)$$

теңлемесине ийе боламыз.

Егер $\rho \gg \rho$ болса (9-16) ның шеп тәрәпин оң тәрәпине салыстырғанда есапқа алмай кетиўге болады (бул модельде затлар басым болған жағдайға сәйкес келеди) 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 ρ ны жоғалтып

$$\frac{k}{R^2} = (q-1)H^2$$

екенлигин көремиз. Ал k/R^2 ағзасын жоқ етиў барысында

$$\frac{8\pi G\rho}{3} = qH^2$$

екенлигине исенемиз.

Солай етип ρ менен ρ арасындағы хәр қыйлы қатнастар хәр қыйлы теңлемелерге алып келеди екен²⁰.

Енди биринши тәртіпли Фридман теңлемесин $R(t)$ ға қарата еки жағдай ушын шешемиз. Биринши жағдайда материяның тығызлығына затлар, екінши жағдайда материяның тығызлығына нурланыў тийкарғы үлес қосатуғын болсын. Хәзирги дәўирдиң параметрле-

²⁰ Биз Әлемнің раўажланыў барысында ρ менен ρ арасында хәр қыйлы қатнастардың болғанлығын билемиз.

рин H_0 хэм q_0 аркалы белгилеймиз және усы шамалардың мәніслеринің тұрақлы екенлігін ескертип өтеміз²¹.

Биринши жағдай. Затлар материяның басқа түрлерине қарағанда көп болған жағдайда басымды есапқа алмай кетіуімізге болады. Бундай аўхалда масса-энергияның тығызлығы Әлемнің көлеминің үлкейіуі менен кемедейди:

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^3. \quad (9-18)$$

$$d\eta = dt / R$$

аңлатпасының жәрдеминде жаңа ўақытлық координатаны анықлаймыз²². 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:

²¹ Адетте бир текли хэм изотроп кеңіслік ушын Эйнштейннің теңлемесин әпиўайылаытырады хэм мына түрдегі теңлеме алады:

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

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\dot{R}}{R} \right)^2 - \frac{4\pi G \rho}{3} = -\frac{kc^2}{2R^2} + \frac{\Lambda c^2}{2}.$$

Егер усы теңлемелер системасындағы биринши теңлемени Mathematica 5 тиниде шешетуғын болсақ (шугаралық шәртлер ушын $t=0$ де $R=0$, ал $t=t_1$ де $R=R_1$ деп алынған). Бундай жағдайда теңлеме 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 шешімди береді:

$$R[t] \rightarrow \frac{-\frac{2t\sqrt{-3G\rho\pi-c^2G\rho}}{\sqrt{3}c} + \frac{2t_1\sqrt{-3G\rho\pi-c^2G\rho}}{\sqrt{3}c} \left(-1 + e^{\frac{4t\sqrt{-3G\rho\pi-c^2G\rho}}{\sqrt{3}c}} \right)}{-1 + e^{\frac{4t_1\sqrt{-3G\rho\pi-c^2G\rho}}{\sqrt{3}c}}}$$

²² Әдетте бул координатаны «угол развертки» деп атайды.

$$\frac{1}{2}\eta = \int_0^{R^{1/2}} \frac{dR^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3 - kR\right)^{1/2}} = \begin{cases} k = +1 \text{ болганда} & \text{arcSin} \frac{R^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3\right)^{1/2}} \\ k = 0 \text{ болганда} & \frac{R^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3\right)^{1/2}} \\ k = -1 \text{ болганда} & \text{arSh} \frac{R^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3\right)^{1/2}} \end{cases} \quad (9-21)$$

Енди

$$q_0 = \frac{4\pi G \rho_0}{3 H_0^2} \quad (9-22)$$

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 екенлигиненен $k = \text{sign}(2q_0 - 1)$ 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:

$$R = \begin{cases} k = +1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}} (1 - \text{Cos}\eta), \\ k = 0 \text{ ушын} & \frac{1}{12} H_0^2 R_0^3 \eta^2. \\ k = -1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}} (\text{Sh}\eta - 1). \end{cases} \quad (9-24)$$

Ең кейнинде $dt = R d\eta$ шамасын интеграллап мыналарды аламыз:

$$t = \begin{cases} k = +1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}} (\eta - \text{Sin}\eta), \\ k = 0 \text{ ушын} & \frac{1}{12} H_0^2 R_0^3 \eta^3. \\ k = -1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(1 - 2q_0)^{3/2}} (\text{Sh}\eta - \eta). \end{cases} \quad (9-25)$$

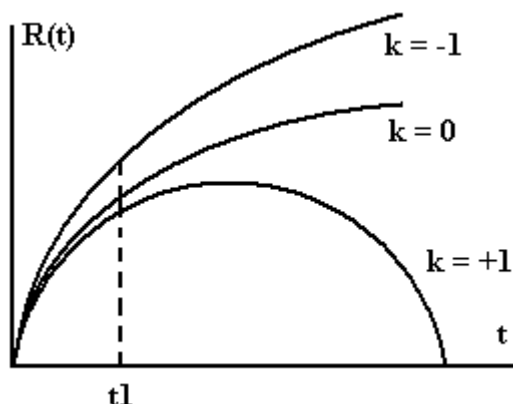
Жоқарыда шешилген мәселеде $k=0$ болған жағдай ушын жуўаптан R_0 ди жоқ қылыў мүмкин емес екенлигин аңсат аңлаў мүмкин. Бул факт усындай жағдайларда Әлемниң кеңисликлик қашықлықларда ықтыярлы масштабларға ийе болатуғынлығын, ал оның геометриясының ўақыттың барлық моментлеринде бирдей болып «көринетуғынлығын»

сәулелендиреди. Сонлықтан R_0 диң сан мәниси қәлеген физикалық өлшенетуғын шамаға кирмейди.

Биз (9-24)- пенен (9-25)-аңлатпалардан әҳмийетли жуўмақлар шығарамыз:

А). Әлем жабық болған жағдай ($k=+1$). $R = \frac{Q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}}(1 - \text{Cos}\eta)$. Демек R диң мәниси η ның мәнисине ғәрезли $(1 - \text{Cos}\eta)$ нызамы. Егер $\eta = 0$ хәм $\eta = n\pi$ 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 үшеўинде де $R=0$ болған жағдайларды көремиз. Соның менен бирге бул жағдай $\eta = 0$ де $t = 0$ болатуғын мәнислерге сәйкес келеди хәм $t \rightarrow 0$ де $R \rightarrow 0$, ал тығызлық $\rho = \infty$ екенлиги келип шығады. Жабық моделде $R=0$ жағдайы дәўирли түрде қайталанады, ал ашық хәм тегис моделлерде $t = 0$ ($\eta = 0$) болған ўақыт моментинде тек бир рет орын алады. $R(t)$ функциясы $t = 0$ ($\eta = 0$) болған моменттен баслап монотонлы түрде өседи. R диң максималлық мәниси [әлбетте тек жабық модельде ($k=+1$)] $R_{\max} = 2 * \frac{Q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}}$. Ал ашық хәм тегис моделлерде R диң мәниси шексиз өседи. Бул 4-сүүретте келтирилген.



4-сүүрет. $R = R(t)$ ғәрезлилиги. Бул сүүретке $\Lambda = 0$, бир текли хәм изотроп әлем сәйкес келеди. $k = +1$ болған жағдайда кеңейиў қысылыў менен алмасады, $k = 0$ хәм $k = -1$ болған жағдайларда кеңейиў шексиз даўам етеди. t_1 ўақыт momenti хәзирги Әлемге сәйкес келеди. Үш жағдайда да $R(t) = 0$ болған жағдай бақланады (сингулярлық)

Солай етип $t=0$ мәнисиндаги $R \rightarrow 0$ изотроп моделдиң кеңислик-ўақытлық моделиниң айрықша ноқаты болып табылады (усы гәплер жабық моделдеги $R=0$ болған барлық ноқатларға да сәйкес келеди). Егер R менен t арасындағы байланысты анықлайтуғын болсақ [(9-24) пенен (9-25) ти салыстырып табамыз хәм ол байланыс $R = \sqrt{\text{const} * t}$ түринде болады], онда t ның белгиси өзгергенде $R(t)$ шамасының жормал мәниске ийе

болатуғынлығын дәлиллейди. Интервал ушын аңлатпадағы g_{ij} тың барлық төрт кураушысы терис мәниске, ал g анықлаушысы оң мәниске ийе болған болар еди. Физикалық жақтан бундай метрика мәниске ийе емес. Бул метриканы айрықша ноқаттан t ның терис мәнислерине қарай дауам еттириудің физикалық мәниске ийе болмайтуғынлығын көрсетеди.

Екинши жағдай. Нурланыу басым болған уақытлары жолдас кеңістіктің берілген көлеміндегі масса-энергия турақлы болмайды. Бул жағдайда фотонлардың қызылға ауысуының есабынан тығызлықтың қосымша кемеийу эффекти орын алады. Сонлықтан

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^4. \quad (9-26)$$

(9-19) дың аналогы мына теңдеме болып табылады:

$$\left(\frac{dR}{R} \right)^2 = \left(\frac{dR/d\eta}{R^2} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^4 - \frac{k}{R^2}$$

ямаса

$$\frac{dR}{\left(\frac{8}{3} \pi G \rho_0 R_0^4 - k R^2 \right)^{1/2}} = d\eta.$$

Бул теңдеменің 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 ўақыттың тек жүдә киши бөлегин нурланыў дәўири тутатуғын болсын. Жоқарыда алынған нәтийжелерден пайдаланып усы әлем «туўылғаннан» баслап өлгенге шекем фотонның неше рет әлемди айланып шығатуғынлығын есаплайық.

Егер Фридман метрикасында ўақыт $d\eta = dt/R$ аңлатпасы менен есапланатуғын «раз-вертка мүйеши» менен анықланатуғын болса радиус бойынша тарқалатуғын фотон ($d\varphi = d\theta = 0$) 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 жасаў ўақыты (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 әпиўайыласады екен. Бундай әлемди Фридман әлеми деп атаймыз. Ал Фридман әлеми ушын көплеген мәселелерди сол әпиўайыластырылған Эйнштейн теңлемелерин пайдаланып шешийге болады екен.

§ 10. Улыўма салыстырмалылық теориясының улыўмалық әхмийети 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 Әлемнің тутасы менен алғандағы ең улыўмалық қәсийетлерин түсиндиреди. Қара курдымлардың бар екенлиги болжанды. Қара курдымлар түсинигиниң жәрдеминде рентген қос системаларындағы, галактикалар менен квазарлардың ядроларындағы кубылыстар табыслы түрде түсиндириледі.

3. Гравитациялық толқынлардың бар екенлиги болжап айтылды. Олардың хақыйқатында 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 баклаўшының дүньялық сызығы бойлап локаллық инерциаллық координаталарды енгизиўдиң мумкиншилигин автомат түрде өз ишине алады. Бундай координаталар системасында салмақсызлық орын алады ал жоғалтылмайтуғын гравитациялық тәсир қоршаған орталықты тасыў-қайтыў характеринде деформациялайды. Теорияда салмақ майданы²³ хәм координата системасының тезлениўши қозғалысы арасындағы локаллық эквивалентлилик принципи орынланады. Тәжирийбе эквивалентлилик принципин 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 әхмийетин хәм дурыслығын айқын сәўлелендиреди.

Егер космологияға келетуғын болсақ биз төмендегилерге тоқтап өтеміз:

Эйнштейн теңлемелериниң қолланылыў областлары киши қашықлықлар менен материяның үлкен тығызлықларында²⁴ шекленбеген (бул гәплер киши қашықлықлар менен үлкен тығызлықларда теңлемелердиң ишки қарама-қарсылықларға алып келмейтуғынлығының салдарында айтылған²⁵). Бундай мағанада айтқанда кеңислик-ўақытлық метриканың өзгешеликлерин изертлеў толықы менен корректли жұмыс болып табылады. Соның менен бирге сондай қашықлықлар менен үлкен тығызлықларда квантлық кубылыстардың басым болып кететуғынлығына гүмән жоқ. Бирақ бундай кубылысоар хаққында хәзирги теория хеш нәрсе билмейди. Тек болажақта ғана тартылыс теориясы менен квант теориясының синтези классикалық теорияның қайсы нәтийжелериниң хақыйқый мәнислерин сақлайтуғынлығын анықлай алады. Қалай деген

²³ «Салмақ майданы», «Тартылыс майданы» сөзлери бир мәнисте қолланылған.

²⁴ Гәп Планк масштабындағы қашықлық (10^{-33} см) хәм тығызлық (10^{96} г, см³) хаққында кетип атыр.

²⁵ Классикалық электродинамикада бундай жағдайларда ишки қарама-қарсылықлар айқын көринеди.

менен Эйнштейн теңдемелерінің шешімлерінде айырықша жағдайлардың пайда болуы факти терең физикалық мәніске ийе болады деп есаплаймыз.

Бирақ усы айтылғанларға қарамастан, улыұмалық салыстырмалылық теориясына альтернатив теориялар пайда болмақта. Неликтен альтернативлік теориялар пайда болмақта? Усы сорауға байланысly еки тенденцияны атап өтеміз:

Биринши тенденция улыұмалық салыстырмалылық теориясын классикалық (квантлық емес) гравитация областындағы дурыс емес хэм қанаатландырмайтуғын теория деп дағазалайды. Мәселениң бундай етип қойылуының өзінше нюанслары бар. Екинши жағдайлар улыұмалық салыстырмалылық теориясы жәрдеминде есапланған айырым шамалардың экспериментлерде анықланған шамаларға дәл сәйкес келмеуінде. Тәжірийбелер бундай теориялардың узақ уақыт жасап атырмағанлығын көрсетеди.

Альтернативлік теориялардың ең белгилілерінің бири А.А.Логуновтың басшылығында дөретілген гравитацияның релятивистлік теориясы болып табылады. Бул хэм басқа да альтернатив теориялардың көпшилиги гравитацияны кеңіслік-уақыттың геометриясының өзгешеліги емес, ал хақықый физикалық майдан (мысалы электромагнит майданы, ядро күшлери майданы хэм басқалар) сыяқлы майдан деп қарайды. Демек сол теориялардың авторлары теорияның мазмунына емес, ал формасына қайыл емес. Мысалы электромагнит майданы Максвелл электродинамикасы тийкарында толық түсіндириледи хэм электромагнит майданы хақықый 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 кеңіслік-уақыттың иймейіуи екенлиги биз көрдик). Оның (электромагнит майданының) энергия-импульс тензоры сәйкес түрлендириу хэм сақланыу нызамларына ийе жақсы хэм 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 релятивистлік теориясының авторлары А.А.Логунов, М.А.Мествиришвили хэм В.А.Петровлардың «Как былы открыты уравнения Гильберта-Эйнштейна» мақаласы шықты. Бул мақаланың авторларының мағлыұматлары бойынша гравитациялық майданның теңдемелерине 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 өзлерінің атларының гравитациялық майданның теңлемесінде турыуы ушын урынған. Ал улыұмалық салыстырмалылық теориясы болса толығы менен

А.Эйнштейннің теориясы болып табылады. Мақаланың авторларының «салыстымалылықтың дара теориясының аңлатпаларының сызықты ортогоналдық түрлендіріулерге қарата ковариант болыуының зәрүрлиги постулатына сүйенгенлиги сыяқты улыұмалық салыстырмалылық теориясы барлық теңлемелер системасының анықлаушысы (определители) 1 ге тең болған түрлендіріуіге қарата коварианттылығын постулатына тийкарланған. Бул теорияның гөззаллығы усы теорияны хақықатында да түсинетуғын адамлардан жасырынып қала алмайды, теория Гаусс, Риман, Кристофел, Риччи хәм Ливи-Чивиталар тәрәпинен раўажландырылған абсолют дифференциалдық есаплаудың хақықый шыңын аңғартады» сөзлери орынлы болып табылады.

Космология

Кирисиу

Әлемнің пайда болыуы менен раўажланыуы барлық уақытлары адамзат цивилизациясы тарийхында дыққат орайында болып келди. Соның нәтийжесинде ең уллы илимпазлар өзлеринин изертлеулерин Әлемнің қурылысын анықлауға бағышлады (Гиппарх, Аристотель, Птолемей, Әл Беруний, Мырза Улығбек, Коперник, Джордано Бруно хәм басқалар). Бирақ бул хаққында тек соңғы дәуірлерде ғана тәжирийбелер менен исенимлі теорияларға (салыстырмалылық теориясы, майданның квант теориясы, хәзирги элементар бөлекшелер теориясы) тийкарланған илимий тәлимат анық түрде қәлиплести. Бул тәлимат инфляциялық космология болып табылады.

Инфляциялық космология ең ертедеги Әлемнің физикалық халы менен кеңейиу нызамы хаққындағы гипотезаға тийкарланып, Әлемнің дәслепки кеңейиуинин себеплерин оның хәзирги уақытлардағы қәсийетлерин түсиндириуіге қолланылады. Сонлықтан инфляциялық космология бизин 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 дәуіринен баслап (Әлем кеңейе баслағаннан кейин ($t_{\text{пл}} \approx 10^{-43}$ с, $\rho_{\text{пл}} \approx 10^{93}$ г/см³) рекомбинация дәуіринен шекем (буннан кейинги шама менен 300 мың жыллық дәуір) $p = \varepsilon/3$ (p басым, ε энергияның тығызлығы) аңлатпасына жақын болған хал теңлемеси менен анықланады. Усы дәуір ишинде масштаблық фактор $R(t)$ уақыттың $1/2$ -дәрежесине пропорционал (яғный $R(t) \propto t^{1/2}$), ал $p \ll \varepsilon = \rho c^2$ (p 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 жаксы түсиндиреди. Бирақ хәзирги Әлемниң базы бир қәсийетлерин түсиндире алмайды.

Усындай қәсийетлердиң бири Әлемниң үлкен масштаблардағы бир теклиги менен изотропиясы болып табылады. Әлемниң 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 дәўирлерде²⁶ болса бул қашықлықлар киши болған. Стандарт модель бойынша Планк дәўиринде ($t_{\text{Пл}} \approx 10^{-43}$ 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 байланыслы биз Планк дәўиринде сол областлардың барлығында да бирдей басланғыш шәртлер болған деп болжаўға²⁷ мәжбүр боламыз. Басланғыш шәртлер ҳаққындағы бул талқылаўлар бақланбайтуғын (бақланыўы мүмкин болмаған), соның менен бирге хәзирги заман физикалық теорияларының қолланылыўының шегарасы болған Планк дәўирине тийисли. Бирақ тап сондай жуўмақларға кейинги, бақланыўы мүмкин болған дәўирлерге (мысалы рекомбинация дәўири) байланыслы да келемиз. Ҳақыйқатында 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 ҳеш қандай тийкар жоқ. Бирақ соған карамастан хәр қыйлы бағытлардан келетуғын реликтив нурлардың температурасы үлкен дәлликлерде ($\sim 10^{-4}$) бирдей. Солай етип бақлаўлар Әлемниң бир текли хәм изотроп екенлигин дәлиллейди. Ал усундай қәсийетлердиң пайда болыўының себеплери түсиниксиз болып қалады.

Әлемниң усы ўақытларға шекем түсиндирилмеген екінши қәсийети $\Omega = \rho/\rho_{\text{кр}}$ параметриниң мәнисиниң бирге жақынлығында ($\Omega \approx 1$, ал $\rho_{\text{кр}} \approx 5 \cdot 10^{-10}$ г/см³). Бахалаўлар нәтийжелери бойынша хәзирги ўақытлары $\Omega = \Omega_0$ шамасының мәниси $0,003 < \Omega_0 < 2$. Де-

²⁶ Бул жумыста дәўирдиң аты айқын көрсетилмеген жағдайларда астрономиялық дәўирлер (яғный миллиардлаған жыллар) нәзерде тutyлады.

²⁷ Бул болжам постулат болып табылады. Сонлықтан биз болжаймыз деген сөздиң орнына «постулатлаймыз» (русшасы «постулируем») деген сөзди де қолланамыз.

мек дүньяның²⁸ Ω ның бирге тең, бирден үлкен ямаса бирден киши екенлигине байланыс-лы «-» ямаса «+» белгисине ийе болған кеңісликлик майысқанлығының радиусы Хаббл қашықлығынан әдеуір киши бола алмайды. Соның менен бирге $\Omega = 1$, соған сәйкес дүньяның тегіс болыуы да мүмкін (кеңісликтің майысқанлығы нолге тең). Динамиканың теңлемелерінен егер хәзирги дәуірлерде Ω ның мәніси бирге тең болмаса, бірақ жоқарыда көрсетілген шеклер ишінде жатса, ұақыттың функциясы болғанлықтан бұрынлары $\Omega = 1 \pm 10^{-8}$ дәллікте бирге жақын болғанлығы келип шығады. Басқа сөз бенен айтқанда кеңейіуши затлардың кинетикалық хәм потенциал энергиялары арасында жоқары дәлліктеги баланс (теңлік) орын алған.

Үшіншиден, Әлемнің қурылысының неликтен галактикалар менен олардың топарларынан туратуғынлығы усы ұақытларға шекем стандарт космология тийкарында түсиндирилген жоқ.

Жоқарыда келтирилген тийкарғы үш мәселени түсиндириу мақсетінде 1980-жыллардан баслап хәзирги ұақытлары космологияның ажыралмас бөлегине айланған инфляциялық космология қәлиплесе баслады. Бул космологияның тийкарғы өзгешелиги ең дәслепки Әлемнің раўажланыуының белгили бир этапларындағы $R(t) \propto t^{1/2}$ ғәрезлилигинен бас тартыу болып табылады. Инфляциялық космология моделинде (ИКМ) барионлық зарядлар пайда болатуғын дәуір алдында Әлем $R(t) \sim 1/\text{Hexp}(Ht)$ нызамына жақын нызам бойынша кеңейеди. Бул аңлатпадағы H арқалы кеңейіудің инфляциялық стадиясындағы Хаббл турақлысы белгиленген. Оның мәніси $10^{42} \text{ c}^{-1} > H > 10^{36} \text{ c}^{-1}$ шекле-ри ишінде болады хәм Хаббл турақлысының хәзирги ұақытлардағы мәнісинен оғада үлкен. Кеңейіудің бундай нызамы $p = -\varepsilon$ болған хал теңлемесине сәйкес келиуши физикалық майданлардың халлары менен тәмийинленеди (яғның терис мәніске ийе басымға ийе хал). Кеңейіудің бундай стадиясын инфляциялық стадия деп атайды. Себеби инфляция барысында масштаблық фактор хәм соның менен бирге қәлеген еки ноқат арасындағы қашықлық үлкейеди, ал энергияның тығызлығы ε өзгермей қалады. Усындай әдеттегидей емес кубылыс тек терис мәнісли басымлар (бул керіуге сәйкес келеди) орын алғанда жүзеге келеди²⁹. Ал энергиясының мәніси оң, басымының мәніси терис болған хал турақлы емес. Сонлықтан Әлемнің кеңейіу стадиясын жүзеге келтиретуғын майданның энергиясы ε әдеттеги бөлекшелердің энергиясына айланады. Затлар менен нурланыу жоқары температураға ийе болады хәм Әлем кеңейіудің радиация басым болатуғын режимине өтеди (бул режимде $R(t) \sim t^{1/2}$). Инфляция стадиясының жеткиликли

²⁸ Дүнья сөзи Әлем сөзинің синоними сыпатында қолланылады.

²⁹ Биз улыуа физика курсынан әдеттеги басымға оң мәніске ийе энергия сәйкес келетуғын болса керіуге (терис мәнісли басымға) терис мәнісли энергияның сәйкес келетуғынлығын билемиз.

дәрежедеги узақлығында (ўақыт бойынша) ҳәзирги ўақытлары бақланатуғын Әлемнің барлық бөлеги инфляцияға шекемги себеп пенен байланысқан бир областтың кеңейиўиниң нәтийжеси болып шығады. Бул жағдайлар өзінше ҳәзирги ўақытлардағы ири масштаблық бир теклилик пенен изотроплыққа кепиллик бермесе де оның жүзеге келиўин түсиндире алады. Себеби ең дәслепки себеплилик пенен байланысқан областты бир текли хәм изотроп деп есаплаў тәбийий болып табылады. Усының менен бир қатар кеңейиўдин инфляция стадиясында кеңисликлик майысқанлық радиусы соншама үлкейеди, нәтийжеде Ω ның ҳәзирги ўақытлардағы мәниси автомат түрде бирге жақынласады.

Инфляциялық Әлем моделиниң және бир әҳмийети анық амплитудаға хәм спектриниң формасына ийе тығызлық флукуациясының пайда болыў мүмкиншилигинде (буну возмущениелердиң тегис спектри деп атайды). Бундай спектр үлкен масштаблардағы бир теклилик пенен изотроплықты сақлап қалыў менен бирге Әлемнің бақланатуғын структуралылығының (галактикалар менен олардың жыйнақларының) қәлиплесиўин түсиндире алады. Тығызлық возмущениелериниң пайда болыўы себеплери де шама менен ең ертедеги Әлемдеги интенсивли гравитация майданында бөлекшелердиң пайда болыў себеплери менен бирдей. Бир қатар теориялық жумысларға сәйкес инфляциялық Әлем модели кеңейиўдин инфляциялық стадиясын болдыратуғын майдан теориясы мәселелерин де шеше алады. Мысалы магнит монополи сыяқлы экзотикалық бөлекшелердиң санының үлкен емес екенлиги (бул жуўмақ бақлаўлар нәтийжелерине сәйкес келеди). Мәселениң ең әҳмийетли тәреплериниң бири соннан ибарат, инфляциялық Әлем модели Әлем не ушын кеңейеди деген сораўға жуўап бере алады. Бул жуўап төмендегидей: Жеткиликли дәрежедеги үлкен терис мәнисли басымларда (мысалы $p = -\varepsilon$ болғанда) улыўма салыстырмалылық теориясына сәйкес күш әдеттеги күшке салыстырғанда терис мәниске ийе болады. Бул жағдайда гравитация $p = -\varepsilon$ майданындағы бөлекшелер арасындағы өз-ара ийтерисиўди тәмийинлейди. Демек инфляциялық стадиядағы кеңейиўге бөлекшелердиң бир биринен тезлениўши түрдеги қашықласыўы сәйкес келеди. Себеби тезлениў

$\frac{d^2(Ae^{Ht})}{dt^2} = +H^2 Ae^{Ht}$ оң мәниске ийе, ал радиация басым болған дәўирдеги кеңейиў

әстелениў менен жүреди, себеби $\frac{d^2(B\sqrt{t})}{dt^2} = \frac{1}{4} \frac{B}{\sqrt{t^2}}$ тезлениўи терис мәниске ийе болады

(бул аңлатпаларда $A > 0$ хәм $B > 0$ лар арқалы константалар белгиленген).

Усы жағдайларды есапка алған халда бул питкерий қәнигелик жумысында инфляциялық космология ҳәзирги заман космологиясының тийкарғы буўыны сыпатында баянланған хәм бул тараўға байланыслы айырым изертлеў жумыслары орынланған.

Зәрүрли болған мағлыұматлар интернет тармағынан алынды (бул ҳаққында питкерий жұмысы ақырында дизим берилген), ал есаплаў процедуралары Mathematica 5 тилинде әмелге асырылды.

Питкерий қәнигелик жұмысы 2004/2005-оқыў жылы даўамында орынланды.

СТАНДАРТ КОСМОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛЬ

§ 1. Стандарт космологиялық моделдин тийкарғы өзгешеликтери

Космология Әлемнің астрономиялық бақлаўларға алынған бөлегин тутасы менен изертлейтуғын, бақлаў мағлыұматлары менен теориялық жуўмақларға тийкарланатуғын физикалық тәлимат болып табылады. Космологияның теориялық фундаменти сыпатын тийкарғы физикалық теориялар (гравитация теориясы, электро-магнит майданы теориясы, квант теориясы хәм басқалар) ийелейди. Космология ушын эмперикалық мағлыұматларды тийкарынан галактикадан тыс астрономия береди, ал оның жуўмақлары менен улыўмаластырыўлары пүткил дүнья ҳаққындағы улыўма илимий хәм философиялық әхмийетке ийе.

Космологияда әхмийетли орынды тартылыс ийелейди. Себеби тартылыс массалардың космология ушын характерли болған үлкен аралықлардағы тәсирлесийлерин хәм соған сәйкес космослық материяның динамикасын анықлайды. Космослық материяның динамикасын үйрениў менен бир қатар космология оның хәзирги ўақытлардағы физикалық қәсийетлерин және эволюциясын изертлейди.

Жулдызлардың, галактикалардың курамындағы 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 хәзирги күнлерден $13,7 \pm 0,3$ млрд жыл бурын өтти. Шамасы сол ўақытлары дәслепки материя бир текли хәм изотроп болып тарқалған хәм тығызлық пенен температураның төменлеўине алып келетуғын кеңейиў ҳалында болған. 10^{12} - 10^{11} К температураларында кеңейиўдин характерли ўақыты (мысалы температураның мәнисиниң еки есе кемейиў ўақыты) секундтың мыңнан бир үлесин кураған. Температура $\sim 10^{11}$ К ке шекем төменлегенде материяның тығызлығы (соның ишинде нурланыў да, бөлекшелер де, антибөлекшелер де бар) ядролық заттың тығызлығындай болыўы керек. Эволюцияның усы моментинен баслап материяның қәсийетлерин үйрениў ядролық физикада ашылған фактлер менен теориялар тийкарында жүргизиледи.

$T \gg 10^{10}-10^8$ К температурасына хәм $t \sim 1$ секунд кеңейиў уақытына сәйкес келиўши Әлем тиккелей бақлаў мағлыўматларына ийе ең дәслепки әлем болып табылады. Бул дәўирде протонлар менен нейтронлардан гелий, дейтерий хәм басқа да жеңил элементлердиң ядролары пайда болған болыўы керек. Бул элементлердиң хәзирги ўақытлардағы космослық затларда болыўы есаплаў мағлыўматларына сәйкес келеди хәм сол элементлердиң космологиялық пайда болыўынан дерек береді (аўыр элементлер жулдызларда синтезленеди).

Жеңил элементлердиң ядролары пайда болғаннан кейин ($t \sim 100$ с) затлар еле де (шама менен 1 млн. жыл) плазма халында болады. Усы плазма менен нурланыў да тең салмақлық халда турған затлардың (яғный протонлардың, электронлардың, жеңил элементлердиң) ядроларының температуралары нурланыў температурасына тең. Жоқары тығызлық пенен жоқары температура нейтрал атомлардың пайда болыўына мүмкиншилик бермеген. Температура $T = 4000$ К ға шекем төменлегенде электронлар элементлердиң ядролары менен бириге алған. Бул дәўирди затлар менен нурланыўдың бөлиниў дәўири (рекомбинация дәўири) деп атайды. Фотонлар затлар менен актив түрде тәсирлесе алмаған. Усының нәтийжесинде олар еркин түрде тарқалған. Бул фотонлар хәзирги ўақытлары тең салмақлық реликтив нурлар (микротолқынлық фонлық нурланыў) түринде бақланады.

Шамасы, Әлемнің эволюциясының ең дәслепки дәўирлериниң өзінде бир теклилик пенен изотроплықтан киши-гирим аўытқыўлар болған. Рекомбинация дәўиринен тиккелей кейинги дәўирде бир теклилик пенен изотропияның возмущениелери гравитациялық турақсызлықтың салдарынан үлкейе баслайды. Атап айтқанда тап усындай киши возмущениелер ақыр-аяғында хәзирги ўақытлары бақланатуғын галактикалар хәм олардың жыйнақлары түриндеги кеңисликтеги қурылыстың пайда болыўына алып келди деп болжанады.

Хәзирги ўақыттағы Әлем тек галактикалардың көп сандағы жыйнақларын өз ишине камтыйтуғын үлкен масштабларда ғана жоқары 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 раўажланып атыр. Олардың бири бир теклилик пенен изотроплық принципнен шығып хәзирги Әлемнің үлкен масштаблардағы қурылысын, оның эволюциясын хәм дәслепки (ертедеги) Әлемдеги физикалық процесслерди тәриплейди. Екинши бағыт өз ишине бир теклилик пенен изотроплықтан қанша болса да үлкен аўытқыўларды есапқа алады (бул бағытты бир текли емес анизотропиялық Әлем теориясы деп те атайды). Бул бағыт Әлемнің киши масштаблардағы қурылысының пайда болыўы менен раўажланыўын тәриплеўде 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 екіншиси жақтылықтың жутылыуы менен шығарылыуы, бөлекшелер менен антибөлекшелердің тууылыуы менен аннигиляциясы процесслерин, ядролық реакцияларды хәм басқаларды тәриплейди. Дәслепки материяның тарқалыуының (бөлистирилиуинин) бир теклиги менен изотроптылығы хаққындағы болжаулар өзиниң дурыслығын кеңейиуши 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 улыуымалық салыстырмалылық теориясы (тартысыу теориясы) тийкарында усынылды. Бул моделлерде Әлемнің кеңейиуи тығызлығы шексиз үлкен болған ҳалдан (сингулярлықтан) басланады. Бундай ҳалдағы затлардың қәсийетлери белгисиз.

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 қолланыуға болады. Тығызлық пен

нен температураның бул мәнислери Планк тығызлығы хәм Планк температурасы деп атайды. Олар жақтылықтың тезлиги c , гравитация турақлысы G , Планк турақлысы h хәм Больцман турақлысы 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 тәриплеу ушын физика илиминде еле дәретилмеген тартысыудың квант теориясы (гравитацияның квант теориясы) зәрүр.

§ 2. Хәзирги заман космологиясының бақлау тийкарлары

Галактикалар дүньясы. Кеңисликтің бүгинги күнге шекем жақсы изертленген областында (яғный 1500-2000 Мпк ке шекемги аралықлар) бир неше миллиард жулдызлар системалары – галактикалар жайласқан. Солай етип Әлемнің бақланатуғын областы (бул областты Метагалактика деп те атайды) биринши гезекте галактикалар дүньясы болып табылады. Галактикалардың басым көпшилиги хәр қайсысында онлаған, жүзлеген хәм мыңлаған галактикалары бар топарлар менен жыйнақлардың курамына киреди. Бизиң Га-

лактикамыз³⁰ болса галактикалардың жергиликли топарына киреди. Ал усы жергиликли топар болса Дева шоқ жұлдызы тәрәпиндеги галактикалар топарына жалғасады. Девадағы галактикалар жыйнағы мыңнан аслам ағзаға ийе хәм $\gg 3$ Мпк өлшемге ийе, ал оған шекке қашықлық $\gg 20$ Мпк.

Галактикалардың кеңісликтеги тарқалыуы нызамлылықтарын анықлау үшін аспан сферасындағы хәр қыйлы бағытлардағы галактикалардың хәр қыйлы «тереңликлерге» шекке саны есапланды (яғный үлкен көриниуши жұлдызлық шамаларға шекке). Бақлаулар 14-жұлдызлық шамадан хәзирги уақытлардағы телескоптар менен бақланыуы мүмкин болған ең әззи галактикалар (шама менен 24^m) үшін кеңісликтеги бир текли тарқалыудың характерли екенлигин көрсетти. Характерли өлшеми ~ 100 Мпк болған көлемде (бундай көлемде галактикалардың көп санлы жыйнақлары жайласады) заттың орташа тығызлығы ρ (галактикалардың «шашыратылған» затлары) бир неше мың Мпк болған көлемдеги тығызлық пенен бирдей ($\gg 3 \cdot 10^{-31}$ г/см³ анау ямаса мынау тәрәпке қарай бир қанша қәтелик пенен, қәтеликтің шамасы $3 \cdot 10^{-31}$ ден бир неше есе үлкен).

Жұлдызларды пайда етиуши затлардан басқа Метагалактикада затлар менен нурланыудың басқа да түрлери бар: нейтрал хәм ионласқан газ (галактикалар жыйнағында хәм жыйнақлар арасында), шаң-тозаң, космос нурлары, әззи магнит майданлары (оның жүдә әхмийетли қураушысы реликтив радионурланыуы болып табылады). Затлардың усындай түрлериниң энергияның улыұмалық тығызлығына қосқан үлеси үлкен емес. Энергияның тығызлығына әдеттеги затлар менен әззи тәсирлесетуғын, соның үшін бақланыуы қыйын болған материяның түрлериниң үлеси де белгили емес. Әсиресе нейтриноның (массасыз ямаса массаға ийе екенлиги еле белгисиз) хәм гравитациялық толқынлардың энергияларының тығызлығын билген әхмийетли болған болар еди. Галактикалар арасындағы кеңісликтерде материяның еле ашылмаған түрлериниң де болыуы мүмкин.

Метагалактикадағы материяның барлық түрлериниң бир теклилигин алыстағы радиодереклердиң (олар кеңісликти бир текли толтырады) санларын есаплау да, галактикалардың пекуляр тезликлериниң (яғный системалық емес, ал тосыннан болатуғын) киши екенлиги де, реликтив нурлардың изотропиясы да тастыйықлайды.

Галактикалар жыйнақларының, басқа да затлардың хәм нурлардың кеңісликтеги бир текли тарқалғанлығының экспериментте тастыйықланғанлығын есапқа алып Космология Метагалактиканы тутас орталық деп қарайды. Әлемниң үлкен масштаблардағы қурылысы хаққындағы усындай көз-қараслар ең кеминде биринши жақынласыу сыпатында (в качестве первого приближения) жарамлы.

³⁰ Бизиң Галактикамызды (оны әдетте Кус жолы деп те атаймыз) үлкен хәрип пенен жазамыз.

§ 3. Әлемнің стационар емес екенлиги

Әлемнің стационар емес екенлигин жұлдызлар менен жұлдызлар топарларының эволюциясы, жұлдызлардың партланыуы менен жұлдызлардан, галактикалар ядросынан затлардың ағып шығыуы көрсетеді. Соның менен бирге Әлемнің бақланатуғын бөлімінің стационар емес екенлиги оның кеңейіуінде көринеді. Бул кеңейіу алыстағы галактикалардың системалы қозғалысларынан анықланған.

Алыстағы галактикалардың спектріндегі сызықлар Жердегі лабораторияларда алынған тап сол сызықларға қарағанда спектрдің қызыл тәрәпине қарай жылысқан. Спектр сызығының толқын ұзындығының салыстырмалы өзгерісі (яғнай қызылға аўысыуы)

$$z = (l - l_0)/l_0. \quad (1)$$

Бул аңлатпада l_0 арқалы лабораториялық толқын ұзындығы, l арқалы узақтағы галактиканың аўысқан сызығының толқын ұзындығы аңлатылған. Аңлатпадағы z тиң шамасы узақтағы квазарлар ушын 3,5 ке жетеді. Спектр сызықларының қызылға аўысыуы жақтылықтың дерегинің бақлаўшыдан қашықласыу бағытындағы қозғалысына байланыслы болған Допплер эффекти жәрдемінде түсиндириледи. Егер деректин тезлиги $v \ll c$ болса жийиликтің өзгерісі $z \gg v/c$. Солай етип өлшенген z тиң мәнісі бойынша галактикалардың қашықласыу тезлигинің нурлық тезлигин анықлаўға болады. Барлық узақтағы галактикалардың спектрлеріндегі қызылға аўысыу сол галактикалардың бизиң Галактикамыздан хәм бир биринен қашықласып баратырғанлығын билдиреди. Галактикалардың бундай қозғалыслары улыўмалық хәм тийкарғы қозғалыслар болып табылады. Бул қозғалысларға айырым галактикалардың киши (пекулярлық) қозғалыслары қосылады.

Метагалактиканың кеңейіуі (стационар емеслиги) исенимли түрде анықланған. Усы қубылысты биринши рет бақлаған Америкалы астроном Э. Хаббл 1929-жылы бақлаўлар мағлыўматлары бойынша z хәм алыстағы галактикаларға шекемги қашықлық арасындағы пропорционаллықты тапты:

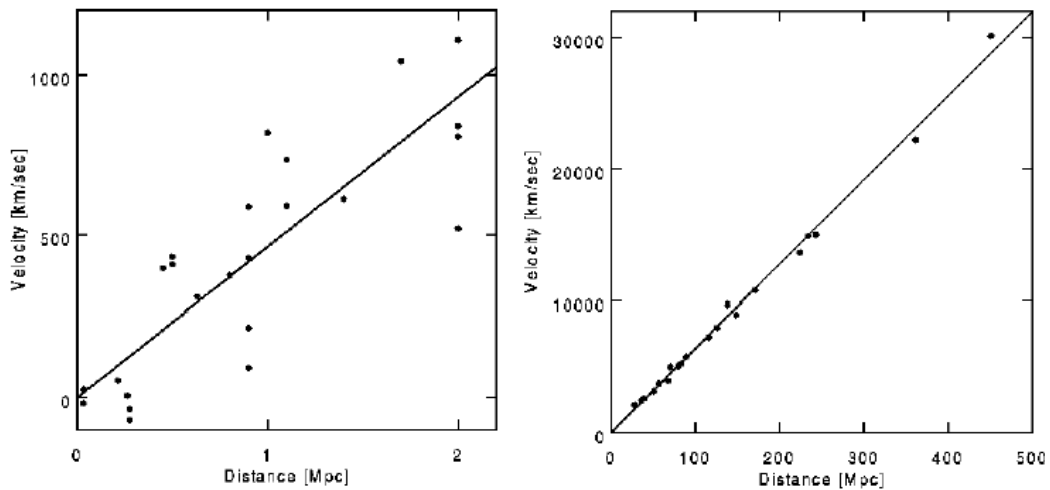
$$z = H \cdot r / c. \quad (2)$$

Бул аңлатпада H арқалы Хаббл турақлысы (Хаббл параметри белгиленген). Бул аңлатпадан галактикаға шекемги қашықлық қаншама үлкен болса, оның радиаллық (нурлық) тезлигинің де соншама үлкен болатуғынлығы келип шығады:

$$v = H \cdot r \quad (3)$$

Н тың мәніси аспан сферасындағы бағытқа ямаса галактикаға шекемги қашықлыққа ғәрезли емес. Хәзирги бахалаўлар бойынша оның мәніси шама менен $72 \text{ км}/(\text{Мпс}\cdot\text{с})$. Кери шамасы болса ўақыттың өлшеimine тең хәм $t_H = 1/H \gg 10$ млрд жыл.

(2)-нызамның дурыслығы исенимли түрде тексерилип көрилген. (3)-нызам болса айырым галактикалар ушын дәл орынланбайды, ал олардың жыйнақлары ушын дәл орыныланады (себеби бул жағдайларда айырым галактикалардың тосыннан болатуғын тезликлери орталаанады). Жыйнақтағы галактикалардың тезликлериниң дисперсиясы $1000 \text{ км}/\text{с}$ қа жетеди, ал галактикалардың жыйнағы ямаса топарларының орайларының, соның менен бирге бундай жыйнақлар менен топарларға кирмейтуғын индивидуал галактикалардың тезликлери (3)-нызамға 15 процентлик дәлликте сәйкес келеди (1-сүүрет). Улыўмалық Хаббл кеңейиўине қосымша болған тосыннан тезликлердиң шамалары $50\text{-}100 \text{ км}/\text{с}$ шамасынан аспайды.



1-сүүрет: Хаббл диаграммалары галактикалардың бир биринен қашықласыў тезликлериниң қашықлыққа ғәрезлилигин сәўлелендиреди. Шеп тәрәптеги сүүрет (бул жерде қашықлықтың ең үлкен мәніси 2 Мпс тен армаз үлкен) Хабблдың өзи алған диаграмма. Оң тәрәптеги сүүрет (қашықлық 500 Мпс) кейинги ўақытлары алынған диаграмма.

Бақлаўлардың ең әхмийетли фактлери қатарына Хаббл турақлысы H тың мүйешлик өзгеріўшилерге хәм g ге ғәрезлилигиниң жоқлығында. Кеңейиўдиң изотропиясы, яғный кеңейиўдиң бақланатуғын картинасының аспан сферасындағы бағытқа ғәрезсизлиги, орайы бақлаў ноқатында болған сфералық симметрияның бар екенлигин билдиреди. H тың g ден ғәрезсизлиги 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. Ғақықатында да орайы А ноқатында жайласқан қозғалыушы координаталар системасына өтиу мына формулалар бойынша әмелге асырылады:

$$r' = r - r_A,$$

$$v' = v - v_A .$$

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 радионурланыуының температурасының изотропиясынан да тастыйықланады. Реликтив нурлардың фотонлары бизге ең алыс галактикаларға шекемги қашықлықтардан бир неше есе үлкен қашықлықтардан келеді. Бирақ сол жағдайға қарамастан ҳәр қыйлы бағытлар ушын сол нурларға сәйкес келиуши температураның мәнислери проценттиң оннан бир үлесиндей дәлликте бирдей болады.

(1)-формула менен анықланған z аұысыуы оның қәлеген мәнисинде физикалық мәниске ийе бола береді. Бирақ $z = v/c$ теңлигине байланыслы оған тек киши болған v/c хәм z ларда ғана мәнис бериледи (z тиң қасында z^2 ты есапқа алмауға болатуғын жағдайларда). Ал $z \geq 1$ болған жағдайларда $z = v/c$ формуласынан пайдаланыуға болмайды. Мысалы, айырым квазарлар ушын $z > 2$. Әлбетте бул жағдай квазарлардың бизден $> 2c$ тезлиги менен қашықласып баратырғанлығын аңлатпайды. Арнаулы салыстырмалылық теориясына сәйкес деректиң тезлиги жақтылықтың тезлигине жақынлағанда z тиң шамасы шексизликке умтылады. Үлкен z лерде жақтылықтың деректен бақлаушыға жолындағы затлардың гравитациялық майданы да үлкен тәсир жасайды. Бул кубылыстың толық тәрипнамасын релятивистлик космология береді (бул ҳаққында 5-параграфта толығырақ гәп етиледи).

§ 4. Реликтив радионурланыу

Әлемнің реликтив нурланыуы (көпшилик әдебиятта Әлемнің микротолқынлық фонлық нурланыу деген термин қолланылады) 1965-жылы Америкалы астрономлар А. Пензиас хәм Р.Вильсон тәрәпинен ашылды. Жулдызлардың, галактикалардың хәм басқа да астрономиялық дереклердің нурланыуынан реликтив нурланыу өзиниң еки әхмийетли қәсийетлери менен айрылады: мүйешлик анизотропиясы (яғный аспанның барлық учатқаларындағы бирдей интенсивлилик) хәм спектриниң Планк (тең салмақлық) формасы. Оның температурасы $2,736 \pm 0,003$ К. Космология ушын реликтив нурлардың бар

екенлігінің өзі хәм оны Әлемдеги процесслер хәм Әлемнің қурылысы жәрдемінде изертлеу 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 еди). Барлық диапазонда бул нурланыўдың интенсивлиги аспан сферасындағы бағытқа байланыссы емес (проценттиң оннан бири дәллигинде). Бул жағдайды биз нурланыўдың мүйешлик изотропиясы деп атаймыз. Бирақ бул изотропия бир қанша өзгешеликлерге ийе. Мысалы изотропия хәққиндағы мағлыўматлар қаралып атырған мүйешлик масштабларға байланыссы бир биринен бираз айрылады. Майда масштабларда (3 тен 150' ке шекем) мүмкин болған анизотропияға $dT/T < 10^{-4}$ теңсизлиги түрінде шек бар (бул аңлатпада dT арқалы температураның тең салмақлық мәніси T дан аўытқыў аңлатылған). $\gg 30^\circ$ масштабында $dT/T < (3-5) \cdot 10^{-4}$. Ал, ақырында, үлкен мүйешлик масштабларда $dT/T \gg 10^{-3}$ шамасындағы әззи диполлик анизотропия орын алады. Температуралардың бундай айырмасы Қуяш системасының реликтив нурлар фонна 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 байланыссы болған температураның жыллық вариациясы да бақланады.

Реликтив нурланыўдың тығызлығы $5 \cdot 10^{-13}$ эрг/см³. 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 байланыссы бул нурланыў реликтив нурланыў деп аталады) тәбийий болып табылады хәм басқа да эксперименталлық нәтийжелерге сәйкес келеди. 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 төменлейди. Егер $R(t)$ арқалы Метагалактиканың қандай да бир кеңейиўши көлеминің өлшеми берилген болса, онда энергияның тығызлығы кеңейиўге байланыссы 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 төменлейди.

Әлемнің кеңейіуінің ең дәслепки 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 ҳалында 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 $z = z_t \gg 1400-1500$ 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 Әлемнің үлкен масштаблардағы қурылысын изертлеўдеги эффективлик қуралға айландырды³¹.

§ 5. Затлардың химиялық қурамы хәм Метагалактиканың жасы

Изертлеўлердің хәр қыйлы методлары (Қуяштың спектраллық анализи, дәслепки космос нурларының қурамын изертлеў, метеоритлердің химиялық анализи хәм көп басқалар) химиялық элементлердің қаншама тарқалғанлығын анықлаўға мүмкиншилик береді. Ең көп тарқалған әпиўайы элемент водород болып табылады. Егер водородтың (H) тарқалыў мұғдарын 1 ге тең етип қабыл етсек, онда гелийдің (⁴He) салыстырмалы мұғдары шама менен 10⁻¹ди, водородтың изотопы болған дейтерийтики (²D) шама менен 10⁻⁵ ти қурайды. Басқа элементлер буннан да кем тарқалған. Әдетте (көпшилик жағдайларда) элементлердің тарқалғанлығын атомлардың саны менен емес, ал космослық затлардың улыўмалық массасындағы үлесі бойынша анықлайды. Бундай жағдайларда массаның шама менен 75 процентин водород хәм шама менен 25 процентин гелий тутады. Басқа элементлердің үлесі әдеўир төмен. Хәзирги көз-қараслар бойынша ¹²C дан ⁵⁶Fe 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 газлердің қурамына өтеди.

³¹ [66] ниң авторлары реликтивлик нурлардың Үлкен партланыўдан кейин 379000 жылдан соң затлардан бөлинип шыққанлығын дәлиллейди.

Гелий менен дейтерийде жұлдызлар ишинде жүретуғын термоядролық реакциялардың нәтижесинде пайда болады хәм жанады. Бирақ олардың хакыйқый (көп муғдардағы) тарқалыуы олардың космологиялық (жұлдызлардың пайда болыуына шекемги) келип шығыуын дәлиллейди. ${}^4\text{He}$ ниң тарқалыуы дым көп, сонлықтан оны жұлдызлардағы синтездің нәтижеси деп қарауға болмайды. Егер жұлдызлардың шығаратуғын энергиясының дерегин тек водородтың гелийге айланыуының термоядролық реакциясы деп есаплайтуғын болсақ, онда шама менен 10^{10} жыл ишинде пайда болған гелийдің муғдары хәзирги бар муғдардан 15 есе кем болған болар еди. Соның менен бирге жұлдызлар ишинде пайда болған гелий қоршаған орталыққа жиберилмейди хәм гелий пайда болатуғын стадияда жұлдызлар партланбайды (жарылмайды). Гелийди (әсиресе жұлдызлардағы нуклеосинтездің салдарынан пайда болмаған дәслепки гелийди) тууырдан-тууы бақлау қыйын. Бирақ соған қарамастан хәр қыйлы астрофизикалық усыллар гелийдің салыстырмалы муғдарының масса бойынша 25 процент екенлигинен дерек береді. Демек гелийдің үлкен бөлеги космологиялық жақтан пайда болған. Ал дейтерийге келетуғын болсақ, хәр қыйлы ядролық реакцияларда оның пайда болғанынан жанғаны аңсатырақ. Сонлықтан дейтерийдің бақлаулар тәрепинен анықланған муғдары оның дәслепки (жұлдызлар пайда болмастан бұрынғы) шеги болып табылады. Гелий менен дейтерийдің пүткил Әлемдеги тарқалыуын, олардың муғдарын дәслепки ыссы Әлемнің ядролық нуклеосинтези теориясы табыслы түрде түсіндиреди.

Жерде хәм космослық затларда бақланатуғын элементлер ишинде өзинен-өзи ыдырайтуғын радиоактив элементлер де бар. Бундай радиоактивли элементлерди Галактикалардың, жұлдызлардың қәлипlesiуи менен жұлдызлық нуклеосинтез нәтижесинде пайда бола баслады деп есаплау тәбийий. Усындай элементлердің пайда болыу менен олардың ыдырау тезликлерин салыстырып, сол элементлердің хәзирги ўақытлардағы салыстырмалы муғдарларын есапқа алып Галактиканың жасын бахалау мүмкин (жылларды есаплаудың усындай усылын ядролық космохронология деп атайды). Элементлердің радиоактивли распадаы хакқындағы мағлыұматлар бойынша бул ўақыттың (жастың) шамасы $(11-13) \cdot 10^9$ жылдан үлкен. Гелийдің дәслепки муғдары 25 %, водородтың дәслепки муғдары 75 % деп есаплайтуғын жұлдызлар эволюциясы теориясы да, шар тәризли галактикалар жыйнақларының жасын есаплау да усындай нәтижелерге алып келеди. Бул жерде характерли Хаббл ўақытының $t_H \sim (10-20) \cdot 10^9$ жыл екенлигин еске түсирип өтемиз.

Солай етип жоқарыда келтирилген барлық мағлыұматлар: Метагалактиканың кеңейуи, Планк спектрине ийе реликтивлик нурланыудың бар екенлиги, хәр қыйлы астрономиялық системалардың жасын анықлау буннан 10-20 млрд жыл бұрын (бүгинги

мағлыұматлар бойынша $13,4 \pm 0,4$ жыл бұрын, 1-санлы кестеге қараңыз) Әлемде хәзирги қурылысының пайда болыуына алып келген ең әхмийетли процесслер басланған. Бул процесслер менен Әлемнің эволюциясын толығырақ тәриплеу тартылыс күшлериниң затлардың динамикасына тәсирин есапқа алатуғын физикалық космологияның мәселеси болып табылады.

§ 6. Материяның орташа тарқалыуы.

Қозғалыс нызамлары хәм физикалық қәсийетлери

Классикалық механика тийкарында туратуғын космологиялық моделлер. Хәзирги Әлем ийе болған бир теклилик хәм изотроплық қәсийетлер «ең дәслепки» сыпатында шекленген сфералық симметрияға ийе областты қарауға хәм усы областты тәриплеу ушын классикалық механиканы хәм Ньютонның пүткил дүньялық тартылыс нызамын пайдаланыуға мүмкиншилик береди.

Бир текли, изотроп хәм стационар емес бир бирине тартысыушы денелерди тәриплеуің теңлемелерди келтирип шығаруу ушын затлар уақыттың ең баслыңғыш моментинде 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 кеңисликтеги координаталарға ғәрезли бола алмайды хәм оның шамасы уақытқа байланыссы киширейиу керек. Хәқыйқатында да инерция бойынша қозғалысларда (яғный гравитацияның тормозлаушы тәсирин есапқа алмағанда) бөлекшелердиң тезлиги v траектория бойынша турақлы болып қалады, r уақытқа ғәрезли өседи хәм соған сәйкес H уақытқа (t ға) кери пропорционал кемейеди. Гравитацияның тәсиринде кеңейиу тезлиги кемейеди, яғный биз қарап атырған сфераның ишиндеги бөлекшелердиң бир бирине тартысыуы кеңейиуге тормоз (қарсылық деген мәниде) жасайды. Сонлықтан H тың t ға ғәрезлилиги қурамалырақ (бул ғәрезлилик кейинирек алынады).

Егер басланғыш уақыт моментинде қандай да бир бөлекшениң ийелеген орны r_0 диң мәниси менен тәрипленген болса, онда буннан кейин ол $r(t) = r_0 R(t)$ нызамы бойынша өзгереди. Ал $v = dr/dt = H(t) \cdot r$ болғанлықтан $H(t) = (1/R) \cdot dR/dt$. $R(t)$ менен $H(t)$ ғәрезлиликлерин анықлау ушын биз қарап атырған көлемдеги масса менен толық механикалық энергияның сақланыу нызамын басшылыққа алыуымыз керек. Көлем кеңейгенде затлардың тығызлығы ρ уақытқа ғәрезли кемейеди. Ал шардың массасы M болса өзгериссиз қалады:

$$M = r \cdot (4/3) \rho r^3 = \text{const.} \quad (5)$$

Бул теңлемени былайынша да жазыу мүмкин:

$$rR^3 = \text{const} \quad (6)$$

Жердің салмақ майданында жоқары қарай ылақтырылған бір бірлік массаға ийе көлемнің элементінде кинетикалық энергия киширейеди хәм потенциаллық энергия артады. Олардың қосындысы (толық энергия) турақлы болып қалады (потенциаллық энергияның мәнисинің терис екенлигин умытпаймыз):

$$e = \frac{1}{2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{r} = \text{const} \quad (7)$$

(7)-теңлемедегі константаны $k r_0^2 c^2/2$ түрінде жаза аламыз (k турақлы шама). Бул шама массасы бір бірлікке тең болған көлемнің толық (механикалық) энергиясын тәриплейди. (5) ти пайдаланып (7)-теңлемени былайынша көширип жазамыз:

$$\frac{3kc^2}{8\pi GR^2} = \rho - \frac{3H^2}{8\pi G} = \rho - \frac{3}{8\pi G} \left(\frac{1}{R} * \frac{dR}{dt} \right)^2. \quad (8)$$

(6)-, (8)-теңлемелер $t = t_0$ болғанда $R = 1$ шәрти менен, $r_0 = r(t_0)$ хәм $H_0 = \left(\frac{1}{R} * \frac{dR}{dt} \right) /_{t_0}$

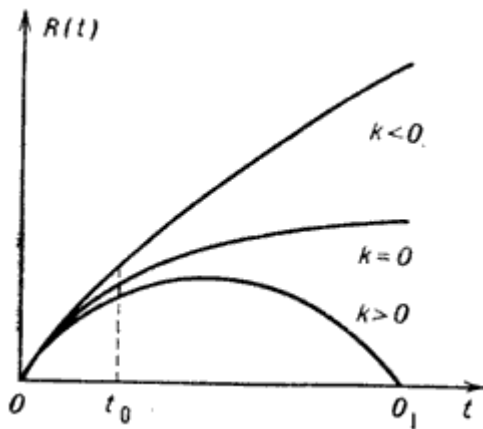
белгили болғанда $R(t)$ ғәрезлилигин хәм соған сәйкес моделдің барлық динамикалық кәсийетлерин толық анықлайды.

(6) хәм (8) шардың өлшемлери кирмейди. Бул теңлемелердің киши шарлар ушын да, үлкен шарлар ушын да дурыс болатуғынлығын аңлатады. Сонлықтан бул теңлемелерди затлар менен тең өлшеули толтырылған шексиз кеңислик ушын да дурыс деп болжауға болады.

(6)- хәм (8)-теңлемелер системасын интегралламастан-ақ моделдің сапалық эволюциясын қарап шығыуға болады. Көлемнің қәлеген элементинің қозғалысының характери оның толық энергиясынан ғәрезли. Егер $k < 0$ болса толық энергия оң мәниске ийе (кинетикалық энергия потенциал энергиядан артық) хәм бөлип алынған элемент симметрия орайынан барқулла қашықласа береді.. Демек $k < 0$ болғанда затлар шексиз кеңейеди. Егер $k > 0$ болса толық энергияның мәниси терис хәм затлардың кеңейиуі базы бир уақыттан кейин тормозланады хәм кеңейиу қысылыу менен алмасады. $k = 0$ жағдайы аралықлық болып табылады – кеңейиу шексиз дауам етеди, бирақ хәр бир бөлекшениң тезлиги $t \rightarrow \infty$ де нолге асимптоталық умтылады.

(8)-теңлемеге сәйкес k ның белгиси хәм соған сәйкес материяның қозғалыс характери $r - r_c$ айырмасының белгисине байланысly. Бул аңлатпадағы $r_c = 3H^2/8\rho G$ тығызлықтың критикалық мәниси деп аталады. Егер $r > r_c$ болса кеңейиуі базы бир уақытлардан кейин

тоқтайды хәм қысылыў менен алмасады. Егер $r < r_c$ болса кеңейиў шексиз көп ўақыт дўам етеди. r_c шамасы да r шамасындай кеңейиў барысында өзгереді, бирақ $r - r_c$ айырмасының белгиси турақлы болып қалады.



2-сүўрет. Бир текли, изотроп Элем моделиндеги денелер арасындағы салыстырмалы қашықлық R диң (масштаблық фактор деп атаймыз) ўақытқа байланыслы өзгериси.: $k < 0$ ($r < r_c$) шексиз (гипербоалық) кеңейиў; $k = 0$ ($r = r_c$) шексиз (парабоалық) кеңейиў; $k > 0$ ($r > r_c$) шекли кеңейиў жағдайлары. Иймекликте еки айрықша O хәм O_1 ноқатлары (сингулярлық) бар. t_0 арқалы хәзирги ўақыт аңлатылған.

(6)-, (8)- теңлемелер системасын интеграллап R диң t дан ғәрезлилигин анықлаў мүмкин. Әпиўайы жағдайда ($k = 0$ болғанда) (6)- хәм (8)-теңлемелерден

$$R(t) = (6\pi G r_0)^{1/3} t^{2/3}, \quad r(t) = \frac{1}{6\pi G t^2}, \quad H(t) = \frac{2}{3t},$$

екенлиги келип шығады. Қала берсе $t = 0$ де $R = 0$ деп алынған. $R(t)$ диң k ның хәр қыйлы мәнислериндеги өзгерислери 2-сүўретте берилген.

Жоқарыда классикалық механиканың хәм Ньютон гравитациясының нызамлары пайдаланылды. Бундай теңлемелер арнаўлы хәм улыўмалық салыстырмалылық теорияларының теңлемелериндеги дара жағдайлар болып табылады³². Сонлықтан оғада үлкен емес кеңисликте хәм эволюцияның жүдә көп болмаған интервалында затлардың тәриплеў релятивистлик тәриплеў менен сәйкес келеди деп күтиўге болады. Соның менен бирге бир теклиликке байланыслы космологиялық моделлер шексиз кеңисликтеги қәлеген орында пайдаланыў мүмкин. Демек классикалық физиканы космология тәрепинен қарап шығылатуғын оғада көп санлы кубылысларға қолланыў мүмкин деген сөз. Бирақ классикалық физиканың нызамларын космология ис алып баратуғын үлкен қашықлықлар

³² Биз бул жумыста «арнаўлы салыстырмалылық теориясы» деген терминди пайдаланамыз. Ал шын мәнисинде бул теория «дара салыстырмалылық теориясы» деп аталады.

ушын пайдаланыўға болмайды. Бундай мақсетлер ушын тартысыўдың релятивистлик теориясы зәрүр.

§ 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 қәсийетлерин өзгертеди, ал екінши тәрептен олардың өзлери кеңислик-ўақыттан ғәрезли болады.

Ийемклик кеңисликтің әхмийетли геометриялық характеристикасы болып табылады³³. 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 ноқатларда хәм хәр қыйлы еки өлшемли бағытларда ийемкликтің сан мәнисли 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:

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

Бул теңлемедә $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{с}^2}$ гравитация турақлысы³⁴. R_{ik} арқалы симметриялы

Риччи тензоры белгиленген ($R_{ik} = g^{lm} R_{limk} = R^l_{ilk}$), $R = g^{ik} R_{ik} = g^{il} g^{km} R_{iklm}$ кеңисликтің ска-

³³ Рус тилиндеги «кривизна» сөзин «ийемклик» сөзи менен алмастырамыз. Бундай жағдайда «кривизна пространства» сөзлери «кеңисликтің ийемклиги» мәнисин аңғартады. Сонлықтан «ийемклик» сөзи геометриялық терминге айланады.

³⁴ 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.

ляр иймеклиги болып табылады. T_{ik} арқалы энергия-импульс тензоры белгиленген (макроскопиялық денелер үшін энергия-импульс тензоры $T_{ik} = (p + \varepsilon)u_i u_k - p g_{ik}$).

Кеңісликтің симметриялық метрлік тензоры g_{ik} бір биринен ғәрезсиз болған 10 кураушыдан турады (бул тензордың кураушылар саны 16, бірақ $g_{ik} = g_{ki}$ болғанлықтан бір биринен ғәрезсиз кураушылар саны 10 ға шекем кемейеди). Сонлықтан (9)-теңлемелер он теңлемеден туратуғын система болып табылады. Бул теңлемелердің шеп тәрепи кеңіслик-ұақыттың геометриялық қәсийетлерин тәриплейди, ал оң тәрепи болса материяның тарқалыуын хәм қозғалысын тәриплейди.

Кеңісликтің геометриялық қәсийетлери метрлік тензордың он кураушысының хәм олардың 2-тәртипке шекемги тууындыларының жәрдемінде анықланады. Материяның халын тәриплеуши 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 тәрипленеди хәм бул майдан тек массаның тығызлығынан емес, ал массаның ағысы және импульс ағысы менен де пайда етиледі. Релятивистлик космология релятивистлик тартылыс теориясы менен бирликте классикалық физиканың бир қанша түсиниклеринен бас тартады хәм өзинің түсиниклерин киргизеди. Мысалы барлық ұақытлары қолланылып келген инерциал есаплау системасы түсиниги өзинің мәнисин жоғалтады (Ньютон космологиясында усындай системаға салыстырғандағы гравитация майданы хәм затлардың қозғалыслары үйренилетуғынлығын умытпаймыз). Оның орнына кеңіслик-ұақыттың иймеклиги хәм локаллық-инерциаллық есаплау системасы түсиниги киргизиледи. Лоқаллық-инерциялық есаплау системасындағы киши областларда иймейген кеңіслик-ұақыт пенен арнаулы салыстырмалылық теориясы дурыс болатуғын тегис кеңіслик-ұақыт арасындағы айырма аз.

1917-жылы Эйнштейн өзинің теңлемелери тийкарында биринши космологиялық модельди дүзиуге умтылды. Ол бир теклилик пенен изотроптылық пенен бир қатар космологиялық моделдің қәсийетлеринің ұақыттан ғәрезсизлиги болжауын (статикалық Әлем) басшылыққа алды. Моделдің статикалығын тәмийинлеу үшін Эйнштейн өз теңлемелерине 1917-жылы космологиялық ағза деп аталатуғын Λ ағзаны қосты хәм теңleme төмендегидей түрге енди:

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

Λ тартылыс күшине қарсы бағытланған гипотезалық ийтерисиү күшин тәрипледі. 1922-жылы болса А.А. Фридман Эйнштейннің статикалық дүньясының бир текли хәм изотроп моделлер ушын гравитациялық теңдемелердің тек дара жағдайы екенлигин көрсетти. Ал улыұмалық жағдайларда болса теңлемениң шешими ұақыттан ғәрезли. Қала берсе егер Λ ағзаны киргизбесе шешимлер шәртли түрде ұақытқа ғәрезли болып шығады. Бул шешимлер Метагалактикадағы затлардың орташа тарқалыұын тәриплегенликтен 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 кеңейиү шексиз көп ұақыт даұам ететуғындай ямаса кеңейиү ақыр-аяғында қысылыү менен алмасатуғындай етип бериледи. Бир теклилик хәм изотропиялыққа тийқарланған Эйнштейн теңдемелериниң стационар емес шешимлери Фридман шешимлери ямаса Фридманның космологиялық моделлери деп аталады.

Сәйкес теңдемелер келтирилип шығарылғанда галактикалар менен галактикалар аралық затлардың тарқалыұы тығызлығы ρ , басымы p болған идеалластырылған тутас орталық пенен алмастырылады. ρ менен p арасындағы байланыс хәл теңдемелери жәрдемінде орнатылады. Бундай теңдемелер, мысалы, ρ менен p ның өзгерислериниң айырым участкаларында $p = a \cdot \rho c^2$, ($a = \text{const}$) түрине ийе болады. Шаң тәризли затлар ушын $p = 0$ ($a = 0$), нурланыү ушын $p = \frac{1}{3} \rho c^2$ ($a = \frac{1}{3}$). Болып өтетуғын процесслерди таллаұдың қолайлылығы ушын жолдас қординаталар системасы деп аталатуғын координата системасынан пайдаланады³⁵. Бундай координаталар системасының өзи деформацияланады, ал затлар оған салыстырғанда қозғалады. Жолдас координаталар системасында гравитация майданының барлық потенциаллары (метрлик тензордың қураұшылары) тек бир белгисиз болған $R(t)$ функциясы менен анықланады хәм бул функция улыұмалық масштаблық фактордың орнын ийелейди. Бул функция ноқатлар арасындағы қашықлықтың ұақытқа байланыслы өзгерисин көрсетеди. Ал сол ноқатлар болса жолдас координаталардың турақлы мәнислерине ийе болады. Орталықтың элементлери жолдас координаталардың өзгермейтуғын айырмасына ийе болады хәм турақлы интервал dl менен айрылған, ал олар арасындағы физикалық қашықлық $dL(t)$ болса $dL(t) = R(t)dl$ нызаны бойынша өзгереді. Үш өлшемли кеңисликтің иймеклиги де $R(t)$ функциясы арқалы анықланады. Базы бир $t = t^*$ ұақыт моментіндеги иймеклик k/R^2 шамасына тең. Бул аңлатпадағы $k = +1, 0, -1$ шамаларына оң белгиге ийе, ноллик хәм терис белгиге ийе ий-

³⁵ «Сопутствующая система координат» дегер түсиникти қарақалпақ тилине «Жолдас координаталар системасы» деп аударамыз.

меклик сәйкес келеди. Солар ишиндеги $k = +1$ де үш өлшемлі кеңістіктің көлемі шеклі хәм хәр бир ўақыт моментинде $V = 2p^2[R(t)]^3$ аңлатпасы жәрдемінде есапланады.

Релятивистлик космологияда t ўақыт моментиндеги v жийилиги менен шығарылған жақтылық t_0 ўақыт моментинде v_0 жийилиги менен қабыл етилгенде қызылға аўысыў

$$z = \frac{v - v_0}{v_0} = \frac{R(t_0)}{R(t)} - 1 \quad (9)$$

формуласы менен бериледи. Космологиялық модельдиң эволюциясын тәриплеў ушын $R(t)$ 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 ушын басымның қандай орын тутатуғынлығын ($\rho = a^*r^*c^2$) көрсететуғын

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} R\rho(1 + 3\alpha) \quad (12)$$

теңлемесин аламыз. Бул теңлемелердеги Хаббл турақлысы былай анықланады:

$$H(t) = \frac{1}{R} * \frac{dR}{dt}. \quad (13)$$

Қызылға аўысыў 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 ийкеклигиниң белгисин). Хәзирги дәўир ушын $H = 73$ км/(сМпк) шамасында $\rho_c \gg 5 \cdot 10^{-30}$ г/см³. Галактикалардың санын анықлаў хәм дейтерийдиң Әлемде қаншама мұғдардағы 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 мағлыўматларының тийкарында W_0 ның шамасы 1 ге жүдә жақын деп есаплайды. Ондай болса $k \gg 0$.

$a = 0$ яғный $p = 0$ 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:

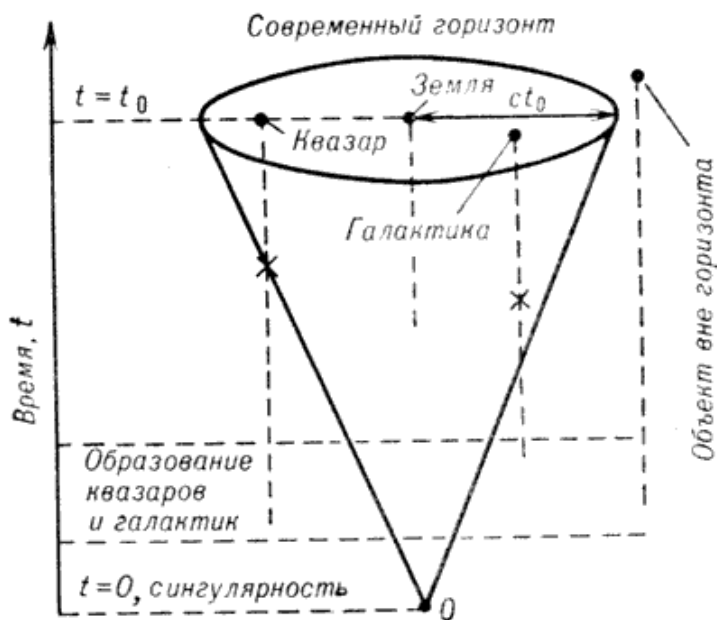
$$r_{\Phi} = \frac{1}{H} \left[cz + \frac{1}{2c} (1 - q)(cz)^2 + \dots \right].$$

Бул жердеги $q = \frac{1}{2} W (1 + 3a)$ шамасы әстелениў параметри деп аталады хәм қаралып атырған моделдеги кеңейиўши Әлемниң тормозланыўын анықлайды.

Тилекке қарсы хәзирги ўақытлардағы бар бақлаў мағлыўматлары $r_{\Phi}(z)$ ғәрезлилигин хәм W шамасын зәрүрли болған дәрежеде дәл анықлаў ушын жеткиликли емес. Хәзирги ўақытлары a шамасының мәниси киши хәм оны есапқа алмай кетиўге де болады. Бирақ бас анықсызлық r_{Φ} тиң мәнисин өлшеўдеги кемшиликлерде болып табылады. Бул шама объектлердиң көринип турған жақтылығы (видимая светимость) бойынша анықланады. Бирақ усы процедураны орынлағанда сол объектлердиң хақыйқый жақтылығы белгили деп есапланады. Ал алыстағы объектлер ушын (оларды раўажланыўының дәслепки фазаларында бақлаймыз) эволюцияның белгисиз болған факторы – жақтылықтың ўақытқа ғәрезлилиги әхмийетли орынды ийелейди. Солай етип бақлаўлардан W параметрин анықлаў эволюцияның белгисиз болған факторынан ғәрезли.

Релятивистлик космологияда моделдиң эволюциясы тек тығызлық ρ менен ғана емес, ал басым p менен де анықланады. Себеби УСТ сына байланыслы 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 байланыслы ең дәслепки ўақытлары басымның мәниси $p < 0$ болған деп болжайтуғын теория бар (бул теорияны инфляциялық космология деп атаймыз хәм бул хаққында кейинирек толығырақ гәп етиледі).

Бир текли изотроп моделлердин ең әхмийетли қәсийети олардың эволюциясының ўақыт бойынша шеклилиги хәм $R(t)$ нолге айланатуғын, тығызлық шексизликке тең болатуғын айрықша (сингулярлық) халдың бар болыўында. Бир ўақытлары сингулярлықтың болыўы Әлемди бир текли хәм изотроп деп әпиўайыластырыўдың ақыбети деп есаплады. Бирақ Эйнштейннің теңлемелерин изертлеўлер (әсиресе кейинги изертлеўлер) материяның қәсийетлери хәққындағы базы бир қосымша болжаўлар орынланғандағы теңлемелердин улыўмалық қәсийетлери екенлигин көрсетти. Әлбетте сингулярлық қасында классикалық теңлемелердин шешимлерин қолланыўға болмайды³⁶. Бундай жағдайларда гравитациялық майданның квантлық қәсийетлериниң көриниўи керек.



3-сүүрет. Әлемдеги горизонтқа шекемги қашықтықтың ўақыт бойынша өзгериси.

Эволюцияның ўақыт бойынша шекленгенлиги Әлемниң жасы түсинигин пайда етеди. Әпиўайы 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 ўақыт өткен.

Сингулярлық моментинен бери шекли ўақыттың өтиўи космологиялық горизонт деп аталатуғын (ямаса тек горизонт деп аталатуғын) Әлемдеги қашықтықтың пайда болыўына алып келеди. Хәқыйкатында да ең шеклик тезлик пенен (жақтылық тезлиги менен) қозғалыўшы қәлеген сигнал бақлаўшыға t_0 ўақыт моментине шекем келемен дегенше белгили бир аралықты өтеди. Максималлық қашықтық (яғный горизонтқа шекемги қашықтық) сигнал $t = 0$ ўақыт моментинде жиберилгенлигинен анықланады (3-сүүрет). Бундай жағдайда $t = 0$ да жиберилген сигналдың аўысыўы (бул ўақыт моментин t_0 момен-

³⁶ Эйнштейн теңлемелери де классикалық теңлемелер (квантлық емес) қатарына киреди.

ти деп қабыл етеміз) (9)-формулаға сәйкес шексізлікке айланады ($v_0 \rightarrow 0, z \rightarrow \infty$). t_0 ның өсиі менен шамасы бойынша ct_0 ға сәйкес келетуғын t_0 ұақыт моментінде бақланыұы мүмкін болған кеңісликтің характерли областын қарайды. Ұақыттың өтиі менен бул область үлкейеди. Солай етип космологиялық горизонт Әлемнің үлкен масштабларындағы қурылысы ҳаққында гәп етилгенде қандай масштабтың нәзерде тutyлатуғынлығын анықлайды. Ҳәзирги 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

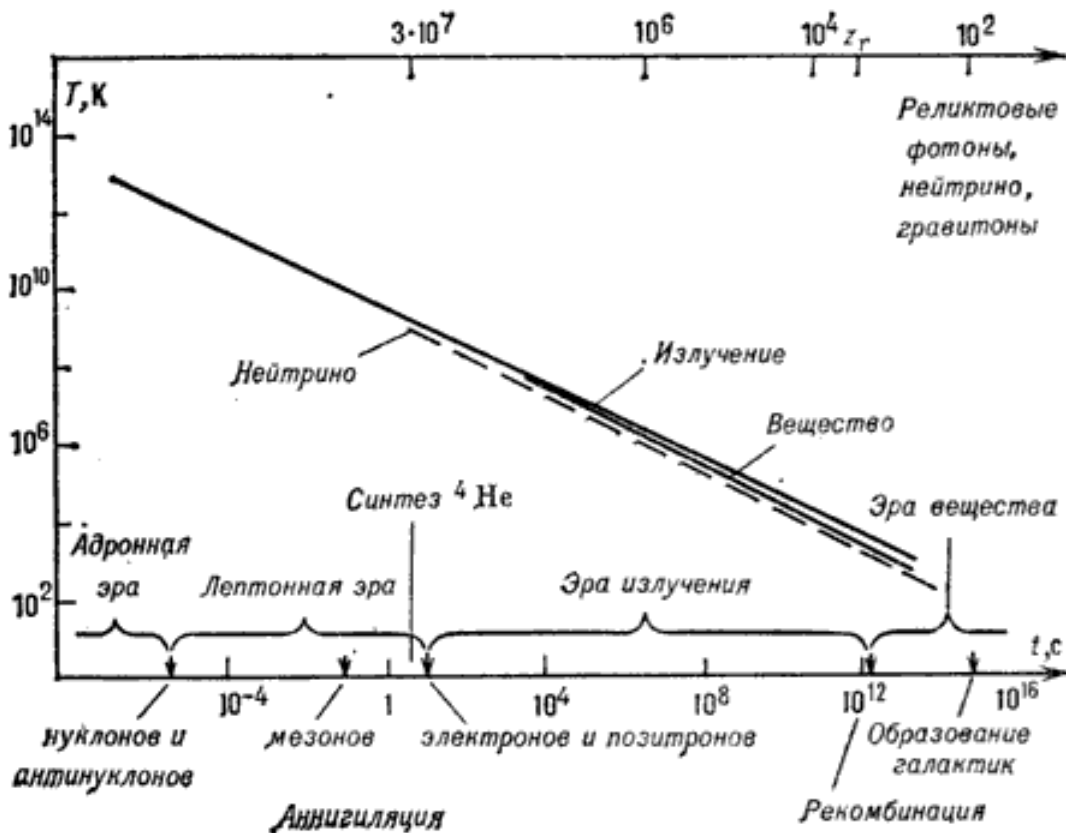
Фридманның космологиялық моделлери Әлемнің эволюциясының хәр қыйлы стадияларындағы өтетуғын физикалық процесслерди есаплаұдың тийкары болып табылады. Реликтив нурлардың хәзирги ұақытлардағы орташа тығызлығы 1 см^3 . Олардың хәр қайсысынаң энергиясы шама менен 10^{-15} эрг ке тең. Әдеттеги затлардың орташа тығызлығы хәр қайсысының массасы шама менен 10^{-24} 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 ^4He 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_g ниң барионлар саны n_b ға қатнасы әхмийетли өлшем бирлиги жоқ шама болып табылады: $s = n_g / n_b \gg 10^9$. Усы s шамасының үлкен мәниси Әлемди ыссы деп есаплаұға тийкар береди. Ҳәзирги 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 кеңейиұдың ең ертедеги стадияларында) нурланыұ энергиясының тығызлығы басым еди. Бундай жағдайларда $T(t)$ ның ұақыттан ғәрезлилиги [$a = 1/3$ де (10)- хәм (11)- теңлемениң нәтийжесиндей, (4)-формуланы 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 етиұге (туұыұға) жеткен. Тынышлық массасына ийе қандай да бир сортқа кириұши бөлекшелер туұылады хәм жоғалады (егер фотонлар энергиясының шамасы бөлекшелердің берилген сортының тынышлықтағы массасынан үлкен болса). Температураның хәр бир мәниси ушын бөлекшелердің хәр қыйлы сортлары

арасында тең салмақтық қатнас болады. Егер усындай тең салмақтық еле жүзеге келген болмаса белгили бир ўақытлардан кейин жүзеге келеди. Температура менен тығызлықтың шамалары қанша жоқары болса тең салмақтық халдың жүзеге келиўи ушын зэрүр болған ўақыттың шамасы соншама кем болады. Әлем кеңейген сайын температура төменлейди хәм соған сәйкес бөлекшелердиң жупларының туўылыўы менен аннигиляциясы реакцияларының өтиў шараятлары өзгередиди. Егер белгили бир типтеги реакциялар өткен температуралар интервалында Әлем ўақыттың киши бир интервалын өткен болса, онда тең салмақтық халда турған температуралар интервалы кеңейиўдиң характерли ўақытынан киши болады. Бундай болмағанда тынышлық массасына ийе бөлекшелердиң берилген сорты тең салмақтық халдан шыққан болар еди. Буннан кейин жуплардың бир қаншасы аннигиляцияға ушырайды, ал сол бөлекшелердиң қалған өзинше ыдыраўға қәбилетли стабил емес бөлекшелер болса ядро физикасынан белгили болған экспоненциал нызам бойынша ыдырайды. Берилген температурада нурланыў менен тең салмақтық халда турған бөлекшелердиң сортлары хәм температуралары бойынша Әлемниң эволюциясындағы белгили бир дәўирлерди (эраларды) бөледиди (4-сүўрет): адронлық, лептонлық, нурланыў эрасы, затлар эрасы хәм басқалар.



4-сүўрет. Әлемниң ыссы моделиндеги затлардың хәм нурланыўдың эволюциясы. Төменги горизонт бағытындағы көшер бойынша сингулярлық моментинен берги ўақыт, жоқарғыға қызылға аўысыўдың сәйкес мәниси, ал вертикал көшерге температура қойылған.

$T \sim 10^{13}$ К температурада нуклонлар хәм антинуклонлардың³⁷, мезонлардың, электронлар хәм позитронлардың нейтринолар менен антинейтринолардың, басқа да тураклы хәм тураксыз бөлешелердің «тууылыу» хәм «жоғалыу» реакциялары жүреди. (затлардың жоқарырақ температуралардағы қасиетлери 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 алмастырыу керек. Бирақ усы хәм буннан кейинги дәуірлердеги эволюцияның барысындағы процесслерде барионлар менен антибарионлардың санларының айырмасы сақланады³⁸. Сонлықтан сол ўақытлары $s \sim 10^9$ еди. Температура $5 \cdot 10^{12}$ К ге шекем төменлегенде фотонлар тәрәпинен нуклон-антинуклонлық жуплар арасындағы тең салмақлық бузылады. Нуклонлар менен антинуклонлар тийкарынан аннигиляцияға ушырайды хәм антибөлешелер жетпей қалған артық нуклонлар сақланып қалады. Артық нуклонлар саны тең салмақлық дәуірдеги нуклонлар санының шама менен 10^{-9} бөлегин ғана курайды. Ал усы жағдайға қарамастан сол артық нуклонлар хәзирги Әлемдеги затлардың тийкарын курайды. Егер сол азмаз артық нуклонлар болмағанда дүнья хәзирги ўақытлары «бослықтан» турған болар еди.

$T \gg 2 \cdot 10^{10}$ К температурада электронлық нейтринолар бөлешелер менен эффектив түрде тәсир етисиўден қалады. Нейтринолар стабил бөлешелер болғанлықтан хәм олар затлар менен жүдә әззи тәсирлескенликтен. Олар ушын дүнья практикалық жақтан мөлдир болып табылады хәм олардың энергияларының тығызлығы тек Әлемнің кеңейиўиниң салдарынан кемейеди. Хәзирги ўақытлары космологиялық нейтринолық газдың (реликтивлик нейтриноның) температурасы шама менен 2 К ға, ал оның тығызлығы 450 нейтрино*см⁻³ болыуы керек (1 см³ көлемдеги орташа 450 диң ишинде нейтриноның барлық типлери есапқа алынған)³⁹. Космологиялық нейтриноны бақлаўдың (регистрациялаўдың) усыллары елеге шекем исленип шығылмаған.

Соңғы экспериментлердің нәтийжелери бойынша нейтриноның тынышлықтағы массасының болыуы мүмкин⁴⁰. Егер бул мағлыўматлар басқа экспериментлерде де тастыйықланса, онда нейтриноларды рекомбинация дәуиринен әдеўир бұрын релятивистлик емес бөлешелерге айланған, ал олардың массаларының хәзирги тығызлығы тиккелей бақланатуғын затлардың массасының тығызлығынан онлаған есе көп, хәтте тығызлықтың

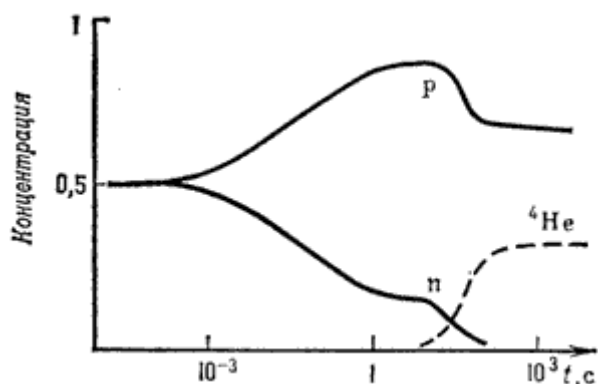
³⁷ Протонлар менен нейтронлардың.

³⁸ Бул кубылысты барионлық зарядтың сақланыу нызамы деп атаймыз.

³⁹ Электронлық, мюонлық хәм тау-нейтринолар нәзерде тугылмақта.

⁴⁰ <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1167482&s=> адресиндеги «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» мағлыўматы берилген (мақала 2001-жылы 6-июль күни жарық көрген).

критикалық мәнісі ρ_c ға жетеді деп жууға шығарамыз. Солай етип нейтринолардың Әлемдегі затлардың орташа тығызлығына үлесі әдеуір үлкен шаманы қурай алады.



5-сүүрет. Протонлар саны p менен нейтронлар саны n арасындағы қатнастың өзгеріуі хәм ${}^4\text{He}$ ниң пайда болуы Әлемнің кеңейуі басланғаннан кейін $t \gg 100-200$ секундтан кейін жууға қланады.

Ең ертедегі Әлемдегі протонлар менен нейтронлардың санлары арасындағы қатнастардың массалары арасындағы айырма $\Delta m = m_n - m_p > 0$ ($\Delta mc^2 = 1,3 \text{ МэВ}$) хәм температура менен анықланады. Мына $e^+ + n \rightarrow p + \bar{\nu}$ хәм $\nu + n \rightarrow p + e^-$ реакцияларының салдарынан үлкен тезлік пенен нейтронлардың протонларға хәм кері айланыуының салдарынан протонлар менен нейтронлардың санлары шама менен бірдей болған. Буннан кейін нейтронлар хәм температураға ғәрезли протонлар арасындағы тең салмақты анықлаушы (соған сәйкес кеңейудің басынан бастап өткен уақытты) формула $n_n/n_p \sim \exp(-\Delta mc^2/kT)$ ға сәйкес нейтронлардың саны кемейеді. $T \gg 5 \cdot 10^9 \text{ К}$ моментінде n_n/n_p қатнасы $\gg 0,2$ шамасында тұрақласады. T ның шамасы $(1-2) \cdot 10^9 \text{ К}$ ге шекем төменлегенде бір неше секунд дауам ететугын ($t \gg 1-3 \text{ с}$) актив ядролық синтез дәуірі басланады. Аман қалған нейтронлар хәм саны нейтронлардың санына тең болған протонлар биригеді хәм ${}^4\text{He}$ ядроларын пайда етеді (5-сүүрет). Есаплаулар бойынша ${}^4\text{He}$ ядроларына нуклонлардың улыума массасының шама менен 25 проценти тууры келеді. Қалған 75 % алған протонлар тики болады (водород ядролары). Басқа элементлер жүдә аз муғдарда пайда болады. Мысалы дәслепки дейтерийдің үлесі затлардың улыума массасының 0,01% ғана қурайды. Дейтерийдің муғдарына затлардың (барионлардың) орташа тығызлығы күшли тәсир етеді. Затлардың тығызлығы қаншама жоқары болса, соншама көп муғдардағы дейтерий жанады хәм ${}^4\text{He}$ ге айланады. Дейтерийдің тәжірибелерде бақланып жүрген көплигі хәзиргі уақытлары затлардың орташа тығызлығының киши екенлігінен дерек береді ($\rho \gg 3 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3$).

Термодролық реакциялар стадиясынан кейін де шама менен 300 000 мың жыл дауамында температура жоқары болып қалады хәм соның салдарынан затлар рекомбинация дәуіріне шекем плазма халында қалады. Усы уақытлары протонлар электронлар менен биригеді хәм нейтраль водородқа айланады. Біраз ертерек нейтраль гелий пайда бо-

лады. Усы дәслепки водород пенен гелийден кейинирек дәслепки жұлдызлар хәм галактикалар пайда болды деп болжайды.

§ 9. Жүдә ертедеги Әлем

Ең дәслепки нуклеосинтез дәуири Әлемнің эволюциясындағы туўрыдан-туўры бақлаў мағлыўматлары бар ең ертедеги дәуир болып табылады (4-сүүрет). Дәслепки гелийдин (соның менен бирге дейтерийдин) бақланып жүрген молшылығы $T \sim 10^9$ К, $\rho \sim 10^2$ г/см³ хәм $t \gg 100$ с болған дәуирдеги физикалық шараятлар хаққында мағлыўматлар береді. Буннан да жоқары температуралар менен тығызлықлар «жүдә ертедеги Әлем» дәуири деп аталатуғын дәуирге тийисли.

$T \sim 10^{10}$ К температурасындағы жүдә ертедеги Әлем хаққында реликтив электронлық нейтрино бойынша билиўге болар еді. Олар сол дәуирде басқа бөлекшелер менен тәсирлескенди тоқтатады. Бирақ оларды регистрациялаў проблемасы еле шешилмеген.

Хәзирги ўақытлардағы элементар бөлекшелер теориясы $T \sim 10^{13}$ - 10^{14} К (адронлық эра) температурада затлар көп санлы еркин кварклерди өз ишине алды деп болжайды⁴¹. Бул эра күшли тәсирлесіў теориясы тийкарында тәрипленетуғын болғанлықтан бул эра хаққында үлкен исеним менен айтыўға болады.

Буннан да ертедеги дәуирдеги затлардың қәсийетлерин түсиниў ушын ($T \sim 10^{14}$ - 10^{16} К) электроэззи тәсирлесіў теориясын қолланады. Бул тәсирлесіў теориясы электромагнитлик хәм эззи тәсирлесіўлерди бир позициядан хәр қыйлы аралықлық бозонлардың қатнасыўындағы тәсирлесіў деп қарайды. Бул дәуирди аралықлық бозонлар дәуири деп атаўға болады. Себеби $T \sim 10^{15}$ К температурада бирден бир электрэззи тәсирлесіўди жүзеге келтиретуғын көп сандағы аралықлық бозонлардың пайда болыўы ушын физикалық шараятлар пайда болады. Бул тәсирлесіўдин теориясы баска аспектлерде экспериментлерде тастыйықланған.

Итимал, елде жоқары температураларда Әлемнің зарядлық жақтан симметриялы емес екенлигин излеў керек (барионлардың саны антибарионлардың санына қарағанда артық) Әлемдеги барионлық асимметрияның пайда болыўын түсиндириўге урыныўлар электромагнитлик, эззи хәм күшли тәсирлесіўлерди бирлестиретуғын хәм барионлық зарядтың сақланбайтуғынлығын өз ишине алатуғын теорияны дүзиўге байланыслы. Бул бирлескен теорияға сәйкес жоқарыда атап өтилген үш тәсирлесіўдин барлығы да бөлекшелердин энергиялары шама менен 10^{16} ГэВ (бул $T \sim 10^{29}$ К температураға сәйкес келеді) болғанда бирдей мәниске ийе болады. Егер бирден бир тәсирлесіў $T \sim 10^{29}$ К тем-

⁴¹ Бир бири менен күшли тәсир етисетуғын адронлар кварклерден турады.

пературада ҥақықаттан да орын алатуғын болса, онда оғада массалы ($\sim 10^{-9}$ г) Һәм жүдә қысқа жасайтуғын Х-бөлекшелериниң болыуы керек. Бул бөлекшелер бирден бир тәсирлесиуди тәмийинлейди. Х-бөлекшелери қатнасқан жағдайларда кварклердиң лептонларға Һәм лептонлардың кварклерге айланыуында барионлық зарядтың сақланбайтуғынлығы жүзеге келиуи керек⁴².

Солай етип жоқарыдағы параграфларда биз Эйнштейнниң улыуымалық салыстырмалылық теориясы менен оның Фридман тәрәпинен табылған стационар емес шешимлери тийкарында туратуғын стандарт космологиялық модель деп аталатуғын моделдиң тийкарғы мазмуны Һәм өзгешеликлери менен таныстық. Бирақ тилекке карсы бул модель Әлемниң қурылысы менен қәсийетлерине байланыслы бир қанша әһмийетли мәселелерди толық шеше алмайды. Олар мыналар: бир теклилик пенен изотроптылықтың пайда болыуы, горизонт проблемасы, Әлемниң ең дәслепки ыссы дәуиринде пайда болыуы мүмкин болған айырым экзотикалық бөлекшелердиң (магнит монополлериниң) жоқлығы Һәм басқалар. Усы машқалаларды шешиу ушын 1980-жыллардан баслап инфляциялық космология пайда болды Һәм ол Һәзирги уақытлары пүткил космологияның тийкарғы бууынына айланды.

СТАНДАРТ КОСМОЛОГИЯНЫҢ ҚЫЙЫНШЫЛЫҚЛАРЫ ҺӘМ ИНФЛЯЦИЯЛЫҚ КОСМОЛОГИЯНЫҢ ТИЙКАРЛАРЫ

§ 9. Стандарт (классикалық) космологияның қыйыншылықтары

Көп астрономиялық бақлауларда дурыслығы дәлилленген Фридман космологиясы теориясы (Эйнштейн теңдемелериниң стационар емес шешими), ыссы Әлем модели (дәслепки нуклеосинтез, реликтив нурланыудың түсиндирилиуи) тез арада көп санлы қыйыншылықларға дуушакерлести. Солардың бири мынадай: Әлемниң масштаблық факторы $R(t)$ уақытқа байланыслы жүдә әстелик пенен өседи (тегис моделде $t^{1/2}$ ге ямаса $t^{2/3}$ ке пропорционал). Сонлықтан бурынлары (ертеде) киши t уақытына жүдә үлкен масштаблық фактор R дың сәйкес келиуи керек. Классикалық космологияның парадокслары инфляциялық Әлем моделинде шешиледи. Бул моделде эволюцияның ең ертедеги стадияларында масштаблық фактор экспоненциал нызам бойынша өскен деп болжау қабыл етиледи:

⁴² Бул айтылған гәплердиң барлығы да гипотезалық болып табылады. Һәзирги уақытлары пайда болған бирден бир теориялардың саны көп болғаны менен, олардың Һеш қайсысы да көплеген фундаменталлық мәселелерди шеше алмайды. Сонлықтан олардың Һеш қайсысы да Эйнштейнниң салыстырмалылық теориясындай болып мойынланған жоқ.

$$R(t) = R_0 * e^{Ht} \quad (14)$$

Масштаблық фактордың усындай болып өсиуі нызамы ушын Хабб турақлысы ўақытқа ғәрезли өзгермейди, яғный $H = \frac{\dot{a}}{a} = \text{const}$.

Енди горизонт машқаласын (себеплилик машқаласын) толығырақ қарайық.

Реликтив нурланыў ушын рекомбинация моментиндеги горизонттың физикалық өлшеми шама менен $R(t_r)l_h \approx c*t_r$. Сонлықтан мүйешлик өлшемлери $\theta \sim (1+z_r)(t_r/t_0) \approx 2^\circ$ болған участкалары бир бири менен себеплилик пенен байланыспаған болыўы керек. Егер хақыйқатында да усындай аўхал болып өткен болса затлар менен реликтив нурланыўдың соншама изотроплық тарқалыўы орын алған? Фридман моделлеринде горизонт кеңейиў басланғаннан бери өткен ўақытқа пропорционал өседи. Сонлықтан болажақта қәлеген область «горизонтқа киреди».

Горизонт машқаласын Әлемнің энтропиясы терминлеринде қайтадан дүзиў мүмкин. Қәзирги 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. Қәзирги ўақытлардағы релятивистлик бөлекшелердің тығызлығы (фотонлартики 500 дана/ см^3 , ал нейтринолартики 400 дана/ см^3) 500 дана/ $\text{см}^3 + 400$ дана/ $\text{см}^3 = 900$ дана/ см^3 , 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 гори-

зонт ишинде Планк дәўиринде

$$S_{\text{HQR}} \sim (m_{\text{pl}} / T)^3 \sim 1.$$

Демек усыншама «ыссы» Әлем ең ертедеги дәуірлерде 10^{90} дана бир бири менен себеплилик пенен байланыспаған областлардан турыуы керек. Олай болса бақланып атырған бир теклилик пенен изотроптылық қайдан келип шыққан?

Егер масштаблық фактор экспоненциал түрде өскен дәуір орын алған болса, онда дәслеп себеплилик пенен байланысқан областлар горизонттың үлкенлигинен ($\sim cH^{-1}$) де көбірек қашықтықтарға тарқалып кеткен болар еди. Демек масштаблық фактордың әстелик пенен өсетуғын дәуірінде бул областлардың себеплилик пенен байланыспаған областлардай болып көриниуі таң қаларлық емес.

Ҳақыйқатында да (14)-нызам ушын горизонттың физикалық өлшеми

$$l_h(t) = -\exp(Ht) \int_0^t \frac{cdt'}{\exp(Ht')} = -\frac{c}{H} \exp(Ht) [e^{-Ht} - 1] = \frac{c}{H} [e^{Ht} - 1]. \quad (17)$$

Ұақытқа байланыссы экспоненциал түрде тез өседі. Бірақ масштаблық фактор буннан да тезірек өседі. Демек, егер ұақыттың дәслепки моментінде 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 тәрепине өтип кетеді (яғный c/H тан үлкен болады). Бірақ усындай болса да бөлекшелер өзлериниң бурынғы байланыслары хаққында «есінде сақлайды».

Экспоненциал кеңейиудің кинематикасын $r_h = l_h/R(t)$ жолдас координаталардың өзгерислеринен де түсиндириуіге болады. Өзиниң физикалық мәніси бойынша бөлекшениң жолдас координатасы оның Лагранжлық координатасы болып табылады хәм кеңейиу барысында өзгермейді. Атап айтқанда усы координаталарда кейинирек Әлемниң курылысының қәлиплесиуіне алып келетуғын дәслепки возмущениелердиң өсиуі процесслери үйрениледи.

Инфляция барысында горизонттың жолдас координатасы дерлик өзгериссиз қалады:

$$r_h = \frac{c}{R_0 H} [1 - e^{-Ht}] \approx \frac{c}{R_0 H}. \quad (18)$$

Буннан экспоненциал кеңейиу барысындағы хәтте шексиз болажақта дәслеп радиусы c/H болған сфераның ишиндеги ноқатлар ғана жақтылық сигналлары менен алмаса алатуғынлығы келип шығады.

Керисинше Фридман дәуірінде $R(t) \sim t^\alpha$, $\alpha < 1$ горизонттың жолдас координатасы ұақыттың өсиуши функциясы болып табылады ($l_h/R(t) \sim t^{1-\alpha}$) хәм Фридман кеңейиуінде болажақта себеплилик пенен байланысқан областта барлық кеңислик жайласады.

$H^{-1} \cong t_{pl}$ қа сәйкес келиуіші Әлемнің «тууылыуы» үшін себепшілік пенен байланысқан областтың радиусы $l_h \cong l_{pl} \approx 10^{-33}$ см. Бірақ экспоненциал кеңейіуде 70 Хаббл уақытында бул стадияның t_{inf1} уақыты ишінде ол $l_h \sim 10^{-3}$ см ге өседі. Бул шама горизонт машқаласын шешиу үшін жеткиликли. Инфляцияның хәзирги заман моделлерінде $Ht_{inf1} > 100$. Сонлықтан себепшілік пенен байланысқан областтың өлшемлери өтмиште де хәзирги горизонттың өлшемлеринен әдеуір көп болған.

§ 10. Тегис дүнья машқаласы

Бул машқала эволюциясының ең ертедеги дәуірлерінде Әлемнің тығызлығы ρ ның критикалық тығызлық ρ_c ға жүдә жақынлығында (яғный $\rho/\rho_c = \Omega_0 = 1$). Усы мәселени талқылауды әпиуайыластырамыз. Былайынша болжайық: дүньяның квантлық тууылыуы $t_{pl} = 10^{-43}$ с уақыт моментінде өткен болсын. Тууылған уақыт моментіндеги дүньяның тәбийий радиусы $l_{pl} = 10^{-33}$ см. Бахалау үшін кеңейіуді бәрхама дәрежелі 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 есаплаулар жүргиземиз. Хәзирги уақытлардағы иймеклик радиусы $R > R_H \sim 10^{28}$ см. Өтмишке кетип t_{pl} моменті үшін $R(t_{pl}) \sim 10^{-2}$ 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 шекемги дәлликте тегис екенлигин билдиреди ($\Omega \sim 1/R^2$ терминінде 10^{-60} қа шекемги дәллик). Бундай жоқары дәлликте қалай түсиндириуге болады?

Усындай жууақларға дәлирек таллаулар нәтийжесінде де келиуге болады. Хәқыйқатында да масштаблық фактор үшін Фридман теңлемесин $\Omega = \rho/\rho_c$ хәм Хаббл турақлысы $H = \frac{\dot{a}}{a}$ арқалы да мына түрде жазыуға болады

$$|\Omega - 1| = \frac{c^2 |k|}{R^2 H^2} \quad (19)$$

Бул жерде $k=0$ тегис модель үшін ямаса $k=\pm 1$ жабық хәм ашық моделлер үшін. 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 уақытта кемейеді. 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 кеңейиў барысында кемеитип көремиз. Бул шәрт ўақытқа ийе жолдас Хаббл координатасын киширейткенге эквивалент ($d(c/aH)/dt < 0$). Буннан масштаблық фактор $d^2a/dt^2 > 0$ ға эквивалент талап аламыз. Бул шәрт $R \sim R_0 e^{Ht}$ экспоненциаллық кеңейиўде орынланады.

§ 11. Антроплық принцип хәм инфляциялық космология

Физиклердиң ең әхмийетли тилеклериниң бири фундаменталлық бөлекшелердиң экспериментлерде анықланған барлық параметрлерин тәбийий түрде болжап анықлайтуғын теорияны дүзиў болып табылады. Бизиң әсиримизде сөзсиз пайда болатуғын усындай дурыс теория әпиўайы хәм сулыў болады деп исениў керек.

Бирақ элементар бөлекшелердиң көпшилик 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 структураның турақлысы α_e ниң, күшли тәсирлесий константасы α_s тиң, тартылыс турақлысы $G = M_p^{-2}$ ның азмаз өзгериси болған жағдайда биз билетуғын тиришиликтиң типиниң пайда болмайтуғыны әдеүйр ўақытлардан бери белгили⁴³. Бир кеңисликлик өлшемди қосыў ямаса сол өлшемди алып таслаў планеталар системаларының пайда болыўы мүмкин емес еди. Хәқыйқатында да кенислик-ўақыттың өлшеми $D > 4$ болса гравитациялық тәсирлесий күши r^{-2} нызамынан тезирек кемеиди, ал $d < 4$ болса улыўмалық салыстырмалылық теориясы бундай күштиң пүткиллей болмайтуғынлығын тастыйықлайды. Бул сөзлер $d \neq 4$ болған жағдайларда планеталар системасының пайда болмайтуғынлығын айтып тур. Соның менен бирге биздей тиришилик ийелериниң Әлемде пайда болыўы ушын Әлемниң өзи жеткиликли дәрежеде үлкен, геометриясы тегис, бир текли хәм изотроп болыўы 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 гана тиришиликтиң хәм соған сәйкес бизиң өзимиздиң пайда болыўымыздың мүмкиншилиги бар.*

⁴³ Әлбетте $G = M_p^{-2}$ теңлигиниң орын алыўы ушын элементар бөлекшелер физикасында кеңнен пайдаланылатуғын $\hbar=c=1$ есаплаў системасы қолланылады.

Тап жақын уақытларға шекем көп илимпазлар өзінің илимий жұмыстарында антроплық принципті пайдаланбады. Бул принципке көп ушырасқан қатнас Колб пенен Тернердің (Kolb хәм Turner) «Ертедеги Әлем» кітабында «Авторлардың биреуіне усындай ақылға мууапық келмейтуғын антроплық усаған идеяның принцип қәдине шекем көтерілиуі пүткиллей түсиниксиз» деп берилген. (Kolb, 1990).

Бундай скептикалық қатнасты ақлауға болады. Әлбетте антроплық принципті пайдаланбай-ақ проблемалардың физикалық шешимін табыу әдеуір аңсатырақ (мысалы усындай машқала жоқ Әлемде ғана бизің жасауымыз мүмкін дегенге қарағанда). Антроплық принципті қолланғанда бул принцип машқаланы шеше алмайды, ал тек ғана сүйенгендей ғана хызмет етеди.

Бирақ басқа көз-қараслардан бул принцип жүдә қурамалы хәм фундаменталлық машқалаларды шешіуге жәрдем береді. Бийкарлаудың орнына бул принципті хәр бир айқын жағдайда пайдаланыуға умтылыу керек.

Антроплық принциптің тийкарынан еки түри бар: эззи хәм күшли антроплық принцип. Эззи антроплық принцип былай дейди: егер Әлем хәр қыйлы қәсийетлерге ийе бөлимлерден туратуғын болса, онда биз бизің тиришилигимиз мүмкін 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 хаққындағы қәлеген гәплер мәниске ийе болмай қалады.

Күшли антроплық принцип мынаны тастыйықлайды: Әлем бизің жасауымыз мүмкін болғандай болып жаратылған. Биринши рет еситилгенде бул тастыйықлау хақыйқатлыққа тууры келмейтуғындай болып көринеди. Себеби адамзат Әлемнің тийкарғы қәсийетлери қәлиплескеннен 10^{10} жылдан кейин пайда болды хәм сонлықтан ол Әлемнің қурылысына хәм ондағы элементар бөлекшелердің қәсийетлерине хеш қандай тәсир ете алмайды.

Илимпазлар антроплық принципті Әлемди көп мәртебе жаратыуға байланыстырды. Әлемди дөретиу менен ким шуғылланды, бизің жасауымыз ушын жарамлы болған Әлемди дөретиудің қандай зәрүрлиги болды деген сорауларға жууап болмады. Қала берсе бизің жасауымыз ушын қолайлы шараятларды пүткил Әлемде емес, ал Қуяш системасын өз ишине алатуғын үлкен емес областта жаратып қойғанда болмаспа еди? Мәселени қурамаластырыудың неге кереги бар еди?

Антроплық принцип пенен байланысly болған машқалалардың көпшилиги инфляциялық космология пайда болғаннан кейин көп уақыт өтпей-ақ шешилди. Сонлықтан төменде сол инфляциялық космологияның тийкарғы принциплери гәп етиледі.

§ 12. Инфляциялық космология модели

Демек Әлемнің инфляциялық моделинің тийкарғы идеясы: ең ертедегі Әлемде «антигравитация» пайда ететуғын хәм соның салдарынан Әлемди $\Lambda > 0$ 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 ҳеш бир физикалық нызам жоқ. Соның менен бирге ҳазирги заман элементар бөлекшелер физикасы скаляр майданлар деп аталатуғын майданлардың бар екенлигин болжайды⁴⁴. Бундай майданлардың бир қәсийетлериниң бири базы бир жеткиликли дәрежедеги улыўмалық жағдайларда $p = -\varepsilon$ хал теңлемесин жүзеге келтиреди (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 өседи: $R(t) \sim e^{Ht}$. Бул жерде $H = \dot{R}/R = \text{const}$ Хаббл турақлысы болып табылады. $H = \text{const}$ болғандағы (14) түриндеги шешим 1917-жылы Голландиялы физик Виллем де Ситтер тәрәпинен Эйнштейннің космологиялық турақлысы бар теңлемелерин шешиў арқалы алынды хәм сол кисиниң аты менен аталады. Терис мәнисли басым «антигравитация» түринде эффектив түрде Әлемди жүдә үлкен тезлик пенен кеңейиўге мәжбүрлейди. Усы мәселени толығырақ талқылап өтемиз.

Фридман теңлемелеринен мынаған ийе боламыз (масштаблық факторды a хәриби жәрдемінде белгилеймиз):

$$\frac{d^2 a}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right) a. \quad (\text{бул қозғалыс теңлемеси болып табылады})$$

$$\frac{dp}{dt} = -3H \left(\rho + \frac{p}{c^2} \right) \quad (\text{бул үзликсизлик теңлемеси})^{45}$$

Сонлықтан $p = -\varepsilon = -\rho c^2$ болған жағдайда $\rho = \varepsilon = \text{const}$ хәм

⁴⁴ Соны атап өгиў керек, ҳазирги заман физикасының принциптери бойынша усы ўақытларға шекем экспериментлерде ашылмаған скаляр майданлар бөлекшелерге масса (инертлилик) береди, ал векторлық майданлар бөлекшелердин динамикасын анықлайды.

⁴⁵ Усыған қосымша энергия ушын да теңлемениң бар екенлигин хәм оның $\left(\frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \left(\frac{kc^2}{a^2} \right) + \frac{\Lambda c^2}{3}$

түрине ийе болатуғынлығын атап өтемиз.

$$a(t) = a_0 \exp \left[\sqrt{\frac{8\pi G \rho}{3}} t \right] \quad (20)$$

энергияның тығызлығы тұрақты болғандағы экспоненциаллық нызамына ийе боламыз (бул жағдайда басым күшлериниң жұмысы кеңейгендеги энергияның кемеийуин толық компенсация кылады).

Тығызлық тұрақты болғандағы областтың өлшемлериниң экспоненциаллық өсиуи областтың ишиндеги массаның «хеш нәрседен» өсиуине сәйкес келеди. Әлбетте бул жағдай биринши қарағанда қолайсыз жағдайдай болып көринеди. Бирақ энергияның сақланыу нызамы бул жерде бузылмайды: оң мәнисли энергияның өсими гравитациялық майданның терис мәнисли энергиясы менен дәл компенсацияланады. Ал гравитация майданының терис мәнисли энергиясы болса кеңейуши областтың ишинде «пайда болатуғын» оң энергия тәрәпинен пайда етиледи. Сонлықтан инфляциялық кеңейу барысында толық энергия сақланады.

Буннан да формалырақ термодинамикалық қатнасты да қарап шығыу мүмкин (термодинамиканың биринши басламасын, яғный энергияның сақланыу нызамын). Кеңейуиүде энтропияның сақланыуы керек (яғный $dS=0$). Сонлықтан көлем элементиндеги энергияның өзгеруиун 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 етиуши затларға ыдырайды (радиоактив ядролардың ыдырағанындай болып). Бул тұрақсыз халдың ыдырауының характерли ўақыты Хаббл ўақыты $1/H$ тай болып анықланады. Ыдырау барысында әдеттеги затлардың релятивистлик бөлекшелери пайда болады (лептонлар, кварклер хәм олардың суперсимметриялы жолдаслары). Олардың бир бири менен соқлығысыуы хәм тәсир етисиулері релятивистлик материя ушын хал теңлемесине ($p = +\epsilon/3$) сәйкес тең салмақлыққа тезден келиуин тәмийинлейди. Жоқарыда аталып өтилген Фридман космологиясының парадокслерин шешиу ушын инфляция стадиясының (дәуириниң) 70 Хаббл ўақытындай даўам етиуи жеткиликли. Усындай ўақыт ишинде масштаблық фактор $e^{70} \approx 10^{30}$ есе өседи хәм Фридман стадиясы басланатуғын моментте масштаблық фактордың шамасы $10^{-33} \times 10^{30} = 10^{-3}$ см ди қурайды. Бул горизонт проблемасын шешиу ушын жеткиликли. Басланғыш тығызлық керекли дәлликте (10^{-60} дәллингінде!!!) 1 ге тең

болады (Әлемнің тегис екенлиги машқаласының шешими)⁴⁶. Масштаблық фактордың экспоненциаллық өсиминің нәтийжесінде дәслепки квант флуктуациялары горизонттың арғы тәрәпинен кетеди, ал кейинги стадияларда горизонт ишине және де «киреди». Усының менен бир қатар Әлемнің қурылысының қәлиплесіуі ушын зәрүрли болған возмущениелердің 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 $\Omega < 0$ менен кеңейеди. Бул ыссы Әлем модели («Үлкен партланыў») болып табылады. Енди «партланыўдың» орнын инфляция дәўири (стадиясы) ийелейтуғынлығы түсиникли болды.

Ертедеги Әлемдеги Фридман стадиясына шекем кеңейіўдің инфляциялық стадиясының орын алғанлығына гүә болатуғын аргументлерди атап өтеміз:

1. Әлемнің үлкен энтропиясы ($\sim 10^{90}$). Инфляция моделинде усындай үлкен сан масштаблық фактордың 70 есе үлкейіуінің «қуны» менен алынады.

2. Бир текли хәм изотроплы Хаббл кеңейіуінің орын алыуы. Бул ертедеги Әлемдеги антигравитацияның тәсири сыпатында тәбийий түрде алынады.

3. Үлкен масштабларда Әлемнің бир теклиги менен изотропиясы (горизонт машқаласы). Барлық флуктуациялардың инфляцияға шекемги дәўирлердеги себепли байланысының бар екенлиги менен түсиндириледи.

4. Әлемнің толық тығызлығының критикалық тығызлыққа жақынлығы (дәл тең екенлиги деп айта аламыз, бул Әлемнің геометриясының тегис екенлиги машқаласы). Тығызлықтың дәслепки шамасынан гәрезсиз инфляция стадиясында зәрүрли болған дәлликте $\Omega \rightarrow 1$.

5. Магнит монополлеринің жоқлығы⁴⁷. Үлкен партланыўдың 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 бир биринен сонша аралықларға қашықласады, олардың саны хәзирги горизонттың иши ушын хеш қандай қәуип пайда етпейди.

6. Хәр қандай мүйешлик масштаблардағы реликтив нурлардың флуктуацияларының фазаласқан (бирдей фазаларға түсирилген) осцилляциялары (Сахаров тербелислери). Бул

⁴⁶ Айырым авторлардың реликтив нурларды изертлеу барысында берген мағлыұматлары бойынша Әлемнің хәқыйқый диаметри 78 миллиард жактылық жылына тең болыуы керек. Ал хәзирги заман техникасы болса 14 миллиард жактылық жылына тең қашықлықлар шегин көре алады (горизонт машқаласы).

⁴⁷ Магнит монополлеринің бар екенлиги биринши рет П. Дирак тәрәпинен болжап айтылды. Оның массасы 10^{16} ГэВ болыуы керек. Экспериментлерде еле бақланған жоқ.

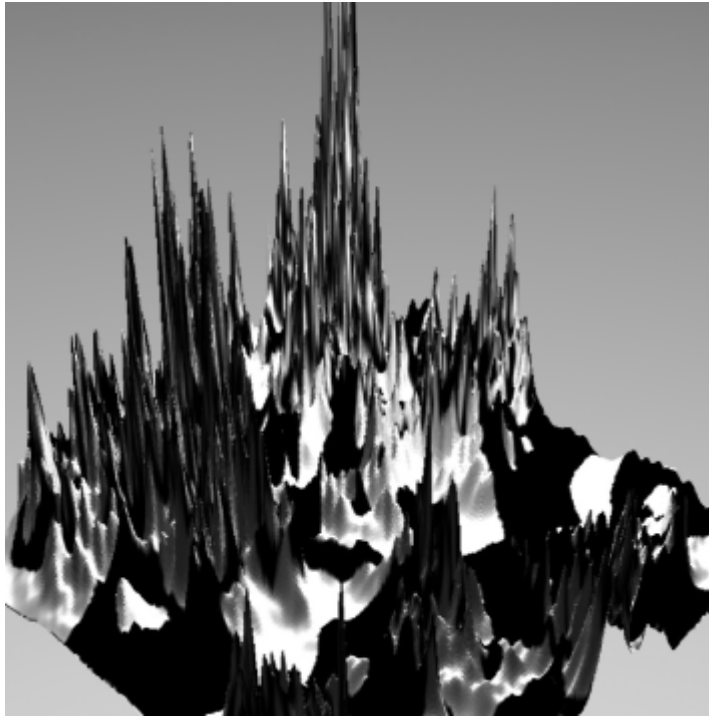
инфляцияға шекемги дәуірлердеги себеплилик пенен байланысқан областтың ишиндеги дәслепки флуктуациялардың пайда болыуының туұрыдан-туұры себеби.

Ең ақырында мәңги инфляция модели (мәңги хаотик инфляция) хаққында қысқаша гәп етемиз. Оның мәниси төмендегидей: Әлемдеги бир орында басланған инфляция тоқтай алмайды. Хақыйқатында да радиоактивли ыдыраудан парқы, инфляциядағы антигравитация пайда етиўши субстанцияның (дәслепки заттың) әдеттеги затларға ыдырауы инфляция тәрәпинен ийеленген областтың өлшемлериниң экспоненциаллық өсиўине алып келеди. Ал бул областтағы әдеттеги затлар менен ийеленген область киши (себеби әдеттеги затлар әстелениў менен кеңейеди). Солай етип барлық Әлем кеңейиўши инфляциялық фаза менен толған болады, ал соның ишинде әдеттеги материяның себеп пенен байланыспаған шексиз көп «атаўлары» пайда болады ("бизиң Әлемимиз" болса сол атаўлардың бири).

Усындай теориялардың мүмкин болған нәтийжелерин демонстрациялаў ушын хаотик инфляция процессиндеги еки скаляр майданнан туратуғын системаның эволюциясының компьютерлик моделин қарап шығамыз. Мейли ϕ инфлатон, яғный инфляцияны пайда етиўши (туўдырыўшы) майдан. Оның шамасы әлемниң⁴⁸ еки өлшемли кесиминдеги $\phi(x, y)$ бетиниң бийиклиги менен берилген. χ майданы симметрияның спонтан бузылығу теориясындағы мүмкин болған майданның типи. Егер майдан берилген ноқатта эффектив потенциалдың еки минимумының ишиндеги бир халға туўры келсе қара менен бояймыз, ал екинши халға сәйкес келсе ақ түрге бояймыз. Булар симметрияның бузылыуының хәр қыйлы типлерине, яғный төменги энергияларда физиканың нызамларының хәр қыйлы жыйнақларына сәйкес келеди.

Дәслеп барлық инфляциялық область қара хәм еки майданның тарқалыуы бир текли болған. Буннан кейин область экспоненциаллық үлкен масштабларға шекем кеңейеди хәм хәр қыйлы қәсийетлерге ийе экспоненциаллық үлкен доменлерге бөлинген болады (б-сүүрет). Сүүреттеги хәр бир пик Планк тығызлығына сәйкес келеди хәм жаңа Үлкен партланыудың басы сыпатында қаралыуы мүмкин. Ол жерде физиканың нызамлары жүдә тез өзгередиди. Бирақ бул нызамлар ϕ майданы киши орынларда (яғный б-сүүреттиң жайпауытларында) өзгермейди. Скаляр майданлардың квантлық флуктуациялары Әлемди экспоненциаллық жақтан үлкен областларға бөледиди. Хәр бир областта төменги температурада хәм хәр қыйлы тығызлықларда өзине тән физиканың нызамлары хәким сүредиди.

⁴⁸ Бул жерде айқын бизиң Әлемимиз хаққында гәп етилип атырған жоқ.



6-сүүрет. Әлемнің өзін-өзі қайта тууы процессіндегі скаляр майданлар ϕ пенен χ ның әдеттегідей тарқалыуы. Тарқалыудың бийиклиги инфляцияны болдыратуғын ϕ майданының шамасын сәулелендиреди. Егер χ майданы эффектив потенциалдың еки минимумының биринде жайласса бет кара менен боялған, ал сол майдан минимумның екиншисинде жайласса бет ақ пенен боялған. Киши энергияларда хәр қыйлы областлардағы физиканың нызамлары хәр қыйлы. «Таўлардың» 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 қараўға болады.

Скаляр майданлардың квантлық секириулерининң нәтийжесинде әлем киши энергияларда физиканың хәр қыйлы нызамларына ийе шексиз көп санлы экспоненциаллық үлкен областларға бөлінген болып шығады. Усы областлардың хәр қайсысы соншама үлкен болап, оны айырым бир әлем деп қараўға мүмкин болады. Сол әлемлерде жасаўшы тиришилик ийелери оның шегараларынан экспоненциал түрде қашық жасап, басқа қәсийетлерге ийе басқа әлемлердинң бар екенлигин биле алмайды.

Егер усы сценарий дурыс болып шықса физика илими өзінше әлемнің бизге тийисли бөлегининң барлық қәсийетлерин толық түсиндирип бере алмайды. Бир физикалық теория хәр қыйлы қәсийетлерге 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 мүмкиншилигиниң жоқлығынан ямаса итималлылығының кемлигинен емес, ал ондай областларда биздегидей типтеги тиришиликтиң болыуы мүмкин емес.

Усыннан эззи антроплық принциптиң дурыс екенлиги дәлилленеди. Бизиң жасауымыз ушын зэрүрли болған жағдайларға хәм қәсийетлер менен параметрлерге, сондай-ақ физиканың нызамларына ийе әлемди арнаулы түрде дәретип отырыудың кереги болмай қалады. Инфляциялық әлем сырттан тәсирсиз-ақ физиканың барлық мүмкин 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 әлемниң бақланатуғын бөлиминиң барлығында да пайда етеди.

УЛУ" БЕК *! М АСТРОНОМИЯ

Бир ярым 1сирдей 86кимлик еткен монгол татарларыны4 а78алы XIV 1сирди4 орталарында бираз Зурамаласты. М1селен, тарийхый декреклерден биз усы 1сирди4 г0-жыллары Мавереннахрда монгол татарларынан Қазан ханды ушыратамыз. Бул хан 5зини4 бстемлигин арттыры7 барысында уры7 81м тайпаларды4 басшылары менен душпаншылы2ын кбшейтти. Усындай жа2дайлар2а байланыслы қеғу-жылы Қазан Қаза2ан басшылы2ында2ы урыста 5лтирилди. Ол Мавереннахр2а бстемлик ете баслады. Ал бурын2ы Ша2атай м1млекетини4 Зал2ан б5леги дулатлар уры7ыны4 басшысы бол2ан бас3а 1скербасыны4 Зол астына 5тти. Бул адамлар Шы42ысЗанны4 урпа3ларынан емес. Сонлы3тан да, жо3арыда аты келтирилген адамларды4 м1млекет басына кели7ин монгол татарларыны4 86кимлигини4 Мавереннахрда2ы а3ыры деп Зара7ымыз2а болады.

Қаза2анны4 5зи 5зини4 кбйе7 баласы т1репинен қети -жылы 5лтириледи. Буннан кейин 86кимлик оны4 баласы Абдулла2а 5тти. Мавереннахрды4 пайтахты СамарЗанд3а к5ши7и Абдулланы4 аты менен байланыслы. қеуw-жылы монгол ханы Тулук-Тимур Мавереннахрды Зайта басып алы7 ма3сетинде шабылы7 жасады. Болажа3 1мир Тимурды4 биринши с1тли 1скерий хызметлери басланды 81м ол Шахрисабз бенен Қаршыны4 81кими етип тайынланды. Қаза2анны4 а3лы2ы бол2ан *усейн менен Тимур биргеликте 81рекет етти, биресе бир-бирине Зарсы гбрес жбргизди. Усындай 81рекетлерди4 н1тийжесинде Тимур қеу0-жылдан баслап пайтахты СамарЗанд бол2ан Мавереннахрды4 1мири д1режесине жетти.

Тимур т1репинен 81кимшилик етилген м1млекет мусылман 81м персия м1дениятларыны4 элементлери бар, т6рк-монгол 1скерий дбзимли м1млекет еди. Алтын орданы 3ыйраты7ы. Иран2а, Кавказ еллерине, Индия2а, Киши Азия2а бол2ан басып алы7шылы3 топылысларыны4 н1тийжесинде Тимур м1млекетини4 шегаралары 1де7ир ке4ейди 81м 3бдирети асты. СамарЗанд Заласында б6кен архитектуралы3 18мийетке ийе бол2ан сарайлар, озы7 орынлары салынды. Соны4 менен бирге Маве-

реннахрды4 пайтахтыны4 экономикалы3 81м м1дений турмысына Индия, Қытай, Иран, Шы2ыс Европа менен бол2ан ты2ыз Затнас 1де7ир т1сирин жасады.

Улу2бек (Тимурды4 баласы Шахрухты4 улы) qeog-жылы ww-март екшемби к6ни Султанияда Тимурды4 Иран2а 81м Киши Азия2а бол2ан екінші бесжыллы3 шабы7ылы 7а3тында ту7ылды. Бал2а Мухаммед Тара2ай аты Зойылды (Тара2ай Тимурды4 1кесини4 аты). Кишкене 7а3тынан баслап болажа3 билимпаз 1мир Тимурды4 блкен 8аялы Сарай-М6лик ханымыз2а т1рбия2а бериледи. Улу2бек qr0t-жылы qі-февраль к6ни Тимур Зайтыс бол2ан2а шекем дерлик барлы3 7а3ытлары атасы ж6ргизген шабы7ытларда бирге алып ж6риледи, 1мирди4 шет ел елшилерин Забылла7 салтанатларына Затнасты. Бираз жыллардан кейин Тара2ай кем-кемнен Улу2бек (Мырза Улу2бек) аты менен алмастырылды.

Тимур Зайтыс бол2аннан кейин оны4 балалары арасында 1кеден Зал2ан мийрасты б5ли7ге 81м сиясий б6стемшиликке байланыслы блкен ж1нжеллер, урыслар болды. Со42ы бес жыл ишинде м1млекет тийкарынан екиге б5линди. Мавереннахрда qr0o-жылы тахт басында qt жасар Улу2бек келди. Пайтахты Герат бол2ан Тимур м1млекетини4 т6слик б5лими Улу2бекти4 1кеси Шахрухты4 Зол астына 5тти.

Улу2бекти4 Зандай билим ал2анлы2ы 8а33ында тарийхта дерлик 8еш н1рсе Залма2ан. Оны жаслы3 7а3ытында т1рбияла2ан Сарай-М6лик ханым да, 2амхорлы3 еткен Шах-Мелик те са7атлы адамлар болма2ан. Бираз Улу2бекти4 1кеси Шахрух китаптар озы2анды, жыйна2анды жазсы к5рген. Ол Герат Заласында сол 7а3ытларда2ы е4 бай китапхана дбзди. Улу2бек бул китапханада к5п жумыс иследи. ЖоЗарыда келтирилген Платонны4, Аристотель, Гиппарх, Птоломей, ал-Ферганий, Ал-Беруний, ! би7-! лий ибн-Сино, ал-Хорезмий 81м Омар- * айямы4 жумыслары менен танысты.

qrqu-жылы Улу2бек СамарЗандта медресе салы7ды баслады. Бул Зурылыс бш жылда питти. Медресени4 озыты7шыларын Улу2бекти4 5зи та4лап ал2ан. Мысал, ретинде олардан Му8аммед-Хавафиди (медреседеги биринши лекцияны озы2ан адам), математик 81м астрономлар Салахутдин-Му7са-бин-Махмудты (Қазызада деп те аталады), " ияс-ад-дин Ж1мшид бин-Масъудты (бул киси qrqu-жылды4 5зинде астролябия 8а33ында трактат жазды), Муин-ад-дин-ди, оны4 улы бол2ан Мансур-Қашыны, Улу2бек мийнетлерини4 т6синдири7шиси ! лий-ибн-Му8аммед Биржанжийди к5рсети7ге болады. Медреседе тийкар2ы дин таны7 менен бирге математика 81м астрономия озытыл2ан.

Мавереннахрды4 1мири болы7ды4 барысында Улу2бек к5плеген ш1киртлер де та-ярлады. Оларды4 ишиндеги е4 к5рнеклилеринен ! ле71тдин ! лий-ибн-Мухаммед Қусшыны, кейин ала Улу2бекти4 мийнетлерин халы3лар арасында ке4нен тарзаты72а блес ЗосЗан Марям Шалабийди атап 5темиз.

Гейпара тарийхый дереклер бойынша Улу2бекти4 qrqu-жылы астрономиялы3 баЗла7лар ж6ргизи7 ушын обсерватория салы72а ба2ышлан2ан ке4ес 5ткергенин билемиз. Бул 8а33ында м1селен Улу2бекти4 заманында жаса2ан ! бдираза3 СамарЗандий былай деп жазады. "...Усы ма3сетте ол (Улу2бек) 5злерини4 ислерин жазсы билету2ын т1жирийбелі математиклерди, геометрлерди, астрономларды, Зурылысшыларды шаЗырды. Ке4есте сол 7а3ытты4 Платоны Салхутдин-Му7са Қазызада, сол 7а3ытты4 Птоломейи ! лий Қусшы, " ияс-ад-дин Жамшид, Му7ин-ад-дин ... лер Затнасты"

(кейинге еке7и бас3а жерлерден ша3ырыл2ан). Улу2бек алды42ы Затар илимпазларды4 бул жыйналысында сол 7а3ытлар2а шекем астрономия илимине блес Зос3ан Ба2дад, Дамаск, Исфахан, Мараге обсерваториялары 8а33ында г1п еткен. “ ияс-ад-дин Жамшид бин-Масъуд сол 7а3ытта2ы астрономиялы3 1сбаплар 8а33ында баянат иследи. Ке4ес Затнасы7шылары болажа3 обсерваторияда исленету2ын изертле7 жумысларыны4 з1рбрлигин да атап к5рсеткен. Усы жерде Орта 1сирлердеги Орайлы3 Азия халы3ларыны4 билимпазларында 5злеринен бурын2ы ойшыллар Залдыр2ан мийраслар2а блкен 86рмет пенен Зара7, мийнетлеринде 5злеринен бурын2ыларды4 иснеимли етип тексерилген н1тийжелерин келтири7 д1ст6рлерини4 бар бол2анлы2ын айтып кеткенимиз орынлы болады.

1970-жыл2ы ке4есте астрономиялы3 обсерваторияны4 Зурлылы7ыны4, оны4 Зандай болы7ыны4 керекли екенлиги 8а33ында2ы м1селелер шешилген. Усы шешим бойынша обсерваторияда сол 7а3ытларда2ы е4 д1л 5лше7лер жбргизили7ини4 кереклиги, бундай 5лше7 жумысларыны4 1сирлер да7амында алып барылы7ыны4 з1рбрлиги мойынлан2ан. Тарийхый дереклер обсерваторияны4 да бш жылда питкерилгенлигин айтады.

ЖоЗарыда келтирилген мысалларды4 барлы2ы да Улу2бекти4 илимдеги жал2ыз изертле7ши болма2анын, ал оны4 5зини4 1тираапына к5плеген билимпазларды топ-ла2анын, илимди, м1дениятты ра7ажландыры7 ма3сетинде медреселер, обсерваториялар салдыр2анлы2ынан дерек береді. Соны4 менен бирге медреселерде, обсерваторияда к5плеген кітаптар жыйнал2ан. Адамзат тарийхында бундай 1мир-билимпазды биринши м1ртебе ушыратамыз.

Обсерваторияны4 Зурлылыс 8а33ында г1пти кейинирекке Залдырамыз 81м Улу2бек, оны4 илимий хызметкерлери т1репинен алын2ан н1тийжелерди баянлаймыз.

Улу2бек бас3ар2ан илимий жумысларды4 е4 тийкар2ы н1тийжелер “Улу2бек Зиджи“ ямаса “Қура2аний Зиджи“ деп аталату2ын астрономиялы3 кестелерде берилген (Қура2анийаты Улу2бекти4 кейин журтына байланыслы келип шы33ан 81м оны4 заманласлары т1репинен гейде Улу2бек Қура2аний деп те атал2ан). Жигирмала2ан жыл ишинде жбргизилген ба3ла7ларды4 н1тийжедерин 5з ишине алату2ын бул мийнет кирси7ден 81м астрономиялы3 кестелерди4 5зинен турады. Улу2бекти4 г б5лимнен турату2ын кириси7ини4 теориялы3 81м методологиялы3 18мийети уллы.

Кириси7ди4 биринши б5лиминде греклерди4, сириялы3ларды4 персиялы3ларды4, Қытай халы3ларыны4, уй2урларды4 календардары, жыл, ай 81м оларды4 б5лимлери 8а33ында тере4 ма2лы7матлар берилген. Текст Шы2ыс билимпазлары т1репинен алын2ан н1тийжелерди бас3а астрономларды4 а4сат Золлана алы7ы ушын к5псанлы кестелер менен байытыл2ан. 11 баптан турату2ын екінши б5лими астрономия илимини4 усылларын т1рийпле7ге ба2ышлан2ан. : шинши б5лимни4 це бабы К6нни4, Айды4 81м планеталарды4 аспан сфферасында аны3ла7 усылларын баянлайды. Қал2ан еки бап К6н менен Айды4 тутылы7ларын 5з ишине алады.

Кириси7ди4 кейинги г-б5лими астрология2а ба2ышланып аспан денелерини4 жайласы7ларыны4 адам т1дирине т1сирин тийкарла7ды Замтыйды. Усы жерде астрологиялы3 м1селелерди шешиди4 Улу2бек 81м оны4 заманласлары ушын е4 тийкар2ы м1селелерди4 бири бол2анын а4тары7ымыз керек.

Улу2бекти4 жбргизген илимий жумысларыны4 динге Зайшы келмегенлигин де айтып 5ти7имиз керек. Бул 8а33ында жоЗарыда аты келтирилген ибн-Юнус былай жаз2ан “Аспан денелерин изертле7 динге жат емес. Тек усы изертле7ди4 н1тийжелери 2ана намаз озы7ды4 7а3тын, ораза пайынтында а73ат же7ге, су7 иши7ге болмайту2ын 7а3ытта билемиз. К6н. Ай тутыл2анда Зудай2а 5з 7а3ытында сыйыны7 ушын Зашан тутылы7 болату2ынлы2ын алдын-ала били7 керек. Бундай изертле7лер назам озыл2анда адам ж6зин Заратып туры7 ушын Қ1баны4 Зайсы таманда екенлигин били7 ушын з1р6рли... “.

Улу2бекти4 кестелеринде астрономияны4 тийкар2ы тура3лылары берилген. М1селен Улу2бек бойынша жұлдызлы3 жылды4 узынлы2ы еут к6н у саат q0 минут і секунд (81зирги к6нлери Забыл етилген м1нисинен q минут w секунд3а к5п). Улу2бек бойынша Сатурн планетасы жылына qw градус qe минут ео секунд3а а7ысады (81зир Забыл етилгенинен е секунд3а арты3). Бундай масылларды к5плеп келтири7 м6мкин. Оларды4 барлы2ы да Улу2бекти4 жбргизген 5лше7лерини4 Зандай д1режеде д1л бол2анлы2ын к5рсетеди.

Улу2бек фундаменталлы3 18мийетке ийе жұлдызлар кестесин д6зи7деги Гиппархтан кейинги астроном болып табылады. Бул кесте q0qі жұлдызды 5з ишине алады. Соларды4 о00 ини4 узынлы2ы долгота 81м і uі ини4 ке4ликлери Улу2бек обсерваториясында 5лшенген (соларды4 ишинде u00 жұлдызды4 еки астрономиялы3 координатасы бол2ан узынлы3 81м ке4лик обсерватория хызметкерлери т1репинен толы3 Зайта 5лшенген). Қал2ан жұлдызларды4 узынлы3лары 81м ке4ликлери сол 7а3ыт3а шекем белгили бол2ан кестелерде к5рсетилген жұлдызларды4 узынлы3лары менен ке4ликлерине д6зети7лер киргизи7 жолы менен пайдаланыл2ан. Улу2бек ушын ! бдирахман Суфийди4 жұлдыз кестеси тийкар2ы болып табылды. %з гезегинде бул кестедеги н1тийжелерди4 басым к5пшилиги Птоломей кестесинде бар болып шы3ты. Улу2бек кестелери д1ллиги жаынан сол 7а3ыт3а шекемги е4 д1л бол2ан Гиппарх кестелерини4 д1ллигинен жоЗары турып Тихо Браге (qtry-qy0q) заманына шекем бириншиликти Золдан бермеди.

Улу2бек кестелерде келтирилген математикалы3 изертле7лер 81зирги к6нлерге шекем 18мийетин жо2алт3ан жо3. Кестелерди4 тригонометриялы3 кестелерге ба2ышлан2ан б5лими синус, косинус 81м олар арасында2ы Затнастарды т1рийипле7 менен басланады. Улу2бек бул жерде минутларды4 синусларыны4 келтирилгенлигин, ал секундларды4 синусларыны4 интерполяцияны4 ж1рдемінде есапла7ды4 м6мкинлигин жазады. “Синусларды4 81м саяларды4 (тангенслер менен котангенслер) кестесин есапла7, - деп жазды Улу2бек, - усы 7а3ыт3а шекем 8ешким исенимли етип аны3ланба2ан бир градусты4 синусына тийкарлан2ан“. Н1тийжеде бир градусты4 синусы ушын 0,0qu rtw r0y reu wie tuq шамасы алынды. Бундай д1л есапла7ларды жбргизи7 ушын Заншама есапла7шыларды4 ЗатнасЗанын айты7 Зыйын. * 1зирги 7а3ытлары к5пшилигимизди4 Золларымызда есапла7 машиналары бар бол2анлы3тан жоЗарыда келтирилген мысалды4 дурыс екенлигин тексерип к5ри7ди озы7шылар2а усыныс етеміз.

%зини4 мийнетлеринде Улу2бек 5зине шекем Забыл етилген геоорайлы3 системасыны4 к5з-Зарасында турады. Оны4 ал2ан н1тийжелери, сол заманда2ы к5з-Зараслар

Улу2бекке гелиоорайлы3 система2а 5ти7 бойынша революциялы3 пикирлер айты72а мумкиншилик бермеди. Бира3 Залай деген менен Улу2бек кестелерин, оны4 менен бирге ислескен илимпазларды4 мийнетлерин о3ы2анымызда дбньяны4 орайында2ы Жерди К6н менен алмастыр2анда да сезилерликтей 5згерислерди4 болмайту2ынлы2ы 8а33ында пикирлерди табамыз. М1селен, жоЗарыда айтыл2ан Қазызада 5зини4 “Шарх Жагмини“ шы2армасында “.. айырым билимпазлар К6нди планеталарды4 орбиталарыны4 ортасында жайлас3ан деп есаплайды. ! стерек Зоз2алату2ын планета К6ннен блкенирек Зашы3лы3та турады“. Усы мийнетти4 5зинде былай да жазыл2ан “Жер Зоз2алмайды. Оны4 орайы ! лемни4 орайына с1йкес келеди. Усындай гипотеза блкенирек итималлы33а ийе. Бира3 бас3а да гипотеза бар. Қай жерде орналас3анлы2ына Зарамастан а7ыр дене Жерди4 орайына Зарап Заз2алату2ын бол2анлы3тан Жерди4 орайы тек 2ана Жерди4 1тирапында2ы а7ыр денелерди4 2ана орайы болып табылады. Сонлы3тан Жерди4 орайыны4 81м усы орай менен биргелікте Жерди4 5зи де Зоз2алады деп сана72а болады. Бундай гипотеза да дым жа3сы. “ Усындай пикирлерди биз Улу2бекти4 е4 жа3ын ж1рдемшилеринен бол2ан ! лий Құсшыны4 “Теологияны4 тезислерине тбсиниклер“ мийнетінде де табамыз. ЖоЗарыда келтирилген тарихый дереклерди4 барлы2ы да Улу2бекти4 гелиоорайлы3 системадан Зашы3 болма2анлы2ын д1лиллейди.

Зиджды4 дбзили7 барысында Улу2бекти4 е4 жа3ын ж1рдемшилеринен “ ияс-ад-дин Ж1мшид qгwo-жылы, Салахутдин-Му7са Қазызада qget-жылы Зайтыс болды.

qгго-жылы wu-октябрь к6ни Улу2бек баласы Абдулл1тиф т1репинен 5лтириледи. Усыны4 менен бирге Орта 1сирлердеги Орайлы3 Азияда2ы астрономияны4 ра7ажланы7ы да тамам болды. Улу2бекти4 сады3 досты ! ле71тдин ! лий-ибн-Му8аммед Құсшы к1р7ан дбзип Самар3андтан жұлдызлар кестесин, к5плеген Золжазбаларды алып кетип блгерди. Ол Стамбул2а жетип сол жердеги жоЗары о3ы7 орныны4 д1слеп о3ыты7шысы, кейинен ректоры болып иследи 811м 5мирини4 азырына шекем (qгur-жыл) Улу22бекти4 илимий мийрасларын халы3лар арасында тараты7 менен шу2ылланды.

Улу2бек кестелерини4 екінші нус3асы Нерат Заласына жеткен 81м Алишер На7айыны4 заманында к5ширип жазы7лар ар3алы парсы 81м араб тиллерінде к5п жерлерге таратыл2ан.

Улу2бекти4 жұлдызлар кестеси qуut-жылы Оксфорд2а, qi ге-жылы Лондонда басылды. Кестеге кириси7 Париж Заласында qi те-жылы жары3 к5рди. Ал Вашингтон Заласында Улу2бек кестелери бойынша жбргизилген изертле7 жұмыстарыны4 н1тийжелери qoqu-жылы баспадан шы3ты.

Улу2бекти4 жұлдызлар кестесінде келтирилген астрономиялы3 шамаларды4 д1ллигини4 жоЗарылы2ы со42ы 7а3ытта жаса2ан астрономларда Улу2бекти4 5зини4, обсерваториясыны4 XV 1сирде дбньяда бол2анлы2ы 8а33ында г6м1н пайда етті. ! сиресе XVIII 81м XIX 1сирди4 астрономлары соншама д1режедеги жоЗары д1ллікті4 XV 1сирде алыны7ыны4 мумкин емеслигин д1лилле7ге тырысты.

* а3ыйЗатында да Улу2бек Зайтыс болы7дан оны4 обсерваториясы талам-тараж етилди, Зол2а илингендей н1рселерини4 б1ри де урланды, qгоо-жылы Тимурды4 душпаны бол2ан Шейбаны-хан т1репинен кек алы7ды4 бир т6ри ретінде п6ткіллей

Зыйратылды. Кейин ала обсерваторияны 4 турдан жери билинбей кеткен 81м сон-лызтан оны 4 бар болганлыгыны 4 5зи 1сиресе илимпазлар арасында гман тулды.

Обсерваторияны 4 бар болганлыгы 8а33ында Улу2бекти 4 заманластары 81м оннан кейинги бирЗанша тарихшылар жазба тбрде мйраслар Залдыр2ан. Улу2бекти 4 киши заманласы, обсерваторияны 5з к5зи менен к5рген ! бдираза3 СамарЗандий 5зиний “Еки бахытлы жұлдызлар топарыны 4 ту7ылы7ы“ шы2армасында былай жазады` “астрономиялы3 ба3ла7лар ж6ргизи7 ушын (Зурыл2ан) 1сбаптарды тексерип 81м жетилистирилип болганнан кейин (Улу2бек) кестелерди д6зи7 8а33ында буйры3 берди... Бина беккем етип салынган еди... (Билимпазлар) жыйналысы бинаны уза3 7а3ыт, м14ги са3ланы7ы, а7ыспа7ы, тербелме7и ушын беккем етип салыны7ыны 4 кереклиги 8а33ында Зарар шы2арды. Соны 4 салдарынан бийик, д54гелек теризли сарай салынды... Кейинен Кбнни 4, жұлдызларды 4 Зоз2алыстарын ба3ла7а буйры2 берилди, анызлыгы 81м д1ллиги менен айрылатуын Кбнний 81м жұлдызларды 4 Зоз2алыстарыны 4 кестесини 4 д6зили7и басланды“.

XV 1сирди 4 азырыны 4 тарихшысы Мирхонд былай жазады` “Соны 4 менен бирге шебер усталарды 4 обсерваторияны3 Зурылысына кириси7и ушын уллы буйры3 шы2арылды. Бул иске астрономия илимини 4 сбийениши, екнши Птоломей “ иясадин Жамшид 81м илимди 5зине сыйдыры7шы мырза Низамадин ал-Қашылар Затнасты. Қурылыс тырысы7ларды 4, пухталы3ты 4 81м табан тире7шиликти 4 салдарынан тез арада питти“. Мирхондты 4 бул мийнети Алишер На7айыны 4 усынысы бойынша жазылган деген тарихый дереклер бар.

Улу2бек 5лгеннен кейин обсерваторияны Захреддин Бабур (е4 атазлы Тимуридлерди 4 бири 81м моголидлер м1млекетини 4 тийкарын салы7шы) барып к5рген 811м XVI 1сирди 4 басында “Бабурнамада“ былай жазады... “обсерватория бш басЗыштан (Забаттан) турады. Бул жерде Улу2бек 81зир п6ткил дбньяда Золланылып атырылган “Қура2оний кестелерин“ д6зди. Бас3а кестелер кем Золланылады... П6ткил дбньяда жети ямаса сегиз обсерватория Зурыл2ан болы7ы керек. Соларды 4 е4 уллысы Улу2бек обсерваториясы болып табылады“.

Улу2бек обсерваториясы 1901-жылы СамарЗанд археологы В.Л.Вяткин т1репинен Сасарканд Заласыны 4 ар3а-шы2ыс т1репинде Ташкент жолына жазын жерде Ку8а3 т5белигини 4 басынан табылды. Т5беликти 4 бийиклиги 10 метр болып оны 4 басына шы33ан адам2а ке4 горизонт ашылады. Обсерваторияны изле7 жумыслары тарихый 86жжетлер тийкарында 5ткерилди. Археологиялы3 Зазылмалар буннан кейин 1909-, 1910- 811м 1911-жыллары ж6ргизилди 81м обсерватория 81м онда Золланылган бас 1сбап 8а33ында бирЗанша толы3 ма2лы7матлар алынды. Қазба жумысларыны 4 барысында обсерваториядан 1000 куб метрдей Зулап Залган Зурылысты 4 ЗалдыЗлары ашылды. Бул шама Улу2бекти 4 Зандай блкенликтеги жайды салдыр2анлыгы 8а33ындагы д1слепки ма2лы7матларды береди.

Архитектор-археологларды 4 тастыйы3ла7ы бойынша Улу2бек обсерваториясы цилиндр т1ризли болып оны 4 тырнагыны 4 диаметри 10 метрге, бийиклиги 10 метрге те3 болган. Обсерватория2а орнатылган бас 1сбап секстант (айырым изертле7шилерди 4 пикири бойынша квадрант) шама менен 10 метрлик радиус3а те4. Оны 4 бираз б5леги жер астында жай2ас3ан болып до2асыны 4 узынлыгы секстант болган

жагдайда кеминде gw метрге те⁴. Бундай жагдайда до²аны⁴ 81рбир $u0q, i t$ миллиметринде q мбйешлик градус с¹йкес келеди. Бул секстант меридиан бойынша (арЗадан Зубла²а) д¹л ба²ытлан²ан болып, оны⁴ ж¹рдемінде К⁶нни⁴, Айды⁴, планеталарды⁴, жұлдызларды⁴ меридиан сызы²ы арЗалы 5ткен пайытында²ы координаталары жоЗары д¹лликте 5лшенген.

ЖоЗарыда келтирилген ма²лы⁷матлар Улу²бек т¹репинен сол д¹7ирге шекем болма²ан илимий обсерватория салын²анлы²ынан дерек береді. Бундай ис сол 7аЗытлары тек ²ана Збдиретли м¹млекет басшысы 81м е⁴ алды⁴2ы Затар алымны⁴ Золынан кели⁷и мбмкин еді.

Тилекке Зарсы, Улу²бек заманында ке⁴нен орын ал²ан диний фанатизм, Жерди !лемни⁴ орайы деп есапла⁷ д¹стб^{ри}, бизи⁴ Уллы жерлесимизге системасызды⁴ орайында К⁶н жайлас³ан деп есаплайту²ын гелиоорайлы астрономия²а батыл т⁶рде 5ти⁷ге мбмкиншилик бермеді.

Мусылман еллерини⁴, соны⁴ ишинде Орайлы³ Азия еллерди⁴ астрономиясы Улу²бектен кейин айтарлы³тай табыс³а ериспеди. Улу²бек бул еллерди астрономиялы³ 81м математикалы³ билимлер менен т⁵рт 1сирди⁴ да⁷амында толы³ т¹мийинледі.

Әл-Беруний

Әл-Беруний жасаған X әсирдің ақыры хәм XI әсирдің биринши ярымы Орайлық Азияда бириншиден мәдениеттың гүллениуи, екиншиден хәр қандай мәмлекетлер арасындағы басып алыушылық бағдарындағы урыс-жәнжеллердің күшейиуи менен сыпатланады. X әсирдің екинши ярымына келип пайтахты Гурганж (хәзирги Гөне Үргениш) қаласы болған арқа Хорезм хәм пайтахты Кәт қаласы болған қубла 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 қурыла баслады, қалада мәдений орайлар қәлиплести хәм бул жерлердеги өткерилген мәжилислерде XI әсирдің ең ири илимпазлары жыйналды. Хорезм аймағында мәдениеттың гүллениуинде Мамун ибн Мухаммедтиң улы хәм оның ақлығы Әлий ибн Мамун хәм Әбиу-л-Аббас Мамунлар үлкен орын ийеледи.

Бул уақытлары Хорезм бир жағынан Самарқандлы Илекханның, екинши тәрептен күдирети өсип баратырған Махмуд Ғазнауийдің қәупи астында турды. Усының ақыбетинде, әсиресе Махмуд Ғазнауийдің Хорезмдеги болып атырған мәдений хәм экономикалық гүллениуди көре алмауынан 1017-жылы бәхәрде Хазарасп қаласындағы Мамунның әскерлери менен тил бириктирип, көтерилис шөлкемлестириу нәтийжесинде Хорезмшах өлтирилди. Тахтқа Махмудтың аталасы Абдул-Харис Мухаммед ибн Әлий отырғызылды. Бирақ оның хәкимлик етиуи үш-төрт айдан аспады, 1017-жылы жаз айларында Хорезм ғәрезсизликтен айырылды хәм толық Ғазнауийлердің қол астына өтті.

Тийкарынан басқа еллерди басып алыушылық, талау менен өзиниң сиясатын жүргизген хәм Хиндстан, Иран, Орайлық Азияның бир қанша аймақларын бағындырған Махмуд Ғазнауий 1030-жылы қайтыс болады. Оның орнына әкесинен тек кемшиликли тәреплерин өзине мийрас етип алған улы Масъуд тахтқа келеди. Басып алыушылық сияса-

ты Ғазнаүйлер мәмлекетин хәлсиретип, 1040-жылы Селжуклар тәрәпинен кулатылады. Усының себебинен Хорезм қайтадан толық ғәрезсизликке ериседи.

Минекей усундай аўыр, тынышсыз хәм аласапыранлы тарийхый ўақыялардың барысында бизиң уллы жерлесимиз Әл-Беруний кәмалға келди хәм өзиниң өлмес мийнетлерин дәретти.

Әбиў Райхан Мухаммед ибн Ахмед Беруний 973-жылы 4-сентябринде Кәт қаласының қасында туўылды. Оның заманластарының хәм кейинги изертлеўшилердин 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 Хорезмшаққа 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 дәлилдеди. 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 хәзирги 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-дәретиўшилик 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 байланыслы тахтан түсирилген хәм қазаланған Хорезмшақ пенен тиккелей байланыслы болғанлығы себебли Әл-Беруний Рей қаласына (хәзирги Тегеранның бир бөлими) қашыўға мәжбүр болады. Усы ўақыяға байланыслы алым көп жыллар өткеннен кейин былай жазады (бул мақалада алымның мийнетлеринен үзиндилер хәзирги әдебий тилге жақынластырып аўдарылған): «Хәр қандай бахытсызлықлардан қәўипсизликти 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 дәслеп хәр тәрәплеме қыйыншылықларға ушырасады. Бирақ, кейиншелік 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 эсбаплар соғыуда өз дәуіріндегі айрықша құбылыс» деп жазды. Астрономиялық эсбаплар соғыу бойынша Әл-Хожендийдің тәлиматы XV әсирдегі Улығбек обсерваториясындағы секстетті салыуда фундаменталлық тийкар болды. Сонлықтан да Әл-Хожендийди болажақ уллы алымның тәбияттаныу илиминдегі қатаң эксперименталлық усыллардың тийкарын салыушылардың бири болып жетилисиуине тиккелей тәсирин тийгизди деп есаплай аламыз. Ал Әл-Берунийдің дөреткен илиминиң өзи болса, эксперименталлық жақтан қатаң тийкарланғанлығы менен ажыралып турды хәм ылайықлы бахаланды.

Арадан еки жыл өткеннен кейин әмир Мамун қайтыс болады хәм оның улы, жаңа Хорезмшах Әлий ибн Мамунның шақырыуы 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 жазысыуы 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 дәуірде Әл-Берунийдің бизге жетип келген дәслепки «Секстат», «Картография» хәм «Астролябия» шығармалары дөретиледи.

Бирақ, Кәт қаласында илим-изертлеу іслерин терең хәм кең түрде жүргизиуге имканият болмады. Бул жердегі орнатылған илимий эсбап-үскенелер Әл-Берунийди қанаатландырмады. Соның ақыбетинде 999-жылдың басында ол өз ұатанын таслап Каспий теңизиниң құбла бойларына кетеди хәм сол жердегі Гурган қаласында өзиниң ең бас муғаллими - астроном хәм шыпакер Әбиу Сахлем Ийса әл-Масихий менен ушырасады. Усының менен бирге Әл-Беруний Гурган хәм Табаристан әмири Зийарид Қабус ибн Уәшмгирдің ғамхорлығында болады хәм оған арналған өзиниң көп әсирлер дауамында жер жүзилик әхмийетин жоғалтпаған «Хронология» («Өткен әуладлардан қалған естеликлер») атлы биринши ири шығармасын дөретти. Бул китаптың жазылыуы пүткил Шығыс илими үшін үлкен ўақыя болып есапланады. Сонлықтан да көпшилик тарийхшылар жер жүзи илиминиң рауажланыуындағы XI әсирдің биринши ярымын «Әл-Беруний дәуири» деп әдил түрде атайды.

Гурган қаласында алым тәрәпинен алты жыл дауамында 15 илимий мийнет, соның ишинде 2 китап дөретилди. Бул ўақыт алымның илимдегі жедел түрдегі дөретуишлик дәуириниң басламасы болып табылады.

1004-жылдың басында Хорезмшах Әлий ибн Мамунның шақырыуы менен Әл-Беруний Гурганж қаласына жұмыс ислеуге келеди. Ал 1010-жылдан баслап тахтқа жаңадан отырған Әбиу-л-Аббас Мамун ибн Мамунның илим мәселелери бойынша бас кеңесгөйи сыпатында алым мәмлекетлик ислерге араласады. Соның менен қатар кейинги мийнетлеринде өз сәулесин тапқан астрономиялық, минералогиялық хәм математикалық изертлеулерин дауам етеди. Гурганжға Кәт қаласынан математик Әбиу Насыр Ибн Ирак, Бухарадан Ибн Сина, басқа да аймақлардан философ Әбиу Сахл Масихий, шыпакер Әбиу-л-Хасан Хаммар хәм басқа да белгили илимпазлар келип ислеу баслайды. Нәтийжеде бул аймақ Президентимиз И.Каримовтың арнаулы 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 бахалы таслар арасындағы қатнастар хәққинда китап») атлы мийнети жарық көреді. Бул илимий мийнетте Архимед тәрәпинен ашылған хәм оның аты менен аталатуғын белгили нызам тийкарында хәзирги «Материалтаныу» илиминиң сол ўақытлары бизиң үлкемизде рауажланыуына үлкен салмақ қосылғанлығын көремиз.

Гурганж қаласында жасаған дәуиринде Әл-Берунийдің қолында көп сандағы жетилистирилген илимий эсбап-үскенелер болды. Ол өзіндегі диаметри 3 метрлик квадранттың жәрдемінде жүргизген астрономиялық изертлеулерин тоқтатпады. Гидрологиялық хәм физикалық изертлеулер менен шуғылланыуды баслады. Бирақ жоқарыда айтылғанындай Хорезмди Махмуд Ғазнауийдің басып алыуына байланыслы Әл-Беруний 1017-жылдың жаз айларында Гурганжды таслап Ғазна қаласына көшиуге мәжбүр болды. Тутқынлар

қатарында болғанлығына қарамастан, ол Ғазнаға өзі менен толық илимий архивин алып кетеді хәм ол жерге барыуы менен қурамалы және қыйын жағдайлар орын алған болса да, теперишлик пенен изертлеу жұмыстарын дауам етиуге киристи.

Өз гезегидде Махмуд Ғазнаұйи заманының алдыңғы қатар билимли адамларының бири еди. Ол өз этирапына белгили илимпазларды, шайырларды, саяхатшыларды жыйнаған. Олардың ұазыйпасы тийкарынан Махмуд Ғазнаұйидиң даңқын мәңгилестириуден ибарат болған. Соның себебинен, мысалы, орта әсирлердеги белгили шайыр Фердаусийдың «Шахнама» шығармасы дүньяға келди. Әл-Берунийдиң өзиниң жазыуы бойынша оның семьясындағы хаял-қызлар да билимли болған хәм хәтте илимий ислер менен де шуғылланған. Ислам Шығысында биринши рет Махмуд Ғазнаұйи 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 урысларын тоқтатқан жоқ. Бирақ бул шын мәнисинде басқыншылық урыслары еди. Мысалы 998-1030 жыллар аралығында Махмуд Хиндстанға, тийкарынан оның Пенжап хәм Кәшмир ұәлаятларына 17 рет топылыс жасады.

Дәслепки ұақытлары Ғазнада Әл-Берунийге салқын қатнас жасалған. 1018-жылы оның ықтыярында хеш қандай астрономиялық әсбап болмады. Бирақ, 1019-жылға келип, Әл-Беруний диаметри 4.5 метрге тең жоқары дәлликте өлшейтуғын квадрантқа ийе болды. Бундай әсбап сол ұақытқа 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 Хиндстанға болған топылыслар дәуиринде Әл-Беруний Махмуд Ғазнаұйидиң қасында болды, ал 1034-жылы өз ұатанына 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 қашықлықты анықлау ушын орынлардың шегараларын белгилеу») атлы мийнети жарыққа шығып, онда 990-жыллардан баслап жыйнаған хәм өзи тәрәпинен алынған илимий нәтийжелерди улыұмаластырады. Әл-Беруний бул мийнети хәққында былай жазады: «Мениң сөзимде (мийнетимде) айтыуға умтылып атырған ақырғы мақсетим... белгили болғай. Егерде оны улыұма түрде алсақ Жердиң қәлеген орнының координаталарын шығыс хәм батыс арасындағы узынлық, арқа менен қубла арасындағы кеңлик бойынша, соның менен бирге орынлар арасындағы қашықлықты, азимутларды 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 дәреуинде Әл-Берунийдиң Жер шарының өлшемлерин анықлау бойынша Хиндстандағы 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 әйемги 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 қашықлықтардан кейин тутасатуғынлығын бахалай алды хәм ол тәрәпте құрғақшылықтың бар екенлигин дурыс болжады. Әлбетте, бул болжау кейинирек дурыс

болып шыққан болса да Әл-Берунийди Американы биринши болып ашты деп пикир айтыу хақықатлыққа сәйкес келмейди.

Әл-Берунийдің «Геодезия» сында Африка материгиниң формалары, Балтық, Ақ теңиз, Қытайдың шығыс тәреплери хақында жеке болжауларын сыпатлайды хәм өзиниң теңизлер теориясын баянлайды. Бул мийнетте Әмиўдәрьяның Каспий теңизине куйғанлығы хақында мағлыұматлар келтирилген. Сондай-ақ китапта Әл-Берунийдің 990-жыллары Жердиң ярымшар түриндеги моделин (ярым глобусты) дөреткенлигин жазады. Солай етип уллы алымымыздың дүньяда биринши болып глобусты соққанлығы хақында мағлыұматқа ийе боламыз.

Орта әсирлердеги пүткил араб географиясы бойынша әдебиятта Әл-Берунийдің «Геодезия» хәм басқа да мийнетлеринде баянланған география салмақлы орын тутады.

Ғазна қаласында алымымыз тәрепинен 1030-жылы жарыққа шығарылған хәм Жер жүзи илими менен пүткил адамзат мәдениатында көрнекли орын тутатуғын мийнет «Ҳиндстан» (толық аты «Ақылға муўапық келетуғын ямаса бийкарланатуғын хиндлерге тийисли тәлиматларды түсиндириў») деп аталады. Бул китапты жазыу 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 өзимниң барлық күшимди хинд китаптарын табыуға хәм сол китаптар жасырылған орынларды билетуғын адамларды излеўге жумсадым» деп жазады.

Ҳинд илими менен мәдениаты жер жүзи илими менен мәдениатының раўажланыуына әйем заманлардан берли өзиниң унамлы тәсирин тийгизип келди. Солардың ишинде, мысалы, хәзирги ўақытлары пүткил жер жүзинде қабыл етилген араб цифрлары деп аталатуғын цифрлар (тоғыз цифрға хәм нолге тийкарланған онлық система) шын мәнисинде VII әсирлерде толық кәлиплескен, соңынан деслеп арабларға, кейиншелик европалыларға таралған хинд цифрлары болып табылады.

Әл-Берунийдің «Ҳиндстан» мийнетинде Ҳиндстанның руўхый мәдениатының өзгешеликлерин баянлау тийкарғы орынды ийелейди. Бул жерде автордың хиндлердиң географиялық хәм космологиялық көз-қараслары менен толық таныс екенлиги кәлеген оқыўшыны таңландырады. Китаптың 80 бабының хәммесинде де Әл-Беруний өзиниң улыўма ескертиўлеринен кейин көп сандағы хинд авторларының жұмысларынан үзиндилер келтирип, оларды мусылманлардың, әйемги греклердиң, иранлылылардың, қытайлылардың хәм басқа да халықлардың теориялары хәм өзиниң жеке пикирлери менен салыстырады. Усындай жоллар менен илимди түсиндириўдиң, басқа халықларға жеткизиўдиң әхмийетин хеш нәрсе менен салыстырып болмайды.

Әл-Беруний «Ҳиндстан» китабы менен бир қатарда 1029-жылы «Жулдызлар хақында илим» деген мийнетин де жазып питкерди. Бул китап астрономия менен астрологияны үйрениўшилер ушын оқыу куралы болып табылады хәм сол ўақытлары әхмийетли болған 530 сораўға жуўапты өз ишине қамтыйды. Ең қызығы соннан ибарат, автор бул мийнетин өзиниң ана тили болған хорезм тилинде емес, ал араб хәм парсы тиллеринде жазған хәм олар бизиң дәўиримизге шекем толығы менен келип жеткен. Әл-Беруний усы китаптың кирисиў бөлимінде «Әл-Беруний айтты: оқыу хәм қайталау арқалы әлемниң дүзилесин билиу хәм аспанның, Жердиң фигурасы қандай, олар арасында не бар екенлиги үйрениў жұлдыз санау өнери ушын жүдә пайдалы. Өйткени усындай жоллар менен тәлим алған адам ғана бул өнер менен шуғылланыўшылардың пайдаланатуғын тилин үйренеди хәм сөзлериниң мәнисине түсинеди. Бул өнердиң хәр қандай себеплерин хәм дәллилеўлерин үйренип оған еркин ой жуўыртыу арқалы қатнас жасайды. Сонлықтан бул китапты әл-Ҳасанның қызы хорезмли Райханға оның өтиниши бойынша түсиниў жеңил болыуы ушын сораў-жуўап түринде дүздим...» деп жазған.

Оқылыуы жеңил бул китапта алымның данышпанлығы айрықша дәрежеде көринеди. Китап «Геометрия», «Арифметика», «Астрономия», «География», «Астрологиялық астрономия», «Астрология» хәм басқа да бөлимлерден турады және өзиниң көрсетпелилиги

менен хәр бир оқыўшыны таңландырады. Мысал ретинде «Қус жолы деген не?» деген мазмундағы 167-сораўды алып қараймыз. Жуўапта Қус жолының сыртқы формаларының қандай екенлигин хәм қандай жулдызлар топары аракалы өтетуғынлығын айта келип «Аристотель Қус жолын түтин түринде шашыраған оғада көп сандағы жулдызлардан турады деп есаплады, оларды хаўадағы думанлар хәм бултлар менен салыстырды» деп жазады. Бул мысал данышпан алымымыздың хақыйкатлықты дурыс көре хәм бахалай алғанлығын айқын дәлиллейди.

1030-1037 жыллар Эл-Беруний өмириниң дөретиўшилик дәўириниң ең жоқарғы шыңы болып табылады. Бул дәўирде тахтта Махмудтың улы Масъуд отырды. Елде Эл-Берунийге деген исеним хәм хұрмет артты. Оған жемисли мийнет етиўи ушын толық жағдайлар жаратылды. Усы ўақытлары ол өзиниң хеш қашан әхмийетин жоғалпайтуғын астрономия хәм математика бойынша энциклопедиялық мийнет болған «Масъуд канон» ын жаратты. Элбетте, 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 түринде 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 китаптар байлығына хызмет етиўимди, Масъудтың 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 жулдызлар орналасқан сегизинши сфера жайласады.

Хәр бир планета дүньяны тәртипке салып турыўшы жаратыўшының қүдиретлилиги хәм даналығы менен дөретилген хәм өзлери ушын анықланған ўазыйпаларды орынлаў

ушын дүньяда орнатылған нызамлар бойынша қозғалып жүреді», - деп жазады алымымыз.

Әл-Беруний барлық мийнетлерінде, соның ишінде айрықша «Масъуд каноны» кітабында өзіне шекем қәлиплескен төмендегідей 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 биразы надурис болған бундай космологиялық жағдайлардың алым тәрәпинен қабыл етилиуи физика илиминдеги қозғалыс нызамларының ол дәуірде еле ашылмағанлығының себебинен болып табылады. Бул нызамлар Әл-Беруний заманынан алты әсирден соң белгили астрономлар Н.Коперниктің гелиоорайлық системасы және И.Кеплердің аты менен аталатуғын планеталардың қозғалыс нызамлары табылғаннан кейин XVII әсирде И.Ньютон тәрәпинен толық ашылды хәм пүткіл тәбияттаныуды дурыс жолға салды. Бирақ, бундай жағдай алымның буннан дерлик мың жыл бурын жазылған мийнетинің қунын, гөззаллығын, адамларды өзіне тарта алыу қәбилетлигин хеш қандай төмендете алмайды.

Ғазнауийлер мәмлекети қулағаннан кейинги 1040-1048 жыллары Әл-Беруний Ғазна қаласын таслап кеткен жоқ. Бул ақырғы дәуір оның дәрәтиушилиқ энергиясының төменлеуі, кекселиктің басланыуы, денсаулығының, әсиресе көзлеринің көриуинің пәсейіу 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 естеликтери болып қалған «Минералогия» (толық аты «Қымбат бахалы затларды таныу ушын арналған мәлимлемелердің жыйнағы») хәм «Фармакогнозия» («Медициналық дәрилер хақында кітап») мийнетинлерин дәрәтті. Алым шапакер болған жоқ, соның менен бирге дәрилик қәсийеттери болған өсимликтердің, басқа да затлардың адам организмине тәсири хақында пикирлерин жазған жоқ. Ал «Фармакогнозия» болса Әл-Беруний заманына шекемги дәрилик затлар хақындағы жер жүзилик тәлиमतты қамтытуғын энциклопедиялық мийнет болып табылады.

Өмиринің ақырғы күнлерине шекем Әл-Беруний 140 тан асламырақ мийнет жазды. Солардың ишіндеги 113 мийнеттің дизимин 1036-жылы өзі жазып қалдырды хәм бул дизим бизің дәуиримизге шекем жетип келди. Хәзирги әуладтың қолларына келип жеткен мийнетлеринің саны 26 хәм олар алымның ең әхмийетли шығармаларын қурайды. Хәзирги күнлери Әл-Берунийдің мийрасларын излеп табыу және қайта тиклеу жұмыслары жер жүзи масштабында жүргизилип атыр.

Әл-Беруний 60 жылдай жемисли мийнетинен кейин 1048-жылы декабрь айында Ғазна қаласында 75 жасында Масъудтың улы Мәудиттің кишкене ғана сарайында қайтыс болды. Алымның өмиринің ақырғы саатлары хақында төмендегідей тарихый мағлыұматлар бар.

Хәзирги жыл есаплау бойынша 1048-жылы 11-декабрь күни кеште оның жағдайлары төменлеген хәм усыған байланыслы сарай хызметкери Әбиу Фазылға Әбиу Хәмидти тез шақырууды сораған. Ол ақыл-хушын жоғалтпай, толық санасында қайтыс болған. Әтирапындағылардың жыллы жүзлилик пенен атларын айтып, оларға жақсы тилеклер тилеген. Әл-Берунийдің алақанына шекесин тийгизген қазы Әбиу Хасан Ұәлүәлийжийден «Хийлекерлик жоллар менен табылған пайданы есаплау усыллары хақында сен маған бир уақытлары не айтқан едиң?» деп сораған. Усы сорауды еситкен Әбиу Хасан Ұәлүәлийжий «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 көзин ақырғы рет жумған.

Өмириниң ақырында оның бийтаплық хәм аўыр халынан хабардар болғандай илимпаздың я бала-шағасы, я ағайин-туўғаны болған жоқ. Алымымыздың қәдир-қымбатын билген аз сандағы сарай илимпазлары, басқа да алдыңғы қатар адамлар оны ең ақырғы жолға шығарып салды хәм басына елеспесиз мақбара орнатты. Ұақыттың 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 Әл-Беруний бабамыз кейинги әўладқа өзиниң китапларынан басқа хеш нәрсе де қалдыра алмады.

Ахмед әл-Ферғаний

Қәдимий қәдириятларымызды қайта тиклеў, теберик топырағымызда жасап өткен даңқлы ата-бабаларымызды таныў, олардың дүньялық цивилизацияға қосқан үлеслерин аңлап билиў бизиң миллий мәдениятымызды раўажландырыў, жаңа әўладты тәрбиялаў мәселелериндеги тийкарғы талаптардан болып табылады. Сонлықтан хәзирги 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 жүзлик көлемде көтериңкилик пенен белгилениўи бизиң руўхый турмысымызда жүз берген үлкен ўақыя болды хәм ўатанымыздың әйемнен басланған бай мәдениятының буннан былай да раўажланыўында айрықша тәсир қалдырды.

Әл-Ферғанийдың 1200 жыллығын белгилеў ЮНЕСКОның 1998-жылдағы илажлар режесине киргизилди. Усыған байланыслы жақында ғана Өзбекстан Республикасы Министрлер Кабинетиниң Ахмед әл-Ферғанийдиң 1200 жыллығын белгилеў хаққындағы қарары бизиң миллий қәдириятларымыздың 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 байланыслы болған математика тараўларындағы илимий мийраслары менен кең жәмийетшилигимизди жақыннан таныстырып өтиўди мақул көрдик.

Уллы астрономымыз Мырза Улығбек хәм оның илимде қалдырған мийраслары хаққында 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 өтпеў мүмкин емеслиги айқын көринеди. Усындай жағдай өз гезегинде бизиң әйемги 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, қәдирлеймиз 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 раўажландырыў 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 әйемги грек билимпазларының тийкарғы мийнетлери аўдарылды. IX-X әсирлерде Бағдад қаласында жұмыс ислеген илимпазлардың көпшилигин Орайлық Азиядан алып келингенлер (Әл-Хорезмий, Әл-Мәрүезий, Әл-Ферғаний хәм басқалар) курады.

Ахмед әл-Ферғаний хәзирги Ферғана ойпаты аймағында туўылған. Оның балалық жыллары, қай жерлерде оқығанлығы хаққында мағлыўматлар сақланбаған. Алымның дәретиўшилик 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 Әл-Ферғанийдиң 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 Птолемейдиң (шама менен бизиң эрамыздың 90-168 жыллары) «Альмагест» мийнети киреди. Әл-Ферғаний ең бириншилер қатарында бул мийнеттиң авторы тәрәпинен саналы түрде жиберилген қәтеликлерди ашып көрсете алды хәм астрономия илимин георайлық көз-қарастан дурыс жолға бағдарлады.

Әл-Ферғанийдиң 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 хаққындағы илимлер жыйнағы» деген ат пенен жарық көреді. Әл-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 қамтыйтуғын «Астролябияны соғыў хаққында китап» деген мийнети хәзирги ўақытлары да көп санлы оқыўшыларда қызығыўшылықты пайда етеди. Астролябия орта әсирлердеги жулдызлардың аспан сферасындағы координаталарын анықлайтуғын әсбап болып, Әл-Ферғаний оның қозғалмалы бөлимлерин соғыўдың тәртиплерин баянлайды. Китаптың басланғыш бөлеги стереографиялық проекциялар хаққындағы теоремаларды дәлиллеўден ибарат. Бул жерде хәр қандай геометриялық фигуралардың сфералардағы проекцияларын курыўдың усыллары айқын көрсетилген. Усыған муўапық хәзирги күнде стереографиялық проекциялар усылы кеңнен қолланылатуғын Кристаллография, Минералогия хәм сол сыяқлы илимлердиң қәлиплесиўинде Әл-Ферғаний уллы орын тутты деп есаплай аламыз.

Бул мийнетти үйренген хәр бир адам Әл-Ферғанийдиң өзине шекемги хәм өз дәўириндеги уллы илимпазлардың мийнетлерин жақсы билгенлигин анық көреді. «Астролябияны соғыў хаққында» ғы китап IX әсирдиң басында жазылған Мухаммед ибн

Муўсаның «Тегис хәм шар тәризли фигураларды өлшеў китабында» келтирилип шығарылған геометриялық жаңалықлардың тиккелей даўамы болып саналады.

Әл-Ферғанийдың астрономиялық хәм математикалық мийнетлери өзинен кейин илимниң бул тараўларын раўажландырыў бағдарында зор хызмет етти. Мысал ретинде бизиң уллы жерлесимиз Әл-Берунийдиң «Дөңгелектеги хордаларды оларда жүргизилген сынық сызықлардың жәрдемінде анықлаў» мийнетин алып қарасақ болады. Бул китапта Мухаммед ибн Муўса Әл-Хорезмийдиң зиджинде (жұлдызлар кестесинде) келтирилген әл-Ферғанийдиң Қуяштың теңлемесин есаплаў жолы менен анықлаўы хаққында}, «Әл-Хорезмийдиң зиджиндеги (жұлдызлар кестесиндеги) Әл-Ферғаний тәрәпинен есаплаўлар жолы менен келтирилип шығарылған теориялық тийкарлармалардың дурыслығын мениң дәлиллеким» атлы параграфлары Әл-Ферғанийдың жумысларының қандай дәрежеде илимпазларға белгили болғанлығынан дәрек береді. Әл-Ферғанийдиң аспан денелериниң қозғалысын сыпатлаўға мүмкиншилик беретугын математикалық мийнетлериниң нәтижелери, әсиресе оның стереографиялық проекцияларды дүзиў бойынша ашқан жаңалықлары Омар-Хайям тәрәпинен XI әсирдиң ақырында толық пайдаланылды.

Мырза Улығбектиң басшылығында жер жүзинде кеңнен тарқалған астрономиялық кестелердиң дүзилиўинде де (Астрономиялық Султан-Қурағаний кестелери) Әл-Ферғанийдиң астрономиялық хәм соған сәйкес математикалық мийнетлериниң кеңнен пайдаланылғанлығын атап өтемиз.

IX-XVI әсирлерде Әл-Ферғаний менен бир қатарда Орайлық Азия жерлеринен шыққан жүзден аслам илимпазлар жұлдызлар хәм басқа да астрономиялық кестелер дүзиўшилер, астрономиялық әсбап-үскенелер соғыўшылар, астрономия, тригонометрия, алгебра хәм геометрия бойынша теориялық трактатлардың авторлары сыпатында даңқа бөленди. Олардың илимий мийнетлериниң нәтижелери Европадағы қайта тиклениўге пайдалы бағдар болды. Мысалы XV әсирдиң екінши ярымындағы пүткил Европадағы белгили математик хәм астроном Иоханн Мюллер 1464-жылы бириншилер қатарында астроном Әл-Ферғаний мийнетлерин пүткил математика илиминиң тарийхы сыпатында танып хәм тән алып, бул бойынша университетте лекция оқый баслаған. Бул бизиң жерлесимиздиң уллы мийрасларына қаратылған айрықша дыққаттың белгиси, хұрметтиң көриниси екенлиги сөзсиз.