

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

Бердақ атындағы Қарақалпақ мәмлекетлик университети

Физика факультети

Улыўма физика кафедрасы

Б.Ә.Әбдикамалов

АСТРОНОМИЯ ҲӘМ АСТРОФИЗИКА ТИЙКАРЛАРЫ

(Лекциялар текстлери ҳәм методикалық көрсетпелер)

Нөкис - 2006

Мазмуну

Кирисиў.	3
Әлем санлар менен.	5
Астрономия ҳәм астрофизиканың қысқаша тарийхы.	10
Астрономияның бөлимлери.	12
Әлемнің қурылысы ҳақында 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 ҳәм аспан денелериниң массаларын анықлаў.	32
Жер.	34
Жердиң айланыўы.	36
Жердиң дәлирек формасы.	37
Жердиң массасы.	38
Сфералық координаталар системасы ҳәм аспан сферасы.	40
Географиялық координаталар.	45
Горизонталлық координаталар системасы.	47
Экваторлық координаталар системасы ҳәм аспан сферасының суткалық айланысы.	48
Қуяш системасының дүзилиси.	53
Космонавтика элементлери.	68
Планеталар ҳәм олардың жолдаслары.	97
Жулдызлар.	150
Эйнштейнниң гравитация теориясын айырым астрофизикалық мәселелерди шешиў ушын қолланыў.	175
Космология.	210
Улығбек ҳәм астрономия.	248
Әл-Беруний.	254
Ахмед әл-Ферғаний.	261

Кирисиў

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

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

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

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

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

2. Аспан денелериниң физикалық қурылысын, яғный химиялық қурамы менен аспан денесиниң бети хәм ишиндеги физикалық шараятларды үйрениў (тығызлық, температуралар 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 ызымлары тийкарында шешиледі. Сонлықтан астрономияның бул областында әсиресе Жерге жақын объектлер ушын ең бай мағлыўматлар жыйнағына ийемиз

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

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

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

XX әсирдиң жуўмақлары:

Планеталық астрономияда:

- көп мың жыллар бурынғы хәм кейинги планеталардың ийелеп турған орынларын есаплаўға мүмкиншилик 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 жулдызлардағы платенаталық системалар ашылды.

Бирақ ҳәзирше:

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

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

Жұлдызлар астрономиясында:

- жұлдызлардың ишкі дүзилисинің теориясы дөретилді; жұлдызлардың сыртқы катламаларының вибрациясы (гелиосейсмология) хәм термоядролық реакциялардың акыбе-тинде тууылатуғын нейтриноларды регистрациялау жолы менен жұлдызлардың ишкі ку-рылысын изертлеу методлары табылды;

- жұлдызлардың пайда болуы менен эволюциясының улыма түрдеги картинасы дөретилді;

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

Бирақ хәзирше:

- Куяштың барлық бақланатуғын қәсийетлерин (мысалы ядродан шығатуғын нейтри-нолардың ағымын) түсіндіретуғын Куяштың анық теориясы еле дөретілген жоқ;

- жұлдызлар активилигинің пайда болуын дәл түсіндіретуғын теория жоқ. Мыса-лы, аса жаңа жұлдызлардың партланыу себеплери еле ақырына шекем түсіндирилме-ди; неликтен базы бир жұлдызлардың этирапынан газдың жиңишке ағысы шығарылады. Ас-панның хәр қыйлы бағытларынан бир қәлипте келетуғын гамма-нурланыудың қысқа ўа-қытлық пайда болуы айрықша жумбақ. Соның менен бирге олардың не менен байланыс-лы екенлиги де (жұлдызлар ямаса басқа объектлер), олардың бизден қанша қашықтықта жайласқанлықлары да айқын емес.

Галактикалық хәм галактикадан тыс астрономияда:

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

- жұлдызлар аралық газ хәм шаң менен бизден жасырынып турған Галактиканың яд-росының курылысы үйренілді;

- Әлемдеги ең узақ болған объектлерге шекемги қашықтықларды өлшеу усыллары та-былды;

- галактикалардың тийкарғы типлери менен олардың жыйынларының курылысы үйренілді;

- галактикалар жыйынларының тәртіпсиз түрде тарқалмағанлығы, ал олардың Әлем-нің ири масштаблы ячейкалық курылысын пайда ететуғынлығы табылды.

Бирақ хәзирше:

- жасырын масса машқаласы шешілген жоқ, галактикалар менен олардың жыйынла-рының гравитациялық майданы оларда бақланатуғын затлардың гравитациялық майданы-нан әдеуир зыят. Әлемнің затларының басым көпшилиги астрономлардың нәзеринен усы ўақытларға шекем жасырынып турған болуы итимал;

- галактикалардың пайда болуының бирден бир теориясы жоқ;

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

XX әсир астрономиясының жуўмақлары усылардан ибарат.

XXI әсирде шешилиуи керек мәселелер:

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

- Жұлдызлардың қәлиплесиуине қандай процесслер мүмкиншилик береді?

- Углерод, кислород сыяқты 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 кеңейиуи қысылуы менен алмаса ма?

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

лаған жыллардан кейін олардың Әлемнің жаңа бетін ашатуғынлығының итималлығы жоқары.

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

Әлем санлар менен

Фундаменталлық турақлылар

Гравитация турақлысы	$6.67 \cdot 10^{-8}$	$\text{См}^3/(\text{г} \cdot \text{с}^2)$
Вакуумдегі жақтылықтың тезлігі	$3.00 \cdot 10^{10}$	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 бирлігі	$1.6 \cdot 10^{-12}$	эрг
Ядроның хәр бір нуклон ушын салыстырмалы байланыс энергиясының характерли шамасы	$7 \div 8$	МэВ
Протонның массасы / Электронның массасы	1836	
Массаның атомлық бирлігі	(12С ядросы массасы)/12	
Массаның атомлық бирлігиниң 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 тәртіби)	$5 \cdot 10^{-5}$ 5000	см ангстрем
Тийкарғы халда турған водород атомының ионизация энергиясы	13.6	эВ
Хәр қыйлы атомлардың ионизация энергиялары	$5 \div 20$	эВ
Больцман турақлысы	$1.38 \cdot 10^{-16}$	эрг/К

Адам хәм адамзат

Адамның характерли сызыклы 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

Жердин радиусы	6400	км
Жердин массасы	$6 \cdot 10^{27}$	г
Жердин орташа тығызлығы	5.5	г/см ³
Жер бетиниң қашыу тезлиги	11.2	км/с
Жердин 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 тиришіліктің 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 радиустарында
Плутонның қуяш дөгерігінде айланыу дәуірі	250	Жыл
Юпитер Қуяш дөгерігінде айланыу дәуірі Орбитасының үлкен ярым көшери массасы	12 5 0.001 300 1.3 10	жыл а.б. Қуяш массасы Жер массасы г/см ³ саат
орташа тығызлығы өз көшери дөгерігінде айланыу дәуірі		

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

Қуяш

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

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

Қуяш дискисинің орайында 1" 750 км ге сәйкес келеді

Қуяш жұлдыз сыпатында

«Бетинің» температурасы	5800	К
«Бетіндегі» тығызлық	10^{-7}	г/см ³
Қуяш атмосферасының химиялық қурамы (массасы бойынша) водород гелий Басқа элементлердің барлығы	70% 27% 3%	
Абсолют жұлдызлық шама (V жолағында)	+48 ^m	
Көриніудің жұлдызлық шамасы V жолағында Болометрлік	-26.7 ^m -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. Әдеттигидей (нормал) жұлдызлар		
Массалары	0.1 ÷ 100	Қуяш массаларында
Радиустары Бас избе-излік Қызыл гиганттар хәм аса гиганттар	0.1 ÷ 25 10 ÷ 1000	Қуяш радиустарында
Светимости	$10^{-4} \div 10^6$	светимостей Солнца
Энергия шығарыу темпи	0.1 ÷ 1000	эрг/(г с)
Ең жоқарғы светимости	$10^{39} \div 10^{40}$	эрг/с
Орташа тығызлықтар Бас избе-излік Қызыл гиганттар хәм аса гиганттар	0.01 ÷ 100 $10^{-7} \div 10^{-2}$	г/см ³
"Бетлеринің" температуралары	3000 ÷ 50000	К

Б. Ақ иргежейлилер

Массалары:		
------------	--	--

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

В. Нейтронлық жұлдызлар

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

Жұлдызлар аралық орталық

Галактиканың жұлдызлары массасы/ Жұлдызлар аралық заттар массасы	30	
Жұлдызлар аралық газлар массасы/ Жұлдызлар аралық шаңдар массасы	100	
Жұлдызлар аралық газлар 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 кернеулілігі	$(3 \div 5) \cdot 10^{-6}$	Гс
Газ думанлықтар Бөлекшелер концентрациясы Газ температурасы	$10^2 \div 10^4$ $(8 \div 12) \cdot 10^3$	см ⁻³ К

Галактика

Галактика диаметрі	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 жұлдыздық шама (V жолағында)	-20.5m	
Галактиканың орайынан Қуяшқа шекемгі аралық	8	кпк
Галактиканың орайы дөгерігінде Қуяштың қозғалыс тезлігі	200	км/с
Галактикалық жыл	2 . 108	лет

Жулдызлар аралық кашықлықлар бирликлери

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

Жулдызлар астрономиясындағы тезликлер бирлиги (1 а.б./жыл)	4.74	км/с
α Сен ге шекемги кашықлық.	1.3 4.3	пк ж.ж.
Этираптағы жулдызларға салыстырғандағы Куяштың тез- лиги	20	км/с
Ең үлкен меншикли қозғалыс (Барнард жулдызы)	10	мүйешлик.сек./жыл
Куяш этирапындағы затлардың тығызлығы (жулдызлардың затларын есапқа алғанда)	10^{-23} - 0.1	г/см ³ Куяш массасы/пк ³
Шар (тәризли) жыйнақлар Галактикадағы толық саны Тиккелей бақланады Бир жыйнақтағы жулдызлар саны	~ 200 ~ 140 $10^5 \div 10^6$	

Галактикадан тыстағы дүнья хәм Әлем

Қашықлықлар: Үлкен Магеллан Булты Андромеда думанлығы Девадағы галактикалар жыйнағының орайы	55 700 20	кпк кпк Мпк
Галактикалар арасындағы орташа кашықлық/әдеттегидей галактика- ның өлшеми	$10 \div 100$	
Хаббл турақлысы Н	$50 \div 100$	км/(с Мпк)
Хаббл ўақыты (1/Н)	10^{10}	жыл
Хаббл кашықлығы (с/Н)	10^{28}	см
Реликтив нурланыў температурасы	2.7	К
Әлемнің критикалық тығызлығы	10^{-29}	г/см ³
Әлемдеги көринетуғын затлардың орташа тығызлығы	10^{-30}	г/см ³

Астрономия хәм астрофизиканың қысқаша тарийхы

Бизиң эрамызға шекемги 360-жыл шамасы.	Аристотелдің дүньяның геоорайлық системасы.
Бизиң эрамызға шекемги II әсир.	Дүньяның биринши гелиоорайлық системасы (Аристарх Са- мосский).
Бизиң эрамызға шекемги 240-жыл.	Жердің өлшемлерин (радиусын) биринши өлшеў (Эратосфен).
Бизиң эрамызға шекемги II әсир.	Гиппарх. Прецессияның ашылыўы, жулдызлық шамалардың киргизилдиўи, жулдызлар каталогы.
Бизиң эрамыздың II әси-	Птолемейдің «Альмагест» мийнети, эпицикллар.

ри.	
1032-1037 жыллар.	Аль Берунийдің «Масъуд Каноны» мийнети.
1420-1430 жыллар.	Мырза Улығбектің «Қурағаний зиджы» каталогы.
1543-жыл.	Коперник: «De revolutionibus orbium coelestium» кітабы жарық көреді. («Аспан шеңберлерінің айланыстары хақында»).
1610-жыл.	Галилей. Телескоптық астрономияның басланыуы.
1610-1620 жыллар.	Кеплер. Планеталардың қозғалыс ызыамлары.
1687-жыл.	Ньютон: «Philosophiae naturalis principia mathematica» кітабы жарық көрді («Натурал философияның математикалық басламасы»).
XVIII ғасырдың ақыры.	Гершель. Жұлдыздар астрономиясының тууылыуы.
1859-жыл.	Кирхгоф. Спектраллық анализдің ашылуы.
1910-1922 жыллар.	Слайфер галактикалардың спектріндегі қызылға ауысуы ашты: $z = (\lambda_{\text{дерек}} - \lambda_{\text{бакл}}) / \lambda_{\text{бакл}}.$ Бұл аңлатпада $\lambda_{\text{дерек}}$ хәм $\lambda_{\text{бакл}}$ арқалы дерек пенен баклаушының меншикли координаталар системасындағы нурланыу ызынлықтары белгиленген.
1915-жыл.	Эйнштейн. Улыұмалық салыстырмалылық теориясы (Эйнштейннің гравитация теориясы).
1917-жыл.	Альберт Эйнштейннің «Космология мәселелери хәм улыұмалық салыстырмалылық теориясы» мийнетінің жарық көриуі.
1918 жыл.	Шепли. Галактооарайлық революция.
1922-1924 жыллар.	А.Фридман. Эйнштейн теңлемелерінің сатционар емес шешімлери (Фридманның космологиялық моделлери).
1929-жыл.	Э. Хаббл, қашықласушы галактикалар ушын $v = Hg$ ызыамы. Қашықласушы галактикалардың тезликлери қызылға ауысуы 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. Жұлдыздар 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.	Жұлдыздар 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) ашылуы.
1970-жыллар.	Рентген хәм гамма астрономиясы.
1979-80 жыллар.	А. Гус, А.А. Старобинский, А.Д. Линде, Д.А. Киржниц – «инфляциялық» (үрлениуі) Әлем гипотезасы.
1980-1990 жыллар.	Инфрақызыл астрономия. Космослық астрометрия.
1992-1993 жыллар.	«Реликт» (Россия) хәм "COBE" (АҚШ) космослық экспериментлерінде реликтив нурланыудың киши флуктуациялары

	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* — кеңіслік 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 тәрипленеди).

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

3. *Аспан механикасы* пүткіл дүньялық тартылыс күшлери тәсириндеги аспан денелериниң қозғалыс ызымларын 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 қасийетлерин хәм химиялық қурамын изертлейди. Астрофизика әдетте: а) *әмелий астрофизикаға* (бунда астрофизикалық изертлеулердиң әмелий усыллары хәм сәйкес әсбап-үскенелер исленип шығады); б) *теориялық астрофизика* (физика ызымлары 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 кеңісліктеги 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 ызымлылықтарын үйренеди.

Аспан денелері хакқында алынған барлық мағлыұматлар тийкарында астрономияның кейинги еки бөлімді 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 хақындағы қысқаша очерк

Адамлар тәрәпинен үйренілген кеңіслік бизің Қуяшымыз тәрізлі аспан денелери болған оғада көп санлы жұлдызлар менен толған.

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

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

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

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

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

Қуяш бизің Галактикамыздың көп миллиард жұлдызларының бири. Бирақ Қуяш жалғыз жұлдыз емес – ол Бизің 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 бизің Галактикамыздағы жұлдызлар менен басқа да галактикалардағы жұлдызлардың басым көпшилиги бизің 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 жұлдызлар 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 жумысларының нәтийжелери болып табылады. Әлбетте Әлемнің хәр қыйлы бөлимлери хәр қыйлы тереңлікте үйренілген. Мысалы XIX әсирге шекем тийкарынан Қуяш системасы, тек XIX әсирдиң орталарынан баслап Қус жолының құрылысы, ал XX әсирдиң басынан баслап жұлдызлар 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 Бизің Галактикамыз, Қуяш, Жер, Ай үлкен хәриплер менен жазылады.

лигин көреміз. Бул мақсетке жетіу үшін Әлемнің басы бір масштаблардағы моделин дүземіз.

Дәслеп Жерді диаметрі 10 см болған шар деп қабыл етеміз (демек масштаб 1:127 млн.). Бундай жағдайда Жердің экваторлық хәм поляр радиустары арасындағы айырма (бул айырма 22 км ге тең) 0.17 мм ге тең болады. Жер атмосферасы әдеуір қалың. Бірақ егер ондағы барлық хауа теңіз беті қадіндегидей тығызлыққа ийе болуы үшін оның қалыңдығы 8 км болуы керек. Хақыйқатында 8 км ден бийиктегі хауа дем алыу үшін жарамсыз. Соның үшін сол 8 км деген шаманы биринші жақынласыуда атмосфераның жоқарығы шегарасы деп қабыл етіуге болады. Бизің моделимізде қалыңдығын 8 км болған қатлам қалыңдығы 0.06 мм болған пленкаға сәйкес келеді. Шама менен 100 км бийикликте молекулалардың концентрациясы 10^{13} молекула/см³, усы бийикликке шекем Жер атмосферасындағы хәр қыйлы газлердің араласыуы орын алады. Сонлықтан 100 км бийикликтен төменгі бийикликлерде хауаның химиялық қурамы шама менен бирдей. Ал жоқары бийикликлерде болса молекулалардың салмағы бойынша айрылыуы орын алады (бул шегара гомопауза деп аталады). Метеорлар тап сондай бийикликлерде жана баслайды. Биз қарап атырған моделде бул қатламның қалыңдығы 0.8 мм ге сәйкес келеді. 300 км ден баслап Жердің жасалма жолдасларының орбиталары жайласқан область басланады. Бизің моделимізде орбитасының Жер бетинен бийиклигі 350 км болған космос кораблдеринің (мысалы "Мир" станциясы) орбиталарының бийиклигі 2.7 мм ғана болады. Ал геостационар жолдаслардың орбиталарының бийиклигі (40 мың км) - 31 см.

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

Қуяш системасы хаққында көз-қарасқа ийе болуы 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 мағлыұматлардан пайдаланамыз. Бундай масштабларда Қуяш диаметрі 1 см болған шарикке айланады, бул шариктің этирапында радиусы 1 м ге тең шеңбер бойынша диаметрі 0.1 мм болған Жер айланады. Ай болса диаметрі 0.03 мм болған шаң түйіршесиндей болып Жерден 2.6 мм қашықтықта 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 қашықтықларда айланады. Қуяш системасының сыртқы бөлими босырақ болады: Диаметрі 0.9 мм болған Юпитер, диаметрі 0.8 ммлик Сатурн, диаметрлері 0.3 мм болған Уран хәм Нептун және диаметрі 0.015 мм болған Плутон Қуяштан сәйкес 5.2, 9.5, 19.2, 30.1 хәм 39.5 м ге тең қашықтықларда айланады. Басқа сөз бенен айтқанда бундай масштабларда планеталық система футбол майданшасындай үлкенликке ийе болады.

Қуяш системасында астероидлар менен кометалар да болады. Бірақ олар биз қабыл еткен масштабларда елестирерликтей болмайды. Мысалы ең үлкен астероид (Церера, диаметрі 1000 км) өлшемі 0.007 мм болған түйір болып көринеді (бундай денени адам көзі әдетте аңғармайды). Ал диаметрі 200 км ден үлкен болған астероидлар саны отызлаған ғана. Усындай масштабларда атомның диаметріне (10^{-8} см) өлшемлері 15 м болған астероидлар сәйкес келеді. Ең жақтылы кометалардың өлшемлері (қуырықлар менен қоса есаплаганда қысқа уақытлар ишинде (Қуяшқа жақындаған уақыт моментлеринде) планеталар арасындағы қашықтықлар менен барабар болады. Бірақ ең үлкен кометалардың ядроларының өлшемлері бир неше онлаған километрден үлкен болмағандықтан хәм олардың массаларының планеталар массаларына қарағанда оғада киши болғандығынан оларды есапқа алмауға 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 кеңіслік статикалық (қозғалыстар көзге түспейтуғын) кеңіслік болып шығады.

Жерден Қуяш 30' лық мүйешлік өлшемде көрінетуғын болғанлықтан Қуяштан Жерге салыстырғанда 30 еседей қашықтықта жайласқан Нептунда диаметрі 1' болған диск бо- лып көрінеді (құралланбаған көзге нәқатлық жақтыртқыш болып көрінеді). Усыған сәйкес Нептунның бетинің майдан бирлигине келип түсетуғын Қуяш нуры (жақты- ланғанлығы, освещенность) Жердегіге карағанда 900 есе кем болады. Сонлықтан салқын- лық (төмен температуралар) пенен бир катарда Қуяш системасының шетлери қараңғы- лыққа шүмген. Бул жағдай Қуяш системасының шетлеріндегі (Плутоннан да сырттағы) планеталарды ізлеуді әдеуір қыйынластырады.

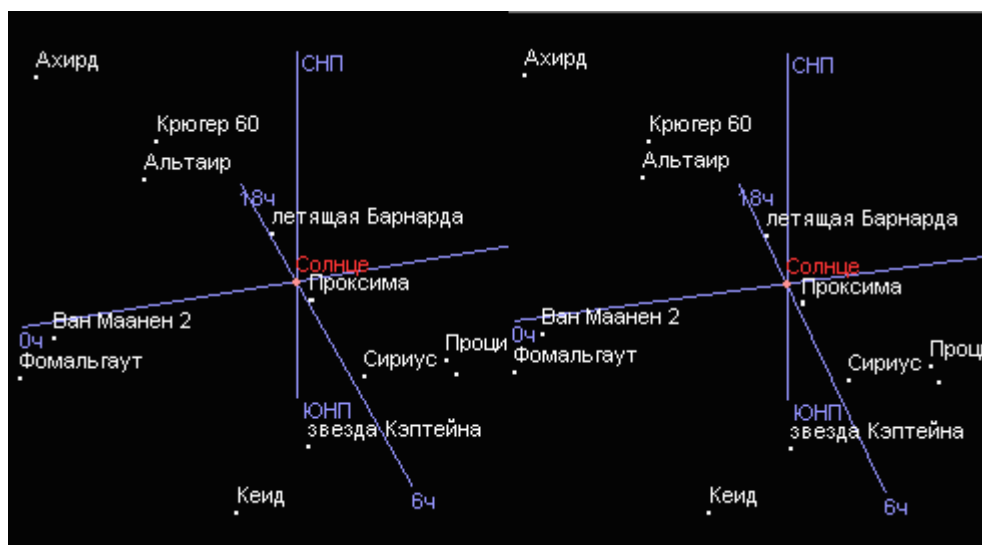
Биз қабыл еткен Қуяш моделинен шама менен 100 м қашықтықта (100 а.б.) гелиопауза деп аталатуғын шегара жайласқан (бундай шегарада Қуяш самалының тәсіри жұлдызлар самалының тәсіринен киши болып қалады). Бул жұлдызлар аралық кеңісліктің басла- ныуы болып табылады. Буннан кейін шама менен 100 км ге шекемгі аралықта (100 тыс. а.б.!) гипотезалық Оорт беллигі жайласады. Бул белликті Қуяш системасы ушын комета- лардың ямаса кометалық материалларды жеткізип бериуши деп есаплайды. Ал буннан да үлкен қашықтықтарда жұлдызлар жайласқан. Олардың ишіндегі ең жақыны - Центав- рдың α сы ямаса Толиман бизің моделимізе диаметрлери 1 см болған шариклер болып табылады хәм сондай болған шариктен (Қуяштан) 278 км ($1.35 \text{ пк} = 278 \text{ мың а.б.}$) қашық- лықта жайласады. Бул системаның үшінші құраушысы Центаврдың Проксимасы диа- менти 1 мм болған құм дәнешесіндей түрге ийе болып Қуяшқа 11 км жақын жайласады.

Бул мысалдан жұлдызлардың Жерден қандай мүйешлік өлшемлер менен хәм олардың бир бири менен соқлығысыуының итималлығының қаншама киши екенлигі көринип тур. Қала берсе, бундай масштаблардағы Қуяштың этираптағы жұлдызларға салы- стырғандағы тезлигі (20 км/с) 0.5 мм/саат ғана болады. Бундай тезлік пенен ол бир жыл- да тек 4.2 м ге орнын алмастырады. Жұлдызлар аралық қашықтықтарға салыстырғанда бул жүдә киши аралық. Бирақ Жердегі саналы тиришиликтің жасы менен салыстырғанда бул жүдә киши қашықтық емес. Мысалы 1 пк аралықты Қуяш бары-жоғы 49 мың жылда өтеді.

Жұлдызлар болса бир биринен өлшемлери бойынша күшли ажыралып турады. Бизің моделимізде Сириус 2.4 см диаметрге, ал оның жолдасы (ақ иргежейли) 0.3 мм лик диа- метрге ийе. Әдеттегі нейтронлық жұлдыздың диаметрі 30 км, бизің масштабларымызда диаметрі 0.2 мкм болған түйіршекке айналады. Бул шама жақтылық толқынының узын- лығынан да киши. Бирақ екінші тәрептен қызыл гигант Арктурдың диаметрі 26 см ге, ал қызыл аса гигант Бетельгейзе диаметрі 9 м болған сфераға айналады. Бирақ бул да шек емес. Айырым жұлдызлар ушын құрылған моделдің диаметрі 27 мге жетеді (Уран орби- тасының өлшеминен азмаз кем)!

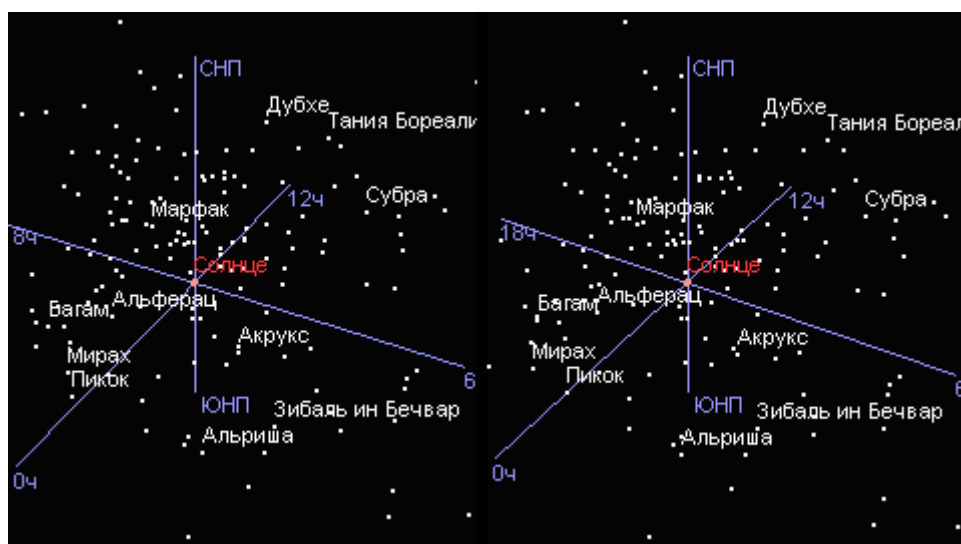
Галактиканы көз алдымызға келтириу ушын 1 см де 1 пк масштабты қабыл етемиз ($1 : 3.1 \cdot 10^{18}$). Бундай жағдайда Қуяштың дөгерегіндегі жұлдызлар арасындағы орташа қа- шықтық 1.5 см ди құрайды, ал жұлдызлардың өзлеринің өлшемлери болса протонның өлшемлеринен де киши болып қалады.

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



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

Жұлдызлардың ең жақын жыйнағы (Гиадлар) Қуяштан 40 см қашықтықта жайласады. Оның өзінің меншікли өлшемі 13 см ди курайды. Тап сол сыяқлы Плеядалардағы жұлдызлар жыйнағына шекемги қашықтық 1.3 м (оның диаметрі 6.8 см), χ хәм h Per қос жыйнағы 20 м ге жайластырыуға туұры 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 2х3 мм өлшемге ийе хәм 7 м қашықтықта жайласады (тап сол сыяқлы 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 туұра 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 тәризлі тармақ болады: бириншиси Галактиканың орайына жақыны (Атқыш жеңі), ортаншысының шетінде Қуяш системасы жайласады (Орион жеңі), үшіншиси сыртқысы Қуяштан ~40 м қашықтықта жайласады (Персей жеңі). Усылардың барлығы да радиусы 250 м ден кем болмаған сфералық жұлдызлық галоның ишинде жайласады. Ал усы галодан 500-600 м болған қашықтықта сийрек таж (корона) жайласады.

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

Қоңысы галактикалар топарларының ең жақыны Жергиликли топардан 2-5 м қашықтықта жайласады. Ал буннан 10-20 м шеклерінде 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 бизің Галактикамыздан 20 м ге қашықласқан. Бул жыйнақ аса жыйнақ орайы деп болжанады. Бул аса жыйнақ шама менен 20000 галактикаларды өз ишине камтыйды хәм бизің масштабымызда 60 м ге тең диаметрге ийе болады.

Бизің аса жыйнағымыз бенен бир катарда басқа да аса жыйнақтар жайласады: Арысланда (140 м қашықтықта) хәм Геркулесте (190 м). Ең жақын квазарды (3C273, ол да Девада) 630 м қашықтыққа, ал ең алыс квазарларды 3.7 км қашықтыққа қойыуға туура келеди.

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

Пүткіл дүньялық тартылыс нызамы астрономияның ең бас нызамы сыпатында

Бул нызам И.Ньютон тәрәпинен 1687-жылы тәжирийбелерде алынған нәтийжелерди улыўмаластырыу жолы менен ашылған. Бул нызам бойынша массалары m_1 хәм m_2 болған кәлеген еки нокатлық дене бир бири менен

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

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

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

Нызам массасы сфералық симметрияға ийе болып тарқалған денелер ушын дурыс. Бундай жағдайда r сондай денелердің орайлары арасындағы қашықтық болып табылады. Сфералық емес денелер ушын нызам жууық түрде орынланады. Соның менен бирге дене-

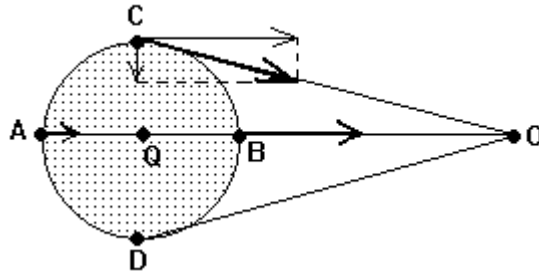
лер арасындағы қашықтық олардың өлшемлерінен қанша үлкен болса нызам да соншама үлкен дәллікте дурыс орынланады.

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 сызықлы өлшемининг кубына туўры пропорционал. Демек, егер тығызлықларын өзгертпей денелердин өлшемин де, олар арасындағы қашықтықларды да (мысалы) 10 есе арттырсақ, онда денелердин 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 тураклысының мәнисининг жүдә киши болғанлығынан Жердин бетинде жайласқан айырым денелер арасындағы тартылыс Жердин 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 етлердин күши олардың кесекесимине (яғный сызықлы өлшемниң 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 мәниссизликке алып келеди. Насекомалардың (барлық киши хайўанлардың) денелерининг курылысы 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) өмирининг көп бөлимин суўда өткерген болса керек.

Тири дүньядағы ушыўшылық қәбилетлик те денениң массасы менен шекленген. Булшық етлердин күши менен бирге қанаттың майданы да сызықлы 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 әйjemги гигант кесирткелердин узақ аралықларға ушқанлығы хаққындағы мағлыўматлардың дурыслығы гүмән пайда етеди. Олардың қанатлары тек бир теректен екинши терекке секиргенде жәрдем берген болса керек.



1-сүрөт. Тасыў күшлери.

Енди астрономияға қайтып келемиз.

Егер О денесиниң салмақ күшиниң орайы Q нокатында жайласқан өлшемлерге ийе денеге тәсирин көретуғын болсақ (1-сүрөт) денениң ҳәр қыйлы бөлимлерине ҳәр қыйлы күшлердиң тәсир ететуғынлығын көриўге болады. Ең жақын жайласқан В нокаты алыста жайласқан А нокатына салыстырғанда қашықлықлардың ҳәр қыйлы болғанлығынан үлкен нирек күш тәсир етеди. Сонлықтан сол еки денениң орайларын тутастырыўшы QO сызығы бойынша О денеси АВ кесиндисин керийўге тырысады. OQ сызығынан қашықласқан С хәм D нокатларына 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 қысартуғын күшлер тәсир етеди екен. Бул керийў 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. Әпиўайылық 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 ҳәр бир элементар 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 түсий тезлениўи, $g_l(r)$ арқалы Айға қарай бағытланған радиус бағытындағы еркин түсий тезлениўи, M_l арқалы Айдың массасы, b арқалы Ай орбитасының үлкен ярым көшери а менен r радиус-векторы арасындағы айырмаға тең Айға шекемги аралық. Еркин түсий

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: $g_n(r) = g_d(r) = GM/r^2$, 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:

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

Егер усы аңлатпаға Жердің радиусын, Айдың массасы менен орбитасының үлкен ярым көшеринің мәнислерин қойсақ $R_d - R_n \sim 7.3$ м шамасы алынады. Бул шама хақыйкый тасыу толқынының шамасынан әдеуір үлкен. Бирақ хақыйқатында Жердің өз көшери дөгерегинде айланыуының себебинен оның қатты қабығы өзинің формасын өзгертип үлгере алмайды хәм сонлықтан тасыу толқынын тийкарынан хауа хәм суу қатламы пайда етеди деп болжау керек³.

Планета ушын тасыу күшлери усы планетаға басқа ири аспан денесинің (мысалы усы планетаның жолдасының) ең жақын келиу аралығын анықлайды. Бул кубылыс Шумейкерлер-Леви кометасының Юпитерге қулап түсиуінде жүдә эффектив түрде көринди. Усы қулап түсиуде кометаның ядросы оғада көп санлы бөлеклерге бөлинди. Тасыу 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

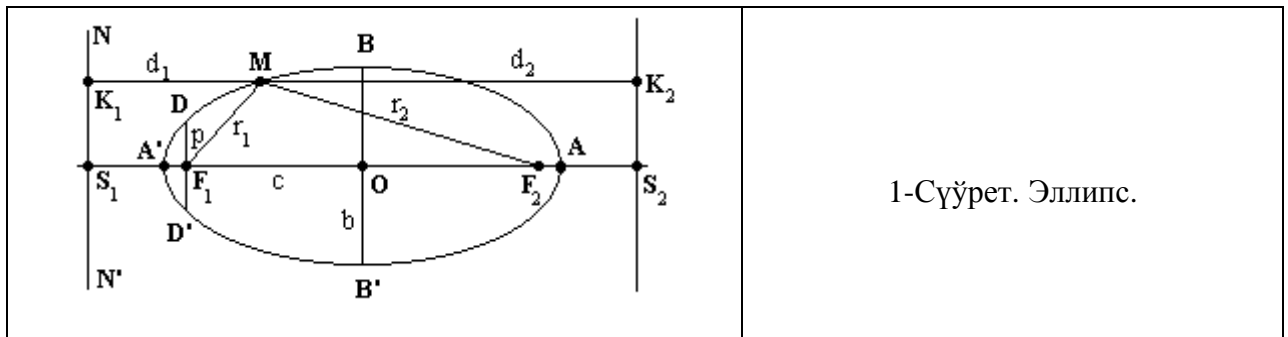
Конуслық кесимлер

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

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

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

лықтардың катнасы эксцентритет e ге тең турақлы шама болады. Егер $e < 1$ болса эллипс, $e = 1$ де парабола, $e > 1$ де гипербола алынады.



1-Сүўрет. Эллипс.

Эллипс 1-сүўретте көрсетилген. А, А', В, В' нокатлары эллипстин 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 эллипстин көшерлери белгиленген (үлкен көшердің бойында жатқан, эллипстин 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 нокаттан (F_1 хәм F_2 нокатлары) қашықтықларының қосындысы турақлы шама болып қалатуғын нокатлардың 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 эллипстин қәлеген ықтыярлы М нокатынан директрисаларға шекемги қашықтықты $|MK_1| = d_1$ хәм $|MK_2| = d_2$ деп белгилесек, онда эллипстин қәлеген М нокаты ушын $r_1/d_1 = r_2/d_2 = e$ қатнасы орынланады.

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

$$c = 0,$$

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

$$e = 0$$

Шеңбер ушын директрисалар анықланбаған.

Директрисалар хақыйқый көшерге перпендикуляр хәм орайдан $d = a/e$ қашықтығында жайласқан туұрылар болып табылады. Гиперболаның қалеген M ноқаты ушын $r_1/d_1 = r_2/d_2 = e$ қатнасы орынланады ($d_1 = |MK_1|$ хәм $d_2 = |MK_2|$).

Кеплер ыызамлары

Планеталардың қуяштың дөрегегинде қозғалыуының үш ыызамы XVII әсирдің ба-сында немис астрономы И.Кеплер тәрeпинен эмпирикалық (тәжірийбелердің нәтийжелерін улыұмаластырыу) жолы менен ашылды хәм сонлықтан олар Кеплер ыызамлары деп аталады. Бул ыызамлар И.Ньютон тәрeпинен пүткил дүньялық тартылыс ыызамын ашыуда анықлаушы орынды ийеледи хәм улыұмаласқан хәм дәллігi арттырылған түрде аспан механикасына кирди. Усындай формада Кеплер ыызамлары гравитациялық жақтан байланысқан еки дененің орбитасын тәріплейди (еки дене мәселеси). Сол еки денеге басқа денелердің тәсири тиймейди деп есапланады.

Кеплер ыызамларының мазмуны төмендегилерден ибарат:

1-ыызам. Қозғалыушы дененің орбитасы екінші тәртіпті иймеклік болып табылады (эллипс, парабола ямаса гипербола), фокусларының бирінде тартыу күшінің орайы жайласады (ямаса системаның масса орайы).

2-ыызам (теңдей майданлар ыызамы). Басқа денелердің (үшінші, төртінші х.б.) тәсири болмаған жағдайларда қозғалыушы дененің радиус-векторы басып өтетугын майданның шамасы уақытқа пропорционал болады (бирдей уақыт аралықтарында бирдей майданды басып өтеди).

3-ыызам. Бул ыызам тек эллипс тәрізлі орбиталар ушын қолланылады хәм улыұмаластырылған түрде былай айтылады: Қуяштың дөрегегинде айланыушы еки планетаның айланыу дәуірлері T_1 хәм T_2 лардың квадратларының сол планеталардың массалары (сәйкес M_1 хәм M_2) менен Қуяштың массасына (M_S) қосындысына көбеймелерінің қатнастары үлкен ярым көшерлердің 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 ыызамда массалары M_1 хәм M_2 болған денелер арасындағы тәсірлесіу есапқа алынбайды. Егер сол денелердің массаларын Қуяштың массасына салыстырғанда жүдекиши деп есапласақ ($M_1 \ll M_S$, $M_2 \ll M_S$), И.Кеплердің өзі тәрeпинен келтирилип шығарылған 3-ыызамның 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 ғәрезлилік сыпатында көрсетіуге болады (G гравитация тұрақтысы):

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

Бирақ бір ескертіуді келтіріп өтіу керек. Әпиұайылық үшін бір денені екінші дене этирапында айланады деп есаплайды. Бул жағдай бір дененің массасын екінші дененің массасы (тартыушы орай) қасында есапқа алмауға болатуғын болғанда ғана дурыс. Егер массалардың шамалары бір бирине жақын болса массасы киши болған дененің массасы үлкен болған денеге тәсирин есапқа алыу керек. Басы еки дененің массаларының орайында жайласқан координата системасында еки дененің 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 туұрының бойынша жайласады, ал массалары M_1 хәм M_2 болған денелердің орайлары r_1 хәм r_2 ге шекемги қашықтықлар төмендегидей қатнастар менен байланысқан:

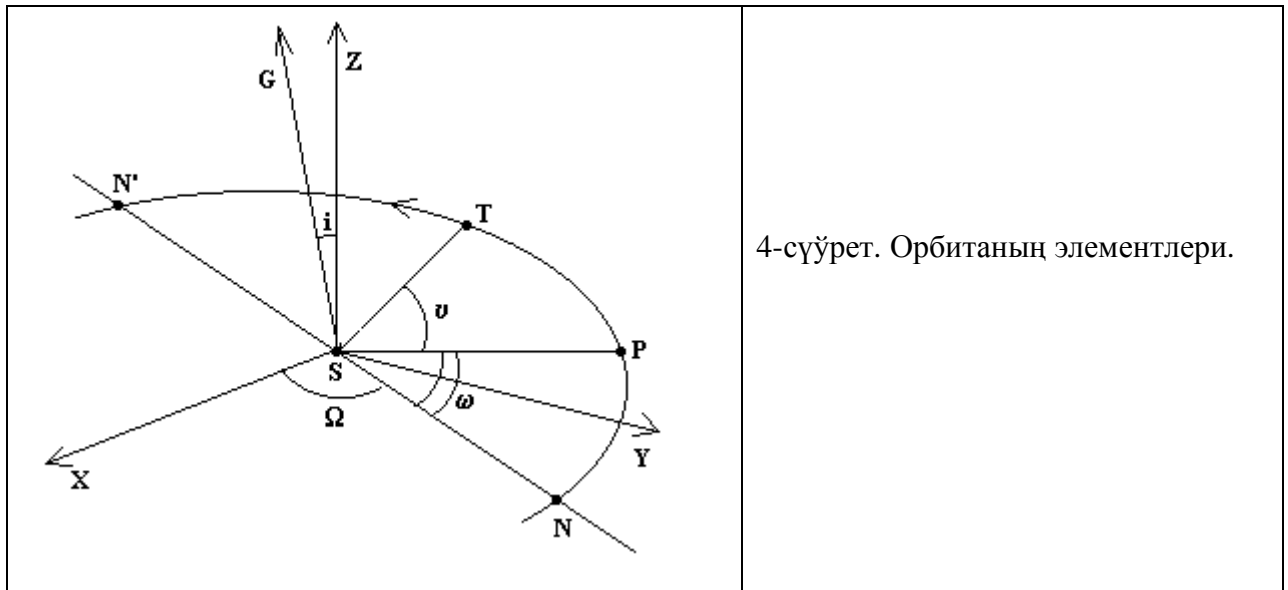
$$r_1 / r_2 = M_2 / M_1$$

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

Орбиталар элементлери

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

Дененің 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 туұры (эллипстин үлкен көшери, параболаның көшери ямаса гиперболаның хақыйқый көшери) апсид сызығы деп аталады.



4-сүўрет. Орбитаның элементлери.

Орбитаның кеңістіктегі ориентациясын тәріптеу үшін басы орбита фокусы S пенен бір нокатта жайласқан базалық координаталар системасын қабыл етиў керек. Базалық координаталар системасы $XS\bar{Y}$ базалық тегіслік пенен тәріпленеди (4-сүўрет). Жердиң жасалма жолдасларының қозғалысларын үйренгендегі базалық тегіслік ретінде әдетте Жер экваторы тегіслігін қабыл етеди, ал планеталардың Қуяш дөгерегінде айланысларын изертлегенде эклиптика тегіслігі, ал жұлдызлар астрономиясында галактикалар тегіслігі қабыл етиледі. SX көшери басланғыш бағыт болып табылады. Қуяш системасындағы орбиталар үшін бул бағыт ретінде әдетте бәхәрғи күн теңлесіў нокатына карай бағытланған бағыт қабыл етиледі.

NPN' орбита тегіслігінің (P орбитаның периорайы) базалық тегіслік $XS\bar{Y}$ пенен кесилисіў туўрысы NSN' түйинлер сызығы деп аталады. Дене $z < 0$ областынан $z > 0$ областына өтетуғын бағын түйинлер сызығындағы оң бағытты көрсетеди. Егер орбитаның полюсы G дан бақлаў жүргизилгенде T аспан денеси саат стрелкасының бағытына қарама-қарсы бағытта қозғалатуғын болса, онда N нокаты орбитаның шығыў түйини (восходящий узел), ал N' нокаты орбитаның батыў түйини (нисходящий узел) деп аталады. Базалық тегісліктің дәслеппи бағыты SX пенен түйинлер сызығы SN ниң оң бағыты арасындағы мүйеш Ω шығыўшы түйиннің узынлығы (долгота восходящего узла) деп аталады хәм SX көшеринен $S\bar{Y}$ көшери тәрепке 0° тан 360° қа шекем өлшенеди.

Орбита тегіслігі менен базалық тегіслік арасындағы мүйеш i орбитаның еңкейіуи (наклонение орбиты) деп аталады хәм 0° ден 180° қа шекемги мәніслерди 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

шекемгі мәніслерді қабыл етеді. Бір қанша жағдайларда ω мүйешинің орнына перицентрдің ұзындығы (долгота перицентра) деп аталатуғын π мүйешін қолланады. Бул мүйеш базалық тегисликте SX көшеринен баслап SN түйінлер сызығына шекем, буннан кейін орбита тегислигинде SP апсидлер сызығына шекем өзгереді. Сонлықтан $\pi = \Omega + \omega$.

Орбитаның өлшеми менен оның формасы е эксцентритети хәм фокаллық параметр p жәрдемінде анықланады. Парабола үшін p ның орнына бір қанша жағдайларда $q=p/2$ перигелийлік қашықтық қолланылады (периорайдан орбита фокусна шекемгі аралық). Орбитаның эксцентритетін гейде эксцентритет мүйеши $e = \sin(\varphi)$ формуласы жәрдемінде анықланатуғын φ менен алмастырады.

Т аспан денесинің базы бір ұақыт моменти t дағы аұхалы дененің радиус-векторы ST менен апсидлер сызығы арасындағы мүйеш ν жәрдемінде анықланады. Бул ν мүйеши t дәуіріндегі хақыйқый аномалия деп аталады. Көпшилик жағдайларда элемент сыпатында дененің орбита периорайы P арқалы өтиұ ұақытының моменти τ қолланылады.

Жоқарыда келтирилген p , e , i , Ω , ω хәм τ элементлери орбитаның Кеплер элементлери деп аталады хәм орбитаны оның типинен (эллиптикалық, параболалық ямаса гиперболалық) ғәрезсиз толық анықлайды.

Улыұма жағдайда возмущениесиз қозғалыс энергияның сақланыұ 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 қозғалыұшы дененің кинетикалық энергиясы, $E_p = - G \cdot M \cdot m / r$ массасы m болған, M массалы денеден r қашықтығында турған дененің потенциал энергиясы.

Энергияның сақланыұ нызамын былайынша жазыұға болады:

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

Константа h энергия турақлысы деп аталады хәм дәслепки радиус-вектор r_0 менен дәслепки тезлик V_0 ден ғәрезли. Егер $h < 0$ болса ($V_0^2 < 2 \cdot GM / r_0$) дененің кинетикалық энергиясы гравитациялық байланысты басып өтиұге жетпейди (дененің радиус-векторы жоқарыдан шекленген) хәм усыған сәйкес туйық, эллипс тәризли орбита бойынша айланыс орын алады. Бундай қозғалысты маятниктің қозғалысы менен салыстырып көриұ мүмкин – бул жағдайда көтерилиұ барысында кинетикалық энергияның потенциал энергияға айланыұ, ал түсиұ барысында кери өтиұ 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 өтиұге жеткиликли хәм тартыұшы денеден шексиз үлкен қашықтықта дененің қашықласыұ 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 Кеплердің екінши ызамаына толық сәйкес келеди.

Шеңбер тәризли орбита бойынша қозғалыс

Шеңбер эллипстин дара жағдайы ($e = 0$) болса да шеңбер тәризли орбита бойынша қозғалысты тәриплеў барлығынан да әпиўайырақ. Бул жағдайда путкил дүньялық тартылыс ызамаы 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 тезликтің 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 шеңбердің 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 Жердің массасы менен радиусын қоятуғын болсақ, онда $V_1 = 7.905$ км/с хәм $T = 84.49$ минут екенлигине ийе боламыз. Бирақ, мысалы, «Мир» станциясының орбитасы ушын Жердің радиусынан 400 км үлкен қашықлықты аламыз. Сонлықтан «Мир» станциясы ушын $V_1 = 7.688$ км/с хәм $T = 92.57$ минут.

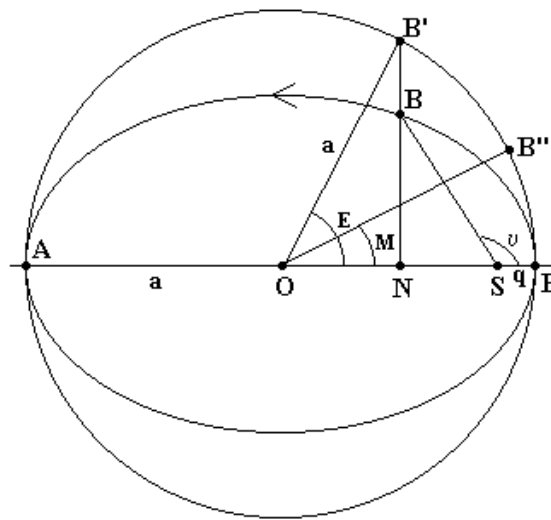
Геостационар жолдас ушын ($T = 24$ саат) $r = 42240.6$ км хәм $V_1 = 3.07$ км/с. Ай ушын ($r = 380000$ км) $V = 1.024$ км/с хәм $T \sim 27$ сутка. Бул шама ҳақыйқый орташа шамаға жақын (Айдың орбитасының шеңбер тәризли емес екенлигин умытпаўымыз керек).

Эллипс тәризли орбита бойынша қозғалыс

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

$|OA|$ - үлкен ярым көшер. Ықтыярлы B нокаты ушын t ўақыт моментинде SB радиус-векторы менен периорайға бағыт SP арасындағы мүйеш ҳақыйқый аномалия v деп аталады.

Енди радиусы a болған орайы эллипстың орайы O нокатында жайласқан шеңбер жүргиземиз ҳәм B нокатынан AP апсид сызығына BN перпендикулярын жүргиземиз. Бул перпендикулярдың даўамы шеңберди B' нокатында кеседи. Эллипстин O орайындағы OB' туярысы менен апсид сызығы арасындағы мүйеш E **эксорайлық аномалия мүйеши** деп аталады. Ҳақыйқый аномалия сыяқлы E 0° ден 360° қа шекем қозғалыс бағытында өзгередиди.



5-сүүрет. Эллипс тәризли орбитаның параметрлери.

Егер T арқалы B нокатының эллипс тәризли орбита бойынша толық айланыў ўақытын белгилесек (айланыў дәўири), онда былайынша жаза аламыз: $360^\circ = nT$ ямаса $n=360^\circ/T$. Бул жерде n арқалы қозғалыўшы нокаттың орташа мүйешлик тезлиги белгиленген. Оны **орташа қозғалыс** деп атаймыз. Енди a радиусына ийе шеңбер бойынша қозғалыўшы базы бир (ҳақыйқый емес) B'' нокатын көз алдымызға елеслетейик. Бул нокат n мүйешлик тезлиги менен қозғалсын ҳәм P (перииорай) арқалы эллипс тәризли орбита бойынша қозғалуғын B нокаты менен бир ўақытта өтетуғын болсын. Бул ҳақыйқый емес нокаттың OB'' радиус-векторы ҳәм периорай OP бағыты арасындағы мүйеш M **орташа аномалия** деп аталады ҳәм B нокатының қозғалыс бағытында 0° тандо 360° қа шекем өзгередиди. Әлбетте, ықтыярлы t ўақыт моменти ушын орташа аномалияны орташа қозғалыс n ҳәм периорайдың өтиў ўақыты τ менен аңлатыў мүмкин: $M = n \cdot (t - \tau)$. Егер $t = \tau$ болса (перииорайдың өтиў ўақыты) $v = E = M = 0^\circ$, ал $t = \tau + T/2$ де (апоорайдың өтиў ўақыты) $v = E = M = 180^\circ$.

Жокарыда еслетилип өтилгениндей, эллипс тәризли орбита бойынша козғалыс $V_0^2 < 2*GM/r_0$ шәрти орынланғанда жүзеге келеди. Эллипс тәризли 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. Қозғалыўшы 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 тәризли орбита бойынша дәўирдің формуласы (6)-формулаға сәйкес, тек орбитаның радиусының мәнисиниң орнына эллипстинң 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 тезликтинң 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 өзгерген-

де 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 эллипстинң төбелери болып табылады. Қала берсе оның ушларының бири – периорай координата басы менен бетлеседи (яғный тартыўшы орай менен бетлеседи).

Парабола тәризли орбита бойынша қозғалыс

Параболаны эллипстинң 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 v ден ғәрезлилиги сыпатында көрсетиў мүмкин:

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

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

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

Параболалық қозғалыста ҳақыйқый аномалия -90° тан $+90^\circ$ қа шекем өзгереді. Егер $t = \tau$ (периорайдың өтиўи) $v = 0$ хәм радиус-вектор өзиниң минималлық мәнисине жетеди $r_{\min} =$

$q = 2 * p$, ал тезлик болса максималлық мәнісіне ийе болады $V_{\max}^2 = G * M / q$. Егер r шексіздікке шекем өссе тезлик нолге шекем кемейеди.

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

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

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

Гиперболалық орбита бойынша қозғалыс

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

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

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

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

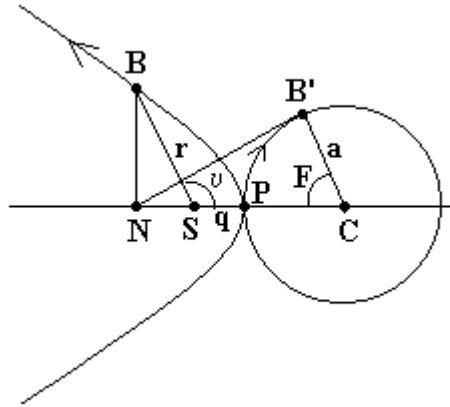
Эллипслик орбитаның хәр қыйлы параметрлери арасындағы байланыс төмендеги қатнастар менен бериледи:

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

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

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

$t = \tau$ да (периорайдың өтиўи) $\nu = 0$ хәм радиус-вектор өзиниң максималлық мәнісіне жетеди $r_{\min} = q = a * (e - 1)$, ал тезлик болса минималлығына $V_{\max}^2 = G * M / a * (e + 1) / (e - 1)$. Егер r шексіздікке шекем өссе ҳақыйқый аномалия өзиниң шеклик мәнісіне шекем өседи $\nu_{\max} = \arccos(-1/e)$, F параметри максималлық мәнісіне жетеди $F_{\max} = 90^\circ$, ал тезлик болса $V_{\min}^2 = G * M / a$ минималлық мәнісіне жетеди.



6-сүрөт. Гиперболаалык орбитаның параметрлери

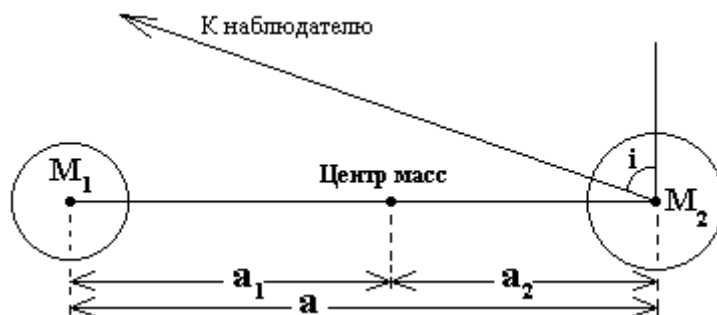
Гиперболаның эксцентритети e ниң басланған радиус-вектор, тезлик хэм олар арасындағы мүйештен ғарезилиги (14)-формулада көринип тур. Егер δ_0 мүйеши 0° ден 90° қа шекем өссе e 1 ден $e_{\max} = (r_0 \cdot V_0^2 - G \cdot M) / G \cdot M$ ға шекем өседі, ал δ_0 90° ден 180° қа шекем өссе e және де e_{\max}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

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

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

Кеплер ызамалары хэм аспан денелериниң массаларын анықлаў

Астрономиялық объектлердиң массаларын анықлаўдың ең исенимли усуллары Кеплердиң үшінши ызамаына тийкарланған



7-сүрөт

7-сүўретте массалары M_1 хэм M_2 болған хэм олардың улыўмалық массалар орайы дөгерегинде айланатуғын еки сфералық дене көрсетилген. Объектлер арасындағы қашықтық a ға тең, ал соған сәйкес массалар орайына шекемги қашықтықлар 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 жәрдеминде 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 қашықтық Жердиң 60.08 радиусына тең. Сонлықтан Жердиң массасының Айдың массасына қатнасы 81.3 ге тең. Жердиң өзиниң массасы басқа усыллар менен анықланады (бул хаққында 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-сүўрет). 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 хэм M_1 де-

несинің спектр сызықтарының дәуірлі түрдегі Допплер аўысыўы бойынша анықланатуғын v_1 [ямаса $a_1 \cdot \sin(i)$] нур тезлигинің дәуиринен ғәрезли. f шамасы қос системаның массаларының функциясы деп аталады. Егер қос системаның массаларының тек бир функциясы табылатуғын болса хәм басқа қосымша мағлыұматлар болмаса (27)-аңлатпа бойынша айырым массалар 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

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

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 бетинің жақтылығының иймеклиги бойынша $\sin(i)$ тиң мәнисине геометриялық шек қойыўға болады. Егер $\sin(i)=1$ деп болжанса, онда M_1 денеси ушын массаның төменги шегі алынады.

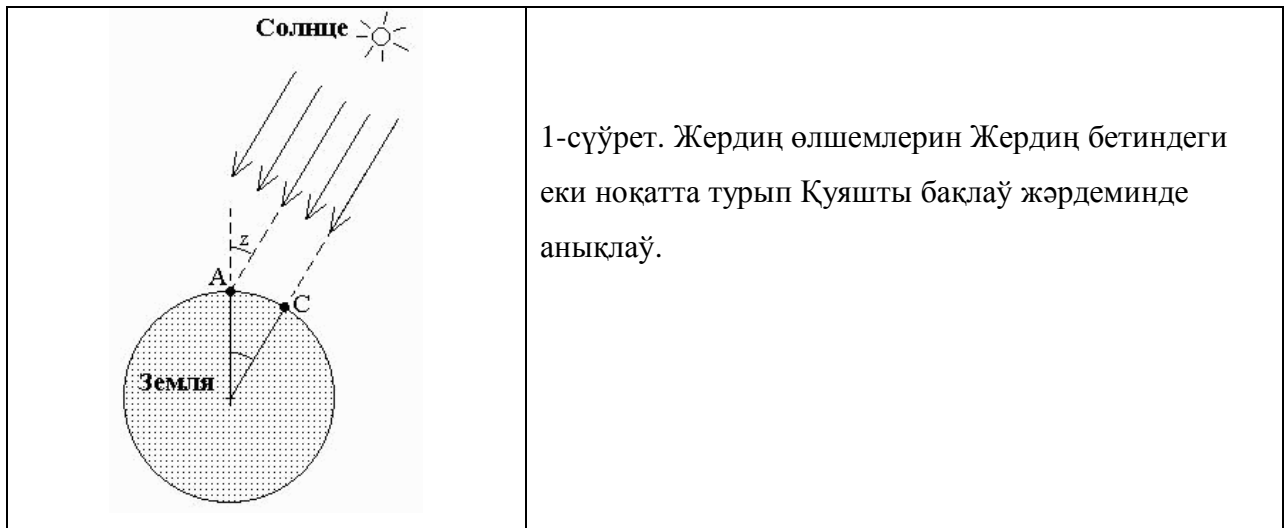
Мысал ретинде рентген дереги Акқуў Х-1 диң массасын анықлаўды келтирип өтиў мүмкин (Акқуў Х-1 қара құрдым болса керек деп есапланады). Оның оптикалық қураўшысы HDE 226868 жұлдызы деп есапланады. Оптикалық бақлаўлардан орбиталық дәуір хәм нурлық тезликлер анықланды. Ал бул шамалар бойынша тек рентген 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 мағлыұматлардың барлығы рентген қураўшысы ушын массаны берди (> 3.3 Қуяш массасы). Бул мағлыұмат 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 $M_g = g \cdot R_0 / G \sim 2.2 \cdot 10^{44}$ г. Тап усындай жоллар менен басқа да галактикалардың массалары есапланады.

Жер

Формасы хәм өлшемлери ҳаққындағы улыўмалық көз-қараслар

Жердиң формасы хәм өлшемлери ҳаққында көз-қарасларға адамлардың бизиң эрамызға шекем-ақ билгенин көпшилик биледи. Мысалы әййемги грек философы Аристотель (б.э.ш. 384 – 322 жыллар) Жерди шар тәризли формаға ийе деп есаплады хәм соның дәли-

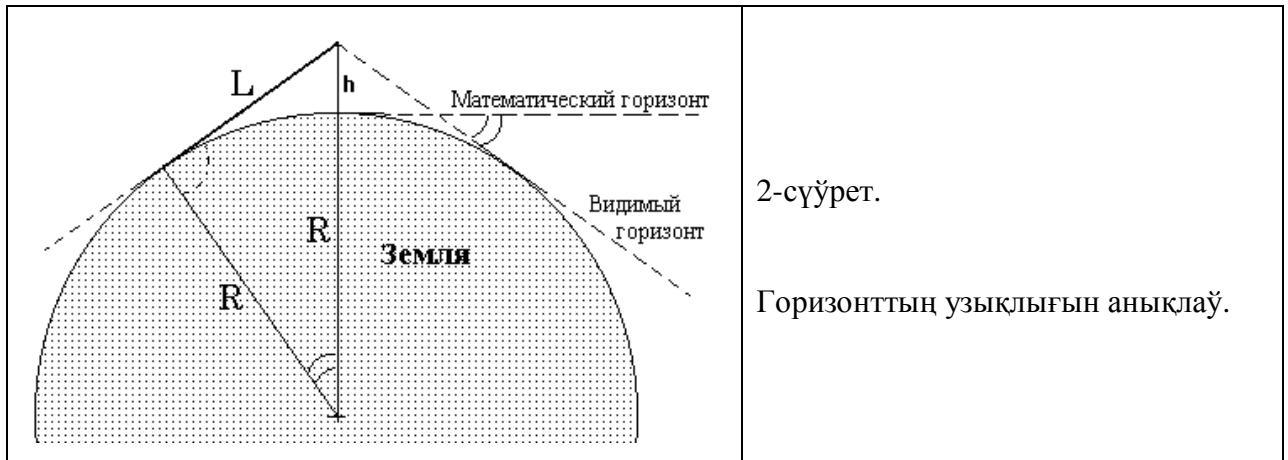
ли ретінде Ай тұтылғанда Жердің саясының шеңбер тәрізлі екенлігін алды.



Жердің өлшемдері болса Аристотельден жүз жылдан кейін әйемгі грек астрономы менен географы Эратосфен (шама менен б.з.ш. 276 – 194 жыллар) тәрәпинен есапланды. Бунның ушын ол Александрия (А) қаласында жаздың күнги Қуяштың тоқтау күнги (хәзирги 22-июнь) z қашықтығын өлшеди (1-сұйрет) хәм бул шама 7 градустай болып шықты. Тап усы күни Египеттің 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 қашықтық 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 қашықтық 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 екенлігін еске түсиремиз хәм ҳақыйқатында 1 стадийдың неше метрге тең екенліги мәлим емеслігін 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 өлшемдерін болжағанда нелик-тен соншама қәтелер жибергенлігін түсиниу оғада кыйын. Себеби Эратосфеннен бир ярым мың жыл жасаса да Америка континентин ол Индияның бир бөлеги деп қабыл етти!



2-сүрөт.

Горизонттың узаклығын аныклай.

Жердиң тек радиусын биле отырып (Жерди шар тәризли деп есаплаймыз) және бир әхмийетли шаманы – горизонттың узаклығын есаплай аламыз. 2-сүрөтте көринип турғанындай радус бақлаў пунктинде Жердиң радиусы R бақлаўшының бийиклиги h пенен бирге туўры мүйешли үш мүйешликтиң гипотенузасы болып табылады. Сонлықтан горизонттың узаклығы L төмендегидей әпиўайы формула жәрдемінде анықланады:

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

Егер $R = 6370$ км ҳәм $h = 1.6$ м мәнислерин қойсақ 4.5 км шамасы алынады. Принципинде керисинше L бойынша R ди де есаплай мүмкин. Бирақ горизонттың узаклығын дәл өлшеў мүмкин емес (мысалы көлдиң ямаса теңиздиң бетинде де). Ай ушын $R = 1737$ км, сонлықтан $h = 1.6$ м болғанда горизонттың узаклығы тек 2.4 км ди ғана қурайды.

Солай етип бизиң планетамыздың формалары менен өлшемлери әййемнен бери белгили. Ал енди оның бетинде турып өз көшери дөгерегинде айланатуғынлығын дәлиллейге болма ма? Деген сораў туўылады. Бул сораўға «әлбетте мүмкин» деп жуўап бериў керек (хәтте бир неше усыллар жәрдемінде).

Жердиң айланыўы

1672-жылы француз Рише маятникли саатлардың экваторда Париждегиге қарағанда әстерек жүретуғынлығын тосыннан сезип қалды. Бул фактке түсиники Англиялы физик, математик ҳәм астроном Исаак Ньютон (1643 - 1727) тапты. Жердиң айланыўы орайдан қашыўшы күштиң пайда болыўына алып келеди. Бул күштиң бағыты айланыў көшерине перпендикуляр. Сонлықтан орташа кеңдиклерде орайдан қашыўшы күшлер шамасы бойынша экваторға қарағанда киширек. Соның менен бирге орташа кеңдиклерде орайдан қашыўшы күшлер горизонтқа базы бир мүйеш жасап бағытланған. Экваторда орайдан қашыўшы күштиң шамасы ең үлкен мәниске ийе. Бул салмақ күшиниң киширейиўине (g

ның киширейиўине) хәм соның салдарынан маятниктиң тербелиў дәўириниң үлкейиўине алып келеди [себеби $T = 2\pi(l/g)^{1/2}$].

1851-жылы француз физиги Жан Фуко (1819 - 1868) тәжирийбеде маятниктиң тербелиў тегислигиниң ўақытқа байланыссы бурылатуғынлығын көрсетти. Бул кубылыс та Жердиң өз көшери дөгерегинде суткалық айланыўы менен түсиндириледі. Кейинирек бул тәжирийбе басқа қалаларда да қайталанды (соның ишинде Санкт Петербургтағы Исаакиев соборында). Әлбетте маятниктиң тербеліс тегислигиниң бурылыў эффекти тәжирийбе өткерілген кеңліктен ғәрезли: эффект полюстарда жақсы көринеди, ал экваторда пүткиллей бақланбайды. Сол Жан Фуко гироскоп ойлап тапты. Бул гироскоптың айланыў көшери ниң бағытын сақлай алыў қәсийети де Жердиң суткалық айланысын дәлилледі (гироскоп көшери қәлеген аўхалда бир сутка ишинде шеңбер сызады, бул ҳаққында кейинирек айтылады).

Жердиң айланысының басқа бир дәлили сыпатында Кориолис күшиниң қозғалыўшы ҳаўа ямаса суў массасына тәсири болып табылады (мысалы Әмиўдәрьяның барлық ўақытта да оң тәрепке қарай – шығыс тәрепке қарай дегиш алыўы).

Жердиң дәлирек формасы

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

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

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

Енди Жердиң формасының дәл шар тәризли емес екенлигин еске түсиретуғын ўақыт келди. Ньютон өз ўақытында бириншиси экватордан, екіншиси полюстен Жердиң орайына қарай сол орайда бир бири менен байланысатуғын қудық қазылса сол қудықлардағы суўдың қәдди хәр қыйлы болатуғынлығын теориялық жақтан дәлилледі. 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 орайы-

на бирдей басым түсириуі ушын экваторлық кудықтағы суудың қәдди бийикте жайласуы керек. Ньютонның есаплаулары бойынша бул айырма Жердің орташа радиусының $1/230$ шамасын курауы керек.

Бундай есаплаулар жүдә курамалы да емес. Тек ғана заттың полюстағы хәм экватордағы хәр бир элементар көлеминің салмақларын қосып шығыу керек. Яғный Жердің орайынан қәлеген қашықтықтағы r қашықтығы ушын

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

катнасының орынланыуы керек.

Еркин түсиу тезлениуінің радиустан ғәрезлиликтери полярлық хәм экваторлық кудықларда бирдей: $g_n(r) = g_o(r) = GM/r^2$, бул жерде M арқалы r радиусы ишиндеги масса: $M(r) = \rho \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^3 / 3$, бул аңлатпада ρ арқалы кудықлар ииндеги затлардың тығызлығы белгиленген. Егер усы формулаларды тең салмақтық теңлемеси (3) ке қойсак, буннан кейин m ге қыскартсак хәм Жердің барлдық радиусы бойынша интегралласак (шеп тәрәпин 0 ден полярлық радиус R_n , оң тәрәпин 0 ден экваторлық радиус R_o ге шекем), онда мынадай катнас алынады:

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

(4) ке Жердің орташа тығызлығы 5.52 г/см^3 шамасын хәм экваторлық радиус $R_o = 6378140 \text{ м}$ ди қойсак $R_n \sim 6356130 \text{ м}$ шамасын аламыз. Яғный полярлық радиус экваторлық радиустан шама менен 22 км ге кем, ал $f = (R_o - R_n) / R_o = 1/289.8$ болыуы керек. Бул аңлатпадағы f шамасы **Жердің қысылғанлығы** деп аталады хәм ҳақыйқатында $1/298.257$ шамасына тең. Солай етип жоқарыда келтирилген теориялық есаплаулар Жер бетинің ҳақыйқый 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 ҳақкында гәп етемиз. Меридианның толық узынлығы ушын $40\,000 \text{ км}$ алынғанлықтан усы узынлықтың 1 градусы оның $1/360$ бөлимин курайды, ал ол болса шама менен 111.111 км ге тең, ал $1' = 1.852 \text{ км}$. Бул бирлик **теңиз мили** деп аталады.

Жердің массасы

Жердің массасын жеткиликли дәрежедеги дәлликте 1797 -жылы Генри Кавендиш өлшеди. Бул ушын ол ушларында қорғасыннан соғылған шариклер бекитилген айланбалы тәрәзиден пайдаланды. Бул шариклерге хәр қыйлы тәрәплерден массалары белгили болған еки үлкен қорғасын шарды жақынлатыу арқалы киши шардың үлкен шарға тартылуы күшинің Жерге тартылуы 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 тартыўы пайда еткен тезлениў **салмақ күши тезлениўи** деп аталады. Бул тезлениў шама менен Жердің орайына қарай бағытланған хәм шамасы бойынша мынадай:

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

Бул аңлатпадағы G гравитация турақлысы, 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 аўысыў 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 тезлениўине Жердің суткалық айланысының салдарынан пайда болатуғын орайдан қашыўшы тезлениў де киреди. Бул тезлениў айланыў көшери бағытына перпендикуляр. Орайдан қашыўшы тезлениў $\omega^2 \cdot r$ шамасына тең ($\omega = 2\pi/T$ айланыўдың мүйешлик тезлиги, T айланыў дәўири). Жер үшін жулдызлар суткасының шамасы алыныўы керек ($T = 86146$ с). Экваторда орайдан қашыўшы тезлениў максималлық мәнисине тең: $\omega^2 \cdot r = 3.39 \text{ см/с}^2$. Экваторда орайдан қашыўшы күш салмақ күшиниң бағытына қарама-қарсы, сонлықтан толық тезлениў $g = 980.03 \text{ см/с}^2$ шамасына тең. Полюсларда болса орайдан қашыўшы күш жоқ.

Аралықлық кеңликлерде орайдан қашыўшы 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 $\varphi - \varphi_a = 11'.6 \cdot \sin(2\varphi)$ шамасына тең. Сонлықтан орайдан қашыўшы тезлениў $\omega^2 \cdot r = \omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi_a)$ ди меридиан хәм экватор бойынша вертикаллық $\omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi_a) \cdot \cos(\varphi)$ хәм горизонталлық $\omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi_a) \cdot \sin(\varphi)$ қураўшыларға жиклеў мүмкин. Егер φ_a хәм φ шамалары арасындағы үлкен емес айырманы есапқа алмасақ, онда орайдан қашыўшы күштиң горизонт бағытындағы қураўшысы $\omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\varphi) \pm 45^\circ$ болған кеңликте максималлық 1.7 см/с^2 мәнисине жетеди. Бул шама мүйешлик өлшемлерде асып қойылған заттың түслик тәрепке қарай 5.9 аўысыўын тәмийинлейди. Орайдан қашыўшы тезлениўдің вертикаллық қураўшысы $\omega^2 \cdot \rho \cdot \cos(\varphi)$ экваторда $\omega^2 \cdot \rho$ ға, ал $\pm 45^\circ$ болған кеңликте $-0.5 \cdot \omega^2 \cdot \rho$ хәм на полюслерде нолге тең. Солай етип экваторда салмақ күшиниң тезлениўи орайдан қашыўшы күштиң тәсиринде $f/2$ шамасына киширей-

ген. Нәтижесінде экваторда салмақ күшінің тезленіуі полюстардағыға қарағанда $f/2 + f = 1.5 * f \sim 1/200$ шамасына киши болып шығады.

Салмақ күшінің тезленіуінің бийикликтен ғәрезилігін 1743-жылы француз математиги А.Клеро тапты:

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

Бул аңлатпада g_0 арқалы экватордағы, g_p полюстеги еркин түсіу тезленіуі белгиленген, ал коэффициент $\beta = 2.5 * q - f$ (бул жерде q арқалы экватордағы орайдан қашыушы тезленіудің еркин түсіу тезленіуіне қатнасы белгиленген, f - Жердің қысылыуы). Хәзирги уақытлардағы санлық мәніслерде Клеро формуласы былайынша жазылады:

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

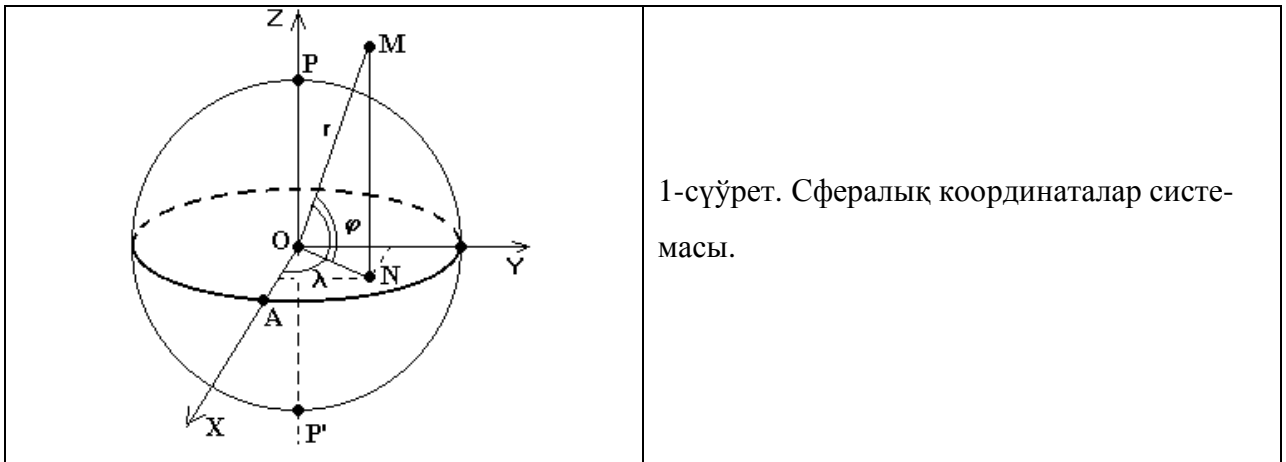
Еркин түсіу тезленіуін хәр қыйлы орныларда өлшеу β шамасының санлық мәнісін табыуға мүмкиншилик береді, ал бул шама арқалы Жердің қысылыуы f ти ала аламыз. Салмақ күші тезленіуін көп сандағы усыллар менен анықлау мүмкін. Солардың ишіндегі ең әпиуайысы узынлығы 1 болған математикалық маятниктің тербеліу дәуири бойынша:

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

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

Сфералық координаталар системасы хәм аспан сферасы

Жақтыртқышлардың орынларын анықлау үшін неликтен астрономияда сфералық координаталар системасы қолланылады? Жууап әпиуайы: себеби көпшилик аспан денелеріне шекемги аралықлардың шамасы хәзирги уақытлары да белгили емес (ал әйемги уақытлары пүткиллей белгисіз еді). Ал тууры сызықлы координаталар системасында ноқаттың ийелеп турған орны үш сызықлы шама жәрдемінде анықланатуғын болғанлықтан, бундай система басым көпшилик астрономиялық мақсетлерди орынлау үшін жарамсыз болып табылады.



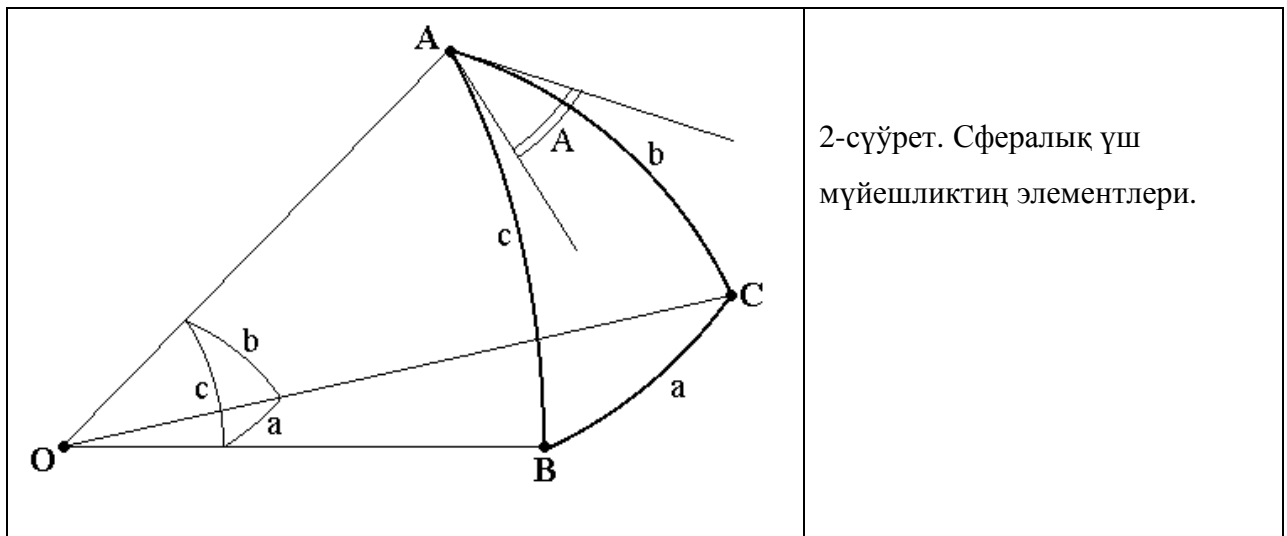
1-сүүрет. Сфералық координаталар системасы.

Сфералық координаталар системасы 1-сүүретте келтирилген. Оның кеңістіктегі ориентациясы екі нокат пенен белгиленеди. Биринши нокат 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 нокаты OX көшериниң сфера менен кесилисиў нокаты бас тегисликтеги есаплаў басын береді. Бул координаталар системасындағы M нокатының турған орны (ол сфераның бетинде жатпаўы да мүмкин) M нокатынан 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 өзгереді) 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 нокатының турған орны радиус-вектор r диң узынлығы хәм φ хәм λ мүйешлери менен анықланады екен. Бул мүйешлер қашықлықлардан ғәрезли емес. Жоқарыда айтылғандай, әдетте астрономияда r 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 қабыл етиледи (ал

гейпара уақытлары шексізлікке тең деп те қабылданады, бұндай жағдайларда аспан сферасы өз ишине барлық жақтыртқышларды алады). Хәр бир аспан жақтыртқышы аспан сферасының бетінде жайласқан деп есепланады (әйіемги уақытлары сондай деп есеплеген). Сонлықтан астрономиялық сфералық координаталар системасында жақтыртқыштың тұрған орны хақында гәп еткенде олардың хақыйқый орны емес, ал олардың аспан сферасында ийелеген орынлары нәзерде тұтылады. Сонлықтан сол орындарды 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 сызықтары киши шеңберлер деп аталады. Демек үлкен шеңбер аспан сферасын теңдей екиге бөледі.



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

матика бөліміне тийіс. Бірақ бұл қатнастар арқалы астрономияда бір координаталар системасынан екінші координаталар системасына өтiуге мүмкіншілік беретұғын аңлатпаларды алыўға болады. Бұл 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:

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

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

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

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

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

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

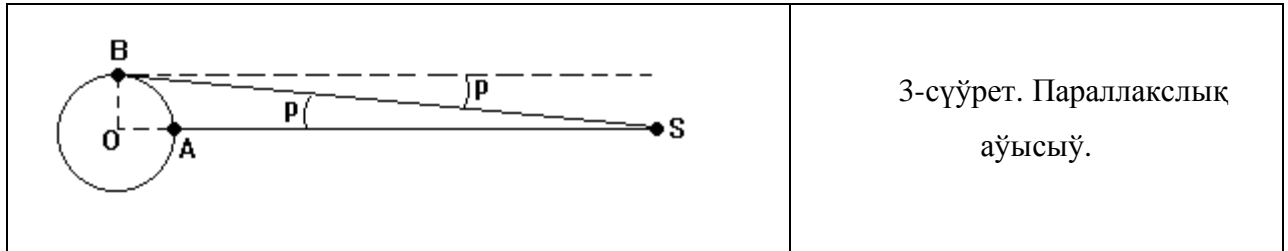
Аспан сферасындағы екі нокат арқалы (егер олар диаметрдің бойында жатпаса) тек бір үлкен шеңбер жүргизиў мүмкін. хәм үлкен шеңбердің доғасы сфераның бетіндегі сол екі нокат арасындағы ең киші қашықлық болып табылады. Бундай сызықты **геодезиялық сызық** деп атаймыз. Аспан сферасындағы екі нокат арасындағы қашықлық ретінде усы нокатлар арқалы өтетұғын үлкен шеңбердің ұзынлығы алынады.

Жоқарыда келтирилген формулалардың пайдаланылыўына мысал сыпатында аспан сферасындағы екі ықтыярлы нокат арасындағы мүйешлік қашықлықты есаплаў формуласын келтирип шығарамыз. 2-сүўреттегі 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 қашықлық а тәрeпинің ұзынлығына тең болады. Оның шамасын анықлаў ушын косинуслар теоремасын қолланамыз. С нокатының А полюсына шекемгі мүйешлік қашықлық b тәрeпи 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 түрлендіріулерден кейін

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



Жақтыртқыштың сфералық координаталарының бақлаўшының қозғалысы себебинен өзгеріслери **параллакслық аўысыў** ямаса **параллакс** деп аталады. 3-сүўретте 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 Жердің өз көшери дөгерегінде айланыўының салдарынан пайда болады хәм төбеси жақтыртқышта, ал бириншиси Жердің орайына, екиншиси Жер бетіндеги 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 Жердің 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 параллаксы** (бул параллакс тригонометриялық параллакс деп те аталады) Жердің Қуяш дөгерегіндеги айланысының нәтийжеси болып табылады. Бул параллакс ушын Жер орбитасының үлкен ярым көшери хызмет етеди. 3-сүўреттен жыллық параллакстың жақтыртқышта турып карағанда көриў нурына перпендикуляр бағыттағы Жер орбитасының үлкен ярым көшери көринетуғын мүйеш екенлигин аңлаўға болады.

Жыллық параллаксты өлшеў жұлдызларға шекемги аралықты анықлаўдың бирден бир жолы болып табылады. Жыллық параллакс $1''$ қа тең болған қашықлық **парсек** (параллакс - секунд, қысқаша пк) деп аталады хәм жұлдызлар, галактикалар аралық қашықлықларды өлшеўдің тийкарғы бирлиги болып табылады. 2-сүўретте 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 жұлдызлар ушын параллакс $1''$ тан кем.

Сонлықтан жұлдызларға шекемги аралықтар олардың параллаксары арқалы аңлатылады. Усындай киши p ларда $d=1/p$ қатнасы орынланады (d арқалы парсеклердеги қашықтық белгіленген), p доғаның секундындағы жыллық параллакс).

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

Географиялық координаталар

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

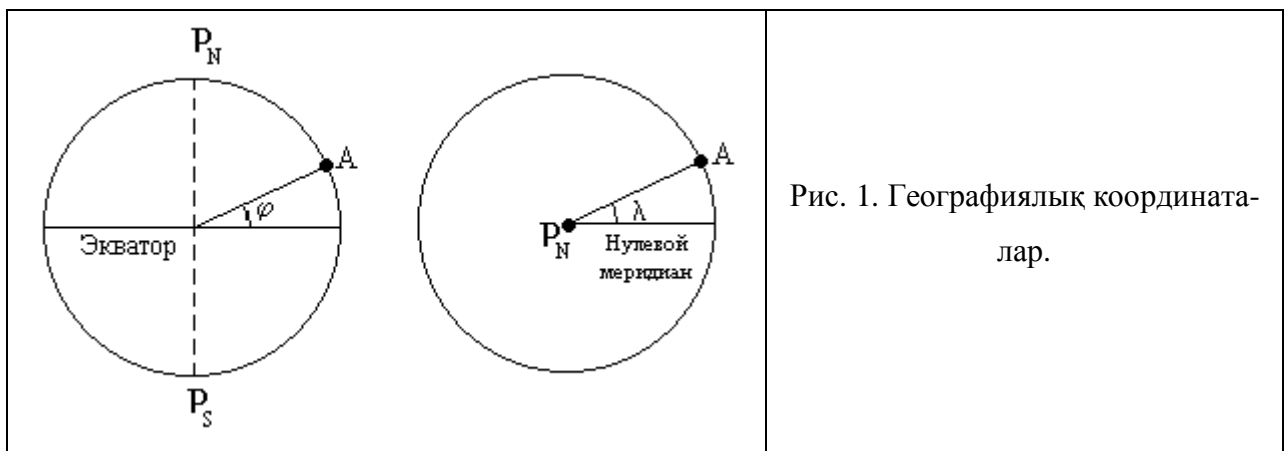


Рис. 1. Географиялық координаталар.

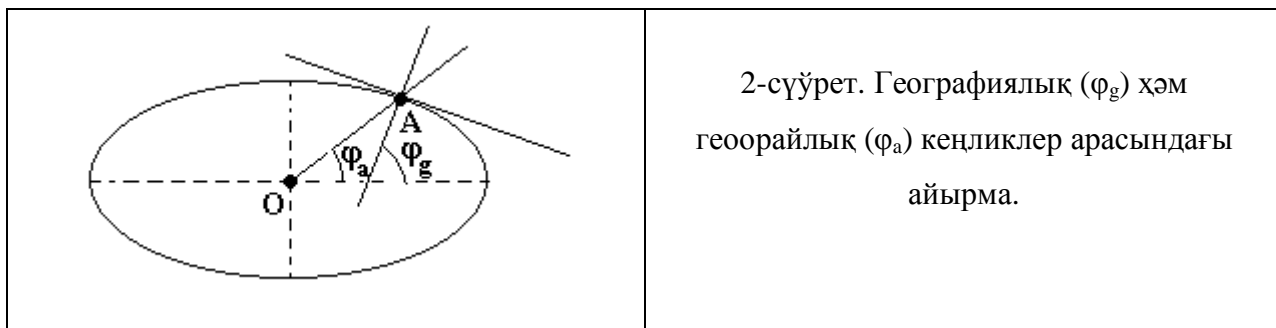
Жер бетиндеги A нокатының географиялық кеңлиги деп экватор тегислиги менен сол A нокатына түсірилген радиус арасындағы мүйеш болып табылады (1-сүүреттеги шеп тәрепте). Кеңлик φ ҳәрипи жәрдеминде аңлатылады хәм экватордан арқа тәрепке қарай өлшенсе (арқа ярым шар) оң мәниске, ал түслик тәрепке қарай өлшенсе (түслик ярым шар) терис мәниске ийе деп есапланады. Бирдей кеңликке ийе нокатлар жатқан сызықтар географиялық **параллеллер** деп аталады. Жердиң бетин Жер көшерин өз ишине алатуғын тегисликлер кескенде алынадуғын сызықтар географиялық **меридианлар** деп аталады. A нокаты 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 карай өлшенеди

(шығысқа ямаса батысқа қарай) хәм сонлықтан оның мәнисине «шығысқа қарай узынлық» (Гринвичтен шығысқа қарай) ямаса «батысқа қарай узынлық» (Гринвичтен батысқа қарай) сөзлери қосылады. Мысалы Москваның географиялық координаталары мынадай: $\lambda = 37^\circ 38'$ шығысқа қарай узынлық, $\varphi = +55^\circ 45'$.

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

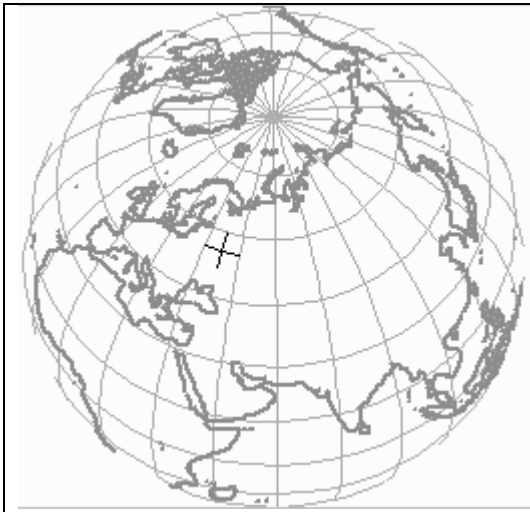
Нөкис қаласының координаталары: $\lambda = 59^\circ 29'$, $\varphi = 42^\circ 50'$.

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



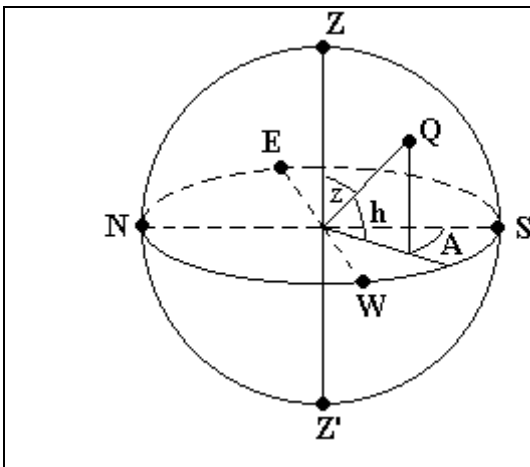
2-сүүретте геоорайлық кеңликтің бар екенлиги көрсетилген (бул жерде орай Жер бетин тәриплейтуғын эллипсоидтың геометриялық орайы). Географиялық хәм геоорайлық кеңликлер арасындағы математикалық айырма:

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



3-сүрет. Географиялық координаталық тор.

Горизонталлық координаталар системасы



1-сүрет. Координаталардың горизонталлық системасы

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

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

Горизонт тегислигі менен Q жақтыртқышына қарай бағытланған бағыт арасындағы мүйеш h *бийиклік* деп аталады. Егер жақтыртқыш горизонттың үстінде жайласқан болса бұл мүйештің мәнісі оң, ал горизонттан төменде жайласқан болса теріс деп есепланады. Горизонт үшін $h=0^\circ$, зенитте $h=90^\circ$, надирде $h=-90^\circ$. Жақтыртқыш пенен зенитке қарай бағытланған туұрылар арасындағы мүйеш жақтыртқыштың *зенитлік қашықтығы* деп аталады. Аспан сферасын математикалық горизонтқа параллел тегислик пенен кескенде алынған шеңбер *бірдей бийикліклер шеңбері* ямаса *альмукуантарат* деп аталады. Q

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

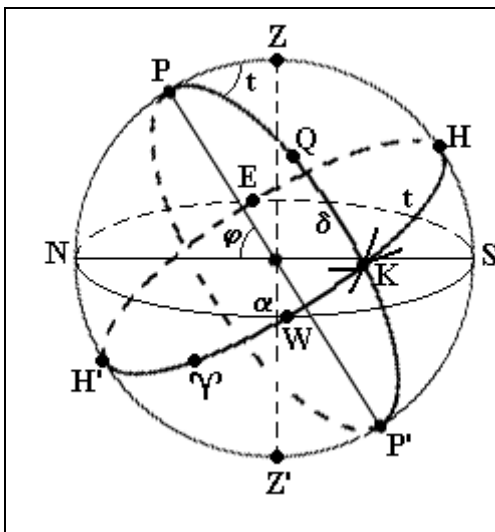
Екинши координатаны анықлау үшін горизонтта есаплау нокатын, ал оның үшін арқа N ямаса түслик S нокатларын анықлау керек. Әдетте түслик нокат деп Куяш горизонттан максимал көтерілгендеги Куяш вертикалының горизонт пенен кесилису нокатын алады. Горизонт тегислигинде жататуғын хәм арқа, түслик нокатлардан өтетуғын тууры **түслик сызық** деп аталады. Батыс нокаты W менен шығыс нокаты E түслик сызығына перпендикуляр болған сызықтың бойынша жайласады.

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

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

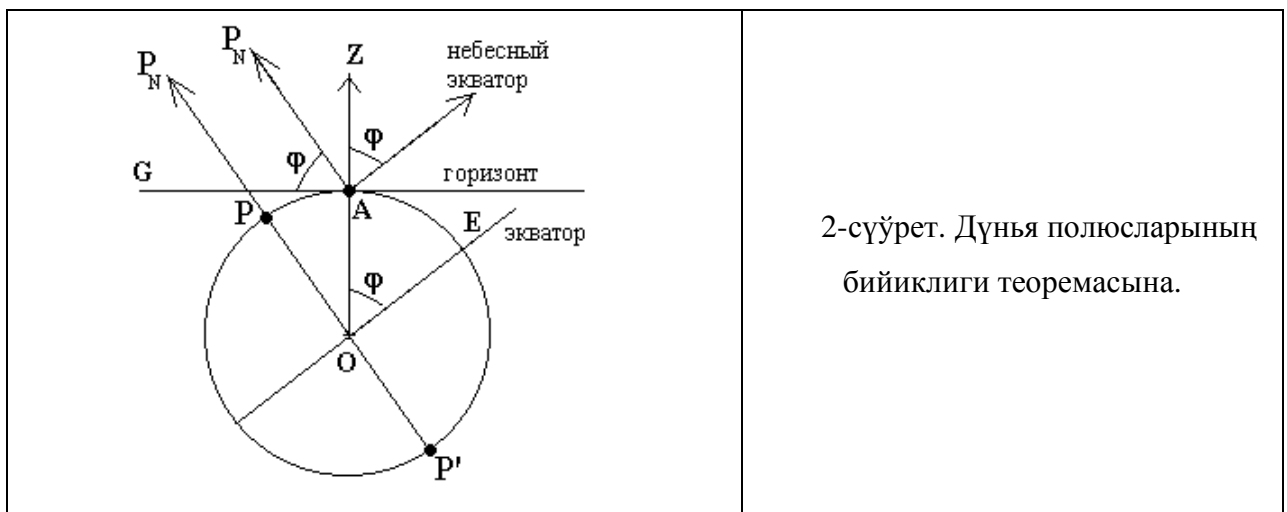
Зенит Z хәм надир Z' нокатлары үшін $h = \pm 90^\circ$ хәм азимут анықланбаған.

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 шеңбері **еңкейіу шеңбері** деп аталады хәм ол экватор менен K нокатында кесилиседі. Дүнья көшери Жердің айланыу көшерине параллел болғанлықтан аспан экваторының Жер экваторының дауамы екенлигин аңсат сезиуге болады. Сонлықтан координаталардың экваторлық системасын аспан сферасына географиялық координаталардың проекциясы деп атауға болады.



Горизонтқа салыстырғанда дүнья полюслары менен аспан экваторы қалай жайласқан? Бириншіден дүнья полюслары аспан меридианы тегислигинде жатады. Ал аспан меридианы бақлау нокатындағы Жер меридианының аспан сферасына түсірілген проекциясы болып табылады. Ал бақлау нокатындағы Жер меридианы болса жергиликли арқа-түслик бағыты болып табылады. Екіншіден горизонт үстіндегі дүнья полюсының бийиклиги бақлау орнының бийиклигине тең. Бул тастыйықлауды **дүньяның полюсының бийиклиги хаққындағы** теорема деп атаймыз. Бул теорема жүдә аңсат дәлилленеди (2-сүүрет). А нокатының географиялық кеңлиги φ экватор тегислиги менен сол A нокатының радиусының (OA туұрысы) Жердің орайы O дағы кесилисиу мүйеши. Горизонт тегислиги A нокатында (2-сүүреттегі 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 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 өзгередиди. 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 өзгередиди. 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 өзгередиди.

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 өзгередиди. 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 өзгередиди. 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 жулдызлық ўақыт* деп аталады, ал бирдей аталатуғын бәхәрги күн теңлесиў ноқатының избе-

изликтеги еки кульминациясы арасындағы ўақыт **жұлдызлық сутка** деп аталады. Жұлдызлық суткалардың басы ретінде бәхәрги күн теңлесиў 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 теңлесиў 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. Еңкейиў 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:

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

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

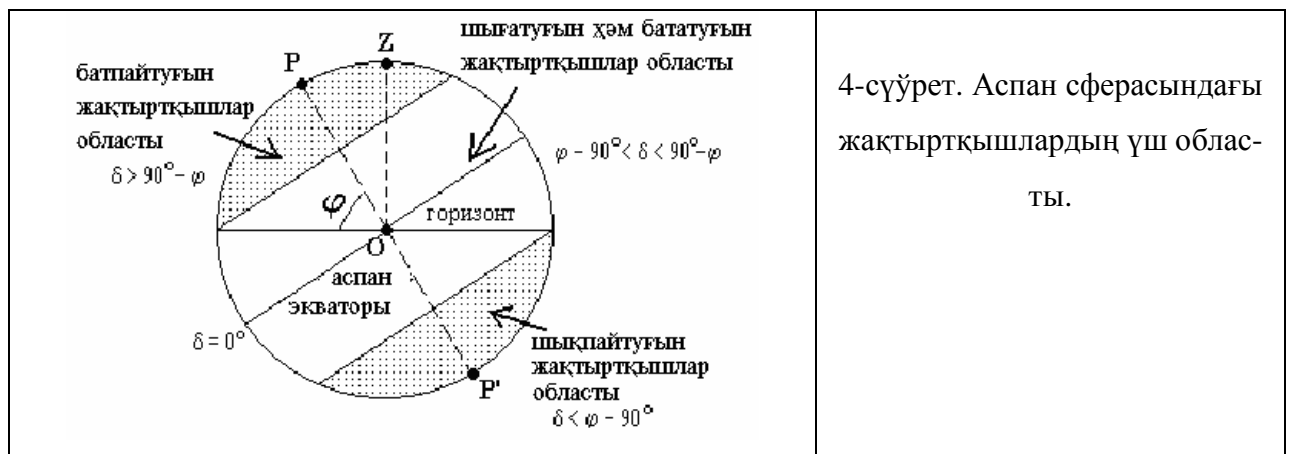
$$\sin(z) \cdot \cos(A) = \sin(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(t) - \cos(\varphi) \cdot \sin(\delta)$$

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



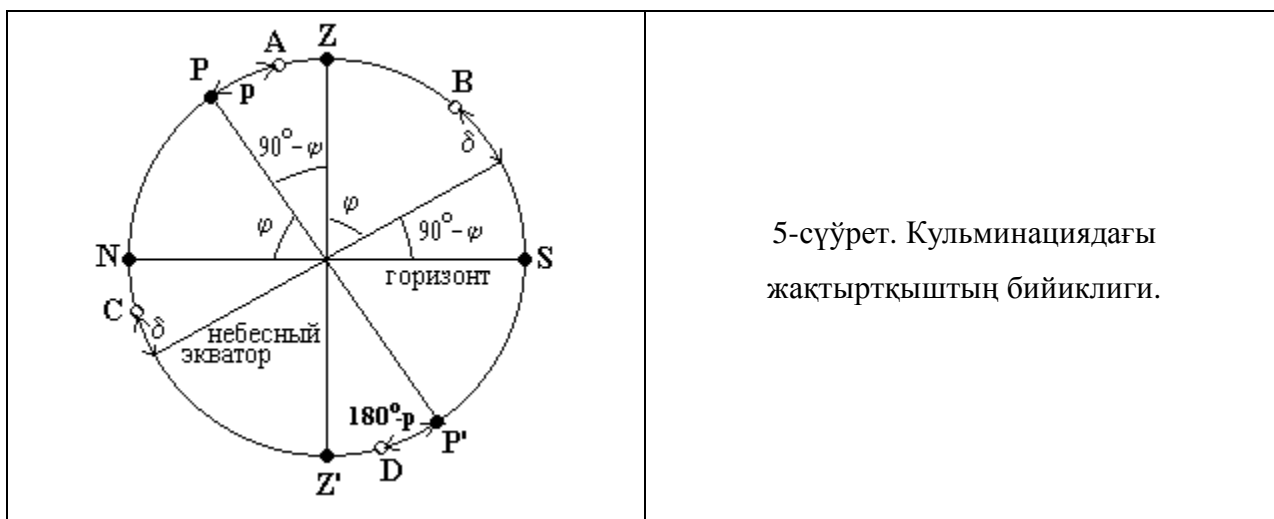
Енди аспан сферасының суткалық айланыуы хақында гәп етемиз. Хәзирше α хәм δ лары турақлы болған жақтыртқышларды караймыз. Жер батыстан шығысқа карай PP' (2-сүүрет) көшери дөгерегинде бир суткада бир рет айланады. Сонлықтан аспан сферасының көзге көринетуғын айланысы да тап сондай тезлик пенен болады (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 қозғалады (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 өтиу моменти *төменгі кульминация* деп аталады. Бул ноқатта жақтыртқыштың бийиклиги минималлық мәниске жетеди. $\pm 6^\circ$ саат мүйешинде барлығы да керисинше: жақтыртқыштың бийиклигиниң өзгериу тезлиги максималлық, ал азимуттики минималлық.



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 еңкейиу үлкен болған сайын бул бөлим арқа ноқатына жақын (жақтыртқыш арқа ноқатына жақын ноқатларда шығады хәм батады). Арқа ноқатының еңкейиуи $90^\circ - \phi$, сонлықтан $\delta = 90^\circ - \phi$ де шығу хәм бату ноқатлары арқа ноқаты менен биригеди. Оның ушын суткалық параллел горизонтқа тийеди. $\delta > 90^\circ - \phi$ болған жақтыртқышларда

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



5-сүўрет. Кульминациядағы жактыртқыштың бийиклиги.

Жактыртқыштың кульминация моментиндеги бийиклиги айрықша кызыклы. Ең жоқарғы бийиклик (90°) жактыртқыштың жоқарғы кульминациясы моментинде орын алады (бул ўақытта жактыртқыш зенит арқалы өтеди, яғни $\delta = \varphi$). 5-сүўретте көринип турғанындай $\delta < \varphi$ шәрти орынланатуғын жактыртқышлардың 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 жактыртқышлар кульминацияның жоқарғы моментинде зениттен арқа тәрепте $h = \varphi + \delta - 90^\circ$ бийиклигинде болып өтеди. Төменгі кульминация ушын усы айтылғанлар керисинше өтеди.

Қуяш системасының дүзилиси

1. Қуяш системасының дүзилиси ҳаққындағы көз-қараслардың раўажланыўы. Әлемнің қалай дүзилгенлиги ҳаққындағы 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.

Әйіемгі Ұақытлары көп жыллар дауамында Қуашты 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.

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

Әрамыздың II әсиринде белгили Александриялық астроном Кладвий Птолемей Әлемнің дүзилісинің жаңа *геоорайлық* (*яғный орайында Жер туратуғын*) *системасын* дәретти. Бул теорияға муұапық Әлемнің орайында Жер турып, басқа планеталар, соның ишинде Қуаш, 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 өтиуі менен планеталар қозғалысларын тереңирек хәм дәл үйрениу, планеталардың жұлдызлар фонында бақланатуғын өзине тән қозғалысларын бул теория тийкарында түсиндириуді қыйынластырып жиберди. Ақыбетинде бул теорияның Әлемнің дүзилісин дурыс сәулелендире алмайтуғынлығы көрине баслады хәм оны бақлау нәтижелерине сәйкес, жаңа теория менен алмастырыу 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 Қуаш турып, барлық планеталар, соның ишинде Жер, оның әтирапында белгили бир тәртип пенен айланады (22-сүүрет). Жұлдызлар болса Птолемей теориясындағы сыяқлы ең кейинги сферада жайласып, Қуаштың әтирапында бир бирине салыстырғанда қозғалмаған халда айланады.

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

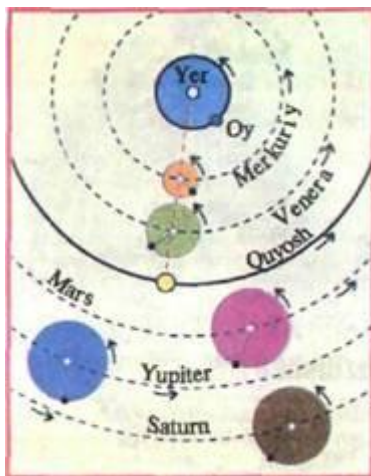
Әлем дүзилісинің гелиоорайлық теориясы белгили Италиялық илимпаз, философ Джордано Бруно (1548-1600) тәрәпинен рауажландырылды. Мысалы ол өз теориясында

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 ҳақ 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 жәрдемінде 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 хүким сүрген «Жер Әлемнің орайында турады» деген дурыс емес көз-қарасларға соққы берди.

Әлемнің дүзилиси ҳаққындағы көз-қараслардың қәлиплесиуінде ұатанласымыз уллы алым Әбиу Райхан әл-Берунийдиң (973-1048) үлкен хызмети бар. Ол узак жыллар дауамында өткерилген астрономиялық бақлауларына сүйенип планеталардан Меркурий менен Венераның Қуяштан узак 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 түсіндириў.



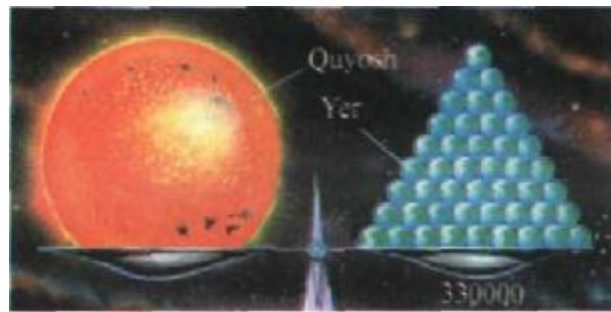
Берунийдің Әлемнің дүзилиси ҳаққындағы көз-қараслары. Усы көз-қарасларға сәйкес Қуяш өз әтирапында айланатуғын жолдаслары – Меркурий ҳәм Венера менен бирге Жер әтирапында айланады.

Қуяш системасының ағзалары ҳәм өлшемлери

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

метринен 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 айналады. 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 курайды. Қуяштан Жерге шекем оның нурлары 8 минуттан сәл көбирек ўақытта жетип келеди. Ал Плутонға шекем 5,5 сааттан көбирек ўақыт «жүреді».

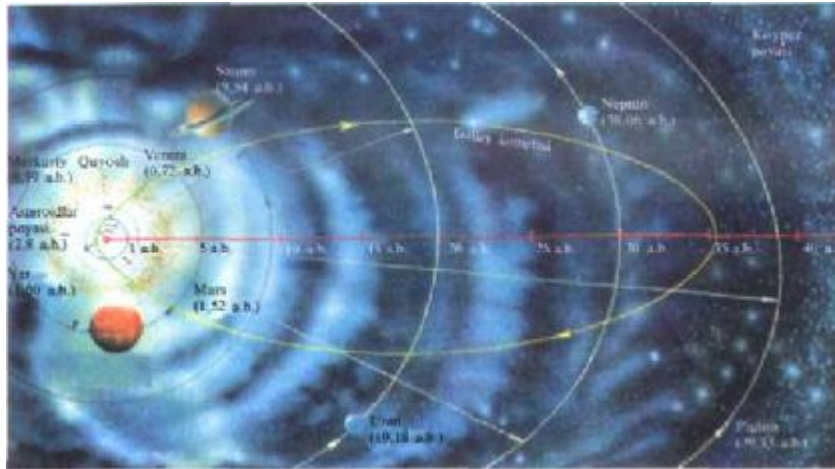


Жер өлшемін Қуяштың өлшеми менен салыстырыў.

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 кум бөлекшелериниң үлкенлигиндеги денелер эллипс тәризли орбиталар менен айналады. Оларды метеор денелер деп атаймыз.



Қуяш системасының масштабы.

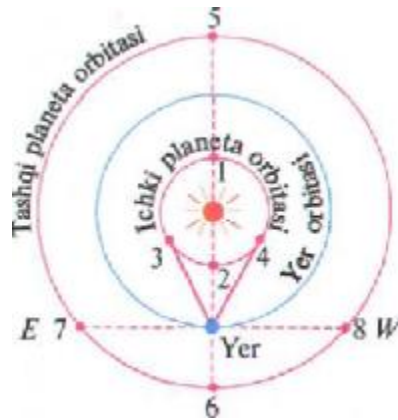
Қуяш системасында қозғалысушы ири планеталардың қаншама үлкен болыуына карамай, Қуяш пенен салыстырғанда жүдә киши аспан денелери болып есапланады. Планеталар хәм барлық майда денелердің массалары биргеликте Қуяш системасы денелериниң улыұмалық массасының 0,1 процентин, Қуяштың массасы болса шама менен 99,9 процентин қурайды (сүүрет). Соның ушын да Қуяш өз системасына кириўши барлық денелердің қозғалысларын баскаради. Жулдызлар Қуяш системасына кириўши 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 көриниў 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 екеўиниң конфигурациялары менен танысайық. 27-сүүретте Қуяш этирапында Жер менен бирге шеңбер тәризли айланыўшы 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 сұйреттегі жағдайында ишки планета ийелеген 1- хәм 2-халлар планетаның Куяш пенен қосылыў халлары деп аталып, 1-төменги қосылыў, 2-жоқары қосылыў деп аталады.



Планеталардың конфигурациялары хәм көриниў шәртлери.

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

Сыртқы планетаға тийисли 5-хал қосылыў (яғный Куяш пенен қосылыў), 6-хал қарама-қарсы турыў (яғный Куяшқа салыстырғанда қарама-қарсы турыў) деп аталады. Кейинги халында планета Куяштан 180° мүйешлик қашықлықта жайласады.

Сыртқы планета 5-халда Куяш пенен қосылып Жердеги бақлаўшы ушын өзиниң көринбейтуғын дәуирин өтип атырған болады. 6-халда болса Куяшқа қарама-қарсы турғанлығынан Куяштың батыўы менен планета шығыс тәрепте горизонттан көтеріледі хәм пүткил түн даўамында оны бақлаў мүмкин болады. Планетаның 7- хәм 8-халлары сәйкес рәуиште оның шығыс хәм батыс квадратура халлары деп аталады. Планета 7- халда болғанда оны Куяш 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 узақтықтарына сәйкес, олардың айналыу дәуірлері хәр қыйлы болып, Қуяшқа жақынлары киши, узақтағылары болса үлкен дәуірлер менен айналады. Мысалы Қуяшқа ең жақын Меркурий оның этирапын 88 суткада айналып шықса, Плутон Қуяш этирапында сәл кем 240 жыллық дәуірде бір рет айналады. Олардың қозғалыс тезліктері де хәр қыйлы болып Қуяштан узақ қашықтықтарда айланатуғын планеталар жақын жайласқан планеталарға қарағанда бір қанша киши тезліктер менен қозғалады.

Қосымшадағы кестеде планеталардың Қуяш этирапында айналыстарына тийисли мағлыұматлар келтирилген. Соның менен бирге, бул кестеде планетаның орбита тегислиги менен Жердің Қуяш этирапында айналыу 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 ҳақыйқый айналыу дәуірлері олардың *сидерлик* ямаса *жұлдызлық дәуіри* деп аталады. Планетаның сидерлик дәуіри (T_{pl}) деп оның Қуяш этирапында белгили бир жұлдызға салыстырғанда толық айналып шығыуы ушын кеткен ўақытқа 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 турыўлары) бирден еки рет избе-из өтиўи ушын зәрүр болған ўақыт 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 жылжыўлары айырмасынан:

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

Буннан

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

Сыртқы планеталар үшін

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

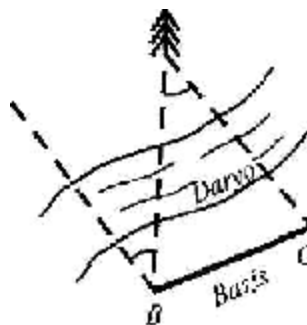
Буннан

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

Қуяш системасы денелеріне шекемгі қашықтықтарды анықтау

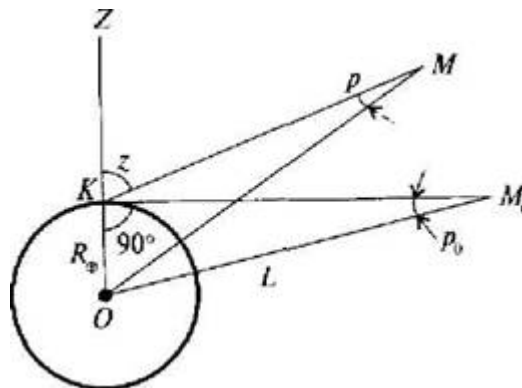
1. Қуяш системасына кириуші денелерге шекемгі (планеталар, Ай, майда планеталар хәм басқалар) қашықтықтар тригонометрик жол менен суткалық параллакс деп аталыушы метод жәрдемінде табылады.

Биз геометрия курсында барыуға болмайтуғын нокатларға шекемгі қашықтықтарды анықтау 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 анықтау 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 ҳасыл 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 ҳалда еки (M_1 хәм M_2) ноқатта көринеди. Планетаның паралакслық жылжыуы тийкарында p_0'' мүйеши табылып оған сүйенген ҳалда 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 екенлигін есепке алсақ $c = \frac{2L}{t}$ деп жазыу мүмкін. Бұнан аспан денесіне шекемгі

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

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

Астрономиядағы ұзынлық бірліктері

Астрономияда ұзынлықтың халық аралық системада қабыл етилген бірлікте (метрлерде) тәріплеу қолайлы емес хәм үлкен қыйыншылықтар пайда етеді. Соның ушын астрономияда ұзынлық төмендегі арнаулы бірліктер менен өлшенеді:

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

2. Жақтылық жылы (ж.ж.) - жақтылықтың бір жылда өткен жолы менен характерленеді. Бұндай ұзынлықты километрлерде тәріплеу ушын бір жылда қанша секунд барлығы табылып, соңынан оны жақтылық тезлігіне ($3 \cdot 10^5$ км/с) көбейтиледі. 1 жылдағы секундлардың мұғдары $365,2422 \cdot 24 \cdot 3600$ с болады. Бұл Жерде 365,2422 - бір жылдағы суткалардың санын, 24 бір суткадағы сааттар санын, 3600 болса хәр бір сааттағы секундлар санын билдиреді. Бұл санларды өз-ара көбейтип 1 жақтылық жылының (1 ж.ж.) $9,46 \cdot 10^{12}$ км ге тең екенлігіне ийе боламыз. Табылған нәтижесі 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 тәріптейді:

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

Әдетте қашықтықтың жақтылық жылы парсек, килопарсек (1000 пак) хәм мегапарсек ($\text{Мпк} = 10^6 \text{ пак}$) бірліктері Қуяш системасынан сырттағы аспан денелеріне шекемгі (жұлдызлар, жұлдыз топарлары, думанлықтар хәм басқалар) қашықтықтарды, соның менен бирге, сыртқы галактикалар, галактикалық жыйнақтардың өлшемдерін хәм олардың арасындағы қашықтықтарды өлшеуде пайдаланылады.

Қуяш системасы денелерінің өлшемлерін 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 :

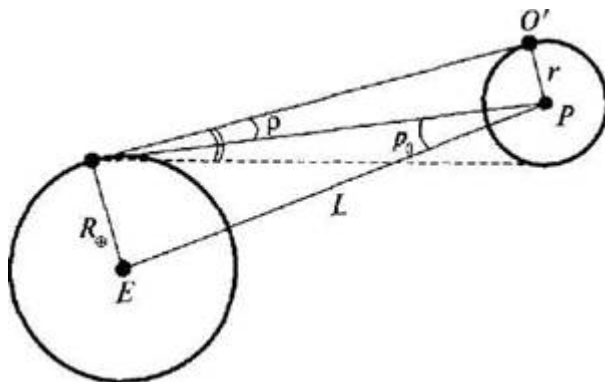
$$\sin \rho = \frac{O'P}{OP} = \frac{r}{R}$$

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} аркалы 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 $5^{\circ}9'$.

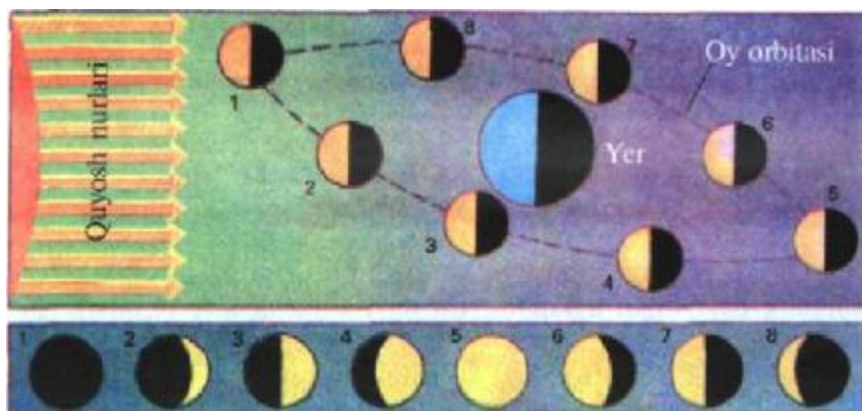
Айдың өз көшери этирапында хәм Жер этирапында бирдей 27,32 суткалық дәуір менен айланатуғынлығы айрықша қызық. Айдың өз көшери этирапында хәм Жер этирапында айланыу дәуірлериниң өз-ара тең болғанлығынан Ай Жерден қарағанда барлық ўақытта да бир тәрәпи менен көринеди.

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 сәўлелендирилген.

Сызылмадан көринип турғанындай 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 шөректеги фазасы. 5. Толық Ай. 7. Ақырғы шөректеги фазасы).

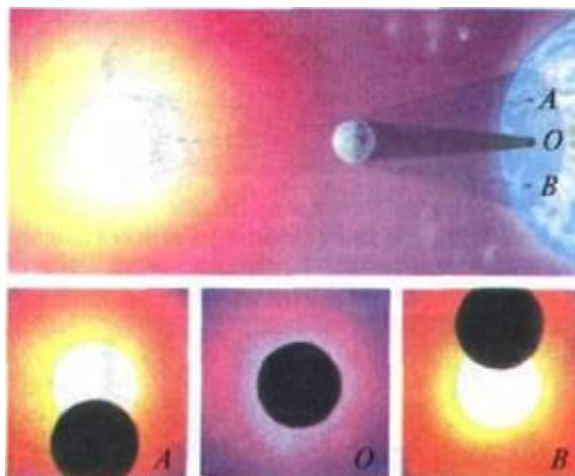
Айдың белгили бир фазасынан (мысалы толық Ай фазасынан) избе-из еки рет өтиуи арасындағы ўақыт 29,53 сутканы қурайды хәм ол Айдың синодлық дәўири деп аталады. Синодлық дәўирдин Айдың жулдызларға салыстырғанда айланыў дәўиринен (сидерлик дәўир) узынлығына себеп Жердин Қуяш этирапында айланыўы болып табылады.

Қуяш батқаннан кейин Айдың жиңишке орақ тәризли батыс тәрепке биринши көриниўи халықтың тилинде жаңа Ай (ямаса хилал) деп аталып, бундай Ай әдетте Ай басынан 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 себебинен 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

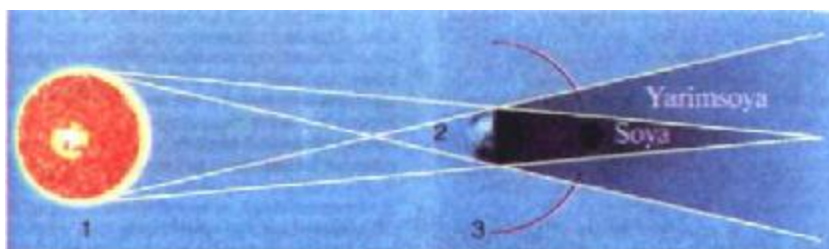
тутылады. Қуяштың толық тутылыуы аспанда жүдә шырайлы көринисті пайда етеді. Бул жағдайда бақлаушы аспанда қап-қара Қуяш изи этирапында Қуяш «тажы» деп аталатуғын нәзик гүмис реңли нурды шығаратуғынлығын көреді. Соның менен бирге бул пайытта күндиздің болыуына қарамастан аспанда жарық жұлдызлар хәм планеталар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

Егер Жердеги бақлаушы Айдың ярым саясы ишінде (А ямаса В) қалса, онда ол Қуяштың бир бөлимин ғана көреді, яғный Қуяштың *бир бөлими тутылып атырған* болады. Базы бир ўақытлары Қуяштың тутылыуы *сақыйна тәризли* болады. Бундай хал тутылыу пайытында Ай Жерден ең үлкен узақлықта, Қуяш болса, керисинше, Жерге ең жақын келгенде жүзеге 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 байланысly тутылыслар Қуяш бул еки орбитаның кесилискен ноқатлары (Ай түйинлери деп аталатуғын ноқатлар) қасынан өткенде ғана бақланады. Бундай хал шама менен хәр ярым жылда бақланатуғынлығына байланысly тутылыулар сондай дәўир менен қайталаңады.



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



Ай тутылыуы қубылысы (1 – Қуяш, 2 – Жер, 3 - Айдың орбитасы, Жер саясы ишінде 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 тутылыў*, ярым саясының бир бөлими арқалы өтсе ол халда оны *ярымсаялы тутылыў* деп атайды. Айдың тутылыў барысында ол хэмме ўақытта да толық фазасында болады.

Жердің белгили бир орнында Қуяштың тутылыўына салыстырғанда Айдың тутылыўлары жийирек бақланады. Себеби Қуяштың тутылыўлары Жердің Ай саясы түскен хэм онша үлкен болмаған майданында ғана бақланады. Айдың тутылыўы болса Жердің Қуяшқа қарама-қарсы ярым шарының барлық бөлимінде бир ўақытта көринеди.

Айдың толық тутылыўы 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 Қуяш нурлары менен Айдың бети жақтыртылады. Бул жағдайда Жер атмосферасы көк хэм хаўа 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 ($5^{\circ}09'$) байланыслы Ай хэм Қуяш тутылыўлары жаңа Ай хэм толық Ай пайытларында хеш қашан бақланбайды.

Әййемги ўақытлары Қуяш хэм Айдың тутылыў ўақытларында олардың жоқарыда тәриппленген көринислери адамларда қорқыныш хэм хаўлығыўлар пайда еткен. Енди болса Қуяш пенен Ай тутылыўларының сырлары толық анықланған хэм сонлықтан бул кубылыслар хеш кимде хаўлығыў пайда етпейди. Алымлар Қуяш хэм Ай тутылыўларының болыў ўақытын бир неше жыл алдын-ала анық есаплап бериў методларын ислепп шыққан. Қосымшадағы кестеде 2005- жылға шекемги Қуяш хэм Ай тутылыўларының ўақыты келтирилген. Тутылыўлар пайытында өткерилген бақлаўлар жәрдемінде Қуяштың физикалық тәбиятын, Жер атмосферасының дүзилисин хэм Айдың қозғалысына байланыслы болған әхмийетли мағлыўматларды қолға киргизиў имканиятына ийе болды.

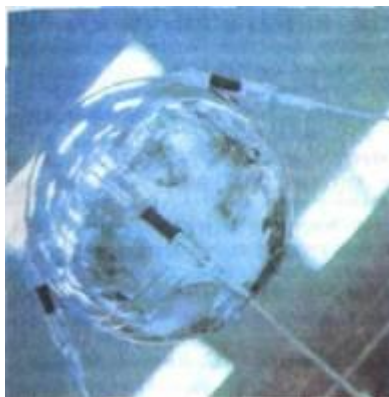
Космонавтика элементлери

Космонавтика хэм оның басқа илимлер менен байланысы

Космонавтика - «kosmos» хэм грекше «nautika» - кеме басқарыў өнери деген мағананы аңлатыўшы сөзлерден турып, ол ракета хэм космослық аппаратлардан пайдаланып инсанияттың зәрүрликлерин тәмийинлеў ушын космослық кеңисликти хэм Жерден сыртқы объектлерин үйрениў хэм өзлестириўге қаратылған, тийкарында космослық

ушыўлар теориясы хәм ракета техникасы бойынша билимлерди өз ишине алыўшы илим менен техника бөлимлериниң бирлеспеси болып табылады. Космонавтика соның менен бирге космослық ушыўлар теориясы (траекторияларды есаплаў хәм басқалар), ушыўшы ракеталар, ракета двигателлери, басқарыўдың системалары, космослық аппаратлар, ушырыў дүзилислери, илимий 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 хызметі 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 тәбийй 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 кеңисликтің 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 топланған. Қолға киргизилген бул билимлер космосқа ушыўда оғада үлкен әҳмийетке 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 Куяш 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 организміндеги өзгерислерди үйрениў бойынша жүзлеген медициналық-биологиялық экспериментлер өткізилди. 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 хызметкерлердин 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-карасларда қарап, оларды әдеўир раўажландырды.

XX әсирдин 20-30 жыллары айырым алымлар топарлары хәм жәмийетлер 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

тәрәпинен әмелге асырылды. Нәтийжеде 1957-жыл 4-октябрь күни бул ракета жәрдеминде Жердің биринши жасалма жолдасы ушырылды.

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

1959-жылдан баслап Жердің тәбийий жолдасы - Ай космослық аппаратлар тәрәпинен «нышана» ға алына баслады. 1969- жылы АҚШ астронавтылары «Аполлон-11» космослық 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 космослық аппаратлар жәрдеминде изертлеўдің жаңа әсири усылай басланып, хәзирги ўақытлары аспан денелерин, космос кеңислигин үйрениўде революциялық даўамын басынан кеширмекте.

Ушыў барысында космослық аппаратқа тәсир етиўши күшлер

Ушыў барысында космослық аппаратқа тәсир ететуғын ең тийкарғы күш пүткил дүньялық тартылыс күши болып табылады. Әдеттеги денелер арасындағы тартылыс күши Ньютон тәрәпинен ашылған пүткил дүньялық тартылыс ызамына 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, $6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ қа тең шама болып есапланады.

Космослық аппараттың қозғалысы барысында оған тәсир ететуғын басқа бир күш атмосфераның қарсылық күши болып табылады. Ушыў қанша киши бийикликлерде (Жердің бетине салыстырғанда) жүз берсе, бул күш соншама үлкен болады, Себеби бийиклик кемейген сайын атмосфераның тығызлығы артады. Бундай күш аэродинамикалық күш деп аталады. Атмосфераның жоқары қатламында тығызлық жүдә кем болып (хәр куб

см де тек бир неше жүз атом), космослық аппараттардың ушыуына дерлік 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 Куяш нурланыуларының басым күши болып табылады. Егер космослық аппараттың массасы онша үлкен болмай, ал сыртқы бети сезилерли дәрежеде үлкен болса Куяш 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 кеңісликте 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 кеңіслигинде ушып баратырған космослық аппарат белгили бир пайыттан баслап зәрүрли болған тезликке ийе болғаннан кейин еркин айланбалы қозғалысы тәмийинленген болсын. Бундай қозғалыста денениң барлық ноқатларының бирдей тезлик пенен қозғалатуғынлығын 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) тезликлери 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!), г 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, кеңісликте 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 ҳалы 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 узақлықта қозғалатуғын болса, онда тек Қуяштың тартыў күшин есапқа алыў жетерли. Себеби планеталардың космос аппаратына берген тезлениўлери Қуяш берген тезлениўге салыстырғанда жүдә киши шаманы қурайды. Мысалы биз 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 қурайды.

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

Аспан денесин бир текли материаллық шар деп қарайық ямаса ең кеминде бир бириниң ишинде жайласқан бир текли сфералық қатламлардан қуралған 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 халда космос аппараты аспан денесінен $r_0 = R$ (R орайлық дененің радиусы) қашықтықта v_0 горизонт бағытындағы тезлікке ийе болсын. Бул хал үшін космос аппаратының кинетикалық хәм потенциал энергиялары сәйкес рәуиште $W_k = \frac{mv_0^2}{2}$ хәм

$W_p = -\frac{G * M * m}{r_0}$ түрінде болады. Онда белгили бир ўақыттан соң орайлық майданнан r қашықтықта оның тезлиги v_r ге тең болып космос аппаратының кинетикалық энергиясы:

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

потенциал энергиясы болса:

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

болады. Бул аңлатпалардағы M тартыушы аспан денесінің массасы.

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

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

болады. Бул жерде теңликтің шеп тәрепи космос аппаратының басланғыш толық энергиясын, оң тәрепи болса оның r қашықтықта v_r тезлікке ерискен пайтытағы толық энергиясын тәриплейди. Теңликтің еки тәрепин де m ге қысқартып космос аппаратының орайлық денеден ықтыарлы r қашықтықтағы 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 денесінің гравитациялық майданын характерлеп, оның *гравитациялық параметри* деп аталады. Жер үшін $K_{\oplus} = 3,986 * 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$, Қуяш үшін $K_{\odot} = 1,327 * 10^{11} \text{ км}^3/\text{с}^2$, Ай үшін болса $K_f = 4,9 * 10^3 \text{ км}^3/\text{с}^2$ қа тең болады.

Орайлық тартылыс майданындағы дененің қозғалысы

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

1. Туұры сызықты 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 сызықты қозғалыс болып табылады. Басқа барлық халларда денениң туұры сызық бойлап қозғалатуғынлығы бақланбайды.

2. Эллипс тәризли траектория бойынша қозғалыс. Егер космос аппаратының басланғыш тезлигинің бағыты радиал бағытқа параллел болмаса, онда оның қозғалыс траекториясы орайлық денениң тартылысы сыяқты 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 тезликтің 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, эллипстинң фокуслары деп сондай нокатларға айтылады, бул нокатлар менен эллипстинң ықтыярлы нокатын тутастырыўшы кесиндилердиң қосындылары өзгермейтуғын шама болады. Эллипстинң еки фокусы арқалы өтетуғын көшер оның *үлкен көшери* деп аталады. Үлкен көшердиң жартысы *үлкен ярым көшер* деп аталып жасалма жолдастың аспан денесинен орташа узақлығын тәрипплейди хәм a хәрипи менен белгиленеди. Ықтыярлы ўақыт моментиндеги жолдастың тезлиги v , оның тартыў орайынан узақлығы r хәм эллипстинң үлкен ярым көшери a менен төмендегидей байланыс-ды:

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

Орайлық тартылыс майданында эллипс бойынша қозғалыўшы денениң айланыў дәўири T болса эллипстинң 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 көриніп 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 Қуяш 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:

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

Себеби теңликтің еки тәрәпин де m ге көбейтсек биз қозғалыс муғдары моментинің сақланыу ызамын 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 ушын 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

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

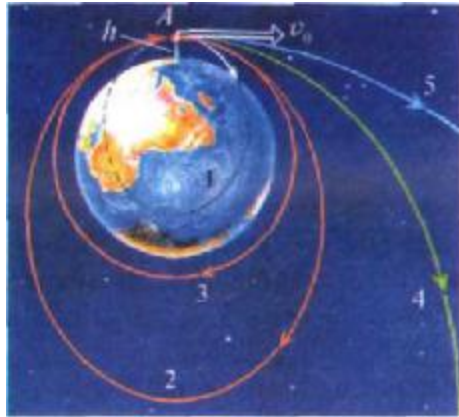
ямаса

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

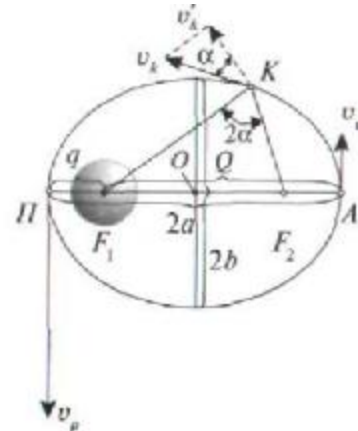
болады. Бул жерде K_{\oplus} ның Жердің гравитациялық параметри екенлигин билген халда оннан ықтыярлы r қашықтықтағы шеңбер тәрізлі орбитаға сәйкес тезликти аңсат табыу мүмкін. Бул жағдайда $r = R_{\oplus} + h$ болады (R_{\oplus} Жердің радиусы, h болса космос аппаратының Жер бетінен бийиклиги). Егер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

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

биринші космослық тезликти тәріптейді. 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. Апогейі шексізлікте «жатырған» эллипс тәрізлі орбита дурыс эллипс бола алмайды (4-орбита). Бул жағдайда аппарат тартыу орайынан шексіз қашықласып, туйық болмаған иймек сызық - парабола бойынша қозғалады. Космослық аппарат тартыу орайынан узақласқан сайын тезлиги киширейип барады. Эллипс бойынша қозғалыста тезликти есаплау формуласы (1) ден шексізлікте $a \rightarrow \infty$ 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 ушын екінші космослық тезликтің шамасы 11,186 км/с ди қурайды.

Биринші 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. Гипербоалалық 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 нолге 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 гипербоалалық арттырмасы) деп аталады.

Гипербоалалық траектория тартыу орайынан уақта гипербола асимптоталары деп аталыушы тууры сызықлардан дерлик парық қылмайды. Соның ушын үлкен уақтықта гипербоалалық траекторияны тууры сызықты траектория деп атау мүмкин.

Параболалық хәм гипербоалалық траекторияларда жоқарыда келтирилген еки теңлеме де орынлы бола береді. Тартыу майданында космос аппаратының пассив қозғалысы биринші болып планеталар қозғалысының эллипс тәрізлі екенлигин ашқан хәм олардың

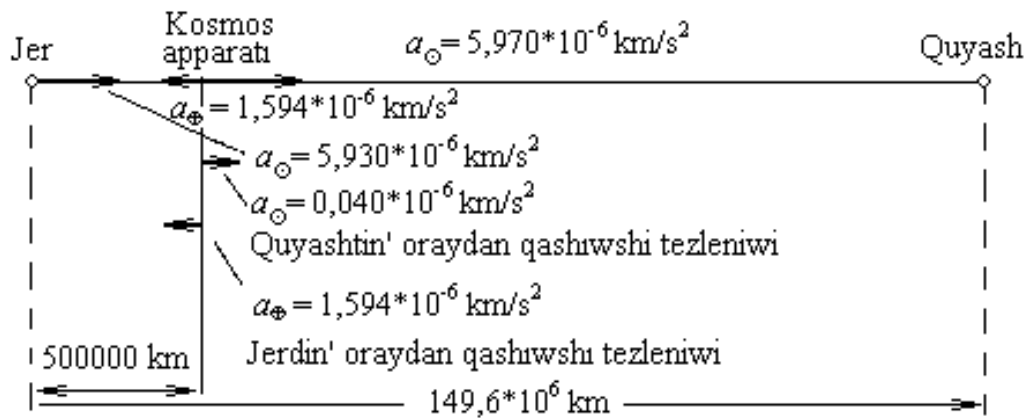
қозғалыс нызамларын анықлаған немис алымы И.Кеплердің құрметіне Кеплерлік қозғалыс деп аталады.

Тәсір сферасы хәм космослық аппаратлардың траекторияларын жууық есаплау

Космос аппаратлардың Кеплерлік орбиталары ҳақыйқый 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 ҳақыйқый траекториясына тәсір етиуиниң нәтийжесинде оның қозғалысын үйрениуде есапқа алыныуы лазым. Бирақ жүдә әпиуайы болғанлығы себепли хәм усы ўақытларға шекем жақсы үйренілгенликтен Кеплерлік қозғалыстан бас тартыу мүмкин емес. Соның ушын Кеплер орбитасы қозғалыстағы денелер ушын таяныш орбита сыпатында қабыл қылынып, әдетте басқа факторлар беретуғын тәсірлер орбитаны есаплауларда айырым түрде итибарға алынады. Басқаша сөз бенен айтқанда денениң қозғалыс траекториясы дәллестириледи.

Сыртқы аспан денелери тәрәпинен Жер әтирапында қозғалатуғын космос аппаратына берилетуғын гравитациялық тәсірлерди (Қуяш мысалында) есаплайық (сүўретте көрсетилген).

1. Жерден 500000 км қашықлықтағы космос аппараты Қуяштан 149100000 км қашықлықта болып, оған Жердің 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 әтирапынан 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 ($5,930 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$) тезлениўлердің айырмасы $(5,970 - 5,930) \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2 = 0,040 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ менен Жердің космос аппаратына беретуғын тезлениўи - $1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$ салыстырылыуы лазым. Табылған орайдан қашыўшы тезлениў ($0,040 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$) космос аппаратына Жер тәрәпинен берилетуғын тезлениўдің (яғный, $1,594 \cdot 10^{-6} \text{ км}^3/\text{с}^2$) 2,5 процентин ғана қурайды.



Жердің Қуяшқа салыстырғандағы тәсир сферасын бахалау.

2. Енді космос аппаратының гелиоорайлық (яғный 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 тәсирінің әдеуір сезилерли екенлиги анықланады.

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

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

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

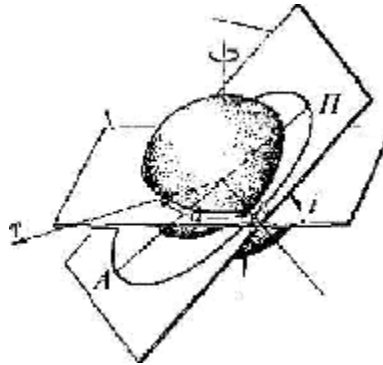
аңлатпасының жәрдемінде табылады.

Космос аппараты бір дененің тәсир сферасының шегарасын кесип өткенде ол тартылыстың бір орайлық майданынан екіншисине өтеди. Космос аппаратының хәр бір тартылыс майданыдағы қозғалысы усы майданларға салыстырғанда өз алдына Кеплерлик орбитаны (конуслық кесимлердің бирин) қурайды. Тәсир 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 бәхәрғи күн теңлесіў ($^\wedge$) нокатынан мүйешлик узақлығы.

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

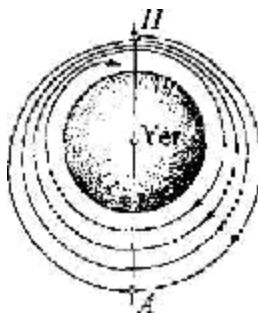
Жер атмосферасында жасалма жолдас орбитасының эволюциясы

Жер атирапында 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 с шамасының мәниси 2-2,5 арасындағы өлшемсиз қарсылық коэффиценти, S - жолдастың максимал көлденең кесими, v_{nis} жолдастың сыртқы орталыққа салыстырғандағы тезлигин тәрипплейди.

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.

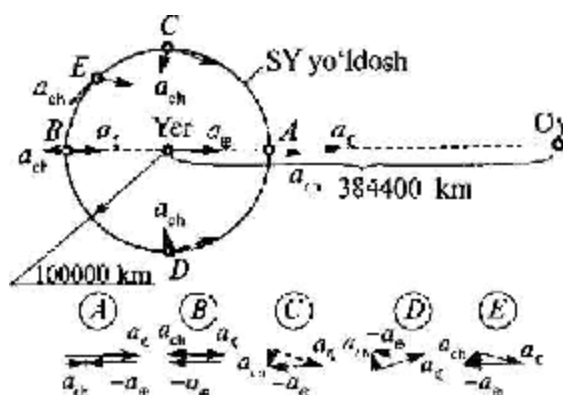
110-120 км бийикликтен бастап (төменге қарай), атмосфераның тығызлығының тез өсетуғынлығына байланысly жасалма жолдас гезектеги айланыўын жуўмақлай алмай, Жерге қулап түседи. Соның ушын 86,5-86,7 минутлық дәўир менен айланыўшы жасалма жолдас ушын бундай бийиклик кәўипли болып есапланады. Эллипс тәризли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

Жасалма жолдаслардың қозғалыстарына 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 тутастырыўшы сызық бойынша «деформацияланады» (созылады) екен.

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



Жердиң жасалма жолдасы қозғалысына Ай менен Қуяштың тәсири.

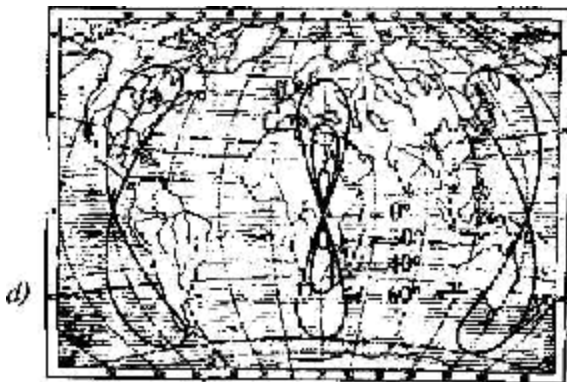
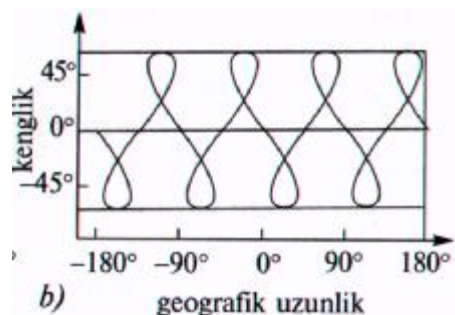
Сызылманың төменги бөлиминде сәйкес ноқатларда жасалма жолдасқа Ай беретуғын тезлениў кери белги менен алынған Жердиң Айдың тәсиринде алған тезлениўиниң қосылыўынан пайда болған орайдан қашыўшы тезлениўлер келтирилген.

Жасалма жолдаслардың Жердің бетине салыстырғандағы қозғалысы

Жасалма жолдаслардың Жердің бетине проекциясы деп Жердің орайы менен жасалма жолдасты тутастырыушы туұры сызықтың Жердің бети менен кесискен нөқатына айтылады. Жасалма жолдастың Жер этирапында айланыуы даұамында қалдырған оның сондай проекцияларының геометриялық орны жасалма жолдастың *трассасы* деп аталады.

Жасалма жолдастың трассасы Жер бетіндегі сондай нөқатлардың орны болып табылады, бул нөқатларда сутканың хәр түрлі ўақытында жасалма жолдас зенит арқалы өтеді.

Жердің айланыуына байланысly жасалма жолдас трассасының Жер экваторын кесип өтиу мүйеши жасалма жолдас орбитасының экваторға аұысыу мүйешинен парық қылады. 45-сұўретте хәр түрлі дәўирлер менен айланыушы жасалма жолдаслардың трассалары келтирилген. Олар ишинде Жердің айланыу дәўирине тең дәўир менен айланыушы жолдасының трассалары адам дыққатын өзине тартады (45-d сұўрет). Олар «8» түрінде болып, жолдас орбитасының Жер экваторы тегислигине қыялығына байланысly рәўиште оның «бойы» өзгерип турады. Қыялық қанша киши болса, «8» диң бойы да соншама киши болады. Егер аұысыу мүйеши нолге тең болса ($i = 0$) трасса да экваторда жатыушы нөқатына 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 тұрған бақлаушысына жасалма жолдас барлық ұақытта да зенитте көринеди (басының үстинен басқа тәрепке жылжымайды). Бундай жолдаслар *геостационар жолдаслар* деп аталады.

Орбитадағы маневрлар

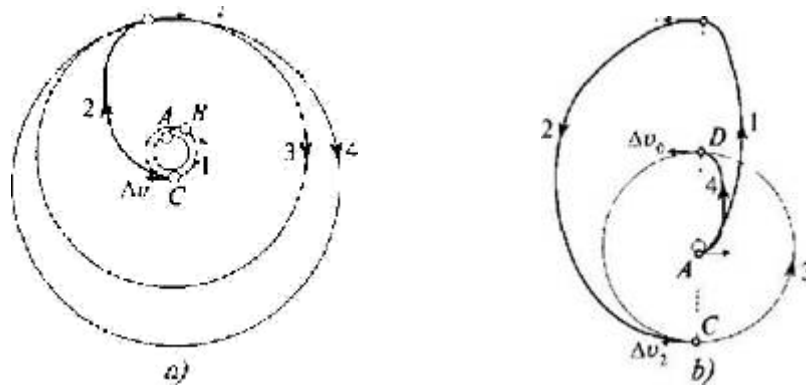
1. Жасалма жолдастың орбитасының бийикликлерин өзгертиұ.

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.

Орбиталлық маневр әдетте жолдас бортындағы ракета двигателлери жәрдемінде 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 процессінде 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 дәслең Жер этирапындағы 1-орбитаға шығарылады. Соңынан С ноқатында қосымша берилген Δv_1 тезлик импульсы жәрдемінде 2-эллипс тәризли орбитаға өткериледи. Бул орбитаның апогеи мөлшерленген 3-орбитаға урынып өтетуғын қылып таңлап алынады. Жасалма жолдас D ноқатына жеткенде тезликтин екинши импульсы Δv_2 жәрдемінде ол бийигиректеги мөлшерленген шеңбер тәризли орбитаға (3) шығарылады. Егер ЖЖ ты перигеи D ноқаты болған эллипс тәризли 4-орбитаға шығарыұ талап етилсе әдетте екинши 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 бийікліклерін өзгерту бойынша маневрлар; б) екі хәм үш импульслы маневрлерди салыстырыу.

Мысал ретінде Жер этирапында мөлшерленген орбитаға жасалма жолдасты шығарыудың екі усылы менен танысып, олардың қаншама экономлы екенлигин анықлайық. Жер бетинен (А) берілген 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 өтетугын қылып таңлап алынады. Ең ақырында жасалма жолдас С ноқатына жеткенде, ол тормозлаушы Δv_2 тезлик импульсы жәрдемінде мөлшерленген 3-орбитаға шығарылады.

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

Қыялымызға келтирейик, жасалма жолдас Жер этирапында 200 км бийікликте $v = 7,789$ км/с тезлик пенен шеңбер тәризли қозғалатуғын болсын. Орбитаның белгили бир ноқатында оған 10 м/с қосымша тезлик берілгенда 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 байланысты 34 кмге көтеріледі екен. Демек хәр 1 м/с қосымша тезлик жолдас орбитасын оның апогейінде 3,4 км ге көтереді екен деген сөз.

2. Жасалма жолдастың орбита тегислигин өзгертіу. Орбитаның басқа параметрлерін (тезлик, экваторды кесіп өтіу ноқаты хәм бийиклиги) өзгертілмеген 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

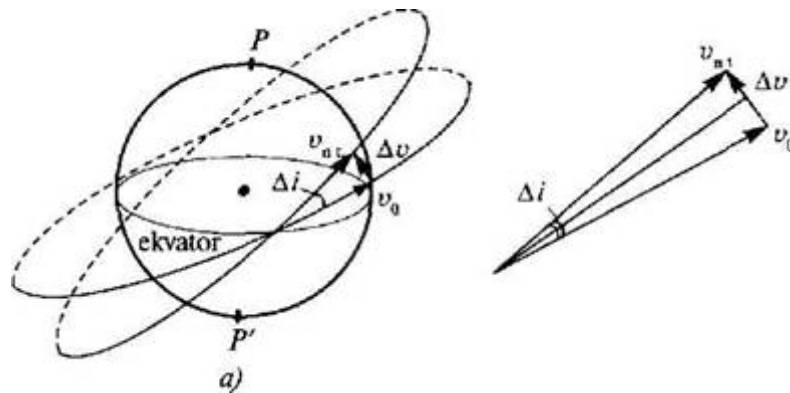
$$\frac{\Delta v}{v_0} = \sin \frac{\Delta i}{2}.$$

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 зәрүр 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 зәрүр 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 зәрүр болған тезлик импульсы екінши 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 екінши 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 жәнede 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 өткениміздей, 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 $K_{\oplus} = 4 \cdot 10^5 \text{ км}^3/\text{с}^2$ хәм орбита радиусы $r = R_{\oplus} + 200 \text{ км} = (6370 + 200) \text{ км} = 6570 \text{ км}$ ге байланысly анықлаймыз. Бул шама төмендеги аңлатпадан табылады:

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

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

Ярым эллипс тәризли орбитаның үлкен ярым көшери болса

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

Бул жағдайда Гомон траекториясының апогейіндеги космос аппаратының тезлиги:

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

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

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

болатуғынлығы көринеди.

Енди Айға ушып барыу уақытына 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.

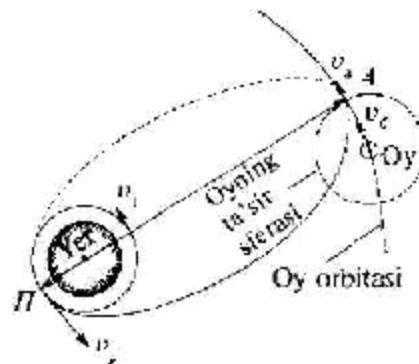
K_{\oplus} хәм π лердің белгили болған мәнислеринен:

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

Бундай жағдайда t ушыў ўақытының T дәўирнің ярымына теңлигинен

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

болады.



Айға ушыў траекториясы.

Апогейинде Ай орбитасына шекем көтерілетуғын созылған өтиў орбиталарының үлкен көшери космос аппаратын аралық орбитаға урынып көтериў тезлигиниң үлкенлигине байланыслы болып, ол ± 2 м/с қәтелик пенен аралық орбитадан көтерилсе, апогейинде оның бийиклиги ± 8000 км ге өзгереді. 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 көрсетеді.

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

Айдың бетине қоныў

Космос аппаратының Айға жақын қашықтықлардағы 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 екінші 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 төменлеуі хәм ол Ай тәсир сферасына Айға салыстырғанда $0,831 \text{ км/с}$ тезлик пенен киретуғынлығын (алдыңғы параграфқа қараң) итибарға алсақ оның Айдың бетине екінші космослық тезликтен үлкен тезлик пенен түсетуғынлығын аңлау қыйын емес.



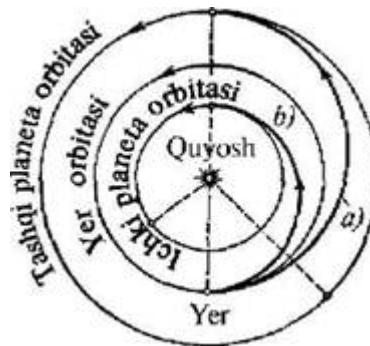
«Аполлон» экипажының Ай бетинин жыныслар жыйнап атырған пайыты.

Усы сыяқлы космос аппаратын Айдың бетине әсте-ақырынлық пенен қондыруу үшін оның тезлигин тормозлаушы импульс жәрдемінде сәндириуге 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 киргизиуши 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 ушыў траекториялары

Космос аппаратын планеталарға ушырыў траекторияларын есаплаўлар қурамалы болып, егер планеталар Қуяш этирапында белгили бир тегисликте шеңбер тәризли орбиталар бойынша қозғалады деп қаралса мәселениң шешими бир қанша жеңиллеседи. Бул жағдайларда эпиўайыластырыў 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 курайды.



Гомон орбиталары бойынша планеталарға ушыў траекториялары:

а - сыртқы планеталарға ушыў траекториясы;

б - ишки планеталарға ушыў траекториясы.

Планеталар бир тегисликте жатыўшы шеңбер тәризли орбиталар бойынша қозғалады деп есапланғанда планеталар аралық ушып өтиў траекторияларын есаплаўлар бурын қарап өтилген жасалма жолдаслардың шеңбер тәризли орбиталары арасындағы өтиў траекторияларын (Гомон орбиталарын) есаплаўларға 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 $K_{\odot} = 887,153 \text{ (км}^2\text{*а.б.)}/\text{с}^2$ қа тең. Енди бул шамаларды

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

аңлатпасына қойсақ, гелиоорайлық орбита бойынша қозғалатуғын дененің тезлигин бул формула жәрдемінде есаплау қалай 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 сүўрет). 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

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

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 урыныу 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 есапка алынбаған Юпитер орбита бойынша қозғалатуғын космос аппаратының артынан төмендеги тезлик пенен қуып киятырған болады:

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

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

Планеталарға ушыуда Жер хәм ушып барылатуғын планетаның тартыу күшин есапқа алыу

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

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

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

Тап усындай нәтийжеге буннан бир қанша киши характеристикалық тезлик пенен де ерисиу мүмкин. Буның ушын космос аппаратының толық тезлестілиуіне илажы барынша Жердің бетине жақын ноқатта ерисиу лазым. Жоқарыда көргениимздей басланғыш (старт пайытындағы) тезлик, екинши космослық тезлик хәм 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 ІІІ нызамына 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 нызамының аңлатпасынан табамыз (оң тәрәптеги аңлатпа Жер үшін):

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

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

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

Буннан космос аппараты гомон орбитасының апогейинде Юпитер менен ушырасуу ушын Юпитер $0,0831$ град/сутка мүйешлик тезлиги менен t уақыты ишинде $\theta = 0,0831^\circ \cdot 996,8 = 82,8^\circ$ мүйешлик аралығын өтиудің зәрүрлиги анық болады. Сонлықтан космос аппараты Жерден көтеріліп атырған пайытта Юпитер Жерден гелиоорайлык 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, Юпитерді хәр суткада

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

мүйеш үлкенлигиндеги шама менен қуып барып, старт мүддеті Юпитердің Қуяш пенен қосылуынан

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

алдын берилиуінің лазым екенлиги жоқарыдағы есаплаулардан анық көринеди. Юпитердің Қуяшқа салыстырғанда белгили бир халы (қарама-қарсы турыуы ямаса қосылуы) планетаның синодлық дәуірі менен қайталанып турыуын итибарға алсақ, Юпитерге оптимал Гомон траекториясы бойынша ушыу ушын қолай момент. Тап усы синодлық дәуір 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 тәрізли. Соның ушын да бул планетаның Қуяштан узақлығы $0,31$ дан $0,47$ астрономиялық бирлікке шекем өзгеріп турады. Планетаның Қуяштан орташа узақлығы 58 миллион километрди қурайды. Меркурийдің диаметрі 4880 километр болып, оның бетинде тарту күші 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) көтерілген халда, түнде болса -180 градусқа шекем төменлейди. Бірақ соны да айтыў керек, планета бетинің майда топырағы жыллылықты жаман өткізетуғынлығына байланысly бир неше он сантиметр тереңликтеги температура бетинің температурасынан кескин парық қылып, +70...+90 °C ны курайды хәм жүдә әстелик пенен өзгереди. 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 береди. 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 кураған молекула хәм атомлардың тәртипсиз жыллылық қозғалыслары артады. Ақыбетинде белгили бир тезликке ерискен ҳаўа молекулалары планетаны пүткиллей таслап кетеди. Тап усы себептен Жер ҳәр 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 беретугын 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 ҳайран қалдырды.

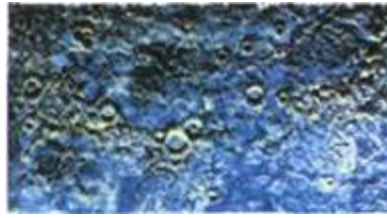
1975-жылдың 16-мартында «Маринер-10» ның Меркурийдиң қасынан үшінши рет өтиўи планетаның магнит майданының бар екенлигин анықлаўға имканият берди. Бул жағдайда автомат станция планета бетинен тек ғана 320 километр ғана келетуғын бийикликтен өтти хәм оның экватор районында 3,5 эрстед, полюсларында болса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

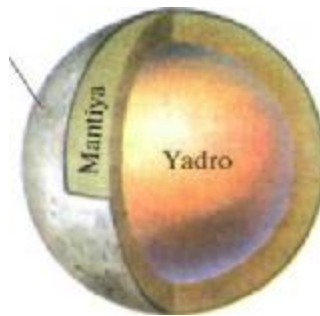
Меркурийдиң жолдасы жоқ.



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 гүўасы болды. Бул қубылыс Венераның да Ай сыяқлы сфералық формадағы аспан денеси екенлигиниң дәслепки дәлили еди. Венераның үлкенлиги Жердиң үлкенлигинен азмаз киши болып, диаметри 12 мың 100 километрди курайды.

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

Планетаны космослық аппаратлар жәрдемінде изертлеулер XX әсирдің 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 айналады).

«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 тәбийй 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 қаддилерине 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.

Жуўмаклап айтқанда Венераға ушырылған космослық аппаратлар жәрдемінде Венера атмосферасы хәм бетине тийисли төмендеги жаңа мағлыўматлар қолға киритилди: планета атмосферасының басымы жүдә жоқары болып, алымлар ҳеш күтпеген шаманы - 90 атмосфераны 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 °C 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.

Арнаўлы 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 ҳәм қалың атмосфера менен қапланған Венера бетіндеги температураның буншама жоқары (+480 °C) 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. Бирақ CO₂ 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 ҳаяллардың 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 байланысly көп жумбақлар елеге шекем өзлериниң шешимлерин табыў ушын гезек күтпекте.

Венераның тәбийий жолдаслары табылмаған .



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



Венераның ишки дүзилиси.

Жер - планета

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

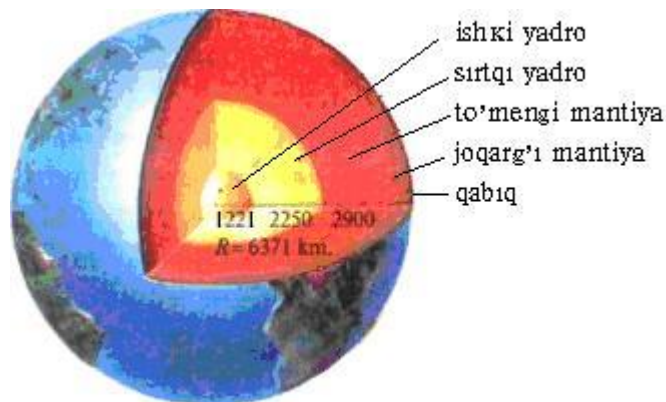
Жер өз көшери әтирапында 23 саат 56 минут 4 секундта бир рет толық айланып шығады. Бул оның хақыйқый айланыу дәуири болып есепланады. Бирақ оның Қуяшқа салыстырғанда орташа айланыу дәуири бираз узынырақ болып, дәл 24 саатты қурайды. Планетамыздың Қуяшқа салыстырғанда айланыу дәуиринің узынлығы Қуяштың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

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

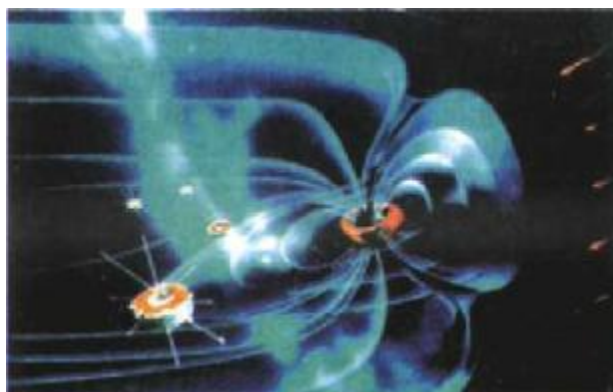


Жердің Ай бетінде тұрып алынған сүрети.

Жер *гидросферасына* (Жер жүзіндегі қатты, сұйық хәм газ халындағы затлардың жыйнағы) байланысly басқа планеталардан кескин парық қылады. Онда тек сұйық халдағы суудың көлемі 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 дүзилісі.



Жер магнитосферасының структурасы.

Суў өзиниң әжайып қәсийетлерине байланысly Жерде оптималлық жыллылық режиминиң жүзеге келиўинде 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 қадди 60 метрге көтерілип, 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 тәрепке 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 тексерий 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 кернеўлилиги 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 узақлығы бираз өзгерип турады. Ол Жерге ең жақын келгенде 363400 километр, ең узақласқанда (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. Дәслепп 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 әтирапында қызыл реңли оның атмосферасы («тажы») көринеди. Протурберанецлар Қуяш диски әтирапында 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 сәуленің 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 әтирапын 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 (сүўретке қараңыз). Ай аспанында Жер шырайлы, көкшил шар тәризли, Айдың Жер аспандағы өлшемлеринен төрт есе үлкен болып көринеди. Бирак Жердің ярымынан көпшилиги ақ бултлар пайда қылған дақлардан ибарат болады. Жер континентлері бираз өзгешеликлерге ийе болып, океанлардан реңі менен парық қылып турады. Қалың Жер атмосферасы оларды бөлек-бөлек көриўге имканият бермейди. Жер де аспандағы Ай сыяқлы хәр қыйлы фазаларда көринеди. Бул хал оның Қуяшқа салыстырғанда Айдың қайсы тәрепте турғанына байланысly болады. Жер өзиниң «толық Жер» фазасында болғанда Ай бетин толық Айдың Жерди жақтыртқанлығынан 40 есе күшлирек жақтыртады. Ай аспанда «толық Жер» бақланатуғын ўақыт Жерден қарағанда, Айдың жаңа Ай болған ўақытына туўры келеди. Соның менен бирге аспандағы Жер шары этирапында концентрлик қалқалар тәризли тоқ қызыл, сары, көк хәм басқа да реңлерден ибарат шырайлы сүўрет бақланады. Егер космонавт Ай тутылып атырған ўақытта Айда саяхатта болса, онда ол Қуяштың тутылыўын бақлайды (яғный Қуяштың Жер тәрепинен бекитилип атырған болады) хәм бул тутылыўының толық фазасы Жердегидей бир неше минут ғана даўам етпей, дерлик 1,5 саатқа созылады.

Жерде Әлемнің Арқа полюсы киши жети қарақшы 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 тәризли қозғалатуғындай болып көринеди (Айдың өз көшери этирапында айланғанлығына байланысly). Айда адасқан адамның аўхалы да бир қанша мүшкил болады. Айдың магнит майданының жоқлығына байланысly ол Жерде компастан пайдаланыўдың кереги жоқ. Айда тек аспандағы жұлдызлардың турған 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. Бирақ усы менен бирге онда Жердикине уқсас объектлер де көппеп табылады. Айда да төмен ойпатлықлар, бийикликлер, таўлар бар (сүўретте берилген). Бул объектлерди биринши рет Италия алымы Г.Галилей 1610-жылы өзи соққан телескоптың жәрдемінде Айды бақлап тапқан. Ол

ойпатларға «теңизлер» деп ат берген. «Теңизлер» деген ат шәртли рәуиште хәзирге шекем қолланылса да, ҳақыйқатында Айда суў жоқ.

Ай бетинде де Жердеги сыяқлы вулканлардың атылыў қубылыслары болып турыўын 1958-жылы рус алымы Н.А.Козирев анықлады. Усы жылы алым Алфонс кратеринен газлердиң 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 қурамы, Ай силкиниў хәм вулкан қубылысларын, космослық нурларды хәм сол сыяқлы көплеген қубылысларды узақ ўақыт даўамында үйренип, қоңсымыздың миллионлаған жыллар даўамында сақлаған сырларын ашып берди.

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



«Аполлон» космос кораблиниң экипажының Ай бетинде жүриў пайыты.

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

«Тынышлық теңизи» нен алынған үлги («Аполлон-11») 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, кобальт, ванадий хәм скандий болса керисинше көбирек болып шықты. Егер Жер менен Ай жынысларының химиялық қурамы ҳаққында 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 үйрениўдің қандай пайдасы бар деген сораў туўылады. Айды үйрениўдің 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 үйрениўдің толық имканияты бар.

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

Қуяштағы актив қубылыстар 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 үйрениу 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 ҳаққында 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 тәрепинен «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 бериу» хәзирше қыйын болса да, Айдың ишки структурасын хәм жасын терең үйрениу жақын келешекте бул космогониялық машқаланы шешиуіге имканият береді деп үмит қылыу мүмкин.

Марс

Урыс қудайы Марс аты менен аталатуғын Жер типиндеги төртинши бул планетаның орбитасы Жер орбитасынан сыртта жатады. Оның Қуяштан орташа узаклығы 228 миллион километр. Марс Қуяш этирапында айланып, хәр 780 суткада Жерге жақынласып турады. Бундай жақынласыу *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 тәмийинлеуші себеп, яғный оның айланыу көшеринің орбита тегислигине қыялығы да Жердикинен аз парық қылып, $65^\circ 12'$ қа тең. Бирақ Марс жылының узынлығы бизикинен бір қанша артық болып 687 Жер суткасына (яки 669 Марс суткасына) тең. Планетаның 35° кеңлигинде гүз мәусимінде түс пайытындағы температура -20°C , кешкурун -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 кәддиндеги 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 курамы 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 кураса да, мәусимлик өзгерислер менен байланысly 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 усындай боран көтерилип Марстың бетин шаң бизден тосып

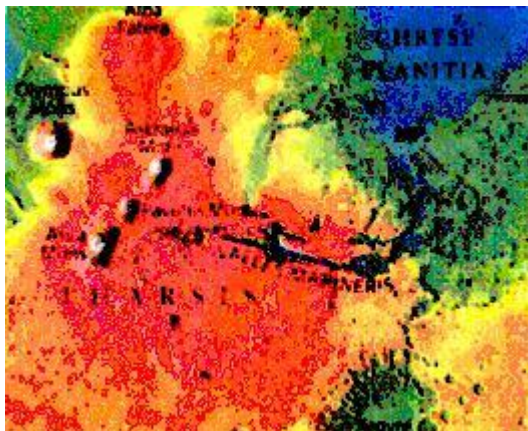
койды. Бул дәүирде көтерілген хәм пүтин планета дискисин қаплаған қызғыш шаң бултлары хәтте оның «полюс қалпақ»ларын да көриўге имканият бермеди. 1971-жылдың декабрь айында бурынғы Союздың «Марс-3» хәм АҚШ тың «Маринер-9» космослық аппаратлары боран ең күшейген пайытта планетаның көринислерин өз ишине алатуғын 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 дүзилислерден ибарат болып, олардың ишинде айтарлықтай үлкен майданлы кратерлер ийелейди. Кратерлер ийелеген орынлар арқада экватордан 40 градуслы кеңдиклерге шекем жеткен халда, түсликте болса экватордан 80 градуслы кеңдиклерге шекем жайылады.

Марстың 20 дан 55 градусқа шекемги арқа кеңдиклери 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 әжайып 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.



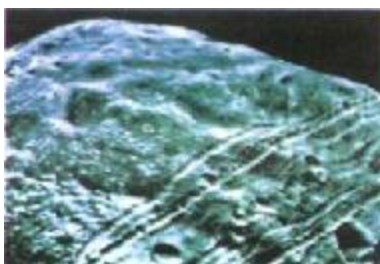
Марстың Эллада, Тарсис хәм Аргир ойпатлықтарындағы оазислердің көриниси.



Марстың Ниргал деп аталған дәрйясының сүўрети (узынлығы 400 км дан артық).



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



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» - дәрйя аңғарлары болып табылады. Олар ишинде 30 градуслар шамасындағы түслик кеңликте жайласқан Ниргал деп аталған дәрйя 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 тәрепте 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 тәрептен ескен күшсиз самал ярым түннен соң түслик-шығыс тәрептен ескен самал менен алмасты, оның максимал тезлиги секундына 6-7 метрге жетти, басым 7,7 миллибарға тең болып, ерте таңда температура $-85,5^{\circ}\text{C}$ 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 уақыт өтпей ажыралып атырған газ муғдары кескин кемейе баслады. Үш сутка өткеннен кейин, бул тәжирийбе қайталанғанда тап сондай кубылыс қайтадан көринди. Бирақ екінши эксперимент ушын мөлшерленген әсбапларда ассимиляцияға тийкарланған тәжирийбе де планетада микроорганизмлар бар деген 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 «урыс қудайы» нда тиришиликтің ең әпиұайы түрлери - микроорга-низмлар бар деген қарарға келиўлери 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 тәризли 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 жүриў 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 «туўылған» деп айтыўға ҳеш қандай тийкар жоқ. Планетаның бул еки «Айы» Марстан узақ болмаған майда планеталар орбитасынан адасып шығып, бир неше онлаған миллион жыллар бурын «урыс қудайы» ның тәсирине дус келген хәм ол менен «жипсиз байланысқан» аспан денелери болып табылады. Ең 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 қашықтықта айналады. 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 айналады. Планетаның хәр қыйлы кеңликлериниң хәр қыйлы мүйешлик тезлик пенен айланыуларына себеп оның дүзилиси бойынша қатты болмай, газ-сұйық халындағы аспан денеси екенлигинде болып табылады. Буның үстине оның көринген бети планета атмосферасында «жүзип» жүриуши бултлардан қуралған.

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

Юпитердің көлеми Жердің көлеминен 1314 есе артық, Бирақ бул планетаның тығызлығы Жертикинен 3,5 есе кем болса да, үлкенлигине байланысly 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 қарағанда оның бетинде хәр қыйлы объектлер бақланады. Олар ишинде тәбияты хәзирге шекем жумбақлығын сақлап киятырған объектлер - ени бир неше мың километрге шекем жететуғын оның экваторына параллел қара-қызғыш жолақлар болып есапланады (86-сүўрет).

Бул жолақлар соңғы жыллары алынған нәтийжелар тийкарында планета атмосферасының қалың бултлары деп түсиндириледи. 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 етеди.

Юпитердің әйемгі «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 тәрепке, гейде екнши тәрепке 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 узак 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 гелийдің өз «автограф» ын қалдырмағанлығы алымларды узак ўақыт тынышсызландырды. Себеби теориялық есаплаўлар бойынша гелийдің 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 гелийдің бар екенлигин мәлим қылғанда, астрономлар «жеңил дем» алды. Бул алынған мағлыўматлар гелийдің 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 қашықтығына шекем созылған ишкі 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 нурланыу 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 қашықтыққа 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 ислеитуғын 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 көрсетиуінше, бундай радиошақмақлардың дереги қууаты бойынша Жер-

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

Юпитер Қуяштан Жерге салыстырғанда 5 есе үлкен қашықтықта 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.

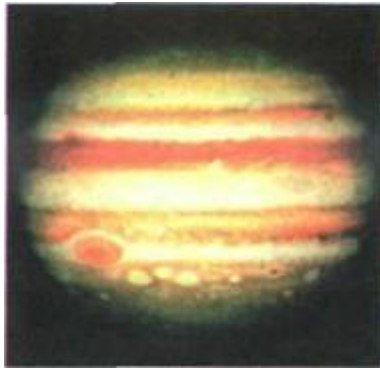
Планета хаққында қолға киргизилген ең соңғы мағлыұматлар тийкарынан бул үлкен планетаның ишки дүзилисиниң математикалық моделлестирилиуи болып табылады. Бул моделге сәйкес Юпитер атмосферасының бийиклиги 2 мыңнан 6,5 мың километрге шекем созылған. Егер атмосфераның орташа бийиклиги 4,2 мың км деп алынса 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» курайды. Оның табылған жолдасларының саны майдалары менен қосып есапланғанда 50 ден асып кетти. Планетаның бул «Ай» ларының төрт ең ириси 1610-жылы Г.Галилей тәрөпинен 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 қашықтықта айланыушы Амалтея кире-ди. Бул топардың Юпитерден ең узақта жайласқан жолдасы - Каллисто планетадан 1,8 млн километр қашықтықта оның этирапында 16,7 Жер суткасына тең дәуир 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: $3,2-3,6 \text{ г/см}^3$ тен (Ио ушын) $1,6 \text{ г/см}^3$ ке шекем (Каллисто ушын). «Пионер-10» ның анықлағаны бойынша Ганимед хәм Ионың бетинде атмосфера бар. Ганимедтиң бетиндеги температура -115°C 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 жактыртылық температуралары менен салыстырыў жоқарыдағылардың дурыслығын көрсетеди (Каллисто ушын -90°C , Ганимед ушын болса -105°C). Бул планеталар ушын есапланған тең салмақлық нурланыў температурасынан бир қанша жоқары болып, оның дереги көп километрли муз қатламы астында «жасырынған» деп айтыўға тийкар береді. Ең жоқары температура Иода бақланып, бул температураның соншелли үлкен болыўына байланысly алымлар бул жолдас күшли магнит майданына хәм радиациялық поясқа ийе деген гипотезаны усында. 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 ҳаққында ҳәзирги ўақытларға шекем жүдә кем мағлыўматларға ийемиз. Екинши топардың ири ағзаларының саны болса 8 дана.

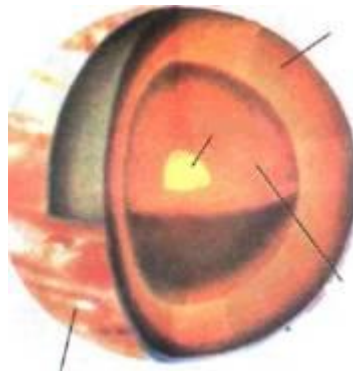
Үшинши топар жолдаслары планетадан орташа 23 млн километр қашықлықта шама менен 2 жыллық дәўир менен айланады. 1979-жылы март айында Юпитерден 278 мың километр қашықлықтан өткен АҚШ тың «Вояджер-1» хәм кейинирек «Вояджер-2» автомат станцияларының Юпитер хәм оның жолдасларын үйрениўде көрсеткен хызметлери 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 улығымалық көриниси.



Юпитердің бетинде бақланатуғын Үлкен қызыл дақ.



Юпитердің ишки дүзилиси.



Io



Yevropa

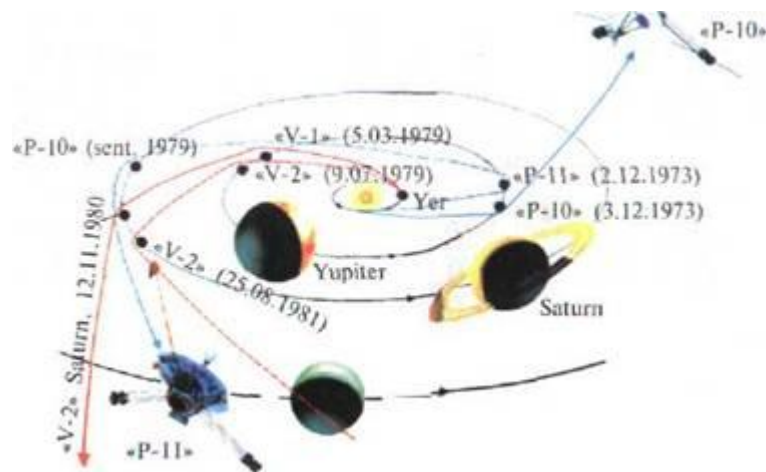


Ganimed



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

Соңғы жыллары үлкен планета Юпитер хәм оның жолдасларына тийисли болған бир қанша әсирлик сырлар «ашылған» болса да, хәзирги 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-карастан бир қанша арзан турады. Соның ушын да алымлар келешекте бул үлкен планеталық система ағзалары менен жақыннан танысыў мақсетинде гезектеги автомат станцияларды оның «Ай» ларының бирине қондырыўды жобаластырмақта.

Сатурн

Планета әйемги Римнің ўақыт хәм тәғдир қудайы Сатурн аты менен аталады. Бул планета шығыста Зухал, греклерде Кронос аты менен аталып, Қуяш системасының

қуралланбаған көз бенен көріу мүмкін болған ең соңғы планетасы болып табылады. Соның ушын Әйемги уақытлары узақ жыллар Сатурнның орбитасы Қуяш системасының шегарасы деп қаралған.

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

Сақыйналы бул планета орбитасы бойынша секундына 9,6 километр тезлик пенен қозғалып, 29 жыл 5 ай 16 суткада Қуяш этирапын бир рет айланып шығады. Сатурнның өз көшери этирапында айланыуы Юпитертики сыяқлы 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» турғанлығына байланысly оның сақыйнасы бақлаушыға перпендикуляр турғанлығында еди. Сатурнның Жерге салыстырғанда бундай «жанбас» тан турыуы 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 ушын 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 кууатлы 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 қууатланылды. Бирақ, 1934-жылы өзиниң Семей обсерваториясында (Қырым) өткерилген бир қатар нәзик бақлаулары тийкарында астроном Г.А.Шайн планета сақыйнасының шаңнан куралған 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 қашықтықтан өткен Американың «Пионер-11» автомат станциясы тәрәпинен қойылды. Ол өз бақлаулары 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 сўўретлеринде сақыйнаның онлаған, хәтте жүзлеген бир биринен ғәрезсиз сақыйнашалардан дүзилгенлигин хәм оның тегислигинде үлкенлиги 80 километрге шекем болған майда жолдаслардың айланатуғынлығын көрсетти (92-сўўрет). Бақлаулар планета бетиндеги температураның - 180 °C этирапында екенлигин мәлим қылды.

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

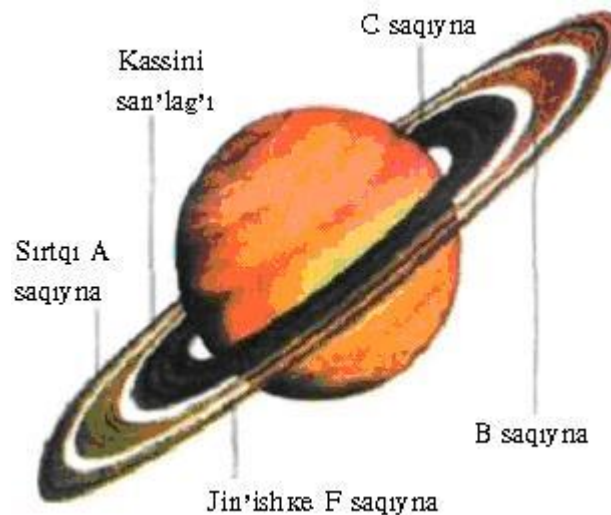
Планета атмосферасында да Юпитертикиндеги сыяқлы метан газы (CH_4) менен биргеликте аммиак (NH_3) ушырасады. Сатурнның бултларының тәбиятына тийисли машқалаларды шешиўде аммиактың тутқан орнының үлкен екенлигине байланыслы бундай газди планета спектринде табыў жүдә әҳмийетли еди. Бирақ планета атмосферасында аммиактың муғдары жүз мыңнан бир бөлимин ғана кураған болса да, онша дәл емес есаплаулар 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 дәслепп «Пионер-11» тәрeпинен анықланды. Жер хәм Сатурнның магнит майданларының бир биринен паркы соннан ибарат, бул планетаның магнит көшери оның айланыў көшери менен бетлeсeди.

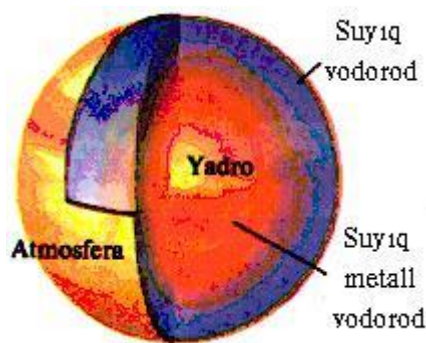
1655-жылы сақыйналы планетаның биринши жолдасын да Гюйгенс тапты. Планета жолдасларын табыўда айрықша Кассинидиң излениўлери жемисли болды. Гюйгенстен соң көп өтпей, ол бир биринен соң Сатурнның төрт жолдасын тапты.



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, Куяш системасындағы планеталардың «Ай»ларының үлкенлиги бойынша екинши 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 биринши болып анықлады. Кейинирек, Титан атмосферасында жеткиликли дәрежеде көп муғдарда водородтың бар екенлиги бақланды. 1980-жылы «Вояджер-1» Сатурн тусынан өтип баратырып оның 6 жаңа жолдасын тапты.

Ұаыт хэм тәғдир қудайына тийисли тийкарғы жумбақ оның этирапында бундай ири сақыйнаның пайда болыў тарыйхы болып табылады. Планета сақыйнасының пайда болыўын түсиндириўге бағышланған гипотезалар ишинде француз астрономы Роштың теориясы дыққатқа миясар. Бул теорияға сәйкес планетаның жолдаслары орайлық планетадан белгили бир критикалық 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 есаплаў егер планета жолдасларының бири оған усы қашықлықтан жақын келсе планетаның тартыў майданы жүзеге келтирген тасыў күшлери тәсиринде набыт болыў жүзеге келип, майдаланып кетеуғынынан дерек береди. Есаплаўлар жолы менен дәретилген бул теорияға байланыслы Сатурнның сақыйнасы әййемги ұақытлары планета жолдасларының бириниң «абайламай» оған жақын келгенлигине байланыслы майдаланып кетиўиниң ақыбети болып табылады.

Уран

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

Уранның диаметри 49 мың 600 километр, массасы 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.

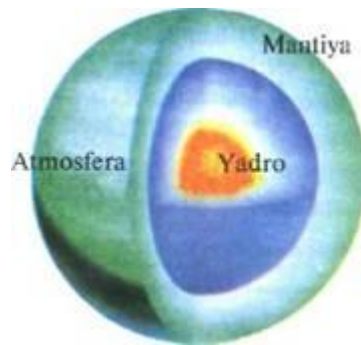
Уранның орбиталық тезлиги секундына 6,8 километрди қурайды хэм Қуяш этирапында 84 жылы бир рет айланып шығады. Бирақ планета өз көшери этирапында салыстырмалы тез айланады - суткасының узынлығы 10 саат 49 минут.

Планета бетиниң деталларын көрип болмаса да, бирақ онда дәўирли рәўиште бет жақтылығының өзгерип турыўы анық сезиледи.

Планетаның экватор тегислиги орбитасы тегислигине 98 градуслы мүйеш жасайды, оның айланыў бағдары Венераники сыяқлы барлық басқа планеталардың айланыў бағдарына қарама-қарсы болады. Бул хал өз гезегинде планетада жыл мәўсимлериниң хэм күндиз бенен түнниң алмасыўларына қызық бир түс береди. 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 етеди. Бирақ

Қуяштың тәсири оған шекем жақсы жетіп 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 ерисілген мағлыұматлар тийкарында 95-сүүреттегідей етип сәўлелендиреди.



Уран «жанбас» планета (оның ишки дүзилиси).



Уранның жолдаслары - Шекспир қахарманлары.

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

Уранның бұл жолдаслары табылғаннан соң 64 жыл өткеннен кейин астроном Лексел планетаның және екі жолдасын тапты. Бұл екі жолдас та Шекспир шығармасы қахарманларының атлары менен Умбриел хәм Ариел деп аталды. 1948-жылы Ж.Койпер Уранның бесинши жолдасын тапты хәм жоқарыдағыларға сәйкес, Шекспирдің «Боран» ертек-пъесасының 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 әтирапында планетаның айланыу бағыты менен бирдей бағытта айналады. Айланыу тегисликтери Уранның экватор тегислигине жүдә жақын.

Нептун

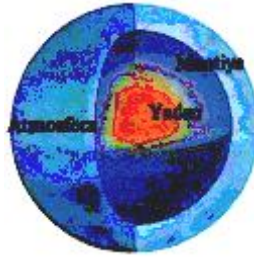
1820-жылға шекем Қуяш системасы тийкарынан төмендеги жети планета - Меркурий, Венера, Жер, Марс, Юпитер, Сатурн хәм Уран хәм олардың жолдасларынан куралған деп есапланатуғын еди.

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 бурылыу 90" қа, 1846- жылға келип болса 128" қа жетти. Астрономлар Уранның қозғалысындағы бул ауытқыу оның орбитасынан сырттағы басқа бир планетаның тәсирине байланысly деген қарарға келди.

Бундай курамалы математикалық мәселени шешиу ушын бир уақытта бир-биринен бийхабар халда еки астроном «бел байлады». Булардан бири француз математик У.Леверье, екіншиси 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 қашықтықтан тапты. Планета теңиз хәм океанлар қудайы Нептун аты менен аталды.

Бул планета аспанда «куралланбаған» 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 уақытлары 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 дүзилеси 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 Жердің 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 (сўўрет).

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 греклердің мухаббат қудайы Нерей қызының аты Нереида аты берилди. Оның диаметри 300 километр.

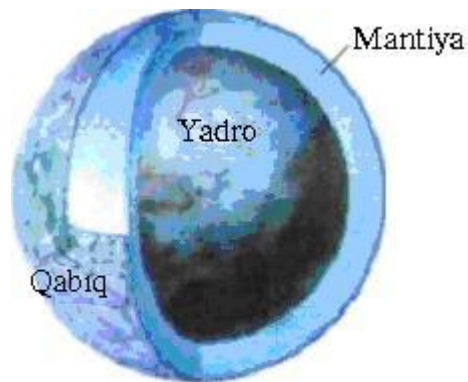
«Вояджер-2» космос аппараты 1989-жылы Нептунға жақынлады. Бул аппарат тәрепинен табылған оның бир неше жолдасы сўўретте келтирилген.

Плутон

Леверьениң табысларынан илхамланған инглиз астрономы Форбс 1880-жылы-ак Нептуннан узақта хәм 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 хәм қолда лупа менен фотопластинкалардан сыртқы планетаның «автограф» ын тыным таппай изледи. Бирақ барлық урыныўлар пайдасыз болып шықты. Нептунның арғы тәрәпиндеги 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 хәм 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 қашықтықтан 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 әтирапында болған бул планетаның физикалық тәбияты да усыған байланысly жақсы үйренилмеген.



Плутон хэм оның ишки дүзилиси.

Плутонның диаметри анық өлшенген жоқ. Есаплаулар оның 2500 километрден үлкен емеслигин көрсетеди. Оның жақтылығы 6,4 суткалық дәуір 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 ярым көшерлери

$$a=(0,4 + 0,3*2^n) \text{ а.б.}$$

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

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

Кесте

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

Титсиустың формуланы ашыуынан хабары болған 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 байланысly 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 дурысly нәтийже бермеди. Биринши болып Қуяштан шама менен 3 а.б. қашықлықта орын алған планетаны Палермо (Сицилия) обсерваториясының директори Джузеппе Пиацци 1801-жылдың 1-январындағы түнде Савр жұлдыз топарынан тапты.

Пиацци планетаны бир айға шекем бақлап, январдың ақырларында өзи ашқан жаңалық хаққында Берлинге хәм Миланға (Италия) хат жоллады. Бул 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 Юпитердің 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.

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

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

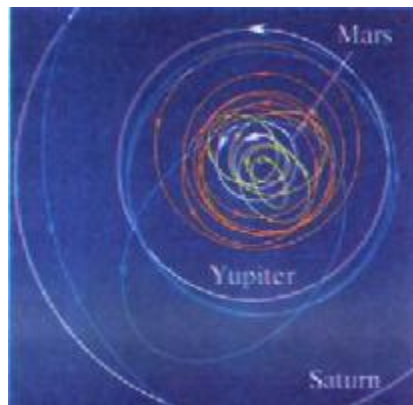
Майда планеталарға тийисли және бир қызық гәп соннан ибарат, олардың биразы табылғаннан кейин орбиталарын есаплаўға үлгермей турып-ақ жоғалтып қойылды. Усындай ҳалда «жоғалған» киши планеталардың планеталардың саны мыңнан артық. XX

әсирдің бірінші бес жыллығы (1901-1905 жыллар) аралығында табылған 300 майда планетаның ишинен 179 планета жоғалтып алынды. 1936-1940 жыллар дауамында табылған 1176 астероиддан болса дизимде тек 136 астероид беккем орын алды.

Бундай аўхаллардың алдын алыў ушын 1873- жылда Берлин есаплаў институты шөлкемлестирилди ҳәм 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 ҳәзирге келе 2000 ден артып кетти.

Астероидлар ишинде ең ирилериң өлшемлери де Жердиң радиусы менен салыстырғанда жүдә киши болып шығады. Олардан ең үлкенлери - Церера (көлденең кесими 1000 км), Паллада (610 км), Веста (540 км) ҳәм 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 ҳәм 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 дәйирли рәуиште бундай жақынласып турыўынан кәўетерлениўдин кереги жоқ. Себеби бундай астероидлардың орбиталарының есаплаўлары менен Халық аралық Астрономиялық Союздың бир топар алымлары турақлы түрде шуғуланады. 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 тийкаргы 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 дәйирде комадан Қуяшқа қарама-қарсы тәрепке карап жақты болып көринетуғын «қуйрық» созылады (сүўретте көрсетилген).

Комета Қуяшқа жақынласқан сайын кометаның диаметри де, «қуйрығы» ның узынлығы арта береді. Қызығы соннан ибарат, диаметри шама менен миллион километрге шекем болған комета ядросын ораўшы кома да, узынлығы бир неше жүз миллион километрге шекем жететуғын «қуйрық» та үлкенлиги тек бир неше километр келетуғын музланған киши ядродан, оның Қуяш температурасынан қызыўының себебинен ажыралып шығады.

Кометаның ядросы кома менен биргеликте оның басы деп аталады. «Бас» хәм «қуйрық» тан қуралған бул «жұлдыз» өзін илимге ҳәзирги 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 төгіспелер, 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 кубылыслардың 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 тәрeпинен, 1607-жылы Кеплер хәм Лонгомонтан тәрeпинен 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 «құйрықлы жұлдыз» 1759- жылдың 12- мартында перигелийден өтті. Кометаны биринши болып 1758- жылдың 25- декабрде Дрезден этирапында жасаўшы дийхан - астрономия ышқыпазы Г.Палич көрди.

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

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

Хәзирги заман комета астрономиясының тийкарын салыўшылардан саналған рус изертлеўшиси Ф.А.Бредихин XIX әсирдің екнши ярымында барлық тийкарғы комета кубылысларын түсиндире алатуғын механикалық теорияны дәретти. Бул теорияға сәйкес Қуяштың кометаға тәсир етиўши тартылыс күшинен бир неше есе артық үлкенликке ийе болған ийтерий 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 көрсетиў жүдә үлкен өнерди талап етти. 1900- жылы рус алымы Н.Н.Лебедев тәрeпинен бундай нәзик тәжирийбе шеберлик пенен орынланды. Тәжирийбениң көрсетиўинше 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 ийтерий күшлери тәсиринде Қуяштан кери тәрeпке созылғанлығын түсиндирий 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.

Жокарыда еслетилип өтилгендей кометалардың қуйрықлары Қуяш нурларының басымы хәм Қуяш «самалы» ның (корпускуляр бөлекшелердин 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 тийкаргы бөлими оның ядросында топланған болып, ең ири кометаларда да ол Жердин 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.

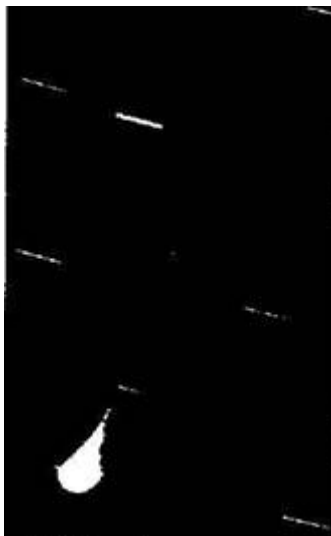
Әдеттеги көзге көринетуғын кометалар жүдә кем ушырасып, хәр бир неше жыл даўамында орташа биреўи ғана көринеди. Бирақ оларды телескоплар жәрдемінде астрономлар дерлик хәр жылы бақлайды.

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

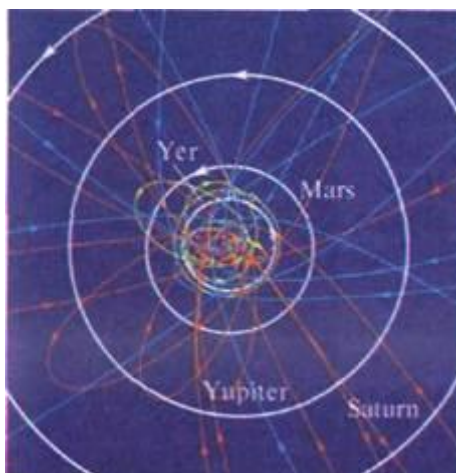
Астроном Болденның «Комсты до начала 1948 года» китабында бақланған 1619 «қуйрықлы жұлдыз» хаққында мағлыўмат келтирилген. Егер 1948- жылдан 1972-жылға шекем бақланған кометалар бул санға қосылса, онда бақланған кометалардың саны 1834 ға жетеди. Әлбетте булардың ишинде қуралланбаған көз бенен бақланғанлары жүдә аз. Дәўирли кометалардың бир топарының Қуяш әтирапындағы 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 ҳәр ге-зектеги 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 яма-са 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 ҳаққындағы 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 ҳақыйқый 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 сүйкелисип 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 ҳеш 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 келиуіндегі тутқан орнын терең үйренип шықты. Оның есаплауларының көрсетиуінше комета ядросын «таслап кеткен» метеор бөлекшелеринің булты Қуяш тәрепинен түсетуғын басыу күши тәсиринде де созылып хам кеңейип барады хам бир неше мың жылларын соң комета орбитасы бойынша бир тегис бөлинеди. Ыдыраған кометалардың қалдықтары келешекте метеор ағыстарын пайда етиу дәлиллеринде жақсы тастыйықланды. Буның ушын ыдыраған комета орбитасы менен жыллық дәуір менен қайталанып бақланатуғын метеор ағыстарының жұлдызлар ишиндегі орнын салыстырыу жеткилики. Сондай салыстырыу нәтижесинде хәр жылы август айында күшейетуғын «метеор жамғырлары» ның бири - Персеид метеор ағымы «1862 III» деп аталған ыдыраған комета ядросының бөлекшелери тәрепинен пайда қылынатуғынлығы анықланды. Белгили Галлей кометасы да еки - Орионид деп ат алған Орион жұлдыз топарыдағы хам май айында бақланатуғын Акварид жұлдыз топарларындағы метеор ағыстарын жүзеге келтиреди. Усы түрдегі «метеор жамғыры» ның онға жақыны илимге мәлим.



Метеор «жамғыры».



Айдарха жұлдыз топарына проекцияланған Драконид «метеор жамғыры».

Метеоритлер

Базда аспанның таслары бир қанша үлкен болып Жер атмосферасы қатламынан өтип баратырғанда жанып үлгермейди хәм болид түрінде Жердің бетине түседі (сүўретти караңыз). Олар метеоритлер деген ат пенен аталады. Метеоритлер тийкарынан тастан, темирден, тас-темирден хәм базы бир муздан ибарат болады.

Тарийхта адамлар бир неше рет аспан денелериниң Жерге «қыдырып келген» «ўэкили» ниң муздан ибарат болғанлығын көрген. Тап сондай 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 метеоритинин түсиуине Узақ Шығыстағы Иман қалашасында ислеуши художник Медведев гүә болды. Оның айтыуынша, отлы шар арқасынан бурқыраған түтинли из қалдырып хәм хәр қыйлы тәреплерге ушқынлар атып, үлкен тезлик пенен горизонт тәрепке ушты. Отлы шар горизонттан жоғалғаннан кейин ол тәрептен жүдә күшли партлау дауысы еситилди. Кейинги жыллары бул темир метеоритти үйрениу бойынша шөлкемлестирилген илимий экспедициялар бул «аспан мийманы» ның Жер бетине түспестен алдынырақ хауада 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 бөлеклеринин аўырлығы 1 килограммнан 70 килограммға шекем болды. Есаплаулар метеорит бөлеклеринин улыўмалық аўырлығының 100 тоннадан кем емес екенлигин көрсетти.

Биринши болып аспаннан тастың түсиуинин мүмкин екенлигин Петербург Илимлер академиясының хабаршы ағзасы Е.Ф. Хладний өзинин 1794-жылы басылып шыққан «Паллас тәрепинен табылған темир бөлегинин келип шығыуы хәм ол менен байланыслы тәбият қубылыслары ҳаққында» шығармасында илимий жақтан тийкарлады. Е.Ф.Хладний Красноярск үлкесине түскен темир метеоритти узак ўақыт үйренип, оның аспаннан түскенлигине толық исеним пайда етти хәм жоқарыда тилге алынған илимий шығарманы жазыу менен метеоритикаға биринши болып тийкар салды.

Аспан тасларының Жерге түсиуи 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 табыныушылар ушын муқаддес орынға айланған.

Жерге түсип туратуғын бул таслар қайсы орынлардан келеди деген сорау 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 бурыуға мәжбүр болады.

Метеорит Жерге урылғанда оның тезлигине байланысly хәр қыйлы үлкенликтеги уралар (ойықты) пайда етеди. Ураның тереңлиги урылыў орнының жумсақлығына да байланысly. 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 саҳраға түскен метеориттиң пайда еткен кратери
($d = 1300$ м, $h = 175$ м).

Бирақ метеоритлер Жер атмосферасына секундына онлаған километр тезликке ийе ҳалда 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 шықканда 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 тәрөпинен кратер партлауға байланыслы жүзеге келген деген жуумаққа келиулерине тийкар болды. Алымлар набыт болыу жүз берген бул орыннан көп уақта болмаған орында жасаған, әййемги уақытлардағы белгили хинд кәуимлериниң 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 қашықлықлардан 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 береді. 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 метеориттің аұырлығы 11 тонна болып, хәзир Мехикода сақланады. Аргентинаның Кампо-дел-Съело («Жулдызлы майдан») майданында табылған аспан «ўәкили» ниң аұырлығы 13 тоннаны, Американың тәбиғат тарийхы музейинде сақланып турған 1902-жылы Орегона тоғайларынан табылған Вилламетте темир метеоритиниң аұырлығы 14 тоннаны курайды. Синсзйан (Қытай) областының Арманти қалашасы қасына түскен метеориттің аұырлығы 20 тонна, Танганикаға түскен Мбози атлы басқа бир метеориттің бойы 4 метр шамасында болып, ени хәм қалыңлығы 120 сантиметр, аұырлығы болса 25 тонна. Мексиканың Синапоа штатына түскен аспан тасы да басқаларынан қалыспайды. Оның бойы 4 метрди, ени шама менен 2 метрди, қалыңлығы болса 1 метр 60 сантиметрди курап, аұырлығы 27 тонна шығады. Шығыс Гренландияға түскен метеорит Жерге урылғанда бөлекленип кетти. 1897- жылы Нью-Йоркқа алып келинген хәм Кейи-Йорк деп аталатуғын бул метеориттың үш үлкен бөлеклериниң аұырлығы 30 тонна («Палатка»), 3 тонна («Айол») хәм 408 килограмм («Ит») ны курайды.

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

Жоқарыда еслетилип өтилгениндей, 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 тәбиятын 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 жактыртқышлардың жактылық бергишликлери салыстырылатуғын логарифмлик шкалаға айтылады.

Адамның нормал көзи 6-шамаға шекемги болған жұлдызларды көреді. Жакты жұлдызлардан Веганың (Ли́ра жұлдызлар топарының ең жактылы жұлдызы) жұлдыз үлкенлиги +0,04^m ди, Венераники -4,4^m (ең жактылы пайытында) ди, толық Айтики -12,5^m ди, Қуяштики болса -26,7^m ди қурайды. Хәзирги заман телескоплары көзимиз көретуғын әззи жұлдызлардан 100 млн есе әззи болған (жұлдыз үлкенлиги +24^m, +25^m) жұлдызларды көре алады.

Абсолют жұлдыз шамасы

Жұлдызлардың көринерлик жұлдыз шамалары олардың толық жактылықларын (олардан ўақыт бирлиги ишинде ажыралып шығатуғын толық нурланыў энергиясының муғдарын) салыстырыўға имканият бермейди. Себеби бирдей жактылыққа ийе болған хәр қыйлы қашықлықта жатыўшы еки жұлдыздың көринерлик жұлдыз шамалары бирдей болмайтұғынлығы алдыңғы параграфтан белгили. Сонлықтан жұлдызлардың қашықлықларын билмей турып олардың көринерлик шамаларына сәйкес жактылықларын салыстырыўдың хеш илажы жоқ. Бул мәселени шешиў ушын астрономлар барлық жұлдызларды Жерден (яки Қуяштан) бирдей қашықлыққа алып келип, жұлдыз шамаларын анықлаўды хәм кейин усы тийкарда олардың ҳақыйқый жактылықларын салыстырыўды мақсет етип қойды. Бундай аралық сыпатында астрономлар 10 парсекли қашықлықты алды. Солай етип жұлдызлардың бизден 10 парсек қашықлыққа келтирилгендеги анықланған көринерлик жұлдыз шамалары олардың *абсолют жұлдыз шамалары* деп аталатуғын болды хәм М хәрипи менен белгиленди. Бул 10 парсекли стандарт аралық шама менен $2 \cdot 10^6$ астрономиялық бирликке тең болады. Сонлықтан Қуяшты 10 парсек қашықлыққа алып барып қойғаннан кейинги интенсивлиги оның 1 а.б. қашықлықта турғандағы интенсивлигинен $\frac{1}{(2 \cdot 10^6)^2}$ есе, яғный $4 \cdot 10^{12}$ есе кемейеди. Интенсивликтің

хәр 100 есе кемейиўи 5 жұлдыз шамасыне туўры келетуғынлығын итибарға алса, онда интенсивликтің $4 \cdot 10^{12}$ есе кемайиўи жұлдыз 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.

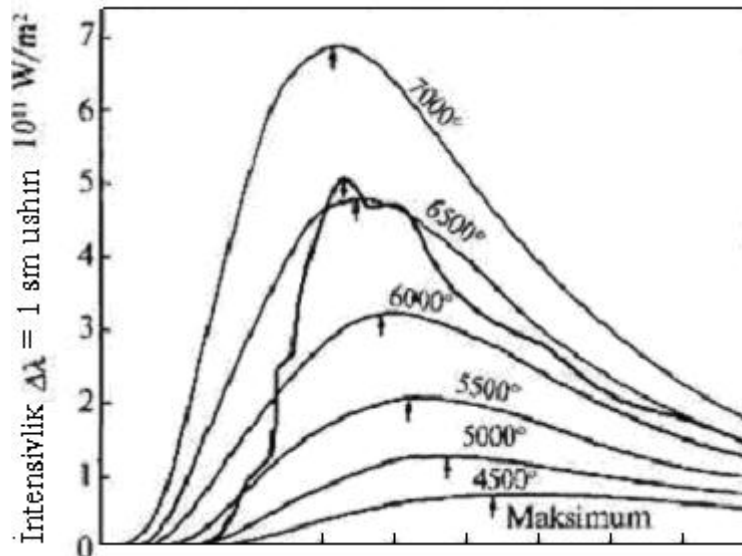
Центавр жұлдыз топарының бизге ең жақын жайласқан жақтылы жұлдызының (Проксима) көринерлік жұлдыз шамасы $m = 0$ болып, Қуяштан узақтығы 13 пк. Ол 10 пк қашықтыққа алып келингенде оның интенсивлиги $\frac{1}{(1,3)^2} = 8^2 = 64$ есе артады. Бул жұлдыз шамасының 4,5 есе кемейиуине алып келеди. Демек оның абсолют жұлдыз шамасы $M_{\text{Pr}} = 0 - 4,5 = -4,5$ болады. Буннан көринип турғанындай, бир жұлдыздың көринерлік жұлдыз шамасы хәм оған шекемги болған аралық парсеклерде берилген болса, оның абсолют жұлдыз шамасын аңсат анықлау мүмкин екен. Буның ушын астрономлар төмендегидей арнаулы есаплау формуласын анықлаған:

$$M = m + 5 - 5 \lg r.$$

Бул Жерде r аркалы жұлдызға шекемги парсеклерде аңлатылған қашықтық белгиленген.

Жұлдызлардың реңи хәм температурасы

Жұлдызлы аспанға дыққат пенен қараған хәр бир адам жұлдызлардың бир биринен реңлери менен айрылатуғынлығынын аңсат аңлайды. Мәлим, темир қыздырылып атырғанда дәслепп тоқ қызыл реңге, кейин температурасының арта бериуи менен ақшыл сары, сары хәм ақырында ақ реңге ийе болады. Усыған уқсас жұлдызлардың реңи де олардың бетиниң температуралары хаққында белгили мағлыұмат береді. 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-хауа 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 ұзындығына сүйенген халда Виннің ауысуы 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 реңін 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.

Жулдызлардың 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, екіншиси олардың хәр қыйлы қууатлылықта нурланыуында болып табылады.

Жулдыздың нурланыу қууаты оның *жақтылық бергишлиги* деп аталып, ол жұлдыздан бир секундта бөлинип шығатуғын толық нурланыу энергиясы менен характерленеди. Жулдызлардың жақтылық бергишлиги көбінесе 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) байланыссы болады екен.

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

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

Жұлдызлардың жарықтықтарын үйрениуден олардың жарықтықтарының 0,0001 Күяштың жақтылық бергішлігінен бір неше он мың Күяш жақтылық бергішлігіне шектемі шегарада өзгеретіндігін көрсетеді.

Жүде үлкен жарықтыққа ие болған жұлдыздар ишінде гиганттар хәм аса гиганттар айрықша орын иелейді. Гиганттардың бір бири менен салыстырылғанда бетинің температурасы төмен ($3,4 \cdot 10^3$ К) болған қызыл реңли болғанларына *қызыл гиганттар* деп ат берілген. Алдебаран (Савр жұлдыз топарының ең жарық жұлдызы), Арктур (Хукизбағар жұлдыз топарыдағы ең жақтылы жұлдыз) сыяқлы жұлдызлар гиганттардың қатардағы үәкиллери болып есапланады.

Аса гиганттар болса жарықтықтары Күяштыкинен он мың еседей артық болған жұлдызлар болып, олардың реңи хәр қыйлы болады. Көк реңдеги аса гиганттарға мысал ретінде Ригелди (арабша «Риж-Әл-Жавзо» сөзлеринің бузылған формасы - «Пахлавонның аяғы» - Орион жұлдыз топарының бетасы); қызыл аса гиганттарға - Антарести (Ақраб жұлдыз топарыдағы ең жақты жұлдыз), Бетелгейзени (арабша «ибт-ал-Жавзо» сөзлеринің бузылған формасы - «Пахлавонның оң желкеси» - Орионның ең жақты жұлдызы) келтириу мүмкин.

Хәр қыйлы жарықтықтағы жұлдызлардың спектрлери де бир биринен бираз парық қылады. Усыған байланыслы базы бир спектрдағы сызықларға сәйкес оның жақтылық бергішлігін бахалау мүмкин. Усы жол менен жарықтықтары анықланған жұлдызлардың көринерлик жұлдыз шамалары жәрдемінде оларға шектемі қашықтықтарды анықлау мүмкин болады. жұлдызларға шектемі қашықтықтарды анықлаудың бул усылы спектраллық параллакс усылы деп аталады.

Жұлдызлардың спектри хәм спектраллық класслары

Астрономлар жұлдызларға тийисли болған әхмийетли мағлыұматларды олардың спектрлерин талқылап қолға киргизеди. Жұлдызлардың спектри, мысалы Күяштың спектри де сызықлы жутылыу спектри болып, жарық тутас спектрдің фонында атомлар, ионлар хәм молекулаларға тийисли жутылыу (Фраунгофер) сызықтарынан турады.

Жұлдызлардың спектрлери бир биринен толқын узынлығы бойынша нурланыу энергиясының хәр қыйлы шама менен бөлистрилиуине сәйкес парықланады. Соның менен бирге бул спектрлер олардағы атмосфераның химиялық қурамына тийисли хәр қыйлы элементлерге тийисли сызықтары хәм усы сызықлардың интенсивликлери менен де бир биринен парық қылады.

Температуралары бир бирине жақын жұлдызлардың химиялық қурамы бир 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 байланысly болады.

Жұлдызлардың спектрлары жети тийкары спектраллық классларға бөлінген. Олар латын әлипбесінде аңлатылып төмендеги тәртіпте жайласады: О-В-А-Ғ-К-М. Белгили бир классқа топланған спектрлер өз гезегінде және он киши классларға бөлінген. Мысалы, А классы жұлдызлары А1, А2, А3< ... А9 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 элементлер 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 әтирапында.

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

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

Г 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.

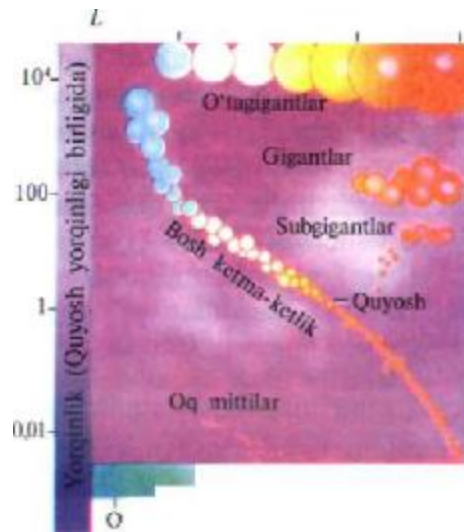
К классқа кириўши жұлдызлар спектрінде металлардың жутылыў сызықлары менен бирге молекуляр бирикпелердің де сызықлары бақланады. Реңи ақшыл сары, температурасы 3500 К.

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 (L_{ϵ} = 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 жулдызларды ҳәр қыйлы топарларға ажыратып, олардың температурасы, жақтылықлығы, спектрал классы ҳәм абсолют шамалары сыяқлы параметрлери арасындағы байланысларды анықлаўға имканият беретугын ҳәм жулдызлар физикасын үйрениўде әҳмийетли орын тутатуғын диаграмма болып есапланады.

Бул диаграммада жулдызлардың тийкарғы бөлими бас избе-излик деп аталыўшы иймеклик бойынша жайласып, оның шеп бөлиминде жақтылықлықлары жоқары болған басланғыш спектрал классларға тийисли жулдызлар жайласады. Оң тәрепке барған сайын жулдызлардың жақтылықлықлары (сонлықтан, температуралары) төменлеп, кейинги классларға тийисли жулдызлар (бас избе-излик иймеклигинен) орын алады.

Бас избе-излик иймеклигинен жоқарыда салыстырмалы төмен температуралы, бирақ диаметри жүдә үлкен ҳәм соның ушын да жоқары жақтылықлыққа ийе болған абсолют жулдыз шамалары -4^m , -5^m ли аса гигант ҳәм гигант (абсолют жулдыз шамалары 0^m этирапында) жулдызлар жайласады. Диаграмманың төменги бөлиминде тийкарынан А спектрал классына ҳәм салыстырмалы кем жақтылықлыққа ийе болған өз алдына топар - киши жулдызлар жайласады.

Диаграммада жулдызлардың бир тегис бөлинбегенлиги олардың жақтылықлықлары ҳәм температуралары арасында сезилерли байланыс бар екенлигинен дерек береді. Бул байланыс, айрықша, бас избе-изликке тийисли жулдызларда жақсы көринеди.

Бирақ жулдызлардың жақтылықлықлары ҳәм 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 ҳәм 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;

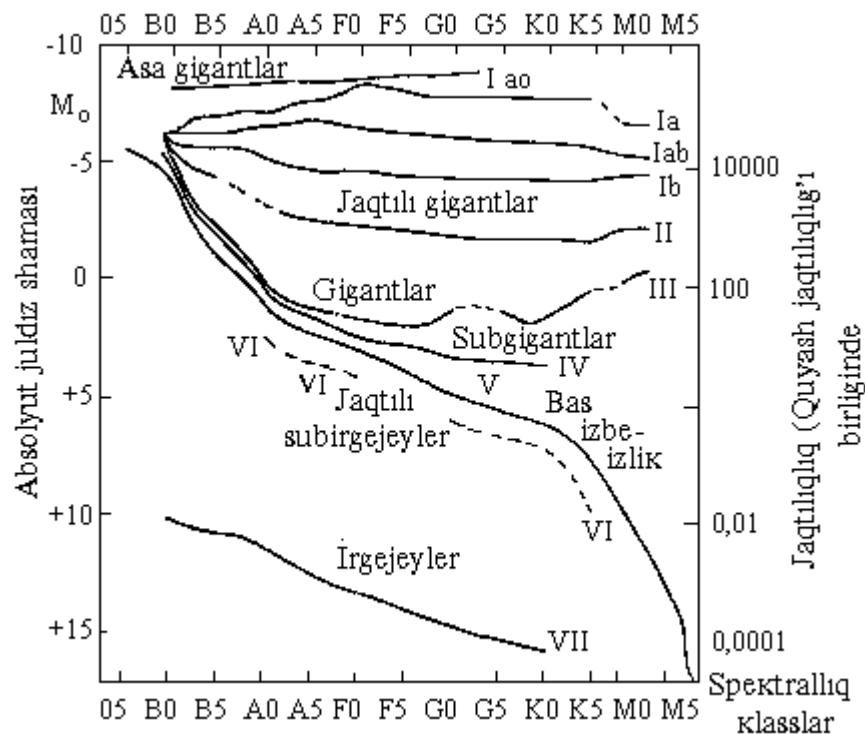
III класс- гигантлар;

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 металлдардың сызықлары гигантлартикине салыстырғанда күшсиз болады, бирақ басқа бир металлдарға тийисли сызықлардың интенсивликлери жүдә аз парық қылады.

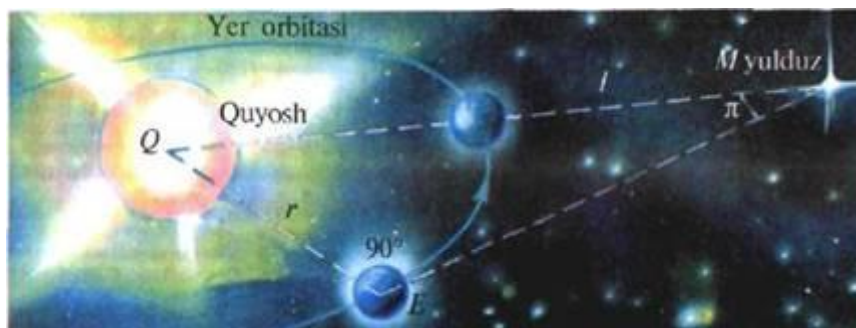
Жұлдызлардың спектраллық класслары олардың жақтылықлық класслары менен қосып үйренілгенде жұлдызлардың абсолют шамаларын анықлауға имканият береді. Жұлдызлардың анықланған абсолют жұлдыз шамалары болса өз гезегинде жұлдызларға шекемги қашықтықларды анықлауға имканият береді.

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

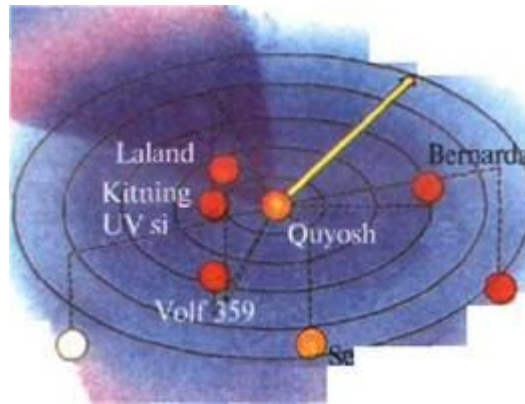
Спектраллық параллакс методының тригонометриялық методлардан әпиұайылығы соннан ибарат, спектраллық параллакс жүдә үлкен қашықтықларда жайласқан хәм спектрлерин алыу имканият болған барлық жақтыртқышлардың қашықтықларын анықлауға имканият береді.

Жыллық параллакс хәм жұлдызларға шекемги қашықтықларды анықлау

Жұлдызларға шекемги қашықтықты анықлау олардың жыллық параллакслық жылжыуларына тийкарланады. Қуяш әтирапында радиусы шама менен 150 миллион километрли шеңбер бойынша қозғалатуғын Жердеги бақлаушы салыстырмалы жақын қашықтықлардағы жұлдызлардың узақтағы жұлдызлар фонында жылжып, бир жыл ишинде шеңбер (жұлдыз Жер орбитасы тегислигине перпендикуляр бағдарда жайласқанда), эллипс (жұлдыз Жер орбита тегислигине мүйеш жасап жайласқанда) сызығын бақлайды.



Жұлдызлардың жыллық параллаксы.



Қуяштан 10 жақтылық жылына тең қашықтыққа шекем жайласқан жұлдызлар.

Жақтыртқыштың параллакслық жылжыуы деп жүргизилиуши 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 параллакс деп аталыушы бул π мүйеш болса өз гезегинде усы жақтыртқыштың Қуяш системасынан (демек, Жерден) узақтығын өлшеуіге имканият береді. Тең тәрепли тууры мүйешли үш мүйешлик QEM нен

$$\sin \pi'' = \frac{r}{l} \quad \text{ямаса} \quad l = \frac{r}{\sin \pi''}.$$

Бул аңлатпада r Жер орбитасының радиусын, l болса жақтыртқышқа шекем 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 параллакс өлшенип, 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 жәрдеминде табылады.

Жулдызлардың өлшемлерин есаплау

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

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

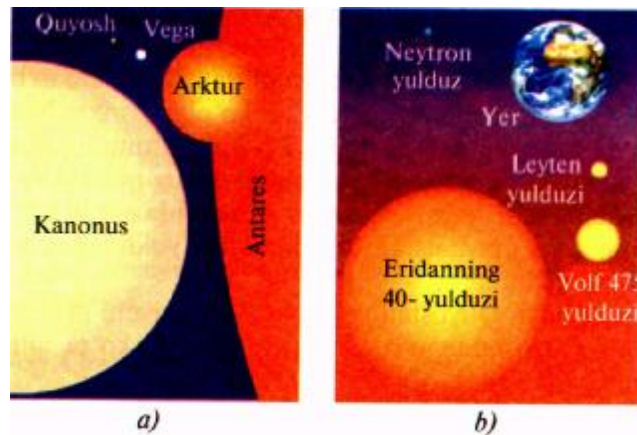
Мәлим, жулдызларды абсолют қара дене деп қарап олардың толық нурланыу қуыатын Стефан-Больцман нызамына сәйкес $L_* = S_* \cdot \sigma T_*^4$ деп жазыу мүмкин. Бул Жерде σ Стефан-Больцман турақлысы $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$, S_* жулдыздың бети (шар бети), T_* бетинің температурасы. Шар бети $S = 4\pi R^2$ болғанлықтан жулдызлардың жақтылық бергишлиги $L_* = 4\pi R_*^2 \cdot \sigma T_*^4$ 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 тәреплеринің 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 бирликлеринде ($R_\epsilon = 1$) 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 қашықтық. Бул жағдайда Қуяштың радиусы:

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

яки шама менен 700000 километрге тең.

Гигант хәм аса гигант 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 ақ реңде болып, оларды ақ иргежейлилер деп атайды. сүўретте қызыл гигантлар менен ақ иргежейлилердің өлшемлери Қуяштың хәм Жердің өлшемлери менен салыстырылған.

Жұлдызлардың массаларын есаплаў

Жұлдызларды тәриплеўши ең әхмийетли шамалардың бири олардың массалары болып табылады. Жұлдызларға тийисли көплеген параметрлер қандайда бир дәрежеде массаларына байланыслы болып табылады. Басқа параметрлеринен парқы соннан ибарат, жұлдызлардың массаларын анықлаў ең қурамалы мәселелердің қатарына киреди. Егер жұлдыздың этирапында жолдасы болса, онда жұлдыздың оған түсиретуғын гравитациялық тәсири тийкарында жұлдыздың массасын анықлаў мүмкин.

Усындай жол менен Куяштың этирапында айланыўшы планеталардың дәўирлери де Куяштан орташа қашықлықларына байланысly анықланған Куяштың массасы $2 \cdot 10^{30}$ кг ды қурайды.

Жулдызлар этирапында олардың жолдасларының көпшилик болыўына байланысly (айырымларын есапқа алмағанда) бул усыл менен олардың массаларын анықлаўдың илажы жоқ. Бирақ көп жағдайларда жулдызлар қос ҳалда ушырасып, олардың улыўмалық масса орайы этирапында айланыў дәўирлерине сәйкес массаларын есаплаўдың имканияты бар. Бул жағдайда Кеплердің Ньютон тәрeпинен анықлаў киргизилген нызамынан пайдаланылады. Қос жулдызлардың бул усыл менен анықланған массалары есаплаўлардың көрсетиўинше 0,1 Куяш массасынан 100 Куяш массасына шекем болады екен. Массалары $10-50 M_{\odot}$ шегарасында болған жулдызлар салыстырмалы кем ушырайды.

Ең киши массалы жулдызлардың өзи де планеталардың массасынан жүзлеген есе артық массаға ийе. 0,1 Куяш массасынан киши «жулдызлар» жақтылық нурларында нурлана алмайды, яғный жулдыз сыпатында көринетуғын бола алмайды.

Массалары анықланған жулдызларды олардың жақтылықлықлары менен салыстырып үйрениў нәтийжесинде бул еки физикалық шамалар арасында байланыстың бар екенлиги анықланды: жулдыздың 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 жулдыз Куяштан үш есе артық массаға ийе болса оның жақтылық бергишлиги Куяштыкинен 81 есе артық болады екен.

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

Қос жулдызлар

Биринши рет қарағанда аспанда жулдызлар жеке түрінде жасайтуғын болып көринсе де олардың көпшилиги тийкарынан екиден, үштен ямаса оннан да көбирек санда бир бири менен динамикалық байланысқан ҳалда жасайды. Олар ишинде айрықша қос жулдызлар (яғный жуп ҳалдағылары) көбирек ушырайды. Бирақ қос болып көринген жулдызлардың хәммеси де қос бола бермейди. Олардың ишинде хәр қыйлы қашықлықларда 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.

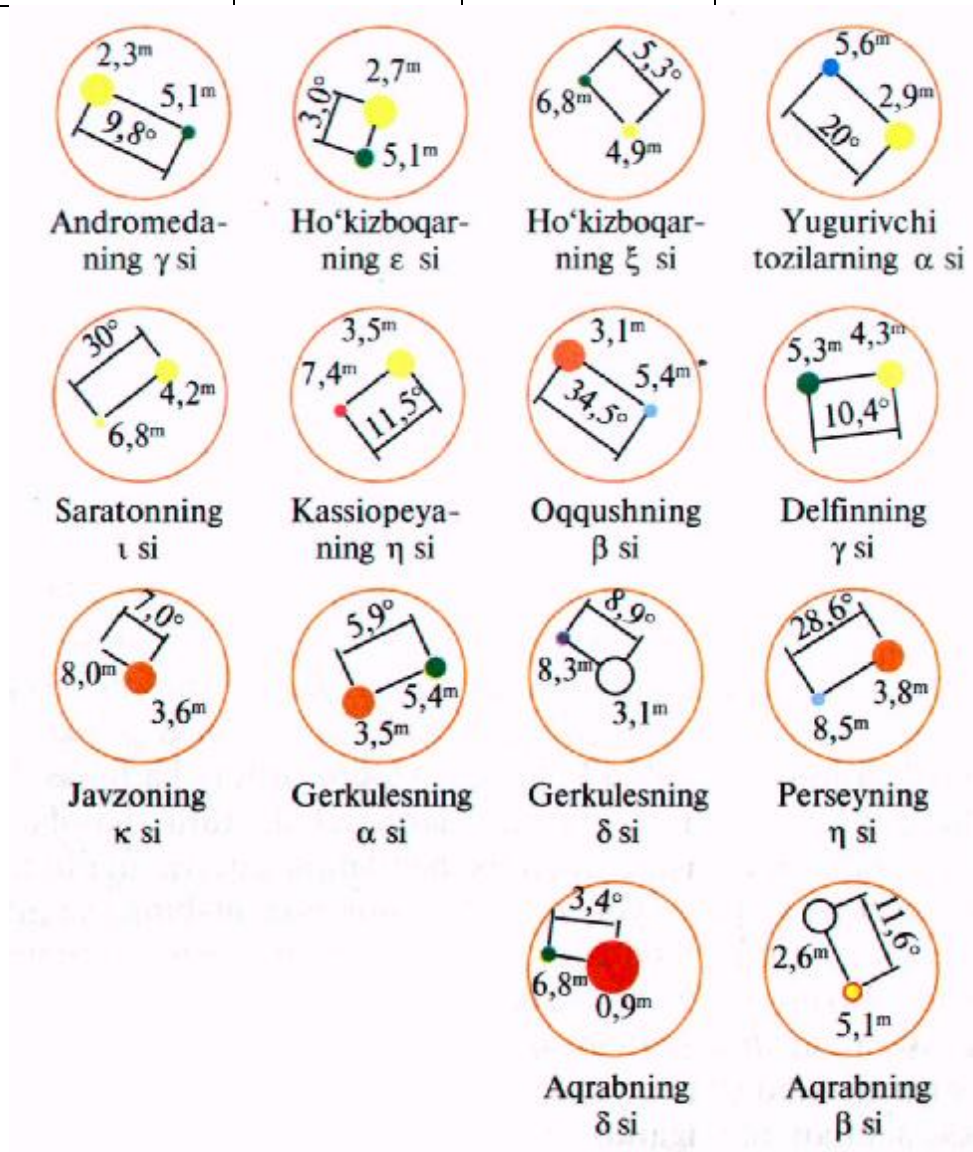
Егер физикалық қос жұлдызлардың қураўшылары қуўатлы телескоп пенен қаралғанда бир биринен тиккелей ажыратып көриў мүмкин болған мүйешлик қашықлықта жайласқан болса оларды *визуал қос жұлдызлар* деп атайды. Бир бирине салыстырғанда жүдә киши мүйешлик қашықлықларда жайласқан қос жұлдызларды өз алдына ажыратып көриўдин хеш илажы жоқ болып, олардың қос екенлиги фотометрлик ямаса спектраллық усыллар жәрдемінде 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 ининң тийкарғы жұлдызға салыстырғанда бақланған жолдастың орбитасы келтирилген.

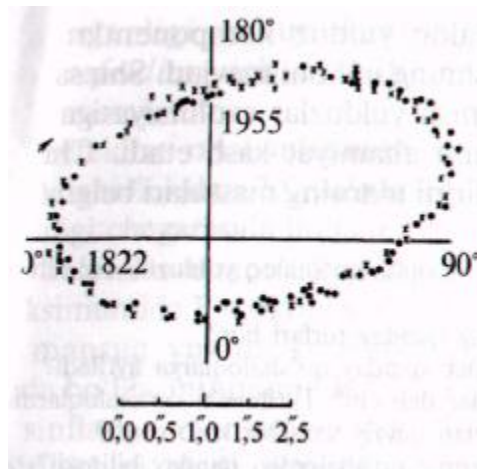
Тутылыўшы қос жұлдызлардың қатардағы ўәкили әйемги ўақытлары араблар анықлаған хәм Алгул («Девтиң көзи» мағанасын береді) деп атаған Персей жұлдыз топарының β жұлдызы болып табылады. Бул қос жұлдызлардың орбита тегисликлериниң қараў сызығы бойлап жатқанлығынан, улыўмалық масса орайы этирапында шеңбер 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 екенликлери олардың бир бириниң үстине түскен спектрлериндеги улыўмалық сызықлардың (хәр еки жұлдыз спектринде де бар сызықлардың) бир бирине салыстырғанда дәўирли жылжыўынан (жұлдызлардинң бир бирине салыстырғандағы қозғалғанлығына байланыслы) билинеди.

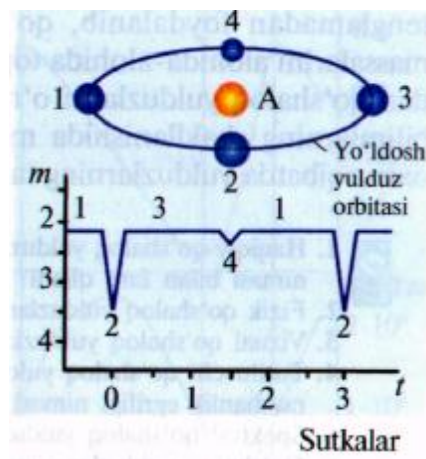
Андромеданың γ сы.	Қурбақаның ε си.	Қурбақаның ξ жұлдызы.	Жүгириуши тазылардың α сы.
Саратанның ι жұлдызы.	Кассиопеяның η сы.	Аққуудың β сы.	Дельфиннің γ сы.
Явзонның κ сы.	Геркулестің α сы.	Геркулестің δ сы.	Персейдің η сы.
		Ақрабтың δ сы.	Ақрабтың β сы



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



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



Тутылыушы қос жұлдыз (Алгол - Персейдің β сы).

Көпшилик қос жұлдызлардың хақыйқый қос жұлдыз ба ямаса оптикалық қос жұлдыз ба екенлигин анықлау үшін олардың қозғалыстарын ұзақ жыллар бақылауға тууы келеди. Хақыйқый қос жұлдызлар қураушыларының жеке қозғалыстарының дерлік бирдей көриниуінде болады. Қазірге 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 қураушылары кеңістікте Кеплер ызаамларына бойсынған қалда қозғалып, олардың екеуі де олардың улыұмалық 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 қураушы жұлдызлардың эллипс тәризли орбиталарының үлкен ярым көшерлеринин қосындысынан ибарат болады.

Егер қос жұлдызлардың улыұмалық масса орайына салыстырғандағы орбиталарының үлкен ярым көшерлеринин 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 қураушыларының 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.

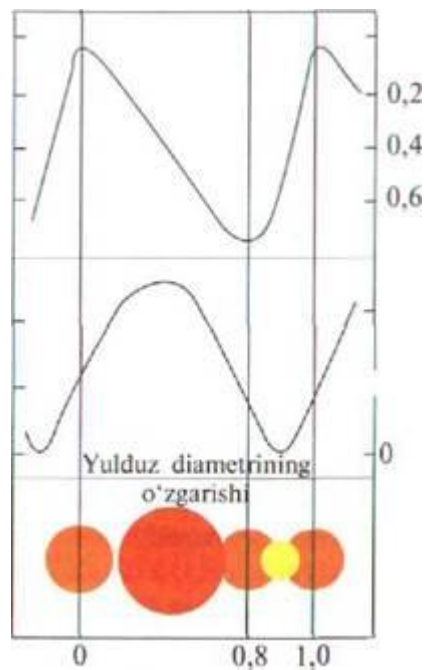
Физикалық өзгериуши жұлдызлар

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

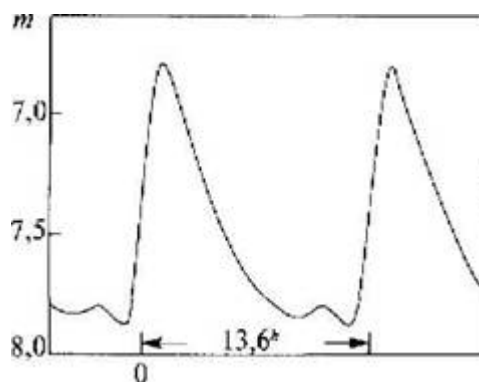
1. Пулсацияланыушы өзгериуши жұлдызлар – жақтылығының бир қәлипли өзгериуи менен характерленеди. Бундай өзгериуши жұлдызлар жақтылықтарының өзгериуи тийкарынан олардың бет қатламларының пулсацияланыуының салдарынан болғаны ушын да олар сондай деп аталады. Пулсацияланыуға байланысly бундай жұлдызлардың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

Цефеидлердің жақтылықтарының 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 жақтылықтарының иймеклиги Цефей жұлдыз топарының δ жұлдызының өзгериуине уқсағанлығы 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) жактылыгы (Δm) хэм радиусының өзгериў (ΔR) иймекликлери.



Лираның RR өзгериўши жұлдызы жактылыгының өзгериси.

Цефеидлер шақмағының максимумында F спектрал классқа кириўши жұлдыздың түринде болып, минимумида G, K классларына кириўши жұлдызлардың түрине енеди. Жактылықларының бундай болып өзгериўи жұлдыз температурасының орташа 1500 градусқа өзгериўине сәйкес келеди. Цефеидлер спектринде бақланатуғын сызықлар оның жактылығының өзгерисиниң фазасына сәйкес рәўиште қызыл ямаса фиолет тәрепке қарай жылжып турады. Бундай жылжыўлар да дәўирли характерге ийе болып, қызыл жылжыўының максимумы цефеид жактылығының минимумына, фиолет жылжыўдың максимумы болса жактылығының максимумына туўры келеди. Цефеидлердин дәўирлери хэм жактылықлары арасында байланыс бар болып, олар жактылықларының артыўы дәўирлериниң артыўында өз сәўлесин 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 (сүўрети 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 байланысly 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 A-F спектраллық классларға киретуғынлығы аса гигант жұлдызлардың көриниуіне жүдә усап кетеди.

Жаңа жұлдызлардың шақмақ иймеكليги өз алдына көриниске ийе болып, ол шақмақ процессин бир неше басқышқа ажыратып үйрениуіге имканият береді (120-сүўрет). Шақмақтың дәслепки басқышы жүдә тез, 2-3 суткада жүз берип, максимумға ерисиўден алдын бир «тоқтап алады». Максимумнан соң жұлдыз жақтылықлығы пәсейе барып, дәслепки халына жетиуі үшін бир қанша жыллар өтеди. Жақтылықтың дәслепки 3 жұлдыз шамасына шекем пәсейиў 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 сөниўдің 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 тийкаргы орынды ийелейди деп карайды.

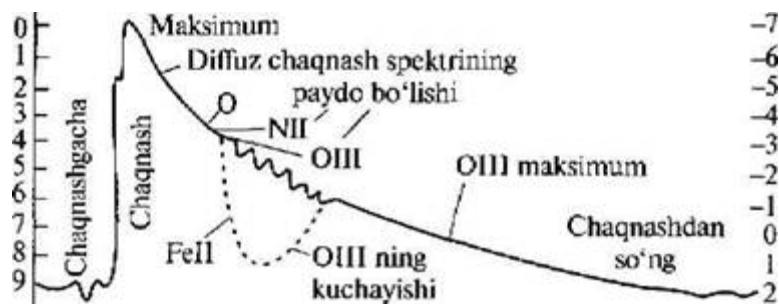
Жаңа жұлдызлардың партлаў процесси қос жұлдызлардың өз-ара затлар алмасыуы нәтийжесинде жүз береді деген гипотеза бул мәселедеги итибарға миясар гипотезалардың бири болып есапланады. Тийкаргы жұлдыздың водородқа бай бир бөлиминиң затлары жолдас деп есапланып ақ киши жұлдыз бетине түссе оның бетинде термоядролық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

Жұлдыз бетинде партлаў жүз бергенде оның бетинен үлкен массалы затлар (шама менен $10^{-4} - 10^{-5} M_{\odot}$) 1500-2000 км/с қа шекемги тезликлер менен ылақтырылады. Ақыбетинде жаңа жұлдыз этирапында тарқалып атырған газ үлкен думанлықты пайда

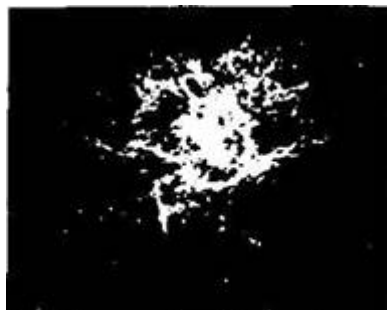
етеди. Бақлаўлар нәтийжесинде салыстырмалы жақын жайласқан барлық жаңа жұлдызлардың этирапында ҳақыйқатында да кеңейиўши сондай газ думанлықлары бақланады.

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 байланысly 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 кемеийеди. 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 қуўатлыларының бири болып есапланады. Бул жұлдыз партлаўдан соң бир неше күн даўамында 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 ўақыттың өткенине қарамастан бул жұлдыздан ылақтырылған газ массасы ҳәзирги күнлери де секундына сәл кем 1000 км тезлик пенен кеңейиўди даўам 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 ертиўши 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 ШЕШИҰ УШЫН ҚОЛЛАНЫҰ

КиpисиҰ

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

«Бас Ассамблея,

тәбият хаққындағы билимлерди тереңлестириҰдеги физиканың әҳимийетли тийкар болып хызмет етиҰин мойынлап,

физика хәм оның әмелий қолланылыҰы хәзирги заман техникалық прогрессин тәмийинлеҰге үлкен үлес қосатуғынлығын белгилей отырып,

ерлер хәм хаяллар физиканы үйрениҰ барысында өзлериниң раҰажланыҰы ушын зәрүрли болған илимий инфраструктураны дүзиҰ куралларына ийе болатуғынлығын исенген халда,

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

1. БилимлендириҰ, илим хәм мәденият ислери бойынша Бирлескен Миллетлер Шөлкеминиң 2005-жылды Халық аралық физика жылы деп жәриялаҰын қоллап-қуҰатлайды;

2. БилимлендириҰ, илим хәм мәденият ислери бойынша Бирлескен Миллетлер Шөлкемине Халық аралық физика жылын өткериҰ ушын физикалық жәмийетлер хәм дүньяның басқа топарлар, соның ишинде раҰажланып атырған еллердеги топарлар менен бирге ислесиҰ илажларын шөлкемлестириҰди 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 береди. А.Эйнштейнниң 1905-жылы шыққан хәм арнаҰлы салыстырмалылық теориясын өз ишине толық қамтыйтуғын «ҚозғалыҰшы денелер электродинамикасына» атлы мақаласының биринши бетиниң фрагменти 1-сүүретте келтирилген.

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

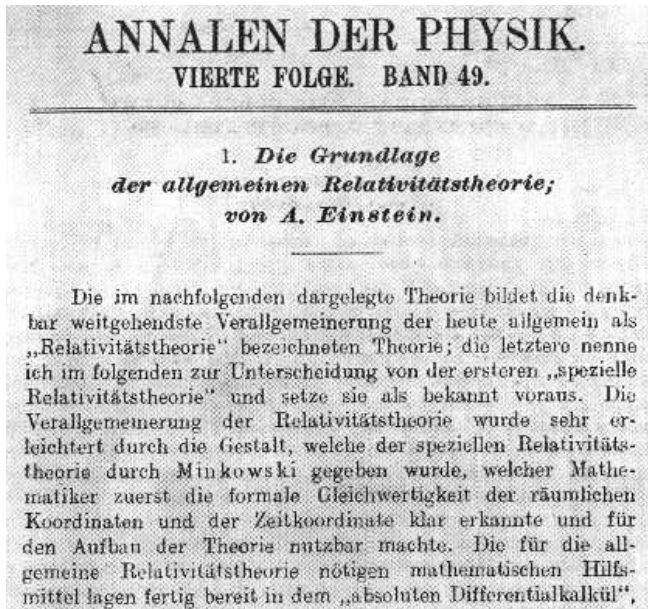
Әлбетте, А.Эйнштейннің мийнетлери, өмири, оның мийнетлеринің басқа илимпазлар тәрөпинен раўажландырылыуы, Эйнштейн дүзген гравитация теориясының шекленгенлиги, бул теорияның мүмкиншиликлери менен мүмкиншиликлеринің шеклери ҳаққында оғада көп санлы илимий дереклер бар. Олардың саны Пүткил дүньялық Internet 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 тәсирлесіулердің 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 экспериментлердің салдары (бул тезликтің шекли тезлик екенлиги ҳаққында ҳәзирше гәп етилип атырған жоқ).



1-сүүрөт. А.Эйнштейннің 1905-жылы шыққан хэм арнаўлы салыстырмалылық теориясын өз ишине толық қамтыйтуғын «Қозғалыўшы денелер электродинамикасына» атлы мақаласының биринши бетиниң фрагменти (Zur Elektrodynamik der bewegter Körper. Ann. Rhys., 1905, 17, 891-921).

Сигнал киши dt ўақыты ишинде cdt аралығын өтеди. Усының салдарынан кеңисликтеги координаталар dx , dy 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 с есаплаў системасынан ғәрезли емес болғанлықтан базы бир есаплаў системасында нолге тең интервал басқа қәлеген есаплаў системасында да нолге тең болады.

(1)-аңлатпа егер белгилерин есапқа алмағанда 4 өлшемли Евклид кеңислигиндеги вектордың узынлығының квадратын берген болар еди. Бирақ биз вектордың узынлығы тап усундай аңлатпа бойынша анықланатуғын кеңисликти пайдаланыўға киргизиўимиз мүмкин. Бундай кеңислик Миновскийдің 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 аңдатпаларды 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 есаплаў системаларындағы мәнислерин караймыз: олар ds^2 хэм $(ds')^2$. Олардың екеўи де бирдей тәртиптаги шексиз киши шамалар болып табылады хэм соған сәйкес $ds^2 = a(ds')^2$ 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 байланысly (бул тезликті \dot{V} арқалы белгилеймиз). Бул өз-өзинен түсиникли, a функциясының координаталарға байланысly болыуы мүмкін емес⁴. Себеби ғәрезли болған жағдайда кеңіслик-уақыттың барлық нокатларының бирдей екенлиги хакқындағы постулатқа сәйкес келмеген болар еди. Соның менен бирге a функциясы \dot{V} ның бағытына да байланысly болмайды (биз кеңісликтеги 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 $a(V_{31}) = a(V_{32}) * a(V_{21})$ екенлигин аламыз. K_1 , K_2 , K_3 лердеги индекслерди избе-из өзгерте отырып $a(\dot{V})=1$, яғның $(ds')^2 = ds^2$ бир мәнисли шешимлерине ийе теңлемелер системасын аламыз.

Интервалдың инвариантлылығы хакқындағы алынған нәтижемізди арнаулы салыстырмалылық теориясының (АСТ) формаль түрдеги математикалық жазылыуы деп қараймыз. Бундай қолайлы хәм қысқа форманы биз төменде жийи қолланамыз.

Енди K системасындағы интервалдың квадратын s^2 , ал K' системасындағы интервалдың квадратын s'^2 арқалы белгилеймиз. Егер $s^2 > 0$ болса (еки уақыя арасындағы интервал хакыйқый мәниске ийе) интервалды уақытқа мегзес, ал $s^2 < 0$ болса интервалды кеңісликке мегзес интервал деп атаймыз.

Енди басқа ИЕС на өтиу ушын қолланылатуғын уақыт хәм кеңіслик координаталарын түрлендиретуғын математикалық аңлатпаны алыуымыз керек.

Жоқарыда атап өтилгениндей биз интервалды Минковский кеңіслигиндеги базы бир вектордың узынлығының квадраты деп қабыл етемиз. Бул векторды координаталардың 4 лик векторы деп атаймыз. Бундай векторды бир ИЕС дан екіншісине өткенде түрлендириуде Минковский кеңіслигиндеги узынлық сақланатуғынлығын басшылыққа аламыз. Евклид кеңіслигиндеги бизге белгили болған түрлендириуге сәйкес бул түрлендириуди бурылыу деп атаймыз. (себеби евклид кеңіслигинде қашықлық өзгермей қалатуғын, параллель алып өтиуге қарағанда курамалырақ түрлендириу бурылыу⁶ болып табылады). Буннан кейин тек бир тегисликтеги бурыуды көріп шығамыз (4 координатаның тек екеуін қамтыйтуғын). Себеби қалеген курамалылықтағы бурылыу әпиуийи бурылыулардың қосындысынан турады. Соның менен бирге 0- (ст) координатаға

⁴ «Байланысly» хәм «ғәрезли» сөзлери бир мәнисте қолланылады.

⁵ Кеңісликтің бир теклиги менен изотроплылығы хакқында 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, яғный $(ct)^2 - x^2 = \text{const}$ екенлігін талап етіуіміз мүмкін. Усы жағдайды қанаатландыратуғын кәлеген 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 «бурылыў 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, яғный V . $\text{th}(\phi) = V/c$. Усының менен биз түрлендіріудің түрін де алдық. Тек ғана гиперболалық функциялардан қутылыў 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 бурыў 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 бурылыўын $X = L * X'$ түрінде жазамыз (ТХ тегислігіндегі бурылыў, яғный К есаплаў системасына салыстырғанда β тезлиги менен қозғалыўшы К' системасы, оның көшерлері К системасындағы сәйкес көшерлерге параллел, қозғалыс Х көшери бағытында болады. Бурылыўдың бул матрицасы Лоренц матрицасы деп те аталады хәм усындай түрдегі координаталар-ўақытты түрлендіріуді Лоренц түрлендіріулері деп атайды. Бул түрлендіріулерди буст деп те атайды.

Улыўма 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-ке өткенде Лоренц түрлендіріулері менен түрленетугын шамаға айтамыз: $u = L * u'$. Әлбетте біз бір 4-лік вектордан оны бір инвариант шамаға көбейтіп басқа бір 4-лік векторды алуымыз мүмкін. Басқа барлық жағдайларда 4-лік вектордың келтіріліп шығылуының дұрыслығын дәлелдеу керек (4-лік тезікті келтіріп шығаруыды қараңыз). 4-лік вектордың құраушыларын ковариант және контрвариант деп аталатуын екі формада жазу мүмкін. Ковариант шама төмендегі индекспен жазылады (мысалы P_μ), ал контрвариантлық шама болса жоғарыдағы индекспен 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 етіп 4-лік вектордың квадратын былайынша жазамыз

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

Әдетте усындай жазуларда сумма белгисін қалдырып жазу қабыл етілген, яғни $S^2 = A^i * A_i$. Индекстер 0-ден 3-ке шекемгі мәнісдерге ие болады және екі рет қайталаныушы индекс бойынша суммалау жүргізіледі. Бұндай жазуларды гүң индекстер менен жазу деп атайды. Ковариант және контрвариант шамаларды түрлендіріулердің қолайлы болуы үшін метрический тензор деп аталатуын тензор (Минковский кеңісliğінің тензоры) кіргізіледі және ол мынадай түрге ие болады:

$$g = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Бұндай жағдайда A^j шамасын A_i шамасына түрлендіріу былайынша жазылады.

Қалған екі 4-лік вектордың скаляр көбейтмесі былайынша жазылады:

$$AB = A^\mu B_\mu = g_{\mu\nu} A^\mu B^\nu = g^{\mu\nu} A_\mu B_\nu.$$

Жоғарыдағы g ның бір мәнісіндегі бір рет индекстің көтеріліуі немесе түсіріліуі белгіні қарама қарсы белгіге өзгертеді.

Бұлардың барлығы да бір түрлі және керек еместей болып көрінеді. Бірақ гүң индекстердің кіргізіліуінің көп аңдатпаларды жазуы күшті түрде әпидемиологияластыратуынлығын көреміз.

Енді түрлендіріу топтасы түсінігін кіргіземіз. Мейлі екі f және g түрлендіріулері болсын.

G ны топыр деп атаймыз, егер G топарына кіретуын ($f \in G$ және $g \in G$) f және g шамаларының қалғаны үшін төмендегідей шарттар орынланатуын болса:

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

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 мүмкін:

1. $L_0^0 \geq 1, \quad \det L = +1$ - бул Лоренц группасының түрлендириуі.
2. $L_0^0 \leq 1, \quad \det L = -1$ - бул Пуанкаре группасының түрлендириуілері (яғный уақыттың белгисін өзгертиуі хәм (ямаса) кеңісликтің айналық сәулелендириуі менен болатуғын түрлендириуі).

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

Релятивистлик механикада энергия менен импульс бир 4 лик вектордың қураушылары болып табылады. Бөлекшениң энергиясы E менен белгіленгенде оның ковариант қураушылары $p_i = (E/c, -\mathbf{p})$, ал контрвариант қураушылары 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 қураушысы E/c^2 энергия болып табылады, ал кеңіслик қураушылары \mathbf{p}/c импульс болып табылады [бул аңлатпада $p_i = (E/c, -\mathbf{p})$ сыяқлы етип $\gamma^* m, m^* \gamma / (c^* v)$ шамаларын қаусырма 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 өзинің бәршеге белгили түрлендириўлерин ашқаны менен олардың мәнісин толық түсинген жоқ ҳәм арнаўлы салыстырмалылық теориясын дүзиўде оннан кейинги тийкарғы

Енди еки ўақыя арасындағы интервал кеңіслікке 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 нокатларда болып өтетуғын болса, онды кеңіслік-ўақытлық интервал

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

мәнісине тең болады (яғный таза кеңісліклік ўақытқа алып келинеди). Басқа қалеген есаплаў системасы ушын ийе боламыз:

$$ds^2 = c^2 dT^2 - dX^2.$$

Еки ўақыя болып өткен нокатларды 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 пайдалансақ⁸:

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

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 кеңіслік-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 dt ды табамыз:

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

жумысты бир биринен ғарезсиз хәм хәр қыйлы жоллар менен Анри Пуанкаре менен Альберт Эйнштейн иследи. Пуанкаре төрт өлшемли кеңісліктің 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-лік тезліктен инвариант уақыт τ арқалы алынған туынды да 4-лік вектор болып табылады. Оны тезленіудің 4-лік векторы деп атайды.

Анықлама бойынша күштің 4-лік векторы былайынша жазылады:

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

Бұл аңлатпада \mathbf{f} арқалы бір-бірлік зарядқа тәсір етіуші күш белгіленген (f сол күштің сан шамасы). Усындай белгілеулерді қабыл етіп механиканың релятивистік теңдемелерін былайынша жазамыз:

$$m \frac{dU^i}{d\tau} = F^i \quad (3-3)$$

яғна үш өлшемді түрде:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m\mathbf{V}}{1 - V^2/c^2} \right) = \mathbf{f}; \quad (3-4)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{mc^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \right) = (\mathbf{V}\mathbf{f}). \quad (3-5)$$

Бұл екі теңдемені бірінші рет ашқан алым Анри Пуанкаре болып табылады (гейпара мағлыұматлар бойынша релятивистік механиканы дөреткен адам А.Пуанкаре).

(3-5) ти (3-4) тен теңдеменің екі тәрепін де \mathbf{V} векторына көбейтіу арқалы аламыз. Сол екі 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

$$p^i = \left(\frac{E}{c}, p \right) \quad (3-7)$$

Соның менен бирге

$$F^i p_i = 0 \quad (3-8)$$

екенлігін аңсат дәлиллеуіге болады.

Импульс хәм энергия ушын жазылған (3-6) аңлатпасын Лагранж функциясы жәрдемінде де былайынша алыуға болады:

$$L = -mc^2 \sqrt{1 - V^2/c^2}. \quad (3-9)$$

Бундай жағдайда импульс p мынаған тең:

$$p = \frac{\partial L}{\partial V} = \frac{mV}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}. \quad (3-10)$$

Гамильтониан

$$H = V \frac{\partial L}{\partial V} - L \quad (3-11)$$

болғанлықтан

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} \quad \text{ямаса} \quad E = c\sqrt{p^2 + m^2c^2}. \quad (3-12)$$

(3-9) Лагранж функциясы биринши рет Пуанкаре дүзді. 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

Арнаўлы 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 (индексleri 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} контравариант тензоры ушын

$$B^{ik} = \frac{\partial x^i}{\partial \tilde{x}^l} \frac{\partial x^k}{\partial \tilde{x}^m} \tilde{B}^{lm}; \quad (4-5)$$

Оның ковариантлық кураўшылары ушын

⁹ Вектордың биринши рангалы тензор, ал скалярдың нолинши рангалы тензор екенлигин умытпаймыз.

$$B_{ik} = g_{li} g_{mk} B^{lm} = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^i} \frac{\partial \tilde{x}^m}{\partial x^k} \tilde{B}_{lm}. \quad (4-6)$$

Соның менен бирге аралас кураушыларды да пайдаланыўға болады:

$$B_k^i = B^{il} g_{lk} = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^k} \frac{\partial x^i}{\partial \tilde{x}^l} \tilde{B}_l^m. \quad (4-7)$$

Түрлендириў ызамлары g_{ik} кураушыларының тензорды пайда ететуғынлығын көрсетеди. Салыстырмалылық теориясында¹⁰ бул тензор фундаменталлық орынды ийелейди хәм **фундаменталлық метрлик тензор** деп аталады.

$$g = |g_{ik}| \quad (4-8)$$

анықлаушысы **фундаменталлық анықлаушы** деп аталады.

$$g^{ik} = A^{ik} / g \quad (4-9)$$

шамалары (A^{ik} арқалы g_{ik} элементинің алгебралық қосымшасы белгиленген) метрлик тензордың контрвариант кураушылары 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 кураушыларының ковариант. көтеріў g^{ik} контрвариант кураушыларының жәрдеминде 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 сызыклы 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 жәрдемінде 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 $\Gamma^l_{mn} = 0$ хәм ковариант дифференциаллаў әдеттеги дифференциаллаўға алып келинеди.

Енди 4 өлшемли кеңисликте еки ноқатты бир бири менен тутастыратуғын геодезиялық сызықты анықлайтуғын иймек сызыклы координаталардағы теңлемени келтиремиз:

$$\frac{d^2 x^i}{ds^2} + \Gamma^i_{kl} \frac{dx^k}{ds} \frac{dx^l}{ds} = 0. \quad (4-16)$$

Минковский кеңислигинде (псевдоевклид кеңислигинде¹¹) денелердің инерция бойынша қозғалысы туўры сызық (соның менен бирге ўақытқа мегзес) сәулелендириледі. Сонлықтан (4-16) инерциал емес есаплаў системасының иймек сызыклы координаталарында жазылған дененің инерция бойынша қозғалысының теңлемеси. Геодезиялық сызық ушын жазылған майысқан кеңислик-ўақыттағы дифференциал теңлеме де тап сондай (иймек сызыклы координаталардағы тегис кеңислик-ўақыттағы туўры сызық ушын жазылған теңлемедей) түрге ийе болады.

§ 5. Кеңислик-ўақыттың иймеклиги¹²

Улыўмалық салыстырмалылық теориясы кеңислик-ўақыт майысады хәм 4 өлшемли Риман кеңислиги болып табылады (дәлиреги псевдориман кеңислиги)¹³. Киши емес, ал

¹¹ Өз ўақытында Клейн хәм Гильбертлер бундай кеңисликти псевдоевклидлик кеңислик деп атаўды усынды.

¹² Тилекке қарсы қарақалпақ хәм өзбек тиллериндеги терминология толық қәлиплеспегенликтен рус тилиндеги «кривизна» сөзи «иймеклик» деп аўдарылған. Бирақ айырым орынларда биз «майысқанлақ» сөзин де қолланамыз.

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-ұақыттың иймеклигин тәриплейтуғын математикалық куралларды пайдаланамыз. Бул иймеклік төртінші рангалы тензор менен тәрипленеди:

$$R_{klm}^i = \frac{\partial \Gamma_{km}^i}{\partial x^l} - \frac{\partial \Gamma_{kl}^i}{\partial x^m} + \Gamma_{nl}^i \Gamma_{km}^n - \Gamma_{nm}^i \Gamma_{kl}^n. \quad (5-1)$$

R_{klm}^i 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 жылжытуғын болсын (биз бундай жылжыуды вектордың параллел алып жүрилиуі деп атаймыз). Тегис кеңіслік-ұақытта 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:

$$\Delta A_k = \frac{1}{2} R_{klm}^i A_i \Delta f^{lm}. \quad (5-2)$$

Биз бул жерде иймеклік тензорының алгебралық хәм дифференциаллық қәсийетлерин тереңірек талламаймыз. Тек оның бир биринен ғәрезсиз болған кураушыларының санының 20 ға тең екенлигин атап өтемиз¹⁵.

¹³ Улыұмалық салыстырмалылық теориясында кеңіслік-ұақыттың майысыуы тек затлар менен майданлардың қатнасыуында жүзеге келмейді. Биз төменде гравитациялық толқынлардың бар екенлигин де қарап өтемиз. Бундай толқынлар өзи менен энергияны алып жүреді хәм кеңісликті майыстырады. Усының менен қатар улыұмалық салыстырмалылық теориясының теңлемелеринің (Эйнштейн теңлемелеринің) бос кеңіслік-ұақыт ушын да шешимлери бар. Бул шешимлер затларға ийе емес кеңісликтің анизотропиялық деформациясын тәриплейді. Гравитациялық толқынлар ушын шешимлер сыяқлы бул шешимлер де еркін гравитациялық майданды тәриплейді.

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 6.

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 тұрақтысы 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.

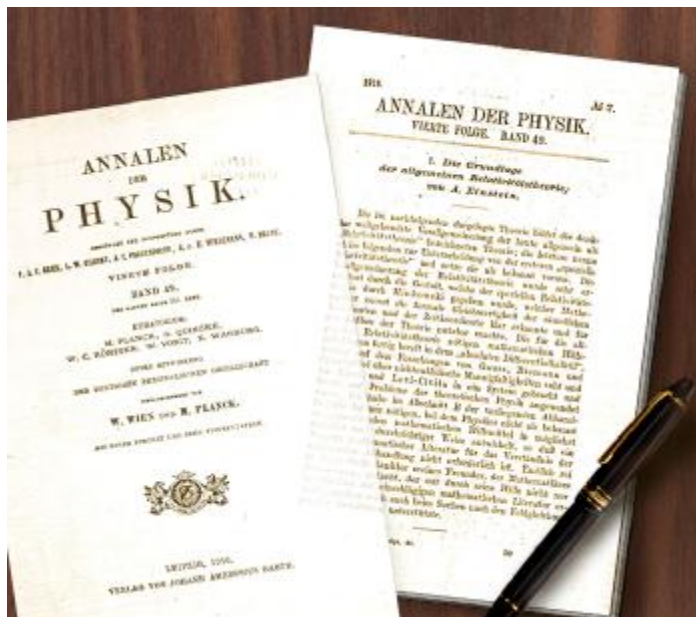
¹⁷ Бұл теңлемени А.Эйнштейн 1915-жылы келтиріп шығарды. Соның ушын 1915-жылды улыұмалық салыстырмалылық теориясының ашылған жылы деп қабыл етилген. Ал усы жұмыстың өзи 1916-жылы «Улыұмалық салыстырмалылық теориясының тийкарлары» деген ат пенен үлкен мақала түрінде жарық көрді. Бұл мақаланың 1-бетинің фрагменти 2-сұұретте келтирилген.

Бул аңлатпадағы $\varepsilon = \rho c^2$ аркалы заттың энергиясының усы зат тыныш турған есаплау системасындағы тығызлығы, P аркалы басым белгиленген. Бир газдың жабысқақтығын 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 ҳаққындағы 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:

$$T_{ik} = \begin{vmatrix} \varepsilon & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P \end{vmatrix}.$$

Бул системада $T_{0\alpha} = T_{\alpha 0}$. Себеби энергия ағысы жоқ хәм газдың импульсы нолге тең. Тензорды кеңисликлик бөлими диагоналлық $T_{\alpha}^{\beta} = P\delta_{\alpha}^{\beta}$, барлық көшерлер бойынша басым бирдей мәниске ийе. Бул ызамды Паскаль ызамы деп атаў қабыл етилген (сонлықтан Паскаль суйықлығы ямаса газы ҳаққында гәп етиў қабыл етилген).

Х көшериниң оң бағытында жақтылықтың тезлиги менен қозғалыўшы бөлекшени

$$T_{ik} = \begin{vmatrix} \varepsilon & \varepsilon & 0 & 0 \\ \varepsilon & \varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

тензоры береді. 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. Барлық теңдей хуқықларға ийе бағытлардағы бөлекшелердің ағысын қосқанда да релятивистлик газдың энергия-импульсиниң тензорын аламыз $P = \varepsilon/3$.

Енди улыўмалық T_{ik} ға қайтып келемиз хәм энергия-импульстың сақланыў назымын жазамыз. Арнаўлы салыстырмалық теориясында декарт координаталарында энергия-импульс тензоры

$$\frac{\partial T_i^k}{\partial x^k} = 0 \quad (6-4)$$

катнасын қанаатландырады. Ал бул қатнас энергия менен импульстың сақланыў ызамын аңлатады.

(6-4) аңлатпасының иймек сызықлы координаталарға улыўмаластырылыўының нәтийжеси ковариант дивергенцияның нолге тең екенлигинде. Яғный

$$T_{i;k}^k = \frac{\partial T_i^k}{\partial x^k} + \Gamma_{ik}^k T_i^1 - \Gamma_{ik}^1 T_i^k = 0. \quad (6-5)$$

(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 көрсетиў мақсетинде заттың өзи менен қозғалатуғын есаплаў системасын қабыл етемиз хәм бундай есаплаў системасын жолдас есаплаў системасы (сопутствующая система отчета) деп атаймыз. Басқа сөз бенен айтқанда Лагранж координаталарын хәм заттың хәр бир элементиниң меншикли ўақытын

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:

$$\frac{\partial P}{\partial x^\varepsilon} = \frac{g_{0\varepsilon}}{g_{00}} \frac{\partial P}{\partial x^0} = (\varepsilon + P) \frac{F_\alpha}{c^2}. \quad (6-7)$$

(6-6) тенлемеси газди деформациялағандағы басым күшлеринің жұмысын тәріптейди, (6-7)-теңлемелер болса Лагранж координаталарындағы заттың импульсының сақланыуын анықлайды. Релятивисттик емес жағдайларға өткенде ($g_{0\rho} \rightarrow 0$, $\varepsilon \gg P$) (6-7) де импульс ушын жазылған әдеттегідей 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 (ΛdV , Λg_{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 $T_{i;k}^k = 0$.

(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) теңлемесинің стационар шешімге ийе болмайтуғынлығын түсинди. Ал сол ўақытлары Әлемнің стационар, ўақытқа байланыссы өзгермейди деген пикир ҳүким сүрген еди. Сонлықтан Эйнштейннің алдында стационар шешімлерге ийе теңлемелер керек болды. Сонлықтан ол (6-1) ге Λ ағзасын қосып (7-2) түріндегі теңлемени алды¹⁹

Әлбетте Λ ағзаны теңлемеге киргизиўдеги А.Эйнштейннің алдына қойған мақсет нолге тең емес орташа тығызлық $T_0^0 = \rho c^2 = \text{const}$ қа сәйкес стационар шешім алыў еди.

Буның ушын $\Lambda = \frac{8\pi G\rho}{3c^2}$ деп алыў керек. Бирақ қызылға аўысыў қубылысы бақланғаннан кейин А.Эйнштейн $\Lambda=0$ болған теңлемеге қарай көбірек аўды. 1930-жылларға шекем $\Lambda \neq 0$ болғандағы стационар хәм стационар емес шешімлер 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 кеңисликтің жоқ қылыўға болмайтуғын иймеклиги болып табылады (материясыз хәм гравитациялық талқынларсыз бос кеңисликтің). Бирақ тартылыс теориясы иймекликти 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 кеңисликтің гравитациялық майдан пайда ететуғынлығын өз ишине алады. Егер $\Lambda = 10^{-55} \text{ см}^{-2}$ деп болжасақ $\rho_\Lambda = 10^{-28} \text{ г/см}^3$, $\varepsilon_\Lambda = 10^{-7} \text{ эрг/см}^3$. Усындай мәнисте вакуумның энергиясының тығызлығы менен басымы (керим тензоры) ҳаққында айтамыз.

Бизиң ρ_Λ хәм ε_Λ ҳаққындағы 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 теңлемелеринің стационар шешими

Биз дәслеп А.Эйнштейннің 1917-жылы шыққан «Космология мәселелери хәм улыўмалық салыстырмалылық теориясы» мақаласын талқылаймыз. Бул мақала мына сөзлер менен басланады:

«Пуассонның дифференциал теңлемеси

$$\Delta\varphi = 4\pi K\rho \quad (1)$$

ның материаллық нокаттың 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 Әлемнің 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. Хәқыйқатында 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 жулдыз системасын стационар жыллылық қозғалысындағы газ деп қарап жулдызлар 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 жулдызлардың 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 жулдызлардың 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:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \rho \end{pmatrix}$$

Тығызлықтың бөлистирилиуі скаляр ρ (орташа) кеңістіктегі координаталардың функциясы болуы мүмкін. Бірақ биз дүняны кеңістік бойынша туйық деп болжаймыз. Сонлықтан ρ тұрған орыннан ғәрезли емес деген гипотезаны қабыл етемиз 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 нокаттың тынышлықта туратуғынлығы келип шығады.

Мақаланың 4-параграфы «Гравитациялық майданға киргизиу зәрүр болған қосымша ағза ҳаққында» 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)-түрдеги Пуассон теңлемесин улыұмаластырыуға сәйкес бир улыұмаластырыуға мүмкиншилик береді. Улыұмалық ковариантлықты бузбай (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 сақланыуы нызамларын да қанаатландырады...»

5-параграф есеплаулар нәтижелерин баянлайды хәм «Есеплаулар. Нәтиже» деп аталады. Онда былай делинеди:

«Бизин континуумның барлық нокатлары бирдей болғанлықтан есеплауларды мысалы координаталары $x_1 = x_2 = x_3 = x_4$ болған бир нокат ушын орынлаған жеткилики 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 дәслеп мына аңлатпа алынады:

$$G_{\mu\nu} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left\{ \begin{array}{c} \mu \ v \\ 1 \end{array} \right\} + \frac{\partial}{\partial x_2} \left\{ \begin{array}{c} \mu \ v \\ 2 \end{array} \right\} + \frac{\partial}{\partial x_3} \left\{ \begin{array}{c} \mu \ v \\ 3 \end{array} \right\} + \frac{\partial^2 \lg \sqrt{-g}}{\partial x_\mu \partial x_\nu}.$$

...барлық (13а) теңдемелериниң егер

$$-\frac{2}{R^2} + \lambda = -\frac{\chi\rho}{2}, \quad -\lambda = -\frac{\chi\rho}{2}$$

катнастары орынланған жағдайда қанаатландырылатуғынлығы келип шығады. Ямаса

$$\lambda = \frac{\chi\rho}{2} = \frac{1}{R^2}.$$

Солай етип егер тең салмақлық халында сақланатуғын орташа тығызлық ρ , сфералық кеңісликтің радиусы R хәм оның көлеми $2\pi^2 R^3$ белгили болса жаңадан киргизилген универсаллық константа λ ниң мәнисин анықлау мүмкин болады. Бизин 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 есепқа 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 мәселерді 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 байланысly моно-тонлы өзгереди, 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 ҳаққында гәп етиледи.

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. Бұл 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 өзгеріуішисинен η өзгеріуішисине

$$dt = R(\eta) d\eta$$

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

$$T_0^0 = -\rho, \quad T_r^r = T_\phi^\phi = T_\psi^\psi = p. \quad (9-8)$$

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

$$\begin{aligned} R_0^0 &= 3\ddot{R}/R, \\ R_1^1 &= \frac{1}{R^2}(R\ddot{R} + 2\dot{R}^2 + 2k). \end{aligned} \quad (9-10)$$

Буннан

$$\begin{aligned} 3\ddot{R} + 4\pi G(\rho + 3p)R &= 0, \\ R\ddot{R} + 2\dot{R}^2 + 2k - 4\pi G(\rho - p)R^2 &= 0 \end{aligned} \quad (9-11)$$

теңдемелерін аламыз.

Егер (9-11) деги биринши теңлемени \ddot{R} ге бөлсек, онда

$$\ddot{R} + k = \frac{8\pi G}{3}\rho R^2 \quad (9-12)$$

теңлемесін аламыз.

$$\frac{1}{2}d\left[\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2\right]/dR = \ddot{R}/R \quad (9-13)$$

екенлигин еске түсіреміз. Онда (9-11) дің биринши теңлемесінен

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\frac{d}{dR}\left(\frac{8\pi G}{3}\rho R^2\right) &= \frac{1}{2}\frac{d}{dR}\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 = \ddot{R}/R = -\frac{4}{3}\pi G(\rho + 3p)R, \\ \frac{d}{dR}(\rho R^2) &= -(\rho + 3p)R, \\ \frac{d}{dR}(\rho R^2) &= -3pR^2 \end{aligned} \quad (9-14)$$

екенлигине ийе боламыз хәм (9-11) дің екінши теңлемесін аламыз.

Енди Фридман модели үшін ρ , k хәм q шамалары арасындағы байланысларды келтиріп шығарамыз.

$$H \equiv \dot{R}/R$$

анықламасынан хәм (9-12) ден

$$\frac{8\pi G\rho}{3} = \frac{k}{R^2} + H^2 \quad (9-15)$$

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

$$q \equiv -\frac{\ddot{R}R}{\dot{R}^2}$$

анықламасын есапқа алсақ биз

$$-8\pi G\rho = \frac{k}{R^2} + H^2(1-2q) \quad (9-16)$$

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 дәуирдин 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 тұрақты екенлігін ескертіп өтеміз²¹.

Бирінші жағдай. Затлар материяның басқа түрлеріне қарағанда көп болған жағдайда басымды есапқа алмай кетіуімізге болады. Бундай аўхалда масса-энергияның тығызлығы Әлемнің көлемінің үлкейіуі менен кемедейді:

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 \quad (9-18)$$

$$d\eta = dt / R$$

аңлатпасының жәрдеминде жаңа ўақытлық координатаны анықлаймыз²². Бундай жағдайда Фридман теңлемесі 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 бір теклі хэм изотроп кеңіслік үшін Эйнштейннің теңлемесін әпіуайылағырады 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 бирінші теңлемени Mathematica 5 тиниде шешетуғын болсақ (шугаралық шәртлер үшін $t=0$ де $R=0$, ал $t=t_1$ де $R=R_1$ деп алынған). Бундай жағдайда теңлеме былай жазылады: $DSolve[\{R''[t] + ((4\pi G/3)*(\rho + 3P/c^2))*R[t] == 0, R[0] == 0, R[t_1] == R_1\}, R[t], t]$. Ал компьютер болса мынадай шешімді береді:

$$R[t] \rightarrow \frac{-\frac{2t\sqrt{-3GP\pi-c^2G\pi\rho}}{\sqrt{3}c} + \frac{2t_1\sqrt{-3GP\pi-c^2G\pi\rho}}{\sqrt{3}c} \left(-1 + e^{\frac{4t\sqrt{-3GP\pi-c^2G\pi\rho}}{\sqrt{3}c}} \right)}{4t_1\sqrt{-3GP\pi-c^2G\pi\rho} - 1 + e^{\frac{4t_1\sqrt{-3GP\pi-c^2G\pi\rho}}{\sqrt{3}c}}}$$

²² Әдетте бул координатаны «угол развертки» деп атайды.

$$\frac{1}{2}\eta = \int_0^{R^{1/2}} \frac{dR^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3 - kR\right)^{1/2}} = \begin{cases} k = +1 \text{ болганда} & \arcsin \frac{R^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3\right)^{1/2}} \\ k = 0 \text{ болганда} & \frac{R^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3\right)^{1/2}} \\ k = -1 \text{ болганда} & \operatorname{arSh} \frac{R^{1/2}}{\left(\frac{8}{3}\pi\rho_0 R_0^3\right)^{1/2}} \end{cases} \quad (9-21)$$

Енди

$$q_0 = \frac{4\pi G}{3} \frac{\rho_0}{H_0^2} \quad (9-22)$$

хәм

$$R_0^2 = \frac{k}{(2q_0 - 1)H_0^2}, \quad (k = \pm 1) \quad (9-23)$$

екенлигин есапқа аламыз. (9-23) тиң шеп тәрәпиниң оң мәниске ийе екенлигинене $k = \operatorname{sign}(2q_0 - 1)$ екенлигинен түсиникли. Демек (9-21) де мынаған ийе боламыз:

$$\frac{8\pi}{3} \rho_0 R_0^3 = \frac{2q_0}{H_0 |2q_0 - 1|^{3/2}}, \quad k = \pm 1.$$

Енди (9-21) ди R_0 ге қарата шешсек мына аңлатпаларға ийе боламыз:

$$R = \begin{cases} k = +1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}} (1 - \operatorname{Cos}\eta), \\ k = 0 \text{ ушын} & \frac{1}{12} H_0^2 R_0^3 \eta^2. \\ k = -1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}} (\operatorname{Sh}\eta - 1). \end{cases} \quad (9-24)$$

Ең кейнинде $dt = R d\eta$ шамасын интеграллап мыналарды аламыз:

$$t = \begin{cases} k = +1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(2q_0 - 1)^{3/2}} (\eta - \operatorname{Sin}\eta), \\ k = 0 \text{ ушын} & \frac{1}{12} H_0^2 R_0^3 \eta^3. \\ k = -1 \text{ ушын} & \frac{q_0}{H_0(1 - 2q_0)^{3/2}} (\operatorname{Sh}\eta - \eta). \end{cases} \quad (9-25)$$

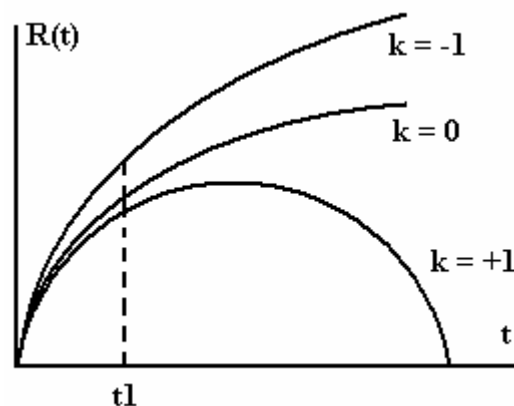
Жоқарыда шешилген мәселеде $k=0$ болған жағдай ушын жуўаптан R_0 ди жоқ қылыў мүмкин емес екенлигин аңсат аңлаў мүмкин. Бул факт усындай жағдайларда Әлемниң кеңисликлик қашықлықларда ықтыярлы масштабларға ийе болатуғынлығын, ал оның геометриясының ўақыттың барлық моментлеринде бирдей болып «көринетуғынлығын»

сәулелендіреді. Сонлықтан R_0 диң сан мәнісі қалеген физикалық өлшенетуғын шамаға кирмейди.

Биз (9-24)- пенен (9-25)-аңлатпалардан әхмийетли жуўмақлар шығарамыз:

А). Әлем жабық болған жағдай ($k=+1$). $R = \frac{q_0}{H_0(2q_0-1)^{3/2}}(1-\cos\eta)$. Демек R диң мәнісі η ның мәнісине ғәрезли $(1-\cos\eta)$ 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 мәніслерге 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 өседі. R диң максималлық мәнісі [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 мәнісі шексиз өседі. Бул 4-сүўретте келтирилген.



4-сүўрет. $R = R(t)$ ғәрезлилиги. Бул сүўретке $\Lambda = 0$, 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 моменти ҳәзирги Әлемге сәйкес келеди. Үш жағдайда да $R(t) = 0$ болған жағдай бақланады (сингулярлық)

Солай етип $t=0$ мәнісиндаги $R \rightarrow 0$ 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 мәніске 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:

$$\left(\frac{R}{R} \right)^2 = \left(\frac{dR/d\eta}{R^2} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_0 \left(\frac{R_0}{R} \right)^4 - \frac{k}{R^2}$$

ямаса

$$\frac{dR}{\left(\frac{8}{3} \pi G \rho_0 R_0^4 - k R^2 \right)} = d\eta.$$

Бул теңлемениң шешими мына түрге ийе болады:

$$R = \left(\frac{8\pi}{3} G \rho_0 R_0^4 \right)^{1/2} \begin{cases} k = +1 \text{ ушын } \text{Sin} \eta, \\ k = 0 \text{ ушын } \eta, \\ k = -1 \text{ ушын } \text{Sh} \eta. \end{cases} \quad (9-27)$$

(9-22) ниң орнына енди

$$q_0 = \frac{8\pi G}{3} \frac{\rho_0}{H_0^2},$$

ал (9-23) тиң орнына

$$R_0^2 = \frac{k}{(q_0 - 1) H_0^2}, \quad (k = \pm 1)$$

аңлатпаларына ийе боламыз. Демек (9-27) енди

$$\frac{8\pi}{3} G \rho_0 R_0^4 = \begin{cases} k = \pm 1 \text{ ушын } \frac{q_0}{(q_0 - 1)^2 H_0^2} \\ k = 0 \text{ ушын } H_0^2 R_0^4. \end{cases} \quad (9-28)$$

Ал $dt = R d\eta$ қатнасын интеграллау бизге мынаны береді:

$$t = \begin{cases} k = +1 \text{ ушын } \frac{1}{H_0} \left[\frac{q_0^{1/2}}{q_0 - 1} \right] (1 - \cos \eta), \\ k = 0 \text{ ушын } \frac{1}{2} H_0 R_0^2 \eta^2, \\ k = -1 \text{ ушын } \frac{1}{H_0} \left[\frac{q_0^{1/2}}{q_0 - 1} \right] (Ch\eta - 1). \end{cases} \quad (9-29)$$

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 «развертка мүйеши» менен анықланатуғын болса радиус бойынша тарқалатуғын фотон ($d\varphi = d\psi = 0$) 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 шешиўге 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. Улыұмалық салыстырмалылық теориясы Әлемнің тутасы менен алғандағы ең улыұмалық қәсийетлерин түсиндиреди. Қара курдымлардың бар екенлиги болжанды. Қара курдымлар түсинигиниң жәрдемінде 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 алыұшы қос жулдызлардың қозғалысынан анықланды.

4. Тартылыс теориясын геометриялық жақтан формулировкалаұ кеңислик-ұақытлық многообразияның қәлеген ноқатында хәм қәлеген еркин қозғалыұшы баклаұшының дүнъялық сызығы бойлап локаллық инерциаллық координаталарды енгизиұдың мумкиншилигин автомат түрде өз ишине алады. Бундай координаталар системасында салмақсызлық орын алады ал жоғалтылмайтуғын гравитациялық тәсир қоршаған орталықты тасыұ-қайтыұ характеринде деформациялайды. Теорияда салмақ майданы²³ хәм координата системасының тезлениұшы қозғалысы арасындағы локаллық эквивалентлилик принципи орынланады. Тәжирийбе эквивалентлилик принципін тастыйықлайды.

5. Тартылыс теңлемелери материяның қозғалысы менен кеңисликти толтырып турған майданның өзгерисине белгили бир шеклер қояды. Дара жағдайда ноқатлық бөлекше ушын қозғалыс теңлемесиниң өзи кеңислик-ұақыттың геометриясының салдары болып табылады. Улыұма жағдайда сол шеклеұлер гравитациялық күшлердің тәсирин есапқа алғандағы энергия, импульс хәм момент ушын баланс теңлемелери түрине ийе болады.

Усы атап өтилген улыұмалық салыстырмалылық теориясының 5 өзгешелигиниң өзи бул теорияның әхмийетин хәм дурыслығын айқын сәўлелендиреди.

Егер космологияға келетуғын болсақ биз төмендегилерге тоқтап өтемиз:

Эйнштейн теңлемелериниң қолланылыұ областлары киши қашықлықлар менен материяның үлкен тығызлықларында²⁴ шекленбеген (бул гәплер киши қашықлықлар менен үлкен тығызлықларда теңлемелердің ишки қарама-қарсылықларға алып келмейтуғынлығының салдарында айтылған²⁵). Бундай мағанада айтқанда кеңислик-ұақытлық метриканың өзгешеликлерин изертлеұ толықы менен корректли жумыс 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 кайсы 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 есептейміз.

Бірақ ұсы айтылғанларға қарамастан, ұлыұмалық салыстырмалылық теориясына альтернатив теориялар пайда болмақта. Неликтен альтернативтік теориялар пайда болмақта? Ұсы сорауға байланысты екі тенденцияны атап өтеміз:

Бірінші тенденция ұлыұмалық салыстырмалылық теориясын классикалық (кванттық емес) гравитация облысындағы дурыс емес хәм қанаатландырмайтуғын теория деп дағазалайды. Мәселенің бундай етип қойылуының өзінше нюанстары бар. Екінші жағдайлар ұлыұмалық салыстырмалылық теориясы жәрдеминде есепленған айырым шамалардың эксперименттерде анықланған шамаларға дәл сәйкес келмеуінде. Тәжірийбелер бундай теориялардың ұзақ уақыт жасап атырмағанлығын көрсетеди.

Альтернативтік теориялардың ең белгилілерінің бири А.А.Логуновтың басшылығында дәретілген гравитацияның релятивисттік теориясы болып табылады. Бул хәм басқа да альтернатив теориялардың көпшилиги гравитацияны кеңістік-уақыттың геометриясының өзгешеліги емес, ал хақықый физикалық майдан (мысалы электромагнит майданы, ядро күшлері майданы хәм басқалар) сыяқты майдан деп қарайды. Демек сол теориялардың авторлары теорияның мазмұнына емес, ал формасына қайыл емес. Мысалы электромагнит майданы Максвелл электродинамикасы тийкарында толық түсіндіріледі хәм электромагнит майданы хақықый физикалық майдан болып табылады (электромагнит майданың Фарадей-Максвелл типіндеги физикалық майдан деп атаймыз, бундай көз қарастан қарағанда ұлыұма салыстырмалылық теориясындағы гравитация майданы физикалық майдан емес, ал кеңістік-уақыттың иймейіуі екенліги биз көрдик). Оның (электромагнит майданының) энергия-импульс тензоры сәйкес түрлендіріу хәм сақланыу ызамларына ийе жақсы хәм локаллық анықланған физикалық шама болып табылады. Ұлыұма салыстырмалылық теориясының стандарт «геометриялық» формулировкасында болса гравитациялық энергияның локализациясы анық емес болып қалады. Бул ұлыұма салыстырмалылық теориясының ең тийкарғы «кемшилиги» болып табылады.

2004-жылы «Успехи физических наук» журналының 6-санында «Гравитацияның релятивисттік теориясының авторлары А.А.Логунов, М.А.Мествиришвили хәм В.А.Петровлардың «Как былы открыты уравнения Гильберта-Эйнштейна» мақаласы шықты. Бул мақаланың авторларының мағлыұматлары бойынша гравитациялық майданның теңдемелеріне Гильберт пенен Эйнштейн бир биринен ғәрезсіз екі түрлі жол менен келген. Бул жоллар хәр қыйлы еді, биік бул жоллар бир мақсетке алып келген. Екі автор да өзлерінің атларының гравитациялық майданның теңлемесінде турыуы үшін урынған. Ал ұлыұмалық 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 теңдемелер системасының анықлаушысы (определители) 1 ге тең болған түрлендіріуге қарата коварианттылығын постулатына тийкарланған. Бул теорияның гөззаллығы усы теорияны хақыйқатында да түсинетуғын адамлардан жасырынып қала алмайды, теория Гаусс, Риман, Кристофел, Риччи хәм Ливи-Чивиталар тәрөпинен раўажландырылған абсолют дифференциаллық есаплаудың хақыйқый шыңын аңғартады» сөзлери орынлы болып табылады.

Космология

Кирису

Әлемнің пайда болыуы менен раўажланыуы барлық уақытлары адамзат цивилизациясы тарихында дыққат орайында болып келди. Соның нәтийжесинде ең уллы илимпазлар өзлеринің изертлеулерин Әлемнің қурылысын анықлауға бағышлады (Гиппарх, Аристотель, Птолемей, Әл Беруний, Мырза Улығбек, Коперник, Джордано Бруно хәм басқалар). Бирақ бул хаққында тек соңғы дәуірлерде ғана тәжірийбелер менен исенимлі теорияларға (салыстырмалылық теориясы, майданның квант теориясы, хәзирги элементар бөлекшелер теориясы) тийкарланған илимий тәлімат анық түрде қәлиплести. Бул тәлімат инфляциялық космология болып табылады.

Инфляциялық космология ең ертедеги Әлемнің физикалық халы менен кеңейіу нызамы хаққындағы гипотезаға тийкарланып, Әлемнің дәслепки кеңейіуінің себеплерин оның хәзирги уақытлардағы қәсіятлерин түсиндіріуге қолланылады. Сонлықтан инфляциялық космология бизің күнлеримиздеги стандарт космологиялық модель деп аталуғын модельдің тийкарғы мәнісин қурайды.

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 дәуіріне шекем (буннан кейінги шама менен 300 мың жыллық дәуір) $p = \varepsilon/3$ (p басым, ε энергияның тығызлығы) аңлатпасына жақын болған хал теңлемеси менен анықланады. Усы дәуір ишінде масштаблық фактор $R(t)$ уақыттың $1/2$ -дәрежесине пропорционал (яғный $R(t) \propto t^{1/2}$), ал $p \ll \varepsilon = \rho c^2$ (ρ арқалы заттың тығызлығы белгиленген) хал теңлемеси

орын алатуғын хәзирги күнлерге шекем $R(t) \propto t^{2/3}$ нызамы бойынша өскен. Усындай стандарт космологиялық модель бақлаўлар мағлыўматларының көпшилигин жақсы түсиндиреди. Бирақ хәзирги Әлемнің базы бир қәсийетлерин түсиндире алмайды.

Усындай қәсийетлердің бири Әлемнің үлкен масштаблардағы бир теклилиги менен изотропиясы болып табылады. Әлемнің хәзирги ўақытлары бақланыўы мүмкин болған өлшеми l_0 өзиниң шамасының дәрежеси бойынша Хаббл қашықлығы деп аталатуғын қашықлыққа сәйкес келеди ($R_H = c/H_0 \approx 10^{28}$ см, H_0 арқалы Хаббл турақлысы белгиленген). Басқа сөз бенен айтқанда хәзирги заман обсерваторияларында дүньяның бир биринен қашықлығы $l \leq l_0$ болған участкаларын (бөлекшелерин) бақлаў мүмкин. Усы бөлекшелер арасындағы қашықлықлар $R(t)$ ға пропорционал өскен, ал өткен дәўирлерде²⁶ болса бул қашықлықлар киши болған. Стандарт модель бойынша Планк дәўиринде ($t_{Pl} \approx 10^{-43}$ с) бул қашықлық $l' = l_0 R(t_{Pl}) / R(t_0) \approx 10^{-3}$ см ғана болған. Ал бир бири менен себеп пенен байланысқан областлардың өлшемлери (бул шаманы горизонттың өлшеми деп атайды) $l_{Pl} = ct_{Pl} \approx 10^{-33}$ 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 Әлемнің бир текли хәм изотроп екенлигин дәлиллейди. Ал усундай қәсийетлердің пайда болыўының себеплери түсиниксиз болып қалады.

Әлемнің усы ўақытларға шекем түсиндирилмеген екинши қәсийети $\Omega = \rho/\rho_{кр}$ параметриниң мәнисиниң бирге жақынлығында ($\Omega \approx 1$, ал $\rho_{кр} \approx 5 \cdot 10^{-10}$ г/см³). Баҳалаўлар нәтийжелери бойынша хәзирги ўақытлары $\Omega = \Omega_0$ шамасының мәниси $0,003 < \Omega_0 < 2$. Де-

²⁶ Бул жумыста дәўирдің аты айқын көрсетилмеген жағдайларда астрономиялық дәўирлер (яғный миллиардлаған жыллар) нәзерде тutyлады.

²⁷ Бул болжам постулат болып табылады. Сонлықтан биз болжаймыз деген сөздің 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 қашықтығынан әдеуір киши бола алмайды. Соның менен бирге $\Omega = 1$, соған сәйкес дүньяның тегіс болуы да мүмкін (кеңісликтің майысқанлығы нөлге тең). Динамика-ның теңлемелерінен егер хәзирги дәуірлерде Ω ның мәніси бирге тең болмаса, бірақ жоқарыда көрсетілген шеклер ишінде жатса, уақыттың функциясы болғанлықтан бурын-лары $\Omega = 1 \pm 10^{-8}$ дәллікте бирге жақын болғанлығы келип шығады. Басқа сөз бенен айтқанда кеңейіуші затлардың кинетикалық хәм потенциал энергиялары арасында жоқа-ры дәлліктеги баланс (теңлік) орын алған.

Үшіншиден, Әлемнің қурылысының неликтен галактикалар менен олардың то-парларынан туратуғынлығы усы уақытларға шекем стандарт космология тийкарында түсіндирилген жоқ.

Жоқарыда келтирилген тийкаргы үш мәселени түсіндириу мақсетінде 1980-жыллардан баслап хәзирги уақытлары космологияның ажыралмас бөлегине айланған ин-фляциялық космология қәлиплесе басады. Бул космологияның тийкаргы өзгешелиги ең дәслепки Әлемнің рауажланыуының белгили бир этапларындағы $R(t) \propto t^{1/2}$ ғәрезилиги-нен бас тартыу болып табылады. Инфляциялық космология моделинде (ИКМ) барионлық зарядлар пайда болатуғын дәуір алдында Әлем $R(t) \sim 1/\text{Hexpr}(Ht)$ нызамына жақын нызам бойынша кеңейеди. Бул аңлатпадағы H арқалы кеңейіудің инфляциялық стадиясындағы Хаббл турақтысы белгиленген. Оның мәніси $10^{42} \text{ с}^{-1} > H > 10^{36} \text{ с}^{-1}$ шеклери ишінде бола-ды хәм Хаббл турақтысының хәзирги уақытлардағы мәнісінен оғада үлкен. Кеңейіудің бундай нызамы $p = -\varepsilon$ болған хал теңлемесине сәйкес келиуші физикалық майданлардың халлары менен тәмийинленеди (яғный терис мәніске ийе басымға ийе хал). Кеңейіудің бундай стадиясын инфляциялық стадия деп атайды. Себеби инфляция барысында мас-штаблық фактор хәм соның менен бирге қәлеген еки ноқат арасындағы қашықтық үлкейе-ди, ал энергияның тығызлығы ε өзгермей қалады. Усындай әдеттегидей емес кубылыс тек терис мәнісли басымлар (бул керіуіге сәйкес келеди) орын алғанда жүзеге келеди²⁹. Ал энергиясының мәніси оң, басымының мәніси терис болған хал турақты 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 ре-жимде $R(t) \sim t^{1/2}$). Инфляция стадиясының жеткиликли дәрежедеги узақлығында (уақыт

²⁸ Дүнья сөзи Әлем сөзінің синоними сыпатында қолланылады.

²⁹ Биз улыуа физика курсынан әдеттеги басымға оң мәніске ийе энергия сәйкес келетуғын болса керіуіге (терис мәнісли басымға) терис мәнісли энергияның сәйкес келетуғынлығын билемиз.

бойынша) хәзирги ўақытлары бақланатуғын Әлемнің барлық бөлеги инфляцияға шекемги себеп пенен байланысқан бир областтың кеңейиўиниң нәтийжеси болып шығады. Бул жағдайлар өзінше хәзирги 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 кеңейиўдиң инфляция стадиясында кеңисликлик майысқанлық радиусы соншама үлкейеди, нәтийжеде Ω ның хәзирги ўақытлардағы мәни-си автомат түрде бирге жақынласады.

Инфляциялық Әлем моделиниң және бир әхмийети анық амплитудаға хәм спектриниң формасына ийе тығызлық флуктуациясының пайда болыў мүмкиншилигинде (буны возмущениелердиң тегис спектри деп атайды). Бундай спектр үлкен масштаблардағы бир теклилик пенен изотроптылықты сақлап қалыў менен бирге Әлемнің бақланатуғын структуралылығының (галактикалар менен олардың жыйнақларының) қәлипlesiўин 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 кеңейиўдиң 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 әхмийетли 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 әсте-

лениў 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 есапқа алған ҳалда бул питкерий қәнигелик жумысында инфляциялық космология хәзирги заман космологиясының тийкарғы буўыны сыпатында баянланған хәм бул тараўға байланыслы айырым изертлеў жумыслары орынланған. Зәрүрли болған мағлыўматлар интернет тармағынан алынды (бул ҳаққында питкерий жумысы

ақырында дизим берілген), ал есаплау процедуралары Mathematica 5 тилинде әмелге асырылды.

Питкериу қәнигелик жумысы 2004/2005-оқыу жылы дауаында орынланды.

СТАНДАРТ КОСМОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛЬ

§ 1. Стандарт космологиялық моделдің тийкаргы өзгешеликлері

Космология Әлемнің астрономиялық бақлауларға алынған бөлегін тутасы менен изертлейтуғын, бақлау мағлыұматлары менен теориялық жуұмақларға тийкарланатуғын физикалық тәлимаат болып табылады. Космологияның теориялық фундаменти сыпатын тийкаргы физикалық теориялар (гравитация теориясы, электро-магнит майданы теориясы, квант теориясы хәм басқалар) ийелейди. Космология ушын эмперикалық мағлыұматларды тийкарынан галактикадан тыс астрономия береді, ал оның жуұмақлары менен улыұмаластырыұлары пүткил дүнья хаққындағы улыұма илимий хәм философиялық әхмийетке ийе.

Космологияда әхмийетли орынды тартылыс ийелейди. Себеби тартылыс массалардың космология ушын характерли болған үлкен аралықлардағы тәсирлесіулерін хәм соған сәйкес космослық материяның динамикасын анықлайды. Космослық материяның динамикасын үйрениу менен бир қатар космология оның хәзирги ўақытлардағы физикалық қәсийетлерін 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 өтті. Шамасы сол ўақытлары дәслепки материя бир текли хәм изотроп болып тарқалған хәм тығызлық пенен температураның төменлеуіне алып келетуғын кеңейиу халында болған. 10^{12} - 10^{11} К температура-ларында кеңейиудің характерли ўақыты (мысалы температураның мәнисинің еки есе кемейиу ўақыты) секундтың мыңнан бир үлесін кураған. Температура $\sim 10^{11}$ К ке шекем төменлегенде материяның тығызлығы (соның ишінде нурланыу да, бөлекшелер де, анти-бөлекшелер де бар) ядролық заттың тығызлығындай болыуы керек. Эволюцияның усы моментинен баслап материяның қәсийетлерін үйрениу ядролық физикада ашылған факт-лер 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 уақытлардағы космослық затларда болыўы есаплаў мағлыўматларына сәйкес келеди хәм сол элементлердиң космологиялық пайда болыўынан дерек береді (аўыр элементлер жұлдызларда синтезленеди).

Жеңил элементлердиң ядролары пайда болғаннан кейин ($t \sim 100$ с) затлар еле де (шама менен 1 млн. жыл) плазма ҳалында болады. Усы плазма менен нурланыў да тең салмақлық ҳалда 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 уақытлары 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 тұрақсызлықтың салдарынан үлкейе баслайды. Атап айтқанда тап усындай киши возмущениелер ақыр-аяғында хәзирги уақытлары бақланатуғын галактикалар хәм олардың жыйнақлары түриндеги кеңисликтеги қурылыстың пайда болыўына алып келди деп болжанады.

Хәзирги уақыттағы 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 тәріплегудің теориялық тийкары тартысуының 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 тәріплейди. 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 тәрәпинен А.Эйнштейннің улыұмалық салыстырмалылық теориясы (тартысуы теориясы) тийкарында усынылды. Бул моделлерде Әлемнің кеңейиуи тығызлығы шексиз үлкен болған ҳалдан (сингулярлықтан) басланады. Бундай ҳалдағы затлардың қәсийетлери белгисиз.

Затлардың ҳәзирги ўақытлары бар теорияларды затларға $\rho_{\text{Пл}} = \frac{c^5}{G^2 h} \sim 10^{93} \text{ г/см}^3$, ал темпе-

ратура $T_{\text{Пл}} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{c^5 h}{G}} \sim 10^{32} \text{ К}$ нан төмен болғанда ғана қолланыўға болады. Тығызлық пе-

нен температураның бул мәнислери Планк тығызлығы хәм Планк температурасы деп атайды. Олар жақтылықтың тезлиги c , гравитация 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. Ҳәзирги ўақытлардағы физикалық шараятлар сондай, оларды тәріплегудің физика илиминде еле дөретилмеген тартысуының квант теориясы (гравитацияның квант теориясы) зәрүр.

§ 2. Ҳәзирги заман космологиясының бақлаў тийкарлары

Галактикалар дүньясы. Кеңисликтің бүгинги күнге шекем жақсы изертленген облас- тында (яғный 1500-2000 Мпк ке шекемги аралықлар) бир неше миллиард жулдызлар сис- темалары – галактикалар жайласқан. Солай етип Әлемнің бақланатуғын областы (бул областты Метагалактика деп те атайды) биринши гезекте галактикалар дүньясы болып та- былады. Галактикалардың басым көпшилиги ҳәр қайсысында онлаған, жүзлеген хәм мың- лаған галактикалары бар топарлар менен жыйнақлардың қурамына киреди. Бизің Галак-

тикамыз³⁰ болса галактикалардың жергиликли топарына киреди. Ал усы жергиликли топар болса Дева шоқ жұлдызы тәрeпiндегi галактикалар топарына жалғасады. Девадағы галактикалар жыйнағы мыңнан аслам ағзаға ийе хәм >>3 Мпк өлшемге ийе, ал оған шемгi қашықлық >>20 Мпк.

Галактикалардың кеңисликтегi тарқалыуы нызамлылықтарын анықлау ушын аспан сферасындағы хәр қыйлы бағытлардағы галактикалардың хәр қыйлы «тереңликлерге» шемгi саны есапланды (яғный үлкен көриниуши жұлдызлық шамаларға шем). Бақлаулар 14-жұлдызлық шамадан хәзиргi уақытлардағы телескоптар менен бақланыуы мүмкин болған ең әззи галактикалар (шама менен 24^m) ушын кеңисликтегi бир текли тарқалыудың характерли екенлигин көрсетти. Характерли өлшеми ~ 100 Мпк болған көлемде (бундай көлемде галактикалардың көп санлы жыйнақтары жайласады) заттың орташа тығызлығы ρ (галактикалардың «шашыратылған» затлары) бир неше мың Мпк болған көлемдегi тығызлық пенен бирдей (>> $3 \cdot 10^{-31}$ г/см³ анау ямаса мынау тәрeпке 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 түрлерi бар: нейтрал хәм ионласқан газ (галактикалар жыйнағында хәм жыйнақтар арасында), шаң-тозаң, космос нурлары, әззи магнит майданлары (оның жүдә әхмийетли қураушысы реликтив радионурланыуы болып табылады). Затлардың усындай түрлериниң энергияның улыумалық тығызлығына қосқан үлеси үлкен емес. Энергияның тығызлығына әдеттегi затлар менен әззи тәсирлесетуғын, соның ушын бақланыуы қыйын болған материяның түрлериниң үлеси де белгилi емес. Әсиресе нейтриноның (массасыз ямаса массаға ийе екенлигi еле белгисиз) хәм гравитациялық толқынлардың энергияларының тығызлығын билген әхмийетли болған болар еди. Галактикалар арасындағы кеңисликтерде материяның еле ашылмаған түрлериниң де болыуы мүмкин.

Метагалактикадағы материяның барлық түрлериниң бир теклилигин алыстағы радиодеректердің (олар кеңисликти бир текли толтырады) санларын есаплау да, галактикалардың пекуляр тезликлериниң (яғный системалық емес, ал тосыннан болатуғын) киши екенлигi де, реликтив нурлардың изотропиясы да тастыйықлайды.

Галактикалар жыйнақтарының, басқа да затлардың хәм нурлардың кеңисликтегi бир текли тарқалғанлығының экспериментте тастыйықланғанлығын есапқа алып Космология Метагалактиканы тутас орталық деп қарайды. Әлемниң үлкен масштаблардағы қурылысы хәққындағы 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 заттардың ағып шығыуы көрсетеді. Соның менен бирге Әлемнің бақланатуғын бөлімінің стационар емес екенлиги оның кеңейіуінде көрінеді. Бул кеңейіу алыстағы галактикалардың системалы қозғалыстарынан анықланған.

Алыстағы галактикалардың спектріндегі сызықтар Жердегі лабораторияларда алынған тап сол сызықтарға қарағанда спектрдің қызыл тәрәпине қарай жылысқан. Спектр сызығының толқын ұзындығының салыстырмалы өзгерісі (яғни қызылға ауысуы)

$$z = (l - l_0)/l_0. \quad (1)$$

Бул аңлатпада l_0 арқалы лабораториялық толқын ұзындығы, l арқалы узақтағы галактиканың ауысқан сызығының толқын ұзындығы аңлатылған. Аңлатпадағы z тиң шамасы узақтағы квазарлар үшін 3,5 ке жетеді. Спектр сызықтарының қызылға ауысуы жақтылықтың дерегінің бақлаушыдан қашықласуы бағытындағы қозғалысына байланыссы болған Допплер эффекті жәрдеминде түсіндіріледі. Егер деректің тезлігі $v \ll c$ болса жийіліктің өзгерісі $z \gg v/c$. Солай етип өлшенген z тиң мәнісі бойынша галактикалардың қашықласуы тезлігінің нурлық тезлігін анықлауға болады. Барлық узақтағы галактикалардың спектрлеріндегі қызылға ауысуы сол галактикалардың бизің Галактикамыздан хәм бир биринен қашықласып баратырғанлығын билдиреді. Галактикалардың бундай қозғалыстары улыұмалық хәм тийкарғы қозғалыстар болып табылады. Бул қозғалыстарға айырым галактикалардың киші (пекулярлық) қозғалыстары қосылады.

Метагалактиканың кеңейіуі (стационар емеслиги) исенимлі түрде анықланған. Усы қубылысты биринші рет бақлаған Америкалы астроном Э. Хаббл 1929-жылы бақлаулар мағлыұматлары бойынша z хәм алыстағы галактикаларға шекемгі қашықлық арасындағы пропорционаллықты тапты:

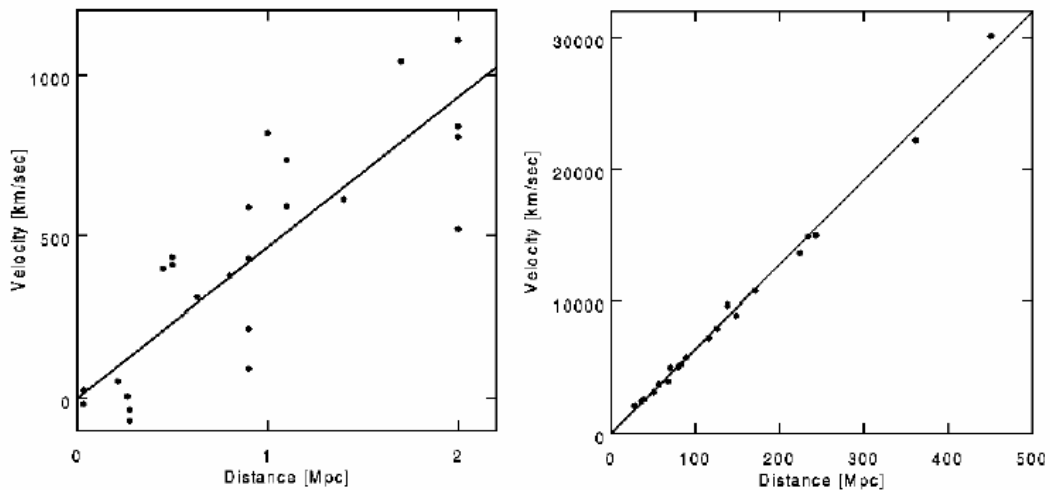
$$z = H \cdot r / c. \quad (2)$$

Бул аңлатпада H арқалы Хаббл турақлысы (Хаббл параметрі белгіленген). Бул аңлатпадан галактикаға шекемгі қашықлық қаншама үлкен болса, оның радиаллық (нурлық) тезлігінің де соншама үлкен болатуғынлығы келип шығады:

$$v = H \cdot r \quad (3)$$

H тың мәнісі аспан сферасындағы бағытқа ямаса галактикаға шекемгі қашықлыққа ғәрезлі емес. Хәзіргі бахалаулар бойынша оның мәнісі шама менен $72 \text{ км}/(\text{Мпс} \cdot \text{с})$. Кері шамасы болса уақыттың өлшеміне тең хәм $t_H = 1/H \gg 10$ млрд жыл.

(2)-нызамның дурыслығы исенимлі түрде тексеріліп көрілген. (3)-нызам болса айырым галактикалар үшін дәл орынланбайды, ал олардың жыйнақтары үшін дәл орыныланады (себеби бұл жағдайларда айырым галактикалардың тосыннан болатуғын тезліктері орталаанады). Жыйнақтағы галактикалардың тезліктерінің дисперсиясы 1000 км/с қа жетеді, ал галактикалардың жыйнағы ямаса топарларының орайларының, соның менен бірге бундай жыйнақтар менен топарларға кирмейтуғын индивидуал галактикалардың тезліктері (3)-нызамға 15 процентлік дәллікте сәйкес келеді (1-сүүрет). Улыұмалық Хаббл кеңейіуіне қосымша болған тосыннан тезліклердің шамалары 50-100 км/с шамасынан аспайды.



1-сүүрет: Хаббл диаграммалары галактикалардың бір биринен қашықласуы тезліктерінің қашықлыққа ғәреззилигін сәулендиреди. Шеп тәрәптегі сүүрет (бұл жерде қашықлықтың ең үлкен мәнісі 2 Мпс тен армаз үлкен) Хабблдың өзі алған диаграмма. Оң тәрәптегі сүүрет (қашықлық 500 Мпс) кейінгі уақытлары алынған диаграмма.

Бақлаулардың ең әхмийетлі фактлері қатарына Хаббл турақлысы H тың мүйешлік өзгеріушілерге хәм r ге ғәреззилигінің жоқлығында. Кеңейіудің изотропиясы, яғный кеңейіудің бақланатуғын картинасының аспан сферасындағы бағытқа ғәреззизлиги, орайы бақлау ноқатында болған сфералық симметрияның бар екенлігін билдиреди. H тың r ден ғәреззизлиги әхмийетлирек нәрсени – бақланатуғын картинаның хәр қандай бақлау ноқатларында бирдейлігін, яғный Әлемнің бир теклилігін аңғартады. Жерде турған бақлаушының аұхалы хеш нәрсе менен айырып алынған емес. Бақлаушы қашықласып баратырған галактикалардың қәлеген биреуінде турыуы мүмкин хәм ол үшін кеңейіу нызамы (3)-формула менен анықлана береді. Хәқыйқатында да орайы A ноқатында жайласқан қозғалыушы координаталар системасына өтиу мына формулалар бойынша әмелге асырылады:

$$r' = r - r_A,$$

$$v' = v - v_A.$$

Жаңа штрихланған координаталар системасы үшін (3)-нызам

$$v' = v - v_A = Hr - Hr_A = Hr'$$

түрине, яғный бұрынғы $v = H \cdot r'$ түрине ийе болады..

Аспан сферасындағы қандай да бір айрықша бағыттардың жоқ екенлиги реликтив радионурлануының температурасының изотропиясынан да тастыйықланады. Реликтив нурлардың фотонлары бизге ең алыс галактикаларға шекемги қашықтықтардан бір неше есе үлкен қашықтықтардан келеді. Бірақ сол жағдайға қарамастан хәр қыйлы бағыттар үшін сол нурларға сәйкес келиуші температураның мәніслери проценттиң оннан бір үлесиндей дәллікте бірдей болады.

(1)-формула менен анықланған z аўысыуы оның қәлеген мәнісинде физикалық мәніске ийе бола береді. Бірақ $z = v/c$ теңдигине байланысly оған тек киши болған v/c хәм z ларда ғана мәніс бериледи (z тиң қасында z^2 ты есапқа алмаўға болатуғын жағдайларда). Ал $z \geq 1$ болған жағдайларда $z = v/c$ формуласынан пайдаланыўға болмайды. Мысалы, айырым квазарлар үшін $z > 2$. Әлбетте бул жағдай квазарлардың бизден $> 2c$ тезлиги менен қашықласып баратырғанлығын аңлатпайды. Арнаўлы салыстырмалылық теориясына сәйкес деректиң тезлиги жақтылықтың тезлигине жақынлағанда z тиң шамасы шексизлікке умтылады. Үлкен z лерде жақтылықтың деректен бақлаўшыға жолындағы затлардың гравитациялық майданы да үлкен тәсир жасайды. Бул қубылыстың толық тәрипнамасын релятивистлик космология береді (бул хәққында 5-параграфта толығырақ гәп етиледі).

§ 4. Реликтив радионурлануы

Әлемнің реликтив нурлануы (көпшилик әдебиятта Әлемнің микротолқынлық фонлық нурлануы деген термин қолланылады) 1965-жылы Америкалы астрономлар А. Пензиас хәм Р.Вильсон тәрәпинен ашылды. Жұлдызлардың, галактикалардың хәм басқа да астрономиялық дереклердің нурлануынан реликтив нурлануы өзіннің еки әхмийетли қәсийетлери менен айрылады: мүйешлик анизотропиясы (яғный аспанның барлық учатқаларындағы бірдей интенсивлилик) хәм спектриниң Планк (тең салмақлық) формасы. Оның температурасы $2,736 \pm 0,003$ К. Космология үшін реликтив нурлардың бар екенлигиниң өзи 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 дәллігинде). Бул жағдайды биз нурланыўдың мүйешлик изотропиясы деп атаймыз. Бирақ бул изотропия бир қанша өзгешеликлерге ийе. Мысалы изотропия ҳаққындағы 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). $>> 30^\circ$ масштабында $dT/T < (3-5) \cdot 10^{-4}$. Ал, ақырында, үлкен мүйешлик масштабларда $dT/T >> 10^{-3}$ шамасындағы әззи диполлик анизотропия орын алады. Температуралардың бундай айырмасы Қуяш системасының реликтив нурлар фонына салыстырғандағы $v \approx 420$ км/с тезликтеги қозғалысы болып табылады. Қуяштың қозғалыс бағытына қарама-қарсы бағыттағы реликтив нурлардың температурасы оған қарама-қарсы бағыттағы температурадан жоқары. Хәтте Жердиң куяш 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 жұлдызлардың ямаса басқа да дискрет дереклердиң (космологиялық қашықлықларда жайласқан квазарлар ҳәм басқалар) нурланыўының нәтийжеси бола алмайды. Соның менен бирге реликтив нурланыўды Метагалактиканың раўажланыўының тығыз ҳәм жоқары температуралы стадиясынан қалған нурланыў деп қараў (усы себеплерге байланыссы бул нурланыў реликтив нурланыў деп аталады) тәбийий болып табылады ҳәм басқа да эксперименталлық нәтийжелерге сәйкес келеди. Фонлық нурланыўдың спектриниң Планклық характери оның реликтивлик келип шығыўының жуўмағы болып табылады. Себеби Әлемниң кеңейиўи процессинде дәслеп 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 көлеминиң өлшеми берилген болса, онда энергияның тығызлығы кеңейиўге байланыссы R^{-4} ға пропорционал нызам, фотонлардың орташа концентрациясы ($\sim R^{-3}$) ҳәм сол фотонлардың хәр қайсысының энергиясы ($\sim R^{-1}$) нызамы бойынша өзгереді. Демек нурланыў температурасы $T \sim R^{-1}$ нызамы бойынша төменлейди.

Әлемниң кеңейиўиниң ең дәслепки стадияларында, яғный жоқары температуралар дәўиринде нейтрал атомлар да, молекулалар да болмаған. Себеби сол дәўирлердеги фотонлар менен бөлекшелердиң жыллылық қозғалысларының энергиясы атомлар менен молекулалардың байланыс энергияларынан артық болған. Сонлықтан затлар тутасы менен

плазма халында турған хәм реликтив нурлар спектри нурланыўдың плазма менен тәсир етисиўиниң салдарынан қәлиплескен. Плазма менен нурланыўдың температурасы 4000 К қа шекем төменлегенде реликтив нурлар фотонлары атомларды ионластыра алмайды. Электронлар атомлардың ядролары менен биригеди хәм затлар нейтрал затларға айланады. Усы дәўирден баслап (бул дәўирге $z = z_t \gg 1400-1500$ 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 Әлемниң үлкен масштаблардағы курылысын изертлеўдеги эффективлик куралға айландырды³¹.

§ 5. Затлардың химиялық қурамы хәм Метагалактиканың жасы

Изертлеўлердиң хәр қыйлы методлары (Қуяштың спектраллық анализи, дәслепки космос нурларының қурамын изертлеў, метеоритлердиң химиялық анализи хәм көп басқалар) химиялық элементлердиң қаншама тарқалғанлығын анықлаўға мүмкиншилик береді. Ең көп тарқалған әпиўайы элемент водород болып табылады. Егер водородтың (H) тарқалыў муғдарын 1 ге тең етип қабыл етсек, онда гелийдиң (^4He) салыстырмалы муғдары шама менен 10^{-1} ди, водородтың изотопы болған дейтерийтики (^2D) шама менен 10^{-5} ти курайды. Басқа элементлер буннан да кем тарқалған. Әдетте (көпшилик жағдайларда) элементлердиң тарқалғанлығын атомлардың саны менен емес, ал космослық затлардың улыўмалық массасындағы үлеси бойынша анықлайды. Бундай жағдайларда массаның шама менен 75 процентин водород хәм шама менен 25 процентин гелий тутады. Басқа элементлердиң үлеси әдеўир төмен. Хәзирги көз-қараслар бойынша ^{12}C дан ^{56}Fe ге шекемги элементлер жулдызлар ишинде олардың эволюциясының тыныш стадиясында термоядролық реакциялар өними сыпатында пайда болады. Ал аўырырақ элементлер болса аса жаңа жулдызлардың партлаўының нәтийжесинде қәлиплеседи. Усындай партлаўдың нәтийжесинде аўыр элементлер жулдызлар аралық газлердиң қурамына өтеди.

Гелий менен дейтерийде жулдызлар ишинде жүретуғын термоядролық реакциялардың нәтийжесинде пайда болады хәм жанады. Бирақ олардың ҳақыйқый (көп муғдардағы) тарқалыўы олардың космологиялық (жулдызлардың пайда болыўына шекемги) келип шығыўын дәлиллейди. ^4He ниң тарқалыўы дым көп, сонлықтан оны жулдызлардағы синтездиң нәтийжеси деп қараўға болмайды. Егер жулдызлардың шығаратуғын энергиясының дерегин тек водородтың гелийге айланыўының термоядролық реакциясы деп есап-

³¹ [66] ниң авторлары реликтивлик нурлардың Үлкен партланыўдан кейин 379000 жылдан соң затлардан бөлинип шыққанлығын дәлиллейди.

лайтуғын болсақ, онда шама менен 10^{10} жыл ишінде пайда болған гелийдың муғдары хәзирги бар муғдардан 15 есе кем болған болар еди. Соның менен бирге жулдызлар ишінде пайда болған гелий қоршаған орталыққа жиберилмейди хәм гелий пайда болатуғын стадияда жулдызлар партланбайды (жарылмайды). Гелийди (әсиресе жулдызлардағы нуклеосинтездің салдарынан пайда болмаған дәслепки гелийди) туўрыдан-туўры бақлаў қыйын. Бирақ соған қарамастан хәр қыйлы астрофизикалық усыллар гелийдың салыстырмалы муғдарының масса бойынша 25 процент екенлигинен дерек береді. Демек гелийдың үлкен бөлеги космологиялық жақтан пайда болған. Ал дейтерийге келетуғын болсақ, хәр қыйлы ядролық реакцияларда оның пайда болғанынан жанғаны аңсатырақ. Сонлықтан дейтерийдің бақлаўлар тәрәпинен анықланған муғдары оның дәслепки (жулдызлар пайда болмастан бурынғы) шегі болып табылады. Гелий менен дейтерийдің пүткил Әлемдеги тарқалыуын, олардың муғдарын дәслепки ыссы Әлемнің ядролық нуклеосинтези теориясы табыслы түрде түсіндіреді.

Жерде хәм космослық затларда бақланатуғын элементлер ишінде өзинен-өзи ыдырайтуғын радиоактив элементлер де бар. Бундай радиоактивли элементлерди Галактикалардың, жулдызлардың қәлиплесиўи менен жулдызлық нуклеосинтез нәтийжесинде пайда бола баслады деп есаплаў тәбийий. Усындай элементлердің пайда болыў менен олардың ыдыраў тезликлерин салыстырып, сол элементлердің хәзирги ўақытлардағы салыстырмалы муғдарларын есапқа алып Галактиканың жасын бахалаў мүмкин (жылларды есаплаўдың усындай усылын ядролық космохронология деп атайды). Элементлердің радиоактивли распады ҳаққындағы мағлыўматлар бойынша бул ўақыттың (жастың) шамасы $(11-13) \cdot 10^9$ жылдан үлкен. Гелийдың дәслепки муғдары 25 %, водородтың дәслепки муғдары 75 % деп есаплайтуғын жулдызлар эволюциясы теориясы да, шар тәризли галактикалар жыйнақларының жасын есаплаў да усындай нәтийжелерге алып келеді. Бул жерде характерли Хаббл ўақытының $t_H \sim (10-20) \cdot 10^9$ жыл екенлигин еске түсиріп өтемиз.

Солай етип жоқарыда келтирилген барлық мағлыўматлар: Метагалактиканың кеңейиўи, Планк спектрине ийе реликтивлик нурланыўдың бар екенлиги, хәр қыйлы астрономиялық системалардың жасын анықлаў буннан 10-20 млрд жыл бурын (бүгинги мағлыўматлар бойынша $13,4 \pm 0,4$ жыл бурын, 1-санлы кестеге қараңыз) Әлемде хәзирги қурылысының пайда болыўына алып келген ең әхмийетли процесслер басланған. Бул процесслер менен Әлемнің эволюциясын толығырақ тәриплеў тартылыс күшлериниң затлардың динамикасына тәсирин есапқа алатуғын физикалық космологияның мәселеси болып табылады.

§ 6. Материяның орташа тарқалыуы.

Қозғалыс нызамлары хәм физикалық қасиетлери

Классикалық механика тийкарында туратуғын космологиялық моделлер. Хәзирги Әлем ийе болған бир теклилик хәм изотроплық қасиетлер «ең дәслепки» сыпатында шекленген сфералық симметрияға ийе областты қараўға хәм усы областты тәриплеу ушын классикалық механиканы хәм Ньютонның пүткил дүньялық тартылыс нызамын пайдаланыўға мүмкиншилик береді.

Бир текли, изотроп хәм стационар емес бир бирине тартысыушы денелерди тәриплетуғын теңлемелерди келтирип шығарыу ушын затлар ўақыттың 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 ўақытқа байланыссыз киширейиуи керек. Хәқыйқатында да инерция бойынша қозғалысларда (яғный гравитацияның тормозлаушы тәсирин есапқа алмағанда) бөлекшелердиң тезлиги v траектория бойынша турақлы болып қалады, r ўақытқа ғәрезли өседі хәм соған сәйкес H ўақытқа (t ға) кері 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 ўақыт моментинде қандай да бир бөлекшениң ийелеген орны r_0 диң мәніси менен тәрипленген болса, онда буннан кейин ол $r(t) = r_0 R(t)$ нызамы бойынша өзгереді. Ал $v = dr/dt = H(t) r$ 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 ўақытқа ғәрезли кемейеди. Ал шардың массасы M болса өзгериссиз қалады:

$$M = r \cdot (4/3) \pi \rho r^3 = \text{const.} \quad (5)$$

Бул теңлемени былайынша да жазыу мүмкин:

$$rR^3 = \text{const} \quad (6)$$

Жердиң салмақ майданында жоқары қарай ылақтырылған бир бирлик массаға ийе көлемниң элементинде кинетикалық энергия киширейеди хәм потенциаллық энергия артады. Олардың қосындысы (толық энергия) турақлы болып қалады (потенциаллық энергияның мәнісиниң теріс екенлигин ұмытпаймыз):

$$e = \frac{1}{2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{r} = \text{const} \quad (7)$$

(7)-теңлемедегі константаны $k r_0^2 c^2/2$ түрінде жаза аламыз (k тұрақты шама). Бұл шама массасы бір бірлікке тең болған көлемнің толық (механикалық) энергиясын тәриптейді. (5) ти пайдаланып (7)-теңлемени былайынша көшіріп жазамыз:

$$\frac{3kc^2}{8\pi GR^2} = \rho - \frac{3H^2}{8\pi G} = \rho - \frac{3}{8\pi G} \left(\frac{1}{R} * \frac{dR}{dt} \right)^2. \quad (8)$$

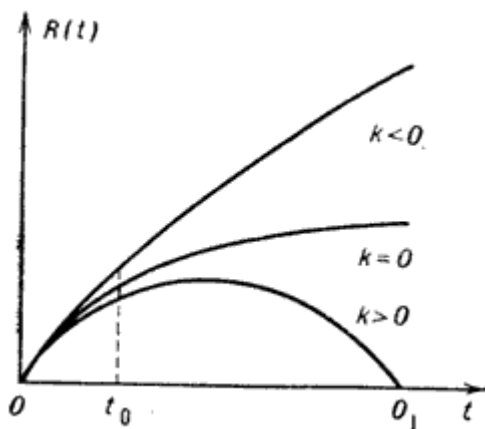
$$(6)-, (8)-\text{теңлемелер } t = t_0 \text{ болғанда } R = 1 \text{ шәрті менен, } r_0 = r(t_0) \text{ хәм } H_0 = \left(\frac{1}{R} * \frac{dR}{dt} \right) \bigg|_{t_0}$$

белгили болғанда $R(t)$ ғәрезлилігін хәм соған сәйкес моделдің барлық динамикалық кәсіяттерін толық анықлайды.

(6) хәм (8) шардың өлшемлери кирмейди. Бұл теңдемелердің киши шарлар ушын да, үлкен шарлар ушын да дурыс болатуғынлығын аңлатады. Сонлықтан бұл теңдемелерді затлар менен тең өлшеулі толтырылған шексиз кеңілік ушын да дурыс деп болжауға болады.

(6)- хәм (8)-теңдемелер системасын интегралламастан-ақ моделдің сапалық эволюциясын қарап шығуға болады. Көлемнің қәлеген элементинің қозғалысының характери оның толық энергиясынан ғәрезли. Егер $k < 0$ болса толық энергия оң мәніске ийе (кинетикалық энергия потенциал энергиядан артық) хәм бөліп алынған элемент симметрия орайынан барқулла қашықласа береді.. Демек $k < 0$ болғанда затлар шексиз кеңейеді. Егер $k > 0$ болса толық энергияның мәнісі теріс хәм затлардың кеңейіуі базы бир ўақыттан кейін тормозланады хәм кеңейіу қысылыу менен алмасады. $k = 0$ жағдайы аралықтық болып табылады – кеңейіу шексиз даўам етеді, бірақ хәр бир бөлекшениң тезлігі $t \rightarrow \infty$ де нолге асимптоталық умтылады.

(8)-теңлемеге сәйкес k ның белгиси хәм соған сәйкес материяның қозғалыс характери $r - r_c$ айырмасының белгисине байланысly. Бұл аңлатпадағы $r_c = 3H^2/8\pi G$ тығызлықтың критикалық мәнісі деп аталады. Егер $r > r_c$ болса кеңейіу базы бир ўақытлардан кейін тоқтайды хәм қысылыу менен алмасады. Егер $r < r_c$ болса кеңейіу шексиз көп ўақыт дўам етеді. r_c шамасы да r шамасындай кеңейіу барысында өзгереді, бірақ $r - r_c$ айырмасының белгиси тұрақты болып қалады.



2-сүрет. Бир текли, изотроп Әлем моделиндегі денелер арасындағы салыстырмалы қашықтық R дің (масштабтық фактор деп атаймыз) уақытқа байланысы өзгерісі: $k < 0$ ($r < r_c$) шексіз (гиперболалық) кеңейіу; $k = 0$ ($r = r_c$) шексіз (параболалық) кеңейіу; $k > 0$ ($r > r_c$) шеклі кеңейіу жағдайлары. Иймеклікте екі айрықша O хәм O_1 нокатлары (сингулярлық) бар. t_0 арқалы хәзіргі уақыт аңлатылған.

(6)-, (8)- теңлемелер системасын интеграллап R дің t дан ғәрезилігін анықлау мүмкін. Әпиұайы жағдайда ($k = 0$ болғанда) (6)- хәм (8)-теңлемелерден

$$R(t) = (6\pi G r_0)^{1/3} t^{2/3}, \quad r(t) = \frac{1}{6\pi G t^2}, \quad H(t) = \frac{2}{3t},$$

екенлігі келип шығады. Қала берсе $t = 0$ де $R = 0$ деп алынған. $R(t)$ дің k ның хәр қыйлы мәніслеріндегі өзгеріслері 2-сүретте берілген.

Жоқарыда классикалық механиканың хәм Ньютон гравитациясының нызамлары пайдаланылды. Бундай теңлемелер арнаулы хәм улыұмалық салыстырмалылық теорияларының теңлемелеріндегі дара жағдайлар болып табылады³². Сонлықтан оғада үлкен емес кеңіслікте хәм эволюцияның жүдә көп болмаған интервалында затлардың тәріплеу релятивистік тәріплеу менен сәйкес келеді деп күтіуге болады. Соның менен бирге бир тектілікке байланысы космологиялық моделлер шексіз кеңісліктегі қәлеген орында пайдаланыу мүмкін. Демек классикалық физиканы космология тәрәпинен қарап шығылатуғын оғада көп санлы қубылыстарға қолланыу мүмкін деген сөз. Бірақ классикалық физиканың нызамларын космология ис алып баратуғын үлкен қашықтықтар ушын пайдаланыуға болмайды. Бундай мақсетлер ушын тартысудың релятивистік теориясы зәрур.

§ 7. Тартылыстың релятивистік теориясы хәм Фридманның космологиялық шешімлері

Релятивистік емес физика кеңіслік пенен уақытты физикалық процесслер ойналатуғын «сахна» сыпатында қарайды. Бул физика кеңіслік пенен уақытты бир түсинікке

³² Биз бул жұмыста «арнаулы салыстырмалылық теориясы» деген терминді пайдаланамыз. Ал шын мәнісінде бул теория «дара салыстырмалылық теориясы» деп аталады.

байланыстырмайды. Арнаулы салыстырмалылық теориясы кеңіслік пенен уақытты «кеңіслік-уақыт» деп аталатуғын бірден бір төрт өлшемлі дүньяға айландырды. Келеси қадам Эйнштейннің релятивистік тартылыс теориясында – улыұмалық салыстырмалылық теориясында (УСТ) қойылды. УСТ ға сәйкес материяның тарқалыуы менен қозғалысы кеңіслік-уақыттың геометриялық қасиетлерін өзгертеді, ал екінші тәрептен олардың өзлери кеңіслік-уақыттан ғәрезлі болады.

Иймеклік кеңісликтің әхмийетлі геометриялық характеристикасы болып табылады³³. Усындай жағдайда сфера турақлы оң мәнісли иймеклікке ийе еки өлшемлі кеңіслік (бет) болып табылады.

Үш өлшемлі хәм төрт өлшемлі майысқан кеңісліклер де олардың иймекліклерін тәріплейтуғын шамалардың жыйнағы менен характерленеді. Қала берсе хәр қыйлы ноқатларда хәм хәр қыйлы еки өлшемлі бағытларда иймекліктің сан мәніси де, белгиси де хәр қыйлы бола алады. Эйнштейннің теориясы бойынша гравитациялық майдан кеңіслік-уақыттың майысыуы түрінде жүзеге келеді. Кеңіслік-уақыттың иймеклиги қаншама үлкен болса, гравитациялық майдан да соншама күшли болады.

Улыұмалық 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 теңлемеді $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{с}^2}$ гравитация турақлысы³⁴. R_{ik} арқалы симметриялы Риччи тензоры белгиленген ($R_{ik} = g^{lm} R_{limk} = R^l_{ilk}$), $R = g^{ik} R_{ik} = g^{il} g^{km} R_{iklm}$ кеңісликтің скаляр 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 ғәрезсіз болған 10 кураұшыдан турады (бул тензордың кураұшылар саны 16, бірақ $g_{ik} = g_{ki}$ болғанлықтан бір биринен ғәрезсіз кураұшылар саны 10 ға шекем кемейеді). Сонлықтан (9)-теңлемелер он теңлемеден туратуғын система болып табылады. Бул теңлемелердің шеп тәрепи кеңіслік-уақыттың геометриялық қасиетлерін тәріплейді, ал оң тәрепи болса материяның тарқалыуын хәм қозғалысын тәріплейді.

³³ Рус тилиндегі «кривизна» сөзін «иймеклік» сөзі менен алмастырамыз. Бундай жағдайда «кривизна пространства» сөзлери «кеңісликтің иймеклиги» мәнісін аңғартады. Сонлықтан «иймеклік» сөзі геометриялық терминге айланады.

³⁴ Гейпара жағдайларда G ның орнына $\chi = \frac{8\pi G}{c^2} = 1,86 \cdot 10^{-27} \text{ см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$ шамасын да пайдаланады хәм оны Эйнштейн турақлысы деп атайды.

Кеңісликтің геометриялық қасиеттері метрилік тензордың он құраушысының хәм олардың 2-тәртіпке шекемгі туындыларының жәрдемінде анықланады. Материяның халын тәріптелеуіші шамалар қатарына мыналар киреди: массаның тығызлығы (бир шама), оның импульсы ямаса массаның ағысы (3 шама) хәм импульс ағысы ямаса керімлер (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 тәріпленеди 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 ўақытлары қолланылып келген инерциал есаплаў системасы түсиниги өзинің мәнисин жоғалтады (Ньютон космологиясында усындай системаға салыстырғандағы гравитация майданы хәм затлардың қозғалыслары үйренилетуғынлығын умытпаймыз). Оның орнына кеңіслик-ўақыттың ийемклиги хәм локаллық-инерциаллық есаплаў системасы түсиниги киргизиледи. Локаллық-инерциялық есаплаў системасындағы киши областларда иймейген кеңіслик-ўақыт пенен арнаўлы салыстырмалылық теориясы дурыс болатуғын тегис кеңіслик-ўақыт арасындағы айырма аз.

1917-жылы Эйнштейн өзинің тенлемелери тийкарында биринши космологиялық модельди дүзиўге умтылды. Ол бир теклилик пенен изотроптылық пенен бир қатар космологиялық моделдің қасиетлеринің ўақыттан ғәрезсизлиги болжаўын (статикалық Әлем) басшылыққа алды. Моделдің статикалығын тәмийинлеў ушын Эйнштейн өз теңлемелерине 1917-жылы космологиялық ағза деп аталатуғын Λ ағзаны қосты хәм теңleme төмендегидей түрге енди:

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

Λ тартылыс күшине қарсы бағытланған гипотезалық ийтерисиў күшин тәріпледі. 1922-жылы болса А.А. Фридман Эйнштейннің статикалық дүньясының бир текли хәм изотроп моделлер ушын гравитациялық теңлемелердің тек дара жағдайы екенлигин көрсетти. Ал улыўмалық жағдайларда болса теңлемениң шешими ўақыттан ғәрезли. Қала берсе егер Λ ағзаны киргизбесе шешимлер шәртли түрде ўақытқа ғәрезли болып шығады. Бул шешимлер Метагалактикадағы затлардың орташа тарқалыўын тәріплегенликтен усы Метагалактиканың стационар емеслиги ҳаққында жуўмақ 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 кеңейиў шексиз көп ўақыт

даўам ететугындай ямаса кеңейиў ақыр-аяғында қысылыў менен алмасатуғындай етип бериледи. Бир теклилик ҳәм изотропиялыққа тийкарланған Эйнштейн теңдемелеринин стационар емес шешимлери Фридман шешимлери ямаса Фридманның космологиялық моделлери деп аталады.

Сәйкес теңдемелер келтирилип шығарылғанда галактикалар менен галактикалар аралық затлардың тарқалыўы тығызлығы ρ , басымы p болған идеалластырылған тутас орталық пенен алмастырылады. ρ менен p арасындағы байланыс ҳал теңдемелери жәрдемінде орнатылады. Бундай теңдемелер, мысалы, ρ менен p ның өзгерислеринин айырым участкаларында $p = a \cdot \rho c^2$, ($a = \text{const}$) түрине ийе болады. Шаң тәризли затлар ушын $p = 0$ ($a = 0$), нурланыў ушын $p = \frac{1}{3} \rho c^2$ ($a = \frac{1}{3}$). Болып ететугын процесслерди таллаўдың қолайлылығы ушын жолдас координаталар 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 кураўшылары) тек бир белгисиз болған $R(t)$ функциясы менен анықланады ҳәм бул функция улыўмалық масштаблық фактордың орнын ийелейди. Бул функция ноқатлар арасындағы қашықтықтың ўақытқа байланыслы өзгерисин көрсетеди. Ал сол ноқатлар болса жолдас координаталардың турақлы мәнислерине ийе болады. Орталықтың элементлери жолдас координаталардың өзгермейтуғын айырмасына ийе болады ҳәм турақлы интервал dl менен айрылған, ал олар арасындағы физикалық қашықтық $dL(t)$ болса $dL(t) = R(t)dl$ нызамы бойынша өзгереді. Үш өлшемлі кеңисликтин иймеклиги де $R(t)$ функциясы арқалы анықланады. Базы бир $t = t^*$ ўақыт моментиндеги иймеклик k/R^2 шамасына тең. Бул аңлатпадағы $k = +1, 0, -1$ шамаларына оң белгиге ийе, ноллик ҳәм терис белгиге ийе иймеклик сәйкес келеди. Солар ишиндеги $k = +1$ де үш өлшемлі кеңисликтин көлеми шекли ҳәм ҳәр бир ўақыт моментинде $V = 2\pi^2[R(t)]^3$ аңлатпасы жәрдемінде есапланады.

Релятивистлик космологияда t ўақыт моментиндеги v жийилиги менен шығарылған жақтылық t_0 ўақыт моментинде v_0 жийилиги менен қабыл етилгенде қызылға аўысыў

$$z = \frac{v - v_0}{v_0} = \frac{R(t_0)}{R(t)} - 1 \quad (9)$$

формуласы менен бериледи. Космологиялық модельдин эволюциясын тәриплеў ушын $R(t)$ функциясын билиў керек. Бул функция Эйнштейн теңдемелери арқалы анықланады. Егер $\Lambda = 0$ деп қабыл етсек Эйнштейн теңдемелерин мына түрдеги еки теңдемелер системасына алып келиўге болады:

³⁵ «Сопутствующая система координат» дегер түсиникти қарақалпақ тилине «Жолдас координаталар системасы» деп аўдарамыз.

$$rR^3 (1 - a) = \text{const}, \quad (10)$$

$$\frac{3kc^2}{4\pi GR^2} = \rho - \frac{3H^2}{8\pi G}. \quad (11)$$

Усы еки теңлемеден гравитациялық майданның пайда болыуы үшін басымның қандай орын тутатуғынлығын ($p = a \cdot r \cdot c^2$) көрсететугын

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3} R \rho (1 + 3\alpha) \quad (12)$$

теңлемесін аламыз. Бул теңлемелердегі Хаббл тұрақтысы былай анықланады:

$$H(t) = \frac{1}{R} * \frac{dR}{dt}. \quad (13)$$

Қызылға ауысуың нызамына усы шама киреди.

$W = \rho/\rho_c$ параметрин пайдаланған қолайлы. a шамасы белгили болғанда $R(t)$ функциясы W хәм қандай да бир ўақыт моментиндегі H тың шамалары жәрдеминде 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 иймеклигиниң белгисин). Хәзирги дәўир үшін $H = 73 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ шамасында $\rho_c \gg 5 \cdot 10^{-30} \text{ г}/\text{см}^3$. Галактикалардың санын анықлаў хәм дейтерийдин Әлемде қаншама муғдардағы тарқалғанлығын биле отырып $r < r_c$ хәм $W \gg 0,03-0,06$ екенлигине ийе боламыз. Бул мәнис ашық Әлемге ($k = -1$) хәм Метагалактиканың шексиз кеңейиўине сәйкес келеди. Бирақ Әлемде тығызлыққа өзиниң үлесин қосатуғын еле табылмаған (бақланбаған) материяның түрлериниң болыуы 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 болыуы шәрт.

z бойынша квадратлық ағзаларды есапқа алып (2)-нызамның орнына (9) дан төмендегі жуўық формуланы алады:

$$r_\Phi = \frac{1}{H} \left[cz + \frac{1}{2c} (1 - q)(cz)^2 + \dots \right].$$

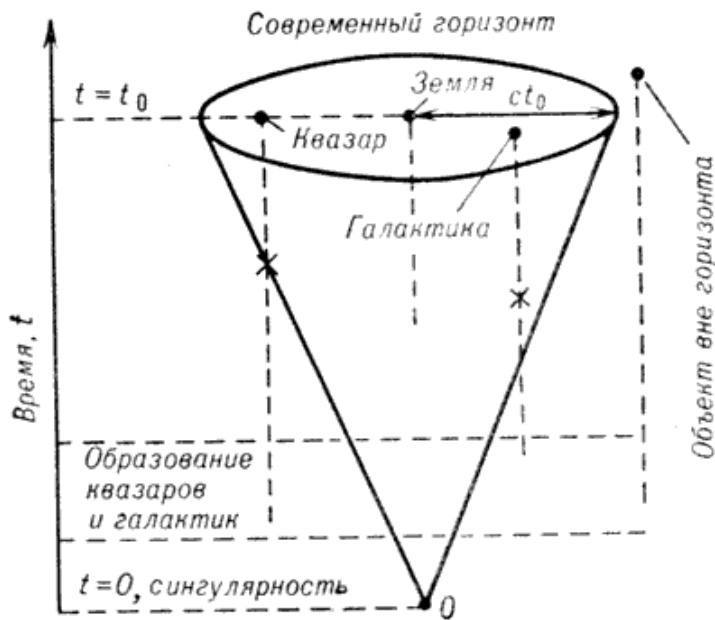
Бул жердегі $q = \frac{1}{2} W (1 + 3a)$ шамасы әстеленіу параметри деп аталады хәм қаралып атырған моделдегі кеңейіуши Әлемнің тормозланыуын анықлайды.

Тилекке қарсы хәзиргі уақытлардағы бар бақлау мағлыұматлары $g_{\phi}(z)$ ғәрезлилигин хәм W шамасын зәрүрли болған дәрежеде дәл анықлау үшін жеткилики емес. Хәзиргі уақытлары a шамасының мәниси киши хәм оны есапқа алмай кетиуіге де болады. Бирақ бас анықсызлық g_{ϕ} тиң мәнисин өлшеудеги кемшиликлерде болып табылады. Бул шама объектлердің көринип турған жақтылығы (видимая светимость) бойынша анықланады. Бирақ усы процедураны орынлағанда сол объектлердің хақыйқый жақтылығы белгили деп есапланады. Ал алыстағы объектлер үшін (оларды рауажланыуының дәслепки фазаларында бақлаймыз) эволюцияның белгисиз болған факторы – жақтылықтың уақытқа ғәрезлилиги әхмийетли орынды ийелейди. Солай етип бақлаулардан W параметрин анықлау эволюцияның белгисиз болған факторынан ғәрезли.

Релятивистлик космологияда моделдің эволюциясы тек тығызлық ρ менен ғана емес, ал басым p менен де анықланады. Себеби УСТ сына байланысly басым «салмаққа ийе болып» гравитация майданын пайда етеди. [(12)-теңлемеге қараңыз]. Дәслепки уақытлары реликтив нурланыудың толық тығызлыққа үлеси басым болған жағдайларда басым нурланыу менен анықланды: $p = \frac{1}{3} \rho c^2$. Әлбетте, оң мәниске ийе басым Метагалактиканың бақланып атырған кеңейіуин пайда ете алған жоқ. Себеби ол өзинің гравитациялық тәсири бойынша кеңейіуді тезлетпейди, ал оны әстелетеди. Сапалық жақтан $p > 0$ деги $R(t)$ ғәрезлилиги $p = 0$ болған жағдайдағыдай характерге ийе (2-сүүретти қараңыз). Усыған байланысly ең дәслепки уақытлары басымның мәниси $p < 0$ болған деп болжайтуғын теория бар (бул теорияны инфляциялық космология деп атаймыз хәм бул хаққында кейинірек толығырақ гәп етиледі).

Бир текли изотроп моделлердің ең әхмийетли қәсийети олардың эволюциясының уақыт бойынша шеклилиги хәм $R(t)$ нолге айланатуғын, тығызлық шексизликке тең болатуғын айрықша (сингулярлық) халдың бар болыуында. Бир уақытлары сингулярлықтың болыуы Әлемди бир текли хәм изотроп деп әпиуайыластырыудың ақыбети деп есаплады. Бирақ Эйнштейннің теңлемелерин изертлеулер (әсиресе кейинги изертлеулер) материяның қәсийетлери хаққындағы базы бир қосымша болжаулар орынланғандағы теңлемелердің улыұмалық қәсийетлери екенлигин көрсетти. Әлбетте сингулярлық қасында классикалық теңлемелердің шешимлерин қолланыуға болмайды³⁶. Бундай жағдайларда гравитациялық майданның квантлық қәсийетлеринің көриниуи керек.

³⁶ Эйнштейн теңлемелери де классикалық теңлемелер (квантлық емес) қатарына киреди.



3-сүүрет. Әлемдеги горизонтқа шекемги қашықтықтың ұақыт бойынша өзгериси.

Эволюцияның ұақыт бойынша шекленгенлиги Әлемнің жасы түсинигин пайда етеди. Әпиұайы моделде ($k = 0$, $p = 0$ болған) (10)- хәм (11)-теңлемелерден (13) ти есапқа алғанда $t_0 = \frac{2}{3} H_0^{-1}$ екенлиги келип шығады. Демек сингулярлықтан хәзирги дәўирге шекем $t_0 \gg 13 \cdot 10^9$ жыл ұақыт өткен.

Сингулярлық моментинен бери шекли ұақыттың өтиўи космологиялық горизонт деп аталатуғын (ямаса тек горизонт деп аталатуғын) Әлемдеги қашықтықтың пайда болыўына алып келеди. Хәқыйқатында да ең шеклик тезлик пенен (жақтылық тезлиги менен) қозғалыўшы қәлеген сигнал бақлаўшыға t_0 ұақыт моментине шекем келемен дегенше белгили бир аралықты өтеди. Максималлық қашықтық (яғный горизонтқа шекемги қашықтық) сингал $t = 0$ ұақыт моментинде жиберилгенлигинен анықланады (3-сүүрет). Бундай жағдайда $t = 0$ да жиберилген сингалдың аўысыўы (бул ұақыт моментин t_0 моментин деп қабыл етемиз) (9)-формулаға сәйкес шексизликке айланады ($v_0 \rightarrow 0$, $z \rightarrow \infty$). t_0 ның өсиўи менен шамасы бойынша ct_0 ға сәйкес келетуғын t_0 ұақыт моментинде бақланыўы мүмкин болған кеңисликтин характерли областын қарайды. Ыақыттың өтиўи менен бул область үлкейеди. Солай етип космологиялық горизонт Әлемнің үлкен масштабларындағы қурылысы хәққында гәп етилгенде қандай масштабтың нәзерде тугылатуғынлығын анықлайды. Хәзирги ұақытлары $ct_0 \gg c/H_0 \gg 86000 \text{ Мпк} \gg 2,8 \cdot 10^{28} \text{ см}$ [$H_0 = 73 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ болғанда].

§ 8. Ыссы Әлемдеги физикалық процесслер

Фридманның космологиялық моделлери Әлемнің эволюциясының хәр қыйлы стадияларындағы өтетуғын физикалық процесслерди есаплаўдың тийкары болып табылады. Ре-

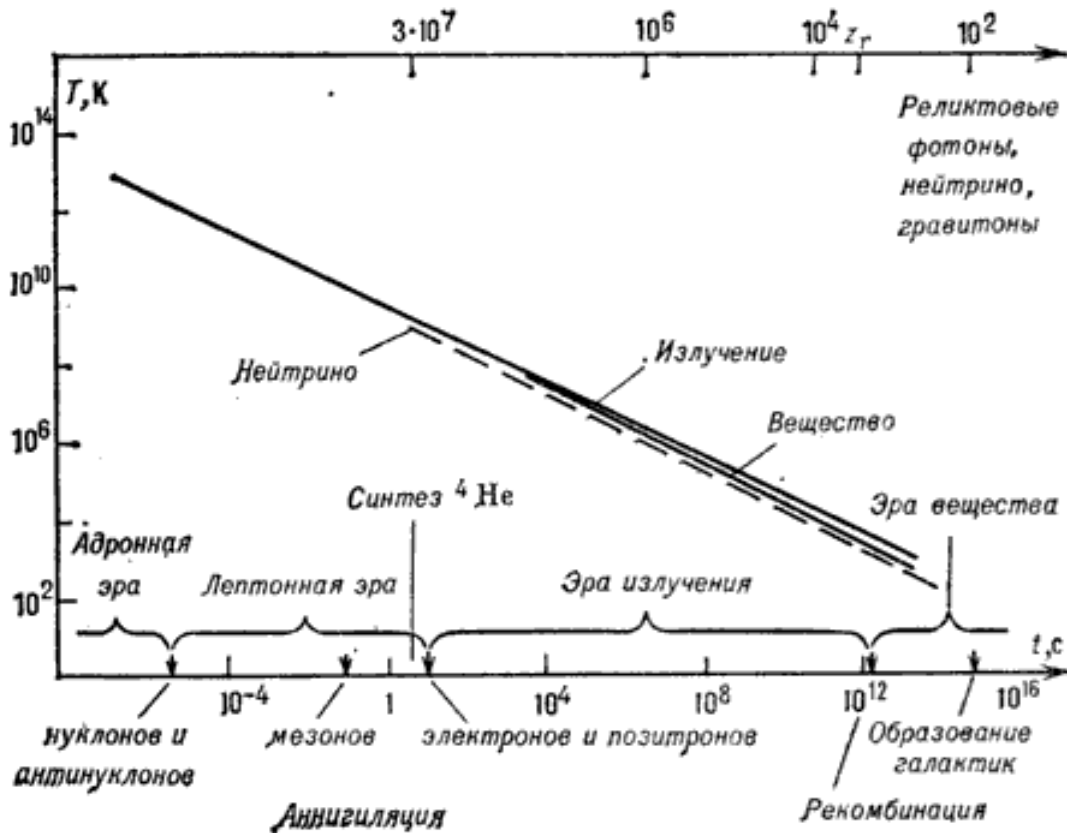
ликтив нурлардың хәзирги ўақытлардағы орташа тығызлығы 1 см^3 . Олардың хәр қайсысынаң энергиясы шама менен 10^{-15} эрг ке тең. Әдеттеги затлардың орташа тығызлығы хәр қайсысының массасы шама менен 10^{-24} г болған барионлар менен анықланады хәм $\rho \gg 3 \cdot 10^{-31} \text{ г/см}^3$. Протонлардың 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 мәніси Әлемди ыссы деп есаплаўға тийкар береді. Хәзирги ўақытлары Әлемдеги нурланыў энергиясының тығызлығы аз, ал реликтив нурланыўдың температурасы төмен ($2,736 \pm 0,003 \text{ K}$). Бирақ бурынлары ($T > 10^4 \text{ K}$ болған кеңейиўдин ең ертедеги стадияларында) нурланыў энергиясының тығызлығы басым еди. Бундай жағдайларда $T(t)$ ның ўақыттан ғәрезлилиги $[a = 1/3 \text{ де (10)- хәм (11)- теңлемениң нәтийжесиндей, (4)- формуланы да қараңыз}]$

$$T = \frac{10^{10}}{\sqrt{t}}$$

формуласы менен анықланады (T - Кельвинлерде, t - секундларда).

Ыссы Әлемде киши t ларда жүдә жоқары температуралар дәўири болып, жыллылық фотонларының энергиялары белгили болған барлық бөлекшелер менен антибөлекшелердің жупларын пайда етиўге (туўыўға) жеткен. Тынышлық массасына ийе қандай да бир сортқа кириўши бөлекшелер туўылады хәм жоғалады (егер фотонлар энергиясының шамасы бөлекшелердің берилген сортының тынышлықтағы массасынан үлкен болса). Температураның хәр бир мәніси ушын бөлекшелердің хәр қыйлы сортлары арасында тең салмақлық қатнас болады. Егер усындай тең салмақлық еле жүзеге келген болмаса белгили бир ўақытлардан кейин жүзеге келеди. Температура менен тығызлықтың шамалары қанша жоқары болса тең салмақлық халдың жүзеге келиўи ушын зәрүр болған ўақыттың шамасы соншама кем болады. Әлем кеңейген сайын температура төменлейди хәм соған сәйкес бөлекшелердің жупларының туўылыўы менен аннигиляциясы реакцияларының өтиў шараятлары өзгереді. Егер белгили бир типтеги реакциялар өткен температуралар интервалында Әлем ўақыттың киши бир интервалын өткен болса, онда тең салмақлық халда турған температуралар интервалы кеңейиўдин характерли ўақытынан киши болады. Бундай болмағанда тынышлық массасына ийе бөлекшелердің берилген сорты тең салмақлық халдан шыққан болар еди. Буннан кейин жуплардың бир қаншасы аннигиляцияға ушырайды, ал сол бөлекшелердің қалған өзінше ыдыраўға қәбилетли стабил емес бөлекшелер болса ядро физикасынан белгили болған экспоненциал нызам бойынша ыды-

райды. Берилген температурада нурланыў менен тең салмақлық халда турған бөлекшелердин сортлары хәм температуралары бойынша Әлемниң эволюциясындағы белгили бир дәўирлерди (эраларды) бөледі (4-сүүрет): адронлық, лептонлық, нурланыў эрасы, затлар эрасы хәм басқалар.



4-сүүрет. 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.

$T \sim 10^{13} K$ температурада нуклонлар хәм антинуклонлардың³⁷, мезонлардың, электронлар хәм позитронлардың нейтринолар менен антинейтринолардың, басқа да тураклы хәм тураксыз бөлекшелердин «туўылыў» хәм «жоғалыў» реакциялары жүреди. (затлардың жоқарырақ температуралардағы қасийетлери ҳаққында кейинирек гәп етиледи).

Сондай жоқары температураларда s параметри басқаша анықланады: $s \gg n_b/n_\gamma$ формуласындағы n_b ди барионлар менен антибарионлардың санының айырмасы менен алмастырыў керек. Бирақ усы хәм буннан кейинги дәўирлердеги эволюцияның барысындағы процесслерде барионлар менен антибарионлардың санларының айырмасы сақланады³⁸. Сонлықтан сол ўақытлары $s \sim 10^9$ еди. Температура $5 \cdot 10^{12} K$ ге шекем төменлегенде фотонлар тәрәпинен нуклон-антинуклонлық жуплар арасындағы тең салмақлық бузылады. Нуклон-

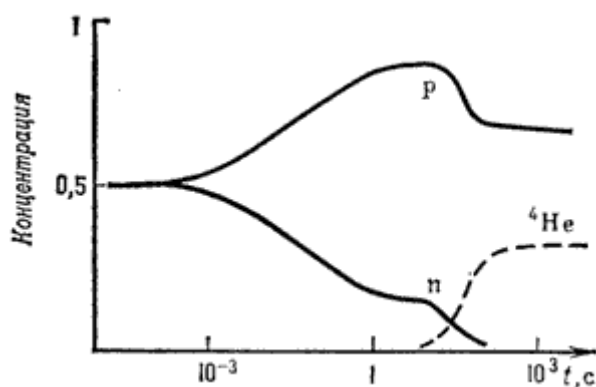
³⁷ Протонлар менен нейтронлардың.

³⁸ Бул кубылысты барионлық зарядтың сақланыў нызамы деп атаймыз.

лар менен антинуклонлар тийкарынан аннигиляцияға ушырайды хәм антибөлекшелер жетпей қалған артық нуклонлар сақланып қалады. Артық нуклонлар саны тең салмақлық дәуирдеги нуклонлар санының шама менен 10^{-9} бөлегин ғана қурайды. Ал усы жағдайға қарамастан сол артық нуклонлар хәзирги Әлемдеги затлардың тийкарын қурайды. Егер сол азмаз артық нуклонлар болмағанда дүнья хәзирги ўақытлары «бослықтан» турған болар еди.

$T \gg 2 \cdot 10^{10} \text{ K}$ температурада электронлық нейтринолар бөлекшелер менен эффектив түрде тәсир етисийден қалады. Нейтринолар стабил бөлекшелер болғанлықтан хәм олар затлар менен жүдә әззи тәсирлескенликтен. Олар ушын дүнья практикалық жақтан мөлдир болып табылады хәм олардың энергияларының тығызлығы тек Әлемнің кеңейіуиниң салдарынан кемейеди. Хәзирги ўақытлары космологиялық нейтринолық газдың (реликтивлик нейтриноның) температурасы шама менен 2 К ға, ал оның тығызлығы $450 \text{ нейтрино} \cdot \text{см}^{-3}$ болыўы керек (1 см^3 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 болыўы мүмкин⁴⁰. Егер бул мағлыўматлар басқа экспериментлерде де тастыйықланса, онда нейтриноларды рекомбинация дәуиринен әдеўир бурын релятивистлик емес бөлекшелерге айланған, ал олардың массаларының хәзирги тығызлығы тиккелей бақланатуғын затлардың массасының тығызлығынан онлаған есе көп, хәтте тығызлықтың критикалық мәниси ρ_c ға жетеди деп жуўмақ шығарамыз. Солай етип нейтринолардың Әлемдеги затлардың орташа тығызлығына үлеси әдеўир үлкен шаманы қурай алады.



5-сүүрет. Протонлар саны p менен нейтронлар саны n арасындағы қатнастың өзгеріуі хәм ${}^4\text{He}$ ниң пайда болыўы Әлемнің кеңейіуі басланғаннан кейин $t \gg 100\text{-}200$ секундтан кейин жуўмақланады.

Ең ертедеги Әлемдеги протонлар менен нейтронлардың санлары арасындағы қатнастардың массалары арасындағы айырма $\Delta m = m_n - m_p > 0$ ($\Delta mc^2 = 1,3 \text{ МэВ}$) хәм темпера-

³⁹ Электронлық, мюонлық хәм тау-нейтринолар нәзерде тутылмақта.

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 0.05-8.4 эВ, и следовательно, космологические нейтрино могут заключать в себе 0.1-18% массы Вселенной» мағлыўматы берилген (мақала 2001-жылы 6-июль күни жарық көрген).

тура менен анықланады. Мына $e^+ + n \rightarrow p + \bar{\nu}$ хәм $\nu + n \rightarrow p + e^-$ реакцияларының салдарынан үлкен тезлик пенен нейтронлардың протонларға хәм кері айланыуының салдарынан протонлар менен нейтронлардың санлары шама менен бирдей болған. Буннан кейин нейтронлар хәм температураға ғәрезли протонлар арасындағы тең салмақты анықлаушы (соған сәйкес кеңейудің басынан баслап өткен уақытты) формула $n_n/n_p \sim \exp(-Dmc^2/kT)$ ға сәйкес нейтронлардың саны кемейеди. $T \gg 5 \cdot 10^9$ К моментінде n_n/n_p қатнасы $\gg 0,2$ шамасында турақласады. T ның шамасы $(1-2) \cdot 10^9$ К ге шекке төменлегенде бир неше секунд дауам ететугын ($t \gg 1-3$ с) актив ядролық синтез дәуірі басланады. Аман қалған нейтронлар хәм саны нейтронлардың санына тең болған протонлар биригеди хәм ${}^4\text{He}$ ядроларын пайда етеди (5-сүрет). Есаплаулар бойынша ${}^4\text{He}$ ядроларына нуклонлардың улыма массасының шама менен 25 проценти тууры келеди. Қалған 75 % алған протонлартики болады (водород ядролары). Басқа элементлер жүдә аз муғдарда пайда болады. Мысалы дәслепки дейтерийдің үлеси затлардың улыма массасының 0,01% ғана курайды. Дейтерийдің муғдарына затлардың (барионлардың) орташа тығызлығы күшли тәсир етеди. Затлардың тығызлығы қаншама жоқары болса, соншама көп муғдардағы дейтерий жанады хәм ${}^4\text{He}$ ге айланады. Дейтерийдің тәжірибелерде бақланып жүрген көплиги хәзирги уақытлары затлардың орташа тығызлығының киши екенлигинен дерек береді ($\rho \gg 3 \cdot 10^{-31}$ г/см³).

Термоядролық реакциялар стадиясынан кейин де шама менен 300 000 мың жыл дауамында температура жоқары болып қалады хәм соның салдарынан затлар рекомбинация дәуіріне шекке плазма халында қалады. Усы уақытлары протонлар электронлар менен биригеди хәм нейтраль водородқа айланады. Бираз ертерек нейтраль гелий пайда болады. Усы дәслепки водород пенен гелийден кейинирек дәслепки жулдызлар хәм галактикалар пайда болды деп болжайды.

§ 9. Жүдә ертедеги Әлем

Ең дәслепки нуклеосинтез дәуірі Әлемнің эволюциясындағы туурыдан-тууры бақлау мағлыұматлары бар ең ертедеги дәуір болып табылады (4-сүрет). Дәслепки гелийдің (соның менен бирге дейтерийдің) бақланып жүрген молшылығы $T \sim 10^9$ К, $\rho \sim 10^2$ г/см³ хәм $t \gg 100$ с болған дәуірдеги физикалық шараятлар хаққында мағлыұматлар береді. Буннан да жоқары температуралар менен тығызлықтар «жүдә ертедеги Әлем» дәуірі деп аталатуғын дәуірге тийісли.

$T \sim 10^{10} \text{ К}$ температурасындағы жүдә ертедегі Әлем хақында реликтив электронлық нейтрино бойынша билиўге болар еди. Олар сол дәўирде басқа бөлекшелер менен тәсирлескенди тоқтатады. Бирақ оларды регистрациялаў проблемасы еле шешилмеген.

Хәзирги ўақытлардағы элементар бөлекшелер теориясы $T \sim 10^{13}-10^{14} \text{ К}$ (адронлық эра) температурада затлар көп санлы еркин кварклерди өз ишине алды деп болжайды⁴¹. Бул эра күшли тәсирлесий теориясы тийкарында тәрипленетуғын болғанлықтан бул эра хақында үлкен исеним менен айтыўға болады.

Буннан да ертедегі дәўирдегі затлардың қәсийетлерин түсиний ушын ($T \sim 10^{14}-10^{16} \text{ К}$) электроэззи тәсирлесий теориясын қолланады. Бул тәсирлесий теориясы электромагнитлик хәм эззи тәсирлесийлерди бир позициядан хәр қыйлы аралықлық бозонлардың қатнасыўындағы тәсирлесий деп қарайды. Бул дәўирди аралықлық бозонлар дәўири деп атаўға болады. Себеби $T \sim 10^{15} \text{ К}$ температурада бирден бир электрэззи тәсирлесийди жүзеге келтиретуғын көп сандағы аралықлық бозонлардың пайда болыўы ушын физикалық шараятлар пайда болады. Бул тәсирлесийдиң теориясы басқа аспектлерде экспериментлерде тастыйықланған.

Итимал, елде жоқары температураларда Әлемниң зарядлық жақтан симметриялы емес екенлигин излеў керек (барионлардың саны антибарионлардың санына қарағанда артық) Әлемдегі барионлық асимметрияның пайда болыўын түсиндирийге урыныўлар электромагнитлик, эззи хәм күшли тәсирлесийлерди бирлестиретуғын хәм барионлық зарядтың сақланбайтуғынлығын өз ишине алатуғын теорияны дүзийге байланыслы. Бул бирлескен теорияға сәйкес жоқарыда атап өтилген үш тәсирлесийдиң барлығы да бөлекшелердиң энергиялары шама менен 10^{16} ГэВ (бул $T \sim 10^{29} \text{ К}$ температураға сәйкес келеди) болғанда бирдей мәниске ийе болады. Егер бирден бир тәсирлесий $T \sim 10^{29} \text{ К}$ температурада хақыйқаттан да орын алатуғын болса, онда оғада массалы ($\sim 10^{-9} \text{ г}$) хәм жүдә қысқа жасайтуғын Х-бөлекшелериниң болыўы керек. Бул бөлекшелер бирден бир тәсирлесийди тәмийинлейди. Х-бөлекшелери қатнасқан жағдайларда кварклердиң лептонларға хәм лептонлардың кварклерге айланыўында барионлық зарядтың сақланбайтуғынлығы жүзеге келиўи керек⁴².

Солай етип жоқарыдағы параграфларда биз Эйнштейнниң улыўмалық салыстырмалылық теориясы менен оның Фридман тәрепинен табылған стационар емес шешимлери тийкарында туратуғын стандарт космологиялық модель деп аталатуғын моделдиң тийкарғы мазмуны хәм өзгешеликлери менен таныстық. Бирақ тилекке карсы бул модель Әлемниң

⁴¹ Бир бири менен күшли тәсир етисетуғын адронлар кварклерден турады.

⁴² Бул айтылған гәплердиң барлығы да гипотезалық болып табылады. Хәзирги ўақытлары пайда болған бирден бир теориялардың саны көп болғаны менен, олардың хеш қайсысы да көплеген фундаменталлық мәселелерди шеше алмайды. Сонлықтан олардың хеш қайсысы да Эйнштейнниң салыстырмалылық теориясындай болып мойынланған жоқ.

қурылысы менен қасиетлеріне байланысты бір қанша әхмийетли мәселелерди толық шеше алмайды. Олар мыналар: бір теклилик пенен изотроптылықтың пайда болыуы, горизонт проблемасы, Әлемнің ең дәслепки ыссы дәуірінде пайда болыуы мүмкін болған айырым экзотикалық бөлекшелердің (магнит монополлеринің) жоқтығы хәм басқалар. Усы машқалаларды шешиу үшін 1980-жыллардан баслап инфляциялық космология пайда болды хәм ол хәзирги ўақытлары пүткил космологияның тийкарғы буўынына айланды.

СТАНДАРТ КОСМОЛОГИЯНЫҢ ҚЫЙЫНШЫЛЫҚЛАРЫ ХӘМ ИНФЛЯЦИЯЛЫҚ КОСМОЛОГИЯНЫҢ ТИЙКАРЛАРЫ

§ 9. Стандарт (классикалық) космологияның қыйыншылықтары

Көп астрономиялық бақлаўларда дурыслығы дәлилленген Фридман космологиясы теориясы (Эйнштейн теңлемелеринің стационар емес шешими), ыссы Әлем модели (дәслепки нуклеосинтез, реликтив нурланыўдың түсиндирилиўи) тез арада көп санлы қыйыншылықларға дуўшакерлести. Солардың бири мынадай: Әлемнің масштаблық факторы $R(t)$ ўақытқа байланысты жүдә әстелик пенен өседі (тегис моделде $t^{1/2}$ ге ямаса $t^{2/3}$ ке пропорционал). Сонлықтан бурынлары (ертеде) киши t ўақытына жүдә үлкен масштаблық фактор R дың сәйкес келиўи керек. Классикалық космологияның парадокслары инфляциялық Әлем моделинде шешиледи. Бул моделде эволюцияның ең ертедеги стадияларында масштаблық фактор экспоненциал нызам бойынша өскен деп болжаў қабыл етиледі:

$$R(t) = R_0 * e^{Ht} \quad (14)$$

Масштаблық фактордың усындай болып өсиўи нызамы үшін Хабб турақлысы ўақытқа ғәрезли өзгермейди, яғный $H = \frac{\dot{R}}{R} = \text{const}$.

Енди горизонт машқаласын (себеппилик машқаласын) толығырақ қарайық.

Реликтив нурланыў үшін рекомбинация моментіндеги 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 себеппилик пенен байланыспаған болыуы керек. Егер ҳақыйқатында да усындай аўхал болып өткен болса затлар менен реликтив нурланыўдың соншама изотроплық тарқалыуы орын алған? Фридман моделлерінде горизонт кеңейиў басланғаннан бери өткен ўақытқа пропорционал өседі. Сонлықтан болажақта қәлеген область «горизонтқа киреди».

Горизонт машқаласын Әлемнің энтропиясы терминлерінде қайтадан дүзиу мүмкін. Хәзирги ўақытлардағы энтропия релятивистлик бөлекшелерде топланған (фотонларда, нейтриноларда). Өлшем бирлиги жоқ энтропия (яғный Больцман турақлысы k ның бирлигиндеги) релятивистлик бөлекшелер ушын көлем бирлигинде (бозон ба ямаса фермион ба, оларға ғәрезсиз) $s \approx 4(n_\gamma + n_\nu + n_{\bar{\nu}} + \dots)$ ке тең. Хәзирги ўақытлардағы релятивистлик бөлекшелердің тығызлығы (фотонлартики 500 дана/см^3 , ал нейтринолартики 400 дана/см^3) $500 \text{ дана/см}^3 + 400 \text{ дана/см}^3 = 900 \text{ дана/см}^3$, демек бүгинги горизонттың ишиндеги Әлемнің энтропиясы

$$S_U \sim (c/H_0)^3 s \sim 10^{90} \quad (15)$$

Енди Әлемнің ең ертедеги дәуирдеги энтропиясын есаплаймыз. Салыстырмалы энтропия $s \sim n \sim T^3$ болғанлықтан радиация басым болған дәуирдеги 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 дәуирде Хаббл турақлысы төмендеги катнаслардан анықланады:

$$H^2 / G \sim H m_{\text{Pl}}^2 \sim T^4 \rightarrow H \sim T^2 / m_{\text{Pl}}$$

Бул жерде $m_{\text{Pl}} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 10^{-5} \text{ г} \approx 10^{19} \text{ ГэВ}$ Планк массасы деп аталады. Солай етип горизонт ишинде Планк дәуиринде

$$S_{\text{HQR}} \sim (m_{\text{Pl}} / T)^3 \sim 1.$$

Демек усыншама «ыссы» Әлем ең ертедеги дәуирлерде 10^{90} дана бир бири менен себеплилик пенен байланыспаған областлардан турыўы керек. Олай болса бақланып атырған бир теклилик пенен изотроптылық қайдан келип шыққан?

Егер масштаблық фактор экспоненциал түрде өскен дәуир орын алған болса, онда дәслепп себеплилик пенен байланысқан областлар горизонттың үлкенлигинен ($\sim cH^{-1}$) де көбирек қашықтықларға тарқалып кеткен болар еди. Демек масштаблық фактордың әстелик пенен өсетуғын дәуиринде бул областлардың себеплилик пенен байланыспаған областлардай болып көриниўи таң қаларлық емес.

Хәкыйқатында да (14)-нызам ушын горизонттың физикалық өлшеми

$$l_h(t) = -\exp(Ht) \int_0^t \frac{cdt'}{\exp(Ht')} = -\frac{c}{H} \exp(Ht) [e^{-Ht} - 1] = \frac{c}{H} [e^{Ht} - 1]. \quad (17)$$

ўақытка байланыссы экспоненциал түрде тез өседі. Бирақ масштаблық фактор буннан да тезирек өседі. Демек, егер ўақыттың дәслеппки моментинде еки бөлекше арасындағы қа-

шықлық $l_{12} < c/H$, яғный олар себеплилик пенен байланысқан областта тұрған болса, онда $l_{12}(t) \sim l_{12}(0)\exp(Ht)$ тезден горизонттың арғы тәрепине өтіп кетеді (яғный c/H тан үлкен болады). Бірақ усындай болса да бөлекшелер өзлерінің бұрынғы байланыстары хақында «есінде сақлайды».

Экспоненциал кеңейіудің кинематикасын $r_h = l_h / R(t)$ жолдас координаталардың өзгерістерінен де түсіндіріуге болады. Өзінің физикалық мәнісі бойынша бөлекшенің жолдас координатасы оның Лагранжлық координатасы болып табылады хәм кеңейіу барысында өзгермейді. Атап айтқанда усы координаталарда кейинирек Әлемнің құрылысының қәлиплесіуіне алып келетуғын дәслепки возмущениелердің өсіуі процесслері үйрениледі.

Инфляция барысында горизонттың жолдас координатасы дерлік өзгеріссіз қалады:

$$r_h = \frac{c}{R_0 H} [1 - e^{-Ht}] \approx \frac{c}{R_0 H}. \quad (18)$$

Буннан экспоненциал кеңейіу барысындағы хәтте шексіз болажақта дәслеп радиусы c/H болған сфераның ишіндегі нәкатлар ғана жақтылық сигналлары менен алмаса алатуғынлығы келип шығады.

Керісінше Фридман дәуірінде $R(t) \sim t^\alpha$, $\alpha < 1$ горизонттың жолдас координатасы уақыттың өсіуші функциясы болып табылады ($l_h / R(t) \sim t^{1-\alpha}$) хәм Фридман кеңейіуінде болажақта себеплилик пенен байланысқан областта барлық кеңілік жайласады.

$H^{-1} \equiv t_{pl}$ қа сәйкес келіуші Әлемнің «тууылыуы» ушын себеплилик пенен байланысқан областтың радиусы $l_h \equiv l_{pl} \approx 10^{-33}$ см. Бірақ экспоненциал кеңейіуде 70 Хаббл уақытында бұл стадияның t_{inf1} уақыты ишінде ол $l_h \sim 10^{-3}$ см ге өседі. Бұл шама горизонт машқаласын шешиу ушын жеткиликли. Инфляцияның хәзирги заман моделлерінде $Ht_{inf1} > 100$. Сонлықтан себеплилик пенен байланысқан областтың өлшемлері өтмиште де хәзирги горизонттың өлшемлерінен әдеуір көп болған.

§ 10. Тегіс дүнья машқаласы

Бұл машқала эволюциясының ең ертедегі 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 моментіндегі дүньяның тәбійий радиусы $l_{pl} = 10^{-33}$ см. Бахалау ушын кеңейіуді бәрхама дәрежелі нызам

$R(t) \sim \sqrt{t}$ бойынша жүрді деп болжаймыз. Хәзирге шекем $t_0 = 10^{10}$ жыл хәм усыған сәйкес иймеклик радиусы $R = (3 \cdot 10^{17} / 5 \cdot 10^{-44})^{1/2} \cdot 10^{-33} \sim 10^{-2}$ см болған болар еди.

Енди кери бағыттағы есаплаўлар жүргиземиз. Хәзирги ўақытлардағы иймеклик радиусы $R > R_H \sim 10^{28}$ см. Өтмишке кетип t_{p1} моменти ушын $R(t_{p1}) \sim 10^{-2}$ см шамасын аламыз, ал горизонттың өлшеми болса $l_{p1} \ll R(t_{p1})$. Бул теңсизлик усы дәўирде Әлемнің $l_{p1}/R(t_{p1}) \sim 10^{-31}$ шамасына шекемги дәлликте тегис екенлигин билдиреди ($\Omega \sim 1/R^2$ термининде 10^{-60} қа шекемги дәллик). Бундай жоқары дәлликте қалай түсиндириўге болады?

Усындай жуўмақларға дәлирек таллаўлар нәтийжесинде де келиўге болады. Хәқыйқатында да масштаблық фактор ушын Фридман теңлемесин $\Omega = \rho/\rho_c$ хәм Хаббл турақлысы $H = \frac{\dot{a}}{a}$ арқалы да мына түрде жазыўға болады

$$|\Omega - 1| = \frac{c^2 |k|}{R^2 H^2} \quad (19)$$

Бул жерде $k=0$ тегис модель ушын ямаса $k=\pm 1$ жабық хәм ашық моделлер ушын. Бул аңлатпаның оң тәрәпи Хаббл узынлығы $d_H = c/H$ тың иймеклик радиусы $R = a/k$ ға қатнасы болып табылады. Фридман стадиясында $R(t) \sim t^\alpha$, $\alpha < 1$ хәм $t \rightarrow \infty$ те $|\Omega - 1| \sim t^{2(1-\alpha)} \rightarrow +\infty$, яғни Хаббл радиусы иймеклик радиусына (масштаблық факторған) қарағанда тезирек өседі хәм aH шамасы барлық ўақытта кемейеди. Сонлықтан бизиң бақланатуғын Әлемимиздің тегис Әлемге жақынлығы бизге бир түрли болып көринеди.

Енди (19) дың оң тәрәпин дәслепки иймекликтен ғәрезсиз Әлем автомат түрде тегис болыўға умтылатуғындай етип кеңейиў барысында кемейтип көремиз. Бул шәрт ўақытқа ийе жолдас Хаббл координатасын киширейткенге эквивалент ($d(c/aH)/dt < 0$). Буннан масштаблық фактор $d^2 a/dt^2 > 0$ ға эквивалент талап аламыз. Бул шәрт $R \sim R_0 e^{Ht}$ экспоненциаллық кеңейиўде орынланады.

§ 11. Антроплық принцип хәм инфляциялық космология

Физиклердің ең әҳмийетли тилеклериниң бири фундаменталлық бөлекшелердің экспериментлерде анықланған барлық параметрлерин тәбийий түрде болжап анықлайтуғын теорияны дүзиў болып табылады. Бизиң әсиримизде сөзсиз пайда болатуғын усандай дурыс теория әпиўайы хәм сулыў болады деп исениў керек.

Бирақ элементар бөлекшелердің көпшилиқ параметрлери тосыннан алынатуғын санлардың жыйнағына усайды. Мысалы электронның массасы протонның массасынан мың есе үлкен (әлбетте шама менен алғанда). Ал протонның өзи болса W-бозонның массасынан жүзлеген есе киши. Ал W-бозонның массасы болса фундаменталлық Планк массасы-

нан 10^{17} есе киши. Бирақ усыған қарамастан электронның массасының, жуқа структура-ның тұрақтылығы α_e ниң, күшлі тәсірлесіуі константасы α_s тиң, тартылыс тұрақтылығы $G = M_p^{-2}$ ның азмаз өзгерісі болған жағдайда биз билетуғын тиришиликтің типиниң пайда болмайтұғыны әдеуір уақытлардан бери белгили⁴³. Бир кеңісликлик өлшемди қосыу яма-са сол өлшемди алып таслау планеталар системаларының пайда болуы мүмкін емес еді. Хәқыйқатында да кеңіслик-уақыттың өлшеми $D > 4$ болса гравитациялық тәсірлесіу күші r^{-2} нызамынан тезірек кемедейди, ал $d < 4$ болса улыұмалық салыстырмалылық теориясы бундай күштің пүткиллей болмайтұғынлығын тастыйықлайды. Бул сөзлер $d \neq 4$ болған жағдайларда планеталар системасының пайда болмайтұғынлығын айтып тұр. Соның менен бирге биздей тиришилик ийелериниң Әлемде пайда болуы ушын Әлемниң өзи жеткиликли дәрежеде үлкен, геометриясы тегіс, бир текли хәм изотроп болуы 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 көреміз, себеби тек усындай Әлемде ғана тиришиликтің хәм соған сәйкес бизиң өзимиздиң пайда болуымыздың мүмкиншилиги бар.*

Тап жақын уақытларға шекем көп илимпазлар өзиниң илимий жумысларында антроплық принципти пайдаланбады. Бул принципке көп ушырасқан қатнас Колб пенен Тернердин (Kolb хәм Turner) «Ертедеги Әлем» китабында «Авторлардың биреуине усындай ақылға мууапық келмейтуғын антроплық усаған идеяның принцип қәддине шекем көтерілиуі пүткиллей түсиниксиз» деп берилген. (Kolb, 1990).

Бундай скептикалық қатнасты ақлауға болады. Әлбетте антроплық принципти пайдаланбай-ақ проблемалардың физикалық шешимін табуы әдеуір аңсатырақ (мысалы усындай машқала жоқ Әлемде ғана бизиң жасауымыз мүмкін дегенге қарағанда). Антроплық принципти қолланғанда бул принцип машқаланы шеше алмайды, ал тек ғана сүйенгендей ғана хызмет етеді.

Бирақ басқа көз-қараслардан бул принцип жүдә қурамалы хәм фундаменталлық машқалаларды шешіуге жәрдем береді. Бийкарлаудың орнына бул принципти хәр бир айқын жағдайда пайдаланыуға умтылуы керек.

Антроплық принциптиң тийкарынан еки түри бар: әззи хәм күшлі антроплық принцип. Әззи антроплық принцип былай дейди: егер Әлем хәр қыйлы қәсіетлерге ийе бөлімлерден туратуғын болса, онда биз бизиң тиришилигимиз мүмкін болған бөлімінде жасаймыз. Бул көзге көринип тұрған жағдайдай болып қабыл етиледі. Бирақ Әлемде қәсіетлери хәр қыйлы болған областлар бар ма? деген сорау тууылады. Егер жоқ болса,

⁴³ Әлбетте $G = M_p^{-2}$ теңлигиниң орын алуы ушын элементар бөлекшелер физикасында кеңнен пайдаланылатуғын $\hbar=c=1$ есаплау системасы қолланылады.

онда электронның массасының хәм тәсирлесіулердің турақлыларының өзгеріслері хаққындағы қәлеген гәплер мәниске ийе болмай қалады.

Күшли антроплық принцип мынаны тастыйықлайды: Әлем бизің жасауымыз мүмкін болғандай болып жаратылған. Биринши рет еситілгенде бул тастыйықлау хақыйқатлыққа тууры келмейтуғындай болып көринеди. Себеби адамзат Әлемнің тийкарғы қәсийетлері 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 Әлемді көп мәртебе жаратыуға байланыстырды. Әлемді дөретиу менен ким шуғылланды, бизің жасауымыз ушын жарамлы болған Әлемді дөретиудің қандай зәрүрлиги болды деген сорауларға жууап болмады. Қала берсе бизің жасауымыз ушын қолайлы шараятларды пүткил Әлемде емес, ал Қуяш системасын өзі ишине алатуғын үлкен емес областта жаратып қойғанда болмаспа еди? Мәселени қурама-ластырыудың 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 принциптері гәп етиледі.

§ 12. Инфляциялық космология модели

Демек Әлемнің инфляциялық моделинің тийкарғы идеясы: ең ертедеги Әлемде «антигравитация» пайда ететуғын хәм соның салдарынан Әлемді $\dot{a} > 0$ тезлениуі менен кеңейтиуге умтылатуғын материяның әдеттегидей емес формасы болған. Антигравитацияның айрықша бир нәрсе болып көринбеуі керек. Себеби улыұмалық салыстырмалық теориясы бойынша гравитациялық майданның дереги тек зат емес, ал басым да (импульс ағымы) майданның дереги болып табылады. Терис мәнисли басымды қадаған ететуғын хеш бир физикалық нызам жоқ. Соның менен бирге хәзирги заман элементар бөлекшелер физикасы скаляр майданлар деп аталатуғын майданлардың бар екенлигин болжайды⁴⁴. Бундай майданлардың бир қәсийетлеринің бири базы бир жеткиликли дәрежедеги улыұмалық жағдайларда $p = -\varepsilon$ хал теңлемесин жүзеге келтиреді (терис мәнисли басым!).

Егер Әлемнің қандай да бир ықтыярлы киши областында ертедеги стадияларда усындай майдан пайда болса $p = -\varepsilon$ хал таңлемеси жағдайында масштаблық фактор уақытқа ғәрезли экспоненциал нызам бойынша өседі: $R(t) \sim e^{Ht}$. Бул жерде $H = \dot{a}/a = \text{const}$ Хаббл

⁴⁴ Соны атап өтиу керек, хәзирги заман физикасының принциптері бойынша усы уақытларға шекем эксперименттерде ашылмаған скаляр майданлар бөлекшелерге масса (инертилик) береді, ал векторлық майданлар бөлекшелердің динамикасын анықлайды.

турақлысы болып табылады. $H = \text{const}$ болғандағы (14) түріндегі шешім 1917-жылы Голландиялы физик Виллем де Ситтер тәрәпинен Эйнштейннің космологиялық турақлысы бар теңдемелерін шешіу арқалы алынды хәм сол кисинің аты менен аталады. Терис мәнисли басым «антигравитация» түрінде эффектив түрде Әлемди жүдә үлкен тезлик пенен кеңейіуіге мәжбүрлейди. Усы мәселени толығырақ талқылап өтеміз.

Фридман теңдемелеринен мынаған ийе боламыз (масштаблық факторды a хәриби жәрдемінде белгилейміз):

$$\frac{d^2 a}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + \frac{3p}{c^2})a. \quad (\text{бул қозғалыс теңлемеси болып табылады})$$

$$\frac{dp}{dt} = -3H\left(\rho + \frac{p}{c^2}\right) \quad (\text{бул үзликсизлик теңлемеси})^{45}$$

Сонлықтан $p = -\varepsilon = -\rho c^2$ болған жағдайда $\rho = \varepsilon = \text{const}$ хәм

$$a(t) = a_0 \exp\left[\sqrt{\frac{8\pi G\rho}{3}}t\right] \quad (20)$$

энергияның тығызлығы турақлы болғандағы экспоненциаллық нызамына ийе боламыз (бул жағдайда басым күшлеринің жумысы кеңейгендегі энергияның кемейіуін толық компенсация кылады).

Тығызлық турақлы болғандағы областтың өлшемлеринің экспоненциаллық өсиіуі областтың ишиндегі массаның «хеш нәрседен» өсиіуіне 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 кеңейіуші областтың ишинде «пайда болатуғын» оң энергия тәрәпинен пайда етиледі. Сонлықтан инфляциялық кеңейіу барысында толық энергия сақланады.

Буннан да формалырақ термодинамикалық қатнасты да қарап шығыу мүмкин (термодинамиканың биринши басламасын, яғный энергияның сақланыу нызамын). Кеңейіуде энтропияның сақланыуы керек (яғный $dS=0$). Сонлықтан көлем элементіндегі энергияның өзгеріуін басым күшлеринің жумысы компенсациялайды:

$$D(\varepsilon V) + p dV = 0$$

Басым $p = -\varepsilon$ екенлигин есапқа алсақ $d\varepsilon V + \varepsilon dV - \varepsilon dV = 0$ екенлигин табамыз. Демек көлем өзгергенде энергия өзгермейди екен.

⁴⁵ Усыған қосымша энергия ушын да теңлемениң бар екенлигин хәм оның $\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \left(\frac{kc^2}{a^2}\right) + \frac{\Lambda c^2}{3}$ түріне ийе болатуғынлығын атап өтеміз.

Терис басымлы хал (антигравитация пайда ететугын хал) принципиаллық жақтан тұрақлы емес. Бул хал өз-өзинен әдеттегидей гравитация пайда етиўши затларға ыдырайды (радиоактив ядролардың ыдырағанындай болып). Бул тұрақсыз халдың ыдыраўының характерли ўақыты Хаббл ўақыты $1/H$ тай болып анықланады. Ыдыраў барысында әдеттеги затлардың релятивистлик бөлекшелери пайда болады (лептонлар, кварклер хәм олардың суперсимметриялы жолдаслары). Олардың бир бири менен соқлығысыўы хәм тәсир етисийлері релятивистлик материя ушын хал теңлемесине ($p = +\varepsilon/3$) сәйкес тең салмақлыққа тезден келиўин тәмийинлейди. Жоқарыда аталып өтилген Фридман космологиясының парадокслерин шешиў ушын инфляция стадиясының (дәўириниң) 70 Хаббл ўақытындай даўам етиўи 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 шешиў ушын жеткиликли. Басланғыш тығызлық керекли дәлликте (10^{-60} дәллигинде!!!) 1 ге тең болады (Әлемниң тегис екенлиги машқаласының шешими)⁴⁶. Масштаблық фактордың экспоненциаллық өсиминиң нәтийжесинде дәслепки квант флуктуациялары горизонттың арғы тәрәпинен кетеди, ал кейинги стадияларда горизонт ишине және де «киреди». Усының менен бир қатар Әлемниң қурылысының қәлиплесийи ушын зәрүрли болған возмущениелердиң басланғыш спектри генерацияланады.

Солай етип инфляция стадиясы 10^{-34} с ишинде өлшеми шама менен 0,01 см көлем ишинде жүдә ыссы дәслепки затты «таярлайды». Ал бул область болса инерциясы бойынша $\mathbb{K} < 0$ менен кеңейеди. Бул ыссы Әлем модели («Үлкен партланыў») болып табылады. Енди «партланыўдың» орнын инфляция дәўири (стадиясы) ийелейтуғынлығы түсиникли болды.

Ертедеги Әлемдеги Фридман стадиясына шекем кеңейиўдиң инфляциялық стадиясының орын алғанлығына гүўа болатуғын аргументлерди атап өтемиз:

1. Әлемниң үлкен энтропиясы ($\sim 10^{90}$). Инфляция моделинде усындай үлкен сан масштаблық фактордың 70 есе үлкейиўиниң «қуны» менен алынады.
2. Бир текли хәм изотроплы Хаббл кеңейиўиниң орын алыўы. Бул ертедеги Әлемдеги антигравитацияның тәсири сыпатында тәбийий түрде алынады.
3. Үлкен масштабларда Әлемниң бир теклилиги менен изотропиясы (горизонт машқаласы). Барлық флуктуациялардың инфляцияға шекемги дәўирлердеги себепли байланысының бар екенлиги менен түсиндириледі.

⁴⁶ Айырым авторлардың реликтив нурларды изертлеў барысында берген мағлыўматлары бойынша Әлемниң ҳақыйкый диаметри 78 миллиард жақтылық жылына тең болыўы керек. Ал ҳәзирги заман техникасы болса 14 миллиард жақтылық жылына тең қашықлықлар шегин көре алады (горизонт машқаласы).

4. Әлемнің толық тығызлығының критикалық тығызлыққа жақынлығы (дәл тең екенлиги деп айта аламыз, бұл Әлемнің геометриясының тегис екенлиги машқаласы). Тығызлықтың дәслепки шамасынан ғәрезсиз инфляция стадиясында зәрүрли болған дәлликте $\Omega \rightarrow 1$.

5. Магнит монополлериниң жоқлығы⁴⁷. Үлкен партланыўдың стандарт моделинде бундай монополлер $T \sim 10^{16}$ ГэВ пайда болады ҳәм оның Әлемнің тығызлығына қосқан үлеси ҳәзирги күнлери Әлемнің орташа тығызлығынан 10^{12} есе үлкен болар еди. Инфляция моделинде болса инфляцияға шекем пайда болған монополлер экспоненциаллық кеңейиўде бир биринен сонша аралықларға қашықласады, олардың саны ҳәзирги горизонттиң иши ушын ҳеш қандай қәўип пайда етпейди.

6. Хәр қандай мүйешлик масштаблардағы реликтив нурлардың флуктуацияларының фазаласқан (бирдей фазаларға түсирилген) осцилляциялары (Сахаров тербелислери). Бұл инфляцияға шекемги дәўирлердеги себеплилик пенен байланысқан областтың ишиндеги дәслепки флуктуациялардың пайда болыўының туўрыдан-туўры себеби.

Ең ақырында мәңги инфляция модели (мәңги хаотик инфляция) ҳаққында қысқаша гәп етемиз. Оның мәниси төмендегидей: Әлемдеги бир орында басланған инфляция тоқтай алмайды. Хәқыйқатында да радиоактивли ыдыраўдан паркы, инфляциядағы антигравитация пайда етиўши субстанцияның (дәслепки заттың) әдеттеги затларға ыдыраўы инфляция тәрәпинен ийеленген областтың өлшемлериниң экспоненциаллық өсиўине алып келеди. Ал бұл 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).

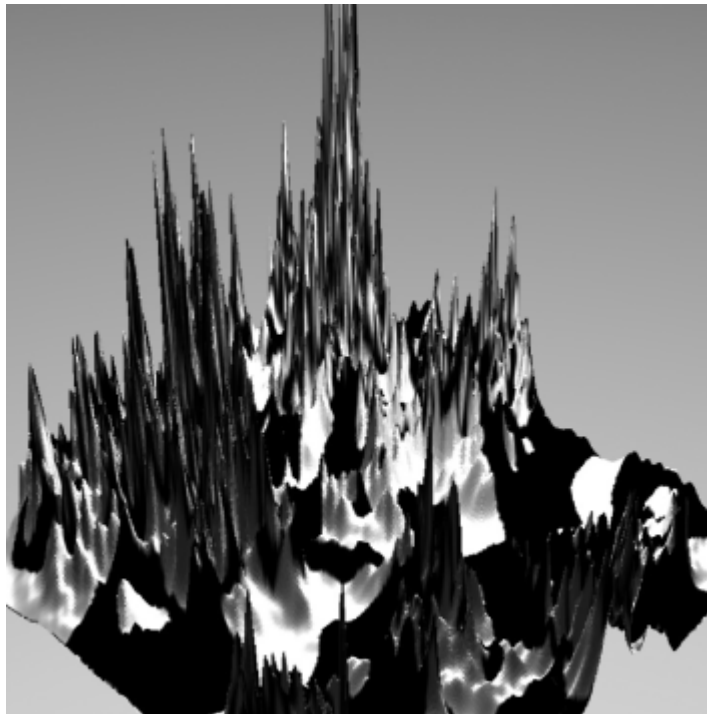
Усындай теориялардың мүмкин болған нәтийжелерин демонстрациялаў ушын хаотик инфляция процессиндеги еки скаляр майданнан туратуғын системаның эволюциясының компьютерлик моделин қарап шығамыз. Мейли ϕ инфлатон, яғный инфляцияны пайда етиўши (туўдырыўшы) майдан. Оның шамасы әлемнің⁴⁸ еки өлшемли кесиминдеги $\phi(x, y)$ бетиниң бийиклиги менен берилген. χ майданы симметрияның спонтан бузылыў теориясындағы мүмкин болған майданның типі. Егер майдан берилген ноқатта эффектив потенциалдың еки минимумының ишиндеги бир халға туўры келсе қара менен бояймыз, ал екінши халға сәйкес келсе ақ түрге бояймыз. Булар симметрияның бузылыўының хәр

⁴⁷ Магнит монополлериниң бар екенлиги биринши рет П. Дирак тәрәпинен болжап айтылды. Оның массасы 10^{16} ГэВ болыўы керек. Экспериментлерде еле бақланған жоқ.

⁴⁸ Бұл жерде айқын бизиң Әлемимиз ҳаққында гәп етилип атырған жоқ.

қыйлы типлерине, яғный төменги энергияларда физиканың ызыамларының 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 қасийетлерге ийе экспоненциаллық үлкен доменлерге бөлінген болады (6-сүүрет). Сүүреттеги хәр бир пик Планк тығызлығына сәйкес келеди хәм жаңа Үлкен партланыудың басы сыпатында қаралыуы мүмкин. Ол жерде физиканың ызыамлары жүдә тез өзгередиди. Бирақ бул ызыамлар ϕ майданы киши орынларда (яғный 6-сүүреттиң жайпауытларында) өзгермейди. Скаляр майданлардың квантлық флуктуациялары Әлемди экспоненциаллық жақтан үлкен областларға бөледиди. Хәр бир областта төменги температураларда хәм хәр қыйлы тығызлықларда өзине тән физиканың ызыамлары хуким сүредиди.



6-сүүрет. Әлемнің өзін-өзи қайта тууыу процессиндеги скаляр майданлар ϕ пенен χ ның әдеттегидей тарқалыуы. Тарқалыудың бийиклиги инфляцияны болдыратуғын ϕ майданының шамасын сәулелендиреди. Егер χ майданы эффектив потенциалдың еки минимумының биринде жайласса бет қара менен боялған, ал сол майдан минимумның екіншисинде жайласса бет ақ пенен боялған. Киши энергияларда хәр қыйлы областлардағы физиканың ызыамлары 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 қарауға болады.

Скаляр майданлардың квантлық секиріулерінің нәтижесінде әлем киші 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 қарауға мүмкін болады. Сол әлемлерде жасаушы тиришилик ийелери оның шегараларынан экспоненциал түрде қашық жасап, басқа қәсийетлерге ийе басқа әлемлердің бар екенлигин биле алмайды.

Егер усы сценарий дурыс болып шықса физика илими өзінше әлемнің бизге тийисли бөлегинің барлық қәсийетлерин толық түсиндирип бере алмайды. Бир физикалық теория хәр қыйлы қәсийетлерге ийе әлемнің хәр қыйлы областларын тәрипнлей алады. Усы сценарийге сәйкес биз бизің физикалық нызамларға ийе әлемнің төрт өлшемли областында жасаймыз. Бул басқада өлшемлерге ийе ямаса басқа нызамларға ийе областлардың бар болыу мүмкиншилигинің жоқлығынан ямаса итималлылығының кемлигинен емес, ал ондай областларда биздегидей типтеги тиришиликтің болыуы мүмкін емес.

Усыннан әззи антроплық принциптің дурыс екенлиги дәлилленеди. Бизің жасауымыз ушын зәрүрли болған жағдайларға хәм қәсийетлер менен параметрлерге, сондай-ақ физиканың нызамларына ийе әлемди арнаулы түрде дөретип отырыудың кереги болмай қалады. Инфляциялық әлем сырттан тәсирсиз-ақ физиканың барлық мүмкін болған нызамларыны ийе экспоненциаллық үлкен областларды тууады (пайда етеди). Сонлықтан бизің жасауымыз ушын шараятлардың үлкен областларда пайда болғанлығына таңланбауымыз керек. Егер сондай шараятлар дәслепп тек бизің этирапымызда пайда болған болса, онда инфляция бундай шараятларды әлемнің бақланатуғын бөлиминің 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 6стемлигин арттыры7 барысында уры7 81м тайпаларды4 басшылары менен душпаншылы2ын к6шейтти. Усындай жа2дайлар2а байланыслы qeғу-жылы Қазан Қаза2ан басшылы2ында2ы урыста 5лтирилди. Ол Мавереннахр2а 6стемлик ете баслады. Ал бурын2ы Ша2атай м1млекетини4 Зал2ан б5леги дулатлар уры7ыны4 басшысы бол2ан бас3а 1скербасыны4 Зол астына 5тти. Бул адамлар Шы42ысЗанны4 урпа3ларынан емес. Сонлы3тан да, жоЗарыда аты келтирилген адамларды4 м1млекет басына кели7ин монгол татарларыны4 86кимлигини4 Мавереннахрда2ы аЗыры деп Зара7ымыз2а болады.

Қаза2анны4 5зи 5зини4 к6йе7 баласы т1репинен qeti-жылы 5лтириледі. Буннан кейин 86кимлик оны4 баласы Абдулла2а 5тти. Мавереннахрды4 пайтахты СамарЗанд3а к5ши7и Абдулланы4 аты менен байланыслы. qeуw-жылы монгол ханы Ту-

лук-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 г6рес ж6ргизди. Усындай 81рекетлерди4 н1тийжесинде Тимур qeu0-жылдан баслап пайтахты СамарЗанд бол2ан Мавереннахрды4 1мири д1режесине жетти.

Тимур т1репинен 81кимшилиқ етилген м1млекет мусылман 81м персия м1дениятларыны4 элементлери бар, т6рк-монгол 1скерий д6зимли м1млекет еди. Алтын орданы Зыйраты7ы. Иран2а, Кавказ еллерине, Индия2а, Киши Азия2а бол2ан басып алы7шылы3 топылысларыны4 н1тийжесинде Тимур м1млекетини4 шегаралары 1де7ир ке4ейди 81м 36дирети асты. СамарЗанд Заласында блкен архитектуралы3 18мийетке ийе бол2ан сарайлар, озы7 орынлары салынды. Соны4 менен бирге Мавереннахрды4 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 шабы7ылларда бирге алып ж6риледи, 1мирди4 шет ел елшилерин Забылла7 салтанатларына Затнасты. Біраз жыллардан кейін Тара2ай кем-кемнен Улу2бек (Мырза Улу2бек) аты менен алмастырылды.

Тимур Зайтыс бол2аннан кейін оны4 балалары арасында 1кеден Зал2ан мийрасты б5ли7ге 81м сиясий б6стемшиликке байланыслы блкен ж1нжеллер, урыслар болды. Со42ы бес жыл ишінде 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. Бира3 Улу2бекти4 1кеси Шахрух китаптар озы2анды, жыйна2анды жа3сы к5рген. Ол Герат Заласында сол 7а3ытларда2ы е4 бай китапхана д6зди. Улу2бек бул китапханада к5п жумыс иследи. ЖоЗарыда келтирилген Платонны4, Аристотель, Гиппарх, Птоломей, ал-Ферганий, Ал-Беруний, ! би7-! лий ибн-Сино, ал-Хорезмий 81м Омар- * аяамны4 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 Салахуддин-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 таярлады. 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 qgqu-жылы астрономиялы3 ба3ла7лар жбргизи7 ушын обсерватория салы72а ба2ышлан2ан ке4ес 5ткергенин билемиз. Бул 8а33ында м1селен Улу2бекти4 заманында жаса2ан ! бдираза3 СамарЗандий былай деп жазады. “..Усы ма3сетте ол (Улу2бек) 5злерини4 ислерин жа3сы билету2ын т1жирийбели математиклерди, геометрлерди, астрономларды, Зурылысшыларды ша3ырды. 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 ЗосЗан 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 з1р6рлигин 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.

qgqu-жыл2ы ке4есте астрономиялы3 обсерваторияны4 Зурылы7ыны4, 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 з1р6рлиги мойынлан2ан. Тарийхый дереклер обсерваторияны4 да 6ш жылда питкерилгенлигин айтады.

ЖоЗарыда келтирилген мысалларды4 барлы2ы да Улу2бекти4 илимдеги жал2ыз изертле7ши болма2анын, ал оны4 5зини4 1тираапына к5плеген билимпазларды топла2анын, 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 Зурылыс 8а33ында г1пти кейинирекке Залдырамыз 81м Улу2бек, оны4 илимий хызметкерлері т1репинен алын2ан н1тийжелерді баянлаймыз.

Улу2бек басЗар2ан илимий жумысларды4 е4 тийкар2ы н1тийжелер “Улу2бек Зиджи“ ямаса “Қура2аний Зиджи“ деп аталату2ын астрономиялы3 кестелерде берілген (Қура2анийаты Улу2бекти4 кейин журтына байланысly келип шы33ан 81м оны4 заманласлары т1репинен гейде Улу2бек Қура2аний деп те атал2ан). Жигирмала2ан жыл ишинде жбргизілген 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. ww баптан турату2ын екінши б5лими астрономия илимини4 усылларын т1рийпле7ге ба2ышлан2ан. : шинши б5лимни4 қе бабы К6нни4, Айды4 81м планеталарды4 аспан сфферасында аны3ла7 усылларын баянлайды. Қал2ан еки бап К6н менен Айды4 тутылы7ларын 5з ишине алады.

Кириси7ди4 кейінги г-б5лими астрология2а ба2ышланып аспан денелерини4 жайласы7ларыны4 адам т12дирина т1сирин тийкарла7ды Замтыйды. Усы жерде астрологиялы3 м1селелерди шеши7ди4 Улу2бек 81м оны4 заманласлары ушын е4 тийкар2ы м1селелерди4 бири бол2анын а42ары7ымыз керек.

Улу2бекти4 ж6ргизген 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 а7Зат 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 қе минут ео секунд3а а7ысады (81зир Забыл етилгенинен е секунд3а арты3). Бундай масылларды к5плеп келтири7 м6мкин. Оларды4 барлы2ы да Улу2бекти4 ж6ргизген 5лше7лерини4 Зандай д1режеде д1л бол2анлы2ын к5рсетеди.

Улу2бек фундаменталлы3 18мийетке ийе жұлдызлар кестесин д6зи7деги Гиппархтан кейінги астроном болып табылады. Бул кесте q0qi жұлдызды 5з ишине алады. Соларды4 о00 ини4 узынлы2ы долгота 81м і ui ини4 ке4ликлери Улу2бек обсерваториясында 5лшенген (соларды4 ишінде 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 жа2ынан сол 7а3ыт3а шекемги е4 д1л бол2ан Гиппарх кестелерини4 д1ллигинен жоЗары турып Тихо Браге (qtry-qy0q) заманына шекем бириншиликти Золдан бермеді.

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 градуcты4 синусына тийкарлан2ан“. Н1тийжеде бир градуcты4 синусы ушын 0,0qu rtw r0y reu wie tuq шамасы алынды. Бундай д1л есапла7ларды ж6ргизи7 ушын 3аншама есапла7шыларды4 Затнас3анын айты7 3ыйын. *1зирги 7а3ытлары к5пшилигимизди4 Золларымызда есапла7 машиналары бар бол2анлы3тан жо3арыда келтирилген мысалды4 дурыс екенлигин тексерип к5ри7ди о3ы7шылар2а усыныс етемиз.

%зини4 мийнетлеринде Улу2бек 5зине шекем Забыл етилген геоорайлы3 система-сыны4 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 д6ньяны4 орайында2ы Жерди К6н менен алмастыр2анда да сезилерликтей 5згерислерди4 болмайту2ынлы2ы 8а33ында пикирлерди табамыз. М1селен, жо3арыда 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 биргеликте Жерди4 5зи де Зоз2алады деп сана72а болады. Бундай гипотеза да дым жазсы. “ Усындай пикирлерди биз Улу2бекти4 е4 жазын ж1рдемшилеринен бол2ан !лий Қусшыны4 “Теологияны4 тезислерине т6синиклер“ мийнетинде де табамыз. Жо3арыда келтирилген тарийхый дереклерди4 барлы2ы да Улу2бекти4 гелиоорайлы3 системадан Зашы3 болма2анлы2ын д1лиллейди.

Зиджды4 д6зили7 барысында Улу2бекти4 е4 жазын ж1рдемшилеринен “ ияс-ад-дин Ж1мшид qrwо-жылы, Салахутдин-Му7са Қазызада qret-жылы 3айтыс болды.

qrgо-жылы wu-октябрь к6ни Улу2бек баласы Абдулл1тиф т1репинен 5лтириледи. Усыны4 менен бирге Орта 1сирлердегиОрайлы3 Азияда2ы астрономияны4 ра7ажланы7ы да тамам болды. Улу2бекти4 сады3 досты !ле71тдин !лий-ибн-Му8аммед Қусшы к1р7ан д6зип Самар3андтан жұлдызлар кестесин, к5плеген Золжазбаларды алып кетип блгерди. Ол Стамбул2а жетип сол жердеги жо3ары о3ы7 орныны4 д1слеп о3ыты7шысы, кейинен ректоры болып иследи 811м 5мирини4 а3ырына шекем (qrig-жыл) Улу2бекти4 илимий мийрасларын халы3лар арасында тараты7 менен шу2ылланды.

Улу2бек кестелерини4 екинши нус3асы Нерат Заласына жеткен 81м Алишер На7айыны4 заманында к5ширип жазы7лар ар3алы парсы 81м араб тиллеринде к5п жерлерге таратыл2ан.

Улу2бекти4 жұлдызлар кестеси қуу7-жылы Оксфорд2а, қіге-жылы Лондонда ба-сылды. Кестеге кириси7 Париж Заласында қіте-жылы жары3 к5рди. Ал Вашингтон Заласында Улу2бек кестелери бойынша ж6ргизилген изертле7 жұмысларыны4 н1тийжелери қоқу-жылы баспадан шы3ты.

Улу2бекти4 жұлдызлар кестесінде келтирилген астрономиялы3 шамаларды4 д1ллігини4 жо3арылы2ы со42ы 7а3ытта жаса2ан астрономларда Улу2бекти4 5зини4, обсерваториясыны4 XV 1сирде д6нъяда бол2анлы2ы 8а33ында г6м1н пайда етті. ! си-ресе XVIII 81м XIX 1сирди4 астрономлары соншама д1режедеги жо3ары д1ллікті4 XV 1сирде алыны7ыны4 мумкин емеслигин д1лилле7ге тырысты.

* а3ый3атында да Улу2бек Зайтыс болы7дан оны4 обсерваториясы талам-тараж етилди, Зол2а илингендей н1рселерини4 б1ри де урланды, қоо-жылы Тимурды4 душ-паны бол2ан Шейбаны-хан т1репинен кек алы7ды4 бир т6ри ретінде п6ткіллей Зыйратылды. Кейин ала обсерваторияны4 тур2ан жери билинбей кеткен 81м сон-лы3тан оны4 бар бол2анлы2ыны4 5зи 1сиресе илимпазлар арасында г6ман ту7дырды.

Обсерваторияны4 бар бол2анлы2ы 8а33ында Улу2бекти4 заманласлары 81м оннан кейинги бир3анша тарийхшылар жазба т6рде мийраслар Залдыр2ан. Улу2бекти4 ки-ши заманласы, обсерваторияны 5з к5зи менен к5рген ! бдираза3 СамарЗандий 5зиний “Еки бахытлы жұлдызлар топарыны4 ту7ылы7ы” шы2армасында былай жазады “ас-трономиялы3 ба3ла7лар ж6ргизи7 ушын (Зурыл2ан) 1сбапларды тексерип 81м жетили-стирилип бол2аннан кейин (Улу2бек) кестелерди д6зи7 8а33ында буйры3 берди... Би-на беккем етип салын2ан еди... (Билимпазлар) жыйналысы бинаны уза3 7а3ыт, м14ги са3ланы7ы, а7ыспа7ы, тербелме7и ушын беккем етип салыны7ыны4 кереклиги 8а33ында Зарар шы2арды. Соны4 салдарынан бийик, д54гелек теризли сарай салын-ды... Кейнинен К6нни4, жұлдызларды4 Зоз2алысларын ба3ла72а буйры2 берилди, аны3лы2ы 81м д1лліги менен айрылату2ын К6нний 81м жұлдызларды4 Зоз2алысларыны4 кестесини4 д6зили7и басланды“.

XV 1сирди4 азырыны4 тарийхшысы Мирхонд былай жазады “Соны4 менен бир-ге шебер усталарды4 обсерваторияны3 Зурылысына кириси7и ушын уллы буйры3 шы2арылды. Бул иске астрономия илимини4 с6йениши, екинши Птоломей “иясад-дин Жамшид 81м илимди 5зине сыйдыры7шы мырза Низамаддин ал-Қашылар Затнасты. Қурылыс тырысы7ларды4, пухталы3ты4 81м табан тире7шиликти4 салда-рынан тез арада питти“. Мирхондты4 бул мийнети Алишер На7айыны4 усынысы бойынша жазыл2ан деген тарийхый дереклер бар.

Улу2бек 5лгеннен кейин обсерваторияны Захреддин Бабур (е4 ата3лы Тимурид-лерди4 бири 81м моголидлер м1млекетини4 тийкарын салы7шы) барып к5рген 811м XVI 1сирди4 басында “Бабурнамада“ былай жазады... “обсерватория 6ш бас3ыштан (Забаттан) турады. Бул жерде Улу2бек 81зир п6ткіл д6нъяда Золланылып атырыл2ан “Қура2оний кестелерин“ д6зди. Бас3а кестелер кем Золланылады... П6ткіл д6нъяда жети ямаса сегиз обсерватория Зурыл2ан болы7ы керек. Соларды4 е4 уллысы Улу2бек обсерваториясы болып табылады“.

Улу2бек обсерваториясы qo0i -жылы СамарЗанд археологы В.Л.Вяткин т1репинен Сасарканд Заласыны4 ар3а-шы2ыс т1репинде Ташкент жолына жа3ын жерде Ку8а3 т5белигини4 басынан табылды. Т5беликти4 бийиклиги wq метр болып оны4 басына шы3Зан адам2а ке4 горизонт ашылады. Обсерваторияны изле7 жумыслары тарийхый 86жжетлер тийкарында 5ткерилди. Археологиялы3 Зазылмалар буннан кейин qoqг-, qoqг- 811м qoгi -жыллары ж6ргизилди 81м обсерватория 81м онда Золланыл2ан бас 1сбап 8а33ында бирЗанша толы3 ма2лы7матлар алынды. Қазба жумысларыны4 барысында обсерваториядан у000 куб метрдей Зулап Зал2ан Зурылысты4 ЗалдыЗлары ашылды. Бул шама Улу2бекти4 Зандай 6лкенликтеги жайды салдыр2анлы2ы 8а33ында2ы д1слепки ма2лы7матларды береді.

Архитектор-археологларды4 тастыйы3ла7ы бойынша Улу2бек обсерваториясы цилиндр т1ризли болып оны4 тырна2ыны4 диаметри ri -t0 метрге, бийиклиги wo метрге те3 бол2ан. Обсерватория2а орнатыл2ан бас 1сбап секстант (айырым изерт-ле7шилерди4 пикири бойынша квадрант) шама менен r0 метрлик радиус3а те4. Оны4 бираз б5леги жер астында жай2ас3ан болып до2асыны4 узынлы2ы секстант бол2ан жа2дайда кемінде gw метрге те4. Бундай жа2дайда до2аны4 81рбир u0q,i t миллиметринен q мбйешлик градус с1йкес келеді. Бул секстант меридиан бойынша (ар3адан Зубла2а) д1л ба2ытлан2ан болып, оны4 ж1рдемінде К6нни4, Айды4, планеталарды4, жұлдызларды4 меридиан сызы2ы ар3алы 5ткен пайытында2ы координаталары жоЗары д1лликте 5лшенген.

ЖоЗарыда келтирилген ма2лы7матлар Улу2бек т1репинен сол д17ирге шекем болма2ан илимий обсерватория салын2анлы2ынан дерек береді. Бундай ис сол 7а3ытлары тек 2ана 36диретли м1млекет басшысы 81м е4 алды42ы Затар алымны4 Золынан кели7и м6мкин еді.

Тилекке Зарсы, Улу2бек заманында ке4нен орын ал2ан диний фанатизм, Жерди !лемни4 орайы деп есапла7 д1ст6ри, бизи4 Уллы жерлесимизге системасызды4 орайында К6н жайлас3ан деп есаплайту2ын гелиоорайлы астрономия2а батыл т6рде 5ти7ге м6мкиншилик 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 Х әсирдің ақыры хәм ХІ әсирдің биринши ярымы Орайлық Азияда бириншиден мәдениеттің гүлленіуі, екіншиден хәр қандай мәмлекетлер арасындағы басып алыушылық бағдарындағы урыс-жәнжеллердің күшейіуі менен сыпатланады. Х әсирдің екінши ярымына келип пайтахты Гурганж (хәзирги Гөне Үргениш) қаласы болған арқа Хорезм хәм пайтахты Кәт қаласы болған кубла Хорезм мәмлекетлери биртеккли раўажланыўға еристи. Кәт қаласында ІХ әсирде тийкары салынған Баныў 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 Х әсирдің үлгисінде ири сарайлар қурыла бастады, қалада мәдени орайлар қалыптасты және бұл жерлердегі өткерілген мәжілістерде ХІ әсирдің ең ири илимпазлары жыйналды. Хорезм аймағында мәдениеттің гүлленуінде Мамун ибн Мухаммедтің ұлы және оның ақлығы Әлий ибн Мамун және Әбиұ-л-Аббас Мамундар үлкен орын иеленді.

Бұл уақыттары Хорезм бір жағынан Самарқандты Илекханның, екінші тараптан құдіреті өсіп баратырған Махмуд Ғазнавийдің қолы астында тұрды. Усының ақыбетінде, әсіресе Махмуд Ғазнавийдің Хорезмдегі болып атырған мәдени және экономикалық гүлленуіне көре алмауынан 1017-жылы бәхәрде Ғазарасп қаласындағы Мамунның әскерлері менен тил бириктиріп, көтеріліс шөлкестіріу нәтижесінде Хорезмшах өлтірілді. Тахтқа Махмудтың аталасы Абдул-Харис Мухаммед ибн Әлий отырғызылды. Бірақ оның хәкімлік етуі үш-төрт айдан аспады, 1017-жылы жаз айларында Хорезм ғарезсіздіктен айырылды және толық Ғазнавийлердің қол астына өтті.

Тийкарынан басқа елдерді басып алушылық, талау менен өзіннің саясатын жүргізген және Хиндстан, Иран, Орайлық Азияның бір қанша аймақтарын бағындырған Махмуд Ғазнавий 1030-жылы қайтыс болады. Оның орнына әкесінен тек кемшілікті тараптарын өзінге мұрас етіп алған ұлы Масуд тахтқа келеді. Басып алушылық саясаты Ғазнавийлер мемлекетін хәлсіретіп, 1040-жылы Селжуктар тарапынан қулатылады. Усының себебінен Хорезм қайтадан толық ғарезсіздікке ерседі.

Минекей ұсындай ауыр, тынышсыз және аласапыранлы тарихый уақыттардың барысында бизің ұллы жерлесіміз Әл-Беруний кәмәлге келді және өзіннің өлмес мұнеттерін дәретті.

Әбиұ Райхан Мухаммед ибн Ахмед Беруний 973-жылы 4-сентябрінде Кәт қаласының қасында туылды. Оның заманластарының және кейінгі ізерттеушілердің пікірлерлеріне қарағанда Әл-Беруний исми «Қала сыртынан келген адам» деген мәніні билдиреді. Оның генеалогиясы белгисіз. Әбиұ Райхан, Мухаммед ямаса әкесінің аты Ахмед айқын адам аттары емес, ал Әл-Берунийдің өзі тарапынан ойлап табылған аттар болса керек. Ол ата-анадан толық жетім қалғанлығына қарамастан айрықша зейнлилігі және кітаптарға болған интасы арқасында терең білім алуға еріскен. Сол уақыттары Хорезмде бір грек илимпазы жасаған. Әл-Беруний оған хәр қандай өсімліктер, тұқымдар, мұйелер теріп алып келип, олардың аттарының грек тилинде қалай аталуын және жазылуын үйренген. Киші жасларында ол жоқарыда аты аталған Баныұ Ирактар династиясына кириуші бір қатар адамдардың дыққатын өзінге қаратқан және олардың үйлерінде тәрбияланған. Солардың ишінде астрономия және математика бойынша әхмийетли илимий жұмыстардың авторы Әбиұ Насыр Мәнсүр ибн Ирак Әл-Берунийдің илимпаз болып қалыптасуына өзіннің тикелей тәсірін тийгизді. Ибн Ирак Хорезмшахқа арналған «Шах алмагести», «Азимуттар кітабы», «Математикалық тәрбия», «Аспанның шар тәрізлігі екенлігі хақында кітап» және басқа да мұнеттердің авторы. Біріншілер қатарында ол тегіс және сфералық үшмүйешіліктер үшін синустар теоремасын дәлилледі. 16 жастан бастап Әл-Беруний сол Ибн Ирактың басшылығында бәхәргі және күзгі күн теңлесіу уақыттарында Кәт қаласындағы Қуяштың бийіклігін өлшеген. Бұл нәтижелер ізсіз қалған жоқ, ал алымның соңғы жазған кітаптарында өз орнын тапты. Ал 17 жасына шыққанда Әл-Беруний өз бетінше ізерттеу жұмыстарын бастады.

Тарихшылар қалдырып кеткен мұрасларға қарағанда, сол дәуірлерде Кәт қаласында әхмийетли сауда жоллары кесіліскен, суы толған арналардың жағаларында бай және ири базарлар іслеп тұрған. Қалада хәр қандай илимий және мәдени жаңалықтарды алып келіуші және хәмме елдерге таратыушы сырт еллі мұймандар көп болған. Мине, сондықтан да бұннан мың жыл бұрын хәзіргі Беруний қаласының орнында тұрған Кәттің жер жүзілік әхмийетке иіе саясий, экономикалық және мәдени орай болғанлығы айрықша тилге алынады. Тап ұсы жағдайлар келтіріп шығаратуғын мәселелерді шешіу зәрүрлігі және сол уақыттардағы адамдардың білім дәрежесіне болған талаптар Әл-

Берунийдің илимий-дөретиушілік мийнетине бағдар берді. Алымның мийнетлеринің нәтижелери ең әуелден баслап-ақ адамзаттың әлемди көриу горизонтларын кеңейтти хәм жер жүзи халықларының ийгиликлери ушын көп әсирлер дауамында хызмет етти.

Жокарыда сөз етилгендей, 995-жылы әмир Мамун ибн Мухаммед тәрәпинен Кәт басып алынады. Усыған байланысly тахттан түсирилген хәм қазаланған Хорезмшах пенен тиккелей байланысly болғанлығы себепли Әл-Беруний Рей қаласына (хәзирги Тегеранның бир бөлими) қашыуға мәжбүр болады. Усы ўақыға байланысly алым көп жыллар өткеннен кейин былай жазады (бул мақалада алымның мийнетлеринен үзиндилер хәзирги әдебий тилге жақынластырып аударылған): «Хәр қандай бахытсызлықлардан қәуипсизликти хәм тынышлықты үмит еткенликтен алған нәтижелеримди ядлағаным жоқ. Оларды тек жазып алыу менен шеклендим. Бахытсызлық күтилмегенде басыма түскенде жазыуларымның барлығын хәм мениң тырысып ислеген мийнетлеримнің 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 соғыушы, хәзирги Тәжикстанның Хожент қаласынан шыққан Әбиұ Махмуд әл-Хожендий менен танысады. Ол киси хәққында Әл-Беруний «Астролябия хәм басқа да астрономиялық әсбаптар соғыуда өз дәуириндеги айрықша қубылыс» деп жазды. Астрономиялық әсбаптар соғыу бойынша Әл-Хожендийдің тәлиматы XV әсирдеги Улығбек обсерваториясындағы секстетти салыуда фундаменталлық тийкар болды. Сонлықтан да Әл-Хожендийди болажақ уллы алымның тәбияттаныу илиминдеги қатаң эксперименталлық усыллардың тийкарын салыушылардың бири болып жетилисиуине тиккелей тәсирин тийгизди деп есаплай аламыз. Ал Әл-Берунийдің дәреткен илиминің 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, пикирлеринің кескин және өткир екенлиги айқын көринеди. Соның менен бирге усы дәуирде Әл-Берунийдің бизге жетип келген дәслепки «Секстат», «Картография» хәм «Астролябия» шығармалары дәретиледи.

Бирақ, Кәт қаласында илим-изертлеу іслерин терең хәм кең түрде жүргизиуге имканият болмады. Бул жердеги орнатылған илимий әсбап-үскенелер Әл-Берунийди қанаатландырмады. Соның ақыбетинде 999-жылдың басында ол өз ўатанын таслап Каспий теңизинің қубла бойларына кетеди хәм сол жердеги Гурган қаласында өзинің ең бас муғаллими - астроном хәм шыпакер Әбиұ Сахлем Ийса әл-Масихий менен ушырасады. Усының менен бирге Әл-Беруний Гурган хәм Табаристан әмири Зийарид Қабус ибн Ыәшмгирдің ғамхорлығында болады хәм оған арналған өзинің көп әсирлер дауамында жер жүзилик әхмийетин жоғалтпаған «Хронология» («Өткен әуладлардан қалған естеликлер») атлы биринши ири шығармасын дәретти. Бул китаптың жазылыуы пүткил Шығыс илими ушын үлкен ўақыя болып есапланады. Сонлықтан да көпшилик тарийхшылар жер жүзи илиминің раўажланыуындағы 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 дәретилди. Бул ўақыт алымның илимдеги жедел түрдеги дөретиушілік дәуиринің 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 Әбиұ-л-Аббас Мамун ибн Мамунның илим мәселелери бойынша бас кеңесгөйи сыпатында алым мәмлекетлик іслерге араласады. Соның менен қатар кейинги

мийнетлерінде өз сәулесін тапқан астрономиялық, минералогиялық хәм математикалық изертлеулерін дауам етеди. Гурганжға Кәт қаласынан математик Әбиұ Насыр Ибн Ирак, Бухарадан Ибн Сина, басқа да аймақтардан философ Әбиұ Сахл Масихий, шыпакер Әбиұ-л-Хасан Ғаммар хәм басқа да белгили илимпазлар келип ислей баслайды. Нәтижеде 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 хаққында китап») атлы мийнети жарық көреді. Бул илимий мийнетте Архимед тәрәпинен ашылған хәм оның аты менен аталатуғын белгили нызам тийкарында хәзирги «Материалтаныу» илиминің сол уақытлары бизің үлкемизде рауажланыуына үлкен салмақ қосылғанлығын көреміз.

Гурганж қаласында жасаған дәуирінде Әл-Берунийдің қолында көп сандағы жетилистирилген илимий әсбап-үскенелер болды. Ол өзіндеги диаметри 3 метрлик квадранттың жәрдемінде жүргізген астрономиялық изертлеулерін тоқтатпады. Гидрологиялық хәм физикалық изертлеулер менен шуғылланыуды баслады. Бирақ жоқарыда айтылғанындай Хорезмди Махмуд Ғазнауийдің басып алыуына байланысly Әл-Беруний 1017-жылдың жаз айларында Гурганжды таслап Ғазна қаласына көшіуге мәжбүр болды. Тутқынлар қатарында болғанлығына қарамастан, ол Ғазнаға өзи менен толық илимий архивин алып кетеди хәм ол жерге барыуы менен қурамалы және қыйын жағдайлар орын алған болса да, теперишлик пенен изертлеу жұмыстарын дауам етиуге киристи.

Өз гезегидде Махмуд Ғазнауий заманының алдыңғы қатар билимли адамларының бири еди. Ол өз этирапына белгили илимпазларды, шайырларды, саяхатшыларды жыйнаған. Олардың уазыйпасы тийкарынан Махмуд Ғазнауийдің даңқын мәңгилестириуден ибарат болған. Соның себебинен, мысалы, орта әсирлердеги белгили шайыр Фердаусийдың «Шахнама» шығармасы дүньяға келди. Әл-Берунийдің өзинің жазыуы бойынша оның семьясындағы хаял-қызлар да билимли болған хәм хәтте илимий ислер менен де шуғылланған. Ислам Шығысында биринши рет Махмуд Ғазнауий 1018-1019 жыллары мәмлекетлик медресе салдырған хәм оған көплеген китаптарды, қолжазбаларды жыйнатқан. Соның менен бирге ол ислам динин ендириу сылтауы хәм динсизлерге қарсы ғазуат байрағы астында қоңсы мәмлекетлерге болған урысларын тоқтатқан жоқ. Бирақ бул шын мәнісінде басқыншылық урыслары еди. Мысалы 998-1030 жыллар аралығында Махмуд Ғиндстанға, тийкарынан оның Пенжап хәм Кәшмир уәлаятларына 17 рет топылыс жасады.

Дәслепки уақытлары 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 уақытқа шекем оның қолында болмаған еди. Соның менен бирге Әл-Беруний қосымша әсбап-үскенелер соғып алыу мүмкиншилигине де ийе болды. Сонлықтан да, алымның Ғазна қаласындағы өмиринің илимий нәтижелер менен табысly болыуы ушын қолайлы шараятлар жеткиликли дәрежеде жаратылды деп болжап айта аламыз.

1022-1024 жылларда Ғиндстанға болған топылыслар дәуирінде Әл-Беруний Махмуд Ғазнауийдің қасында болды, ал 1034-жылы өз уатанына барып қайтыу мүмкиншилигине еристи. Ол өмиринің қалған бөлимін толығы менен Ғазна қаласында өткерди. Алымның бул қаладағы өмирін төмендегидей үш бөлімге бөле аламыз:

Дәслепки 1018-1029 жылларды «Геодезиялық» дәуір деп атаймыз. 1025-жылы оның жер жүзине таралған «Геодезия» («Елатлы пунктлер арасындағы қашықтықты анықлау ушын орынлардың шегараларын белгилеу») атлы мийнети жарыққа шығып, онда 990-жыллардан баслап жыйнаған хәм өзи тәрәпинен алынған илимий нәтижелерди улыұмаластырады. Әл-Беруний бул мийнети хаққында былай жазады: «Менің сөзимде (мийнетімде) айтыуға умтылып атырған ақырғы мақсетім... белгили болғай. Егерде оны улыұма түрде алсақ Жердің қәлеген орнының координаталарын шығыс хәм батыс

арасындағы ұзындық, арқа менен құбла арасындағы кеңдік бойынша, соның менен бирге орынлар арасындағы қашықтықты, азимуттарды бір бирине салыстырып анықлау ұсыларын баянлау болып табылады».

«Геодезия» мийнети үлкен кирису бөлімнен, бес теориялық баптан хәм айқын геодезиялық мәселелерди шешіуге қаратылған мысаллардан турады. Бул кітаптың дәрежінде Әл-Берунийдің Жер шарының өлшемлерін анықлау бойынша Ҳиндстандағы Нандна қорғанының қасында өткерген есаплаулары айрықша әхмийетке ийе. Оның алған нәтижелері бойынша Жер шарының радиусы 6613 км ге тең (хәзирги замандағы қабыл етилген мәніси 6371 км). Усы тийкарда Әл-Беруний хәр қандай қалалардың ямаса берілген орынлардың астрономиялық ұсыллар менен анықланған кеңдік хәм ұзындықлары бойынша сфералық Жер бетинің қайсы ноқатына сәйкес келетуғынлығын анық айта алды. Бизің уллы жерлесимиз әйемги грек илиминде дәстүрге айланған адамлар тек ғана Жер шары бетинің бир шерегинде жасайды деген көз-қарасы менен пүткиллей келиспеди. Европаның батысы менен Азияның шығысының Жер шарының арғы тәрепи арқалы қандай қашықтықтардан кейін тутасатуғынлығын бахалай алды хәм ол тәрепте курғақшылықтың бар екенлигин дурыс болжады. Әлбетте, бул болжау кейинирек дурыс болып шыққан болса да Әл-Берунийди Американы биринши болып ашты деп пикир айтыу ҳақыйқатлыққа сәйкес келмейди.

Әл-Берунийдің «Геодезия» сында Африка материгинің формалары, Балтық, Ақ теңиз, Қытайдың шығыс тәреплери ҳаққында жеке болжауларын сыпатлайды хәм өзинің теңизлер теориясын баянлайды. Бул мийнетте Әмиүдәрьяның Каспий теңизине қуйғанлығы ҳаққында мағлыұматлар келтирилген. Сондай-ақ кітапта Әл-Берунийдің 990-жыллары Жердің ярымшар түріндеги моделин (ярым глобусты) дәреткенлигин жазады. Солай етип уллы алымымыздың дүньяда биринши болып глобусты соққанлығы ҳаққында мағлыұматқа ийе боламыз.

Орта әсирлердеги пүткил араб географиясы бойынша әдебиятта Әл-Берунийдің «Геодезия» хәм басқа да мийнетлерінде баянланған география салмақлы орын тутады.

Ғазна қаласында алымымыз тәрепинен 1030-жылы жарыққа шығарылған хәм Жер жүзи илими менен пүткил адамзат мәдениятында көрнекли орын тутатуғын мийнет «Ҳиндстан» (толық аты «Ақылға мууапық келетуғын ямаса бийкарланатуғын хиндлерге тийисли тәлиматларды түсиндириу») деп аталады. Бул кітапты жазыу ұшын материалларды алым Ҳиндстанға болған сапарында, сондай-ақ Махмуд Ғазнауийдің әскерлерине тутқынға түскен илимпазлардан, әскербасылардан хәм басқа да сауатлы адамлардан жыйнаған. Бул ҳаққында Әл-Беруний «Мен мүмкиншилигине қарай өзимнің барлық күшимди хинд кітаптарын табыуға хәм сол кітаптар жасырылған орынларды билетуғын адамларды излеуге жумсадым» деп жазады.

Ҳинд илими менен мәденияты жер жүзи илими менен мәдениятының рауажланыуына әйем заманлардан берли өзинің унамлы тәсирин тийгизип келди. Солардың ишинде, мысалы, хәзирги ўақытлары пүткил жер жүзінде қабыл етилген араб цифрлары деп аталатуғын цифрлар (тоғыз цифрға хәм нолге тийкарланған онлық система) шын мәнісінде VII әсирлерде толық қәлиплескен, соңынан деслеп арабларға, кейиншелік европалыларға таралған хинд цифрлары болып табылады.

Әл-Берунийдің «Ҳиндстан» мийнетінде Ҳиндстанның руўхый мәдениятының өзгешеликлерін баянлау тийкарғы орынды ийелейди. Бул жерде автордың хиндлердің географиялық хәм космологиялық көз-қараслары менен толық таныс екенлиги қәлеген оқыўшыны таңландырады. Кітаптың 80 бабының хәммесінде де Әл-Беруний өзинің улыўма ескертиўлеринен кейін көп сандағы хинд авторларының жұмысларынан үзиндилер келтирип, оларды мусылманлардың, әйемги греклердің, иранлылылардың, қытайлылардың хәм басқа да халықлардың теориялары хәм өзинің жеке пикирлері менен салыстырады. Усындай жоллар менен илимди түсиндириўдің, басқа халықларға жеткизиўдің әхмийетін ҳеш нәрсе менен салыстырып болмайды.

Әл-Беруний «Хиндстан» кітабы менен бір қатарда 1029-жылы «Жұлдызлар ҳақында илим» деген мийнетин де жазып питкерди. Бул кітап астрономия менен астрологияны үйрениушілер ушын оқыу қуралы 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 дәуиримизге шекем толығы менен келип жеткен. Әл-Беруний усы кітаптың кирисиу бөлиминде «Әл-Беруний айтты: оқыу хәм қайталау арқалы әлемниң дүзилисин билиу хәм аспанның, Жердиң фигурасы қандай, олар арасында не бар екенлиги үйрениу жұлдыз санау өнери ушын жүдә пайдалы. Өйткени усындай жоллар менен тәлим алған адам ғана бул өнер менен шуғылланыушылардың пайдаланатуғын тилин үйренеди хәм сөзлериниң мәнисине түсинеди. Бул өнердиң хәр қандай себеплерин хәм дәллилеулерин үйренип оған еркин ой жуўыртыу арқалы қатнас жасайды. Сонлықтан бул кітапты әл-Хасанның қызы хорезмли Райханға оның өтиниши бойынша түсиниу жеңил болыуы ушын сораў-жуўап түринде дүздим...» деп жазған.

Оқылыуы жеңил бул кітапта алымның данышпанлығы айрықша дәрежеде көринеди. Кітап «Геометрия», «Арифметика», «Астрономия», «География», «Астрологиялық астрономия», «Астрология» хәм басқа да бөлимлерден турады және өзиниң көрсетпелилиги менен хәр бір оқыушыны таңландырады. Мысал ретинде «Қус жолы деген не?» деген мазмундағы 167-сораўды алып қараймыз. Жуўапта Қус жолының сыртқы формаларының қандай екенлигин хәм қандай жұлдызлар топары арақалы өтетуғынлығын айта келип «Аристотель Қус жолын түтин түринде шашыраған оғада көп сандағы жұлдызлардан турады деп есаплады, оларды ҳаўадағы думанлар хәм бултарлар менен салыстырды» деп жазады. Бул мысал данышпан алымымыздың ҳақыйқатлықты дурыс көре хәм бахалай алғанлығын айқын дәлиллейди.

1030-1037 жыллар Әл-Беруний өмириниң дөретиушилиқ дәуириниң ең жоқарғы шыңы болып табылады. Бул дәуирде тахтта Махмудтың улы Масъуд отырды. Елде Әл-Берунийге деген исеним хәм хұрмет артты. Оған жемисли мийнет етиуи ушын толық жағдайлар жаратылды. Усы ўақытлары ол өзиниң ҳеш қашан әхмийетин жоғалпайтуғын астрономия хәм математика бойынша энциклопедиялық мийнет болған «Масъуд канон» ын жаратты. Әлбетте, 1030-жылы 57 жасқа шыққан алымның өзи астрономиялық хәм басқа да өлшеулер менен тиккелей шуғыллана алған жоқ. Ол бул дәуирде тийкарынан өзиниң заманына шекемги илимди (кітапта 490 алымның бул тараўдағы жумыслары ҳақында мәлимлеме келтирилген), жас ўақытларында алған илимий нәтийжелерин улыўмаластырды хәм келеси әуладлар ушын кітаптар түринде мәңги мийрас болатуғын естеликлер қалдырды.

Дүньялық илимий әдебиятта адамзат тарийхында тәбияттаныу бойынша шыққан хәм оның буннан былай раўажланыуына өзиниң тиккелей тәсирин тийгизген ең әхмийетли еки-үш мийнеттиң биреуи грек илимпазы Клавдий Птолемейдиң бизиң эрамыздың II әсиринде жазылған «Алмагест» кітабы болып есапланады деп айтыу қабыл етилген. Бирақ, әдиллик ушын «Масъуд каноны» ның «Алмагест» тен мазмунының тереңлиги, келтирилген илимий нәтийжелердиң кеңлиги, анықлығы хәм дәллиги бойынша анағұрлым 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 кітаптарды алмастырғанлығын, ал авторының әхмийетиниң Птолемейдиң жер жүзи илиминде тутқан әхмийетинен де асып кеткенлигин дәлилlep көрсетти.

Кітаптың кирисиу бөлиминде автор былай жазады «Мен барлық ўақытта математиканың бір тарауы менен (астрономия менен - Б.Ә.) тығыз байланыста болдым, оған жармастым, оған өзимди бағышладым. Бул тарау мени дүньяға келиуимнен баслап-ақ үзликсиз қызықтырды. Сонлықтан өзимди даналық мөри басылған Масъудтың кітаптар байлығына хызмет етиуимди, Масъудтың абырайлы, бийик аты менен аталатуғын астрономия өнери бойынша канонды дүзиу керек деп таптым... Бул кітап басқа жазба есте-

ликлер 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 нийетимнің әмелге асыўында мени қоллаўын хәм дурыс жол көрсетиўин сорап табынаман. Хәр бир инсанның тәбиятына тән болған қәтеликлер жиберіўден 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 денелердің 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 күдиретлилиги хәм даналығы менен дөретилген хәм өзлери ушын анықланған ўазыйпаларды орынлаў ушын дүньяда орнатылған ызамлар бойынша қозғалып жүреди», - деп жазады алымымыз.

Әл-Беруний барлық мийнетлеринде, соның ишинде айрықша «Масъуд каноны» китабында өзине шекем қәлиплескен төмендегидей космологиялық жағдайларды толық қабыл еткен: аспан өзиниң пишинлери бойынша да, қозғалысы бойынша да сфералық, Жер өзиниң формасы бойынша сфера тәризли, Жердің орайы пүткил Әлемнің орайына сәйкес келеди, аспан сферасының өлшемлерине салыстырғанда Жердің өлшемлери сезилерликтей үлкен емес, Жердің өзи ҳеш қандай қозғалысқа қатнаспайды, аспанда батыстан шығысқа қарай хәм шығыстан батысқа қарай болған қозғалыслардың еки түри әмелге асады.

Әлбетте, ҳәзирги заман көз-қараслары бойынша биразы надурыс болған бундай космологиялық жағдайлардың алым тәрәпинен қабыл етилиўи физика илиминдеги қозғалыс ызамларының ол дәўирде еле ашылмағанлығының себебинен болып табылады. Бул ызамлар Әл-Беруний заманынан алты әсирден соң белгили астрономлар Н.Коперниктиң гелиоорайлық системасы және И.Кеплердің аты менен аталатуғын планеталардың қозғалыс ызамлары табылғаннан кейин XVII әсирде И.Ньютон тәрәпинен толық ашылды хәм пүткил тәбияттаныўды дурыс жолға салды. Бирақ, бундай жағдай алымның буннан дерлик мың жыл бурын жазылған мийнетиниң қунын, гөззаллығын, адамларды өзине тарта алыў қәбилетлилигин ҳеш қандай төменлете алмайды.

Ғазнауийлер мәмлекети қулағаннан кейинги 1040-1048 жыллары Әл-Беруний Ғазна қаласын таслап кеткен жоқ. Бул ақырғы дәўир оның дөретиўшилиқ энергиясының төменлеў, кекселиктиң басланыў, денсаўлығының, әсиресе көзлериниң көриўиниң пәсейіў дәўири болды. Алым астрономия илими менен шуғылланыўды пүткиллей тоқтатты, ал оның орнына минералогия хәм фармакогнозия бойынша жұмысларға тийкарғы дыққатты қаратты. Нәтийжеде Әл-Беруний бул ўақытлары адамзат тарийхының өлмес естеликлери болып қалған «Минералогия» (толық аты «Қымбат бағалы затларды таныў ушын арналған мәлимлемелердің жыйнағы») хәм «Фармакогнезия» («Медициналық дәрилер ҳаққында китап») мийнетинлерин дөретти. Алым шапакер болған жоқ, соның менен бирге дәрилик қәсийетлери болған өсимликлердің, басқа да затлардың адам организминде тәсири ҳаққында пикирлерин жазған жоқ. Ал «Фармакогнезия» болса Әл-Беруний заманына шекемги дәрилик затлар ҳаққындағы жер жүзилик тәлиматты қамтыйтуғын энциклопедиялық мийнет болып табылады.

Өмириниң ақырғы күнлерине шекем Әл-Беруний 140 тан асламырақ мийнет жазды. Солардың ишиндеги 113 мийнеттиң дизимин 1036-жылы өзи жазып қалдырды хәм бул дизим бизиң дәўиримизге шекем жетип келди. Хәзирги әўладтың қолларына келип жеткен

мийнетлериниң саны 26 хәм олар алымның ең әхмийетли шығармаларын қурайды. Хәзирги күнлери Әл-Берунийдиң мийрасларын излеп табыў және қайта тиклеў жумыслары жер жүзи масштабында жүргизилип атыр.

Әл-Беруний 60 жылдай жемисли мийнетинен кейин 1048-жылы декабрь айында Ғазна қаласында 75 жасында Масъудтың улы Мәўдиттиң кишкене ғана сарайында қайтыс болды. Алымның өмириниң ақырғы саатлары хақында төмендегидей тарийхый мағлыўматлар бар.

Хәзирги жыл есаплаў бойынша 1048-жылы 11-декабрь күни кеште оның жағдайлары төменлеген хәм усыған байланыслы сарай хызметкери Әбиў Фазылға Әбиў Хәмидти тез шақырыўды сораған. Ол акыл-хушын жоғалтпай, толық санасында қайтыс болған. Әтирапындағылардың жыллы жүзлилик пенен атларын айтып, оларға жақсы тилеклер тилеген. Әл-Берунийдиң алақанына шекесин тийгизген қазы Әбиў Хасан Ыәлүәлийжийден «Хийлекерлик жоллар менен табылған пайданы есаплаў усыллары хақында сен маған бир ўақытлары не айтқан едиң?» деп сораған. Усы сораўды еситкен Әбиў Хасан Ыәлүәлийжий «Усындай аўхалда турып сорап атырсаң ба?» деп таңланған. Ал Әл-Беруний болса «Усы нәрсени билип болып бул дүньядан кетиў 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 қәди-қымбатын билген аз сандағы сарай илимпазлары, басқа да алдыңғы қатар адамлар оны ең ақырғы жолға шығарып салды хәм басына елеспесиз мақбара орнатты. Ыақыттың өтиўи менен бабамыздың қәбири умытылды.

Солай етип бизиң аты әлемге белгили алымымыз ақырғы деми жеткенше өзин илимге бағышлады. Оның несийбесине аўыр өмир тийди. Жаслық шағы киси есигинде, өмириниң қалған бөлегиниң дерлик барлығы патшалар, ханлар сарайларында өтти. Сонлықтан да 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 жүзилик 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 хақындағы 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 тарауларындағы илимий мийраслары менен кең жәмийетшилигимизди жақыннан таныстырып өтиўди мақул көрдик.

Уллы астрономымыз Мырза Улығбек хәм оның илимде қалдырған мийраслары хақында 1994-жылы усы қатарлардың авторының қатнасыўында кітапша шығарылған еди. Аталған кітапшада Мырза Улығбектиң астрономия илимине қосқан үлесин, оның илимде ийелеген орнын анық көрсетиў Ахмед әл-Ферғанийдиң бул тараулардағы салмақлы мийнетлерин атап өтпеў мүмкин емеслиги айқын көринеди. Усындай жағдай өз гезегинде бизиң әйемги қәсийетли жеримизде илимниң ерте дәўирлерден баслап-ак дүньялық әхмийетке ийе дәрежеде раўажланғанлығынан хәм бул жетискенликлердиң әўладтан-әўладқа өтиў арқалы нызамлы избе-изликте әмелге асқанлығынан айқын дәрек береді. Сол дәстүрий мийраслылық арқалы биз илимде өзлериниң өшпес излерин қалдырып кеткен уллы тулғаларымыздан Хорезмийлерди, Ахмед әл-Ферғанийди, Әбиў Райхан әл-Берунийди, Әбиў Әлий ибн Синаны, Омар Хайямды, Мырза Улығбекти хәм басқа да көплеген аллама аталарымызды билемиз, қадирлеймиз хәм мақтаныш етемиз.

Тарийхый дәреклерден VIII әсирдиң ақыры хәм IX әсирдиң басында пайтахты Бағдад қаласы болған Араб халифатлығының пайда болғанлығын билемиз. Бул жерде тийкарынан дийханшылық хәм соған сәйкес ирригацияның, қурылыстың, қурақ хәм суў жоллары менен болатуғын саўда-сатлық ислериниң тез пәтлер менен жанланыўы астрономияны, географияны хәм олар ушын тиккелей тийкар болып табылатуғын математиканы 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 тийкаргы мийнетлери аўдарылды. IX-X әсирлерде Бағдад қаласында жұмыс ислеген илимпазлардың көпшилигин Орайлық Азиядан алып келингенлер (Әл-Хорезмий, Әл-Мәрўезий, Әл-Ферғаний хәм басқалар) қурады.

Ахмед әл-Ферғаний хәзирги Ферғана ойпаты аймағында туўылған. Оның балалық жыллары, қай жерлерде оқығанлығы хақында мағлыўматлар сақланбаған. Алымның дәретиўшилиқ мийнетлериниң басым көпшилиги Бағдад қаласындағы обсерваторияда ислеўиниң барысында жазылды хәм илимпаздың исми сол ўақытлардың өзінде-ак раўажланып атырған Европа мәмлекетлерине Алфраганус аты менен кеңнен тарала баслады.

«Астрономия элементлери» атлы кітап Әл-Ферғанийдиң тийкаргы 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 қәтелиқлерди ашып көрсете алды хәм астрономия илимин геоорайлық көз-қарастан дурыс жолға бағдарлады.

Әл-Ферғанийдиң кітабында сол дәўирлердеги астрономияның тийкарлары, жулдызлар кестеси менен бир қатар да астрономиялық әсбап-үскенелердиң сыпатламалары хәм зәрүрли болған математикалық есаплаўлар да берилген. Дәслеп бул кітап Азия хәм Европа еллерине қолжазба түрінде тезден тарқалған. 1493-жылы Италияның Ферраре қаласындағы типографияда «Аспан қозғалыслары хәм жулдызлар хақындағы илимлер жыйнағы» деген ат пенен жарық көреді. Әл-Ферғанийдың мийнетлери Европа мәмлекетлеринде XVII әсирде екінши хәм үшінши рет қайтадан басылып шыға баслады. Мы-

салы қууо-жылы алымның «Астрономия элементлери» кітабы голландиялы илимпаз Якоб Голиус тәрәпинен латын тилине аударылып Амстердам қаласында басып шығарылды. Нәтиьжеде Европалықларға математикалық хәм астрономиялық география илимин түп нуска да үйрениўге мүмкиншилик туўылды.

Ахмед әл-Ферғанийдың жоқары геометрияның элементлерин қамтыйтуғын «Астролябияны соғыў хакқында кітап» 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. Кітаптың басланғыш бөлеги стереографиялық проекциялар хакқындағы теоремаларды дәлиллеўден ибарат. Бул жерде хәр қандай геометриялық фигуралардың сфералардағы проекцияларын қурыўдың усыллары айқын көрсетилген. Усыған муўапық хәзирги күнде стереографиялық проекциялар усылы кеңнен қолланылатуғын Кристаллография, Минералогия хәм сол сыяқлы илимлердиң қәлиплесиўинде Әл-Ферғаний уллы орын тутты деп есаплай аламыз.

Бул мийнетти үйренген хәр бир адам Әл-Ферғанийдың өзине шекемги хәм өз дәўириндеги уллы илимпазлардың мийнетлерин жақсы билгенлигин анық көреди. «Астролябияны соғыў хакқында» ғы кітап IX әсирдиң басында жазылған Мухаммед ибн Муўсаның «Тегис хәм шар тәризли фигураларды өлшеў кітабында» келтирилип шығарылған геометриялық жаңалықлардың тиккелей даўамы болып саналады.

Әл-Ферғанийдың астрономиялық хәм математикалық мийнетлери өзинен кейин илимнің бул тараўларын раўажландырыў бағдарында зор хызмет етти. Мысал ретинде бизиң уллы жерлесимиз Әл-Берунийдың «Дөңгелектеги хордаларды оларда жүргизилген сынық сызықлардың жәрдемінде анықлаў» мийнетин алып қарасақ болады. Бул кітапта Мухаммед ибн Муўса Әл-Хорезмийдың зиджинде (жулдызлар кестесинде) келтирилген әл-Ферғанийдың Қуяштың теңлемесин есаплаў жолы менен анықлаўы хакқында}, «Әл-Хорезмийдың зиджиндеги (жулдызлар кестесиндеги) Әл-Ферғаний тәрәпинен есаплаўлар жолы менен келтирилип шығарылған теориялық тийкарлармалардың дурыслығын мениң дәлиллеўим» атлы параграфлары Әл-Ферғанийдың жумысларының қандай дәрежеде илимпазларға белгили болғанлығынан дәрек береді. Әл-Ферғанийдың аспан денелериниң қозғалысын сыпатлаўға мүмкиншилик беретуғын математикалық мийнетлериниң нәтиьжелери, 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-Ферғанийдың 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 жулдызлар хәм басқа да астрономиялық кестелер дүзиўшилер, астрономиялық әсбап-үскенелер соғыўшылар, астрономия, тригонометрия, алгебра хәм геометрия бойынша теориялық трактатлардың авторлары сыпатында даңққа бөленди. Олардың илимий мийнетлериниң нәтиьжелери 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.