

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

М.М. Закиров, Ю.Ч. Муслимова

# ҚУЁШ ФИЗИКАСИ

Тошкент – 2003

М.М. Закиров, Ю.Ч. Муслимова  
Қуёш физикаси

51 бет расмлар б-и

Ушбу ўқув қўлланма "Астрономия" йўналиши бўйича бакалавр ўқув режасидан ўрин олган "Қуёш физикаси" номли махсус курснинг ўқув дастури доирасида ёзилган. Қўлланмада Қуёш ҳақида асосий маълумотлар ва унинг физик характеристикалари келтирилган. Хусусан, Қуёш доғларининг хосил бўлиши, уларнинг тузилиши ва табиати, машаллар, хромосфера чақнашлари, Қуёш тожи, протуберанцлар ва уларнинг табиати, Қуёшнинг радионурланиши ва радиомодели, Қуёшнинг умумий магнит майдонци, спектри, Қуёш моделлари ва бошқа астрофизик маълумотлари бўйича бу фан асослари берилган. Шунингдек, Қуёш тадқиқиқоти борасида бутунги кунда қўлга кириштилаётган замонавий маълумотлар ҳам келтириб ўтилган.

Қўлланма "Астрономия" йўналиши бўйича бакалавр ва магистр унвонларини олиш мақсадига ўқиётган талабаларга мўлжалланган бўлиб, қисман "Астрофизика ва радиоастрономия" мутахассислигидан аспирантларга ҳам фойдали бўлиши мумкин. У Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети Физика факультетининг Ўқув-услубий кенгаши томонидан нашрга тавсия қилинган.

Маъсул муҳаррир  
Тақризчилар

А.С. Раҳматов

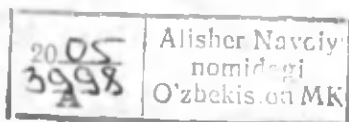
Тақризчилар

1031464  
D

С.П. Ильясов

А.Т. Мирзаев

© "Университет" нашриёти – 2003.



## МУНДАРИЖА

	бет
Кириш. . . . .	4
1. Қуёш ҳақида асосий маълумотлар. . . . .	6
2. Қуёш доғларини ҳосил бўлиш хусусиятлари. . . . .	8
3. Қуёш доғларининг тuzилиши ва табиати. . . . .	12
4. Қуёш доғлари гуруҳлари ва доғлар назарияси. . . . .	14
5. Машаллар. . . . .	17
6. Хромосфера чақнашлари. . . . .	19
7. Қуёш тожи. . . . .	22
8. Протуберанцлар ва уларнинг табиати . . . . .	29
9. Қуёшнинг радионурланиши ва радиомодели . . . . .	30
10. Қуёшнинг умумий магнит майдони . . . . .	34
11. Қуёш спектри. . . . .	37
12. Қуёш моделлари. . . . .	44
Адабиётлар. . . . .	49

## К И Р И Ш

Қуёш — бош кетма—кетликнинг, G2V спектрал синфига кирувчи юлдуздир. У чуқур ўрганилган космик объект ҳисобланиб, бунинг сабаби — Қуёшнинг Ердаги ҳаёт учун муҳим аҳамиятга эга эканлигидир. Қуёшда юз берувчи ҳодисаларни ўрганиш — бизга узоқ юлдузларда содир бўладиган физик жараёнларни тушунишга имкон беради. Ушбу курсда Қуёшнинг асосий ташкил этувчилари таърифи ва уларда юз берадиган жараёнлар изчил баён этилган. Бу ташкил этувчиларнинг физик вазияти замонавий билимларга таянган ҳолда келтирилди ҳамда бу борада ўз ечимини кутаётган муаммолар қайд қилинди. Замонавий усуллар асосида Қуёшда олиб борилган муҳим тадқиқотлар ва бу борада қўлга киритилган асосий натижалар аълоҳида кўрсатиб ўтилди.

## ҚУЁШ ҲАҚИДА АСОСИЙ МАЪЛУМОТЛАР

Қуёш галактика текислигида, унинг марказидан тахминан 7 кпк узоқликда, спирал шаҳобчанинг ички қиррасида жойлашган бўлиб, Галактиканинг текислик ташкил этувчилари ҳисобланган юлдузлар учун характерли бўлган кимёвий таркиб ва кинематик хусусиятга эга. Қуёш Галактика маркази атрофида 250 км/с тезлик билан айланади ва яқин юлдузларга нисбатан хусусий ҳаракати 19.7 км/с ни ташкил этади. Қуёшнинг массаси  $1.989 \times 10^{33}$  г бўлиб, бундан астрофизик ҳисоблашларда бир масса ўлчов бирлиги сифатида фойдаланилади. Бу катталиқни  $M_{\odot}$  орқали ифодалаш қабул қилинган. Қуёшнинг тўла ёритилганлиги  $L_{\odot} = 3.826 \times 10^{33}$  эрг/с га тенг. Бу катталик Ер атмосферасидан ташқарида 1 а.б. узоқликда Қуёш нурларига перпендикуляр жойлашган 1 см<sup>2</sup> юзага бир минутда тушувчи Қуёш энергияси миқдори — Қуёш домийси бўйича аниқланган. Қуёш сиртидан нурланиш оқими

$$\pi F = \frac{L_{\odot}}{4\pi R^2}, \quad (1)$$

га тенг. Бу ерда  $R_{\odot}$  — Қуёш радиуси бўлиб, у  $6.9599 \times 10^{10}$  см га тенг. Қуёш абсолют қора жисм каби нурланади деб фараз қилиб, унинг эффектив ҳароратини Стефан — Болцман қонуни бўйича ҳисоблашимиз мумкин:

$$\pi F = \sigma T^4, \quad (2)$$

бу ерда  $\sigma = 5.7 \times 10^{-5}$  эрг/см<sup>2</sup>град<sup>4</sup>. Бу формуладан  $T_{\odot} = 5770^{\circ}\text{K}$  эканлигини топамиз. Қуёшнинг кўринма катталиги визуал нурларда  $V_{\odot} = -26.^m74$  га тенг. Қуёшнинг абсолют юлдуз катталиги кўринма нурларда  $M_V = 4.^m61$ , болометрик катталиги эса  $M_{bol} = 4.^m75$  га тенг. Ранг кўрсаткичлари  $B-V = 0.^m65$  ва  $U-B = 0.^m13$ . Эркин тушиш тезланиши  $2.7398 \times 10^4$  см/с<sup>2</sup>га тенг. Иккинчи космик тезлиги  $v_{кос.} = 617.7$  км/с ва Қуёшнинг ўртача зичлиги  $\rho_{\text{ур}} = 1.409$  г/см<sup>3</sup> га тенг.

Қуёшни ўз ўқи атрофида айланишини уни кетма — кет икки кун кузатиб, унинг сиртидаги ўзгаришларга қараб осон пайқаш мумкин. Қуёш шарқдан ғарбга қараб дифференциал айланади ва айланма бурчак тезлиги кенгламага боғлиқ

бўлади. Қуёш доғларини кўплаб кузатишлар ўртача айланма бурчак тезликни топиш имконини беради

$$\omega = 14.38' - 2.7' \sin^2 \varphi / \text{сут}, \quad (3)$$

Узоқ вақт яшовчи машғалларни кузатиш асосида қўйдаги натижалар олинган:

$$\omega = 14.52' - 2.6' \sin^2 \varphi / \text{сут}, \quad (4)$$

Қуёш дискининг шарқий ва ғарбий четларида нурий тезликлари кузатувдан олинган маълумот асосида

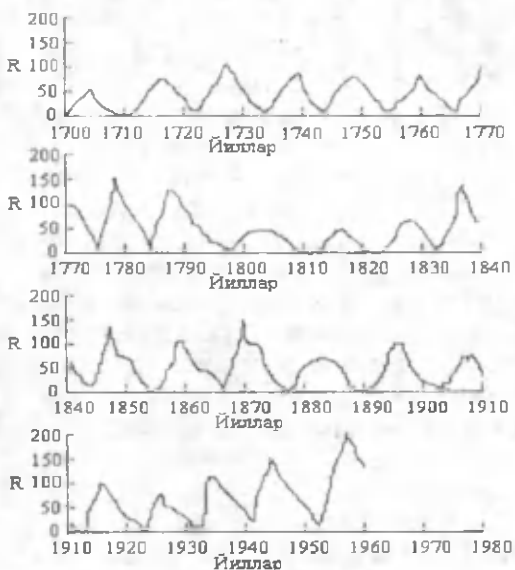
$$\omega = 13.7' - 2.7' \sin^2 \varphi / \text{сут}. \quad (5)$$

Қуёшнинг айланма чизиқли тезлиги экваторда  $v = 1.93 \text{ км/с}$  ни ташкил этади. Қуёш ташкил этувчиларининг ўзгаришлари вазиятини координаталар билан характерлаш қабул қилинган. Гелиографик кенглама  $+90^\circ$  (шимол қутиби) дан  $-90^\circ$  (жанубий қутиби) гача ўзгаради. Бироқ гелиографик бўйлама нуль-пунктга боғлиқ. Бу нуль-пункт учун Кэррингтон тавсиясига кўра, 1854 йил 1 январда, Гринвич вақти билан соат  $12^{00}$  да Қуёш марказидан ўтган меридиан қабул қилинган. Бошланғич меридианда суткалик силжиш  $14.1844^\circ$  деб қабул қилинган. Бу тезлик нуқтанинг  $\pm 16^\circ$  кенгликдаги силжишига мос келади. Қуёшнинг айланиш ўқи эклиптика текислигига  $7.25^\circ$  бурчак ҳосил қилиб эгилган. Кэррингтон меридиани ва Қуёш қутбининг вазияти Астрономик календарларда нашр қилинади. Уларда Қуёшдаги объектлар координаталарини аниқлаш учун бу маълумотларни амалда қўллашнинг тўлиқ кўрсатмалари келтирилади. Кэррингтон меридиани силжиш тезлиги  $27.2753$  суткани ташкил қилади.

## ҚУЁШДА ДОҒЛАРНИ ҲОСИЛ БЎЛИШ ХУСУСИЯТЛАРИ

Қуёш доғлари бу Қуёш фотосфераси устида етарли даражада узоқ мuddат яшайдиган таркибдир. Доғларнинг баъзи катта гуруҳлари икки-уч ёки ундан ортиқ Қуёш айланишлари мобайнида ҳам мавжуд бўлади. Доғларнинг энг кўп яшаш давомийлиги 1.5 йилга тенг. Кузатилаётган доғларнинг сони вақт давомида ўзгариб туради ва у 11 йиллик циклик характерга эгадир. 1-расмда доғлар ўртача сонининг 1700 йилдан 1960 йилгача бўлган даврдаги чизиқли ўзгариши келтирилган бўлиб, икки кетма-кет максимумлар

орасидаги давр 11,2 йилга тенг. Буни 1843 йилда Швабе аниқлаган. Худди мана шу давр Қуёш активлиги цикли учун қабул қилинган. Цикл сифатида Қуёш доғларининг икки максимуми орасидаги вақт оралиғи ҳисоблаш қабул қилинган. Доғлар активлиги индексини санаш учун Волф сонидан (W) ёки доғларнинг умумий юзаси (S) ни бир ёки

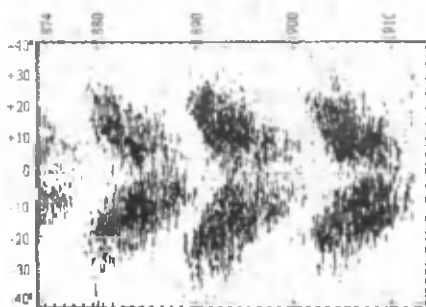


1 — расм. Қуёш доғларининг 1700 йилдан бошлаб нисбий сони

бир неча ойлардаги ўртачасини олиш қўлланилади. W ва S сонлари бир — бири билан статистик  $S = 16.7W$  боғланган, яъни S — Қуёш ярим шари юзасининг миллиондан бир улушларида ифодаланади. Қуёш активлигини 1610 йилгача, яъни Галилей томонидан Қуёшдаги доғлар аниқлангунча тахминий, 1749 йилдан эса ишонarli тарзда кузатила бошлаган. Волф сонининг ўртача қийматлари

максимумлари кўчинча бир — биридан

фарқланиб туради. Максимум даврида активлик жуда кам бўлган йиллар (1705, 1710, 1815й.) ҳам бўлган ("Маундер минимумлари"). Активлик энг юқори бўлган цикл бу 19 цикл (1957 — 58 йиллар) бўлиб, бунда Волф сонининг қиймати одатдаги максимумга қарши 80, яъни 190.2 кўрсаткичга етган. Чизиқли активлик симметрик бўлмасдан максимумга тахминан 4.6 йилда, минимумга эса 6.7 йилда эришади. Доғлар фотосферада бир хил тарқалмаган. Янги цикл бошида доғлар  $\pm 45^\circ$  юқори кенгликларда пайдо бўлади ва уларнинг вазияти фазалар бўйича ўзгариб туради. Экваторга яқинлашган сари янги доғлар пайдо бўлади ва  $\pm 16^\circ$  кенгликда максимумга эришади. Бироқ  $\pm 8^\circ$  зона ичида улар кўпинча кузатилмайди. Бу қонуният Шперер қонуни дейилади ва



2-расм Кенглик бўйича доғ пайдо бўлиш марказлари тақсмотини кўрсатувчи "Маундер капалоклари" диаграммаси

доғларнинг юқори кенгликдан экваторга силжишини "Маундер капалоклари" дея танилган (2-расм). Доғлар жуда кичик нуқта кўринишида пайдо бўлади. Бу нуқталар 1-1.5 соатдан кейин йўқолиб кетиши ёки вақт билан катта гуруҳ бўлиб ривожланиши мумкин.

Доғларнинг кўпайиши унинг ташқи кўринишини мураккаблаштиради. Бу аълоҳида доғ ёки унинг атрофида доғ гуруҳи пайдо бўлиши мумкин. Гуруҳлар ривожланиши жараёнида уларнинг қисмлари бирлашиб, улкан марказ пайдо қилиши мумкин. Умумий максимал майдонга эришгач, доғлар сони камаё бошлайди, яъни аввало кичик доғлар йўқола бошлайди, катта доғлар эса парчаланаяди ва нисбатан кичираяди.

## КУЁШ ДОҒЛАРИНИНГ ТУЗИЛИШИ ВА ТАБИАТИ

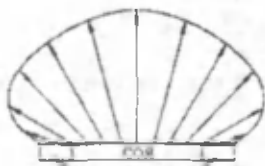
Катта асосий доғ маркази нисбатан тўқроқ соядан (соя) ва ва уни атрофини ўраб олган нисбатан ёруғроқ майдон (ярим соя)дан иборат. Соя бирор структурага эга эмас, бироқ уларда гранулалар борлиги маълум. Яхши атмосфера шароитида ярим соялар доғ марказига нисбатан радиал чўзилган тола гуруҳларидан ташкил топганини кўриш мумкин. Яримсоя диаметри ( $d_n$ ) ва соя диаметри ( $d_c$ ) доғ ўлчами билан ўзаро боғланмаган, лекин уларнинг нисбати  $d_n / d_c \approx 2.4$ . Яримсоя жуда йирик доғларда баъзан атрофи ёруғ (ёруғлиги фотосферага нисбатан 2-3% ортиқ бўлган) ҳалқалар билан ўраб олинган бўлади. Доғларнинг диаметри бир қанча минглаб км.дан бир қанча ўн минглаб км ораллигида бўлади. Энг катта доғ 185 000 км ўлчамга эга. Катта гуруҳлар бўйлама бўйича 100000 км масофага чўзилган. Айлана шаклидаги доғлар четга яқинлашган сари



Қуёшнинг кўринма радиуси йўналишида кичраяди (Вилсон эффекти). Қуёш доғлари фотосферанинг пастки қисмида бўлади ва четда биз унинг ғарбий қисмини яхши кўрамиз, қарама – қарши томони эса яхши кўринмайди. Ҳақиқатда, барча доғлар ҳам Вилсон эффектига бўйсунмайди. Яримсоянинг интенсивлик муносабатлари кўринма нурларда ( $I_{я.с.}$ ) ва фотосферада ( $I_{фот}$ ) қуйидагига тенг бўлади:  $I_{я.с.} / I_{фот} \approx 0.7$ , сояларда эса ( $I_{соя}$ ) —  $I_{соя} / I_{фот} \approx 0.3$ . Термопара орқали кузатишларда  $I_{соя} / I_{фот} \approx 0.4$  га тенг. Стефан — Болцман қонунига кўра доғларнинг эффектив ҳароратини топсак,  $T_{доғ} = 4600^\circ\text{K}$  келиб чиқади. Фотосферанинг физикавий ҳолатидан келиб чиққан ҳолда, доғлар фотосферанинг нисбатан совуқ соҳалари эканлиги ва унда нурлар мувозанати бор эканлиги кутилади. Қуёш доғларининг кучли магнит майдонга эга эканлиги — унинг табиатини ўрганишда катта ёрдам берди (Хойл, 1908). Магнит майдони кучланишини ўлчашда Зеeman эффектидан фойдаланилади. Зеeman эффекти қарама – қарши йўналишдаги айлана бўйича қутбланган спектрал чизиқларни кенгайтиради. Бу чизиқларнинг ҳар бири чизиқларнинг нормал ҳолати бўйича  $\delta\lambda$  қадар силжийди. Силжиш қуйидагига тенг бўлади:

$$\delta\lambda = 4.7 \cdot 10^{-5} g^2 B, \quad (6)$$

бу ерда  $g$  — Ланде фактори,  $B$  — магнит индукция (гс),  $\lambda$  — тўлқин узунлиги смларда ўлчанади. Спектрнинг узун тўлқинли қисмида ва доғларда одатдаги шароитларда нисбатан кўпроқ қўлланиладиган темир чизиқлари учун парчаланиш  $\delta\lambda = 0.1\text{Б}$ . Магнит майдон йўналиши ва доғга ўтказилган нормал орасидаги бурчаклар тақсимоти  $\theta$  ни қуйидагича ифодалаш мумкин.



яримсоя  
3—расм Қуёш доғидаги магнит майдон тақсимоти схемаси.

$$\theta = 90 - (\rho/h), \quad (7)$$

бу ерда  $\rho$  — доғ марказидан масофа,  $h$  — яримсоянинг ташқи четидан бўлган масофа. Доғларнинг магнит майдон йўналиши 3 расмда схематик тасвирланган. Соя ва яримсоя орасидаги чегараси  $\theta \approx 25^\circ$  га тенг. Шундай қилиб, доғларнинг марказий қисмида магнит майдонини кузатишда бўйлама Зеeman эффектидан, четлари яқинида эса — кўндаланг эффектидан<sup>1</sup> фойдаланиш керак. Доғлардаги магнит майдон кучланганлиги тақсимотини қўйидаги кўринишда ёзиш мумкин

$$B(\rho) = B_0 \left(1 - \frac{\rho^2}{b^2}\right), \quad (8)$$

бу ерда  $B_0$  — доғ марказидаги (максимал) майдон кучланганлиги,  $\rho$  ва  $b$  юқорида кўрсатилгандек маънони англатади. Доғ орқали ўтувчи магнит оқим  $\sim B_0 \pi b^2/4$  ни ташкил этади. Майдоннинг максимал кучланганлиги доғ юзаси билан қўйидаги муносабатда боғланган

$$B_0 = 3700 \frac{S}{S + 66} \text{ эс}, \quad (9)$$

бу ерда  $S$  — доғ юзаси. Магнит майдон доғ майдонининг кўпайиши билан тезда ортади ва кейинчалик кам ўзгаради. Магнит майдони кучланишини сезиларли даражада тушиб кетиши доғнинг максимал майдони икки марта қисқарганда юз беради. Бу эса ҳудди майдон фотосферага доимий ташқи куч чизиқлар таъсири натижасида сўнаётгандек ёки уларнинг диффузияси эмас, балки тожигга қараб кўтарилаётгандек таассурот қолдиради. Ҳақиқатдан ҳам агар газ ҳаракат қилмаса, у вақтда магнит майдон сўниши вақтини қўйидаги формула билан ифодалаш мумкин.

$$4\pi\sigma \frac{\partial B}{\partial t} = \nabla^2 B, \quad (10)$$

бу ерда ўтказувчанлик  $\sigma$  ни тахминан қўйидагича ифодалаш мумкин

$$\sigma = 2 \cdot 10^{-14} \frac{T^{3/2}}{Z}, \quad (11)$$

<sup>1</sup> Кузатувларга асосан, кўндаланг майдонда учта чизиқли қутбланган компоненталар куза — тилади; ўртача компоненталарнинг қутбланиш лекислиги чекка қутбланиш текислигига перпендикуляр

бу ерда  $Z$  — ион заряди. Магнит майдон даврини баҳолаш учун тенгламани бундай кўринишда ёзамиз

$$I_0 = 4\pi\sigma l^2, \quad (12)$$

бу ерда  $l$  — доғнинг характерли ўлчови. Электромагнит бирликларда  $\sigma \approx 3 \times 10^{-8}$  деб олиб ва  $l \approx 3 \times 10^8$  деб қабул қилиб,  $I_0 \approx 10^3$  йил эканлигини топамиз. Бу катталик доғнинг япаш даврига нисбатан катта бўлиб, доғлар магнит майдони диффузияси ҳақидаги фикрларга қарши кучли аргументдир. Бундан келиб чиқадики, доғлар фотосфера остида магнит майдонининг қандайдир кўтарилиши натижасида ҳосил бўлади ва қайта ботиб кетиши ёки тожига кўтарилиши натижасида йўқолади. Доғлар етарли узоқ муддат мавжуд бўлади ва айтиш мумкинки, у билан фотосфера орасида ўзаро мувозанат ўрнатилади. Мувозанат вазиятида доғлардаги газ ва магнит босим йиғиндиси уни ўраб олган фотосфера босими билан тенглашиши керак:

$$P_{\text{газ}} + \frac{B^2}{8\pi} = P_{\text{магн}}. \quad (13)$$

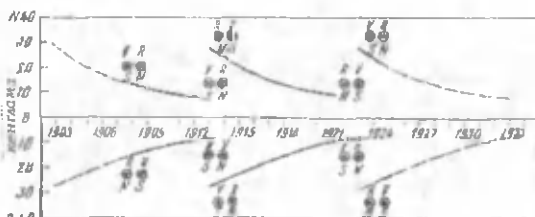
Бу шарт баъзи моделлар учун  $B \approx 10^3$  гс га тенг. Қуёшда доғларидаги ҳаракатлар ҳақида 1909 йилда, яъни доғдан горизонтал равишда 2 км/с тезлик билан модда оқиши аниқлангач маълум бўлди (Эвершед эффекти). Кучсиз спектрал чизиқлар бўйича аниқланувчи оқим тезлиги доғ сояларида амалий жиҳатдан нолга тенг бўлади, ярим сояда эса ортиб, яримсоя чегарасида максимал қийматга (2–3 км/с) етади, модда фотосферага оқиши билан эса тезлик камаяди ва  $1.5b$  ( $b$  — доғ марказидан ҳисоблангандаги яримсоя радиуси) масофада нулга айланади. Бошқа интенсивликни спектрал чизиқлари бўйича тезлик ўлчаб кўрилса, умуман бошқа тасвир ҳосил бўлади. Кучли чизиқлар ҳеч қандай ҳаракатни кўрсатмайди, энг кучли чизиқлар эса (масалан,  $H\alpha$ ,  $KCaII$ ) моддани доғга оқиб киришини кўрсатади. Айтиш мумкинки, чизиқлар қанча кучли бўлса улар шунча кўп атмосферада пайдо бўлади. Доғларда модда ҳаракати ҳолати аниқланмаган.

## ҚУЁШ ДОҒЛАРИ ГУРУҲЛАРИ ВА ДОҒЛАР НАЗАРИЯСИ

Қуёш доғларини қуйидагича классификацияга ажратиш мумкин:

1. Униполяр гуруҳлар ( $\alpha$ ). Бу бир ёки бошқа қутбдаги магнит майдонга эга бўлган аълоҳида доғ ёки доғлар гуруҳлари.
2. Биполяр гуруҳлар ( $\beta$ ). Олиб борувчи  $p$  ва етакланувчи  $f$  (доғларнинг жойлашиши Қуёшнинг айланиши бўйича) доғ қарама – қарши қутубга эга.
3. Мураккаб гуруҳлар ( $\gamma$ ). Бу гуруҳлар ҳар иккала магнит қутубларидаги кўп сонли доғлардан ташкил топган бўлиб, тартибсиз жойлашганлиги сабабли  $\beta$  гуруҳга киритиб бўлмайди.

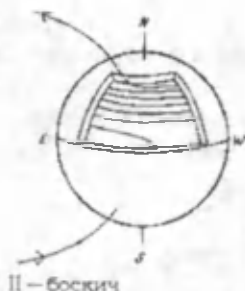
Ҳар бир гуруҳлар ички структурасига ва машълларга нисбатан жойлашишига кўра мос равишда қўшимча ҳарфлар билан ифодаланувчи гуруҳчаларга бўлинади. Ҳақиқатан ҳам эгаллаган майдонига кўра доғларнинг бошқа классификациялари ҳам мавжуд. Жами доғларнинг 90%  $\beta$  типига, 10% —  $\alpha$  типига ва 1% дан камроғи  $\gamma$  — типига таалуқлидир. Униполяр гуруҳ — бу одатда биполяр гуруҳларга тўғри келмайдиган  $p$  — доғларини сақловчи гуруҳдир. "Етишмовчи" доғ ўрнида магнит майдон кузатилади.  $P$  ва  $f$  гуруҳларида доғ қуйидаги қонунга бўйсинувчи қарама – қарши қутубларга эга бўлади: 1)  $p$  доғ Қуёшнинг шимолий ва жанубий яримшарларида қарама – қарши қутубларга эга. 2)  $p$  доғларнинг қутубланиши ҳар бир яримшарда Қуёш активлигининг янги цикли бошланиши вақтида ўз ишорасини ўзгартиради. Доғлар магнит майдон қутубининг ўзгариши бўйича Қуёш активлигининг тўла цикли 22 йилни ташкил



4—расм. Қуёш доғларининг магнит қутблари ўзгариш қонуни ва доғ пайдо бўлиш зонасининг кўчиши. Чопда етакчи доғ кўрсатилган

магнит оқим  $f$  доғга нисбатан таминан ўртача 3 марта катта. Бундан ташқари,  $p$  доғ  $f$  доғга нисбатан катта ва кўпроқ яшаш даврига эга. Доғ гуруҳларини ривожланишининг биринчи сабабчиси бу биполяр магнит соҳалари ҳисобланади. Эслатиб ўтиш керакки, Қуёш доғлари гуруҳларида турли ички ҳаракатлар қузатилади ва бу ҳаракатлар хромосфера чақнашлари назарияси учун моҳиятли бўлиши мумкин.

Қуёш доғлари назарияси фотосферанинг остки қатламларидан биполяр магнит майдонининг кўтарилиши тахминига асосланган. Доғларнинг пайдо бўлиши ва ривожланиши ҳақидаги нисбатан оддий модел Бэбкок томонидан таклиф қилинган. Бу назарияда Қуёш умумий магнит



5—расм. Қуёшнинг дифференциал айланишида кучаювчи магнит майдон сиртчаси ҳақида Бэбкок тасвири.

майдонига эга ва бу майдон қутб яқинидаги соҳаларда дипол кўринишига эга, майдоннинг пастки кенгликларида эса отосфера остида  $0.1 R_{\odot}$  чуқурликда ётади, деб тахмин қилинади (5—расм).

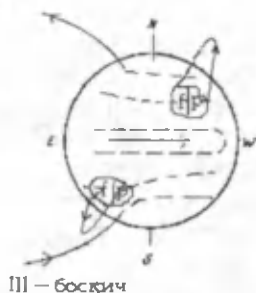
Фотосферанинг остки қатламларида ион ва электронларнинг ҳаракатланувчи оқими

магнит майдонини юзага келтирувчи электр тоқини ҳосил қилади. Майдонда Қуёшнинг дифференциал айланиши

этади. Қутб ўзгаришлари ва бу ўзгаришларнинг доғлар ҳаракати билан боғлиқлик қонунияти 4—расмда кўрсатилган.  $P$  доғдан ўтувчи

сабабли ва магнит куч чизиқлари муҳитда қўшилиб кетгани учун магнит майдон кучланиши ортади ва магнит қалқиб чиқиш ҳодисаси юз беради. Магнит қалқиб чиқиши учун 250гс кучланиш етарли бўлади. Магнит майдон кучланишининг критик қиймати  $n$  эпохага ( $n$  — активлик цикли бошлангандан кейин ўтган йиллар) етади ва  $\phi$  гелиографик кенгликда қуйидаги муносабат билан боғланган бўлади.

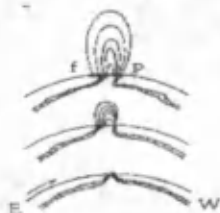
$$\sin \phi = \pm \frac{1.5}{n+1.5}. \quad (14)$$



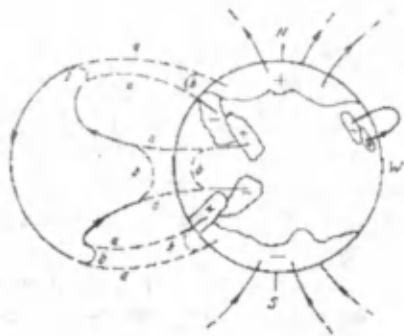
6 — расм. Бэбкок назарияси бўйича Қуёш доғларининг пайдо бўлишнинг учинчи босқичи

Цикл бошида ( $n = 0$ ) бу формулада  $\phi = \pm 30^\circ$  га тенг бўлади. Формула (14) бўйича аниқланувчи фаол кенгламалар Шперер қонунига бўйсунди. Магнит сиртмоқ ва қалқиб чиқиши фотосфера сиртида ва бу биполяр магнит соҳалари ҳосил бўлиш механизми (6 — расм). Тенглама (13) бўйича ҳароратнинг ўзгармаслиги

тахминларидан магнит майдонни кучайиши натижасида доғдаги модда зичлиги уни ўраб олган фотосферага нисбатан кичик эканлиги келиб чиқади. Магнит соҳаларда кўтарувчи Архимед кучининг таъсири бўлади. Ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, фотосфера сиртига яқинлашувчи  $B \approx 10^3$ гс бўлган магнит



7 — расм. Бэбкок назарияси бўйича биполяр магнит соҳаларининг эволюцияси



8-расм. Бэбкок назарияси бўйича  
 Қуёш умумий магнит  
 майдонининг қутб ўтирилиши

соҳалари учун бу куч мавжуд бўлади. Бу ерда Архимед кучи ҳудди барқарорлик сингари аҳамиятга эга. Натижада биполяр соҳаларнинг кузатишга эришишилади (7-расм). Биполяр соҳа узлуксиз кенгайди ва етакчи  $p$  доғ  $f$  доғдан ортиқ бўлади. Биполяр магнит соҳаларнинг пайдо бўлишининг бу механизми ҳудди  $p$  ва  $f$  доғлардагидек икки ярим шарларда ҳам

қутблашиш қонунини бажарилишини таъминлайди. Биполяр соҳаларда кенгаювчи магнит куч чизиқлари Қуёшнинг умумий дипол майдонида тепага қараб ҳаракат қилади. Бунда 8-расмда кўрсатилгандек, магнит чизиқлар бўлинади ва яна бирлашади; бундай жараён умумий магнит майдоннинг қандайдир умумий қисми нейтраллашганда кузатилади. Жараённинг кейинги босқичи янги майдоннинг тескари ишора билан вужудга келишига олиб келади. Буларнинг ҳаммаси регуляр эмас, балки қисман юз беради ва икки ярим шарларда ҳам қутубланишга айланиш бир вақтда юз бермайди. Демак, Бэбкок назариясига кўра "маундер капалаклари" ва қутубланиш қонуллари, Қуёшнинг умумий магнит майдонинг айланиши ва уларнинг сўнишидан магнит соҳаларинг кенгайишлари тушунтирилади. Назариянинг камчилиги — бу Қуёшни дифференциал айланишини таъминловчи энергия манбаидадир. Водород конвектив зонасида турбулент ҳаракат энергияси ҳудди дифференциал айланишларни вужудга келтирувчи меридиан циркуляциясини вужудга келиши учун етарлидек туюлади.

Магнит майдон иштироки билан боғлиқ бўлган доғларнинг паст ҳарорати муаммосини кўриб чиқамиз. Бир жинсли магнит майдонда жойлашган ва юқори ўтказувчанликка эга бўлган модданинг текис — параллел қатламдаги конвекциясини кўриб чиқамиз. Юқорига қараб  $z$

масофада силжиган модданинг унча катта бўлмаган ҳажмига таъсир этувчи кўтариш кучи

$$F_3 = \frac{V \rho g z}{T} \left[ \left| \frac{dT}{dz} \right|_{\text{из}} - \left| \frac{dT}{dz} \right|_{\text{с}} \right] \quad (15)$$

га тенг бўлади. Бу ерда биринчи градиент структуравий (реал), иккинчиси эса — адиабатик деб аталади. Ўтказувчанлик қанча юқори бўлса, магнит куч чизиқлари муҳитда қотиб қолган бўлади ва кичик ҳажм силжиши унинг эгилишига олиб келади. Агар магнит куч чизиқларини ҳудди эластик деб олсак, унда бирлик ҳажмга таъсир қилувчи магнит кучлари  $B^2/4\pi$  га кўпайтирилган эгри куч чизиқларига тенглашади. Агар магнит куч чизиқларини ҳудди эластик сим деб олсак, унда бирлик ҳажмда ҳаракатланувчи магнит кучи кўпаяувчи куч чизиқларининг эгрилига тенглашади. Фараз қилайлик, куч чизиқларининг эгилиши  $\lambda$ . тўлқин узунлигидаги синусоид тўлқинининг формаси кўринишида бўлса, у ҳолда эгрилик  $z(2\pi/\lambda^2)$  га тенглашади ва магнит кучни қуйидаги кўринишда келтириш мумкин.

$$F_{\text{магн}} = \frac{z B^2 V}{4\pi} \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \quad (16)$$

Кўтарувчи кучнинг магнит кучларга муносабати қуйидагига тенг

$$\frac{F_3}{F_{\text{магн}}} = \frac{\lambda^2 \rho g \left[ \left| \frac{dT}{dz} \right|_{\text{из}} - \left| \frac{dT}{dz} \right|_{\text{с}} \right]}{\pi B^2 T} \quad (17)$$

Шу йўл билан, бу кучлар характерли ўлчови қуйидаги муносабат билан аниқланувчи элемент учун тенглашади.

Гидродинамик мувозанат шартидан ва бир жинсли атмосфера формуласидан фойдаланган ҳолда (17) ни қуйидаги кўринишда ёзиб оламиз

$$\lambda^2 = \frac{\pi B^2 H}{\rho g \left[ \left| \frac{d \log T}{d \log P} \right|_{\text{из}} - \left| \frac{d \log T}{d \log P} \right|_{\text{с}} \right]} \quad (18)$$

бу ерда  $P$  — босим,  $H$  — бир жинсли атмосфера баландлиги. Водород конвектив зонаси учун қавс ичидаги катталиқ тахминан 0.1;  $g \approx 2.5 \times 10^4 \text{ см/с}^2$ ,  $\rho \approx 10^{-5} \text{ атм}$ ,  $B \approx 10^3 \text{ гс}$ . тенг бўлади. Бундан  $\lambda \approx 1000 \text{ км}$  эканлиги келиб чиқади. Демак,

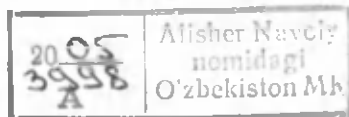


1000 км ылчамдан кичик бўлган элементлар ҳаракати магнит майдонда йўқолади. Магнит куч чизиқлари эгилади ва ниҳоят конвекция сўнади. Шубҳасиз, юқоридаги тенглама Қуёш доғларининг паст ҳароратда бўлиш сабабларини жуда яхши тушунтириб беради ва шу билан бирга, нима учун баъзи бир бишояр соҳаларда доғлар пайдо бўла олмаслигини кўрсатиб беради. Доғларда бир жишли атмосфера баландлиги қўшни фотосферага нисбатан кичик бўлиши керак, бу ердан доғ сатҳидаги модданинг босими ўйотилмаган фотосфера сиртига нисбатан кичик эканлиги келиб чиқади. Буни доғлар сатҳининг пасайиши билан тушунтириш мумкин (Вилсон эффекти). Кўринишидан, горизонтал ҳаракатлар магнит майдон билан чегараланади ва Эвершед эффекти босимнинг номувозанатлиги билан боғлиқ бўлиши мумкин. Қуёшнинг доғлари катта чуқурликка эга эмас. Соя ва яримсоя магнит майдонининг кучланганликлари билан фарқланади (яримсояда кучланиш камроқ) ва унинг йўналиши сояда вертикал, яримсояда эса деярли горизонтал йўналган.

## МАШЪАЛЛАР

Машъаллар Қуёш дискининг ёруғлиги ошган соҳаларида кўринади. Ҳозирги вақтда машъаллар оқ ёруғликда кўринувчи фотосферик, шунингдек, К ва Н<sub>α</sub> чизиқларида кўринувчи хромосферик турларга бўлинади. Хромосферик машъаллар тушунчаси "ёруғ флоккуалар" ёки оддий "флоккуалар" терминига эквивалентдир. Машъаллардаги кичкина ёруғ ва қора соҳачалар узеллар (тутунчалар) деб аталади.

Қуёш доғлари ҳар доим машъаллар билан бирга давом этиб кузатилади, бироқ машъаллар доғларсиз ҳам пайдо бўлиши мумкин. Машъаллар одатда доғлардан олдин пайдо бўлади ва кўпинча доғлар йўқолгач, Қуёшнинг бир неча айланишларидан сўнг ҳам сақланиб қолади. Машъалларнинг кенглик бўйича тақсимланиши доғлардаги каби бўлади, лекин машъаллар доғларга нисбатан кутб кенгликларида кўпроқ учрайди. Кутб машъаллари ҳам мавжуд бўлади; улар ± 70° кенгликда жойлашган ва қисқа яшаш даврига (~30 мин)



ҳамда айлана тузилишига ( $d \approx 2000\text{км}$ ) эга. Бу машъаллар қутб нурларида пайдо бўлувчи умумий магнит майдон ёки қутб майдонлари билан зич боғланган. Оқ ёруғликда факелларни Қуёш дискининг четларида кўриш мумкин, дискининг марказида эса уларни фотосфера фонидан ажратиб бўлмайди. Бундан: 1) юқори машъаллар уни ўраб олган фотосферага нисбатан ёруғ 2) машъалларнинг қуйи қисми уни ўраб олган фотосферадан совуқ 3) машъаллар нур мувозанати ҳолатида учрамайди, деган хулосалар келиб чиқади. Шундай қилиб, машъалларни таъминлаб турувчи энергия манбалари нима деган савол туғилади. Фотосферанинг юзасидаги машъаллар фон билан таққослаганда, ҳарорат фарқи  $100^\circ$  га яқин бўлади. Хромосфера машъаллари одатда фотосфера машъалларига нисбатан кўпроқ бўлади. Хромосфера машъаллари кучли водород чизиқлари ва металл чизиғи ёруғлигида яхши кўринади. Қуёшни турли интенсивлик чизиқларида ёки бир чизиқнинг хар хил участкаларида расмга олиб атмосферанинг турли даражаларига оид спектрогелиограммаларни олишимиз мумкин. Чизиқларнинг марказий қисмларида олинган расмлар энг юқори қатламларга таалуқли, чизиқнинг ўрта участкаларидаги — ўрта қатламларга ва чизиқнинг четга яқинидагилар — атмосферанинг энг паст қатламларига тегишлидир. Машъ — аллар биринчи расмдаёқ максимал ёритилганликка эга бўлади ва улар доғларни тўсиб қўяди ҳамда улардан баландда жойлашган бўлади. Машъаллар магнит қутблари кучланиши  $B > 20\text{гс}$  бўлган биполяр соҳалар билан боғланган. Машъал — лар катта узелларда ўз навбатида машъаллар гранулини ташкил этувчи юзлаб тармоқ ҳосил қилади. Буларни (хромосфера тармоғи, катта узеллар ва гранулар) хромосферанинг галаёнланмаган участкаларида ҳам кўриш мумкин. Сокин хромосфера ва машъаллар орасидаги фарқ шундан иборатки, машъаллар ёруғ элементлар (гранул ва узеллар) зичлиги хромосферага нисбатан катта бўлади. Умуман олганда, аввал ёруғ узеллар компакт ҳосил қилиб йиғилган бўлади, бироқ вақт ўтиши билан бу ташкил этувчилар бир оз тарқайди. Машъаллар паға — паға кўринишга келади ва аста — секин нормал хромосфера

тармоғига кўшилиб кетади. Агар машъалнинг тўсатдан ўчиб қолиш ҳодисаси бўлмаса, бу жараён узлуксиз содир бўлади. Юқорида келтирилган кўпгина фактлар шуни кўрсатадики, машъаллар одатда қизиган хромосферада жараёнларнинг кучайишидан сўнг ҳосил бўлади. Фотосфера тағидаги турбулент ҳаракат бу хромосфера ва тожига келиб тушувчи механик энергия манбаидир. Бу ерда, шунингдек, магнит майдони ҳам катта рол ўйнайди. Магнит майдони тузилиши ва машъаллар тузилиши орасида зич корреляция мавжуд.

## ХРОМОСФЕРА ЧАҚНАШЛАРИ

Хромосфера чақнашлари — бу Қуёш доғларнинг атрофидаги унча катта бўлмаган маълум бир юзасида қисқа вақт ичида ёруғликнинг бирданига ортиб кетишидир. Хромосфера чақнашлари одатда у типидagi доғ гуруҳлари яқинида, шунингдек, мультиполяр гуруҳларда юз беради. Чақнашлар ҳаммадан ҳам  $H_{\alpha}$  чизиқлари ёруғида яхши кўринади, бироқ баъзи ҳолларда уларни оқ ёруғликда ҳам кўриш мумкин. Чақнашлар — кўпгина сабаблардан иборат

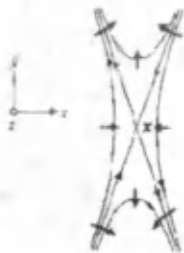
1. Хромосфера чақнашлари Ернинг ионосфераси ва Ер магнит майдони тўлқинланиши билан корреляцияланади. Улар қутб ёғдуси ва узоқ масофалардаги қисқа тўлқинли радиоаълоқаларни бузилиши сабабчисиدير.
2. Спорадик радионурланишлари, ультрабинафша нурланишлари, рентген нурланишлари ва космик заррачаларнинг вужудга келиши хромосфера чақнашлари билан боғлиқдир.
3. Хромосфера чақнашларига ўхшаш ҳодисалар бошқа юлдузларда ҳам кузатилади. "Чақнаш" термини деганда кўринма нурларнинг кучайиши кўзда тутилсада, умуман олганда, асосан, юқори энергияли ва қисқа тўлқинли нурланишларда зарраларни тарқалишига олиб келувчи жараёнларни айтиш мумкин.

Чақнашлар тез—тез юз бериб турувчи ҳодисадир. Бир суткада юз берадиган чақнашлар сони тахминан  $W/25$  атрофида бўлади, бу ерда  $W$  — Қуёш доғларига оид Волф

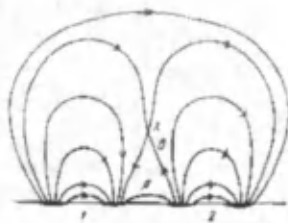
сон. Агар  $W \approx 100$  бўлса, у ҳолда чақнашлар ҳар 6 соатда содир бўлади. Хромосферик чақнашлар улар қамраб олган майдони ва ёрқинлигига қараб классификацияланади; уларга 1—, 1, 2, 3, 3+ тартибда баллар қўйилади. 1 баллга тенг бўлган чақнашлар сони 3 баллга тенг бўлган чақнашлар сонидан катта тартибда бўлади. Кўпинча Қуёш юзасининг айнан бир жойида бир йўла бир неча чақнашлар кузатилади. Синчиклаб ўрганишлар шуни кўрсатадики, чақнашлар частотаси  $dA/dt$  юзага боғлиқ. Чақнашлар доимо доғлар гуруҳидан 100 000 км дан узоқ бўлмаган масофада бўлсада, уларнинг Қуёш диски бўйича тақсимоти доғлар тақсимоти билан мос келади. Субчақнашлар (1— балл) ва яна нисбатан кучсиз, бироқ тез—тез юз берадиган микрочақнашларни сезиш мумкин. 3 балли ва айнан 3+ баллик чақнашлар кўпинча геофизик эффектлар билан бирга кузатилади. Чақнашларни кузатиш қийиндир, чунки улар узоқ вақт давом этмайди. 3+ баллик чақнашлар ўртача 3 соат, 1— балликлари эса қарийиб 20 минут давом этади. Барча чақнашлар бир хил ривожланади. Жуда кам вақт сақланадиган, максимал интенсивликка тезда кўтарилиш, сўнгра бошланғич ҳолатга секин қайтиш юз беради. Чақнашларни кузатиш кўпинча  $H_{\alpha}$ -чизиқлари ёруғида олиб борилади. Чақнаш вақтида ёритилганлик мавжуд хромосферик структура деталлари— хромосфера тармоқларида тезда ошиб, тармоқнинг аълоҳида қисмлари аста—секин "жадаллашаётган"дек таассурот қолдиради. Чақнашлар хромосфера структурасида сезиларли ўзгаришлар содир этмайди. Типик хромосфера чақнашлари юзаси  $10^9$  км<sup>2</sup> тартибда бўлади. Атмосферадан ташқаридаги ўлчашлар шуни кўрсатадики, чақнаш вақтида Қуёш юқори энергияли зарраларни нурлантиради. Хромосфера чақнашларида кузатиладиган энергия  $10^3$  сек вақт мобайнида  $\sim 10^{27}$  эрг/с га етиши мумкин, умумий энергия чиқиши  $10^{30}$  эрг ни ташкил қилади. Турли тадқиқотлар натижасида, корпускуляр нурланиш энергияси  $10^{29}$  —  $10^{32}$  эрг га тенглиги келиб чиқади. Чақнашлар— унча юқори бўлмаган ташкил этувчилар бўлиб, хромосферанинг юқори қатламларида ёки тожнинг пастки қатламларини ўз ичига олиниши қабул қилинган. Чақнашлар яқинида кўпинча Қуёш моддасининг

ташқарига чиқишлари юз беради. Чақнаш даврида бу моддалар Куёшдан учиб чиқиб, аста-секин ўз тезлигини камайтиради, унинг манфий тезланиши катталиги оғирлик кучлари тезланишига мос келади ва яна қайтиб тушади. Чақнаш вақтида бу модданинг тезлиги 500 км/с га етади. Бундай моддалар кўпинча чақнаш жойидан 100 000 км масофада пайдо бўлади. Чақнаш даврида Куёшдан ажралиб чиққан бу моддаларни бир жойнинг ўзида бир неча марта кузатиш мумкин. Улар турли бурчак остида кўтарилиб, ўша траектория бўйича пастга тушади. Баъзида чақнаш ривожланишнинг бошланғич вазиятида чақнашларнинг интилиб ривожланишига боғлиқ бўлган тез чақновчи чиқиндилар ҳам кузатилади. Бу билан улар чақнашнинг мавжудлиги даври мобайнида юз бериши мумкин бўлган одатдаги чақнашлардан фарқ қилади. Тез чақнаш моддалари рининг тезлиги тахминан 1000 км/с га етади. Яъни иккинчи космик тезликдан ошиб кетади.

*Хромосфера чақнашлари назарияси* ҳозирча мавжуд эмас, аммо баъзи йўллар белгиланганки, уларни ривожлантириш — конкрет назарияларни ишлаб чиқишга олиб келиши мумкин. Хромосферик чақнашларни магнитик келиб чиқиши ҳақида исботлар мавжуд. Баъзи юлдузларда ядровий реакциялар фотосферанинг паски қисмига яқин жойларда юз беради ва айтиш мумкинки, хромосферик чақнашларга Куёшдаги ядровий реакциялар сабаб бўлади. Бироқ хромосферанинг юқорисида ва тожнинг пастларида модда зичлиги шунчалик камки, у ерда ядровий реакциялар юз бериши мумкинлигини кўз олдимишга келтиришимиз мушкул. Келажаги бор бўлган бир қанча йўналишлар магнит майдонининг нейтрал нуқталари билан боғлиқ. Бир неча минут тартибида вақтни характерловчи разрядни ҳосил қилиш механизмини топиш талаб қилинади. Хромосферада магнит майдонининг кўтарилиши билан нейтрал нуқталар атрофида қўшни жуфт доғлар магнит майдонининг қисқа туташуви содир бўлади ва разрядга олиб келиши мумкин бўлган электр токи зичлиги бирдан ортади  $9 - \text{расмда } x \text{ ту}$  — ридаги нейтрал нуқтага магнит куч таъсири кўрсатилган бўлиб, бунда ингичка чизиқлар билан магнит куч чизиқлари, қисқа тўқ рангли стрелкалар билан эса  $j \times B$  магнит кучлари



9—расм. X туридаги нейтрал нуқтага магнит куч таъсири.



10—расм. Қуёш атмосферасида X туридаги нейтрал нуқтанинг кўтарилиш механизми схемаси.

тасвирланган. 10 расмда эса нейтрал нуқтани вужудга кел — тирувчи магнит майдон конфигурацияси тасвирланган бўлиб, нейтрал нуқта 1 ва 2 билан белгиланган Қуёш доғларининг биполяр гуруҳлари ўзаро таъсири натижасида кўтарилади. Нейтрал нуқтани ҳосил қилувчи магнит майдон конфигурациялари кўпинча  $\gamma$  типидagi мураккаб гуруҳларда учрайди.

Ҳалқанинг магнит майдонида айланиши билан тушунтириладиган хромосфера чақнашларининг иккинчи назарияси ҳам мавжуд. Агар улар бир — бирига яқинлашганда, бир — бирига тортишиш натижасида чақнашни келтириб чиқарувчи магнит майдон аннигиляцияси (йўқолиши) содир бўлиши мумкин.

## ҚУЁШ ТОЖИ

Қуёш атмосферасининг  $1.03R_{\odot}$  дан юқорида жойлашган қисми Қуёш тожи дейилади. Уни Қуёшни тўлиқ тутилган вақтда ёки махсус телескоплар (коронограф) ёрдамида кўриш мумкин. Бу эса тожнинг интенсивлиги фотосферага нисбатан тахминан миллион марта кучсиз ва кундузги осмоннинг ёруғлик даражасига нисбатан анчагина кучсиз эканлиги билан боғлиқ. Тожни шартли равишда ички ( $1.3 \geq r/R_{\odot} \geq 1.03$ ), ўрта ( $2.5 \geq r/R_{\odot} \geq 1.3$ ) ва ташқи ( $r/R_{\odot} > 2.5$ ) тожларга бўлиш мумкин. Бир неча Қуёш радиусига тенг масофаларда ташқи тож планеталараро муҳитдан ўтади. Тож

спектри тахлиладан келиб чиққан ҳолда, уни учта ташкил этувчиларга ажратиш мумкин.

1. К тож — эркин электронларга Қуёш ёруғлигининг тарқалиши давомийлигида пайдо бўлувчи узлуксиз нурланишдир. Тожнинг К спектри узлуксиздир.
2. F — тож, ёки ички зодиакал ёруғлик, — планеталараро чанларда дифракция сабабидан синувчи Қуёш нурлари. Бу нурланиш тожнинг ўзи билан боғланмаган.
3. Тож E (ёки L), ёки эмиссион тож — тож спектрининг эмиссион чизиқларидаги нурланиш.

Тожнинг барча ташкил этувчилари тожнинг пастки ва ўрта қисмларида бор бўлади. Эмиссион тож  $2R_{\odot}$  гача чўзилган, К тожи  $4R_{\odot}$  гача ва F тожи доимий зодиакал ёруғликдан ўтади. Тула Қуёш тутилиш вақтида олинган расмлар шуни кўрсатадики, тож етарли мураккаб структурага эга. Қуёш активлиги даврларида тож айлана шаклида бўлади, Қуёшнинг сокинлик даврларида у нисбатан экваториал қисмга чўзилган бўлади. Сиқилган тожни характеристикаси  $\epsilon$  учун қуйидаги формуладан фойдаланилади

$$\epsilon = \frac{d_1}{d_2} - 1, \quad (19)$$

бу ерда  $d_1$  — уч ўлчовли диаметрларнинг ўртачаси: экваториал ва иккита бошқа яъни у билан  $22.95$  бурчак ҳосил қилувчи,  $d_2$  — эса қутб диаметри учун аналогик катталиқ.  $\epsilon$  сиқилиш К тож устун кела бошлагач,  $2R_{\odot}$  га яқин масофаларда камайиб бошлайди. Тож формасининг ўзгариши Қуёш активлиги цикли билан чамбарчас боғланган. Активлик кам бўлган минимум вақтида тож экваторга эгилган бўлади. Максимум вақтда яъни активлик баланд бўлганда тож сфериксимон бўлади ( $\epsilon \approx 0.2 - 0.3$ ).

*Тож зичлиги.* Тож зичлиги изофот (бир хил равшанликдаги нуқталар оиласи) равшан — лиги тахлили асо — сида олинади. Тожни сферик деб фараз қилиб, биз К — ташкил этув — чини F — ташкил этувчидан ажра — тайлик. Бирлик хажмдаги нурла — нишни даража қатор кўринишида келтирамиз

$$g(r) = \sum a_n r^{-(n+1)}, \quad (20)$$

бу ерда  $r$  Куёш радиуси бирликларида ўлчанади. Бу ажралишнинг ҳар бир аъзоси кўриш нури ҳисобига олинган интеграллашга маълум бир равшанлик қўшади

$$4\pi I_n = 2a_n R_n \int_0^{\pi} \frac{dy}{r^{(n+1)}} = 2a_n R_n \int_0^{\pi} \frac{dy}{[(x+R_n)^2 + y^2]^{(n+1)/2}} = \frac{2a_n R_n}{(x+R_n)^n} \int_0^{\pi} \cos^n \varphi d\varphi, \quad (21)$$

Бундан

$$4\pi I = \sum b_n (x+R_n)^{-n}, \quad (22)$$



12-расм. Куёш тожи изофотининг сиқилиши Куёш активлиги цикли фазасининг функцияси каби.

11-расм. Тож нурланишининг турли ташкил этувчилардаги нисбий интенсивлиги.

келиб чиқади. Бу ерда  $a_n$  ва  $b_n$  коэффицентлар орасидаги боғлиқликни охириги тенглама (22) дан топиш мумкин. К тож эркин электронларда томсон тақоқ фотонларини ҳосил қилади. Шунинг учун хажм бирлигига ҳисобланган функция манбаи қуйидагига тенглашади (тахминан изотроп тарқоқ)

$$g(r) = \sigma N_e(r) \int \frac{Id\omega}{4\pi} = \sigma N_e(r) J(r). \quad (23)$$

Бу ерда  $\sigma$  — томсон сочилиш кесишиши ( $\sigma = 6.6 \times 10^{-25}$  см<sup>2</sup>),  $J(r)$  — эса  $r$  масофадаги ўртача интенсивлик.  $J(r)$  ни топиш учун интенсивликни четга томон қоронғуликнинг ортиши



конунига кўра бутун диск бўйича интеграллаш керак. Бу конун ифодасини эслатиб ўтамиз

$$I(\vartheta) = I_0(1 - u + u \cos \vartheta), \quad (24)$$

бу ерда  $14300\text{Å}$  тўлқин узунликлари учун  $u \approx 0.8$  га тенг. Шундай қилиб,

$$J(r) = \frac{I_0}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (1 - u + u \cos \vartheta) d\omega \quad (25)$$

Бу интегрални ечиб,  $r > 1.2R_0$  учун етарлича мураккаб бўлган формулани ҳосил қиламиз.

$$J(r) = \frac{I_0}{2} \left[ (1 - u) \left( \frac{1}{2r^2} + \frac{1}{8r^4} + \dots \right) + u \left( \frac{1}{3r^3} + \frac{1}{15r^5} + \dots \right) \right]. \quad (26)$$

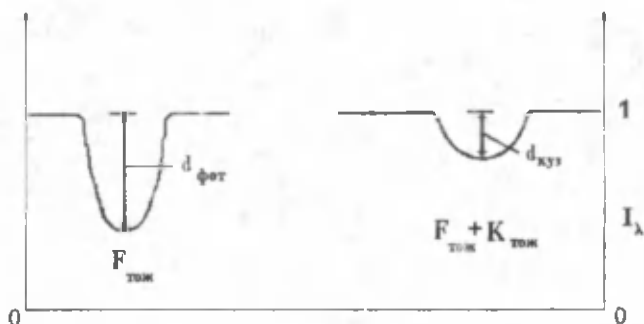
$m = 0.8$  учун етарлича аниқликда қуйидагига эга бўламиз

$$\frac{J(r)}{I_0} = \frac{0.183}{r^2} + \frac{0.039}{r^4}. \quad (27)$$

(27) ва (23) муносабатларни комбинациялаб

$$N_e = \frac{1.52 \cdot 10^{19} g(r)}{1.83/r^2 + 0.39/r^4}. \quad (28)$$

ни ҳосил қиламиз. Бу ерда равшанлик бирлиги сифатида Қуёш диски марказининг равшанлиги  $10^{-6}$  олинади. Бундан биз (20), (21) ва (22) да келтирилган функцияларни топишимиз мумкин, сўнгра (27) бўйича электрон концентрациясини ҳисоблаймиз. Тож моддасининг электрон концентрациясини гелиографик кенглама билан боғлиқлиги ҳақида маълумотни қуйидагича қисқача таърифлафлаш мумкин: кутбларда электронлар концентрацияси экватордаги электронлар концентрациясининг тахминан ярмини ташкил қилади ва у  $70^\circ$  кенгликдаги минимумдан (экваториал концентрацияга мувофиқ) ўтади. Бу қоида Қуёш фаоллигининг минимум даврида  $r = 1.15R_0$  масофада тўла



13— расм. Фотосферанинг ва тожнинг кузатилаётган спектридаги фраунгофер чизиқларининг марказий депрессиялари ўртасидаги фарқни кўрсатувчи схема

бажарилади. Юқорида таъкидлаб ўтилганидек, тожни К ва F ташкил этувчиларини бир—биридан фарқлай олиш керак. Уларни фарқлашнинг бир йўли — бу F тожда фраунгофер чизиқлари нормал интенсивликка эга бўлади, К тожда эса улар қарийиб умуман кўринмайди. Агар тожнинг иккала ташкил этувчиси бир вақтда кузатилса, фраунгофер чизиқларининг марказий интенсивлиги фотосфера спектридан кичик бўлиши керак. Бундай ҳолатда К ва F ташкил этувчиларни қуйидаги формула бўйича фарқлаш мумкин:

$$\frac{I_K}{I_F} = \frac{d_{\text{фот}}}{d_{\text{тож}}} - 1. \quad (29)$$

Бу ерда  $d_{\text{фот}}$  — F тожда спектрал чизиқларнинг чуқурлиги,  $d_{\text{тож}}$  — ўша чизиқларнинг F ва K тождаги чуқурлиги. Қуйида олинган модданинг зичлиги ( $\text{см}^3$ ) фотосфера сиртининг баландлигига боғлиқ:

$$3.0R_{\odot} : \lg N_e = 5.5; 2.0R_{\odot} : \lg N_e = 6.4; 1.5R_{\odot} : \lg N_e = 7.2 \\ 1.03R_{\odot} : \lg N_e = 8.5.$$

*Нурланиш чизиқлари.* Тож спектрида нурланиш чизиқларининг тўлқин узунлиги фраунгофер чизиқлари тўлқин узунликлари билан мос келмайди. Тож чизиқларининг келиб чиқиши маълум бир муддат тушунарсиз бўлиб келди ва уни янги химиявий элемент — "короний" деб ёзилди. Элементларнинг даврий жадвали тўлдирилгандан сўнг эса бундай фикрдан қайтилди. Бу

жумбоқ Гротриан ва Эдленлар томонидан ечилди ва тожнинг нурланиш чизиқлари юқори ионлашган атомларнинг ман қилинган чизиқларига таалуқли эканлиги кўрсатилди. Бирмунча ёруғ бўлган чизиқлар қуйидагилар:

NiXIII –  $\lambda 5116.03\text{\AA}$ , FeXIV –  $\lambda 5302.86\text{\AA}$  (яшил чизиқ), Ca XV –  $\lambda 5694.42\text{\AA}$  (сарик чизиқ), Fe X –  $\lambda 6374.51\text{\AA}$  (қизил чизиқ) ва бошқалар. Бу чизиқлар энергетик ҳолатдан (метастабил деб юритилувчи) пайдо бўлиб, яшаш даври одатдаги ҳолатдагига нисбатан тахминан  $10^6$  марта катта бўлади. Ман қилинган чизиқларнинг пайдо бўлиши учун жуда тарқоқ муҳит бўлиши керак ва тожда бу шароит яратилади. Тож чизиқлари интенсивлик муносабатидан тожни ички қисмини температурасини ўрганишда фойдаланиш мумкин. Яшил ва қизил тож чизиқларини таққослаб, бу муносабатни қуйидагича баҳолаш мумкин

$$\frac{N(\text{FeXIV})}{N(\text{FeX})} = \frac{N_{\text{XIV}}}{N_{\text{XIII}}} \frac{N_{\text{XIII}}}{N_{\text{XII}}} \frac{N_{\text{XII}}}{N_{\text{XI}}} \frac{N_{\text{XI}}}{N_{\text{X}}} \quad (30)$$

Ҳар бир кўпайтма ҳарорат ошиши билан жуда тез ошиб боради ва шунинг учун интенсивлик муносабати (яшил чизиқ/қизил чизиқ) ҳароратнинг ўзгаришига жуда сезувчандир. Ҳароратнинг 10% га ўзгариши бу чизиқлардаги муносабатни 10 мартагача ўзгартириб юборади. Кузатилаётган вариациялар одатда кам бўлади ва биз тожнинг бу чизиқлар ҳосил бўлувчи қисми қарийиб изотермик деган хулосага келамиз.

Ҳарорат бир неча усуллар билан аниқланган ва у  $10^6\text{K}$  тартибда бўлади. Тожни изотермик ва гидростатик мувозанат ҳолатида деб олсак, ундаги зичликлар тақсимоти қуйидаги барометрик формулага бўйсунди

$$\frac{N_{r_0}}{N_{r_0}} = \exp \left[ \frac{GM\mu m_H}{RkT} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) \right] \quad (31)$$

$N_{r_0}$  – бошланғич  $r_0$  вазиятдаги электрон концентрацияси;  $r$  – Қуёш марказидан бўлган масофа бўлиб, Қуёш радиусларида  $R_\odot$  ифодаланади;  $G$  – бутун олам тортишиш доимийси;  $k$  – Больцман доимийси;  $T$  – ҳарорат;  $M$  – Қуёш массаси;  $m_H$  – водород атоми массаси,  $\mu$  – ўртача молекуляр оғирлик. Булардан  $\lg N_e$  нинг  $1/r$  га боғлиқлик графиги тўғри чизиқ кўринишида бўлади ва эгилиш бурчаги эса шароратта боғлиқ бўлади. (31) тенгликни логарифмлаб ва дифференциаллаб

$$\frac{d(\lg N_e)}{d(1/r)} = \frac{GM_{HII} \mu}{2.3026RkT} \quad (32)$$

ски

$$T = \frac{1.004 \cdot 10^7 \mu}{d \lg N_e / d(1/r)} \quad (33)$$

ни ҳосил қиламиз. Бу формуладан фойдаланган ҳолда график бўйича топилган ҳарорат  $1.5 \times 10^6 \text{K}$  га тенг бўлади.  $\text{H:He} = 10:1$  га мос келувчи ўрғача молекуляр оғирлик  $0.608$  га тенг деб қабул қилинган. Интенсивликни монохроматик градиентларга кўра бажарилган аналогик ҳисоблашлар жуда яқин натижаларни кўрсатади. Қутб соҳаларида ҳарорат бир мунча паст бўлади ( $T \approx 1.2 \cdot 10^6 \text{ }^\circ\text{K}$ ). Тож спектридаги тақиқланган чизиқлар кенглиги — бу ҳароратни аниқлашни яна бир усулидир. Агар чизиқлар профили доплернинг иссиқлик эффекти бўйича кенгайган бўлса, унда қуйидаги ифодани ёзиш мумкин

$$I = I_0 \exp[-(\lambda - \lambda_0)^2 / (\delta\lambda_0)^2] \quad (34)$$

бу ерда

$$\delta\lambda_0 = \frac{\lambda}{c} \left( \frac{2kT}{\mu m_H} \right)^{1/2} \quad (35)$$

Интенсивлик марказни яримини ташкил этувчи ўлчанган нуқталар орасидаги чизиқнинг кенглигини  $h$  деб белгиласак, унда охириги формуладан  $h = 1.67 \delta\lambda_0$  эканлиги келиб чиқади.

$$T = 1.95 \cdot 10^2 \frac{h^2}{\lambda^2} \mu, \quad (36)$$

бу ерда  $\mu$  — ушбу чизиқ тегишли бўлган элементнинг атом оғирлиги. Қизил чизиқ ( $\text{Fe X}$ ,  $\mu = 55.85$ ,  $\lambda = 6375 \text{ \AA}$ ) типик натижани беради ва у учун  $h = 0.89 \text{ \AA}$ , мос келувчи ҳарорат  $2.1 \cdot 10^6 \text{ K}$  га тенг.

К тож спектрида фраунгофер чизиқлари кўринмаслигидан келиб чиққан ҳолда, истисно тариқасида Н ва К чизиқлари бўлиши мумкин, деган қарорга келишимиз мумкин. Агар  $T = 10^6 \text{ K}$  ва электроннинг атом оғирлиги  $1/1836$  ни (36) формулага қўйиб, чизиқ кенглигини қўполроқ қийматини олишимиз мумкин. Биз  $h \approx 120 \text{ \AA}$  эканлигини топамиз ва бу эса К тожда фраунгофер чизиқларининг йўқлигини кўрсатади. Бу усул ҳар доим ҳам қўлланилмайди ва амалий жиҳатдан  $T > 10^5 \text{ K}$  га тенг бўлиши мумкинлигини

кўрсатади. Тож 10–100Å соҳаларида етарлича керакли бўлган ( юмшоқ ) рентген нурланишларини тарқатади. Аниқ ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, рентген нурланишининг умумий интенсивлиги  $T = 0.75 \cdot 10^6$  К га мос келади. Ва ниҳоят, тож температураси сокин Қуёш радиокузатувларидан аниқланади ва паст тож учун  $T \approx 0.7 \cdot 10^6$  К натижа олинган.

Агар кўпайтма 2 ни йўқ деб фараз қилсак, унда  $10^6$  К қиймат — бу юқорида кўрсатиб ўтилган барча усулларга мос келувчи тож температурасининг яхши қийматиدير.

## ПРОТУБЕРАНЦЛАР ВА УЛАРНИНГ ТАБИАТИ

Протуберанцлар Қуёш дискининг четларида кўришиб туради. Улар ёруғ ёйларга ўхшаш тузилган, хромосферага яқиндек, аммо тожда жойлашган бўлади. Тож соҳаси кўпинча бевосита протуберанцлар билан қўшилиб кетган бўлади ва улар тож фониға нисбатан тўқроқ рангда бўлади. Бундан ташқари протуберанцлар Қуёш дискининг проекцияларида ҳам кузатилиб, бу ҳолда улар қора тола кўринишиға эга бўлади. Протуберанцлар спектри водород, гелий ва ионлашган калийнинг нурланиш чизиқларидан иборат бўлиб, спектр типи 20000К ҳароратни кўрсатади. Протуберанцлар моддаси — нинг зичлиги ўзини ўраб турган тожнинг зичлиғиға нисбатан икки марта катта бўлиб, ҳароратси эса икки марта кичик. Протуберанцлар доимо магнит майдон билан боғланган. Протуберанцлар ҳар хил шаклда бўлади. Умуман олганда улар ўз шаклини сақлайди, аммо унда унинг структураси билан боғлиқ сезиларли ҳаракатлар юз беради. Протуберанцларнинг гелиографик кенгликлар бўйича тақсимоти ва бу тақсимотнинг Қуёш активлиги цикли бўйича ўзгариши маълум бир даражағача аналогик бўладики, жами протуберанцларнинг 1/3 доғ гуруҳлари билан боғланган. Улар биринчи доғ гуруҳи ҳосил бўлғач, Қуёшнинг айланишидан сўнг пайдо бўлади. Тола бошланғич пайтда меридиан билан 38° бурчак ҳосил қилади, лекин Қуёшнинг дифференциал айланиши билан бу бурчак катталашади ва толани ғарб — шарқ йўналиши бўйича жойлаштиришиға ҳаракат қилади. Сокин протуберанцларнинг

қолган 2/3 қисми Қуёш доғлари соҳаларида, машғалларда ва доғларда жойлашган. Яхши ривожланган типик тола 8000 км қалинлик, 50000 км баланглик ва 200000 км узунликка эга бўлади. Толанинг ўртача узунлиги Қуёшнинг бир марта айланиши мобайнида 100000 км гача ортади. Протуберанцлар кўтарилиши ва фазога учиб чиқиши мумкин. Протуберанцлар аниқ ифодаланган траекторияга кўра хромосферага қайтиб тушиши ёки йўқолиши мумкин. Протуберанцларнинг тўсатдан йўқолиши жараёни бир қанча соат давом этади. Бир неча кундан сўнг йўқолган протуберанц ўрнида кўпинча ҳудди ўша шаклда янги протуберанцлар пайдо бўлади. Сокин протуберанцлар назарияси — уларнинг вужудга келишини, шунингдек Қуёшнинг бир неча марта айланишларини таъминловчи ва  $T = 10^6$  К тож моддасининг ичида  $\sim 10^4$ К ҳарорат билан ташкил этувчилар ҳосил бўлиш механизмини тушунтириб беради. Протуберанцлар тож моддасининг конденсацияси сабабли ҳосил бўлади ва улар доғнинг магнит куч чизиқларига ёки Қуёшнинг умумий магнит майдонида осилиб туради. Актив протуберанцлар тез ўзгарувчанлик ва ҳаракатланиш хусусиятига эга. Кўпинча сокин протуберанцлар актив протуберанцлар стадиясидан ўтади ва йўқолади ёки эрултив, яъни чақнаш вақтида модданинг тожга келиб тушиши натижасида содир бўлади.

## ҚУЁШНИНГ РАДИОНУРЛАНИШИ ВА РАДИОМОДЕЛИ

Қуёшнинг радионурланиши асосан иссиқлик характерга эга. Бу жараён Қуёш атмосферасининг шароитларини тушунишда катта аҳамиятга эга. Чунки нурланиш оптик ва радиодиапазонда ўз табиати бўйича бир — бирдан фарқ қилади. Қуёшнинг иссиқлик радионурланишлари актив соҳалари ва хромосфера чақнашлари соҳаларига боғлиқ. Иссиқлик нурланишлари электронларни ионлар билан тўқнашишидан ҳосил бўлади. Бироқ фазода маълум бир босқичда доғлар орасида актив соҳаларнинг ривожланишида ноиссиқлик табиатига эга манбалар ҳам кузатилади. Электронларнинг магнит куч чизиқлари атрофида ҳаракатидан фотонлар нурланади. Электронлар ноиссиқлик хусусиятига эга бўлган баъзи бир

фотонларни нурлантиради. Тож конденсацияси соҳаларида радионурланишларнинг тўсатдан кучайиши сантиметрли шовқинли тўлқинларда кузатилади. Бундай радиошовуллашлар плазманинг тезда қизиб кетиши билан ва Қуёшнинг чақнаш соҳаларида зарраларнинг тезлашиши билан боғланган. Шунингдек, тож конденсациясидан юқорида радионурланишнинг кучайиши кузатилади. Аммо метрли диапазонларда бўлиб, улар шовқин бўронлари дейилади. Улар бир неча соат, ҳатто бир неча кун давом этиши мумкин. Бу ерда кўпгина шовуллашларнинг давомийлиги частотанинг қисқа интервалларида бўлади. Радиошовқинларнинг учинчи типиде вақт ўтиши билан нурланиш частотасининг ўзгариши кузатилади. Умумий шовқинлар 10 сек га яқин давом этади. Шовқинларнинг бундай типиде чақнаш вақтида ташланган ва тож орқали 50000 км/с тезлик билан ҳаракат қилувчи зарралар оқимиши вужудга келтиради. III—чи типиде радиошовқинларни кузатишда 10% ҳолларда интенсивлик максимуми 3 м тўлқин узунлигида кенг интервалдаги радионурлар частоталари кузатилади. Бу радиошовқинларнинг V типидир ва улар 1—3 мин давом этади. Қуёшдаги кучли чақнашларда II типиде радиошовқинлар ўзгарувчан частотада бўлади. Улар 5—30 минут давом этади. Бу шовқинлар 1000 км/с билан ҳаракатланувчи зарбали тўлқинларда давом этади. Қачонки, зарбали тўлқин тожнинг баланд қисмига етганда, давомийлиги бир неча соатта етувчи радионурланишларнинг IV типиде, яъни частоталарнинг кенг диапазондаги узлуксиз нурланиши кузатилади. Юқорида шовқинларга берилган таърифлар турли хил наздик структурага эга ва улар Қуёшнинг барча радионурланишининг таърифи эмас.

Ютилиш коэффициенти (тўлқин узунлигида ҳисобланган) электронларнинг эркин—эркин ўтиши шартларида одатда қуйидагича ёзилади:

$$K \approx \frac{1x}{cn}, \quad (37)$$

Бу ерда  $n$  — магнит майдон бўлмаган ҳолдаги синиш коэффициенти

$$n = (1 - x)^{1/2}, \quad (38)$$

бу ерда

$$x = \left( \frac{f_c}{f} \right)^2 = \left( \frac{e^2 N_c}{\pi m_e} \right) \frac{1}{f^2} \quad (39)$$

Магнит-ион назариясининг бирликсиз параметрларидан бири. Бу ерда  $f_0$  — плазманинг хусусий частотаси ёки критик частота,  $c$  — вакуумдаги ёруғлик тезлиги,  $\nu$  — частотаси, бўлиб, у қуйидагига тенг бўлади

$$\nu = \frac{4}{3} e^4 \left[ \frac{\pi}{2m_e (kT)^3} \right]^{1/2} Z^2 N_e A_1 \quad (40)$$

бу ерда

$$A_1 = \ln \left[ 1 + \left( \frac{4kT}{Ze^2 N_e^{1/3}} \right)^2 \right] \quad (41)$$

Бу ерда  $Z$  — ионлашиш даражаси,  $N_e$  — бирлик ҳажмдаги ионлар сони. Бутун тож бўйича  $N_i = N_e$  ва  $Z = 1$  деб ҳисоблаш мумкин.  $A_1$  функция секин ўзгаришини эслатиб ўтамиз. (37) ифода синдириш коэффициенти нолга яқин бўлмаган ҳолдагина тўғри бўлади. Ютилиш коэффициенти — нинг нисбатан аниқроқ ифодаси қуйидагича:

$$K = \frac{8^{1/2} \pi f}{c} \left\{ \left[ \frac{(1-x)^2 + z^2}{1+z^2} \right]^{1/2} - \frac{1+z^2-x}{1+z^2} \right\}^{1/2} \quad (42)$$

бу ерда

$$z = \frac{\nu}{2\pi f} \quad (43)$$

— магнит-ион назариясининг бошқача параметри. (42) дан маълумки,  $n \rightarrow 0$  бўлган ҳолда ютилиш коэффициенти маълум бир охириг қийматга қадар ошиб боради ва таҳминан қуйидагига тенг бўлади

$$K(n \rightarrow 0) = \frac{8^{1/2} \pi f}{c} z^{1/2} \quad (44)$$

Шундай қилиб, агар биз нурларни олиб қарасак,  $n \rightarrow 0$  бўлганда, бу даражага яқинидан ўтувчи, унда ютилиш коэффициентининг (42) ва (44) ифодаларига нисбатан мураккаброқ ифодадан фойдаланишга тўғри келади. Радио-тўлқинларни ютилишини (38) формуладан ёки унга эквивалент бўлган, шунингдек, интеграллаш тож моддасининг синдириш кўрсаткичининг ўзгаришидан нур траекторияси ҳисобига бажарилувчи орқали ҳисоблаш мумкин. Нур траекторияси (агар тож сферик деб олинса) Снеллиус



қонунидан топилади. Бунда барча нурлар Қуёш марказини ташкил қилувчи текисликда ётади ва

$$nr \sin i = a, \quad (45)$$

га тенг бўлади. Бу ерда  $a$  — берилган нур учун доимий катталиқ,  $r$  — Қуёш бирлиги радиусларида ўлчанади,  $i$  — нурнинг текисликка тушиш бурчаги. Тож орқали ўтувчи ҳар қандай нур учун ушбу тенглик ўринлидир:

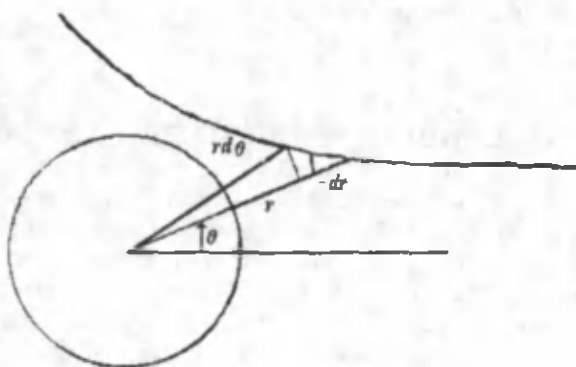
$$\frac{rd\vartheta}{dr} = -tgi. \quad (46)$$

Иккала (45) ва (46) муносабатдан

$$\frac{d\vartheta}{dr} = \frac{-a}{r(n^2 r^2 - a^2)^{1/2}}, \quad (47)$$

келиб чиқади ва шубҳасиз нур траекторияси тенгламаси

$$\vartheta = a \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{r(n^2 r^2 - a^2)^{1/2}}. \quad (48)$$



14 — расм. Тождаги радионур траекторияси

кўринишга келади. Модел танлаб олингач, синиш коэффициентини ҳар бир нуқта ва нур траекторияси учун (48) бўйича ҳисобланади. Ҳар бир траектория бурилиш нуқтасига эга ва шубҳасиз нур бизгача тўғри ва қайтган ҳолда етиб келиши мумкин. Тарқалувчи радионурлар қайтган траектория ҳисобига кучли ютилади. Қуёш сиртидан траекториянинг қисқа масофаси  $r_c$  ни топиш учун  $i = 90^\circ$  ни (45) тенгламага қўйиб,  $r_c = a/n$  ни ҳосил қилиш мумкин.

Айтиб ўтамизки, биз нурланишдан олган  $r_c$  қиймат тож —

нинг хажмини аниқлайди. Шундай қилиб, радиодиапазоннинг маълум бир тўлқин узунлигида биз тожнинг нурланишини фотосфера нурланишисиз кузатишимиз мумкин. Бу нур Қуёшнинг энг чуқур қисмларигача кириб боради ва  $a=0$  учун бу ерда  $n = 0$ ,  $x = 1$ .  $x > 1$  учун ( $f_0 > f$  бўлган ҳолда) синдириш кўрсаткичи энг кичик қийматга эга бўлади ва нурланиш ютилади. Тожни метрли тўлқинларда кузатишдан тожнинг температураси  $10^6\text{K}$  эканлигини топамиз. Агар тўлқин узунлиги етарлича кичик бўлса, унда нурнинг траекторияси хромосфера бўйлаб бўлади. Мос частоталарни кузатиш — қимматли маълумотларни бермоқда ва оптик кузатувлар натижалари билан мос келмоқда. Берилган мос частотада кузатилаётган нурланиш бутунлай хромосфера ёки тожда пайдо бўлади дейиш мумкин. Масалан, 30000 МГц частоталардаги кузатувлар фақат хромосферада пайдо бўлувчи нурланишга, 60 МГц частотадагилар эса фақат тож нурланишларига тегишлидир.

## ҚУЁШНИНГ УМУМИЙ МАГНИТ МАЙДОНИ

Ҳозирги кунда яхши маълумки, Қуёшнинг барча актив соҳалари магнит майдон билан боғланган. Бироқ Қуёшнинг умумий магнит майдони ҳақида муаммо кўп вақтгача тушунарсиз бўлиб келди. Сезувчан магнитометрларнинг кашф этилиши туфайли, Қуёшнинг умумий магнит майдони борлиги аниқланди. Унинг жуда кучсиз эканлиги (1гс га яқин) ва уни актив соҳалар яқинида ўлчаб бўлмаслиги маълум бўлди. Қуёшнинг умумий магнит майдони юқори кенгликларда яхши кузатилади ( $55^\circ$  дан юқорида). Қуёшнинг умумий магнит майдон қандай келиб чиқиши ва мавжудлиги жуда оғир ва мураккаб масаладир. Бу муаммони ечиш учун жуда кўплаб назариялар ишлаб чиқилган.

1. Майдон "реликт" ҳисобланади ва натижада Қуёшнинг номагнит газ—чанг муҳитдан ҳосил бўлади. Магнит майдоннинг сўниши вақти қуйидаги формуладан топилади

$$4\pi\sigma \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} = \nabla^2 \bar{B}. \quad (49)$$

Ўтказувчанлик  $\sigma$  ни тахминан қуйидагича ифодалаш мумкин

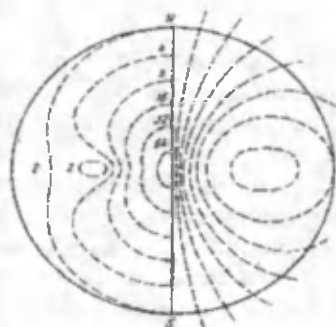
$$\sigma = 2 \cdot 10^{-14} \frac{T^{3/2}}{Z}, \quad (50)$$

$Z$  — ион заряди Қуёшнинг бағрида магнит майдон таъсирида ўтказувчанлик ўзгармайди. Агар бизни фақат катталик тартиби қизиқтираётган бўлса, (49) ни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин

$$4\pi\sigma B \approx \frac{H}{l^2} \quad (51)$$

ёки

$$t_0 = 4\pi\sigma l^2. \quad (52)$$

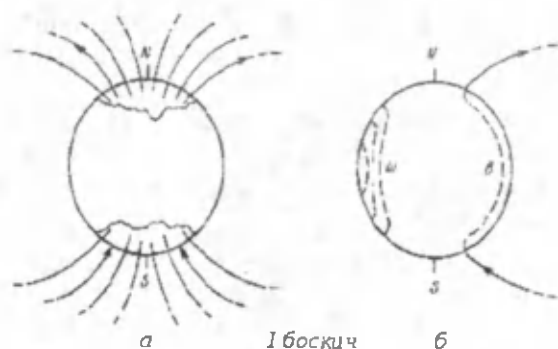


15 — расм. Қуёш магнит майдони модел.

Бу ерда  $l$  — чизиқли ўлчовни характерлайди. Айтиб ўтамизки, сўниш даври магнит майдон кучланишига боғлиқ эмас. (49) тенглама диффузия тенграмаси кўринишига келади. Бу механизм магнит майдонида сўниш механизмини кўрсатади, у қаерда майдон қарама — қарши йўналишига эга бўлса, шундай соҳаларига киради ва нейтраллашади.

Қуёшнинг умумий магнит майдони учун характерли ўлчов  $R_{\odot}$  ( $l \approx 2 \times 10^{10}$  см) қабул қиламиз ва электромагнит бирлик  $\sigma \approx 10^{-4}$  қўямиз (Қуёш ички қатламлари учун). Бу сонни қўйиб, биз  $t_0$  қ  $10^{10}$  йил эканлигини, яъни Қуёш тизимнинг ёшидан катта эканлигини топамиз.

Қуёшнинг умумий магнит майдони ҳақида қолган назарияларни тоқларининг пайдо бўлиши ва мавжудлиги бўйича тушунтиришга ҳаракат қилинади. Қисқача қилиб қуйидагиларни айтиш мумкин.



16- расм. Бэбкок назарияси бўйича Қуёшнинг магнит майдони модели

1. Электр зарядлар ҳаракати кетма-кетлигидан Қуёшни айланиши билан майдон ҳосил қилинади. Бироқ Қуёш моддасининг заряди жуда катта ва айланишни вужудга келтирувчи майдон назарга олинмайди.

2. Майдон термик фактор ва босимнинг биргаликдаги ҳаракати туфайли содир бўлади. Қуёшнинг электрон босими ва айланиш градиентлари меридиан текислигида ҳаракатланувчи тоқларни вужудга келтириши мумкин. Бу тоқлар азимутал майдонларни ҳосил қилади. Бироқ, Қуёшнинг умумий магнит майдони — кўрсатилган йўл бўйича полоидал майдон ҳосил қилиш мушкул ва босим эффеќти фойдаланилган назария кўринишидан арзимасдир.

3. Майдон "динамо механизми" дан пайдо бўлади. Қуёш моддасининг ҳаракати куч чизиқларига кўнгаланг ҳолда мавжуд магнит майдонида тоқлар ҳосил қилади, бу тоқлар ҳосил қилинган майдонни кўлаб-қуватлайди. Ҳаракатлар, айнан динамо механизми таъсир этишини исботи муваффаќиятсиз бўлди ва бошқа томондан буни инкор этиб бўлмайди.

4. Майдон турбулент ҳаракатлар таъсирида пайдо бўлади. Шунга айтиш мумкинки, магнит майдон билан турбулент ҳаракатларнинг боғланиш таъсири жараён ниҳоясида энергия аналогик тақсимланган турбулент магнит майдон ҳосил қилади. Бундай механизмининг ҳаракати натижасида Қуёшнинг умумий майдони учун қабул қилиб бўлмайдиган

норегуляр қисқа масштабда майдонни вужудга келтиради. Айтиб ўтамизки, Қуёшнинг умумий магнит майдонинг қутубланиши активлик цикли бўйича ўзгаради ва буни барча назарияларда эътиборга олиш керак бўлади.

### ҚУЁШ СПЕКТРИ

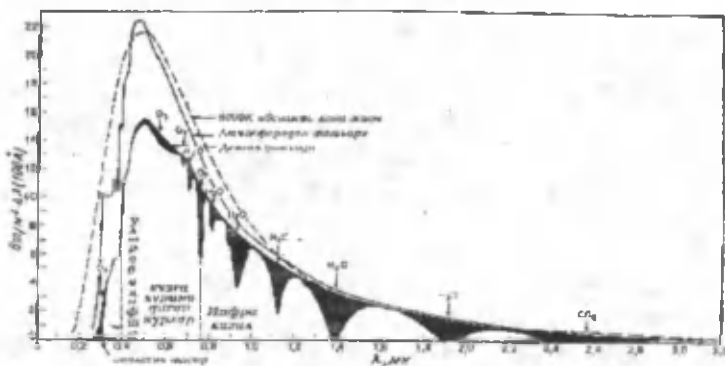
Ҳали бирорта ҳам космик объектнинг спектри Қуёш сингари чуқур ўрганилган эмас. Бугунги кунда  $0.001\text{Å}$  дан  $1\text{ км}$  гача бўлган барча спектрал чизиқлар ўлчанган. Спектрнинг оптик диапазонда оптик чизиқлар сони 30 мингдан ошади. Маълумки, немис олими Кирхгоф биринчи бўлиб Қуёш спектрал чизиқлари рўйхатини тузган ва ҳозирги пайтгача сақлаиб қолган энг ёрқин чизиқлар тушунчасини киритган. Спектр диапазонларини нурланиш қабул қилгичларига боғлиқлигини кўриб ўтамиз.

*Гамма ва рентген нурланишлари.* Қуёш гамма диапазонида нурланади дейишга ҳеч қандай асос йўқ. Бироқ чақнаш ҳодисаси бундай нурланишларнинг манбаи бўлиши мумкин. Масалан, 1958 йил 28 мартда бўлиб ўтган чақнаш вақтида (2 балл)  $0.5\text{ МэВ}$  энергияли гамма нурланиш чақнаши 18 минут давомида кузатилди. Қуёш чақнаши даврида қаттиқ рентген нурланишлари ҳам аниқланди. Бу диапазонларда спектрнинг нурланишини фақат атмосферанинг юқори қатламларида кузатиш мумкин. Масалан, 2 дан  $20\text{ Å}$  гача бўлган рентген нурлари  $100\text{ км}$  дан паст бўлмаган баландликларда қайд этилади. Рентген нурланишлари Қуёш активлиги билан аниқ корреляцияланади. Қуёшнинг ( $20 - 60\text{Å}$ ) рентген нурларидаги ва хромосфера флоккулаларидаги тасвири улар орасида қатъий боғланиш борлигини исботлайди. Қуёш чақнашлари спектри бир неча миллион Келвин температурага мос келади. Тожнинг "иссиқ" соҳаларида ёки тож конденсациясидаги нурланиш энергияси қарийиб  $6 \cdot 10^6$  гра — дус ҳароратга мос келади. Нурланиш чексиз спектрдан (эркин — эркин ўтиш) ва тўғри чизиқли спектрдан (электрон зарбалардан ўйотилган) иборат. Бир мунча интенсив чизиқлар  $\text{FeXXVI}$  ( $\sim 2\text{Å}$ ) га тегишли. Бу темирнинг бир электронли ионларидир. Бир электронли атомларнинг тўлқин узунлиги  $\sim Z^{-2}$ . Темир бу Қуёш атмосферасида кўп учрай — диган элементдир ва шунинг учун нисбатан қисқа тўлқин

узунликдаги сезиларли интенсивлик чизиқларини учратиш эҳтимоллиги кам. Юмшоқ рентген нурланишлари (40–100 Å) асосан электрон зарбалар билан ўйғотилган юқори ионизациялаштирилган элементларнинг ҳал қилинган чизиқларидан иборат. Спектрнинг бу диапазонида кузатиладиган нурланиш оқимлари Қуёшнинг сокин даврида  $0.1 \text{ эрг/см}^2$ ни ташкил қилади ва оқим активлик максимумларида икки марта ошади.

*Четки ва узоқ ультрабинафша нурланишлар.* Спектрнинг бу соҳаларида тўлқин интервали 100 дан то 3000 Å гача кўтарилади. Тожда қисқа тўлқинли қисм пайдо бўлади, узун тўлқинли қисм хромосфера ва фотосферанинг пастиди нурланади. Бу нурланишнинг кўпроқ қисми сокин Қуёшда пайдо бўлади, деб ҳисобланади. Сезиларли узлуксиз спектр 1800 Å дан катта бўлган тўлқин узунлигида пайдо бўлади. Нурланишнинг нисбатан қисқа тўлқин узунликли қисмлари чизиқларда кузатилади шуниси қизиқарлики, 2000 Å гача бўлган нурланишлар 5000К ҳароратга эга, 3500 Å соҳаларида эса у 6000К га яъни спектрнинг оптик диапазонидаги ҳароратга яқинлашади. Ультрабинафша нурларда энг ёруғ чизиқлар –  $\text{H}_\alpha$  чизиқларидир. Ўлчанган оқим қарийиб  $6 \text{ эрг/см}^2$  с ни ташкил этади. Бу нурланиш чақнаш даврида кучаймайди ва у доимийдир. У Қуёш активлиги билан боғлиқ бўлади.

*Оптик нурланишлар.* Оптик нурланиш асосида биз



17—расм. Қуёш спектрида энергия тақсимотининг денгиз сатхи ва ер атмосфераси чегараларида эстраполяцияси

3000 Å дан (азонда ютилувчи) 13800 Å гача (сув буғларида ютилувчи) бўлган тўлқин узунлиги интервалига тўғри келувчи Қуёшдан келаётган умумий энергия оқимиши тушунализ. Бу 17-расмда схематик тасвирланган. Қуёшнинг энергия тақсимотини умумий тасвирини Ер атмосферасида энергия ютилишини ҳисобга олиб топишимиз мумкин. Бу нурланиш 6000 К ҳарорат билан мутлоқ қора жисмга мос келади. Бу ҳарорат диск марказига оиддир. Четта томон қоронгулашиб бориш эса четларда эффекив ҳарорат бирмунча пастроқ, яъни 3750 К га тенг эканлигини кўрсатади. Қуёш нурланишининг асосий қисми узлуксиз спектрнинг оптик диапазонига тўғри келади. Юқорида айтиб ўтилганидек, бу соҳада жуда кўп чизиқлар мавжуд. Фраунгофер кўрсатмасига мувофиқ, натрийнинг 5890 Å ли чизиғи D чизиғи, Са II λ 3934 Å ли чизиғи К чизиғи ва бошқа белгиланган.

*Инфрақизил нурланишлар.* Спектрнинг бу соҳаларида (1.4–24 мк) Ер атмосфераси молекулаларга, хусусан, Н<sub>2</sub>O ва СО<sub>2</sub> га кучли ютилиши кузатилади. Бунга қарамасдан, Инфрақизил(ИК) нурлар спектрини кузатиш мумкин.

Инфрақизил нурларни Ер сиртида кузатишнинг бир неча усуллари бор. Нисбатан узун тўлқинли қисмларда нурланиш сув буғларида кучли ютилганидан, шубҳасиз бизга кўринмайди. ИҚ нурлар спектри Ер атмосферасига кўпгина ахборотларни берсада, у Қуёшни ўрганишда ҳам фойдали аҳамиятга эга. Бундан келиб чиқадики, Қуёш атмосфераси 17 000 Å тўлқин узунлигида шафоф минимумга эга ва бу тўлқин узунлигида атмосферанинг чуқур қатламларини кузатиш мумкин.

*Радионурланишлар.* Радиотирқиш 8 мм дан 15 ммгача кенликда бўлади. Қисқа тўлқинли қисми сув ва кислород молекулаларининг ютилиши билан, частота белгисидаги узун тўлқинли қисми эса Ер ионосферасида қайтувчи узун тўлқинлар билан бошланишини қамраб олган. Сантиметрли радиодиапазонда энергия тақсимоти 10<sup>4</sup> К ва метрли диапазонларда 10<sup>6</sup> К га етади. Дециметрли тўлқин узунликларда нурланишнинг аста-секин ўзгариши кузатилади ва улар "секин ўзгарувчи компоненталар" тушунчасини олган. Бу компоненталар ~100 000 км баландликда фотосферанинг устида жойлашган бўлади ва хромосфера флоккулалари билан боғланган. Бу компоненталарнинг жойлашуви билан

доғларнинг жойлашуви орасида коррелация кузатилади. Бу радиотўлқинларнинг генерацияси учун шубҳасиз доғлар са – бабчидир. Фотосфера устида  $\sim 300000$  км баландликда ўл – чанган бу соҳаларнинг ҳарорати тахминан  $10^6$  К, яъни тож – нинг ҳароратидек бўлади. Модда зичлиги нормал тожнинг қўшни соҳаларига нисбатан уч марта катта. Кўриниб ту – рибдики, бу компонента тожнинг зич соҳаларида юзага ке – лувчи иссиқлик табиатига эга.

*Гелиосейсмология.* Сейсмология фани ўтган асрнинг 60–70 йилларида ривожлана бошлаган бўлиб, бугунги кунда Қуёшнинг ички тузилишини тадқиқ қилишнинг асосий усуллари дан бири ҳисобланади. Бу давр ичида фаннинг барча соҳаларида кўшлаб ҳодисаларда кузатилувчи турбулент жараёнлар тушунчасига катта қизиқиш ўйғонди. Қуёшдаги ностационар жараёнларга қўлланилиши натижасида бу ку – затув, айниқса, муваффақиятлар бўлди ва астрофизиканинг янги жабҳаси – гелиосейсмология пайдо бўлди. Бу фаннинг кузатиш принциплари флукутуация интенсивлиги ёки Қуёш бутун диски ва унинг аълоҳида қисмларида дошлер сил – жишлари маълумотлари олиниб жамланади. Бу ўзгаришлар Қуёш моддасининг акустик тўлқинларга ўтишидан содир бўлади.

Бу тизимда ҳудди атом ҳодисасидаги сингари турли частоталарга эга бўлган тўлқин ўйғотилади ва ўзаро интер – ференцияланади. Қуёшнинг ичида тўлқинлар товушининг локал тезлигида тарқалади, қайсики зичлик  $\rho$ , босим  $p$  ва ҳарорат тақсимоти асосида аниқланади.

$$c = (\gamma p / \rho)^{1/2}, \quad (53)$$

бу ерда  $\gamma$  – адиабата кўрсаткичи. Параметрлар юдуз мар – казидан  $r$  масофада ўзгаргани сари тез ўзгариб боради. Шунинг учун Қуёшнинг сиртида тўлқин ҳаракатларни суперпозициянинг мураккаб манзараси регуляр тебранишлар кўринишида, яъни кўринма сиртнинг сиқилган ва дискнинг барча соҳаларида кузатилади. Бундай тебранишларнинг спектр қуввати Қуёшнинг динамик индивидуаллигини ва тузилишини жуда яхши акс эттириб беради.

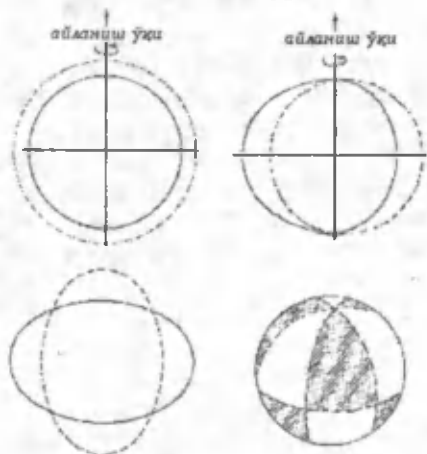
Тебранишларнинг чизиқли назарияси Қуёшнинг хусусий тебранишларга кўра бой спектрга эга бўлиши кераклигини



тасдиқлайди. Охиргиси  $n$  тартибда,  $l$  даражали ва азимутал ссн  $m$  га кўра характерланади. Бундай тебранишларнинг (сферик тип) вектор майдони қуйидаги кўринишга эга бўлади

$$\vec{v}_{lm}(r, \vartheta, \varphi) = \text{Re} \left\{ \left[ rU(r) + \vartheta V(r) \frac{\partial}{\partial \vartheta} + \varphi W(r) \frac{1}{\sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \right] Y_l^m(\vartheta, \varphi) \right\}, \quad (53)$$

бу ерда  $r, \vartheta, \varphi$  — сферик координаталар системасининг бирлик вектори;  $U(r)$  ва  $V(r)$  радиал ва горизонтал силжишлар учун ифодага мос келувчи коэффициентлар;  $Y_l^m(\vartheta, \varphi)$  — комплекс кўринишдаги нормаллаштирилган сферик функция;  $e^{i\omega t}$  — бу  $\omega$  ташлаб юборилган ҳолдаги вақтли кўпайтувчи. Тезликнинг нол нуқталар сони радиус ҳисобига қуйидагига тенг  $|n|$ ;  $-l \leq m \leq l$ . Қуёш сиртида силжишлар тасвири паст даражали тебранишларнинг баъзитиплари қуйидаги 18 расмда кўрсатилган. Каулинг классификациясига



18 — расм. Қуёш сиртида паст даражали тебранишларнинг баъзи типлари

мос келган ҳолда  $n < 0$  тебранишлар  $-g$  модалар (гравитацион),  $n > 0$  бўлганда  $-p$  модалар (акустик) вал=0 бўлганда  $-f$  модалар (фундаментал) дейилади. Гравитацион типдаги ( $g$  — мода) тебранишлар учун асосий тикловчи куч — оғирлик кучидир. Бу модалар Қуёш ичига чуқур киради ва унинг ички тузилиши

ҳақида ахборот беради.  $p$  мода учун босим катта рол ўйнайди.  $p$  модалар кўпинча Қуёш сиртида концентрациялашади.  $p$  ва  $g$  модалар даврлари асосий диапазонларда мос ҳолда  $\sim 3-40$  мин ва  $\sim 40-320$  мин.

160 минут давом этувчи глобал ва "беш минутли" Қуёш тебранишлари ҳам кузатилган бўлиб, улар Қуёшнинг бутун

сиртини эгаллаб олади. Нисбатан юқори частотали тебра — нишлар кўпроқ Қуёш сиртининг алоҳида соҳаларини эгаллаб олади ва шунинг учун улар атмосферага чуқур кириб бора олмайди. Булардан фарқи равишда паст частотали тебра — нишлар кўпроқ чуқурликка кириб бориши мумкин. Паст частоталарни кузатиш натижаларига кўра, конвектив қобиқ оддин қабул қилинганга нисбатан чуқурроқда жойлашган ва 0.7 R гача ёйилган. Бу муҳим натижалардан бири ҳисобланади. Нисбатан узун даврларни излаш — 160 минутли тебранишларни топиш имконини берди. Қуёшда узлуксиз кузатувни таъминлаш учун Антарктидага экспедиция ташкил қилинди. Қуёшда тебранувчи жараёнлар ҳақида янги ғояларнинг ривожланиши билан мумкин бўлган узлуксиз қатор олиш учун Ер юзасининг барча сирги бўйича кузатув тармоқлари ўрнатилди. Қуёшни текшириш бўйича охириги 10 йилликда космик кузатувлар билан биргаликда лойиҳалар ишлаб чиқилди. Ўзбекистон Қуёш тадқиқотининг юқори частотали (TON) ва паст частотали (IRIS) лойиҳаларига аъзо ва бу йўналишларда муҳим тадқиқот ишлари амалга оширилмоқда ҳамда муҳим натижалар қўлга киритилмоқда. Бу борада қўлга киритилаётган асосий натижалардан муҳимларини кўрсатиб ўтиш мумкин. Биринчи бўлиб Қуёшнинг ичига "нигоҳ" ташланди ва юқорида таъкидлаб ўтилганидек, конвектив зонанинг пастки зонаси биз билган олдинги натижаларга нисбатан чуқурроқда эканлиги аниқланди. Қуёшнинг ички қатламлари ҳудди сиртқи қатламлардагидек дифференциал айланади. Қуёшнинг ядроси эса оддин қабул қилинганга нисбатан бир ярим марта секин айланар экан. Қуёшдаги унча катта бўлмаган соҳаларда, хусусан, доғ соҳаларидаги тебранишларни ўрганиш — уларнинг жойлашиш чуқурлигини аниқлаш имконини беради. Доғларнинг ўлчови ва чуқурлиги олдинги кўрсаткичларга яқин эканлиги топилди. Қуёшни тадқиқ қилишнинг янги услублари бизнинг илмларимизни янада бойитишга ва Қуёш ички моддасининг реал моделларини яратишда катта имкон яратади.

*Қуёшнинг пайдо бўлиши.* Юлдузлар пайдо бўлиши — нинг замонавий концепциясига кўра, Қуёш газ — чанг материясидан вужудга келган. Бу гипотезаларнинг ҳар бирига тўхталиб ўтмасдан, уларнинг баъзи муҳим жиҳатларинигина эслатиб ўтамиз. Маълумки, Қуёш водороднинг нисбатан оғир

элементлар билан аралашмасидан ҳосил бўлган, қайсики, катта ёшли юлдузларнинг ичида синтезланган. Қуёшнинг устки қатламлари ва ички моддаларининг кўчиши аҳамиятга эга эмас. Бу ердан Қуёшнинг ташқи қатламларининг кимё — вий таркиби Қуёш пайдо бўлган бошланғич юлдузлараро муҳит таркиби келиб чиқади. Бу эса Қуёшни бизнинг Галактикамизнинг учинчи авлодига тегишли эканлигини кўрсатади. Юлдузлараро моддада юлдузлар конденсация ҳосил бўлиши муаммоси яъни юлдузлараро магнит майдоннинг ва турбулент ҳаракатнинг тасвирини ҳисобга олишга тўғри келади. Ҳатто бу ҳолда, қачонки шарт қаноатлантирилса, биз назарий қийинчиликларга дуч келамиз. Масалан, протоюлдузни кўпинча газ булутидан ҳосил бўлган, бир неча парсекдан иборат бўлган ҳарактерли ўлчамга эга деб ҳисоблаймиз. Бундай ўлчовли булут сиртида айланиш тезлиги  $\sim 0.1$  км/с бўлиб, Галактиканинг дифференциал айланиши билан шартланган тезликка эга бўлади. Агар бундай булут ҳаракат миқдори моменти сақланиши билан сиқилса, у ҳолда юлдуз ҳосил бўлувчи сиртда айланиш тезлиги ёруғлик тезлигида ошади. Шунинг учун эффектив тўхтатувчи механизм кириштириш шарт. Масалан, ҳудди юлдузлараро модда билан магнит тортишиш каби. Сиқилиш юлдузни бош кетма — кетликка олиб келади ва бу жараёнда гравитацион энергиянинг иссиқлик ва нурланиш энергиясига узлуксиз айланиши кузатилади. Юлдуз энергияси иссиқлик ёки ички энергияга тенг бўлади:

$$U = \int_0^R \left[ \frac{3kT(r)}{2m} \right] 4\pi\rho(r)r^2 dr \quad (54)$$

бу ерда  $m$  — зарраларнинг ўртача массаси ( $\approx m_p/2$ );  $m_p$  — протоннинг массаси. Гравитацион энергия эса

$$\Omega = - \int_0^R \left[ \frac{GM(r)}{r} \right] 4\pi\rho(r)r^2 dr, \quad (55)$$

ҳарорат  $T(r)$  ва зичлик  $\rho(r)$  марказгача бўлган масофага боғлиқ ва  $M(r)$  —  $r$  радиусли сфера ичида ҳисобга кирувчи масса. Мувоzanат вазиятидаги юлдузлар учун вириал теоремаси ўринлидир.

$$2U + \Omega = 0. \quad (56)$$

Сонли интеграллашлар шуни кўрсатадики, сиқилган Кел —

вин — Гелмголд босқичда қачонки юлдуз шаффоф бўлса, го — мологик ҳисоланади, яъни юлдузлар радиусининг қисқаришидан унинг масса тақсимоти ўзгармайди. Шундай экан вириал теоремасига кўра, мувозанат конфигурацияси тартибидан ўтиб, агар юлдуз сиқилса, унда ажралган гравитацион энергиянинг биринчи ярми иссиқлик энергиясига, иккинчи ярми эса нурланишга айланади. Бунда сиқилиш мобайнида ички энергия ортади, массалар тақсимоти ўзгармайди, бу эса ҳароратнинг ортишига олиб келади. Бу жараён марказда ҳарорат  $10^7$  К гача етгунча, қайсики, ядровий реакциялар нурланишининг етарли эффектив манбалари бўлмагунча давом этади. Юлдузлар эндигина энергия ажратишининг янги манбалари билан мувозанатга эришиб, сиқилиш тугайди ва жуда узоқ вақт давом этувчи бош кетма — кетликдаги яшаш даври бошланади.

### ҚУЁШ МОДЕЛЛАРИ

Қуёшнинг назарий моделларини яратишда кўпинча у айланмайди, ёрқинлиги ўзгармас, симметрик сферик ва гидростатик мувозанат вазиятида деб қаралади. Охирги тасдиқ бу Қуёшнинг ҳар бир нуқтасида ташқарига йўналган босим кучи марказга йўналган оғирлик кучи билан мувозанатлашади. Ҳар бир элементар  $dV$  даги босим

$$-\frac{dP}{dr} dV \quad (57)$$

ва унга тасир этадиган гравитацион тортиш кучи

$$\frac{GM(r)\rho}{r^2} dV \quad (58)$$

гидростатик мувозанат ҳолати қуйидаги кўринишга эга бўлади,

$$\frac{dP}{dr} = -\rho \frac{GM(r)}{r^2} \quad (59)$$

яъни Қуёшнинг бутун хажмида босим ўзгаришини ифодалайди. Массалар тақсимоти оддий тенгламага бўйсунди.

$$\frac{dM(r)}{dr} = 4\pi r^2 \rho. \quad (60)$$

Қуёшнинг марказида ажралган энергия узлуксиз нурланиб туради, энергия тўлланиши содир бўлмайди, йўқса Қуёш ўзининг мувозанатини йўқотади. Қуёш хажмида қатъий ба — жарилувчи, келувчи ва кетувчи энергиянинг тўлиқ баланси

$$\frac{dL(r)}{dr} = 4\pi r \rho \varepsilon^2 \quad (61)$$

$L(r)$  – энергия оқими,  $\varepsilon$  – энергия ажралиш тезлиги. Юқорида келтириб чиқарилган тенглама энергия кўчирили – шига таълуқли энергиянинг нурланиш ( нур кўчириш ) ёки конвекция (модда билан бирга) билан кўчириш мумкин. Энергияни нурий кўчиришда қуйидаги тенгламадан фойда – ланамиз

$$\left[ \frac{dT}{dr} \right]_{\text{конв}} = \frac{3K\rho L(r)}{4\sigma T^3 4\pi r^2} \quad (62)$$

$K$  – масса бирлигидаги ютилиш коэффиценти,  $s$  – ёруғлик тезлиги,  $\sigma$  – Стефан – Болцман доимийси. Энергия кў – чиришнинг икки механизми (конвекция) агар қуйидаги тенгсизлик бажарилса эффе́ктив кўрсаткичга эга бўлади, яъни кузатилаётган ҳажмда ҳароратнинг реал градиенти адиабатик ошади

$$\left| \frac{dT}{dr} \right| > \left| \frac{dT}{dr} \right|_{\text{ад}} \quad (63)$$

Конвекция доим реал градиентни кичрайтиришга интилади ва уни адиабатик қийматга яқинлашишга интилади. Бу жараён Қуёш ички қатламлари учун эффе́ктив ва у ерда градиентлар орасидаги фарқ жуда кичкина, конвектив му – возанат шароитидаги қатламлар учун адиабатик градиент реал градиентга яқин бўлиб қолади. Адиабата тенгласини қуйидагича ёзишимиз мумкин.

$$\rho = \text{const} P^\gamma, \quad (64)$$

бу ерда  $\gamma = c_p/c_v$  – солиштирма иссиқлик сифими муносабати. Изоляциянинг юқори даражаларида  $\gamma = 5/3$ . Идеал газ ҳолат тенгласидан фойдаланиб, осонликча қуйидагини олиш мумкин

$$\left[ \frac{d \ln T}{d \ln P} \right]_{\text{ад}} = 1 - \frac{1}{\gamma} \quad (65)$$

Гидростатик мувозанат тенгласидан фойдаланиб, берилган тенгламани қуйидаги кўринишга келтириш мумкин.

$$\left[ \frac{dT}{dr} \right]_{\text{ад}} = \frac{dP}{dr} T \left( 1 - \frac{1}{\gamma} \right) \quad (66)$$

Ҳосил қилинган тенглама нурий мувозанат тенгласига,

яъни ички иссиқлик энергияни ташқарига чиқариш механизми Шварцшильд мезони билан аниқланади.

Биз бу ерда Қуёшнинг ички энергия манбаларига тўх — талаб ўтмаймиз, чунки бу ҳақда умумий астрофизика курс — ларида кенг ёритилиб берилган. Қуёш моделини таърифлаш учун биз "Юлдузлар физикаси " курсидан моддаларнинг ўз навбатида кимёвий тузилишига боғлиқ бўлган модданинг шаффофмаслигини эсга олиш лозим. Қуйида юлдузларнинг ички тузилишини, шунингдек Қуёш моддаси ва структураси таърифига тўғри келувчи тенгламалар келтирилган. Бу тенгламалар тўртта:

1) Гидростатик мувозанат тенгламаси

$$\frac{dP}{dr} = -\rho \frac{GM(r)}{r^2}, \quad (67)$$

2) Масса тақсимоти тенгламаси

$$\frac{dM(r)}{dr} = 4\pi r^2 \rho, \quad (68)$$

3) Энергия баланси тенгламаси

$$\left[ \frac{dL(r)}{dr} \right]_{\text{net}} = 4\pi r^2 \rho \epsilon, \quad (69)$$

4) Нур тарқатишда энергия кўчириш тенгламаси

$$\left[ \frac{dT}{dr} \right]_{\text{net}} = -\frac{3K\rho L(r)}{4\sigma T^3 4\pi r^2}, \quad (70)$$

ёки конвекция

$$\left[ \frac{dT}{dr} \right]_{\text{con}} = \frac{dP}{dr} \frac{T}{P} \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right). \quad (71)$$

Бу тўртта тенгламага газнинг ҳоссабини ифодаловчи учта муносабатни қўшиш керак:

1) идеал газ тенгламаси,

$$P = \frac{k\rho T}{\mu m_H}, \quad (72)$$

2) ютилиш коэффициенти формуласи,

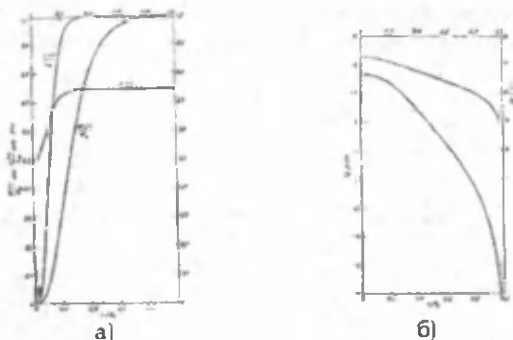
$$K_{\text{(optn-ctn)}} = 4 \cdot 10^{24} \frac{\bar{\kappa}}{l} Z(1+X) \frac{\rho}{T^{3/2}}, \quad (73)$$

3) энергия генерацияси тезлиги учун протон — протон циклига кўра аниқлаш формуласи

$$\rho \epsilon_{pp} = \epsilon_0 \rho^2 X^2 \left(\frac{T}{10^6}\right)^4. \quad (74)$$

Бу тенгламалар ёрдамида ва мавжуд чегараланган шартлар

асосида ( маркази ва сирти учун) Қуёшнинг таркибини аниқлаш мумкин (19— расм). Афсуски, унинг аналитик ечими йўқ ва шунишг учун саноқ тахлилидан фойдаланишга тўғри келади ва қатламлараро қатлам модели паст таркибли оғир элементларнинг (Z) ўрнатилади.



19— расм. а) Вейман модели кўра, Қуёш ёритилганлиги, унинг массаси ва унинг моддасидаги водороднинг нисбий таркибини чуқурлиги бўйича ўзгариши. б) Вейман моделга кўра Қуёшда чуқурлик бўйича ҳарорат ва зичликнинг ўзгариши

Бундан ташқари Қуёшнинг таркибини ўрганишга бўлган стандарт уринишлар учун бир қадар моделлар бўлиб, улар ностандарт деб юритилади. Улардан энг қизиқарлиларини келтириб ўтаемиз:

- 1) Қуёшнинг марказий соҳасида модели,
- 2) Қуёшнинг марказий соҳасида модданинг аралашиб турган модели,
- 3) кучсиз  $^3\text{He}$  турбулент диффузиянинг юқори концентрацияли  $^3\text{He}$  билан Қуёшнинг марказига кўра модели,
- 4) кичик темирга ўхшаш Қуёш ядроси билан тузилган модели,
- 5) Қуёш ядросининг модели асосан оғир элементлар ва космик кимиёвий таркибдан иборат бўлган модели,
- 6) Қуёшнинг марказий соҳаси тез айланишини ифодаловчи модели,
- 7) Қуёшнинг марказий соҳаларида кучли магнит майдондан иборатлигини ҳақидаги модел,
- 8) Қуёш моддаси ўзаро таъсир кучи кучсиз бўлган массив

- зарралардан иборатлигини тахмин қилувчи модел
- 9) Баъзи атом ядроларида ядровий энергетик боғлиқлигини кучайтирувчи яшрин заррачалар мавжудлиги фараз қилинган модел.
  - 10) Бугунги кунда Қуёшнинг марказий соҳасида ядровий энергия генерацияси камайиш жараёни юз бераётганлигини ифодаловчи концепция
  - 11) Қуёшнинг маркази қора ўрадан иборат эканлиги тахмин қилинган модел



### **Агабиётлар**

1. Антонова Л.А. ,Иванов-Холодный Г.С. Солнечная активность и ионосфера, М.:Наука, 1989.
2. Брандт Дж., Ходж П. Астрофизика солнечной системы. – М.: Мир, 1967
3. Витинский Ю.И.Солнечная активность, М.:Наука, 1983
4. Витинский Ю.И.Солнце и атмосфера Земли. Гидрометиздат, 1976
5. Гибсон Э., Спокойное Солнце, , М.:Мир, 1977
6. На переднем крае астрофизики. Рег. Ю. Эвретт, , М.:Мир, 1979
7. Оль А.И., Витинский Ю.И.и др. Солнце и атмосфера Земли, Гидрометиздат, 1976
8. Пикельнер С. Б., Цытович В.Н., Физика плазмы солнечной атмосферы, , М.:Наука, 1977
9. Поток энергии Солца и его излучение. Рег. Уайт О., М.:Мир, 1980
10. Физика Космоса. Маленькая энциклопедия.рег. Р. А. Сюняев, , М.: "Советская энциклопедия", 1986

### **Қўшимча агабиётлар**

1. Шкловский И.С., Физика Солнечной короны, Физматгиз, 1962.
2. Физикадан русча–ўзбекча атамалар луғати.– Т.: Ўқитувчи, 1991





Босишга рухсат этилди 4.12.2003. Ҳажми 3,25 босма табак.  
Бичими 60×84 1/16. Адади 100 нусха. Бузуртма 54.  
М.Улугбек номидаги Ўзбекистон Миллий Университети  
босмахонасида чоп этилди.