

Астрономийн Улсын долоодугаар Олимпиад

ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн

Дунд шатлал – VI-IX анги

Говь-Алтай аймаг, Алтай хот

2023 оны 03 дугаар сарын 30, Пүрэв гараг

Дараах санамжийг уншина уу!

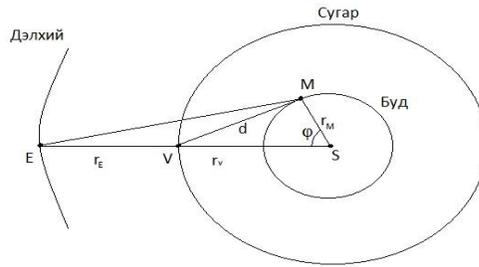
1. Олимпиадын бодлого 3 хэсгээс: “Ажиглалт”, “Практикийн (дадлага-дасгал)”-ын болон “Онол”-ын бодлогоос бүрдэнэ.
2. Бодлогын “Ажиглалт” хэсэгт астрономийн холч дуран (*телескоп*) ашиглахгүй ч, энгийн нүдээр ажиглах, эсвэл ямар ч төрлөөр ажиглалт хийхгүй ч астрономийн мэдлэг ашиглах бодлого.
3. “Практик”-ийн хэсэгт астрономийн практик дадлага-дасгалын бодлого.
4. “Онол”-ын хэсэгт тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөн, астрономи, астрофизикт хамаарах 2 бодлого.

Бүх бодлогын бодолтыг нийтдээ 4 цагт багтаана.

Онолын бодлого № 1 (12 оноо)

Элонгац буюу Нарнаас хамгийн их холдоц бүхий харагдах зай (*Elongation - Элонгация*)

1-р зурагт Буд гариг М цэгт буюу Элонгац байрлалд (*өнцөг М тэгш байх тохиолдол*), энэ үед Сугар гариг бол Нар, Дэлхийн хооронд V цэгт байна. Гаригууд дугуй тойрог замаар хөдөлж байгаа гэж үзнэ. 1-р зураг дахь байрлалд байгаа Буд, Сугар гаригуудын хоорондын зайг (*d*) ол.



1-р зураг. Буд гариг Элонгац буюу Нарнаас хамгийн их хол зайд харагдах байршилд (*өнцөг M -тэгш*), Сугар гариг Нар болон Дэлхийн хооронд V цэгт байгаа байдал. S -Нар, E -Дэлхий, M -Буд, V -Сугар.

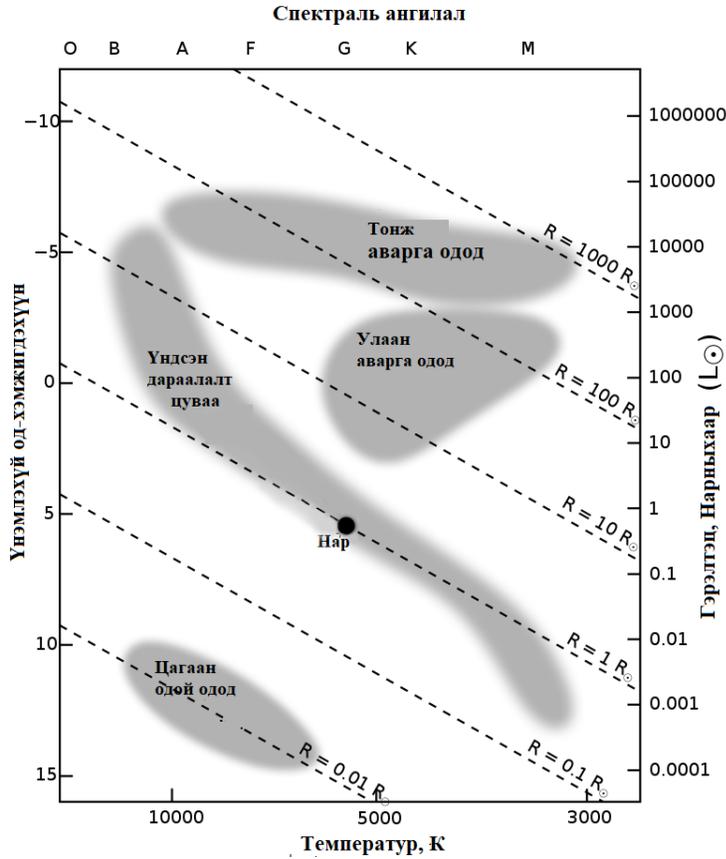
| Хэмжигдэхүүн Гаригууд | Тойрог замын радиус, астрономи-нэгжээр, r |
|--------------------------|--|
| Буд | |
| Сугар | |
| Дэлхий | |

Онолын бодлого № 2 (8 оноо)

Гэрэлтэц нь $12100L_{\odot}$ бүхий тонж аварга одны хэмжээ “үндсэн дараалалт цуваа” дахь тэр одныхоос хэд дахин их вэ, хэрэв энэ хоёр одны температур ижил 5800° -тай тэнцүү бол? Энд L_{\odot} - Нарны гэрэлтэц бөгөөд үүнийг Нарныхаар нэг нэгж гэрэлтэц гээ.

Мэдээлэл-1: фотометрид “гэрэлтэц” – гэрэлтэж буй нэгж талбай бүхий гадаргын жижиг талбараас түгэгч

ц
а
ц
а
р
М
а
д
т
ы
н
э
р
э
р
л
л
й
й
н
ш
у
р
у
н
а
л
ы
р
с
р
б



Практикийн (дадлага-дасгал) бодлого № 3 (6 оноо)

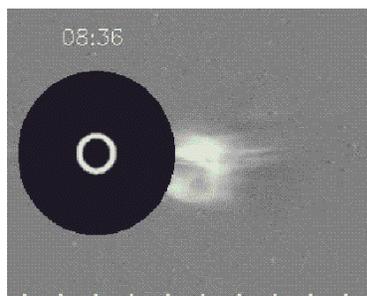
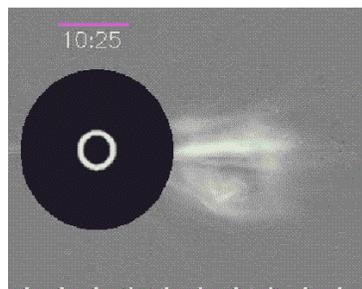
Масс шидэгдэл

Нарны титмийн масс шидэгдэл тархалтын хурдыг үнэл.

| UT цаг (цаг:минут) | Хугацааны завсар | Байрлал | Дундаж хурд |
|-----------------------|------------------|---------|-------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Сансарт ажиллуулж байгаа SOHO [Solar & Heliospheric Observatory] станц дээр байрлуулсан LASCO C2 багажаар авсан 5 дүрс зургийг (Эх сурвалж:

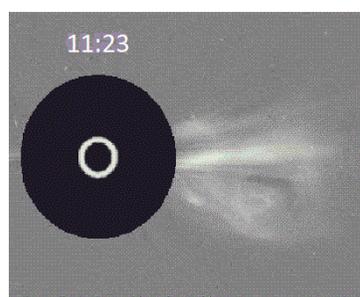
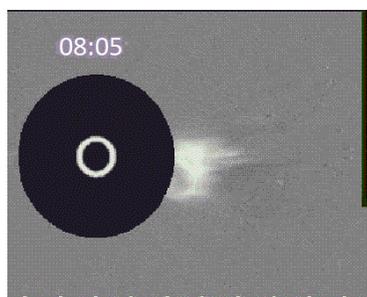
C2” – “Large Angle Spectrometric Coronagraph” – коронограф дуран Нарнаас дуран хараа уруу тусах гэрлийг хааж, өөрөөр хэлбэл, хиймэл хиртэл аргаар дүрслэлийг тасралтгүй буулгадаг. Зураг дээр том хар дугуй нь хиймэл Сар буюу хаалт, харин түүн дээр цагаан цагаригаар Нарны тэргэлийн хэмжээг дүрслэв. Зургийн зүүн гар талын дээд захад зураг авалтыг цаг, минутаар бичсэн хугацааг ашиглан тооцоол.

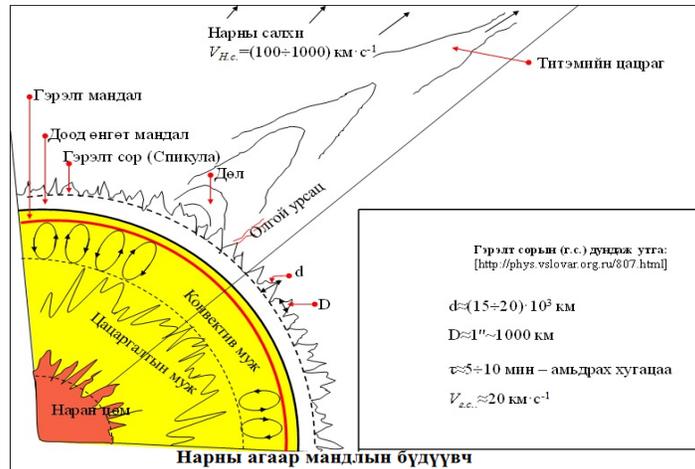


Лавлагаа мэдээлэл:

1. Титэмийн Масс Шидэгдэл (ТМШ)

Энэ үзэгдлийг Дэлхий дээрээс ажиглахад нэлээд хүндрэлтэй, харин сансрын хөлөг, тусгай дагуулд байрлуулсан зориулалтын дуран авай, багаж төхөөрөмжөөр ажиглах, дүрс бичлэг буулгах, судлах тохиромжтой. Нарны судалгааны ийм тусгай дагуул бол SOHO станц юм. ТМШ бол Нарны агаар мандлын хамгийн дээд бүрхүүл давхраа болох титэмээс (доорх бүдүүвч зураг үз) ер бусын их хэмжээний бодис гариг хоорондын орчинд асар хурдтай шидэгдэх үзэгдэл.





2. Нарны зарим үзүүлэлт (Эх сурвалж: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнце>)

| | |
|------------------------|---|
| Дундаж диаметр | м (Дэлхийнхээс 109 дахин их) |
| Экватораарх радиус | м |
| Экваторын тойргийн урт | м |
| Туйлаарх шахагдал | -6 |
| Гадаргуугийн талбай | м ² (Дэлхийнхээс 11 917.607 дахин их) |
| Эзлэхүүн | м ³ (Дэлхийнхээс 1 301 018.805 дахин их) |

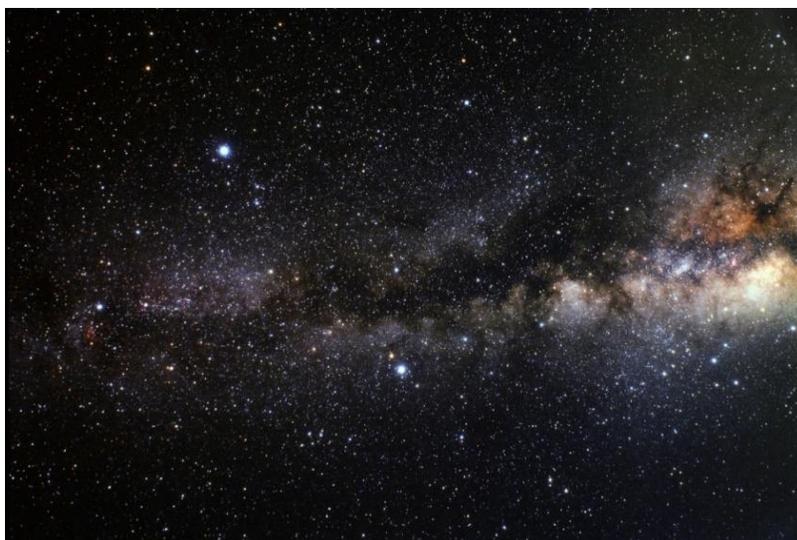
Ажиглалтын бодлого № 4 (12 оноо)

Зуны гурвалжин

Зун, намрын улиралд одот тэнгэрийн хойд хагаст *Оломын гялаан (Денеб, Deneb)*, *Нэхэгч эхнэр (Вега, Vega)*, *Зүүн хиар (Альтаир, Altair)* гэсэн гурван од тод гялалзан харагддаг. Тэдгээрийг холбоход үүсдэг адил хажуут төсөөтэй гурвалжныг зуны гурвалжин гэж нэрлэдэг.

Даалгавар:

- Дараах өгөгдсөн одны зураг дээр зуны гурвалжныг байгуулж, тэдгээр одыг 1, 2, 3 гэж дугаарлана уу. 3 оноо



- Хүснэгтийг бөглөнө үү. Тайлбарыг унш.

| Дугаар | Одны нэр, 3 оноо | Одны орд, 3 оноо | Од-хэмжигдэхүүн, 3 оноо |
|--------|------------------|------------------|-------------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Тайлбар:

“Одны нэр” гэсэн баганад тухайн дугаарт харгалзах зуны гурвалжны оддын монгол, орос, англи аль нэг нэрийг зөв бичих, “Одны орд” баганад тухайн од байрлах одны ордын (Бүргэдийн, Лира-гийн, Хунгийн) нэрийг зөв харгалзуулан бичнэ. “Од-хэмжигдэхүүн” баганад одны гэрэлтэлтийн нэг үзүүлэлт болох од-хэмжигдэхүүнийг тоймлох, жишээ нь “Нэхэгч эхнэр” одны хувьд ойролцоогоор тэг байдаг. Түүнээс бүдэг одны од-хэмжигдэхүүний утга нь их тоотой байна. Хүний нүд ойролцоогоор 6 хүртэлх од-хэмжигдэхүүнтэй одыг харж чадна.

Ажиглалтын бодлого № 5 (4 оноо)



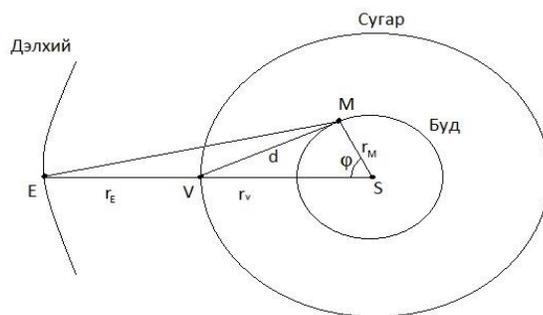
Зурган дээр Нарны аймгийн гаригуудыг тоогоор тэмдэглэн харуулав. Доорх асуултаас гурван үнэн мэдээллийг сонгоод тоог нь бичээд тайлбарлана уу?

- 1) Санчир гаригийг 4 тоогоор дүрсэлсэн байна.
- 2) 2-р гаригийн агаар мандал ихэвчлэн нүүрс хүчлийн хийнээс тогтдог.
- 3) 3 ба 4-р гаригуудын Нарыг тойрог үе бараг адилхан.
- 4) 5-р гариг хамгийн олон дагуултай нь.
- 5) 4-р гариг аварга гаригийн ангилалд багтдаг.
- 6) 8-р гариг Далай ван гариг.
- 7) 5-р гариг дэлхийн бүлгийн гаригт хамаарна.
- 8) 6-р гаригийн агаар мандал ихэвчлэн нүүрс хүчлийн хийнээс тогтдог.

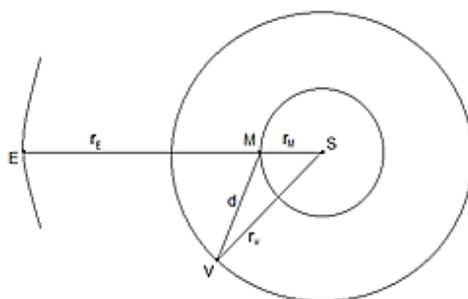
Ахлах шатлал - X-XII анги

Онолын бодлого № 1 (16 оноо)

Элонгац буюу Нарнаас хамгийн их холдоц бүхий харагдах зай (*Elongation - Элонгация*) 1-р зурагт Буд гариг М цэгт буюу Элонгац байрлалд (*өнцөг М тэгш байх тохиолдол*), энэ үед Сугар гариг бол Нар, Дэлхийн хооронд V цэгт байна. Тодорхой хугацааны дараа гаригууд 2-р зурагт үзүүлсэн байрлалд шилжсэн байна. Гаригууд яг дугуй тойрог замаар хөдөлж байгаа гэж үзнэ. 1-р болон 2-р зураг дахь байрлалд байгаа Буд, Сугар гаригуудын хоорондын зайг



1-р зураг. Буд гариг Элонгац буюу Нарнаас хамгийн их холдоц бүхий зайд харагдах байршилд (өнцөг M -тэгш), Сугар гариг Нар болон Дэлхийн хооронд V цэгт байгаа байдал. S -Нар, E -Дэлхий, M -Буд, V -Сугар.



2-р зураг. 1-р зурагт үзүүлсэн гаригуудын байршил өөрчлөгдөж Буд гариг Нар, Дэлхийн хооронд M цэгт, Сугар гариг шилжиж V цэгт очсон байгаа байдал.

| Хэмжигдэхүүн Гаригууд | Тойрог замын билгийн үе (<i>synodic period-синодический период</i>) ¹ , хоногоор, T | Тойрог замын радиус, астрономи-нэгжээр, r |
|--------------------------|--|---|
| Буд | | |
| Сугар | | |
| Дэлхий | | |

Тайлбар тодорхойлолт: **Билгийн үе** – Сарны, эсвэл, Дэлхийгээс ажиглах үед Нарны аймгийн аль нэг гаригийн Нартай харьцангуй болох дараалсан хоёр тохиолго хоорондох хугацаа. Харин Сарны хувьд, битүүн хоорондох, эсвэл, өөр дурын хоёр ижил мөчлөг хоорондох, өөрөөр хэлбэл, Сарны дараалсан ижил мөчлөг хоорондын хугацаагаар тодорхойдог үе.

Гэрэлтэцийн хувьд 0 од-хэмжигдэхүүн ($m=0$) бүхий одноос долгионы уртын 1000 \AA завсарт $F_0 = 10^6$ квант/см/с гэсэн хэмжээтэй фотонуудын урсгал цацагдаж байна гэе. Тэгвэл гэрэлтцээрээ од-хэмжигдэхүүн нь 20-той тэнцүү байгаа одноос долгионы уртын энэ завсарт гарах урсгал ямар хэмжээтэй вэ?

Холбогдох мэдээлэл: Астрофотометрийн зарим нэр томъёоны тодорхойлолт-тайлбар оны III сарын 11)

Фотометри (*Photometry - Фотометрия*) – цахилгаан соронзон долгионы оптик цараанд зөөгдөх энерги хэмжилт судлагдахуун нь болдог, бас нарийвчлалт бүхий арга боловсруулалт хийдэг оптикийн салбар, гэхдээ түүний үндсэн ухагдахуун долгионы бусад цараанд ч хэрэглээтэй. Цацаргалт хүлээн авагч дээр үзүүлэх цахилгаан соронзон цацаргалтын үйлчлэлийг тодорхойлогч үзүүлэлтээр илэрхийлэхийн тулд физикт тусгай багц хэмжигдэхүүн оруулж хэрэглэдэг.

Цацаргалтын хүч (*Сила излучения, Radiant intensity*) – СИ (*Олон улсын Хэмжил зүйн*) системийн үндсэн нэгжийн нэг, нийт талбайн $1/600000 \text{ м}^2$ ноогдол огтлол хэсгээс, энэ огтлолд перпендикуляр (*эц босоо*) чиглэлээр, температур нь агаар мандлын хэвийн даралттай үе дэх цагаан алт (*platinum - платина*)-ын талстжин хатууралт төлөвт шилжих температуртай тэнцүү утга бүхий цацаргалтын хүч. Өөрөөр, цацаргалтын (*мөн гэрлийн энерги зөөлтийн хүч*), I_e – ямар нэг тодорхой чиглэлд цацаргалтаар энерги зөөгдлийн чадал тодорхойлогч фотометрийн нэгэн хэмжигдэхүүн. Энэ нь түгэлтийн багахан биелэг өнцөг (*solid angle – телесный угол*)-т ноогдох энэхүү биелэг өнцөг дотуур түгээгч эх үүсгүүрээс гаралт бүхий цацаргалтын урсгалтай тэнцүү: $I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega}$. Тэгэхлээр цацаргалтын хүч – цацаргалтын урсгалын нэгж биелэг өнцгөөрх нягт.

Цацаргалтын урсгал (*Radiant flux, or Radiant power - Поток излучения*) – Хүлээн авагч дээр үзүүлэх үйлчлэлээр нь үнэлэх цацаргалтын чадал. Хэмжих нэгж нь люмен, лм, 1 люмен бол 1 стерадиан биелэг өгцгөөрх гэрэл цацаргалтын 1 кандел хүч бүхий цэгэн үүсгүүрээс ялгарч буй гэрлийн урсгалтай тэнцүү ($1 \text{ лм} = 1 \text{ кд-стерад}$). Ж

и

Цацаргалтын хүчийн спектраль чадал (*spectral power distribution - спектральная мощность силы излучения*) м

ө

Гэрэлтүүлэг буюу **Гэрэлтүүлэгдэгц** (*Illuminance - Освещенность*) – Гадаргууд тусч буй цацаргалтын нэгж талбайд нь ноогдох урсгал: $E = \Phi/S$. Хэмжих нэгж нь люкс, лк, 1 люкс нь 1 м радиус бүхий бөмбөлгийн төвд оршигч, гэрлийн 1 кд хүчтэй цэгэн үүсгүүрээр гиймэл гадаргын гэрэлтүүлэгдэгцтэй тэнцүү ($1 \text{ лк} = 1 \text{ кд-стерад/м}^2$). Хэрэв гадаргад цацаргалтын хавтгай тусч байгаа бол $E = E_0 \cdot \cos(j)$, энд E_0 – долгион тархалтын чиглэлд перпендикуляр гадаргын гэрэлтэгч, j – тэрхүү гадарга болон чиглэл хоорондын өнцөг.

Гэрэлтүүлгийн тоон хэмжээ (*Exposure - Количество освещения, Экспозиция*) – Гадаргын E гэрэлтэгч, гэрэлтүүлэг н

Гэрэлтэгч (*Luminosity - Светимость*) – Гадаргаас ялгаруулж буй цацаргалтын урсгалын гадаргуун (гадаргад ноогдогч) нягт. Энэ нь гэрэлтэгч гадаргын S талбайд ноогдох Φ урсгалтай тэнцүү: $L = \Phi/S$. Люксээр хэмжигдэнэ .

Тодроц (*Luminance - Яркость*) – Өгөгдсөн тухайн чиглэл дэх цацаргалтын хүчний гадаргуун (*гадаргад ноогдогч*) нягт, энэ нь гэрлийн хүчийг тухайн тэр чиглэлд перпендикуляр хавтгайд буулгасан гэрэлтэгч гадаргын проекц тухайн чиглэлд перпендикуляр 1 м^2 талбай нь 1 люментэй тэнцүү урсгалыг 1 стерадиан биелэг өнцөг дотуур цацаргаж буй гадаргын тодроц. Стильб (*хураангуйлал нь сб*) бол үүнтэй төсөөтэйгөөр, гэхдээ цацаргагч гадаргын 1 см^2 талбайн хувьд тодорхойлогдоно.

с

Харин одоо астрономид эдгээр ухагдахуун хэрхэн илэрхийлэгдэхийг авч үзье. Астрономийн судалгаанд холбогдолт цацаргалтын үүсгүүрүүд бол ихэнхдээ ажиглагчаас асар хол оршино, иймээс эдгээрээс гаралт цацаргалтын урсгалыг параллель (*хоорондоо зэрэгцээ*) цацраг багцлал гэж юуны өмнө тооцож болно. Түүнээс гадна, тэнгэрийн эрхэс биет хүртэлх зай ихэнх тохиолдолд эсвэл үл мэдэгдэнэ, эсвэл нарийвчлал багатай, их алдаа бүхий хэмжилттэй утгаар мэдэгдэнэ, тэгэхлээр шууд хэмжиж болох хэмжигдэхүүнд үндсэн анхаарлаа хандуулах хэрэгтэй болдог.

Цацаргалтын урсгал (*Radiant flux, эсвэл Radiant power - Поток излучения*) – Нэгж талбай дайрч нэгж хугацаанд өнгөрөгч давтамжийн нэгж завсар дахь цахилгаан соронзон энергийн тоон хэмжээ, F_n . Хэмжилтийн нэрлэмэл

й

н

д

н/и

н

й

н

нэгж: эрг/(с·см²·Гц), эсвэл Вт/(см²·Гц). Мөн заримдаа (*бүх давтамжаарх*) интеграл урсгал хэрэглэдэг, $F = \int F_n dn$, харин F_n -ыг цацаргалтын урсгалын спектраль нягт гэж нэрлэдэг. Интеграл урсгалын хэмжилтийн нэрлэмэл нэгж нь: эрг/(с·см²), эсвэл Вт/м².

Од-хэмжигдэхүүн. Оптик астрономид тэнгэрийн биетийн үүсгэж байгаа гэрэлтэцийг тэрхүү эрхсийн *гялалзал* (*харин тодроц гэх нь алдаатай, учир нь физикт ч, астрономид ч тодроц хэмээх энэ ухагдахуун маш өөр утгатай ойлголт*) гэж нэрлэж заншсан бөгөөд нэрлэмэл хэмжээсгүй логарифм нэгжээр – “*од-хэмжигдэхүүн*” гэж нэрлэдэг, m гэж тэмдэглэдэг нэгжээр энэ нь хэмжигддэг. Бүр манай эриний өмнөх II зуунд Гиппарх дуран хэрэгсэлгүй энгийн нүдээр үзэгддэг оддыг 6 ангиар ялган хуваасан. Тэрээр од-хэмжигдэхүүн гэх нэгж хэрэглэсэн. Хамгийн их гэрэлтэц-гялалзалтай одонд нэгдүгээр, харин хамгийн бага сул гэрэлтэцтэй бол зургаадугаар хэмжигдэхүүн, тэгээд хоёрдугаар хэмжигдэхүүний одод бол нэгдүгээрийнхээс төдий чинээ сул, хэдий чинээ гуравдугаар хэмжигдэхүүнтэй нь хоёрдугаар хэмжигдэхүүнтэйгээсээ сул байна гэх мэтээр харгалзуулав. Ийм хуваалт нь сэтгэл зүй-физиологийн онцлогийн илэрхийлэл (*психофизиологи*) Вебер-Фехнер хуулийн тусгал байв. Энэ хуулиар бол хүний нүд нь гэрэлтэцийн шугаман өсөлтийг логарифм хуваарьт (*логарифмын хуваариар өсөж буй мэт*) өсгөлтөөр хүлээж авдаг: $m = a + b \cdot \log_{10}(E)$, энд a болон b ямар нэгэн тогтмол коэффициентүүд. XIX зууны дунд үед английн астрономич Н.Погсон “ямар ч ажиглагчийн хувьд 5 од-хэмжигдэхүүн ялгаварт завсар ($\Delta m = 5$) бол гэрэлтэцийн харьцаа 100 орчимд харгалздаг болохыг анзаарч анхаарал хандуулсан. Тэрээр энэ харьцааг яг 100 гэж тооцохыг санал болгосон. Тэгвэл $\Delta m = 1$ бол энэ нь эдгээр гэрэлтэцийн харьцаа 2.512-тай тэнцүү утгад харгалзана. Энэ харгалзаа харьцааны үндсэн дээр Погсоны дараах томъёогоор тодорхойлогдох од-хэмжигдэхүүний фотометр хуваарийг хэрэглэдэг:

$$m_0 = -2.5 \log_{10}(E/E_0).$$

Иймээс Погсон хэмжүүрийн хуваариар бол од-хэмжигдэхүүн нь бутархай тоо байж болох нь ээ, харин хамгийн их гялалзал бүхий эрхсийн хувьд – хасах утгатай байна. Жишээ нь, Нарны гэрэлтэцийн гялалзал нь $E = -26.7^m$, харин бүрэн тэргэл Сарны хувьд $E = -12.7^m$, Сугар гаригийнх $E = -4.8^m$ -д хүрнэ.

Энэ хуваарийн ТЭГ-цэг астрономичдын олон улсын хэлэлцээр дагуу фотометрийн стандарт сонголтоор тогтоогддог. Эхлээд тийм стандарт нь Алтан гадас од (*одоо бол энэ нь цефеид буюу бадмаараг төрлийн хувьсагч од гэж мэдэх болсон*) байсан, дараа нь – Хойд Туйлын Цуваа (NPS)-ны зуу шахам одод. Визуаль хамгийн их сайн мэдэрэх энэ урт дээрх) 0^m бүхий од Дэлхийн агаар мандлын дээд зааг хил дээр $E = 2.5 \cdot 10^{-6}$ люкс гэрэлтэц бий болгоно, харин 1 люкс хэмжээтэй гэрэлтэцийг Дэлхийн агаар мандлын гадна $-13.89^m \pm 0.05$ бүхий гялалзалтай од бий болгоно.

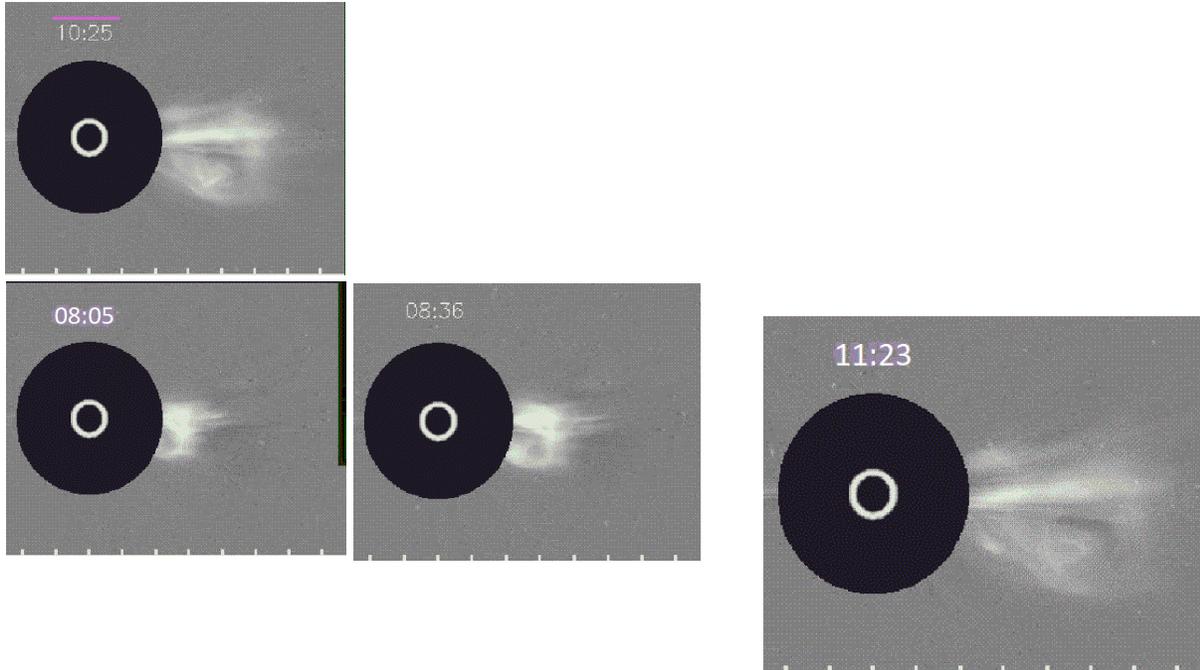
Практикийн (дадлага-дасгал) бодлого № 3 (5 оноо)

Масс шидэгдэл

Нарны титмийн масс шидэгдэл тархалтын хурдыг үнэл.

| УТ цаг (цаг:минут) | Хугацааны завсар | Байрлал | Дундаж хурд |
|-----------------------|---------------------|---------|-------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

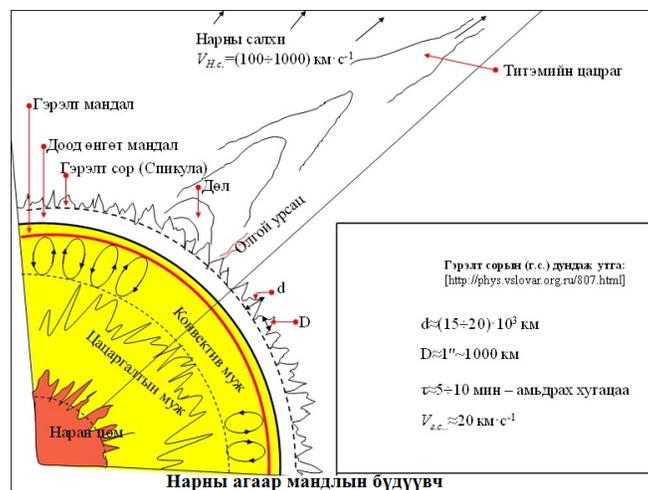
Сансарт ажиллуулж байгаа SOHO [Solar & Heliospheric Observatory] станц дээр байрлуулсан LASCO C2 багажаар авсан 5 дүрс зургийг (Эх сурвалж: C2) – “Large Angle Spectrometric Coronagraph” – коронограф дуран Нарнаас дуран хараа уруу тусах гэрлийг хааж, өөрөөр хэлбэл, хиймэл хиртэл аргаар дүрслэлийг тасралтгүй буулгадаг. Зураг дээр том хар дугуй нь хиймэл Сар буюу хаалт, харин түүн дээр цагаан цагаригаар Нарны тэргэлийн хэмжээг дүрслэв. Зургийн зүүн гар талын дээд захад зураг авалтыг цаг, минутаар бичсэн хугацааг ашиглан тооцоол.



Лавлагаа мэдээлэл:

1. Титэмийн Масс Шидэгдэл (ТМШ)

Энэ үзэгдлийг Дэлхий дээрээс ажиглахад нэлээд хүндрэлтэй, харин сансрын хөлөг, тусгай дагуулд байрлуулсан зориулалтын дуран авай, багаж төхөөрөмжөөр ажиглах, дүрс бичлэг буулгах, судлах тохиромжтой. Нарны судалгааны ийм тусгай дагуул бол SOHO станц юм. ТМШ бол Нарны агаар мандлын хамгийн дээд бүрхүүл давхраа болох титэмээс (доорх бүдүүвч зураг үз) ер бусын их хэмжээний бодис гариг хоорондын орчинд асар хурдтай шидэгдэх үзэгдэл.

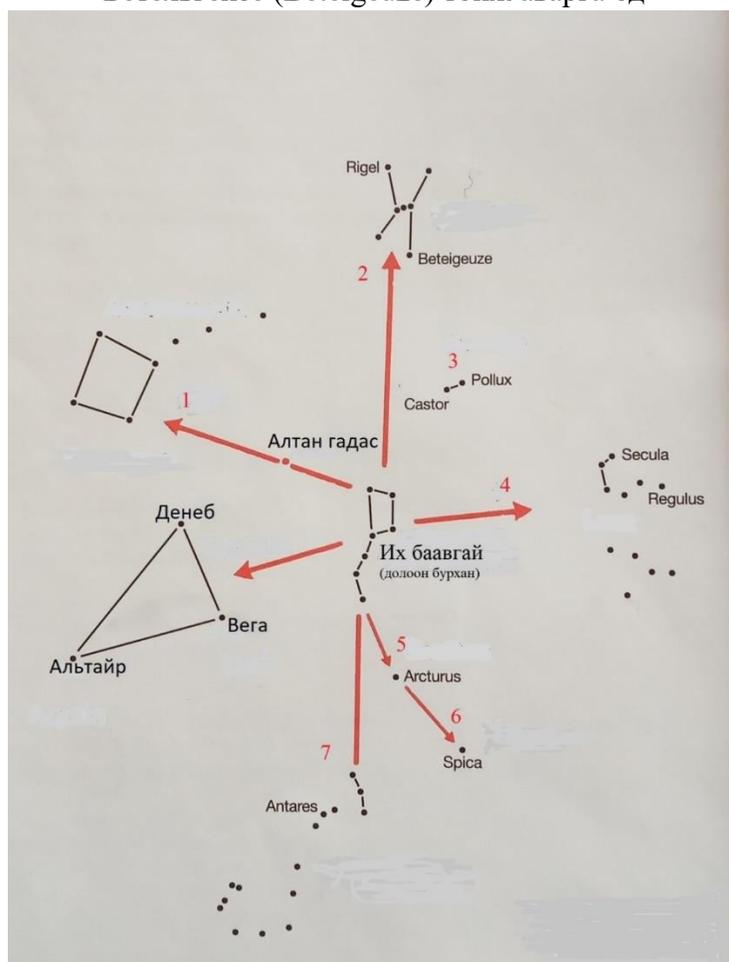


2. Нарны зарим үзүүлэлт (Эх сурвалж: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнце>)

| | |
|------------------------|---|
| Дундаж диаметр | м (Дэлхийнхээс 109 дахин их) |
| Экватораарх радиус | м |
| Экваторын тойргийн урт | м |
| Туйлаарх шахагдал | -6 |
| Гадаргуугийн талбай | м ² (Дэлхийнхээс 11 917.607 дахин их) |
| Эзлэхүүн | м ³ (Дэлхийнхээс 1 301 018.805 дахин их) |

Ажиглалтын бодлого № 4 (8 оноо)

Бетельгейзе (Betelgeuze) тонж аварга од



Зураг 1. “Их баавгай” ордыг ашиглан зарим одын ордыг хялбархан олж болно. Зурагт тухайн одны ордыг тодорхойлогч хурц оддыг харуулав.



Зураг 2. Нарнаас бусад оддын хувьд диаметрийг нь хэмжсэн ганц од бол супер аварга (*тонж аварга*) Бетельгейзе юм. Хаббл дурангаар авсан нил ягаан туяаны муж дахь зураг дээр цэг биш, тодорхой диаметр бүхий дугуй харагдаж байна. Хэрвээ энэ одыг Нарны байранд тавивал Дэлхийг залгиад, тэр ч байтугай Бархасбадь ч, түүний тойрог зам бүхэлдээ хамрагдана. Одны хэмжээ нь оптик, нил ягаан болон радио мужид өөр өөр байдаг. Ихэнх тохиолдолд оптик хэмжээг одны хэмжээ гэж үздэг.

Асуулт

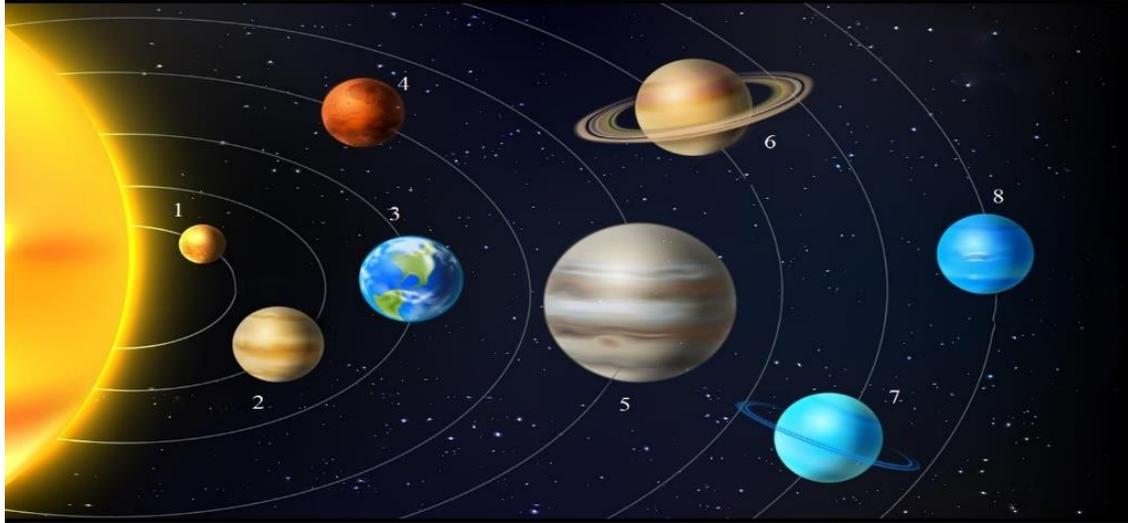
1. Зураг 1 дээрх сумаар заасан чиглэлийн дагуу орших дараах одны ордуудын нэрийг зураг дээрх дугаарт харгалзуулан хүснэгтийг бөглөнө үү. **Оддын ордын нэрс:** Andromeda (Андромеда), Bootes (Үхэрчин), Gemini (Хамтатгах), Leo (Арслан), Orion (Орион орд, түүний хил дотор Марал гэх

бөмбөрцөг бөөгнөрөл – Маралын гялаанууд дотор нь ордог), Scorpius (Хилэнцэт), Virgo (Охин)

| Зураг дээрх дугаар | Харгалзах оддын ордны нэр |
|--------------------|---------------------------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |

2. Зураг 2 дээр тэмдэглэсэн Бетельгейзе одны оптик хэмжээг ашиглан одны гадаргуу дээрх хүндийн хүчний хурдатгалыг Нарныхтай харьцуулж тодорхойл. Одны масс $M = 18 \times M_{\text{нар}}$, Дэлхийн тойрог замын радиус $= 215 \times R_{\text{нар}}$.

Ажиглалтын бодлого № 5 (4 оноо)



Зураг дээр Нарны аймгийн гаригуудыг тоогоор тэмдэглэн харуулав. Доорх асуултаас гурван үнэн мэдээллийг сонгоод тоог нь бичээд тайлбарлана уу?

- 1) 5-р гариг хатуу биетүүдээс тогтдог.
- 2) 4-р гаригийн температурын утга: -80°C ба 0°C .
- 3) 2-р гариг өөрийн дагуултай.
- 4) 7-р гаригийн нягт Дэлхийн нягттай ойролцоо.
- 5) 6-р гариг өөрийн агаар мандалтай.
- 6) 3-р гариг 1 дагуултай.
- 7) 5-р гариг дагуулгүй.
- 8) 1-р гаригийн агаар мандал ихэвчлэн нүүрс хүчлийн хийнээс тогтдог.

Астрономийн Улсын наймдугаар Олимпиад
ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн

Дунд шатлал – VI-IX анги

Хөвсгөл аймаг, Мөрөн хот

2024 оны 05 дугаар сарын 09, Пүрэв гараг

Онолын бодлого № 1 (8 оноо)

1. Чандрасекар-хязгаар масс зөвхөн ертөнц дахины суурь тогтмолуудаар – протоны массаар болон Планк-массаар илэрхийлэгддэг гэдгийг үзүүлнэ үү?

Санамж: Өнө эртний Орчлонд цөмийн нийлэгшил H, He^4, He^3, D – Дейтерий, T – Тритий, Li^6 -ийн бүрэлдэл дээр л зогсдог, өчүүхэн бага хэмжээтэй илүү хүнд химийн элементүүд бүрэлдэнэ (*учир нь байгальд атом дугаар нь 5 болон 8 бүхий тогтвортой элемент байхгүй, харин цэнэгт бөөмстэй урвалих $Z > 2$ бүхий элементүүдийн нийлэгшилт урвал бол өндөр Кулон саад-барьер давах шаардлагатай*). Нүүрстөрөгчөөс эхлээд бүх химийн элемент одод доторх бодисын халуун цөмийн шаталтын үед бүрэлддэг бөгөөд Хэт шинэ одны дэлбэрэлтийн үед протонуудын шүүрэлтэг баригдалтын замаар, тэгэхдээ гол төлөв атомын цөмүүд нейтронуудаа шүүрэн авах нийлэгшилтээр бүрэлддэг. Одод доторх халуун цөмийн шаталтын үед $Li^6, Be^9, B^{10}, B^{11}$ – элементүүд бүрэлдэггүй, харин эдгээр элемент ажиглагддаг нь Хэт шинэ оддын бүрхүүл хаялга доторх, мөн оддын гадаргуу дээрх хүнд элементүүдтэй сансрын цацраг туяаны хурдан бөөмс харилцан үйлчлэлд өртөх үед болж буй цууралтат задрал-урвалтай (*Spallation – Реакция скола [расцепление ядра]*) холбоотой. Хэт шинэ оддын тэсрээ үед температур асар өндөр, тэгэхдээ бүр бета-үйл явцаар бий болох кинетик хурдтай халуун цөмийн урвалаар термодинамик тэнцвэршилд ортол тийм өндөр температур бий болно, ингээд төмрийн бүлэгт хамаарах хүнд элементүүд бүрэлддэг байна. Эдгээр хүнд элементийн цөм нь сондгой тооны протон, нейтроноос тогтоно.

Хувьслын явцад одны цөм гүн дэх нягт, температур өснө. Нягт өсөлтийн үед бодисын физик төлөв – эхлээд Кулон харилцан үйлчлэлийн улмаас (*жишээ – ердийн хатуу бие*), харин дараа нь квант механик эффектүүдийн улмаас (*электрон хийн мөхөнгөшил*) төлөвөөрөө өөрчлөгдөж эхэлнэ. Үнэндээ, астрономийн ажиглалтаас үзэхэд, компакт (*нягтаршанга*) цагаан одой одод Нарны масстай ижил эрэмбийн байхад Нарныхаар 0.01 орчим хэмжээний радиустай, өөрөөр хэлбэл, дундаж нягт нь $\sim 10^4$ г/см³. Тийм нягттай үед атом хоорондын зай атом дахь электроны тойрог замаас бага бөгөөд электрон энэ үед температур $T = 0$ байлаа ч чөлөөт, цөмтэй ямар ч холбоослоггүй болно, ийм төлөвийг хий гэж үзэж болно.

Төгс хий бол бөөмс хоорондын харилцан үйлчлэлийн энерги нь дулааны энергитэй харьцуулахад үл тооцохоор бага байхад л оршин байдаг. Нэгж бөөмд ноогдох $E = 3/2kT$ энерги бүхий нэг атомт төгс хийн ойролцоолол бол Нарны хэвлийн төв гүн дэх плазмын хөдлөл үйл явцыг маш сайн тодорхойлдог. Бөөмсийн квантовомеханик харилцан үйлчлэлцлийг бөөмс хоорондын зай Де-Бройль долгионы уртаас бага байх: $a \sim n^{-1/3} \ll \lambda_B = h/p$ (n – бөөмсийн өтгөрөц буюу концентрац) үед тооцохгүй байж болно. Бага зайд фермион буюу ферми-бөөмсийн (*бүхлийн хагас утгатай спин $s = 1/2$ бүхий бөөмс - электрон, нейтрон, протон; s - спин бол бөөмс хувийн тэнхлэгээрээ эргэлдэгч хөдөлгөөний тоон хэмжээг илэрхийлэх утга бүхий квант тоо*) хувьд Паулийн зарчмыг тооцох хэрэгтэй. Паулийн буюу Пауль-зарчим: ижил квантово-механик төлөвт тухайн төрөл-сортын бөөм нэгээс илүү байж чадахгүй. Бүхэл тоон утгат спин бүхий бөөмс (*бозон, жишээ нь, фотон*)-ийн хувьд - эсрэгээрээ, хэдий чинээ олон бөөмс аливаа нэг төлөвт байвал тэр төлөв рүү эзлэхээр төдий чинээ олон бөөмс тэмүүлнэ (*энэ нь, жишээлбэл, радиоастрономид бол долгиол шуугианы шалтгаан болно*).

Фермион хий мөхөнгөшсэн үед бол бөөмсийн солбицол, импульсийн “хам олонлог”-ийн хувьд фаз (боломжит төлөв-мөчлөг) орон-зайг¹ бүх төлөв дүүргэнэ, бүр зааг хилийн утга бүхий импульстэй (Ферми-импульс гэх) төлөв ч бий. Ферми-импульс бол бөөмсийн $N = \frac{\rho}{\mu m_p}$ –концентрац (өтгөрөц)-аас хамаардаг:

$$pF = 3/8\pi^{1/3} \hbar N^{1/3},$$

энд \hbar - Планкийн буюу Планк тогтмол. Ферми-импульсийн хэмжээг эрэмбээр үнэлбэл, Гейзенберг (Werner Karl) -ийн тодорхойгүйн зарчмаас үнэлгээ өгч болно: $\Delta p \Delta x \geq \hbar$, $\Delta p \sin p > \hbar/\Delta x$, эндээс $\Delta x \sim n^{-1/3}$ гэж тооцвол 1 эрэмбийн үржвэр хүртэлх нарийвчлалтайгаар (1) харьцааг гаргаж авч болно. m - масстай, T - температур бүхий релятивист бус Ферми-бөөмсийн хувьд болохоор $p = mv \propto \sqrt{T}$ байх учраас мөхөнгөшлийн нөхцөл (а) их нягттай үед, эсвэл (б) нам температуртай үед биелж эхэлнэ:

$$T_{\text{мөхөнгө}} \sim \varepsilon_F / k \approx 3 \times 10^{-11} m_e / m N^{2/3}, \text{ К.}$$

Энд $\varepsilon_F = p_F^2 / 2m$ – релятивист бус бөөмсийн хувьд Ферми-энерги. Энэ илэрхийлэл Ферми-бөөмсийн тайваншлын масс хэдий чинээ бага байна, мөхөнгөшил арилах температур төдий чинээ өндөр гэдгийг үзүүлж байна. Асар их $\rho > 10^6 \text{ г/см}^3$ утга бүхий нягттай үед электронууд релятивист болох бөгөөд ийм электроны хувьд Ферми-энерги нь $\varepsilon_F = p_F c \gg m_e c^2$ байна.

болно, даралт нь $P \rightarrow K \rho^{4/3}$ бөгөөд гидростатик тэнцвэршлийн тэгшитгэлээс гаргалгаа хийвэл масс нь чухамхүү нэг онцлог утгатай (Чандрасекар-хязгаар) болох зөвхөн тэр үед тэнцвэршилт боломжтой:

$$M_{Ch} \approx (K_{\text{рел}}/G)^{3/2}$$

Релятивист мөхөнгөшсэн электрон хийн хувьд нарийвчилсан утга бичвэл:

$$M_{Ch} = 5.83 M_{\odot} \mu e^{-2} \approx 1.46 M_{\odot} \mu e^{-2},$$

э
н

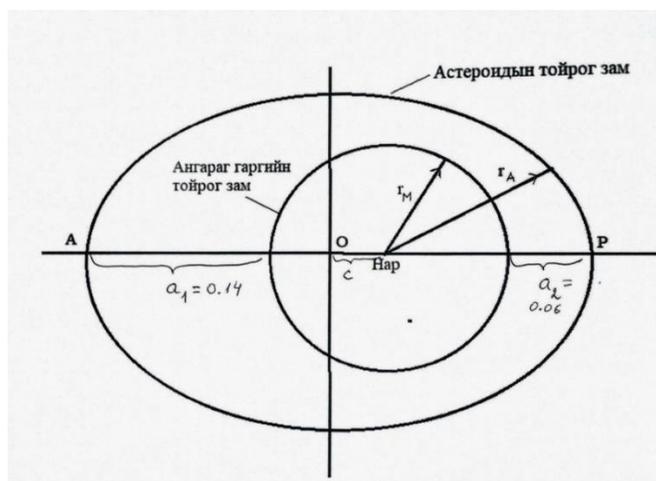
д 2. Дэлхийн агаар мандалд солирын биет хамгийн ихдээ ямар хурдтайгаар унах вэ?
 μe – нэг электронд ноогдох нуклоны тоо бөгөөд гелийгээс хүнд элементийн хувьд $\mu e \geq 2$ (${}^{26}\text{Fe}$ -ийн хувьд бол $\mu e \geq 2.2$),
 M_{\odot} -Нарны масс = $2 \cdot 10^{30}$ кг.

Онолын бодлого № 2 (6 оноо)

“Астероидын тойрог зам”

Астероид “КН-М” (ангилиар *asteroid* - бага гариг) Ангараг гаригийн тойрог замын гадна талын зууван тойрог (эллипс) замаар, түүний нэг фокус дээр орших Нарыг тойрон хөдөлнө (зураг 1). Астероидын тойрог замын дөт буюу *perihelion* цэг (P) болон алсрах буюу *aphelion* цэг (A) нь Ангараг гаригийн тойрог замаас 0.06 а.н (a_2) ба 0.14 а.н (a_1) тус тус зайтай бол Астероидын тойрог замын үеийг (Т, ангарагийн жилээр илэрхийлэх) ол. Ангараг гаригийн тойрог замыг r_M радиустай тойрог гэж үзнэ. $r_M = 1.52368055 \text{ а.н}$, 1 а.н (астрономи нэгж) = 149 597 871 км.

¹Фаз орон-зай (Phase space, Фазовое пространство) – Динамик тогтолцоо (систем)-ны бүх төлөвийг хамтатган нэг олонлогоор төлөөлүүлэхдээ түүний боломжит төлөв тус бүрт энэхүү орон-зайн зөвхөн нэг цэг харгалзахаар дүрсэлсэн орон-зайн огторгуй бөгөөд энэ цэгийг дүрслүүр буюу төлөөлүүр цэг гэж нэрлэдэг, харин, эсрэгээрээ, энэ фаз орон-зайн цэг тус бүрт уг тогтолцооны нэг, зөвхөн нэг төлөв л харгалзана.



Зураг 1. Астероид “КН-М” ба Ангараг гаригийн тойрог зам

Практикийн (дадлага-дасгал) бодлого № 3 (6 оноо)

“Нарны агаар мандлын спектр”

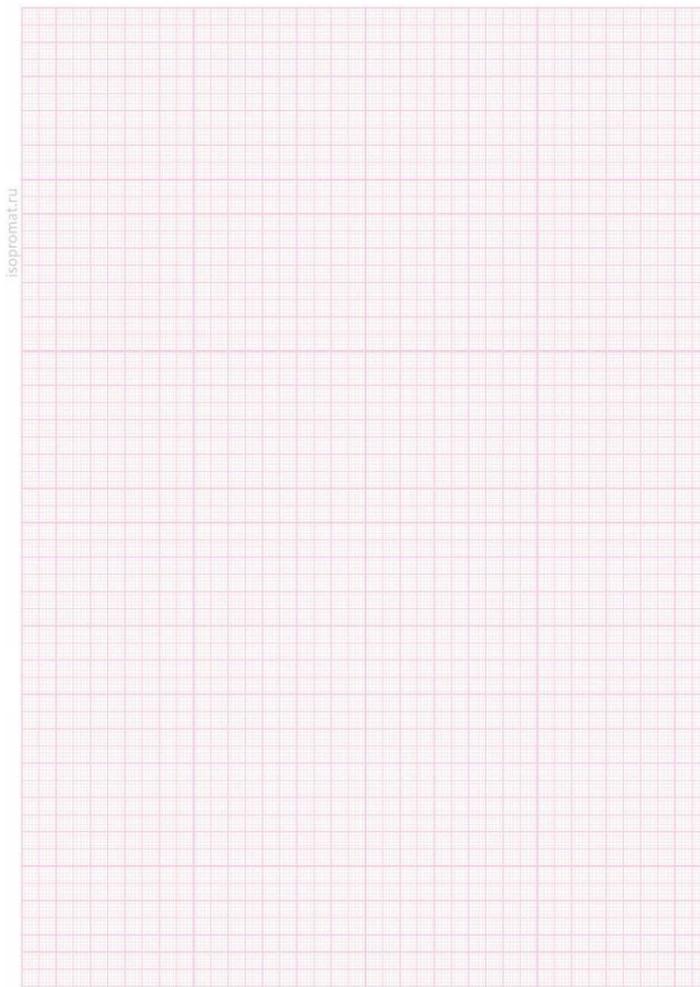
Астрофизикийн үндсэн нэг арга бол спектрийн шугамын тооцоолол бөгөөд үүгээр алс холын од, эрхсийн физик параметруудийг тодорхойлно. Зураг 1 дээр Нарны шингээлтийн спектрийн шугам (фраунгоферов, a)-спектр) болон нарны агаар мандал дахь зарим химийн элементийн спектр шугамыг (b -ээс d) үзүүлсэн байна. Спектр дэх шугамын байрлал спектр хэмжилтийн багажийн төрлөөс хамаарна, тухайлбал, призм эсвэл дифракцын тор ашигласан зэргээс хамаардаг. Нарны агаар мандлын үндсэн шугамуудыг латин үсгээр тэмдэглэдэг (зураг 1а). Нарны спектрт тод ажиглагдаж байгаа шугамуудыг лабораторийн нөхцөлд гарган авсан тодорхой химийн элементийн шугамуудтай адилтгал хийж ямар элементэд харьяалагдахыг тогтоож, тэдгээрийн долгионы уртыг нь тодорхойлдог.

- Зураг 1 дээрх устөрөгчийн b , d) спектрийн дисперсийн муруйг ($l = f(\lambda)$, $D = \Delta\lambda/\Delta l$) мэдэгдэж буй долгионы уртаар байгуул.
- Дээрх хоёр муруйн ялгааг тайлбарла.

| | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | H_η | | | | | | | | | | |
| | H_ζ | | | | | | | | | | |
| | H_ε | | | | | | | | | | |
| | H_δ | | | | | | | | | | |
| | H_γ | | | | | | | | | | |
| | H_β | | | | | | | | | | |
| | H_α | | | | | | | | | | |

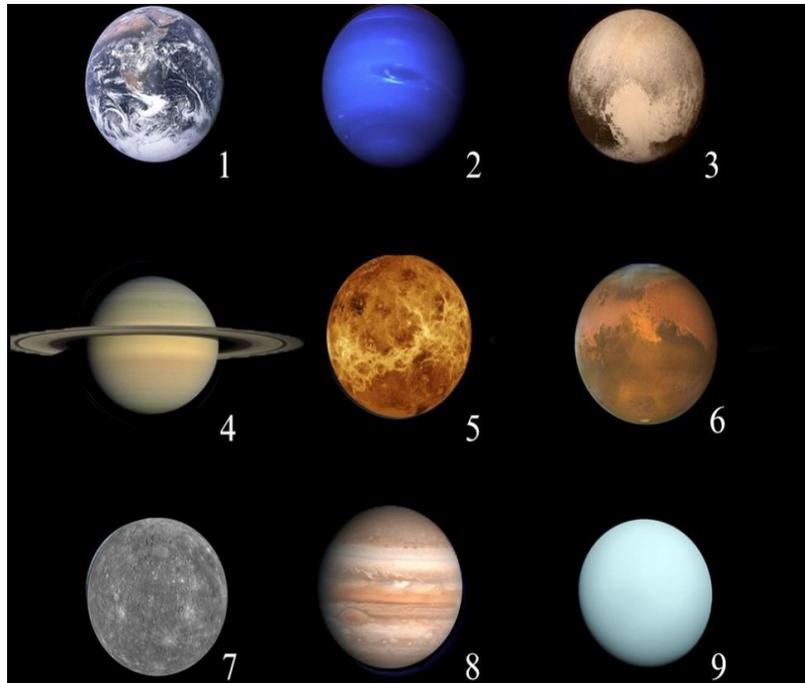
Энд $\lambda_{1/2} = (\lambda_n + \lambda_{n+1})/2$

График байгуулах $l(\lambda)$, тайлбар хийх



Ажиглалтын бодлого № 4 (5 оноо)

“Нарны аймгийн гариг”



Зураг дээрх Нарны аймгийн найман гариг, нэг одой гаригийг тоогоор тэмдэглэн харуулав. Хүснэгт дэх асуултад хариулна уу?

| Гаригуудын № | Нарны аймгийн Найман гаригуудын нэр | Нарны аймгийн нэгэн одой гаригийн нэр ба дугаар ? | Нарны аймгийн хамгийн хол оршдог гариг хэд дүгээрт байна вэ | Нарны аймгийн гаригуудаас хамгийн том гариг хэд дүгээрт байна вэ? | Нарны аймгийн хамгийн жижиг гариг хэд дүгээрт байна вэ? |
|--------------|-------------------------------------|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |

Ахлах шатлал - X-XII анги

Онолын бодлого № 1 (8 оноо)

1. Чандрасекар-хязгаар масс зөвхөн ертөнц дахины суурь тогтмолуудаар – протоны массаар болон Планк-массаар илэрхийлэгддэг гэдгийг үзүүлнэ үү?

Санамж: Өнө эртний Орчлонд цөмийн нийлэгшил H, He^4, He^3, D – Дейтерий, T – Тритий, Li^6 -ийн бүрэлдэл дээр л зогсдог, өчүүхэн бага хэмжээтэй илүү хүнд химийн элементүүд бүрэлдэнэ (*учир нь байгальд атом дугаар нь 5 болон 8 бүхий тогтвортой элемент байхгүй, харин цэнэгт бөөмстэй урвалих $Z > 2$ бүхий элементүүдийн нийлэгшилт урвал бол өндөр Кулон саад-барьер давах шаардлагатай*). Нүүрстөрөгчөөс эхлээд бүх химийн элемент одод доторх бодисын халуун цөмийн шаталтын үед бүрэлддэг бөгөөд Хэт шинэ одны дэлбэрэлтийн үед протонуудын шүүрэлтэг баригдалтын замаар, тэгэхдээ гол төлөв атомын цөмүүд нейтронуудаа шүүрэн авах нийлэгшилтээр бүрэлддэг. Одод доторх халуун цөмийн шаталтын үед $Li^6, Be^9, B^{10}, B^{11}$ – элементүүд бүрэлддэггүй, харин эдгээр элемент ажиглагддаг нь Хэт шинэ оддын бүрхүүл хаялга доторх, мөн оддын гадаргуу дээрх хүнд элементүүдтэй сансрын цацраг туяаны хурдан бөөмс харилцан үйлчлэлд өртөх үед болж буй цууралтат задрал-урвалтай (*Spallation – Реакция скола [расщепление ядра]*) холбоотой. Хэт шинэ оддын тэсрээ үед температур асар өндөр, тэгэхдээ бүр бета-үйл явцаар бий болох кинетик хурдтай халуун цөмийн урвалаар термодинамик тэнцвэршилд ортол тийм өндөр температур бий болно, ингээд төмрийн бүлэгт хамаарах хүнд элементүүд бүрэлддэг байна. Эдгээр хүнд элементийн цөм нь сондгой тооны протон, нейтроноос тогтоно.

Хувьслын явцад одны цөм гүн дэх нягт, температур өснө. Нягт өсөлтийн үед бодисын физик төлөв – эхлээд Кулон харилцан үйлчлэлцлийн улмаас (*жишээ – ердийн хатуу бие*), харин дараа нь квантовомеханик эффектүүдийн улмаас (*электрон хийн мөхөнгөшил*) төлөвөөрөө өөрчлөгдөж эхэлнэ. Үнэндээ, астрономийн ажиглалтаас үзэхэд, компакт (*нягтаршанга*) цагаан одой одод Нарны масстай ижил эрэмбийн байхад Нарныхаар 0.01 орчим хэмжээний радиустай, өөрөөр хэлбэл, дундаж нягт нь $\sim 10^4$ г/см³. Тийм нягттай үед атом хоорондын зай атом дахь электроны тойрог замаас бага бөгөөд электрон энэ үед температур $T = 0$ байлаа ч чөлөөт, цөмтэй ямар ч холбоослогүй болно, ийм төлөвийг төгс хий гэж үзэж болно.

Төгс хий бол бөөмс хоорондын харилцан үйлчлэлийн энерги нь дулааны энергитэй харьцуулахад үл тооцохоор бага байхад л оршин байдаг. Нэгж бөөмд ноогдох $E = 3/2kT$ энерги бүхий нэг атомт төгс хийн ойролцоолол бол Нарны хэвлийн төв гүн дэх плазмын хөдлөл үйл явцыг маш сайн тодорхойлдог. Бөөмсийн квантовомеханик харилцан үйлчлэлцлийг бөөмс хоорондын зай Де-Бройль долгионы уртаас бага байх: $a \sim n^{-1/3} \ll \lambda_B = h/p$ (n – бөөмсийн өтгөрөц буюу концентрац) үед тооцохгүй байж болно. Бага зайд фермион буюу ферми-бөөмсийн (*бүхлийн хагас утгатай спин $s = 1/2$ бүхий бөөмс - электрон, нейтрон, протон; s - спин бол бөөмс хувийн тэнхлэгээрээ эргэлдэгч хөдөлгөөний тоон хэмжээг илэрхийлэх утга бүхий квант тоо*) хувьд Паулийн зарчмыг тооцох хэрэгтэй. Паулийн буюу Пауль-зарчим: ижил квантово-механик төлөвт тухайн төрөл-сортын бөөм нэгээс илүү байж чадахгүй. Бүхэл тоон утгат спин бүхий бөөмс (*бозон, жишээ нь, фотон*)-ийн хувьд - эсрэгээрээ, хэдий чинээ олон бөөмс аливаа нэг төлөвт байвал тэр төлөв рүү эзлэхээр төдий чинээ олон бөөмс тэмүүлнэ (*энэ нь, жишээлбэл, радиоастрономид бол долгиол шуугианы шалтгаан болно*).

Фермион хий мөхөнгөшсэн үед бол бөөмсийн солбицол, импульсийн “хам олонлог”-ийн хувьд фаз (*боломжит төлөв-мөчлөг*) орон-зайг² бүх төлөв дүүргэнэ, бүр зааг хилийн утга бүхий импульстэй (*Ферми-импульс* гэх) төлөв ч бий. Ферми-импульс бол бөөмсийн $N = \frac{\rho}{m_p}$ – концентрац (*өтгөрөц*)-аас хамаардаг:

$$pF = 3/8\pi^{1/3} h N^{1/3},$$

энд h - Планкийн буюу Планк тогтмол. Ферми-импульсийн хэмжээг эрэмбээр үнэлбэл, Гейзенберг (*Werner Karl*) эрэмбийн үржвэр хүргэлх нарийвчлалтайгаар (1) харьцааг гаргаж авч болно. m - масстай, T - температур бүхий релятивист бус Ферми-бөөмсийн хувьд болохоор $p = mv \propto \sqrt{T}$ байх учраас мөхөнгөшлийн нөхцөл (а) их нягттай үед, эсвэл (б) нам температуртай үед биелж эхэлнэ:

$$T_{\text{мөхөнгө}} \sim \varepsilon_F / k \approx 3 \times 10^{-11} m e / m N^{2/3}, \text{ К.}$$

Энд $\varepsilon_F = p_F^2 / 2m$ – релятивист бус бөөмсийн хувьд Ферми-энерги. Энэ илэрхийлэл Ферми-бөөмсийн тайваншлын масс хэдийчинээ бага байна, мөхөнгөшил арилах температур төдий чинээ өндөр гэдгийг үзүүлж байна. Асар их $\rho > 10^6$ г/см³ утга бүхий нягттай үед электронууд релятивист болох бөгөөд ийм электроны хувьд Ферми-энерги нь $\varepsilon_F = p_F c \gg m_e c^2$ байна.

²Фаз орон-зай (*Phase space, Фазовое пространство*) – Динамик тогтолцоо (систем)-ны бүх төлөвийг хамтатган нэг олонлогоор төлөөлүүлэхдээ түүний боломжит төлөв тус бүрт энэхүү орон-зайн зөвхөн нэг цэг харгалзахаар дүрсэлсэн орон-зайн огторгуй бөгөөд энэ цэгийг дүрслүүр буюу төлөөлүүр цэг гэж нэрлэдэг, харин, эсрэгээрээ, энэ фаз орон-зайн цэг тус бүрт уг тогтолцооны нэг, зөвхөн нэг төлөв л харгалзана.

болно, даралт нь $P \rightarrow K\rho^{4/3}$ бөгөөд гидростатик тэнцвэршлийн тэгшитгэлээс гаргалгаа хийвэл масс нь чухамхүү нэг онцлог утгатай (Чандрасекар-хязгаар) болох зөвхөн тэр үед тэнцвэршилт боломжтой:

$$M_{Ch} \approx (K_{\text{рел}}/G)^{3/2}$$

Релятивист мөхөнгөшсэн электрон хийн хувьд нарийвчилсан утга бичвэл:

$$M_{Ch} = 5.83 M_{\odot} \mu e^2 \approx 1.46 M_{\odot} \mu e^{2-2},$$

э

н

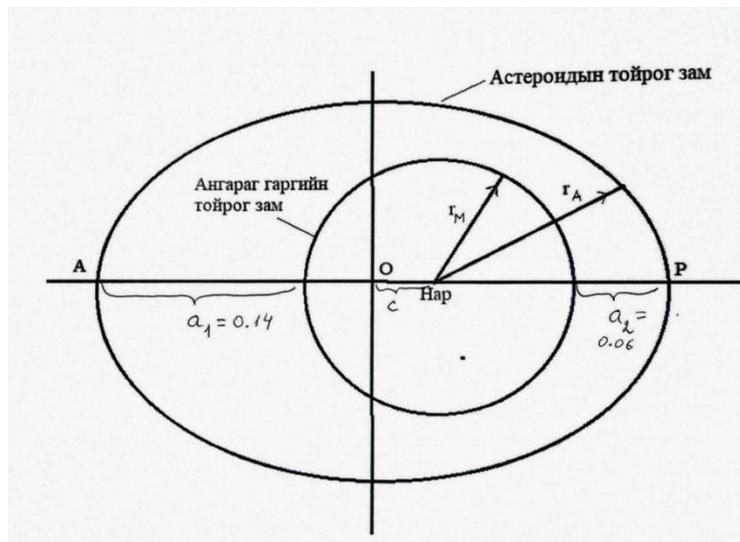
д

2. Дэлхийн агаар мандалд солирын биет хамгийн ихдээ ямар хурдтайгаар унах вэ? μe – нэг электронд ноогдох нуклоны тоо бөгөөд гелийгээс хүнд элементийн хувьд $\mu e \geq 2$ (*Fe*²⁶⁵⁶-ийн хувьд бол $\mu e \geq 2.2$), M_{\odot} -Нарны масс = $2 \cdot 10^{30}$ кг.

Онолын бодлого №2

“Астероидын тойрог зам” (8 оноо)

Астероид “КН-М” (ангилиар *asteroid* - бага гариг) Ангараг гаригийн тойрог замын гадна талын зууван тойрог (эллипс) замаар, түүний нэг фокус дээр орших Нарыг тойрон хөдөлнө (зураг 1). Астероидын тойрог замын дөт буюу *perihelion* цэг (P) болон алсрах буюу *aphelion* цэг (A) нь Ангараг гаригийн тойрог замаас 0.06 а.н (a_2) ба 0.14 а.н (a_1) тус тус зайтай бол Астероидын тойрог замын үе (T, ангарагийн жилээр илэрхийлэх) болон түүний эксцентриситетийг (e, eccentricity) ол. Ангараг гаригийн тойрог замыг r_M радиустай тойрог гэж үзнэ. $r_M = 1.52368055$ а.н, 1а.н(астрономи нэгж) = 149 597 871 км.



Зураг 1. Астероид “КН-М” ба Ангараг гаригийн тойрог зам

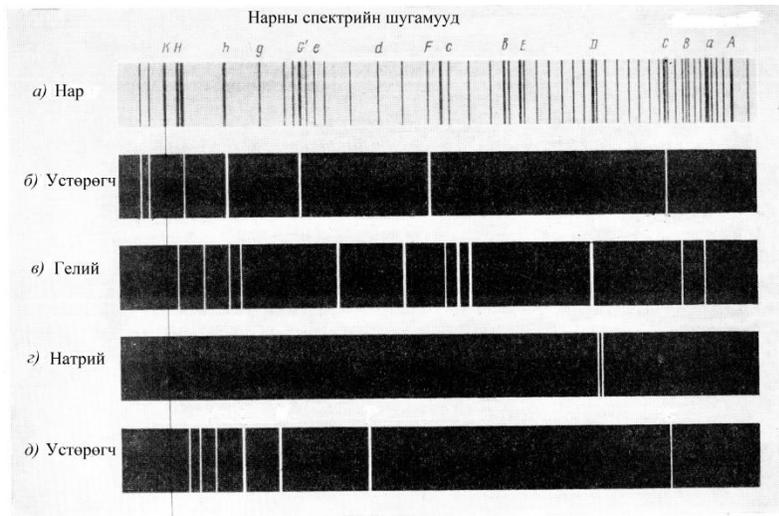
Практикийн (дадлага-дасгал) бодлого № 3

“Нарны агаар мандлын спектр”, оноо 8

Астрофизикийн үндсэн нэг арга бол спектрийн шугамын тооцоолол бөгөөд үүгээр алс холын од, эрхсийн физик параметруудийг тодорхойлно. Зураг 1 дээр Нарны шингээлтийн спектрийн шугам (фраунгоферов, a)-спектр) болон нарны агаар мандал дахь зарим химийн

элементийн спектр шугамыг (β -ээс δ) үзүүлсэн байна. Спектр дэх шугамын байрлал спектр хэмжилтийн багажийн төрлөөс хамаарна, тухайлбал, призм эсвэл дифракцын тор ашигласан зэргээс хамаардаг. Нарны агаар мандлын үндсэн шугамуудыг латин үсгээр тэмдэглэдэг (зураг 1а). Нарны спектрт тод ажиглагдаж байгаа шугамуудыг лабораторийн нөхцөлд гарган авсан тодорхой химийн элементийн шугамуудтай адилтгал хийж ямар элементэд харьяалагдахыг тогтоож, тэдгээрийн долгионы уртыг нь тодорхойлдог.

- с) Зураг 1 дээрх устөрөгчийн β , δ) спектрин дисперсийн муруйг ($l = f(\lambda)$, $D = \Delta\lambda/\Delta l$) мэдэгдэж буй долгионы уртаар байгуул.
- д) Дээрх хоёр муруйн ялгааг тайлбарла.
- е) Дисперсийн муруйг ашиглан Нарны спектрин E, d, e, H ба K шугамуудын долгионы уртыг ойролцоогоор тооцоолж, тэдгээрийн харьяалагдах химийн элементийг тодорхойл.



Зураг 1. Нарны агаар мандлын шингээлтийн фраунгоферов үндсэн шугамууд

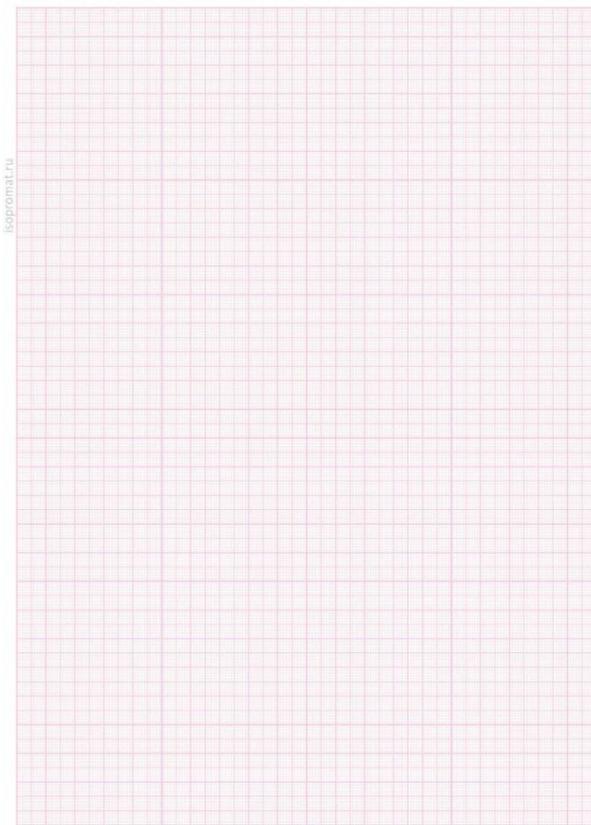
| Зарим спектрин шугамуудын хүснэгт 1 | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Нарны спектр дэх тэмдэглэгээ | Элементийн спектр дэх тэмдэглэгээ | Долгионы урт Å | Нарны спектр дэх тэмдэглэгээ | Элементийн спектр дэх тэмдэглэгээ | Долгионы урт Å |
| | Устөрөгч H | | Төмөр Fe | | Гелий He |
| C | H_{α} | | | | |
| | H_{β} | | b_3 | | |
| $G'(f)$ | H_{γ} | | b_4 | | |
| | H_{δ} | | | | |
| | H_{ϵ} | | | | |
| | H_{ζ} | | | | |
| | H_{η} | | | | |
| | H_{θ} | | G_1 | | |
| | H_{ι} | | | | |

| | | | | | |
|----------|---------------|--|------------|--|----------|
| | H_{χ} | | Магний Mg | | |
| | Хүчилтөрөгч O | | | | |
| A | | | b_1 | | |
| a | | | b_2 | | |
| | | | b_4 | | Sr^{+} |
| α | | | Кальций Ca | | |
| | Натрий Na | | | | |
| D_1 | D_1 | | | | Ti^{+} |
| D_2 | D_2 | | Ca^{+} | | |
| D_3 | D_3 | | | | |
| | | | | | |

Ажлын хүснэгт А

| № | Спектр дэх тэмдэглэгээ | | б) | | | | | д) | | | | |
|---|------------------------|--|-----------------|---------------------|-----------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|-----------------|------------|--------------------|
| | | | $l(\lambda), m$ | $\lambda, \text{Å}$ | $\Delta\lambda$ | Δl | $D(\lambda_{1/2})$ | $\lambda_{1/2}$ | $l(\lambda)$ | $\Delta\lambda$ | Δl | $D(\lambda_{1/2})$ |
| 1 | H_{η} | | | | | | | | | | | |
| 2 | H_{ζ} | | | | | | | | | | | |
| 3 | H_{ϵ} | | | | | | | | | | | |
| 4 | H_{δ} | | | | | | | | | | | |
| 5 | H_{γ} | | | | | | | | | | | |
| 6 | H_{β} | | | | | | | | | | | |
| 7 | H_{α} | | | | | | | | | | | |

График байгуулах $l(\lambda)$, тайлбар хийх

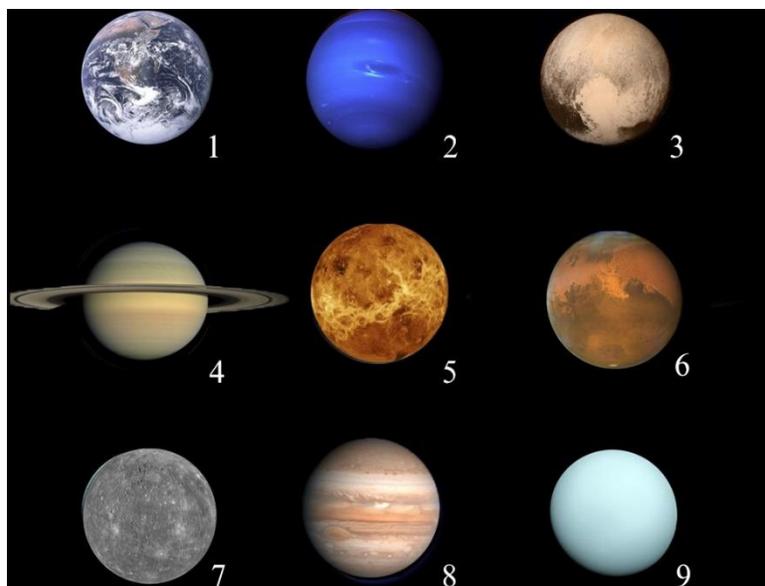


Ажлын хүснэгт Б (с асуултын хариу)

| Спектр дэх шугамын тэмдэглэгээ | Тодорхойлсон λ | Харьяалагдах химийн элемент |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| E d e H K | | |

Ажиглалтын бодлого № 4

“Нарны аймгийн гариг”, 5 оноо



Зураг дээрх Нарны аймгийн найман гариг болон нэг одой гаригийг тоогоор тэмдэглэн харуулав. Хүснэгт дэх асуултад хариулна уу?

| Гаригуудын № | Нарны аймгийн Найман гаригуудын нэр | Нарны аймгийн нэгэн одой гаригийн нэр ба дугаар ? | Хамгийн халуун гариг хэд дүгээрт байна вэ? | Нарны аймгийн аль гаригийг математик тооцооллын аргаар анх нээсэн бэ? | Сансрын аппарат анх очсон гариг хэд дүгээрт байна вэ? |
|--------------|-------------------------------------|---|--|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн

Дунд шатлал - VI-IX анги

Өвөрхангай аймаг, Арвайхээр сум

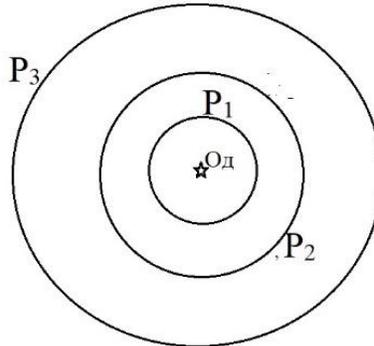
2025 оны 04 дүгээр сарын 07, Даваа гараг

Онолын бодлого № 1 (10 оноо)

“Ретрограде хөдөлгөөн”

Одыг тойрон гурван P_1, P_2, P_3 гаригууд зурагт үзүүлснээр тойрог замаар нэг чиглэлд хөдөлж байна. P_2 гариг дээрх ажиглагчийн хувьд P_1, P_3 гаригуудын билгийн үе S_1, S_3 (synodic үе) хоорондоо тэнцүү ($S_1=S_3$) гэж үзье. P_2 гаригийн одтой харьцуулсан үе (sidereal үе) T_2 Дэлхийнхтэй адил 1 жил гэж үзвэл:

- а) P_1, P_3 гаригуудын одтой харьцуулсан T_1, T_3 үеүдийн боломжит завсрыг тодорхойлно уу.



Тайлбар: Гаригийн одтой харьцуулсан үе (sidereal үе, T) гэдэг нь тухайн гариг Нар буюу одыг тойрон нэг бүтэн эргэх хугацаа юм. Жишээ нь, Дэлхийн хувьд 1 жил буюу 365.24 хоног байдаг. Ангараг гаригийн хувьд 2.1354 жил буюу 779.94 хоног бол Сугар гаригийн хувьд 0.6152 жил буюу 224.701 хоног байдаг. Гаригийн билгийн үе (synodic үе, S) гэдэг нь ажиглагч байгаа гаригтай харьцангуйгаар нөгөө гаригийн нэг бүтэн эргэх хугацааг хэлнэ. Жишээ нь, Ангарагийн хувьд 1.8809 жил буюу 686.98 хоног бол Сугар гаригийн хувьд 1.5987 жил буюу 583.92 хоног байдаг. Хоорондын холбоо, ажиглагчийн (T_0) хувьд дотор талын тойрог замаар

x
 θ
Ангараг гариг Дэлхийтэй нэг чиглэлд хөдөлж байгаа боловч хугацааны зарим хэсэгт (гүйцээж түрүүлэх үед) ажиглагчийн хувьд Ангараг ухарч (ретрограде хөдөлгөөн) байх шиг сэтгэгдэл төрүүлдэг.

л
ж

Онолын бодлого № 2 (10 оноо)

“Устөрөгч үүл”

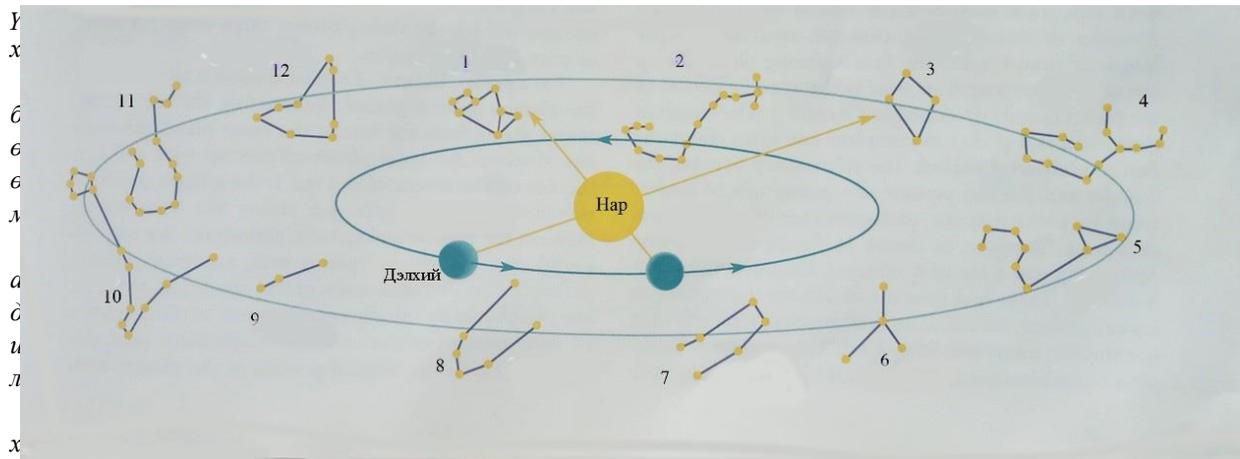
Од хоорондын орон зайд $R = 10$ парсек радиустай, жигд тархсан устөрөгчийн атомоос бүрдсэн бөмбөрцөг үүл оршино. Үүлийг 21 см долгионы урт дээр ажиглахад шугамын өргөн 0.1 мм байжээ. Үүлний массыг үнэлнэ үү.

р

т
о
х
и
о
л
д

Тайлбар: 1 парсек = 3.26 гэрлийн жил. Спектрийн шугам өргөсдөг нэг механизм бол доплер шилжилт байдаг ($\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$). Энд гэрлийн хурд $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ смс}^{-1}$, v – бөөмсийн хурд. Бөөмс хувийн гравитацийн хүчээр харилцан үйлчилсэн, тогтвортой системийн хувьд хоёр дахин авсан дундаж кинетик энерги, дундаж потенциал энерги хоёрын нийлбэр тэгтэй тэнцүү байдаг ($2E - U = 0$). Үүнийг **virial theorem** гэдэг. Жишээ

Практикийн (дадлага-дасгал) бодлого № 3 (6 оноо)



Дэнгэрийн мандалд Нар жилийн дөрвөн улиралд 12 одны ордыг дайран өнгөрдөг. Зурагт өдгээр одны ордны байрлал болон тэдгээрийн ойролцоолсон зураглалыг харуулсан байна. Зураг болон хүснэгт ашиглан дараах асуултад хариулна уу.

- а) Зурагт үзүүлсэн одны ордны дугаарыг өгөгдсөн 12 ордны нэрт харгалзуулан 1-р хүснэгтэд бичнэ үү.

Хүснэгт 1. Нар тэнгэрийн мандлаар өнгөрөх үеийн одны ордууд

| Одны ордны нэр | Товч нэр | Ойролцоо | | Жилийн сарууд | Зурагт тэмдэглэсэн дугаар |
|---------------------|----------|----------------|-------------------|---------------|---------------------------|
| | | Цэх мандал h | Хэлбийлт $^\circ$ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Хумх (Aquarius) | Aqr | 23 | -15 | 3 | |
| Хонь (Aries) | Arg | 3 | +20 | 5 | |
| Хавч (Cancer) | Cnc | 9 | +20 | 8 | |
| Матар (Capricornus) | Cap | 21 | -20 | 2 | |
| Хамтатгах (Gemini) | Gem | 7 | +20 | 7 | |
| Арслан (Leo) | Leo | 11 | +15 | 9 | |
| Чинлүүр (Libra) | Lib | 15 | -15 | 11 | |
| Загас (Pisces) | Psc | 1 | +15 | 4 | |
| Нум (Sagittarius) | Sqr | 19 | -25 | 1 | |
| Хилэнцэт (Scorpius) | Sco | 17 | -40 | 12 | |
| Үхэр (Taurus) | Tau | 4 | +15 | 6 | |
| Охин (Virgo) | Vir | 13 | 0 | 10 | |

Ажиглалтын бодлого № 4 (6 оноо)

Манай цорын ганц Нартай ижил масстай од Дэлхийг тойрон эргэвэл түүний эргэлтийн хугацаа хэд байх вэ?

Ажиглалтын бодлого № 5 (5 оноо)

| № | Асуулт | Хариулт |
|----|--|---------|
| 1 | Нэг дагуултай гариг? | |
| 2 | Хийн гаригуудын аль нь Дэлхийд хамгийн ойрхон өнгөрдөг вэ? | |
| 3 | Масс нь Дэлхийнхтэй хамгийн ойр байдаг гаригийн нэр? | |
| 4 | Ямар гариг тэнхлэгээ хамгийн хурдан эргэдэг вэ? | |
| 5 | Хамгийн их масстай гаригийг нэрлэ? | |
| 6 | Нарны аймгийн хийн гаригуудыг нэрлэ? | |
| 7 | Хамгийн их масстай гариг аль вэ? | |
| 8 | Нарны аймгийн 8 гаригаас дагуулгүй гаригийг нэрлэ? | |
| 9 | Хамгийн их дундаж нягттай гариг? | |
| 10 | Нарыг хамгийн богино хугацаанд эргэдэг хийн гариг? | |

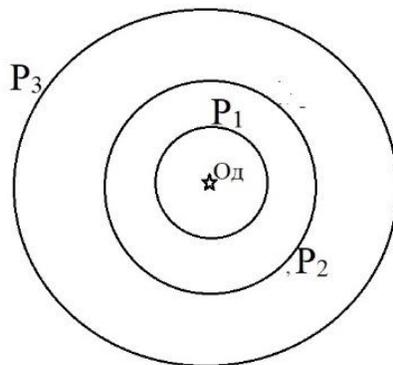
Ахлах шатлал - X-XII анги

Онолын бодлого № 1 (10 оноо)

“Ретрограде хөдөлгөөн”

Одыг тойрон гурван P_1, P_2, P_3 гаригууд зурагт үзүүлснээр тойрог замаар нэг чиглэлд хөдөлж байна. P_2 гариг дээрх ажиглагчийн хувьд P_1, P_3 гаригуудын билгийн үе S_1, S_3 (synodic үе) хоорондоо тэнцүү ($S_1=S_3$) гэж үзье. P_2 гаригийн одтой харьцуулсан үе (sidereal үе) T_2 Дэлхийнхтэй адил 1 жил гэж үзвэл:

- b) P_1, P_3 гаригуудын одтой харьцуулсан T_1, T_3 үеүдийн боломжит завсрыг тодорхойлно уу.
- c) Сугар гаригийн $T_{\text{сугар}} \approx 0.615$ жил үеийн хувьд T_3 -ийг тодорхойлж Ангараг гаригийн $T_{\text{ангараг}} (\approx 2,135$ жил)-тай харьцуулалт хийнэ үү.



Тайлбар: Гаригийн одтой харьцуулсан үе (*sidereal үе, T*) гэдэг нь тухайн гариг Нар буюу одыг тойрон нэг бүтэн эргэх хугацаа юм. Жишээ нь, Дэлхийн хувьд 1 жил буюу 365.24 хоног байдаг. Ангараг гаригийн хувьд билгийн үе (*synodic үе, S*) гэдэг нь ажиглагч байгаа гаригтай харьцангуйгаар нөгөө гаригийн нэг бүтэн эргэх хугацааг хэлнэ. Жишээ нь, Ангарагийн хувьд 1.8809 жил буюу 686.98 хоног бол Сугар гаригийн хувьд 1.5987 жил буюу 583.92 хоног байдаг. Хоорондын холбоо, ажиглагчийн (T_0) хувьд дотор талын тойрог замаар

x

ө

д

Ангараг гариг Дэлхийтэй нэг чиглэлд хөдөлж байгаа боловч хугацааны зарим хэсэгт (гүйцээж түрүүлэх үед) ржиглагчийн хувьд Ангараг ухарч (*ретрограде хөдөлгөөн*) байх шиг сэтгэгдэл төрүүлдэг.

ж

б

Онолын бодлого № 2 (10 оноо)

у

й

“Устөрөгч үүл”

Од хоорондын орон зайд $R = 10$ парсек радиустай, жигд тархсан устөрөгчийн атомоос бүрдсэн бөмбөрцөг үүл оршино. Үүлийг 21 см долгионы урт дээр ажиглахад шугамын өргөн 0.1 мм байжээ. Үүлний массыг үнэлнэ үү.

и

т

а

й

ч

ө

н

р

е

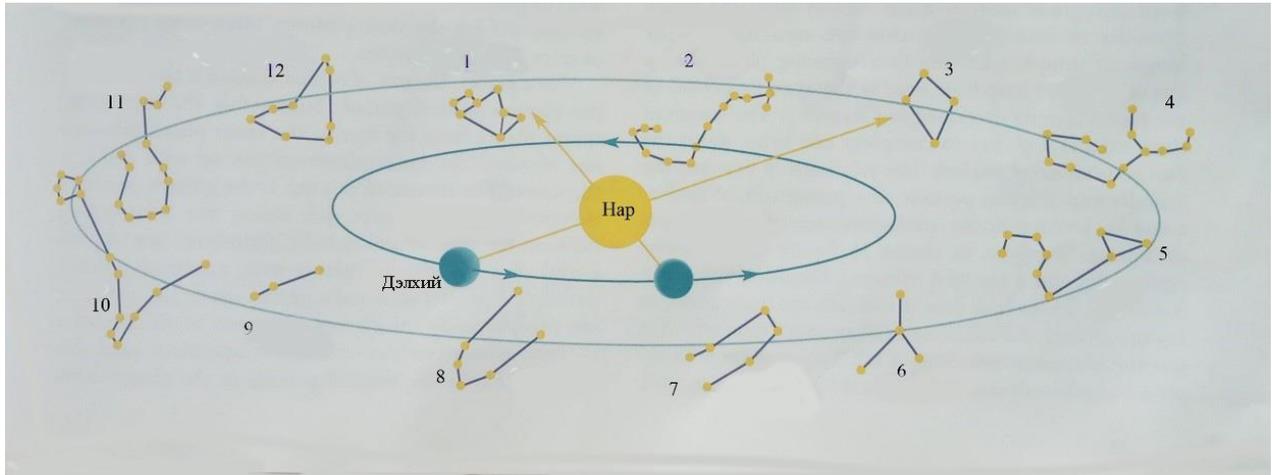
л

Практикийн (дадлага-дасгал) бодлого № 3 (6 оноо)

д

Спектрийн шугам өргөсдөг нэг механизм бол доплер шилжилт байдаг ($\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$). Энд гэрлийн хурд $c = 3 \cdot 10^{10}$ смс⁻¹, v – бөөмсийн хурд. Бөөмс хувийн гравитацийн хүчээр харилцан үйлчилсэн, тогтвортой системийн хувьд хоёр дахин авсан дундаж кинетик энерги, дундаж потенциал энерги хоёрын нийлбэр тэгтэй тэнцүү байдаг ($2E - U = 0$). Үүнийг **virial theorem** гэдэг. Жишээ нь, бүх бөөм адил хурдтай, жигд тархсан нэгэн

т



Тэнгэрийн мандалд Нар жилийн дөрвөн улиралд 12 одны ордыг дайран өнгөрдөг. Зурагт эдгээр одны ордны байрлал болон тэдгээрийн ойролцоолсон зураглалыг харуулсан байна. Зураг болон хүснэгт ашиглан дараах асуултад хариулна уу.

- Зурагт үзүүлсэн одны ордны дугаарыг өгөгдсөн 12 ордны нэрт харгалзуулан 1-р хүснэгтэд бичнэ үү.
- Зураг дээр Дэлхийн хоёр байрлалыг дүрсэлсэн байна. Энэ хоёр байрлал хэддүгээр сард тохиож байна вэ ? Зураг дээр тэмдэглэх !

Хүснэгт 1. Нар тэнгэрийн мандлаар өнгөрөх үеийн одны ордууд

| Одны ордны нэр | Товч нэр | Ойролцоо | | Жилийн сарууд | Зурагт тэмдэглэсэн дугаар |
|---------------------|----------|----------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| | | Цэх мандал h | Хэлбийлт $^{\circ}$ | | |
| Хумх (Aquarius) | | | | | |
| Хонь (Aries) | | | | | |
| Хавч (Cancer) | | | | | |
| Матар (Capricornus) | | | | | |
| Хамтатгах (Gemini) | | | | | |
| Арслан (Leo) | | | | | |
| Чинлүүр (Libra) | | | | | |
| Загас (Pisces) | | | | | |
| Нум (Sagittarius) | | | | | |
| Хилэнцэт (Scorpius) | | | | | |
| Үхэр (Taurus) | | | | | |
| Охин (Virgo) | | | | | |

Ажиглалтын бодлого № 4 (6 оноо)

Манай цорын ганц Нартай ижил масстай од Дэлхийг тойрон эргэвэл түүний эргэлтийн хугацаа хэд байх вэ?

Ажиглалтын бодлого № 5 (5 оноо)

| № | Асуулт | Хариулт |
|----------|--|----------------|
| 1 | Хамгийн их дагуултай гариг? | |
| 2 | Хийн гаригуудын аль нь Дэлхийд хамгийн ойрхон өнгөрдөг вэ? | |
| 3 | Хөрстэй гаригуудын хамгийн том хэмжээтэй нь? | |
| 4 | Ямар гариг тэнхлэгээ хамгийн хурдан эргэдэг вэ? | |
| 5 | Дэлхийгээс хамгийн хол байдаг гариг? | |
| 6 | Нарны аймгийн хөрстэй гаригуудыг нэрлэ? | |
| 7 | Хамгийн бага масстай гариг? | |
| 8 | Нарны аймгийн 8 гаригаас дагуулгүй гаригуудыг нэрлэ? | |
| 9 | Хамгийн их дундаж нягттай гариг? | |
| 10 | Нарыг хамгийн богино хугацаанд эргэдэг хийн гариг? | |