

Lietuvos mokinių šeštoji astronomijos olimpiada
Antro turo uždavinių sprendimai

X – XII klasė

1 uždavinys (5 taškai)

Kai į Saulę panašios žvaigždės gelmėse „sudega“ visas branduolinis kuras, ji nusimeta išorinius sluoksnius, iš kurių susiformuoja planetiškas ūkas, o centrinė sritis, kurią sudaro daugiausia anglies jonai ir elektronai, susitraukia ir virsta baltąja nykštuke. Toliau spinduliuodama sukauptą energiją baltoji nykštukė palaipsniui vėsta, kol visai atšąla. Apskaičiuokite, per kiek metų baltoji nykštukė atšals iki absoliutaus nulio, jei jos masė lygi Saulės masei ($1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$), spindulys 10 000 km, jos centre temperatūra lygi 10^8 K , o jos paviršius spinduliuoja kaip absoliučiai juodas kūnas, kurio temperatūra 10^4 K ? Skaičiavimuose laikykite, kad tokios baltosios nykštukės visa šiluminė energija susieta su anglies jonais.

Sprendimas:

Vienos dalelės energija

$$E_1 = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

Čia T – temperatūra žvaigždės centre.

Kadangi baltosios nykštukės energijos išteklių siejami su anglies jonais, apskaičiuojame anglies jonų kiekį baltojoje nykštukėje:

$$N = \frac{M}{A \cdot m_u}$$

Čia M – baltosios nykštukės masė; A – anglies jono santykinė atominė masė; m_{amu} – atominės masės vieneto vertė kg.

Baltojoje nykštukėje sukaupta energija siejama tik su anglies jonais dėl to, kad elektronai esti išsigimusioje būsenoje.

$$E = N \cdot E_1 = \frac{M}{A \cdot m_u} \cdot \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

Jei baltoji nykštukė spinduliuoja kaip juodas kūnas, tai remiantis Stefano ir Bolcmano dėsniumi, jos šviesis yra lygus:

$$L = 4\pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{ef}}^4$$

Čia T_{ef} – temperatūra baltosios nykštukės paviršiuje.

Baltosios nykštukės spinduliavimo trukmė:

$$\tau = \frac{E}{L} = \frac{\frac{M}{A \cdot m_{\text{amu}}} \cdot \frac{3}{2} k T}{4\pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T_{\text{ef}}^4} = \frac{3}{8} \frac{k}{\pi \sigma} \frac{M}{A \cdot m_u} \frac{T}{R^2 \cdot T_{\text{ef}}^4}$$

$$\tau = \frac{3}{8} \frac{1,38 \cdot 10^{-23}}{3,14 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}} \frac{1,989 \cdot 10^{30}}{12 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}} \frac{10^8}{10^{14} \cdot 10^{16}} \approx 2,9 \cdot 10^{17} \approx 9,2 \cdot 10^9 [\text{metų}]$$

2 uždavinys (4 taškai)

Asteroidas, kurio apskriejimo aplink Saulę periodas lygus vieneriems metams, o orbitos ekscentricitetas lygus 0,8, buvo afelyje tuo metu, kai Žemė buvo tiksliai priešingoje pusėje nuo Saulės negu asteroidas. Apskaičiuokite, koks bus asteroido nuotolis nuo Žemės, kai asteroidas kirs Žemės orbitą.

Laikykite, kad asteroido ir Žemės orbitų plokštumos sutampa ir Žemė aplink Saulę skrieja apskritimine orbita. Žemės ir asteroido orbitų perturbacijų nepaisykite. 1 pav. pavaizduota Žemės orbita. 1 langelis atitinka 0,2 AU. Brėžinyje nubrėžkite asteroido orbitą ir pažymėkite Žemės ir asteroido padėtis pradiniu ir galiniu laiko momentu.

Sprendimas:

III Keplerio dėsnis:

$$\frac{a_Z^3}{a_A^3} = \frac{P_Z^2}{P_A^2},$$

čia a_Z ir a_A - Žemės ir asteroido orbitų didieji pusašiai, P_Z ir P_A - Žemės ir asteroido skriejimo aplink Saulę periodai.

Kadangi asteroidas Saulę apskrieja per vienerius metus, tai asteroido orbitos didysis pusašis lygus Žemės orbitos spinduliui, tai yra 1 AU.

$$a_Z = a_A = a = 1\text{AU}$$

Asteroido perihelio nuotolis bus:

$$q = a(1 - e) = 0,2\text{AU}$$

Nubrėškime brėžinį (pav. 2.). 1 langelis (0,5 cm)=0,2 AU.

Elipsės ekscentricitetas:

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$

$$b = a \cdot \sqrt{1 - e^2} = 0,6\text{AU}$$

Nuotolis nuo Saulės iki elipsės centro:

$$|SO| = a - q,$$

čia q yra asteroido perihelio nuotolis nuo centro, a - asteroido orbitos didysis pusašis.

Tada asteroido spindulys vektorius nuo asteroido afelio iki taško K apibrėžė plotą:

$$S_1 = \frac{1}{2}(a-q) \cdot b + \frac{1}{4}\pi \cdot a \cdot b = 0,71AU^2$$

Per kiek laiko asteroidas pasieks tašką K?

II Keplerio dėsnis sako, kad planetos spindulys vektorius per lygius laiko tarpus apibrėžia lygius plotus.

Laikas t atitinka S_{1A}

Laikas T (visas periodas) atitinka visą elipsės plotą S_A .

$$t = \frac{T \cdot S_{1A}}{S_A} = 0,37 \text{ metų}$$

Per laiką t Žemės spindulys vektorius pasisuks kampu γ :

$$\gamma = \frac{360 \cdot t}{T} = 133,2 \text{ laipsnių}$$

$$\beta = 180 - \gamma = 46,8 \text{ laipsnių}$$

Kampas tarp krypties iš Saulės į asteroidą ir krypties iš Saulės į Žemę bus:

$$\beta' = \alpha + \beta = 37 + 46,8 = 82,8 \text{ laipsnių,}$$

$$\text{kur } \sin \alpha = \frac{b}{r},$$

čia r - Žemės orbitos spindulys.

$$\alpha \approx 37^\circ$$

Tada tuo momentu nuotolis tarp Žemės ir asteroido iš kosinusų teoremos:

$$|\check{Z}_1 K|^2 = r^2 + r^2 - 2 \cdot r \cdot r \cdot \cos \beta' = 1,75AU^2$$

$$|\check{Z}_1 K| = 1,32AU$$

3 uždavinys (6 taškai)

A dalis (3 taškai)

Dviejų žvaigždžių spiečių, esančių skirtingame nuotolyje nuo Saulės, žvaigždžių spindesys buvo išmatuotas regimajame (V ryškis) ir mėlynajame (B ryškis) spektro ruožuose. 1 pav. pateikti artimesniojo (A), o 2 pav. – tolimesniojo (T) spiečiaus žvaigždžių fotometrijos rezultatai: regimojo ryškio V ir spalvos rodiklio $B-V$ diagramos.

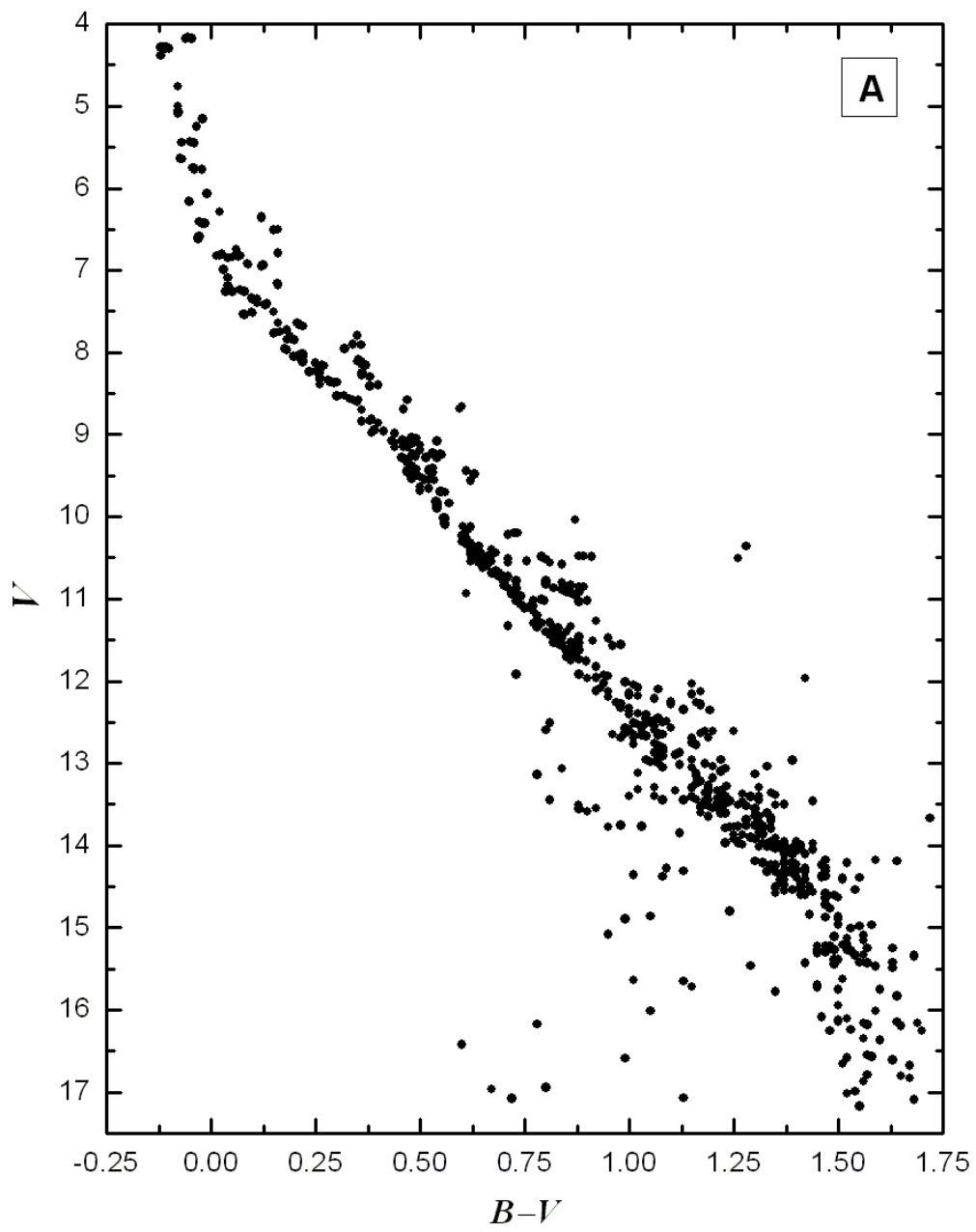
Tolimesniajame spiečiuje yra stebima cefeidė, kurios vidutinis regimasis ryškis $V \approx 7,5$. Koks šios cefeidės spindesio kitimo periodas P , jei artimesniojo spiečiaus žvaigždžių paralaksų vidurkis apytiksliai lygus $0,008''$?

B dalis (3 taškai)

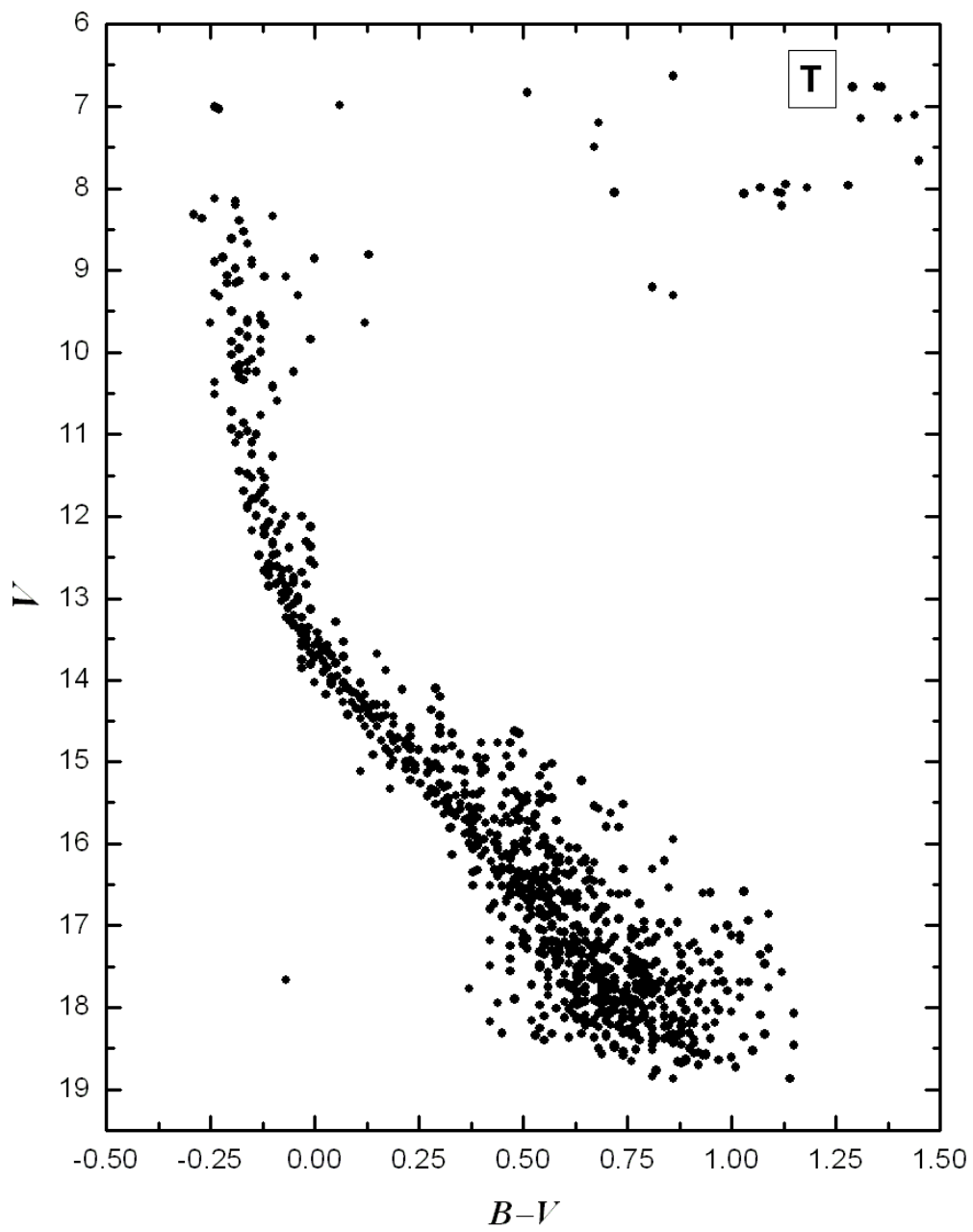
Kaimyninėje galaktikoje aptikta cefeidė, kurios spindesio kitimo periodas 2,5 karto ilgesnis už uždavinio A dalyje minimos cefeidės periodą, o vidutinis regimasis ryškis $V \approx 18,6$. Šios galaktikos spektre išmatuotos H_α emisinės linijos bangos ilgis (*po korekcijos dėl Žemės ir Saulės judėjimo mūsų Galaktikoje*) yra 655,62 nm, o laboratorijoje – 656,28 nm.

Apskaičiuokite, po kiek metų dabar stebimas šios galaktikos spindesys pakis 2 ryškiais, jei jos absoliutinis ryškis bei radialinis greitis laikui bėgant nesikeis. Koks tuo metu bus jos nuotolis?

Pastaba: sąlygoje ryškiai duoti įskaičius tarpžvaigždinės ekstinkcijos poveikį (atbalinti).



1 pav. Artimesniojo žvaigždžių spiečiaus regimojo ryškio V ir spalvos rodiklio $B-V$ diagrama.



2 pav. Tolimesniojo žvaigždžių spiečiaus regimojo ryškio V ir spalvos rodiklio $B-V$ diagrama.

3 uždavinio sprendimas

3A dalis.

Cefeidės periodą galima rasti žinant jos vidutinį absoliutinį ryški iš cefeidžių vidutinio absoliutinio ryškio ir periodo sąryšio:

$$M_V = -1,4 - 2,8 \cdot \lg P$$

Cefeidės absoliutini ryškį rasime pasinaudodami nuotolio moduliui:

$$V - M_V = 5 \cdot \lg r - 5$$

Nuotolį parsekais pakeitę paralaksu ($r = 1/p$), apskaičiuojame artimesniojo spiečiaus nuotolio modulį:

$$\begin{aligned} V - M_V &= -5 \cdot \lg p - 5 = 5 \cdot \lg(1/0,008) - 5 = \\ &= 5 \cdot \lg(125) - 5 \approx 5 \cdot 2,1 - 5 \approx 5,5 \end{aligned}$$

Iš šio spiečiaus žvaigždžių regimųjų ryškių V atėmę 5,5 gausime jų absoliutinius ryškius, tad 1 pav. diagramoje galime pasižymėti, kad $V = 5,5$ atitinka $M_V = 0$ ir t.t. (toku būdu Y ašį gauname absoliutinių ryškių skalėje).

Kadangi pagrindinės sekos žvaigždės yra tokio paties absoliutinio ryškio, kai jų $B-V$ sutampa, tai tolimesniojo spiečiaus nuotolio modulį rasime pasinaudoję pagrindinių sekų sutapatavimo metodu. Uždėję 1 ir 2 pav. vieną ant kito, suderiname diagramas taip, kad vertės abiejų diagramų $B-V$ ašyse būtų tokios pačios (žr. 3 pav.). Tada stumdydami paveikslėlius išilgai Y ašies surandame padėti, kai spiečių žvaigždžių pagrindinės sekos sutampa geriausiai ir žiūrime ties kokiu tolimesniojo spiečiaus regimuoju ryškiu atsidūrė artimesniojo spiečiaus absoliutinis ryškis $M_V = 0$. Gauname apytiksliai 12,5. Vadinasi tolimesniojo spiečiaus nuotolio modulis yra $\sim 12,5$.

Kadangi tolimesniame spiečiuje stebimos cefeidės $V \approx 7,5$, tai jos absoliutinis ryškis:

$$M_V = V - 12,5 = 7,5 - 12,5 = -5$$

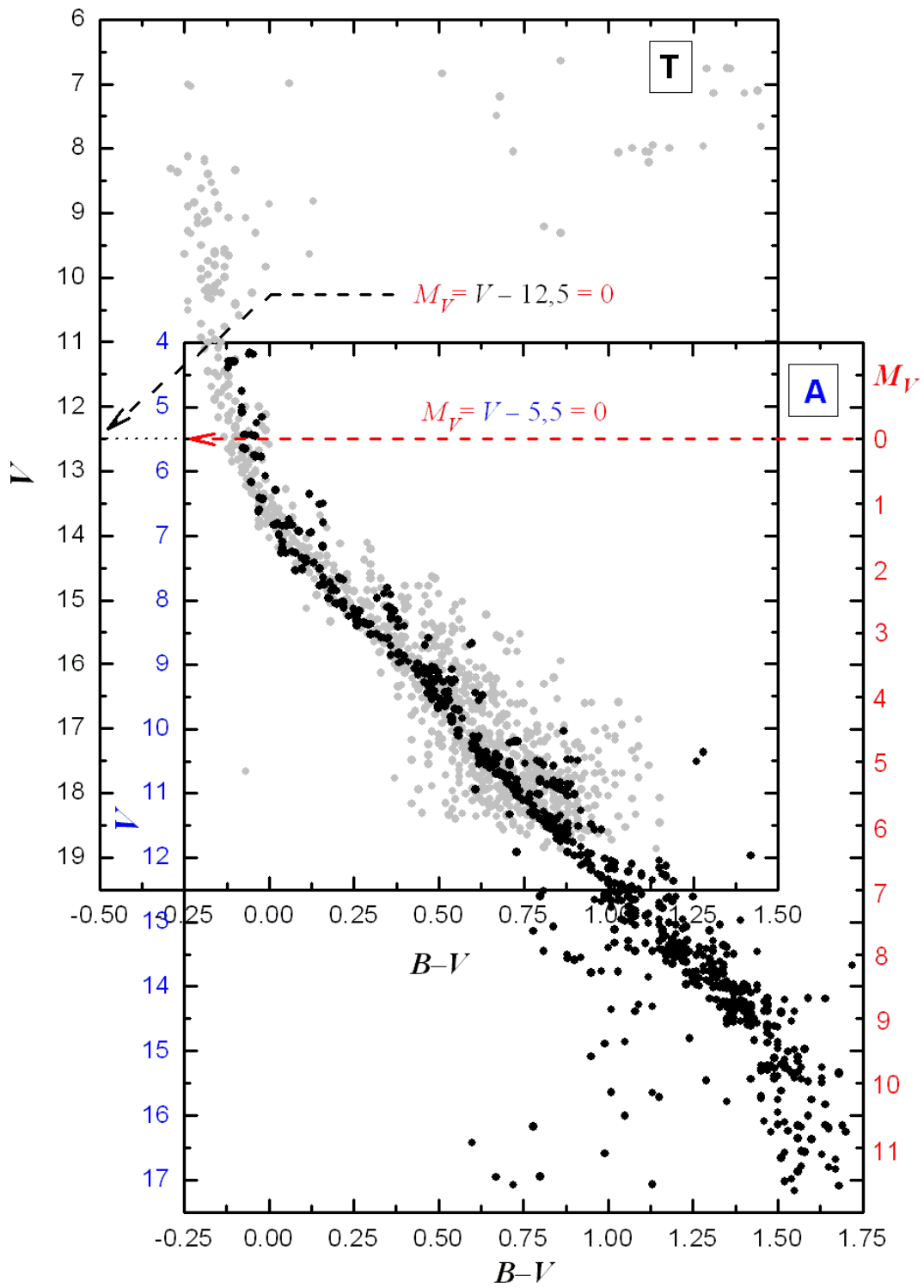
Jos periodo P logaritmas:

$$\lg P = \frac{M_V + 1,4}{-2,8} = \frac{-5 + 1,4}{-2,8} \approx 1,2857$$

Ir ieškomasis cefeidės spindesio kitimo periodas:

$$P = 10^{1,2857} \approx 19,3 \text{ paros}$$

Atsakymas. Tolimesniajame spiečiuje stebimos cefeidės spindesio kitimo periodas $\sim 19,3$ paros.



3 pav. Tolimesniojo spiečiaus (T) nuotolio modulio suradimas, sutapatinant šio ir artimesniojo (A) spiečių žvaigždžių pagrindines sekas.

3 B dalis.

Iš pateiktų spektrinių matavimų rezultatų nustatysime, koks yra kaimyninės galaktikos greitis mūsų Galaktikos atžvilgiu. H_α emisinės linijos poslinkis spektre dėl galaktikos judėjimo išilgai regėjimo spindulio yra:

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{steb}} - \lambda_{\text{lab}} = 655,62 - 656,28 = -0,66 \text{ nm}$$

Tada galaktikos radialinis greitis: $\vec{v} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{\text{lab}}} c = \frac{-0,66}{656,28} c \approx -0,001 \cdot c$

Minuso ženklas rodo, kad kaimyninė galaktika artėja.

Kadangi spindesys yra atvirkščiai proporcingas nuotolio kvadratui, tai dabartinis galaktikos regimais ryškis m_1 sumažės iki ryškio m_2 (spindesys J_1 sustiprės iki J_2) tada, kai nuotolis iki galaktikos sumažės nuo dabartinio R_1 iki nuotolio R_2 :

$$m_2 - m_1 = -2,5 \cdot \lg \frac{J_2}{J_1} = -2,5 \cdot \lg \frac{R_1^2}{R_2^2} = -5 \lg \frac{R_1}{R_2}$$

Žinome, kad $m_2 - m_1 = 2$, vadinasi R_2 išreikštas per R_1 bus:

$$-5 \cdot \lg(R_1 / R_2) = m_2 - m_1 \quad \rightarrow \quad \lg(R_1 / R_2) = -2 / -5 = 0,4 \quad \rightarrow \quad R_2 \approx 0,4 \cdot R_1$$

Atstumas, kurį galaktika turės įveikti: $s = R_1 - R_2 = 0,6 \cdot R_1$

Laikas reikalingas atstumui s įveikti: $t = \frac{s}{v} = \frac{0,6 \cdot R_1}{0,001 \cdot c} = 600 \frac{R_1}{c}$

Jei nuotolis R_1 yra parsekais, tai šviesos greitį c išreiškus šviesmečiais per metus, o atstumą s šviesmečiais, gauname, kad laikas t metais yra:

$$t = 600 \cdot 3,26 \cdot R_1 = 1956 \cdot R_1$$

Laikome, kad nuotolio modulis iki cefeidės yra ir pačios galaktikos nuotolio modulis, tada:

$$V - M_V = 5 \cdot \lg R_1 - 5, \quad (1)$$

$$\text{kur } M_V = -1,4 - 2,8 \cdot \lg P \quad (2)$$

Žinome, kad šios cefeidės $V \approx 18,6$, o spindesio kitimo periodas P yra 2,5 ilgesnis už uždavinio A dalyje surastą cefeidės periodą ($\sim 19,3$ paros). Įstatę į (1) išraišką (2) ir žinomas skaitines vertes gauname, kad **dabartinis nuotolis iki galaktikos**:

$$\lg R_1 = 0,2 \cdot (V - M_V + 5) = 0,2 \cdot (18,6 + 1,4 + 2,8 \cdot \lg(2,5 \cdot 19,3) + 5) \approx 5,943$$

$$R_1 = 10^{5,943} \approx 877000 \text{ pc}$$

Ieškomas laikas: $t \approx 1956 \cdot 877000 \approx 1,7 \cdot 10^9$ metų

ir nuotolis: $R_2 \approx 0,4 \cdot R_1 \approx 0,4 \cdot 877000 \approx 350800 \approx 351 \text{ kpc}$

Atsakymas. Kaimyninė galaktika bus stebima 2 ryškiais šviesesnė po $\sim 1,7$ milijardo metų; tuo metu ji bus $\sim 351 \text{ kpc}$ nuotolyje.

4 uždavinys (4 taškai)

A dalis (1 taškai)

Jau ne vieną dešimtmetį astronomai radijo teleskopais „klausosi“ kosmoso, tačiau nežemiškų civilizacijų signalų iki šiol neužfiksavo. Kaip manote, kodėl?

B dalis (3 taškai)

Apytikslį civilizacijų, kurios šiuo metu skleidžia radijo signalus, skaičių N Galaktikoje galima įvertinti matematiškai, pvz. tokios formos lygtimi:

$$N = K \times f_1 \times f_2 \times f_3 \times \dots,$$

kur K – žvaigždžių skaičius Galaktikoje, o f_1, f_2, f_3, \dots – lygties nariai, kurie aprašo įvairius kitus civilizacijų egzistavimą lemiančius kosminius faktorius.

Užrašykite (vietoje f_1, f_2, f_3, \dots) svarbiausius, jūsų nuomone, šios lygties narius. Kuriuos iš jų galima įvertinti kiekybiškai, o kurių įtaką galutiniam rezultatui galima tik nuspėti?

4 uždavinys (4 taškai)

A dalis (1 tšk.)

Jau ne vieną dešimtmetį astronomai radijo teleskopais „klausosi“ kosmoso, tačiau nežemiškų civilizacijų signalų iki šiol neužfiksavo. Kaip manote, kodėl?

B dalis (3 tšk.)

Apytikslį civilizacijų, kurios šiuo metu skleidžia radijo signalus, skaičių N Galaktikoje galima įvertinti matematiškai, pvz. tokios formos lygtimi:

$$N = K \times f_1 \times f_2 \times f_3 \times \dots,$$

kur K – žvaigždžių skaičius Galaktikoje, o f_1, f_2, f_3, \dots – lygties nariai, kurie aprašo įvairius kitus civilizacijų egzistavimą lemiančius kosminius faktorius.

Užrašykite (vietoje f_1, f_2, f_3, \dots) svarbiausius, jūsų nuomone, šios lygties narius. Kuriuos iš jų galima įvertinti kiekybiškai, o kurių įtaką galutiniam rezultatui galima tik nuspėti?

4 uždavinio sprendimo rekomendacijos

4-A dalis

Pateikiama tik dalis galimų priežasčių, kurios išvardintos ne svarbos tvarka.

Nežemiškų civilizacijų signalai gali būti neužfiksuojami todėl, kad:

- klausomasi ne tuo radijo dažniu ir ne tuo metu, kai sklinda signalai;
- klausomasi ne ta kryptimi iš kur sklinda signalai;
- signalus pagauname, bet jų neatpažįstame (manome, kad jie natūralios kilmės);
- technologinės civilizacijos yra retas reiškinys (tokiu raidos keliu pasuka mažuma civilizacijų) dėl to mus skiria labai dideli atstumai (signalai yra, bet per silpni, kad būtų užfiksuoti);
- technologinės civilizacijos raidos tarpsnis, kai radijo bangos naudojamos komunikacijai, labai trumpas (Žemėje radijas egzistuoja tik ~100 metų);
- senesnių už mus technologinių (galinčių bendrauti radijo bangomis) civilizacijų šiuo metu nėra, nes jos gyvuoja trumpai (susinaikina pačios arba žūva natūraliai), o naujos arba dar neužgimė, arba dar nepasiekė reikiamo technologinio lygio;
- kitos civilizacijos radijo signalų nesiuočia: gal nemoka, gal naudojami kitoms komunikacijos priemonėmis (ne radijo bangomis), o gal nenori bendrauti, gal bijo, nes tai pavojinga, gal tai per brangu (reikia daug energijos pakankamai stiprių signalų siuntimui) ir t.t.;
- civilizacijų yra mažai, nes gyvybei reikia tinkamų sąlygų tarpti, o jos pasitaiko retai ir dar rečiau į tokias sąlygas patekusi gyvybė evoliucionuoja iki civilizacijos lygio;
- mes esame vieninteliai (signalų nėra, nes nėra kitų civilizacijų).

4-B dalis

Konkretus lygties narių skaičius priklauso nuo to, kokius kosminius faktorius civilizacijų egzistavimui laikysime svarbiais.

Pabandykime įvertinti, koks galėtų būti šiuo metu užfiksuojamus radijo signalus skleidžiančių civilizacijų skaičius N , jį išreikdami taip:

$$N = K \times f_{GZ} \times f_{S1} \times f_e \times f_p \times n_z \times f_g \times f_i \times f_c \times f_t,$$

kur:

K – žvaigždžių skaičius Galaktikoje;

f_{GZ} – patenkančių į Galaktikos gyvybės zoną žvaigždžių dalis;

f_{S1} – vienanarių Saulės tipo žvaigždžių dalis;

f_e – pagal amžių tinkamų žvaigždžių dalis;

f_p – turinčių planetines sistemas žvaigždžių dalis;

n_z – vidutinis Žemės tipo planetų skaičius planetinėje sistemoje;

f_g – planetų, kuriose yra gyvybė (biosfera), dalis;

f_i – planetų, kuriose išsivystė protinga gyvybė, dalis;

f_c – civilizacijų, kurios siunčia užfiksuojamus signalus, dalis;

f_t – tikimybė „būti išgirstai“.

Panagrinėkime atskirai kiekvieną lygties narį

(vaizdumo dėlei įrašydami galimas skaitines vertes)

K – žvaigždžių skaičius Galaktikoje

Galaktikoje susiformavusių žvaigždžių skaičius (įvertinant žvaigždžių formavimosi tempą, pasiskirstymą pagal mases, Galaktikos amžių): $\sim 4 \times 10^{11}$.

f_{GZ} – patenkančių į Galaktikos gyvybės zoną žvaigždžių dalis

Netinkamos vietos gyvybei: Galaktikos centras (pavojų kelia masyvi juodoji skylė ir procesai vykstantys aplinkui ją), Galaktikos išorinės sritys (trūksta sunkesnių už helį cheminių elementų – nėra iš ko formuotis planetoms ir gyvybei), arti aktyvių žvaigždėdaros rajonų (supernovų pavojus), didelio žvaigždžių tankio rajonai (galimi planetų orbitų nestabilumai, žvaigždžių susidūrimų pavojus) ir t.t. Įvertinant visą tai, gaunama, kad į Galaktikos gyvybės zoną patenka $\sim 1/10$ visų žvaigždžių, tad $f_z \approx 0,1$.

f_{S1} – vienanarių Saulės tipo žvaigždžių dalis

Manoma, kad gyvybei palankios sąlygos atsirasti ir evoliucionuoti yra prie pagal masę panašių į Saulę žvaigždžių (masyvesnės žvaigždės evoliucionuoja per greitai, mažesnės masės – spinduliuoja per silpnai). Šių žvaigždžių sudėtyje turi būti ir pakankamai įvairių cheminių elementų (jų aplinkoje yra medžiagos susiformuoti uolinėms planetoms). Dvinarėse sistemose būtų trikdomos planetų orbitos. Vertinant iš žvaigždžių pasiskirstymo pagal mases gaunama, kad 0,8 iki 1,2 Saulės masės žvaigždės sudaro $\sim 10\%$, kadangi apie pusę iš jų yra dvinarės, tai $f_{S1} \approx 0,05$.

f_e – pagal amžių tinkamų žvaigždžių dalis

Civilizacijos neatsirado Galaktikoje iš karto - turėjo praeiti laiko, kol susiformavo Saulės tipo žvaigždės, prie jų - planetos, o jose gyvybė evoliucionavo iki civilizacijos. Tarkime civilizacija planetoje atsiranda po ~ 4 milijardų metų nuo žvaigždės susiformavimo, kadangi Galaktikai ~ 13 milijardų metų, tai vyresnių negu 4 milijardai metų žvaigždžių dalis $f_e \approx (13-4)/13 \approx 0,7$.

f_p – turinčių planetines sistemas žvaigždžių dalis

Planetų prie kitų žvaigždžių randama vis daugiau, tad panašu, kad planetų formavimasis yra dažnas reiškinys. Manoma, f_p gali būti tarp 0,5 ir 1.

 n_z – vidutinis Žemės tipo planetų skaičius planetinėje sistemoje

Prie kitų žvaigždžių kol kas dažniausiai aptinkamos tik didelės masės planetos. Tačiau panašiu į Žemę planetų, kuriomis gali būti laikomi ir pakankamai dideli dujinių planetų milžinių palydovai, yra bent po kelias kiekvienoje planetinėje sistemoje. Saulės sistemoje tai: Venera, Žemė, Marsas, didieji Jupiterio ir Saturno palydovai. Optimistinis n_z vertinimas: ~ 10 , pesimistinis: $\sim 0,1$.

 f_g – planetų, kuriose yra gyvybė (biosfera), dalis

Kurioje dalyje iš Žemės tipo planetų atsiranda ir išlieka gyvybė nėra aišku. Planeta turėtų būti nei per arti, nei per toli nuo žvaigždės - ten kur tinkama temperatūra skystam vandeniui egzistuoti. Planetos tinkamumą gyvybei gali lemti tiek pačios planetos, tiek ir jos kaimynų savybės, pvz.: Žemės atveju įtakos gyvybės atsiradimui galėjo turėti Mėnulis arba tai, kad Saulės sistemoje egzistuoja tokia masyvi planeta kaip Jupiteris. Kol kas žinome tik vienintelę planetą, kurioje tikrai egzistuoja gyvybė. Pesimistinis f_g vertinamas: $\sim 0,01$ (gyvybė atsiranda retai), optimistinis: ~ 1 (gyvybė atsiranda visada, kai tik tam yra tinkamos sąlygos).

 f_i – planetų, kuriose išsivystė protinga gyvybė, dalis

Jei planetoje atsirado gyvybė, ar ji būtinai evoliucionuos iki protingos gyvybės? Manoma, kad evoliuciniai procesai gyvojoje gamtoje yra universalūs ir kitose planetose turėtų veikti taip pat. Kitas klausimas, kiek evoliucijai reikia laiko ir ar yra jai reikiamos sąlygos? Jei bakterijos santykinai „nereiklios“ aplinkai, tai žinduoliams egzistuoti reikalinga sudėtinga ekosistema. Tarkime, pesimistiniu atveju: $f_i \approx 0,001$, optimistiniu: $f_i \approx 0,5$.

 f_c – civilizacijų, kurios siunčia užfiksuojamus signalus, dalis

Kad civilizacija galėtų siųsti signalus, ji turi tapti technologine, tačiau ir tapusi tokia, ji nebūtinai gali norėti siųsti signalus (žr. sprendimo A dalį). Tarkime, kad galinčių ir norinčių bendrauti dalis: nuo 0,01 (1 iš 100) iki 1 (siunčia visos civilizacijos).

 f_t – tikimybė „būti išgirstai“

Civilizacija gali siųsti signalus tam tikrą baigtinį laiko tarpą – tiek laiko, kiek ji gyvena. Maksimali galima trukmė – tinkamumo gyventi gimtojoje planetoje laikotarpis L_M (prie Saulės tipo žvaigždžių $\sim 10^{10}$). Tad tikimybė „būti išgirstai“ yra realus signalo siuntimo laikotarpis L (civilizacijos gyvavimo laikotarpis) padalintas iš maksimaliai galimos trukmės: L/L_M . Pesimistinė f_t vertė: 10^{-6} (civilizacijos žūva po ~ 10000 metų), optimistinė 0,1 (išgyvena $\sim 10^9$ metų).

Įstatę apsibrėžtas (optimistines ir pesimistines) vertes gauname:

$$\begin{aligned}
 N &= K \times f_{GZ} \times f_{S1} \times f_e \times f_p \times n_z \times f_g \times f_i \times f_c \times f_t = \\
 &= 4 \times 10^{11} \times 0,1 \times 0,05 \times 0,7 \times 0,5 \times 10 \times 1 \times 0,5 \times 1 \times 0,1 \approx 35 \times 10^7 \\
 &= 4 \times 10^{11} \times 0,1 \times 0,05 \times 0,7 \times 0,1 \times 0,1 \times 0,01 \times 0,001 \times 0,01 \times 10^{-6} \approx 14 \times 10^{-7}
 \end{aligned}$$

Matome, kad civilizacijų skaičius gali būti tiek labai didelis, tiek ir labai mažas. Labiausiai galutinį rezultato neapibrėžtumą įtakoja mažiausiai pagrįsti 3 paskutiniųjų narių (civilizacijos faktorius) įverčiai – jie tik spėjimai. Pirmųjų 4 (žvaigždžių faktorius) lygties narių kiekybinis įvertinimas yra patikimiausias. Likusieji 3 (tinkamos gyvybei planetos faktorius) gausėjant stebėjimų medžiagai turėtų tapti vis labiau apibrėžti.