

Theory

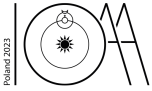


Q1-1

Estonian (Estonia)

Neptuun (5 punkti)

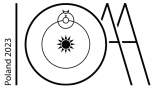
Teades, et Neptuun on opositsioonis 21. septembril 2024, arvutage, millisel aastal oli Neptuun viimati opositsioonis põhjapoolkera kevadise pööripäeva lähedal. Eeldage, et Maa ja Neptuuni orbiidid on ringikujulised.



Magnetväli (5 punkti)

Valge kääbuse kiirguspektris leiti kiirgusjoon lainepikkusega $\lambda = 600$ nm. Eeldades, et see pärineb vaba mitterelativistliku elektroni vastasmõjust magnetväljaga,

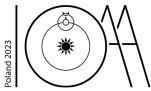
- arvutage magnetvälja tugevus;
- hinnake, mis on teise spektrijoone lainepikkus, mille avastamine võib kinnitada, et jooned pärinevad plasmaosakestest magnetväljas.



Mikrolääts (5 punkti)

Galaktilises muhus (bulge) asuva tuhmi alamkääbuse ($I = 20.4 \text{ mag}$) näiv heledus suurenes gravitatsioonilise mikroläätsse tõttu (*gravitational microlensing*) väärtuseni $I' = 15.2 \text{ mag}$, võimaldades kõrge resolutsiooniga spektraalset mõõtmist. Mõõtmist sooritati Väga Suure Teleskoobi (peegli diameeter $D = 8.2 \text{ m}$) UVES spektrograafi abil.

Hinnake, mis oleks vajalik teleskoobi läbimõõt, et saavutada sama seadme ja säriaajaga sama kvaliteetne spekter tähe algse näiva heleduse puhul. Optilise kiu ava on piisavalt väike, et taeva tausta mõju oleks tühine.



Europa (10 punkti)

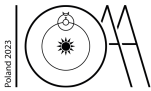
- (a) Eeldades, et Europa ookeani kattev jää on 6 km paks, Europa pinna temperatuur öisel küljel on 100 K ja jää-vee piiri temperatuur on 273 K, arvutage Europa sisemusest eralduva soojuse koguvõimsus.
- (b) Maa kontinentaalse pinna keskmine geotermiline soojusvoog on $70 \times 10^{-3} \text{ Wm}^{-2}$, mis pärineb peamiselt radioaktiivsest lagunemisest. Kas Europa sisemusest lähtuva soojuse põhjuseks on tõenäolisemalt radioaktiivne lagunemine või loodejõud (tidal forces)? Eeldage, et Maa ja Europa on sarnase isotoopilise koostisega. (Valige vastuselehel õige vastus ja esitage oma lahenduskäik.)

Märkused: seinapindalaga S ja paksusega d läbib aja t jooksul soojushulk

$$Q = \lambda S \Delta T t / d,$$

kus λ on soojusjuhtivus ja ΔT on temperatuuride vahe.

Jää soojusjuhtivus on $\lambda = 3 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Europa mass ja raadius on vastavalt $4.8 \times 10^{22} \text{ kg}$ ja 1561 km.



Tumeenergia (12 punkti)

Vaatlused näitavad, et Universumi paisumine kiireneb. Kosmilise mikrolaine-taustkiirguse fluktuatsioonid soosivad lamedat (eukleidilist) geomeetriat, kus kogu massitihedus (st aine massitiheduse ja kõigi energialiikide ekvivalentse massitiheduste summa) peaks olema võrdne nn kriitilise tihedusega:

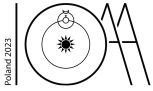
$$\rho_{\text{cr}} = \frac{3 H_0^2}{8 \pi G},$$

kus H_0 on Hubble'i konstandi praegune väärtus. Aine (nähtava ja tumeda) kogutihedus on hinnanguliselt

$$\rho_{\text{m},0} \approx 2.8 \times 10^{-27} \text{ kg m}^{-3}.$$

Selle lahknevuse lahendamiseks eeldab kosmoloogiline standardmudel, et Universum on täidetud salapärase “tumeenergiaga”, mille energiatihedus ε_Λ on konstantne.

Leidke ε_Λ väärtus ja arvutage, millise punanihke juures oli ainele vastav ekvivalentne energiatihedus võrdne tumeda energiatihedusega. Arvutustes ärge arvestage kiirguse energiatiheduse panusega.

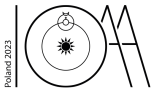


Bolomeeter (13 punkti)

Antud bolomeetri sisendava on kooniline õõnsus tipunurgaga 30° ja õõnsuse pinna neeldumistegur on $a = 0.99$. Eeldame, et langev kiirgus ei haju õõnsuse seintel, vaid peegeldub ainult mitmekordselt peegeldusseaduse kohaselt. Bolomeeter on ühendatud jahutusseadmega, mis hoiab bolomeetri õõnsuse pinna praktiliselt 0 K temperatuuril. Seade tiirleb ümber Päikese kaugusel $2 a_{\text{AU}}$ ja ava on suunatud otse Päikese ketta keskmesse.

Arvutage musta keha temperatuur, mis kiirgaks sama võimsusega pindalaühiku kohta kui bolomeetri ava.

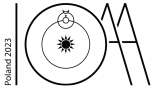
Märkus: tipunurk on defineeritud kui kahekordne koonuse telje ja külje vaheline nurk.



Libratsioon (20 punkti)

Libratsiooni tõttu, mida teiste hulgas uuris Johannes Hevelius, on Maalt vaadeldav rohkem kui pool Kuu pinnast. Eeldame, et vaatleja asub Maa keskpunktis.

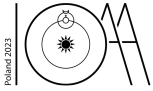
- Hinnake maksimaalset laiuskraadi-suunalist libratsiooninurka ϕ_B . Kuu pöörlemistelje kalle Kuu orbitaaltasandi suhtes on $\alpha = 6^\circ 41'$.
- Hinnake maksimaalset pikkuskraadi-suunalist libratsiooninurka ϕ_L . Eeldage, et Kuu on alati suunatud sama küljega orbiidi teise fookuse (F2) poole ning et Kuu orbiidi ekstsentrilisus e varieerub vahemikus 0.044 kuni 0.064 (paari kuu jooksul).
- Hinnake, kui suur osa Kuu pinnast on Maalt vaadeldav.
- Arvutage, mitu kuud (Kuu tiirlemisperioodi) on vaatlejal vaja, et näha osas (c) määratud Kuu pinda.



Neutriinod (20 punkti)

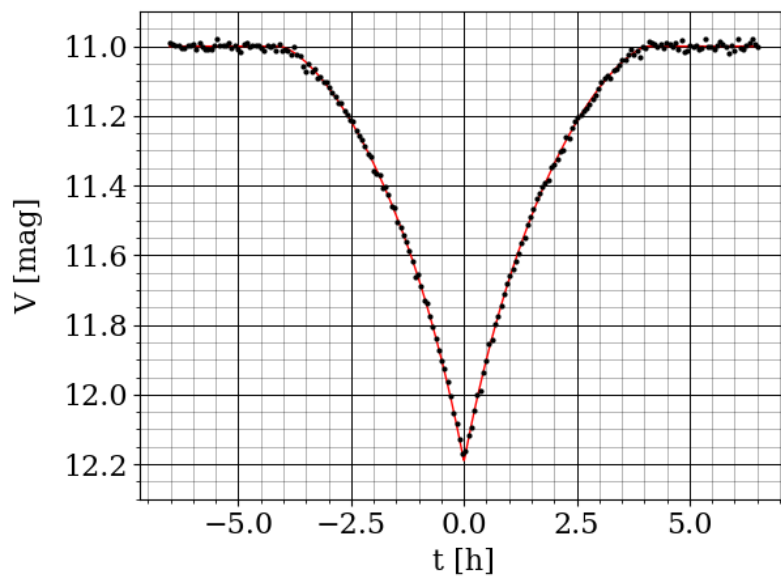
Supernoova plahvastuse lihtustatud mudeli kohaselt muutub tähe tuum, mis koosneb puhtalt raua ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ aatomituumadest kogumassiga $1 M_{\odot}$, neutrontäheks, mis koosneb üksikutest elektronidest, prootonitest ja neutronitest arvulises vahekorras 1:1:8. Seda protsessi nimetatakse “neutroniseerumiseks” ja selle tulemusena eraldub suur hulk neutriinosid.

Arvutage Päikese poolt kiiratud neutriinode voog Maa pinnal. Kui palju on supernoova poolt kiiratud Maale jõudvate neutriinode voog suurem Päikese neutriinovoost, kui supernoova plahvatab Linnutee keskel ja tähe tuuma neutroniseerumine kestab ligikaudu 0.01 s ? Andke vastus suurusjärgu täpsusega.

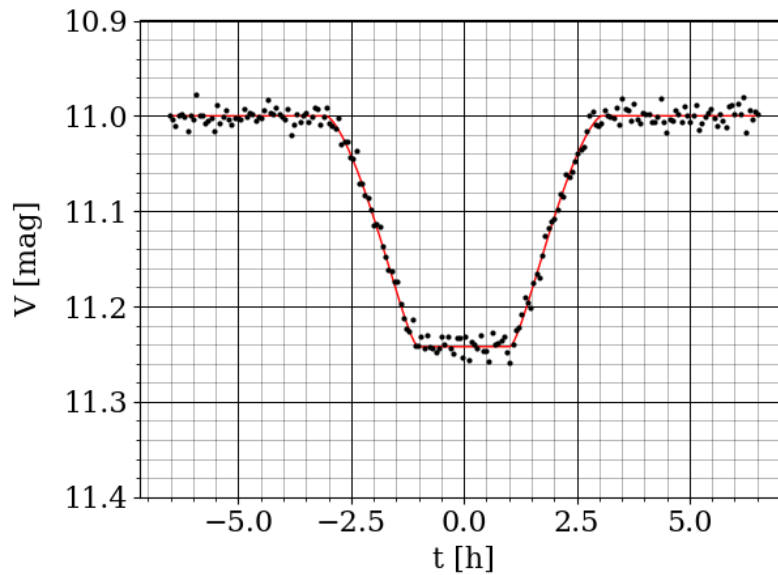
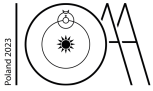


Teine varjutus (20 punkti)

Olgu meil kaks varjutavat kaksitähesüsteemi Bolek ja Lolek. Kummagi süsteemi eredama tähe varjutused (primaarvarjutused) olid ajas tihedalt mõõdetud. Vastavad mõõtmised on toodud allolevatel joonistel.



Joonis 1. Süsteemi Bolek vaadeldud valguskõver.

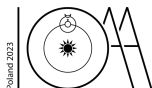


Joonis 2. Süsteemi Lolek vaadeldud valguskõver.

Joonistel on toodud t (aeg tundides valguskõvera miinimumi suhtes) ja V (näiv heledus tähesuurustes V (nähtavas) spektraalpiirkonnas). Punktid tähistavad mõõtmisi ning joon tähistab sobitatud mudelit varjutuse kuju jaoks.

Võite eeldada, et mõlemal juhul on varjutused tsentraalsed ($i = 90^\circ$) ja kestavad väga lühikese osa orbitaalperioodist, tähtede kettad on ühtlase heledusega ja orbiidid on väikese ekstsentrilisusega.

Joonistage vastuselehele kummagi sekundaarvarjutuse valguskõvera prognoositav kuju. Põhjendage vastavad valguskõverate kujud võrrandite ja arvutustega.



Aldebaran (25 punkti)

9. märtsil 1497 täheldas Nikolaus Kopernik Bologna linnas Aldebarani varjumist Kuu poolt. Oma teoses *De revolutionibus orbium cœlestium* (VI raamat, 27. peatükk) kirjeldas Kopernik seda sündmust järgnevalt: “Ma nägin, kuidas see täht puudutas öösel 5. tunni lõpus Kuu tumedat serva ja kadus Kuu taha, keskpunktist kolmandiku Kuu diameetri võrra Kuu sirbi lõunatipu poole.”

Eeldades, et varjutus toimus taevameridiaanil, varjutuse tipphetkel oli Aldebaran $0.32'$ võrra Kuu lõunaservast kõrgemal ja Kuu näiv nurkdiameeter Bolognast vaadelduna oli $31.5'$, lahendage järgnevad ülesanded:

- Leidke Bologna linnaga samal pikkuskraadil asuva koha laiuskraad φ_1 , kust vaadeldes oleks Aldebaran möödunud täpselt Kuu keskpunkti tagant. (6 punkti)
- Leidke laiuskraadilt φ_1 vaadeldava varjutuse kestus, kus Aldebaran näib kulgevat mööda Kuu ketta diameetrit. Lihtsuse huvides eeldage, et Kuu ja vaadleja liiguvad lineaarselt konstantse kiirusega, Kuu orbiit on ringikujuline ja Kuu kääne ei muutu varjutuse ajal. (5 punkti)
- Leidke Kuu nurkkiirus varjutuse ajal Maa pinnal laiuskraadil φ_1 asuva vaadleja (topotsentrilises) taustsüsteemis. Nurkkiirus leidke kaugete tähtede suhtes mittepöörlevas taustsüsteemis. Avaldage vastus kraadiminutites tunni kohta (arcmin/hour), kasutades samu eeldusi nagu (b) osas. (7 punkti)
- Hinnake Kuu nurkkiiruste vahemikku topotsentrilises taustsüsteemis (kaugete tähtede suhtes Maa pinnal laiuskraadil φ_1 asuva vaadleja jaoks), eeldades et Kuu orbiit on ringikujuline. Avaldage vastus kraadiminutites tunni kohta (arcmin/hour). Lisaks põhjendage tulemust, avaldades Kuu suhteline kiirusvektor vaadleja suhtes, kasutades Kuu ja vaadleja kiirusvektoreid. (7 punkti)

Aldebarani kääne oli (pretsessiooni tõttu) 1497. aastal $\delta_A = 15.37^\circ$ ja Bologna linna laiuskraad on $\varphi_B = 44.44^\circ$ N.



Galaktikaparvede röntgenkiirgus (30 punkti)

Galaktikaparved on tugevad röntgenkiirguse allikad. On kindlaks tehtud, et protsessi allikaks on termalne bremsstrahlung (vaba-vaba kiirgus), mida kiirgab parve sees asuv kuum vesiniku ja heeliumi plasma. Iga plasmakomponendi heledust L_X (vattides) kirjeldab valem:

$$L_X = 6 \times 10^{-41} N_e N_X T^{\frac{1}{2}} V Z_X^2,$$

kus sümbolid tähistavad:

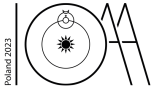
- X – vesinik (H) või heelium (He),
- N_e – elektronide arvtihedus [m^{-3}],
- N_X – X ioonide arvtihedus [m^{-3}],
- Z_X – X iooni aatomnumber,
- T – plasma temperatuur [K],
- V – plasma poolt hõivatud ruumala [m^3].

(a) Määrake röntgenkiirgust kiirgava plasma kogumass (päikese massides), eeldades, et:

- plasma on täielikult ioniseeritud ja koosneb 1 heeliumioonist iga 10 vesinikiooni kohta,
- $L_{\text{kogu}} = 1.0 \times 10^{37} \text{ W}$,
- $T = 80 \times 10^6 \text{ K}$,
- plasma moodustab ühtlase jaotusega kera raadiusega $R = 500 \text{ kpc}$,
- plasma eneseneelduvus on tühine.

(16 punkti)

Kosmilise mikrolaine-taustkiirguse (CMB) footonid interakteeruvad plasmaga protsessis, mida nimetatakse Comptoni pöördhajumiseks. CMB on tavaliselt musta keha spektriga temperatuuril 2.73 K. Vastastikmõju plasmaga põhjustab aga moonutusi CMB spektris (tuntud kui Sunjajev-Zeldovitši efekt).



(b) Hinnake, mis on CMB footonite keskmine vaba tee pikkus plasmas, s.t. keskmine footoni läbitud teepikkus enne elektroniga interakteerumist. Avaldage vastus megaparsekites (Mpc). Footoni ja elektroni vastastikmõju efektiivne ristlõikepindala on $\sigma = 6.65 \times 10^{-29} \text{ m}^2$.

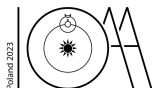
(5 punkti)

(c) Hinnake, mis on CMB footonite tüüpiline energia.

(3 punkti)

(d) CMB footonite energia võib Comptoni pöördhajumise tõttu suurenda kuni kordaja $(1 + \beta)/(1 - \beta)$ võrra, kus $v = \beta c$ on elektronide kiirus. Hinnake, mis on hajunud CMB footonite energia.

(6 punkti)

**DART (40 punkti)**

Double Asteroid Redirection Test (DART) oli NASA missioon, mille eesmärk oli katsetada Maa kaitsmist Maa-lähedaste objektide eest. Kosmoseaparaat tabas Dimorphost, asteroid Didymose kuud, et uurida, kuidas kokkupõrge mõjutab Dimorphose orbiiti.

- (a) Arvutage oodatav orbitaalperioodi muutus (minutites), eeldades, et toimus tsentraalne ja täielikult mitteelastne laupkokkupõrge.

Eeldame, et enne kokkupõrget tiirles Dimorphos ümber Didymose ringikujulisel orbiidil perioodiga $P = 11.92$ h. Dimorphose ja Didymose massid on vastavalt $m = 4.3 \times 10^9$ kg ja $M = 5.6 \times 10^{11}$ kg. Kosmoseaparaadi DART mass ja kiirus Dimorphose suhtes kokkupõrke hetkel olid $m_s = 580$ kg ja $v_s = 6.1$ km s⁻¹. Ärge arvestage teiste kehade gravitatsioonilist mõju.

(20 punkti)

- (b) Tegelikult muutus Dimorphose orbitaalperiood $\Delta P_0 = -33$ min võrra. Selle põhjuseks on see, et kokkupõrke käigus pinnalt välja löödud materjal võttis endaga kaasa osa Dimorphose impulsist, andes asteroidile lisa "tagasilöögi". Leidke välja löödud materjali impulss ja avaldage see Dimorphose algse impulsi murdosana. Võite eeldada, et välja löödud materjali mass on palju väiksem Dimorphose massist.

(15 punkti)

- (c) Arvutage kokkupõrke tulemusel Dimorphose kiiruse muut (ühikutes mm s⁻¹), võttes arvesse lahkunud materjali mõju.

(5 punkti)



LISA (45 punkti)

Laser Interferometer Space Antenna (LISA) on plaanitud eksperiment madalasageduslike gravitatsioonilainete leidmiseks. See koosneb kolmest võrdkülgse kolmnurga kujuliselt paigutatud satelliidist. Mõõduv gravitatsioonilaine muudab satelliitide vahelist kaugust, mida on võimalik täpselt mõõta (täpselt kirjeldatud allpool).

Üheks madalasagedusliku gravitatsioonilaine allikaks on kahest tähe jäänukist (näiteks kahest valgest kääbusest) koosnev süsteem. Üks selline süsteem avastati hiljuti 2.34 kpc kaugusel Päikesest. Kaksiktähesüsteemi orbitaalperiood on 414.79 s ja see muutub kiirusega $-7.49 \times 10^{-4} \text{ s yr}^{-1}$ gravitatsioonilainete kiirgumise tõttu.

(a) Määrake, kas seda kaksiktähesüsteemi saab tuvastada LISA abil.

(25 punkti)

(b) Arvutage süsteemi “säutsumass” (chirp mass).

(5 punkti)

(c) Määrake kummagi kaksiksüsteemi komponendi massid, teades, et ühe komponendi raadiuse ja orbiidi pikema pooltelje suhe on 0.139, ning eeldades, et mõlemad komponendid järgivad allpool olevas tabelis toodud valge kääbuse massi ja raadiuse vahelist seost.

(15 punkti)

Märkused:

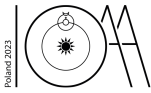
1. Kaksiktähesüsteem orbitaalperioodiga P kiirgab gravitatsioonilaineid sagedusega $f = 2/P$.
2. LISA mõõdab ühikuta suurust S , mida nimetatakse karakterseks deformatsiooniamplituudiks ja mis avaldub kujul

$$S = h \sqrt{f T_{\text{obs}}}$$

kus $T_{\text{obs}} = 4$ aastat on eksperimendi eeldatav kestus. h on gravitatsioonilaine deformatsioon, mis avaldub kujul

$$h = \frac{2(GM)^{5/3}(\pi f)^{2/3}}{c^4 D},$$

kus M on “säutsumass” (chirp mass), f on gravitatsioonilaine sagedus ja D on süsteemi kaugus. Kui kaksiksüsteemi komponentide massid on M_1 ja M_2 , siis säutsumass avaldub kujul

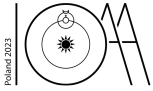


$$\mathcal{M} = \frac{(M_1 M_2)^{3/5}}{(M_1 + M_2)^{1/5}}.$$

Eeldatav LISA tundlikkus sõltuvana gravitatsioonilaine sagedusest on kujutatud alljärgneval joonisel.

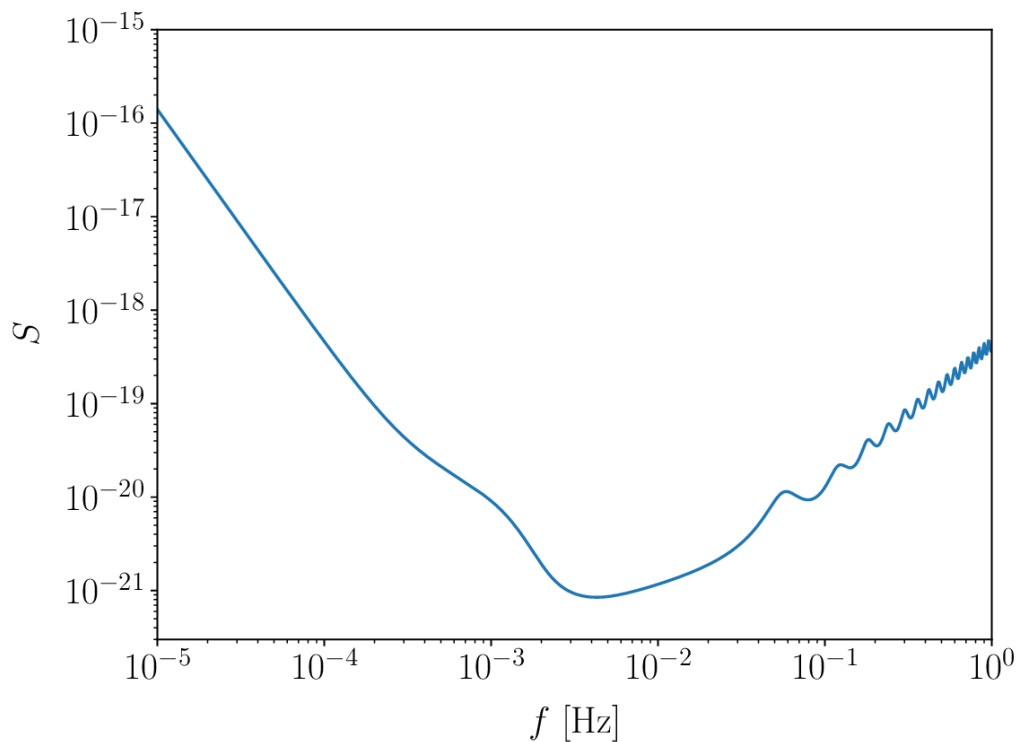
3. Kaksiksüsteemi pikem pooltelg a muutub gravitatsioonilainete kiirgumise tõttu kiirusega

$$\frac{\Delta a}{\Delta t} = -\frac{64}{5} \frac{G^3}{c^5} \frac{M_1 M_2 (M_1 + M_2)}{a^3}.$$

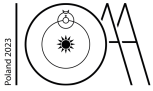


$M (M_{\odot})$	$R (R_{\odot})$
0.48	0.0144
0.50	0.0147
0.52	0.0150
0.54	0.0153
0.56	0.0156
0.58	0.0159
0.60	0.0162
0.62	0.0165
0.64	0.0168

Valge kääbuse massi ja raadiuse vaheline seos (põhineb Althaus et al. (2013) teoreetilistel mudelitel valgete kääbuste jaoks, kus $\log g = 7.7$).



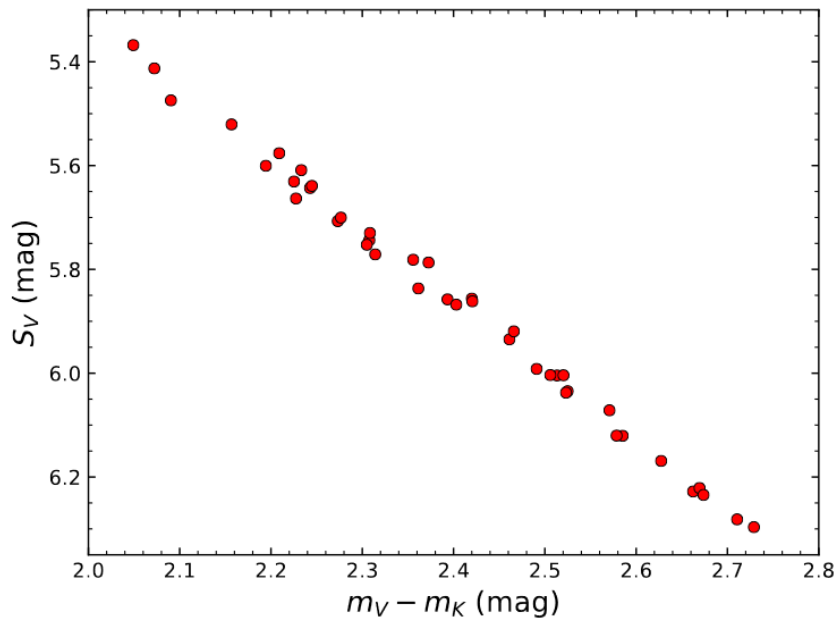
Eeldatav LISA tundlikkus sõltuvana gravitatsioonilaine sagedusest.



Suure Magalhãesi Pilve kaugus (50 punkti)

2019. aastal mõõdeti Poola astronoomide juhtimisel rahvusvahelise koostöö tulemusena väga suure täpsusega Linnutee naabergalaktika Suure Magalhãesi pilve (LMC) kaugus. Selle abil määrasid nad ekstragalaktilise kauguskaala nullpunkti, mis võimaldas väga täpselt mõõta Hubble'i konstanti. Nende meetod hõlmas 20 varjutava kaksiktähe kauguse mõõtmist LMC-s, kasutades selleks tähe pinnaheldest S_V , mis on defineeritud järgnevalt: $S_V = m_V + 5 \log_{10} \theta$, kus m_V on tähe heledus nähtavas (V) spektraalpiirkonnas ja θ on tähe nurkdiameeter millikaaresekundites (mas).

Suurust S_V võib mõista kui tähe näivat heledust tähesuurustes, kui selle nurkdiameeter oleks 1 mas. On kindlaks tehtud empiiriline seos S_V ja värvusindeksi ($m_V - m_K$) vahel, kus m_V ja m_K on näivad tähesuurused vastavalt nähtavas (V) ja infrapuna (K) spektraalpiirkonnas. See seos on kujutatud alljärgneval joonisel G ja K spektriklassi hiidtähtede jaoks.



Selle seose abil saab määrata varjutava kaksiktähesüsteemi kauguse, leides komponentide füüsilised raadiused (kasutades fotomeetriat ja spektroskoopiat) ning võrreldes neid $S_V - (m_V - m_K)$ seose abil tuletatud nurkdiameetritega.

Alljärgnevas tabelis on toodud kolme varjutava kaksiktähesüsteemi parameetrid. R_1 ja R_2 on kummaski komponendi raadiused, V_{1+2} ja K_{1+2} on kaksiktähe näivad koguheledused vastavalt V ja K spektraalpiirkonnas ja L_2/L_1 on komponentide heleduste suhe kummaski spektraalpiirkonnas.

Data Analysis



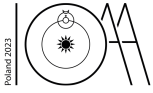
Q1-2

Estonian (Estonia)

Valgusallika ID	$R_1 [R_\odot]$	$R_2 [R_\odot]$	$V_{1+2} [\text{mag}]$	$K_{1+2} [\text{mag}]$	$L_2/L_1 (V)$	$L_2/L_1 (K)$
OGLE LMC-ECL-03160	17.03	37.42	16.73	14.10	2.80	4.23
OGLE LMC-ECL-10567	24.60	36.64	16.15	13.83	1.41	1.99
OGLE LMC-ECL-18365	37.30	15.94	16.27	14.01	0.206	0.188

Rakendage eespool kirjeldatud meetodit kolme varjutava kaksiktähe jaoks ja arvutage LMC kaugus kiloparsekites (kpc). Hinnake vastuse kumulatiivset (s.t kogu) mõõtemääramatust. Eeldage, et $S_V - (m_V - m_K)$ sobitatud seos põhjustab kõigis mõõtmistes samaaegselt kuni 0.8% kõrvalekalde.

Vihje: hoidke oma arvutustes alles vähemalt kolm tüvenumbrit ja kaks komakohta. Eeldage, et tähtede vaheline valguse hajumine on tühine ja LMC nurkdiameeter on väike.



Üksik must auk (75 punkti)

2022. aastal avastasid kaks sõltumatut uurimisrühma mikrogravitatsiooniläätse sündmuse OGLE-2011-BLG-0462 abil üksiku (isoleeritud) musta augu. Selles ülesandes analüüsime me Hubble'i kosmoseteleskoobi vaatlusandmeid ja reprodutseerime uurimisrühmade tulemusi.

Mikrogravitatsiooniläätse efekt tekib, kui kaugelt tähelt (“allikas”) lähtuv valgus paindub ja muutub heledamaks vahel paikneva objekti (“lääts”) gravitatsioonivälja tõttu. Mikrogravitatsiooniläätse sündmuse suurust iseloomustab Einsteini nurkraadius θ_E , mis sõltub massist M ja läätse kaugusest Maast D_ℓ :

$$\theta_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2} \frac{D_s - D_\ell}{D_s D_\ell}},$$

kus D_s on tähe kaugus. Linnutes nähtavate mikroläätse sündmuste valgusallikad on tavaliselt Linnutee mõnna selle keskme lähedal, nii et $D_s \approx 8$ kpc.

- (a) Näitlikustamiseks arvutage Einsteini nurkraadius millikaaresekundites (mas) $1 M_\odot$ läätse jaoks, mis asub kaugusel 1 kpc.

(2 punkti)

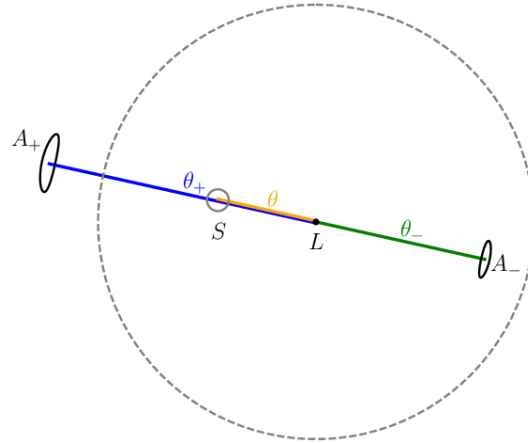
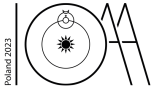
Oletame, et läätse ja allika vaheline nurk taevas on $\theta \equiv u(t)\theta_E$. Lääts ja allikat ühendavale sirgele tekib kaks allika kujutist, mille kaugused läätsest on vastavalt θ_+ ja θ_- , kus

$$\theta_\pm = \frac{1}{2} \left(u \pm \sqrt{u^2 + 4} \right) \theta_E.$$

Need kaks kujutist on esialgselt valgusallikast heledamad. Kujutiste näiv heledus kasvab vastavalt kor-dajale:

$$A_\pm = \frac{1}{2} \left(\frac{u^2 + 2}{u\sqrt{u^2 + 4}} \pm 1 \right).$$

Alljärgneval pildil on kujutatud sündmuse geometria. Joonisel on kujutatud läätse asukoht (L), allika tõeline asukoht (S) ja kahe kujutise asukohad (A_+ ja A_-). Katkendliku joone raadius on üks Einsteini nurkraadius.



(Värviline joonis on eraldi paberil.)

- (b) Praegused teleskoobid ei suuda reeglina kujutisi lahutada, vaid mõõdavad ainult kujutiste tsentroidi asukohta, s.t kujutiste (heledustega) kaalutud keskmist asukohta. Tuletage avaldis tsentroidi ja läätse vahelise nurga θ_c jaoks u ja θ_E kaudu.

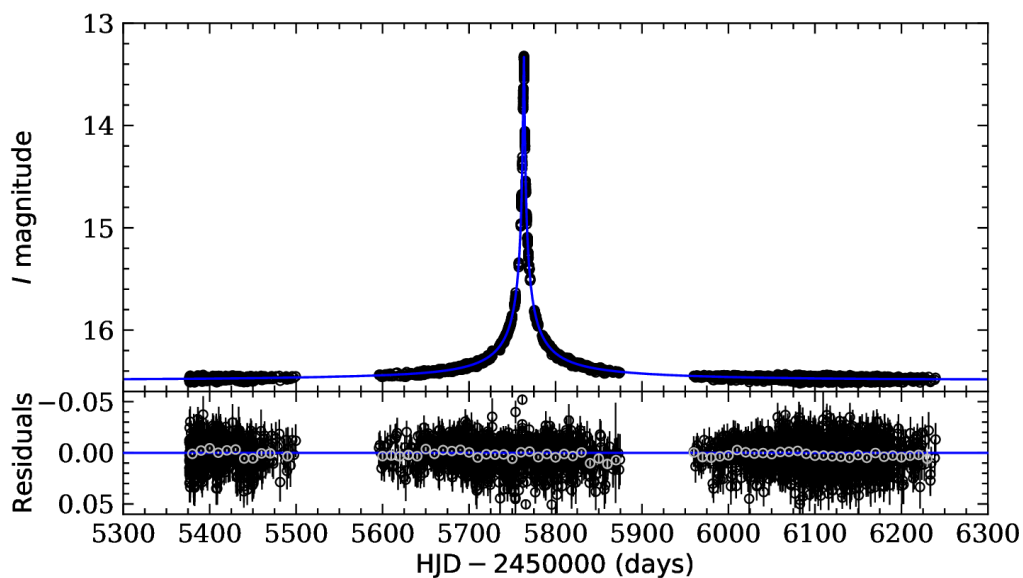
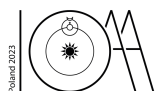
(8 punkti)

- (c) Tuletage avaldis allika kõrvalekalde $\Delta\theta$ jaoks (defineeritud kui kujutiste tsentroidi ja allika tõelise asukoha vaheline nurk) u ja θ_E kaudu. Mis on allika kõrvalekalde, kui lääts ja allikas on peaaegu täpselt ühel joonel ($u \approx 0$)?

(4 punkti)

Allikas ja lääts liiguvad taevast üksteise suhtes. Seega muutuvad ajas nii kujutiste koguheledus kui ka tsentroidi asukoht, mistõttu tekivad vaadeldavad fotomeetrilised ja astromeetrilised mikrolääts-efektid. Eeldame esialgu, et allika ja läätse suhteline liikumine on sirgjooneline.

Allpool on kujutatud mikrogravitatsiooniläätse sündmuse OGLE-2011-BLG-0462 valguskõver, mis avastati Varssavi Ülikooli astronoomide poolt OGLE taevauuringu käigus. Läbi punktide on sobitatud valguskõvera mudeli joon. Sündmuse Einsteini ajaskaala (defineeritud kui aeg, mis kulub allikal ühe Einsteini nurkraadiuse liikumiseks läätse suhtes) oli $t_E = 247$ päeva. Sündmus saavutas haripunkti 21. juulil 2011 (HJD = 2455763). Minimaalne kaugus läätse ja allika vahel oli $u_0 \approx 0$.



Alljärgnevas tabelis on toodud Hubble'i teleskoobi piltide põhjal mõõdetud allika (tähe) asukohad kaugete objektide suhtes ida (E) ja põhja (N) suunas millikaaresekundites (mas).

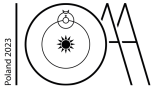
HJD	E position (mas)	N position (mas)
2455765.2	2.58 ± 0.13	7.29 ± 0.16
2455865.7	2.32 ± 0.12	5.44 ± 0.24
2456179.7	0.46 ± 0.14	1.62 ± 0.08
2456195.8	0.88 ± 0.36	1.56 ± 0.77
2456426.2	-1.02 ± 0.21	-0.94 ± 0.12
2456587.7	-2.04 ± 0.07	-1.88 ± 0.40
2456956.6	-4.54 ± 0.25	-5.16 ± 0.29
2457995.2	-11.14 ± 0.12	-15.14 ± 0.17

(d) Kandke graafikutele mõõdetud allika asukohad ida ja põhja suunas funktsioonina ajast.

(10 punkti)

(e) Vaadeldud allika liikumine on kahe efekti summa: allika sirgjooneline omaliikumine ja astrometriselised mikroläätse-efektid. Arvutage allika omaliikumine ida ja põhja suunas millikaaresekundites aastas (mas/year). Leidke mõõtemääramatused.

(8 punkti)



- (f) Lahutage andmetest omaliikumise mõju ja arvutage ning kandke graafikule resultantne astro-meetriline kõrvalekalle funktsioonina suuruselt u . Ärge arvestage omaliikumise mõõtemääramatusega.

(20 punkti)

- (g) Analüüsige andmeid ning määrake sündmuse Einsteini nurkraadius θ_E ja selle mõõtemääramatus. (Vihje: kasuks võib tulla $\Delta\theta$ avaldise lineaarsele kujule viimine).

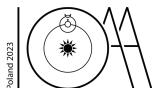
(16 punkti)

- (h) Pikaajaliste sündmuste puhul nagu OGLE-2011-BLG-0462 ei ole läätse ja allika suhteline omaliikumine täpselt sirgjooneline ja arvesse tuleb võtta ka Maa orbitaaliikumist. See võimaldab mõõta ühikuta suurust, mida nimetatakse mikroläätse parallaksiks ja mis on defineeritud kui $\pi_E = (\pi_l - \pi_s)/\theta_E$, kus π_l ja π_s on vastavalt läätse ja allika parallaksid.

Selle sündmuse jaoks $\pi_E = 0.095 \pm 0.009$. Teisendage eelpool toodud θ_E avaldis, et leida läätse mass ja mõõtemääramatus (Päikese massides).

(7 punkti)

Observation Round



A1-1

Estonian (Estonia)

Asteroid varjutab (15 punkti)

Orbitaalelementidel põhinevad arvutused ennustavad, et üks asteroid varjutab tähte HD 163390 kestusega 21 s ning varjutuse keskhetke (*mid-time*) kellaeg on 23:03:32 UT. Ennustused aga ei ole täiesti täpsed: varjutuse kestus võib erineda kuni 10 s võrra ja varjutuse keskhetke aeg võib erineda kuni 20 s võrra.

Leidke oma vaatluste põhjal varjutuse tõeline keskhetke kellaeg ning varjutuse tõeline kestus. Tähe tuvastamiseks kasutage kaarti nr 1 ja järgmisi koordinaate:

HD 163390 Otsetõus: 17^h 58^m 05^s Kääne: −18° 50′ 46.14 ″

Kaardi tähistaevas vastab vaatlusega samale ajastule.

A.1 (15 pt)

Varjutuse keskhetke kellaeg	± mõõtemääramatus	Varjutuse kestus	± mõõtemääramatus

Observation Round



A2-1

Estonian (Estonia)

Starlink (15 punkti)

Samasse tähistaeva vaatevälja nagu ülendes 1 ilmub kella 23:05 UT paiku $17^{\text{h}} 59^{\text{m}}$ taevameridiaani lähedale Starlinki satelliitide “rong”. Satelliitide möödumine kestab ligi kolm minutit.

Võite eeldada, et vaatevälja kõrgus on 20° , satelliidid tiirlevad ringorbiidil 400 km kõrgusel Maa pinnast ning satelliitide vahelised kaugused on võrdsed. Te võite samuti eeldada, et satelliidid liiguvad taevas vertikaalselt (horisondiga risti).

- Mõõtke, mis on satelliitide nurkkiirus simuleeritud taevas nähtuna vaatleja poolt.
- Mõõtke kahe järjestikuse satelliidi möödumiste vaheline ajavahemik ja märkige satelliitide teekond taevakaardile (Kaart 1).
- Arvutage teoreetiline satelliitide nurkkiirus nähtuna vaatleja poolt, kasutades ülendes antud andmeid.
- Hinnake, mis on kahe järjestikuse satelliidi vaheline kaugus kilomeetrites (km).

Konstandid: $G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ N m}^2\text{kg}^{-2}$; $M_{\oplus} = 5.972 \times 10^{24} \text{ kg}$; $R_{\oplus} = 6378 \text{ km}$.

A.2 (15 pt)

Observation Round

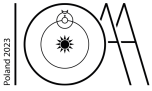


A2-2

Estonian (Estonia)

A.2 (cont.)

Observation Round



A2-3

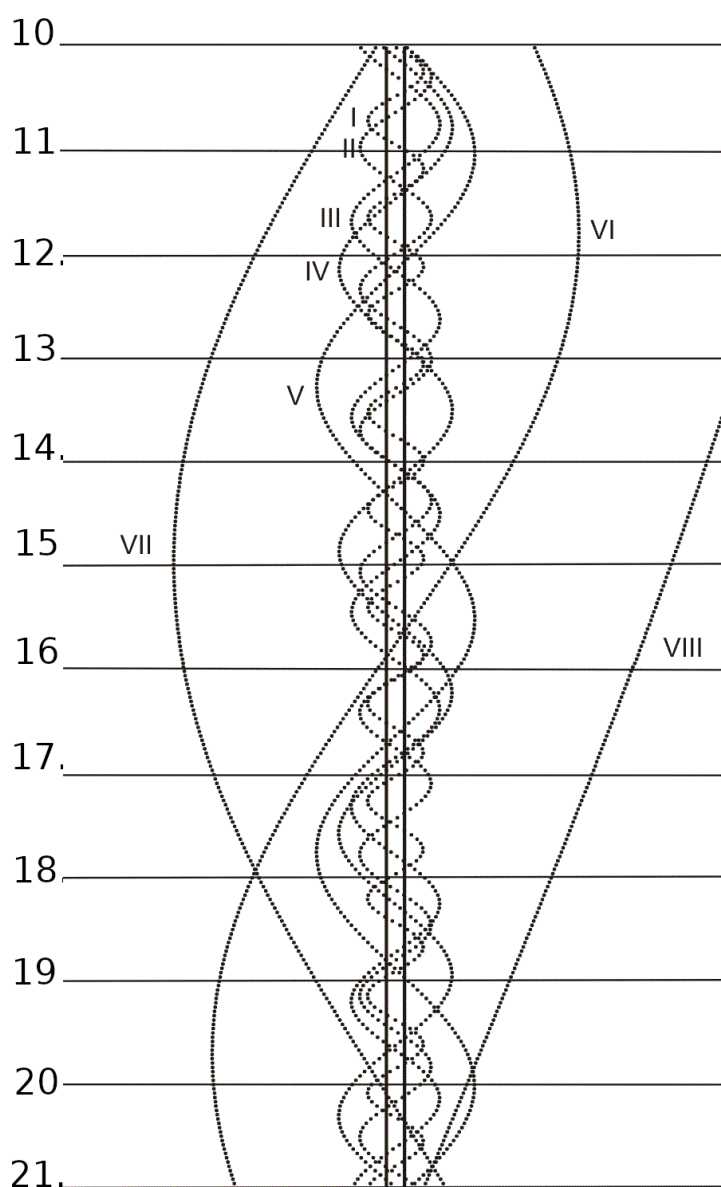
Estonian (Estonia)

A.2 (cont.)

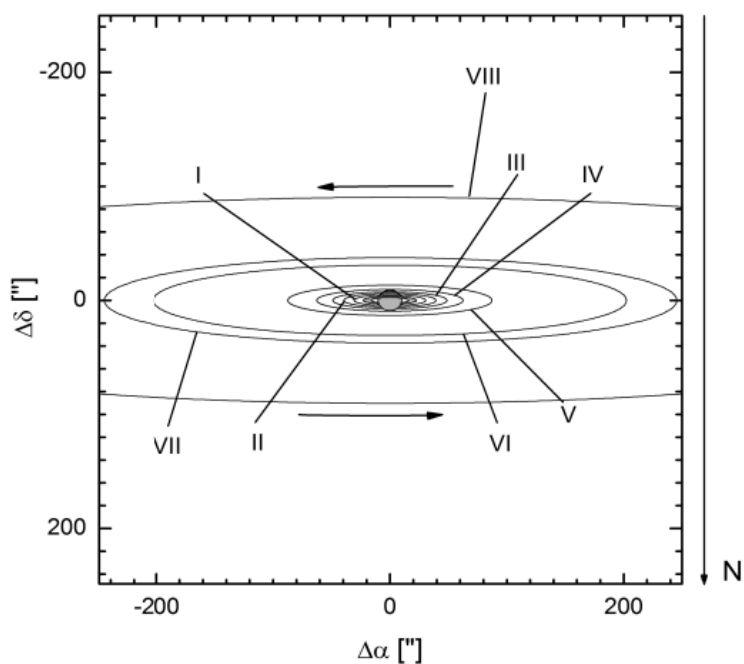


Planeedi kuud (10 punkti)

Ekraanil kuvatakse pilt ühest Päikesesüsteemi planeedist vaadelduna 15. augustil 2023 kell 00:00 UT. Määrake ükskõik millised viis planeedi kuud ja märkige need vastuselehele (võite kasutada alljärgnevaid kuude asukohtade jooniseid ja tähesuuruste tabelit).



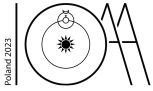
Kuude asukohtade graafik. Arvud vasakul küljel vastavad 2023 augusti kuupäevadele (keskööl UT ajavööndis)



Kuude asukohtade kaart. Numbrid (I, II, ...) vastavad eelmisel joonisel olevatele numbritele.

Number	Nimi	Tähesuurus
I	Mimas	13.0
II	Enceladus	11.8
III	Tethys	10.4
IV	Dione	10.6
V	Rhea	9.9
VI	Titan	8.5
VII	Hyperion	14.4
VIII	Japetus	11.0

Observation Round



A3-3

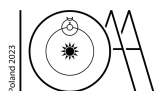
Estonian (Estonia)

A.3 (10 pt)

Märkige punktiga ükskõik millise 5 kuu asukohad ning kirjutage juurde vastav number (I, II, ...)



Observation Round



A4-1

Estonian (Estonia)

Supernoova (10 punkti)

Teisel ekraanil on näha galaktikat ja heledat (tähesuurus < 11) noovat, mis varem polnud nähtav. Hinnake, mis on noova otsetõus (RA) ja kääne (DEC) ning hinnake noova tähesuurust. Te võite kasutada kaarti nr 2 ning tabelit, millel on märgitud tähtede koordinaadid ja tähesuurused.

A.4 (10 pt)

Otsetõus (RA)	Kääne (DEC)	Hinnanguline tähesuurus

Star	RA J2000			DEC J2000			mag
	h	m	s	deg	m	s	
BD+69 541	9	55	2.7	68	56	22	10.3715
Gaia DR2 1070097015969362560	9	53	27.9	68	58	43	11.2281
Gaia DR2 1070144329329069568	9	53	17.7	69	2	48	10.0785
Gaia DR2 1070453463896461952	9	57	0.8	68	54	6	8.9148
Gaia DR2 1070455010084791680	9	55	25.9	68	51	21	11.4722
Gaia DR2 1070459408131195776	9	58	1.6	68	57	24	10.2003
Gaia DR2 1070467070352960512	9	55	4.4	68	54	5	9.1615
Gaia DR2 1070467379590606976	9	55	1	68	56	22	10.4605
Gaia DR2 1070468169864590208	9	54	45.3	68	56	59	12.2097
Gaia DR2 1070469475534553728	9	55	41.4	69	0	30	11.7856
Gaia DR2 1070470265808536448	9	55	45	69	1	46	11.2905
Gaia DR2 1070470609404512512	9	55	33.2	69	3	55	13.3020
Gaia DR2 1070472293033168640	9	54	53.2	69	3	48	14.2845
Gaia DR2 1070473186386370176	9	54	42.3	69	5	52	11.6033
Gaia DR2 1070476794158817152	9	57	38.8	69	10	44	12.6348
Gaia DR2 1070476858581360384	9	56	47.1	69	7	27	12.7259
Gaia DR2 1070476897238038272	9	56	34.4	69	7	51	13.6578
Gaia DR2 1070477240835421440	9	56	44.8	69	9	1	13.7626
Gaia DR2 1070477305257957888	9	56	45.1	69	10	1	11.4495
Gaia DR2 1070522934990509312	9	55	15.4	69	15	19	12.0436
Gaia DR2 1070523111086221568	9	54	28.6	69	13	22	11.0704
HD85458	9	55	4	68	54	6	9.1615

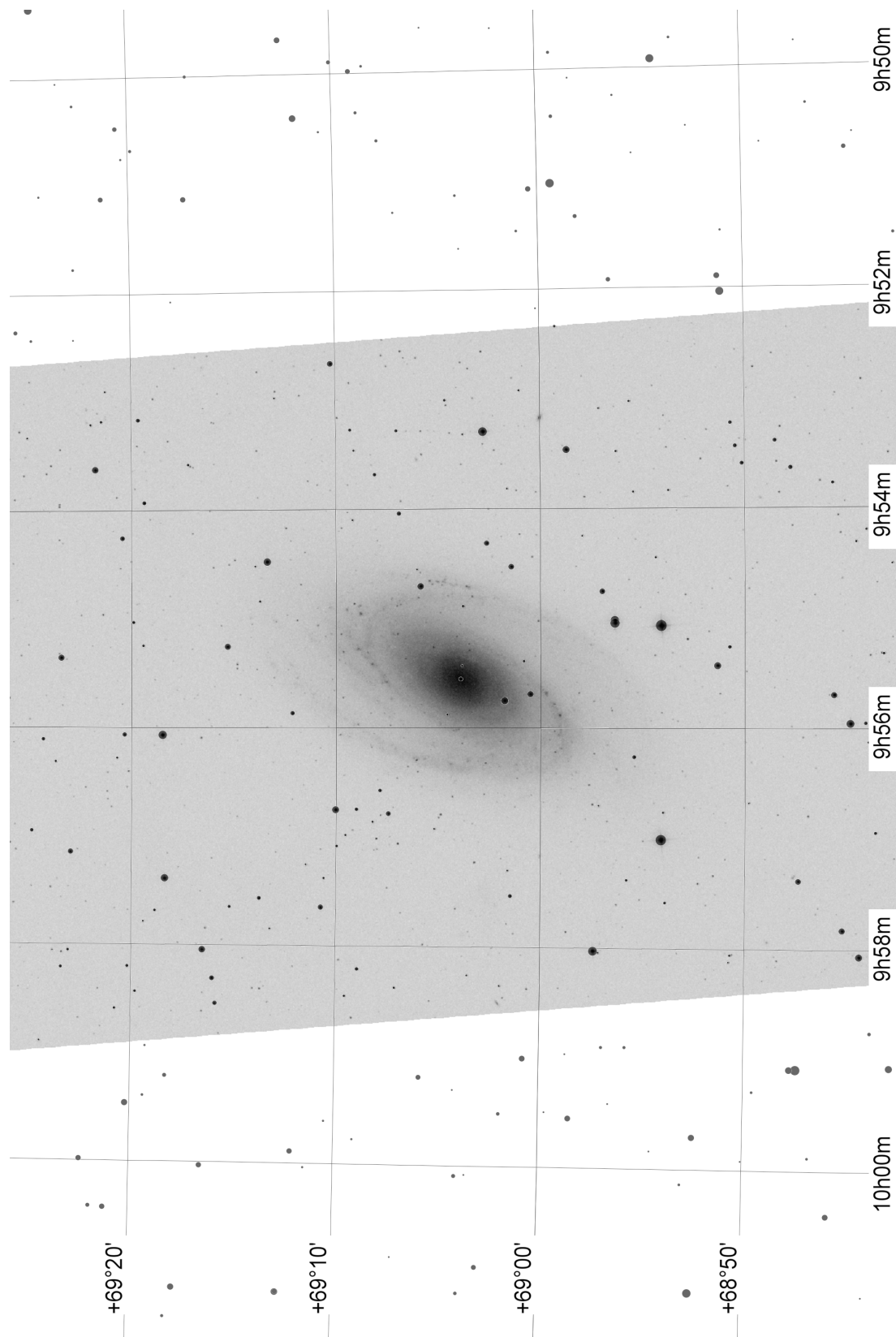
Observation Round

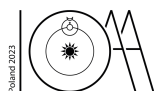


A4-2

Estonian (Estonia)

Kaart 2





Taeva tundmine (20 punkti)

Projektor kuvab tähistaevast nähtuna ekvaatori lähedalt (0°N, 19°E). Taeva pöörlemine peatatakse umbes 2 minutiks osa (a) jaoks, seejärel hakkab see osade (b) ja (c) jaoks pöörlema. Osade (b) ja (c) objektid kuvatakse samaaegselt.

- (a) Taevas on näha meteoroorivool (*meteor shower*). Leidke tähtkuju, kus radiant asub, ning hinnake radiandi otsetõusu ja käänat.

1.a (3 pt)

Tähtkuju	otsetõus	kääne

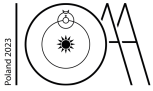
- (b) Määrake, millised järgnevatest taevas nähtavatest muutlikest tähtedest on tumedas (kirjutage "DIM") või heledas (kirjutage "BRIGHT") olekus. Iga tähe jaoks on antud atlasest toodud keskmine näiv heledus ja selle vahemik tähesuurustes.

1.b (8 pt)

Nimi	mag. atlas	mag. vahemik	DIM / BRIGHT
γ Cas (<i>Cih</i>)	2	1.6—3.0	
δ Cep	4	3.5—4.4	
μ Cep (<i>Erakis</i>)	4	3.4—5.1	
β Per (<i>Algol</i>)	2	2.2—3.4	
<i>o</i> Cet (<i>Mira</i>)	3.5	2.0-10.1	
χ Cyg	4.5	3.3-14.1	
L ₂ Pup	4.5	2.6—6	
δ Sco (<i>Dschubba</i>)	2	1.6—2.3	

- (c) Määrake tähtkujud, mille piirid on märgitud, ning pange kirja nende IAU lühendid.

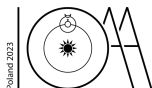
Planetarium Round



A1-2

Estonian (Estonia)

1.c (9 pt)



Tagurpidi liikuv Marss

Projektor näitab Marsi liikumist taustal asuvate tähtede suhtes ühe nähtavuse hooaja (1.5 aastat) jooksul. Hooaeg algab Marsi heliailise tõusuga (tõuseb vahetult enne päiksetõusu), kusjuures antud ülesandes on Marsi ekliptiline laiuskraad maksimaalne opositsiooni (vastasseisu) ajal.

Lisaks kuvatakse ekliptika, millele on kantud Päikese asukoht eri kuupäevadel aasta vältel. Samuti kuvatakse praegune kuupäev. Päike on alati horisondi all.

Marsi sünoodiline periood = 780 päeva

(Vaatluse kestvus on 10 minutit)

(a) Pange kirja järgnevad suurused:

2.a (8 pt)

i. Kvadratuuride kuupäevad (kui Marsi ja Päikese vaheline nurk on 90°)	
ii. Vastassuunalise (retrograadse) liikumise alguse kuupäev ja vastassuunalise (retrograadse) liikumise lõpu kuupäev	
iii. opositsiooni (vastasseisu) kuupäev	
iv. ekliptiline laiuskraad opositsiooni (vastasseisu) ajal	
v. planeedi poolt sooritatud silmuse laius mööda ekliptika pikkuskraadi.	

Tuginedes vaatlustele ja eeldades, et Maa ja Marsi orbiidid on ringikujulised:

(b) Märkige vastuselehele Päikese, Maa ja Marsi asukohad opositsiooni- ja kvadratuurihetkedel heliotsentrilises süsteemis ning määrake geomeetriliselt Marsi orbiidi raadius astronoomilistes ühikutes (au) ilma Kepleri seadusi kasutamata. Tooge vastuslehel oma lahenduskäik.

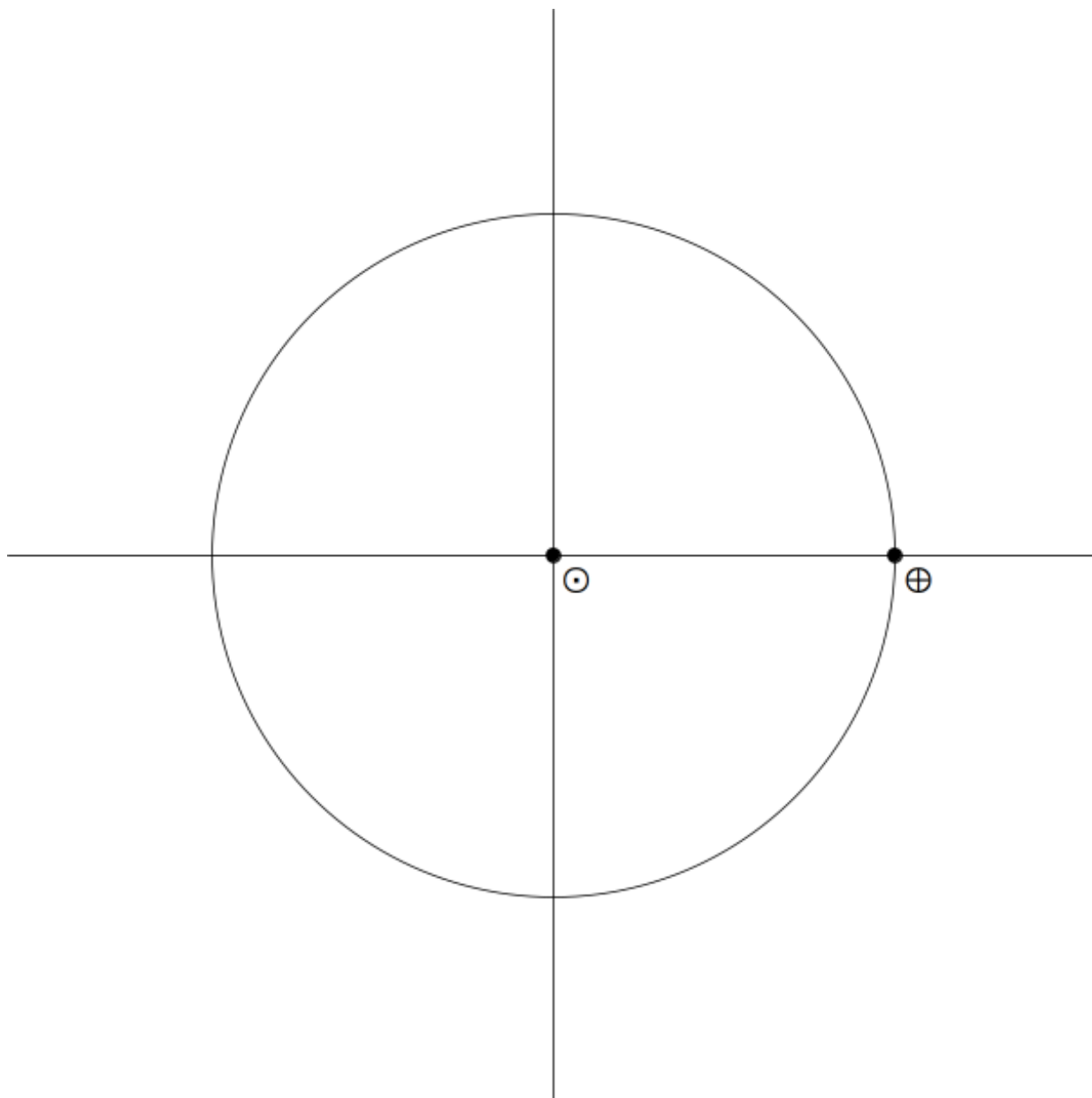
(9 punkti)

(c) Leidke Marsi orbiidi kaldenurk (inklinatsioon) ekliptika suhtes.



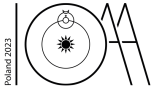
(3 punkti)

2.b (9.0 pt)



keera lehte ⇒

Planetarium Round



A2-3

Estonian (Estonia)

Marsi orbiidi raadiuse määramine:

2.b (cont.)

Marsi orbiidi kaldenurga (inklinatsiooni) määramine:

2.c (3 pt)



TRAPPIST-1 (35 punkti)

Tulnukatest astronoomid märkasid, et Maa astronoomid on avastanud TRAPPIST-1 süsteemi planeedid, vaadeldes mitmeid varjutusi. Nad kasutasid oma lendavat taldrikut (mis sarnaneb sellele, milles te olite vaatlusvooru ajal), et viia teid süsteemi TRAPPIST-1 5. planeedile (tähistatud kui f), ja palusid teil näidata meetodeid, mida maalased kasutavad süsteemi parameetrite määramiseks. Näete kella, mis näitab aega Maa tundides. Kogu vaatlus kestab 520 tundi (1 s = 1 tund).

Tuginedes oma vaatlustele (võite kasutada viimasel lehel olevat ruumi märkmete tegemiseks),

(a) hinnake teie jalge all oleva planeedi järgnevad parameetrid (ajaühikuks kasutage Maa tunde):

3.a (7 pt)

i.	sideerilise päeva pikkus [h]	
ii.	orbitaalperiood [h]	
iii.	päeva (“päikselise”) pikkus [h]	
iv.	orbiit on ringikujuline	YES / NO
v.	pöörlemisteilje kalle [°]	

(b) ning järgnevad suurused planeetide b , c , d ja e jaoks:

3.b (16 pt)

	b	c	d	e
sünoodiline periood [h]				
maksimaalne nurkkaugus tähest (<i>elongation</i>) [°]				

Planetarium Round



A3-2

Estonian (Estonia)

(c) arvutage iga planeedi orbitaalperiood tundides ning pikem pooltelg τ ühikutes (kus 1 τ = "TRAPPIST-1 f astronoomiline ühik" = TRAPPIST-1 f orbiidi pikem pooltelg):

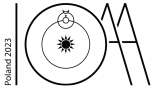
3.c (8 pt)

	b	c	d	e
orbitaalperiood [h]				
pikem pooltelg [τ]				

(d) "Gravitatsioonaalne resonants" on mõiste, mis kirjeldab olukorda, kui kahe planeedi orbitaalperioodi suhe on ligikaudu kahe täisarvu jagatis. Alljärgnevas tabelis on toodud mõned täheldatud TRAPPIST-1 süsteemi resonantsid. Iga resonantsi jaoks leidke sobilik planeetide paar (või paarid), kui selliseid on.

3.d (4 pt)

Resonants	Planeetide paar
3:2	
8:5	
5:3	
8:3	
4:1	
6:1	



Vaatluse märkmed

Täht (TRAPPIST-1*a*)

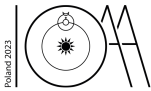
TRAPPIST-1*b*

TRAPPIST-1*c*

TRAPPIST-1*d*

TRAPPIST-1*e*

Group Competition



Q1-1

Estonian (Estonia)

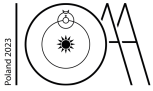
Ülesanne 1: Ristsõna

Kirjutage vastustelehe tabeli igale reale sümboolile vastava tähtkuju kolmetäheline IAU lühend. Teie lõpliku vastuse moodustab paksus kirjas esitatud vertikaalne veerg.

Vihje: Allpool on kujutatud Mercatori projektsiooniga taevakaart, millel on sümboolitega tähistatud tähtkujud.

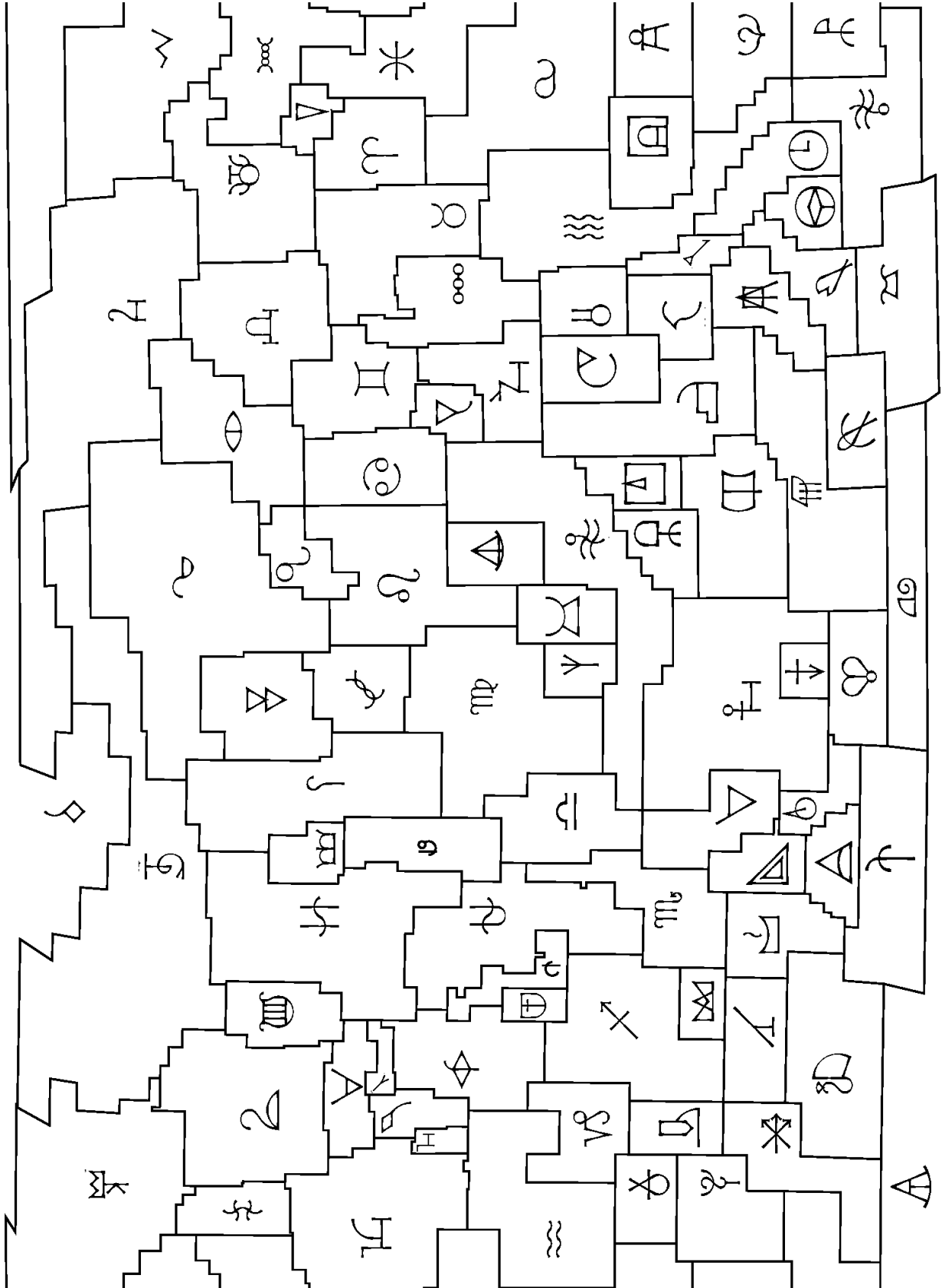
Ajakaristused: tühi rida või vale tähtkuju: +1 minut

Group Competition

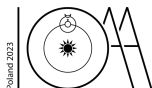


Q1-2

Estonian (Estonia)



Group Competition



Q2-1

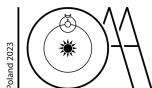
Estonian (Estonia)

Ülesanne 2: Vastus Arecibo sõnumile

IOAA 2023 ajal jõudis lõpuks Maale vastus Arecibo raadioteleskoobi poolt 1974. aastal saadetud sõnumile. Vooru ajal mängitakse ekraanidel videosalvestist vastusest. Dekodeerige vastus ja kirjutage varjatud sõnum vastustelehele.

Salvestist hakatakse mängima 30 minutit pärast võistluse algust ja seda mängitakse pidevalt korrates kokku 30 minutit.

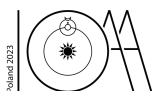
Ajakaristused: puuduv või vale vastus: +15 minutit



Ülesanne 3: Marsi silmus

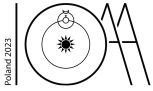
- Joonestage etteantud millimeeterpaberil Maa ja Marsi X ja Y asukohad heliotsentrilises süsteemis eri ajahetkedel, kasutades tabeli andmeid. Lisaks joonestage vektorid, mis ühendavad Maa ja Marsi vastavaid asukohti igal päeval.
- Kasutades joonlauda ja nurgikut, nihutage kõik vektorid ühise alguspunkti juurde, säilitades nende pikkused ja suunad. Tõmmake läbi nihutatud vektorite otspunktide kõverjoon, mis kujutab Marsi asukohta geotsentrilises süsteemis.
- Loe jooniselt maha minimaalne Maa-Marsi kaugus, tagurpidi (retrograadse) liikumise kestus ja nurk, mille võrra Mars tagurpidi (retrograadselt) liigub. Märkige oma vastused vastustelehel.

Ajakaristused: puuduv või vale joonis osa (b) jaoks +10 minutit; puuduvad või vahemikust väljas olevad vastused: +5 minutit iga osa kohta.



Heliotsentrilised ekvatoriaalpositsioonid				
	MAA		MARSS	
Kuupäev	X [aü]	Y [aü]	X [aü]	Y [aü]
2022 Sep 01	0.9375	-0.3431	1.3235	0.4704
2022 Sep 11	0.9846	-0.1928	1.2724	0.5972
2022 Sep 21	1.0033	-0.0370	1.2082	0.7178
2022 Oct 01	0.9928	0.1198	1.1320	0.8312
2022 Oct 11	0.9530	0.2731	1.0448	0.9366
2022 Oct 21	0.8850	0.4184	0.9477	1.0331
2022 Oct 31	0.7905	0.5512	0.8417	1.1200
2022 Nov 10	0.6722	0.6673	0.7282	1.1967
2022 Nov 20	0.5336	0.7631	0.6082	1.2630
2022 Nov 30	0.3785	0.8356	0.4830	1.3184
2022 Dec 10	0.2119	0.8824	0.3537	1.3628
2022 Dec 20	0.0387	0.9020	0.2216	1.3960
2022 Dec 30	-0.1357	0.8936	0.0877	1.4182
2023 Jan 09	-0.3058	0.8574	-0.0468	1.4294
2023 Jan 19	-0.4665	0.7947	-0.1810	1.4297
2023 Jan 29	-0.6128	0.7073	-0.3139	1.4194
2023 Feb 08	-0.7401	0.5981	-0.4445	1.3988
2023 Feb 18	-0.8447	0.4705	-0.5719	1.3682
2023 Feb 28	-0.9234	0.3284	-0.6954	1.3280
2023 Mar 10	-0.9740	0.1765	-0.8140	1.2787
2023 Mar 20	-0.9954	0.0191	-0.9272	1.2207
2023 Mar 30	-0.9868	-0.1387	-1.0341	1.1545
2023 Apr 09	-0.9491	-0.2925	-1.1342	1.0807
2023 Apr 19	-0.8835	-0.4377	-1.2268	0.9998
2023 Apr 29	-0.7920	-0.5702	-1.3115	0.9124

Group Competition



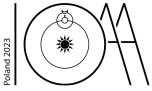
Q4-1

Estonian (Estonia)

Ülesanne 4: Lõunapooluse täht

Joonistage vastustelehel lõunataeva kaardile lõunapretsessiooni ringtrajektor ja määrake praegusele hetkele lähim aasta, mil täht δ Velorum muutub pretsessiooni tulemusena taeva lõunapooluse täheks. Kaart on kujutatud võrdkauguslikus (ekvidistantsses) projektsioonis.

Ajakaristused: puuduv või vale vastus +10 minutit



Ülesanne 5: Astrolaab

Astrolaab aitab määrata valitud tähtede asukohad horisondi suhtes teatud ajal. Alusel (“mater”) on tähistatud horisont, konstantse kõrgusega jooned, poolus, pöörijooned, lääne-ida suunaline seniiti läbiv suuringjoon (primaarvertikaal) ja taevaekvaator (laiuskraadi 50°N jaoks). Kaks liikuvat läbipaistvat osa on “rete” ja “rule”. “Rete” näitab teatud tähtede (igast tähtkujust üks) asukohta väljastpoolt taevafääri vaadatuna. Samuti näitab see ekliptikat, mis on jaotatud sodiaagimärkideks. “Rule” skaala võimaldab määrata tähtede kääned.

- (a) Määrake “retel” tähtedega tähistatud tähed ja täitke vastustelehel olev tabel. Märkige tähe nimi või Bayeri tähis ja tähtkuju. Samuti määrake tähtede otsetõus ja kääne (vahemikus ± 0.25 h ja $\pm 5^\circ$). Märkige täht, mis oli tulnukate poolt saadetud sõnumi allikas ülesandes 2.

Ajakaristused: puuduvad või valed nimed või valed koordinaadid: +1 minut iga vale vastuse kohta; vale allikas: +1 minut.

- (b) Määrake Nikolaus Koperniku sünnipäeva (19. veebruar) aegne Päikese otsetõus ja kääne (vahemikus ± 0.25 h ja $\pm 5^\circ$). Samuti määrake päikesetõusu ja -loojangu ajad (vahemikus ± 0.25 h).

Ajakaristused: puuduvad või valed koordinaadid: +5 minutit; puuduvad või valed ajad: +5 minutit.

Group Competition



Q6-1

Estonian (Estonia)

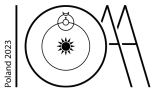
Ülesanne 6: Saaros

Kasutage järgnevat tabelit viimase 25 aasta kuuvarjutuste kohta, et ennustada, millal toimub järgmine selgelt nähtav kuuvarjutus. Märkige vastustelehel kuupäev ja ennustatav kellaaeg tunni täpsusega.

Ajakaristused: puuduva vastuse eest +10 minutit, nõrga nähtavusega kuuvarjutuse korral +1 minut.

Kuupäev	Aeg (UT)	Liik	JD
1991 Dec 21	10:34:00	Osaline	2448602.940
1992 Jun 15	04:57:57	Osaline	2448788.707
1992 Dec 09	23:45:05	Täielik	2448966.49
1993 Jun 04	13:01:26	Täielik	2449143.042
1993 Nov 29	06:27:06	Täielik	2449320.769
1994 May 25	03:31:20	Osaline	2449497.647
1995 Apr 15	12:19:04	Osaline	2449823.013
1996 Apr 04	00:10:47	Täielik	2450177.508
1996 Sep 27	02:55:24	Täielik	2450353.622
1997 Mar 24	04:40:28	Osaline	2450531.694
1997 Sep 16	18:47:42	Täielik	2450708.283
1999 Jul 28	11:34:46	Osaline	2451387.983
2000 Jan 21	04:44:34	Täielik	2451564.698
2000 Jul 16	13:56:39	Täielik	2451742.081
2001 Jan 09	20:21:40	Täielik	2451919.349
2001 Jul 05	14:56:23	Osaline	2452096.115
2003 May 16	03:41:13	Täielik	2452775.653
2003 Nov 09	01:19:38	Täielik	2452952.556
2004 May 04	20:31:17	Täielik	2453130.345
2004 Oct 28	03:05:11	Täielik	2453306.628
2005 Oct 17	12:04:27	Osaline	2453661.003
2006 Sep 07	18:52:25	Osaline	2453986.286
2007 Mar 03	23:21:59	Täielik	2454163.474
2007 Aug 28	10:38:27	Täielik	2454340.943
2008 Feb 21	03:27:09	Täielik	2454517.644
2008 Aug 16	21:11:12	Osaline	2454695.383
2009 Dec 31	19:23:46	Osaline	2455197.308
2010 Jun 26	11:39:34	Osaline	2455373.986
2010 Dec 21	08:18:04	Täielik	2455551.846
2011 Jun 15	20:13:43	Täielik	2455728.343

Group Competition



Q6-2

Estonian (Estonia)

Kuupäev	Aeg (UT)	Liik	JD
2011 Dec 10	14:32:56	Täielik	2455906.106
2012 Jun 04	11:04:20	Osaline	2456082.961
2013 Apr 25	20:08:38	Osaline	2456408.34
2014 Apr 15	07:46:48	Täielik	2456762.824
2014 Oct 08	10:55:44	Täielik	2456938.956
2015 Apr 04	12:01:24	Täielik	2457117.001
2015 Sep 28	02:48:17	Täielik	2457293.617
2017 Aug 07	18:21:38	Osaline	2457983.265
2018 Jan 31	13:31:00	Täielik	2458150.063
2018 Jul 27	20:22:54	Täielik	2458327.349
2019 Jan 21	05:13:27	Täielik	2458504.717
2019 Jul 16	21:31:55	Osaline	2458681.397
2021 May 26	11:19:53	Osaline	2459360.972
2021 Nov 19	09:04:06	Osaline	2459537.878
2022 May 16	04:12:42	Täielik	2459715.676
2022 Nov 08	11:00:22	Täielik	2459891.958