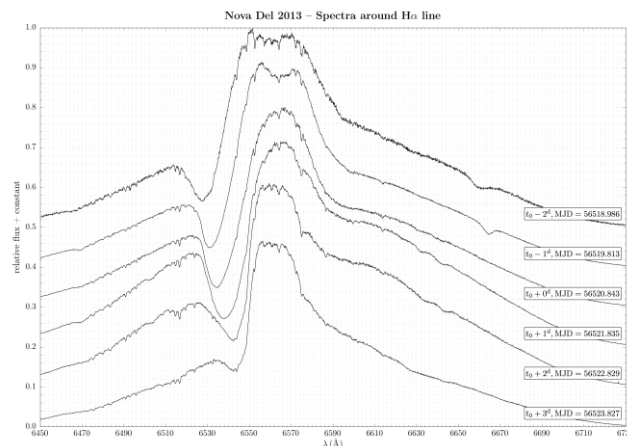
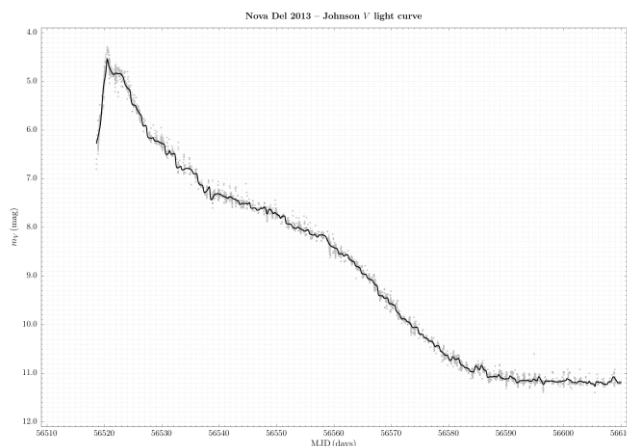


1. Nova Del 2013 fotomeetria ja spektroskoopia

(60 p)

Klassikalise noova V339 Del (Nova Delphini 2013) avastas Koichi Itagaki 14. augustil 2013 kell 14:01 UT (MJD=56518,584), kui selle heledus oli 6,8 tähesuurust. Nii elukutselised- kui hobiastronoomid alustasid noova fotomeetriliste ja spektroskoopiliste mõõtmistega. Vähem kui 10 tundi pärast avastamist, kui Päike Ungari Teaduste Akadeemia Konkoly observatooriumi Pizskéstető mäe vaatlusjaamas loojus, jäädvustasid ungari astronoomid esimese noova spektri, kasutades 1-meetrise teleskoobi külge ühendatud Loránd Eötvös ülikooli Gothardi astrofüüsikaobservatooriumi echelle-spektrograafi eShel.

Ülesande küsimustele vastamiseks kasutage Jooniseid 1.1. ja 1.2. Jooniste suuremad versioonid on teile antud eraldi A3-formaadis lehtedel.



Joonis 1.1: Nova Del 2013 – Johnsoni V-filtri heleduskõver

Joonis 1.2: Nova Del 2013 – spektrid $H\alpha$ ümbruses

Joonis 1.1 kujutab noova visuaalse heleduse heleduskõverat, mis on koostatud AAVSO (American Association of Variable Star Observers) veebilehelt alla laetud andmete põhjal. Horisontaal- ja vertikaaltelgedel on vastavalt vaatluse modifitseeritud Juliuse päev (MJD = JD-2400000,5) ja Johnsoni V-filtri tähesuurused. Hallid sümbolid (umbes 38000 andmepunkti) esitavad mõõdetud väärtusi, pidev must joon on andmete silumise tulemus. Silumist tehti Gaussi filtriga (täislaius poolkõrgusel, FWHM = 0,5 päeva), et saada andmepunktidest „keskmine“ heleduskõver.

Heleduse kahanemise kiirust on võimalik kirjeldada väärtustega t_2 ja t_3 , mis näitavad ajavahemikku päevades, mille jooksul noova heledus väheneb 2 ja 3 tähesuurust võrreldes maksimumi heledusega.

Kirjandusest võib leida empiirilisi valemeid, mis kirjeldavad seost maksimumi absoluutse V-filtri heleduse (M_0) ja t_2 , t_3 väärtuste vahel, näiteks:

$$(a) M_0 = -7,92 - 0,81 \arctan \frac{1,32 - \log t_2}{0,23} \quad (\text{Della Valle, M. \& Livio, M.: 1995, } ApJ \text{ } \mathbf{452}, 704)$$

$$(b) M_0 = -11,32 + 2,55 \log t_2 \quad (\text{Downes, R.A. \& Durbeck, H.W.: 2000, } AJ \text{ } \mathbf{120}, 2007)$$

$$(c) M_0 = -11,99 + 2,54 \log t_3 \quad (\text{Downes, R.A. \& Durbeck, H.W.: 2000, } AJ \text{ } \mathbf{120}, 2007)$$

Nova Del 2013 värvusekstsess $E(B - V)$ (Chochol, D. et al.: 2014, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* **43**, 330) on:

$$E(B - V) = 0,184 \pm 0,035$$

Joonis 1.2 kujutab noova spektreid, mis on jäädvustatud $H\alpha$ spektrijoone lainepikkuse piirkonnas kuuel järjestikusel ööl enne ja pärast maksimaalse heleduse aega (t_0). Üksikud vaatlused on selguse huvides

vertikaalselt lahku nihutatud. Vaatluste modifitseeritud Juliuse päevad (MJD) on näidatud iga spektri parempoolses servas.

$H\alpha$ spektrijoone kuju on niinimetatud P Cygni profiiliga, millel on väga laiad tiivad. Sellised jooned on tüüpilised mitte ainult noovadele vaid on vaadeldavad peaaegu igasuguse spektritüübiga tähtede korral ning see on kindel märk tähelt välja paisatud suure ainehulga kiirest radiaalsest liikumisest. P Cygni profiil koosneb tugevast ja laiast kiirgusjoonest, mille tipp hinnatakse olevat tsentreeritud $H\alpha$ paigalseisu lainepikkusele õhus ($\lambda_0 = 6562,82 \text{ \AA}$) ja tavaliselt nõrgemast, sininihkega, neeldumiskomponendist. Ümbrise paisumise (radiaal)kiirust saab lähendada neeldumiskoostisjoone tippu mõõdetud lainepikkuse λ kaudu, kasutades tuntud Doppleri nihke valemit, mis seob nihke $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, radiaalkiiruse v_r ja c – valguse kiiruse.

Eeldage, et P Cygni profiiliga $H\alpha$ spektrijoon on ergastatud sfääriliselt paisuva kesta kõige välimises kihis ja et selle ulatus esimese spektri jäädvustamise ajal oli veel tühine.

- Hinnake Jooniselt 1.1 maksimaalsele heledusele vastavat modifitseeritud Juliuse päeva (MJD₀) ja maksimumi heledust ennast. Arvestage heleduse väärtuse määramatuseks $0,05^m$. (3 p)
- Hinnake modifitseeritud Juliuse päevi, mis vastavad ajaintervallidele, millal noova heledus on vähenenud 2 ja 3 tähesuuruse võrra ning arvutage t_2 ja t_3 väärtused. (6 p)
- Teades t_2 ja t_3 väärtusi punktist (b), leidke eelnevalt toodud kolme empiirilise valemi abil noova heledusmaksimumi absoluutne tähesuurus; arvutage nende keskväärtus (M_0) ja standardhälve. Standardhälvet kasutage hiljem kui M_0 mõõtemääramatust. (5 p)

Standardhälbe arvutamise valem on:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- Kasutades värvusekstsessi $E(B - V)$ väärtust, määrake interstellaarne neeldumine A_V ja selle määramatus noova suunas. Kasutage $R_V = 3,1$, ilma määramatuseta. (4 p)
- Hinnake noova kaugust ja selle määramatust. Andke vastus kiloparsekites (kpc). (11 p)
- Mõõtke Jooniselt 1.2 (kasutage suuremat joonist) P Cygni neeldumiskomponentide kesk-lainepikkused ja arvutage vastavad radiaalkiirused. Määramatusi ei ole vaja hinnata. (14 p)
- Kandke radiaalkiirused joonisele, sõltuvana vaatluste modifitseeritud Juliuse päevadest. (6 p)
- Hinnake punktis (g) tehtud jooniselt ajaintervalli lõpule vastavat ümbrise füüsilist raadiust. Andke vastus astronoomilistes ühikutes (aü). (7 p)
- Teades kaugust noovani ja sfäärilise ümbrise füüsilist raadiust 5 päeva pärast avastamist, hinnale sellele ajale vastavat ümbrise näivat nurkläbimõõtu. (4 p)

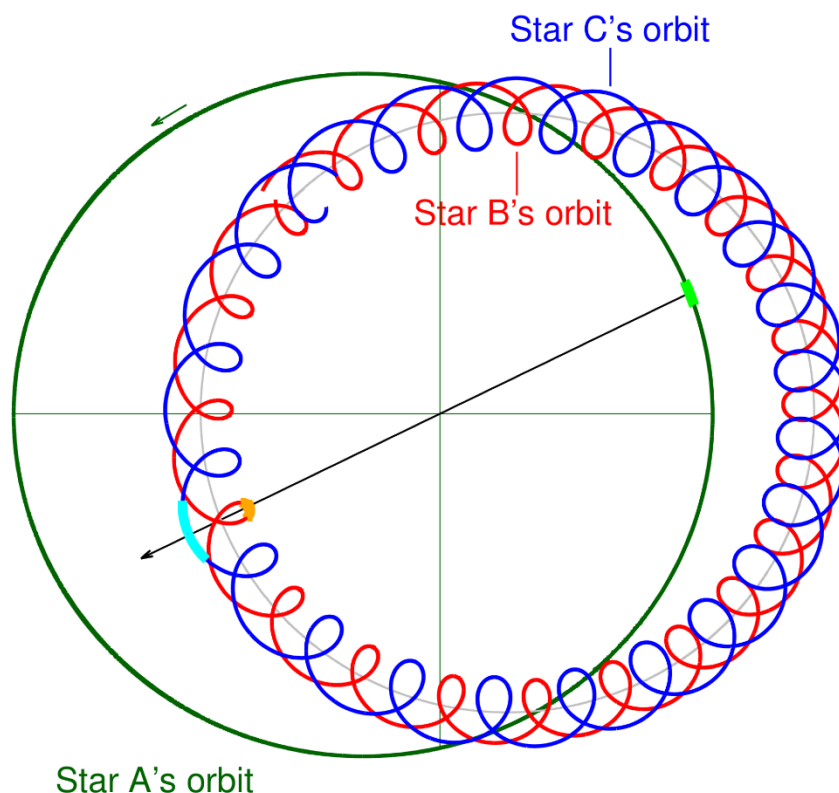
2. Kolmekordselt varjutuv hierarhiline kolmiktähe süsteem

(90 p)

HD 181068 oli üks heledamaid tähti, mida pidevalt vaadeldi NASA eksoplaneedi-jahitija, kosmoseteleskoobi Kepler abil peaaegu 4-aastase põhimissiooni jooksul. Kosmoseaparaat vaatles iga 0,453 päeva tagant $\approx 3 - 4 \times 10^{-3}$ mag valguse nõrgenemist (pange tähele, et paarisarvulised nõrgenemised olid natuke väiksema amplituudiga võrreldes paarituurvulistega). Lisaks mõõdeti iga 22,7 päeva tagant 2,3-päeva kestvaid 0,007 magnituudi sügavusi nõrgenemisi.

Ungari teadlased leidsid sellele ebaharilikule fotomeetrilisele käitumisele seletuse. Nad avastasid, et HD 181068 on kompaktne hierarhiline kolmiktähe süsteem, mida näeme peaaegu orbiidi tasandis.

Hierarhiline kolmiktähe süsteem koosneb kolmest tähest: A, B ja C. Kaks nendest tähtedest (B ja C) moodustavad sisemise kaksiktähesüsteemi ning välimine komponent (täht A) tiirleb märgatavalt suuremal kaugusel (tavaliselt suurusjärke suuremal) kui sisemise süsteemi pikem pooltelg. Kolmiktähe süsteemi skemaatiline vaade on toodud Joonisel 2.1.



Joonis 2.1: Hüpooteetilise hierarhilise kolmiktähe süsteemi skemaatiline joonis pealtvaates. Must nool on suunatud Maa poole. Tähtede orbiitide jämeda joonega lõigud kujutavad orbiidikaari välimise varjutuse ajal.

Matemaatilisel saab hierarhilise kolmiktähe süsteemi liikumist hästi lähendada kahe häiritusteta kepleriaalse kahe keha liikumisena; (1) sisemise kaksiktähe kepleriline liikumine. (2) selle sisemise kaksiktähe massikese ja kolmas täht tiirlevad teisel kepleriaalsel orbiidil, nad moodustavad “väliskaksiktähesüsteemi”.

Selles ülesandes moodustavad tähed B ja C varjutusmuutliku kaksiktähe perioodiga $P_1 = 0,9056768$ päeva ning nende tähtede ja tähe A ühine massikese moodustab välimise kaksiktähe perioodiga $P_2 = 45,4711$ päeva. Kuna välise orbiidi tasand on Kepleri kosmoteleskoobiga vaatesuunaga (ja muidugi Maa omaga ka) peaaegu samas sihis, siis tähed B ja C ei varjuta välisorbiidil tiirlemise ajal mitte ainult üksteist vaid ka tähte A ning nad saavad pool välimist orbitaalperioodi varjutatud tähe A poolt, mis tekitab veel lisanõrgenemisi.

i. Tähtede füüsiliste suuruste (ja teiste parameetrite) määramine varjutuste geomeetria põhjal.

Teeme selles ülesande osas järgmisi oletusi: (1) sisemine ja välimine orbiit on täpselt ringorbiidid, (2) nende orbiitaaltasandid on identsed ja (3) vaateleja asub orbiidiga samas tasandis ($i_1 = i_2 = 90^\circ$ ja $i_{\text{rel}} = 0^\circ$). Uurime lisanõrgenemisi, mis on keskvarjutused (kas kattumised või üleminekud – rõngakujulised varjutused), mille tõttu on nendel sündmustel neli kontakti. Tavalise varjutusmuutliku kaksiktähe puhul (või eksoplaneedi üleminekul) väliskontaktide ajal puutuvad kahe keha taevale projitseeritud kettad üksteisega kokku ühes punktis väljastpoolt ning sisekontaktil ühenduvad nad seestpoolt. Kuigi viimane lause kehtib ka välisvarjutuste kohta, muutub olukord kolme tähe puhul keerulisemaks, sest kahe tähe asemel osaleb varjutustes kolm tähte. Vaatamata sellele saab heleduskõvera järgi iga kontakti hetke kindlalt defineerida. Samuti saab otsustada, milline sisemise kaksiktähe komponent mingis antud kontaktis osaleb (teine komponent on muidugi alati täht A).

All olevas tabelis on toodud erinevate varjutuste mõnede kontaktide täpsed ajad, mida vaadeldi Kepleri kosmoseteleskoobiga, ka kontaktide liigid ja tähed on kirjeldatud. Aeg on toodud barütsentrilistes Juliuse päevades (BJD).

Sündmuse nr.	Kontakt	Tähed	BJD	φ_1	φ_2
1	I	A, B	2455476.1096	1111111111	1111111111
	II	A, C	2455476.4245		
	III	A, B	2455477.9677		
	IV	A, B	2455478.4722		
2	I	A, B	2455521.5217		
3	III	A, C	2455568.9434		
4	I	A, C	2455612.4733		
	III	A, C	2455614.3571		
5	III	A, B	2455659.9241		
	IV	A, C	2455660.2422		

- a) Olgu $T_{01} = 2455051.2361$ ja $T_{02} = 2455522.7318$ vastavalt sisemise ja välimise kaksiktähe alumiste ühenduste ajad (st. hetk, mil vaateleja jaoks täht C varjutab tähte B ning kui täht A varjutab tähtede B ja C massikeset).

Defineerime

$$\varphi_1(t) = \{(t - T_{01})/P_1\} \text{ ja } \varphi_2(t) = \{(t - T_{02})/P_2\},$$

kui vastavalt sisemise ja välimise kaksiktähe fotomeetrilised faasid. $\{x\}$ tähistab reaalarvu x murdosa. Kui $\{x\} < 0$, kasutage selle asemel $\{x\} + 1$. Arvutage tabelis toodud kontaktide faasid ning **kirjutage nad õigesse veergu vastuselehel**. Ümardage vastused 4 kümnendkoha täpsuseni. (10 p)

- b) Leidke, kas varjutuse ajal oli täht A või sisemine kaksiktähtede süsteem (B ja C) vaatelejale lähemal. **Kirjutage oma tulemused vastuselehel olevasse tabelisse.** (5 p)
- c) Kasutades eelnevat tabelit, arvutage (1) iga tähe jaoks dimensioonitu raadiuse ja välisorbiidi suure pooltelje suhe ($R_{A,B,C}/a_2$), (2) kahe orbiidi suurte pooltelgete suhe (a_1/a_2) ning (3) tähtede B ja C massisuhe ($q_1 = m_C/m_B$). *Vihje:* Kasutage arvutustes kõigis vahetulemustes vähemalt nelja komakohta. Pange tähele, et ajaandmete piiratud täpsuse tõttu ei pruugi olla võimalik kasutada kõiki teoreetiliselt võimalikke kontaktide kombinatsioone. (30 p)
- d) Kasutades eelnevalt saadud tulemusi, arvutage uuesti (sõltumatult) välimiste masside suhe. ($q_2 = m_{BC}/m_A$). (8 p)

- ii. Tähtede masside dünaamiline määramine, kasutades radiaalkiiruse (RV) ja varjutuste ajastuste variatsioonide (ETV) mõõtmisi.

RV andmete saamiseks tehti nelja erineva instrumendiga maapealseid spektroskoopilisi lisavaatlusi. Kõikidest spektritest sai mõõta ainult tähe A spektrijooni. Kandes kõik mõõtmistulemused ajas joonisele, sai RV kõverat hästi lähendada järgmise avaldisega:

$$V_{\text{rad},A} = V_{\gamma} + K_A \sin \phi_{\text{RV}},$$

kus V_{γ} on süsteemi kiirus ja K_A on radiaalkiiruse amplituud:

$$V_{\gamma} = 6,993 \pm 0,011 \text{ km s}^{-1}, \quad K_A = 37,195 \pm 0,053 \text{ km s}^{-1},$$

$$P_2 = 45,4711 \pm 0,0002 \text{ d}, \quad \phi_{\text{RV}} = \frac{2\pi}{P_2} [t - (2455522,7318 \pm 0,0095)].$$

Järgnevalt määrasid teadlased kaksiktähtede (B ja C) regulaarsete varjutuste keskmomendid ning leidsid, et N-indale orbitaalperioodile vastavat varjutuse miinimumi saab kirjeldada järgmise lihtsa avaldisega:

$$T_N = T_0 + P_1 N + A_{\text{ETV}} \sin \left(\frac{2\pi}{P_2} P_1 N + \phi_0 \right),$$

kus

$$T_0 = \text{BJD } 2455051,23607 \pm 5,1 \times 10^{-5}, \quad P_1 = 0,9056768 \pm 3 \times 10^{-7} \text{ d},$$

$$A_{\text{ETV}} = 0,001466 \pm 0,000110 \text{ d}, \quad \phi_0 = -0,76779 \pm 0,01937 \text{ rad}.$$

Selles avaldises on A_{ETV} varjutuse ajastuse amplituudi muutlikkus; T_0 tähistab referentsiks võetud (nullindale) varjutuse keskmomendile vastav aeg; N on tsükli arv, mis on täisarv peavarjutuste korral (kui natuke nõrgem täht C varjutab tähte B) ning pooltäisarv sekundaarsete varjutuste jaoks (kui täht B varjutab tähte C).

Leidke (1) jälle sisemise kaksiktähe massikeskme ja tähe A massisuhe ($q_2 = m_{\text{BC}}/m_A$), kasutades ainult punktis ii saadud tulemusi. Samuti leidke (2) komponendi A mass (m_A) ja (3) sisemise kaksiktähe kogumass (m_{BC}). Arvutage (1), (2) ja (3) masside jaoks määramatused. Vihje: võite palju aega säästa, kui esitate masse Päikese massi ühikutes ja orbitaalseid kaugusi kas Päikese raadiuse ühikutes või ai-des.

(22 p)

- iii. Kombineerides alapunktides 1 ja 2 saadud tulemusi, leidke tähtede B ja C massid eraldi ja arvutage kõigi kolme tähe füüsilised mõõtmed (st. tähtede raadiused füüsilistes ühikutes).

(15 p)

ÕPILASE ID: -

2. 1. a)

Sündmus nr.	Kontakt	Tähed	BJD	φ_1	φ_2
1	I	A, B	2455476.1096		
	II	A, C	2455476.4245		
	III	A, B	2455477.9677		
	IV	A, B	2455478.4722		
2	I	A, B	2455521.5217		
3	III	A, C	2455568.9434		
4	I	A, C	2455612.4733		
	III	A, C	2455614.3571		
5	III	A, B	2455659.9241		
	IV	A, C	2455660.2422		

1. b)

Sündmus nr.	Lähedasem komponent
1	
2	
3	
4	
5	

VAATLUSVOOR – KÜSIMUSTE LEHT

Teleskoop: 150/750 Newton
Okulaarid: 25 mm, 10 mm, Barlow lääts: 2x

Märkused:

- Teleskoop on juba polaarjoondatud.
- Kui horisondi lähedal on halb nähtavus, siis asendatakse Ülesanne 1 ja 2 asendusülesannete 1 ja 2-ga (vt. lehekülg 3). Sel juhul tõmbab teleskoobiassistent Ülesande 1 ja 2 maha.
- Ülesannetes 1, 3 ja 4 peate kasutama 25 mm okulaari.
- Kui lõpetate nende ülesannetega enne ametliku lahendusaja lõppu, peate leitud objekti jälgima teleskoobiga kuni ülesande jaoks eraldatud aja lõpuni. Teleskoobiassistent kontrollib teie tulemust alles ülesandele eraldatud aja lõpus.
- Ülesande 2 jaoks soovitatakse kasutada 10 mm okulaari ja 2x Barlow lääts.
- Ülesande 5 jaoks ei lubata teleskoopi kasutada.

ÜLESANNE 1: OTSIMISPIKKSILMA JOONDAMINE

Aega antud: 5 minutit

5 punkti

- Võistluse alguses EI OLE otsimispikksilm joondatud. **Suunake teleskoop Saturnile ja joondage otsimispikksilm suure teleskoobiga paralleelseks.**

Kui Saturni ei asu otsimispikksilma niitristi keskpunkti juures, siis teleskoobi assistent parandab joondust – teie saate kas osalised punktid või null punkti.

ÜLESANNE 2: SATURNI VAATLUS

Aega antud: 10 minutit

kokku: 15 punkti

- Ülemises joonisekastis kujutab ring Saturni planeediketast ja horisontaalne joon on E-W suund taevas. Pöörake tähelepanu põhjasuuna asukohale (vt. paremat ülemist nurka).
Märkige Titaani asukoht ristiga.
- Väiksem joonisekast eelmise kasti alumises paremas nurgas on Saturni rõngaste joonistamiseks. Taas kujutab ring Saturni ketast.
Joonistage sellesse kasti Saturni rõngad õige suuruse ja orientatsiooniga.
Vajalikud on rõnga nii välimised kui sisemised servad, rõnga nõrku või väikeseid detaile ja tühikuid ei ole vaja joonistada.
Hoidke pildi orientatsioon sama ülemise joonisekasti orientatsiooniga.
- **Hinnake Titaani nurkkaugust (kaaresekundites) ja positsiooninurka (kraadides) Saturni keskpunkti.** Vastuse juures võite näidata ka tehtud arvutusi.

Rõnga näiv pikem telg: 43"

ÜLESANNE 3: M57 – VAATEVÄLI

Aega antud: 10 minutit

kokku: 10 punkti

- **Leidke planetaarudu M57 (Lüüra tähtkujus) ning asetage see suure teleskoobi vaatevälja keskele**
- **Vastuselehe tähekaardil on näha osa Lüüra tähtkujust. Kandke kaardile võimalikult täpselt vaatevälja ringjoon ümber M57.**

Juhul, kui teil ei õnnestu M57 üles leida, aitab assistent teid mitte varem kui 5 minutit pärast lahendusaja algust. Sellisel juhul kaotate objekti üles leidmise punktid.

ÜLESANNE 4: MUUTLIK TÄHT – AF CYGNI

Aega antud: 15 minutit

kokku: 15 punkti

- **Kasutage muutliku tähe AF Cyg leidmiseks teile antud Luige tähtkuju tähekaarte.** Suure skaalaga otsimiskaart on normaalse orientatsiooniga (N on üleval ning E on vasakul). Väiksema skaalaga kaart on “teleskoobi” orientatsiooniga (S on üleval ning W on vasakul). Võrdlustähtede heledus on antud ilma komakohtadeta, nt. “97” tähendab 9,7 magnituudi. Kui teil ei õnnestu AF Cyg üles leida, ei ole teleskoobi assistendil lubatud teid aidata.
- **Hinnake AF Cyg heledust, võrreldes seda võrdlustähtedega ning kirjutage selle väärtus ühe komakoha täpsusega. Kirjutage teie vaatluse aeg UTC formaadis.** Teil on lubatud küsida assistendilt aega kohalikus ajavööndis (CEST).

ÜLESANNE 5: HELEDUSE HINDAMINE PALJA SILMAGA

Aega antud: 5 minutit

kokku: 5 punkti

- **Hinnake kahe Ursa Majori tähekaardil tähistatud, palja silmaga nähtava, tähe visuaalseid tähesuurusi.**
 - a) ζ UMi (zeta UMi = Alifa) – TÄHT 2
 - b) γ UMi (gamma UMi = Pherkad) – TÄHT 1
 - c) Kirjutage oma heledushinnang ühe komakoha täpsusega (nt. 8,6).
- **Hinnake γ UMi (TÄHT 1) ja Põhjanaela vahelist nurkkaugust kraadides.**

ÜLESANNE 1/ ALTERNATIIVNE: OTSIMISPIKKSILMA JOONDAMINE

Aega antud: 5 minutit

5 punkti

- Võistluse alguses EI OLE otsimispikksilm joondatud. **Suunake teleskoop Altairile (α Aql) ja joondage otsimispikksilm suure teleskoobiga paralleelseks.**

Kui joondamine ei ole rahuldav, siis teleskoobi assistent parandab joondust – teie saate kas osalised punktid või null punkti.

ÜLESANNE 2 / ALTERNATIIVNE: EPSILON LYRAE

Aega antud: 10 minutit

kokku: 15 punkti

- **Leidke ϵ Lyr, ja tehke vaateväljas nähtavast joonis (koos objekti ja teiste tähtedega), kasutades 10 mm okulaari. Märkiga põhja- ja idasuund kahe noolega ja tähistage nad kui 'N' ja 'E'.**
- **Hinnake laia paari ($\epsilon 1$ - $\epsilon 2$) vahelist nurkkaugust ja sama paari positsiooninurka.**
- **Tõstke suurendust 2x Barlow läätsega, et lahutada ja eraldada kaks lähedast paari. Hinnake kahe tiheda paari sihtide vahelisi nurki kraadides (lähima täisarvu täpsusega). (Nurk läbi kummagi tiheda tähepaari joonestatud sirgete vahel). Ärge andke positsiooninurki, ainult suhteline nurk kahe tiheda paari vahel. Joonist ei ole vaja.**

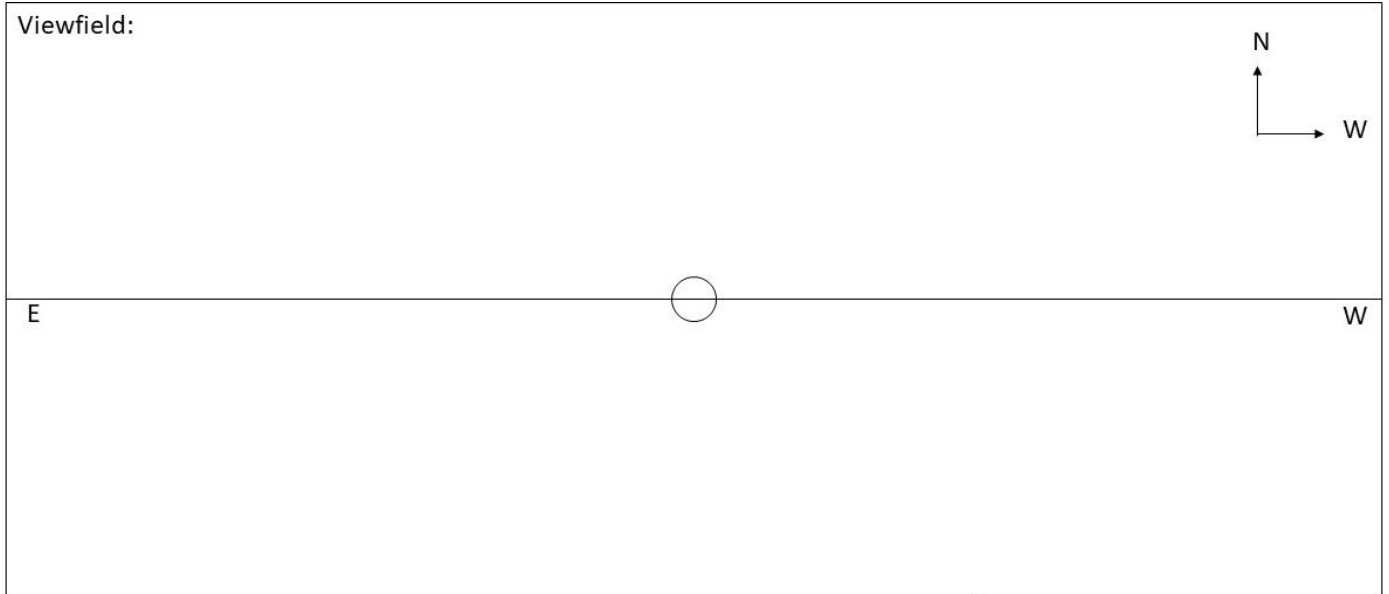
Kui te ei suuda ϵ Lyr leida, siis võib assistent teie eest teleskoopi suunata, kuid alles 5 minutit pärast ülesande algust. Sellisel juhul kasutate teleskoobi suunamise eest antavad punktid.

Teleskoobi assistent kontrollib objekti 10 minuti piiri möödumisel. Kui lõpetate varem, hoidke tähte teleskoobi vaateväljas ja oodake kontrollimist.

Vastuste leht

ÜLESANNE 2:

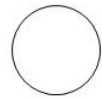
Viewfield:



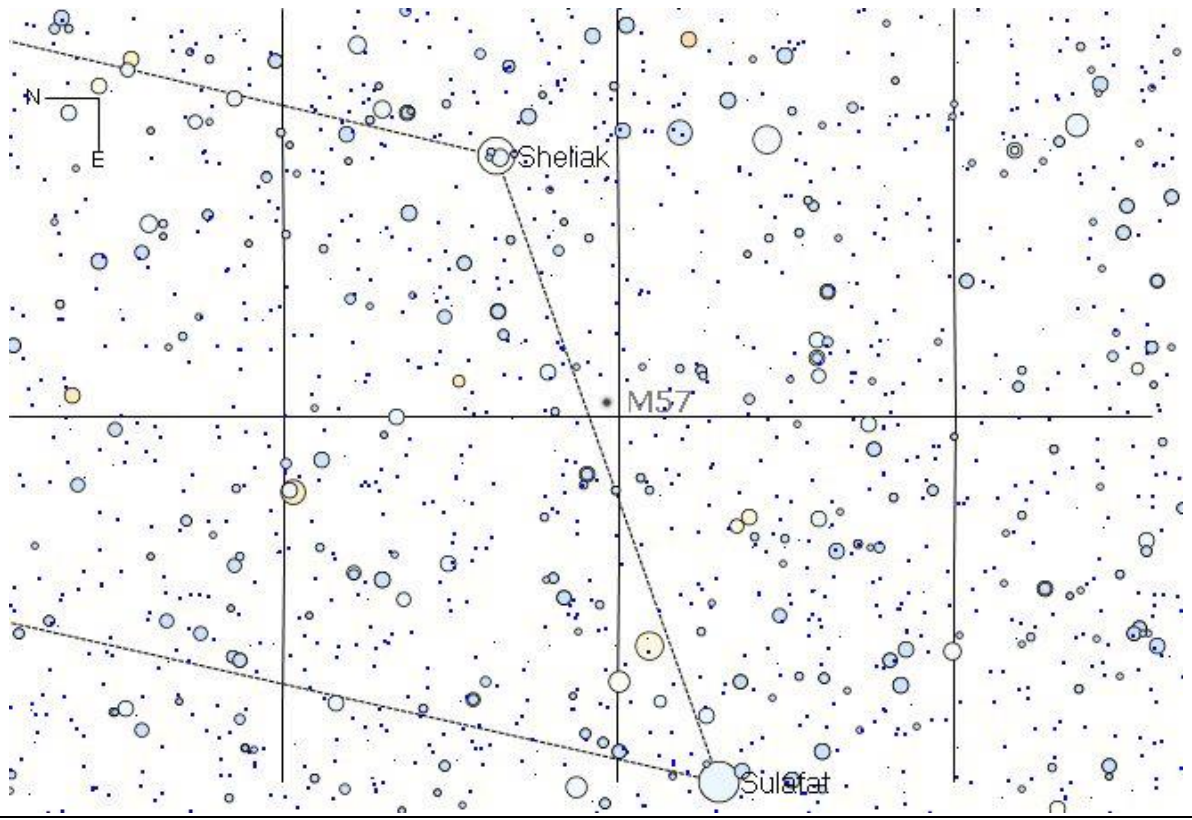
d_{Titan} : _____ "

PA_{Titan} : _____ °

Ring:



ÜLESANNE 3



ÜLESANNE 4

Heledus: mag Kuupäev, Aeg: UTC

ÜLESANNE 5

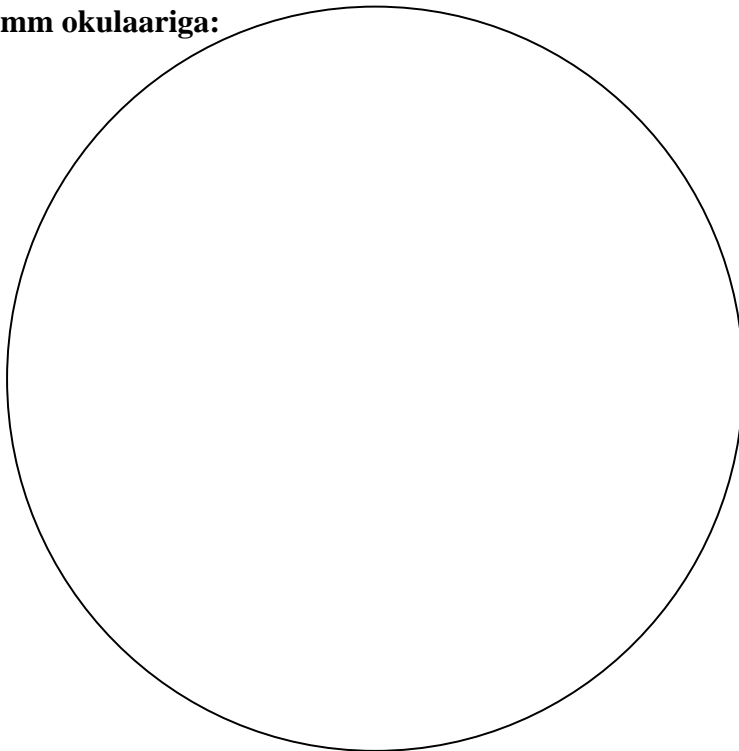
TÄHT 2 (ζ UMi): mag

TÄHT 1 (γ UMi) : mag

γ UMi (TÄHT 1) Põhjanelast: °

ÜLESANNE 2 / ALTERNATIIVNE: EPSILON LYRAE

FOV 10 mm okulaariga:



$d_{\varepsilon_1-\varepsilon_2} = \underline{\hspace{2cm}}$ '

PA $_{\varepsilon_1-\varepsilon_2} = \underline{\hspace{2cm}}$ °

Nurk (kitsaste paaride vahel): °

ÕPILASE ID: □□□ - □□

1.
 1. Hubble'i kosmoseteleskoobi start
 2. Maandurid Viking jõuavad planeedile Marss
 3. Phobose ja Deimose avastamine
 4. Komeedi 1/P Halley viimane periheel
 5. Cerease avastamine (asteroid / kääbusplaneet)
 6. Uraani avastamine (planeet)
 7. Esimene edukas tähe parallaksi mõõtmine
 8. Esimese planetaarudu avastamine
 9. Tähepopulatsioonide I ja II avastamine
 10. Tuvastati esimene kvasar koos vastava optilise allikaga
 11. Universumi paisumise avastamine

2.
 - a) JAH EI
 - b) JAH EI

3.
 - c) (A) (B) (C) (D) (E)

4.
 - b) JAH EI

6.
 - a) (A) (B)
 - b) (A) (B) (C) (D)
 - d) (A) (B) (C) (D) (E)

8.
 - e) (A) (B) (C) (D)

11.
 - a)
 - „Heart-beat“-tüüpi täht
 - RR Lyrae-tüüpi (RRab alamtüüp) pulseeriv muutlik täht
 - Algol-tüüpi varjutusmuutlik (pool-eraldatud), pulseeriva komponendiga kaksiktäht
 - α^2 CVn-tüüpi pulseeriv muutlik täht
 - W Vir-tüüpi (populatsioon II) pulseeriv tsefeiid
 - Eraldatud varjutusmuutlik kaksiktäht millel on tugev peegeldusefekt
 - W UMa-tüüpi varjutusmuutlik kontaktkaksiksüsteem
 - Pöörlemisest tingitud muutlik täht (plekiline)
 - b)

1.	RW Dor	$P \approx \dots\dots\dots$ d
2.	FO Eri	$P \approx \dots\dots\dots$ d
3.	UY Eri	$P \approx \dots\dots\dots$ d
4.	ST Pic	$P \approx \dots\dots\dots$ d
5.	AH Col	$P \approx \dots\dots\dots$ d
6.	VV Ori	$P \approx \dots\dots\dots$ d
7.	TIC 147272181	$P \approx \dots\dots\dots$ d
8.	24 Eri	$P \approx \dots\dots\dots$ d
 - c) (A) (B) (C) (D) (E)

13.
 - f) (A) (B) (C) (D) (E)

14. b) JAH EI
c) KINDLALT JAH
 KINDLALT EI
 PIIRI PEAL

1. Kuulsad astronoomilised sündmused (10 p)

Pange järgnevad astronoomiaga seotud sündmused kronoloogilisse järjekorda vanematest kõige uuemateni. Kirjutage õige järjekorranumber (1 kuni 11) vastuste lehe sobivasse kasti.

1. Hubble'i kosmoseteleskoobi start
2. Maandurid Viking jõuavad planeedile Marss
3. Phobose ja Deimose avastamine
4. Komeedi 1/P Halley viimane periheel
5. Cerease avastamine (asteroid / kääbusplaneet)
6. Uraani avastamine (planeet)
7. Esimene edukas tähe parallaksi mõõtmine
8. Esimese planetaarudu avastamine
9. Tähepopulatsioonide I ja II avastamine
10. Tuvastati esimene kvasar koos vastava optilise allikaga
11. Universumi paisumise avastamine

2. Raadiofotonite hajumine Päikesesüsteemi kehade gravitatsiooniväljas (10 p)

A. Eddington ning F. Dyson Principest ja C. Davidson ning A. Crommelin Sobralist Brasiilias, mõõtsid 1919. aastal täieliku päikesevarjutuse ajal Päikesele näivalt väga lähedal olevate tähtede valguse kõrvalekaldumist. Kõrvalekalde väärtus langes kokku teoreetiliselt ennustatud väärtusega 1,75".

Valgusekiir (või foton), mis möödub Päikesest kaugusel d , on kõrvale kallutatud nurga

$$\Delta\theta \propto \frac{4GM_{\odot}}{dc^2}$$

võrra.

Tänapäeva VLBI (Very Long Baseline Interferometry) meetodi täpsus raadiolainepikkuste piirkonnas on 0,1 mas (millikaaresekund). Kas on võimalik mõõta kvasarilt tulevate raadiofotonite kõrvalekallet (a) Jupiteri, (b) Kuu gravitatsioonivälja tõttu? Hinnake mõlemal juhul kõrvalekalde nurka ning märkige vastuselehele "JAH" või "EI".

3. Ülimassiivsed mustad augud Linnutee Galaktika ja M87 keskmes (10 p)

Esimese pildi mustast august tegi hiljuti rahvusvaheline Sündmuste Horisondi Teleskoobi (EHT) tööriühm. Pildistatud ala ümbritseb galaktika M87 keskmes olevat ülimassiivset musta auku. Lõpliku pildi saamiseks vaadeldi lainepikkusel $\lambda = 1,3$ mm, kus interstellaarne neeldumine ei ole lubamatult suur.

- a) Kui suure läbimõõduga instrumenti oleks vaja, et eristada supermassiivse musta augu varju (tegelikult fotonite haarde raadiust, mis on kolm korda suurem sündmuste horisondi omast) mingi galaktika keskmes? Esitage tulemus funktsioonina musta augu massist M ja kaugusest d . (6 p)
- b) Leidke instrumendi suurus Maa raadiuse ühikutes:
 - (a) ülimassiivsele musta augu jaoks M87 keskmes, (1 p)
($d_{\text{BH-M87}} = 5,5 \times 10^7$ va, $M_{\text{BH-M87}} = 6,5 \times 10^9 M_{\odot}$)
 - (b) Sgr A*, meie oma Linnutee galaktika ülimassiivse musta augu jaoks. (1 p)
($d_{\text{Sgr A}^*} = 8,3$ kpc, $M_{\text{Sgr A}^*} = 3,6 \times 10^6 M_{\odot}$)

- c) Millist tüüpi tehnoloogiat on sellise instrumendi loomiseks vaja? **Märkige oma vastusevariandi täht vastuste lehel märgiga \times .** (2 p)

- (A) Tumeaine tekitatud gravitatsiooniline lääts
- (B) Interferomeetria raadioteleskoopide võrgustikuga
- (C) Footonite aeglustumine tihedas keskkonnas
- (D) Vastuvõetava lainefrondi moonutuste vähendamine
- (E) Neutriinode fokuseerimine tugevate elektromagnetiliste väljade abil

4. Hariliku peegelteleskoobi täiustamine (10 p)

Õpilasel on keskmise kvaliteediga Cassegrain-tüüpi teleskoop, mille pea- ja sekundaarpeeglid on kaetud alumiiniumikihiga, mille peegelduvus on $\varepsilon_1 = 91\%$.

- a) Kui palju muutub selle teleskoobi kiihindvus tähesuurustes, kui peeglite kattekihid asendada parema kvaliteediga kihtidega, mille peegelduvus on $\varepsilon_2 = 98\%$? (5 p)
- b) Oletades, et õpilane kasutab sama teleskoobiga diagonaalpeeglit peegelduvusega ε_1 , kuivõrd parem oleks kiihindvus, kui ta asendab ka selle peegeldava kihi $\varepsilon_3 = 99\%$ peegelduvusega versiooniga ("dielektriline" peegel), kombineeritult uute ε_2 peeglitega. (3 p)
(diagonaalpeegel on tasapeegel, mis on optilise telje suhtes 45° võrra kaldus)
- c) Kas see erinevus on inimsilmaga selgelt eristatav? **Märkige vastuselehele "JAH" või "EI".** (2 p)

Võtke arvesse kogu inimsilmale nähtav valgus ja ignoreerige kõiki sõltuvusi lainepikkusest ning geometrilisi efekte.

5. Kosmilise mikrolainelise taustkiirguse ahi (10 p)

Kuna inimkeha koosneb põhiliselt veest, siis neelab see väga efektiivselt mikrolainefootoneid. Eeldage, et astronaudi keha on perfektne sfääriline neelaja massiga $m = 60$ kg, selle keskmine tihedus ja soojusmahtuvus on samad mis puhtal veel ehk. $\rho = 1000$ kg m⁻³ ja $C = 4200$ J kg⁻¹ K⁻¹.

- a) Millise kiirusega (vattides) neelaks galaktikatevahelises ruumis olev astronaut kosmilise taustkiirguse (CMB) kiirgusenergiat? CMB spektraalset energijaotust võib lähendada absoluutselt musta keha kiirgusega temperatuuril $T_{\text{CMB}} = 2,728$ K. (5 p)
- b) Ligikaudu kui palju CMB footoneid sekundis astronaut neelaks? (3 p)
- c) Ignoreerides teisi energia sisendeid ja väljundeid, kui kaua läheks aega, et CMB tõstaks tema temperatuuri $\Delta T = 1$ K võrra? (2 p)

6. Tiszaújváros elektriijaama korstna kõrgus (20 p)

Euroopa Maa vaatluse programm Copernicus kasutab kahte Sentinel-2 kaugseiresatelliiti. Need satelliidid tiirlevad ümber Maa Pääkese-sünkroonsel polaarorbiidil umbes 800 km kõrgusel. Nad lendavad üle teatud maatüki iga mõne päeva tagant, tehes pilte alati samal kohalikul ajal (mõne minuti täpsusega). Kaamerad on tundlikud 13-s erinevas optilises ja lähisinfrapunases lainepikkuste vahemikus. Piltide lahtus on 10 meetrit.

Ungaris kõrguselt kolmas hoone on elektriijaama korsten Tiszaújváros linna läheduses. Allpool on toodud kaks Sentinel-2 satelliidi tehtud pilti. Üks on tehtud 29. juunil, teine 16. detsembril, vastavalt suvise- ja talvise pööripäeva lähedal. Piltidel on normaalne orientatsioon, st. põhi on üleval ja ida on paremal.



Varjude pikkuste hinnangud ülal olevatelt piltidel, kasutades all vasakus nurgas olevaid skaalasid, on $x_1 = 125$ m ja $x_2 = 780$ m. Vastake järgmistele küsimustele:

- Millisel kuupäeval on põhjust oodata pikemat varju? **Märkige vastav täht vastuselehel x-ga.** (1 p)
 29. juunil
 16. detsembril
- Millisel kellaajal lendas Sentinel-2 üle selle maa-ala? **Märkige vastav täht vastuselehel x-ga.** (1 p)
 - varasel hommikul
 - hilisel hommikul
 - varasel pärastlõunal
 - hilisel pärastlõunal

- c) Toetudes antud varjude pikkustele, hinnake korstna kõrgust. Oletage ainult selle arvutuse jaoks, et satelliidipildid olid tehtud kohalikul keskpäeval. (16 p)
- d) Mis võiks korstna tuletatud kõrguse täpsust mõjutada (on võimalik rohkem kui üks valik)?
Märkige vastav täht vastuselehel x-ga. (2 p)
- (A) Maa kuju on lapik sferoid.
(B) Satelliidi piltide piiratud lahusus ja varju halvasti määratav piirjoon.
(C) Torni aluse kõrgus merepinna kõrguse suhtes.
(D) Hooajaline Maa pöörlemistelje kalde muutus.
(E) Atmosfääri refraktsiooni efekti arvestamine.

7. Päikeseplekkide mõju Päikese kiirgusvoole (20 p)

Solaarkonstanti on 1978. aastast alates peaaegu pidevalt mõõdetud tehiskaaslastel asuvate detektoritega. Need täpsed mõõtmised on näidanud, et solaarkonstant muutub erinevates ajaskaalades – sesoonselt, kuiselt, aastaselt ja pikemates ajaskaalades. Kui sesoonsete muutuste põhjuseks on perioodiliselt muutuv Maa ja Päikese vaheline kaugus, siis aastakümnete pikkused kvaasi-tsüklilised muutused sõltuvad põhiliselt Päikese aktiivsustsükli(te)st.

- a) Arvutage solaarkonstandi väärtus väljaspool Maa atmosfääri, kui Maa on 1 aü kaugusel perfektselt rahulikust Päikesest, eeldades, et Päike kiirgab nagu absoluutselt must keha. (4 p)
- b) Arvutage sama väärtus sellesama perfektselt rahuliku Päikese korral jaanuari ja juuli alguses, leidke väärtuste suhe. (4 p)
- c) Arvutage taas solaarkonstant 1 aü jaoks, kuid ekvaatorilähedase päikesepleki olemasolu korral. Päikesepleki keskmine temperatuur on $T_{sp} = 3300$ K ja läbimõõt $D_{sp} = 90\,000$ km. Leidke solaarkonstantide suhe plekitu ja plekiga Päikese korral. (7 p)

Eeldage, et päikeseplekk on ringikujuline ja ärge arvestage selle sfäärilise projektsiooni efektidega. Jätke arvestamata igasugune muu Päikese aktiivsus. Eeldage, et Päike pöörleb piisavalt kiiresti ja seega on tema kiirgusvoog endiselt isotroopne.

- d) Tegelikult ei ole Päikese kiirgusvoog enam isotroopne. Leidke Päikese kiirgusvoogude suhe juhtumite jaoks kui päikeseplekk ei ole Maalt nähtav ja kui see on täielikult nähtav. (5 p)

8. RR Lyrae tähtede amplituudi muutlikkus (20 p)

Ungari astronoomid panustasid oluliselt RR Lyrae tüüpi pulseerivate muutlike tähtede uurimisse. Nendel tähtede valguse muutlikkusel on tsükliline amplituudi modulatsioon (Blazhko efekt).

RR Lyrae valguse muutlikkust on vaadeldud kahel erineval lainepikkusel: $\lambda_1 = 500$ nm ja $\lambda_2 = 2000$ nm. Igal lainepikkusel näeme tähe sisse erinevale sügavusele. Tähistame sügavusi kui kiht 1 ja kiht 2. Tähe valguse intensiivsust saab teatud lainepikkusel lähendada raadiuse ja sobilikul sügavusel asuva absoluutselt musta keha kiirguse kaudu. Samuti võib absoluutselt musta keha kiirguse jaoks kasutada Wieneri nihkereeglit, et arvutada pinna ühikuliselt pindalalt kiiratud võimsust:

$$F(\lambda, T) \sim \frac{1}{\lambda^5} \exp\left(-\frac{hc}{k\lambda T}\right),$$

kus h on Plancki konstant, k on Boltzmanni konstant ja c on valguse kiirus. Arvutuskäikude lihtsustamiseks võtame kasutusele uue konstandi $C_b = hc/k \approx 0,0144$ m K.

- a) Oletage, et temperatuur muutub igas kihis $T_1 = 6000$ K ja $T_2 = 7400$ K vahel. Kui raadiuse muutumist mitte arvestada, siis milline on kahel lainepikkusel muutlikkuse amplituudide suhe tähesuurustes? (5 p)
- b) Milline on lainepikkusel λ_1 heleduskõvera amplituud tipust tipuni? Kasutage tähesuuruste skaalat. (3 p)
- c) Kui temperatuuri muutust mitte arvestada, siis milline on raadiuse muutuse panus heleduskõvera amplituudi mingil lainepikkusel, kui $R_{\min} = 0,9 \langle R \rangle$ ja $R_{\max} = 1,05 \langle R \rangle$? $\langle R \rangle$ on antud kihi raadiuse keskmine väärtus? (3 p)
- d) Hiljutised vaatlused ja mudelid näitavad, et fotosfääri raadius on Blazhko tsükli jooksul ainult minimaalselt moduleeritud; siiski, temperatuuri muutus on oluline. Selle tulemusena jääb heleduskõvera enda amplituud muutuma. Oletage, et pulsatsiooni minimaalse amplituudi jooksul temperatuuri muutus on vähenenud $T_{\min} = 6100$ K kuni $T_{\max} = 6900$ K. Milline on amplituudi modulatsioon kahel lainepikkusel? Maksimaalse amplituudi jaoks kasutage punktis a) antud temperatuuri väärtusi. (5 p)
- e) Milline väide on õige? (Saab olla rohkem kui üks õige vastusevariant) **Märkige vastav täht vastuselehel x-ga.** (4 p)
- (A) Blazhko efekti on lihtsam vaadelda infrapunastel lainepikkustel.
(B) Temperatuuri muutus domineerib nähtava valguse heleduskõveras.
(C) Kui raadiuse muutust mitte arvestada, siis on amplituud pöördvõrdeline lainepikkusega.
(D) Mitme-värvi vaatlused ei ole Blazhko efektist arusaamisel kasulikud.

9. Maa-Kuu süsteemi Lagrange'i L_2 punkti kaugus (20 p)

3. jaanuaril 2019 laskus Hiina kosmoseaparaat Chang'e-4 Kuu tagaküljele von Kármáni kraatri piirkonda. Kraater on nimetatud maailmakuulsa Ungaris sündinud füüsiku Theodore von Kármáni järgi.

Kuna kosmoseaparaadilt vaadates on Maa alati allpool horisonti, läheb missiooni juhtimiskeskusega side pidamiseks vaja ka releesatelliiti. Selleks saatis Hiina kosmoseagentuur kosmosse aparaadi Queqiao, mis paigutati halo-orbiidile Maa-Kuu süsteemi välimise, L_2 , Lagrange'i punkti ümber, mis asub Kuu tagaküljest kaugemal.

Leidke selle satelliidi kaugus (h) kaugus Kuu pinnast. Käsitlege Kuu orbiiti ideaalse ringjoonena, mille raadius on $R = 384\,400$ km. Ärge arvestage Päikese ja teiste planeetide tekitatud häiritusi.

Vihje: Võite kasutada järgnevat lähendust: $1/(1+x)^2 \approx 1 - 2x$, kui $|x| \ll 1$.

10. Lõuna \rightarrow Ida \rightarrow Põhi (20 p)

Käsitlege Maad ideaalse ja jäiga sfäärina, mille raadius $R = 6378$ km. Maa pinna leiduvad mõned punktid, kust võib esmalt 6378 km lõunasse minna, siis 6378 km itta ja pärast seda 6378 km põhja ning selle tulemusena jõuda tagasi reisi alguspunkti. Leidke sellised punktid ja trajektoorid. Arvutage oma lahenduste pöördepunktide geograafilised koordinaadid ja joonestage trajektoorid.

Lihtsuse mõttes mõõtke geograafiline pikkuskraad 0° -st $+360^\circ$ -ni Greenwichist ida poole, geograafiline laiuskraad ekvaatorist 0° -st $+90^\circ$ -ni põhja ja ekvaatorist 0° -st -90° -ni lõuna poole. Pöördsümmeetriast tingitud lahendeid ei käsitleta erinevatena.

11. Eri tüüpi muutlike tähtede heleduskõverate tuvastamine

(25 p)

TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) on NASA kõige uuem eksoplaneete otsiv kosmosemissioon. See on teinud lõunataeva ülevaadet, otsides eksoplaneete heledaimate ja lähimate tähtede ümber, lisaks on vaadeldud suurt arvu ajas muutlikke nähtusi (muude hulgas pulseerivad- ja varjutusmuutlikud tähed, supernoovad, täheloited ja asteroidid).

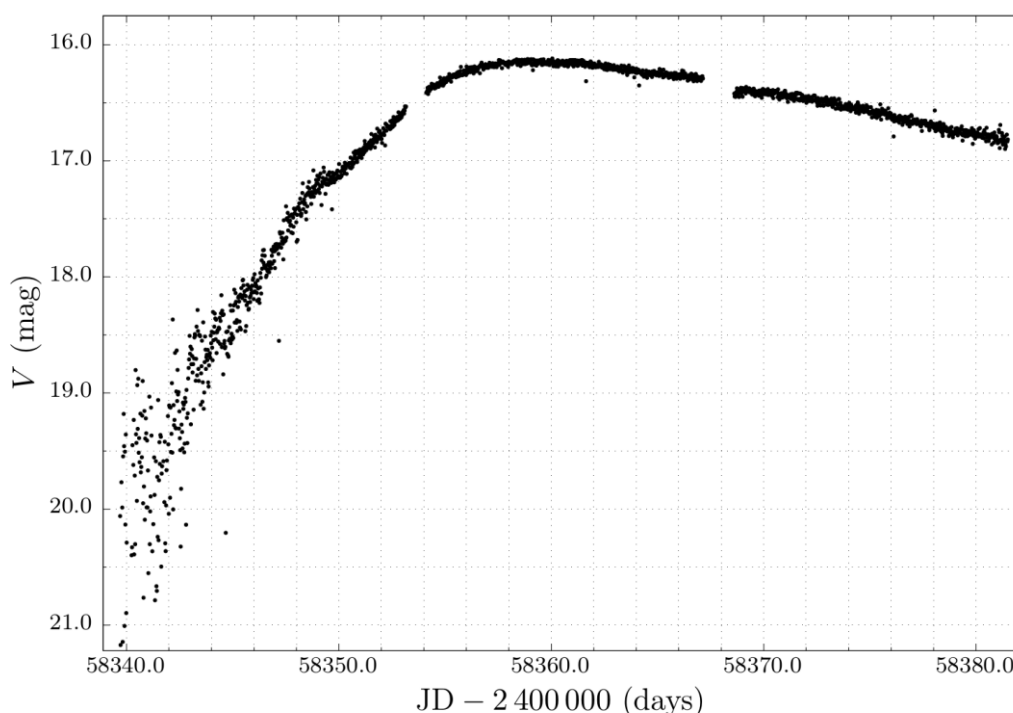
Eraldi lehel leiame joonise 8 perioodilise muutliku tähe heleduskõveratega (sisemiselt-, varjutus- ja pöörlemisest tingitud muutlikkusega tähe; täpsemalt FO Eri, RW Dow, 24 Eri, TIC 147272181, ST Pic, UY Eri, VV Ori, AH Col). Tähed on TESS-i sihtmärkide nimekirjast, nummerdatud 1-st 8-ni. Horisontaalteljel on BJD – 2 400 000 päevades, vertikaalteljel on V-heledus tähesuurustes. BJD on barütsentriline Juliuse päev ja V on visuaalne heledus.

a) Järgneb loetelu muutlike tähtede tüüpidest. Seostage iga täht talle vastava tüübiga, **kirjutades selle numbri vastuste lehel olevasse kasti.** (8 p)

- „Heart-beat“-tüüpi täht
- RR Lyrae-tüüpi (RRab alamtüüp) pulseeriv muutlik täht
- Algol-tüüpi varjutusmuutlik (pool-eraldatud), pulseeriva komponendiga kaksiktäht
- α^2 CVn-tüüpi pulseeriv muutlik täht
- W Vir-tüüpi (populatsioon II) pulseeriv tsefeiid
- Eraldatud varjutusmuutlik kaksiktäht millel on tugev peegeldusefekt
- W UMA-tüüpi varjutusmuutlik kontaktkaksiksüsteem
- Pöörlemisest tingitud muutlik täht (plekiline)

b) Hinnake heleduskõverate põhjal iga muutliku tähe perioodi päevades. **Andke oma vastus vastustelehel kuni 2 komakoha täpsusega.** Arvestatakse leitud perioode mille täpsus võrreldes tegeliku perioodiga on $\pm 5\%$. (16 p)

c) Millist tüüpi astronoomiline objekt tekitas alloleval joonisel näidatud TESS-i heleduskõvera? **Märkige oma vastuse täht vastustelehel \times -ga.** (1 p)



- (A) Mikroläätse sündmus
- (B) Marsi läheduse tõttu ülesäritatud galaktika
- (C) Vaatevälja serva lähedal oleva komeedi kooma
- (D) Kauges galaktikas olev supernoova
- (E) Ülihiidtähe superpursed

12. Maa-lähedase asteroidi kaugus (25 p)

Oletame, et Maa-lähedast asteroidi vaatlevad kaks astronoomi, üks asub Nagykanizsas Ungaris, teine Windhoekis Namiibias. Kahe linna pikkuskraadid on täpselt 17° Greenwichist idas. Nad vaatlevad asteroidi hetkel, millal see läbib nende vastava meridiaani. Vaatleja Nagykanizsas näeb asteroidi 25° seniidist lõunapool, aga vaatleja Windhoekis näeb seda samal hetkel 45° seniidist põhjapool. Kahe linna laiuskraadid on vastavalt $46^\circ 27' N$ ja $22^\circ 34' S$. Mõlema astronoomi asukohad on merepinna tasemel.

- a) Joonestage geomeetrilise konfiguratsiooni diagramm. (5 p)
- b) Milline on selle asteroidi kaugus Maa keskpunktist? Avaldage vastus Maa raadiuse ning Maa ja Kuu vahelise keskmise kauguse kaudu. Esitage lahendus, mis kasutab ära kogu olemasoleva informatsiooni. Lugege atmosfääri refraktsioonist tingitud efektid tühisteks. (20 p)

13. Coma galaktikaparve kaugus (40 p)

Coma galaktikaparve (Abell 1656) nurkläbimõõt taevas on umbes 100 kaareminutit ja see sisaldab rohkem kui 1000 individuaalset galaktikat, millest enamus on kääbus- ja hiidelliptilised galaktikad. Galaktikad liiguvad ümber parve ühise massikeskme ligikaudu ringikujulistel orbiitidel. All olevas tabelis on toodud mõnede individuaalsete liikmesgalaktikate mõõdetud radiaalkiirused.

Nr.	v_r (km/s)	Nr.	v_r (km/s)	Nr.	v_r (km/s)	Nr.	v_r (km/s)
1	6001	6	7116	11	7156	16	7111
2	7666	7	7004	12	7522	17	8292
3	6624	8	4476	13	7948	18	5358
4	5952	9	6954	14	4951	19	4957
5	5596	10	8953	15	7797	20	7183

- a) Tuletage galaktikaparve kaugus, kasutades tabelis toodud galaktikate keskmist radiaalkiirust. (8 p)
- b) Hinnake galaktikaparve läbimõõtu megaparsekites (Mpc). (4 p)
- c) Kui galaktikaparv on dünaamilises tasakaalus, siis viriaalteoreemi järgi on keskmine kineetiline energia $\langle K \rangle$ ja keskmine gravitatsiooniline potentsiaalne energia $\langle U \rangle$ omavahel seotud järgnevalt:

$$-2\langle K \rangle = \langle U \rangle$$

eeldades, et Coma parv on sfääriline.

Lihtsuse mõttes eeldame, et iga galaktika on ligikaudu sama massiga, m .

Kasutage viriaalteoreemi tõestamiseks, et sel juhul saab galaktikaparve massi M (mida nimetatakse ka *viriaalmassiks*) avaldada järgnevalt:

$$M = \frac{5R}{G} \sigma_r^2$$

kus σ_r^2 on parve kiiruste dispersioon.

Standardhälbe arvutamise valem on:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

(10 p)

- d) Kasutades tabeli andmeid, hinnake Coma parve viriaalmassi Päikese massi ühikutes. (12 p)
- e) Coma parve koguheledus (Päikese heleduse L_\odot ühikutes) on $L \approx 5 \times 10^{12} L_\odot$. Leidke galaktika-parve mass-heledussuhe, kasutades ühikuks Päikese massi Päikese heleduse kohta. (2 p)
- f) Milline järgnevatest väidetest on tõene (võimalik on rohkem kui üks õige vastus)? **Tähistage oma vastuse tähed vastuste lehel x-ga.** (4 p)
- (A) Coma parve mass-heleduse suhe on palju suurem kui tavalisel spiraalgalaktikal, nagu näiteks Linnuteel.
 - (B) Coma parve mass-heleduse suhe on sarnane tüüpilise spiraalgalaktika omale.
 - (C) Coma parve mass-heleduse suhe on palju väiksem kui tüüpilisel spiraalgalaktikal.
 - (D) Coma parv sisaldab palju rohkem tumeainet kui tüüpiline spiraalgalaktika.
 - (E) Coma parv sisaldab palju vähem tumeainet kui tüüpiline spiraalgalaktika.

14. Nanosatelliidi pildistamine (60 p)

Kõige esimene Ungari satelliit oli kuupsatelliidi-tüüpi nanosatelliit MASAT-1. See oli tehtud enamasti alumiiniumist, kogumassiga 1 kg, külgede pikkusega $l = 10$ cm ja pikema sideantenniga. See disainiti ja valmistati Budapesti tehnikaülikooli (BME) tudengite poolt 2009 aastal. Satelliidi start toimus 13. veebruaril 2012 Kourou kosmodroomilt kanderaketiga Vega, koos mitmete kuupsatelliitidega teistest riikidest. See töötas edukalt oma elutee viimase minutini (viimased edastatud andmepaketid võeti raadiovastuvõtjatega vastu 9. jaanuaril 2015, mõned tunnid hiljem sisenes nanosatelliit atmosfääri ja lagunes).



MASAT-1 orbiidi kõrgus muutus $h_{\min} = 350$ km ja $h_{\max} = 1450$ km vahel (kuna selle orbiit oli väga ekstsentriline), kuid selles ülesandes oletage, et satelliit liigub ringorbiidil 900 km kõrgusel nullveetasemest.

MASAT meeskond tahtis nanosatelliiti Maa pealt pildistada. Seega nad palusid Baja astronoomiaobservatooriumi (Lõuna-Ungari, $\lambda_B = 19,010843^\circ$, $\varphi_B = 46,180329^\circ$, $h_B = 100$ m) töötajatel pildistada tiirlevat MASAT-1 teleskoobiga.

Observatooriumil on Ritchey-Chrétien tüüpi peegelteleskoop peegli läbimõõduga 50 cm ja suhtelise avaga F/8,4. Teleskoobiga ühendatud CCD-kaameral oli 4096×4096 sensor $9 \mu\text{m}$ suuruste ruudukujuliste pikslitega. CCD kvantefektiivsus oli umbes 70%. Praktiline nähtava valguse signaali detekteeritavuse piir oli umbes $19,5^m$, kui kasutada $\tau_{\text{exp}} = 2$ min säriaega. Ignoreerige kujutise värelemisest tingitud efekte (ingl. *seeing*). MASAT-1 orbiidi kalle oli ligikaudu $i = 70^\circ$ ja orbitaalliikumise suund oli sama, mis Maa pöörlemisel. Lisaks oletage, et peegeldav pindala on konstantselt 100 cm^2 . Selle mõõtmise jooksul oli teleskoop oli suunatud kohalikku seniiti ja selle RA (otsetõusu) mootor jälgis tähti. Võtke arvesse ainult Päikese valgust, võite ignoreerida Maalt ja Kuult peegeldunud valgust. Atmosfääri ekstinktsiooniga seotud efekte mitte arvestada.

- a) Arvutage selle kuupsatelliidi näiv visuaalne tähesuurus ideaalsete vaatlustingimuste korral, st. kui see oli keskööl vaatluskoha (Baja, Ungari) kohalikus seniidis. Ignoreerige kõiki atmosfääri efekte ja eeldage, et Maa on sfäär. Kasutatud alumiiniumist plaadi albeedo on $a \approx 0,70$. (10 p)

Vihje: Võrrelge MASAT-1 täiskuuga.

- b) Milline oli observatooriumi vastus MASAT meeskonnale? Kas üldse oleks kunagi võimalik nende nanosatelliiti observatooriumis olemas oleva varustusega pildistada? **Märkige vastuselehele “JAH” või “EI”**. Toetage oma vastust detailse arvutuskäiguga. (42 p)
- c) Milline oleks vastus oleks sellisel juhul, kui nad oleksid arvestanud atmosfääri kujutist laiaili määriva efektiga (ingl. *seeing*)? Ungaris on tüüpiline tähtede kujutiste atmosfääri poolt laiaili määratud tähekujutiste FWHM (täislaius poolkõrgusel) väärtus – mida saab seniidi lähedal lähendada sümmeetrilise 2D Gaussi profiiliga – on umbes $3.5''$. **Märkige vastuselehele “JAH”, “EI” või “piiri peal”**. Toetage oma vastust lühikese arvutuskäiguga. (8 p)

Vihje: Kuigi laiailimääritud tähekujutise heleduse jaotust fokaaltasandis saab lähendada sümmeetrilise 2D Gaussi profiiliga, võite oma arvutuskäigus võtta heleduse jaotuse ühtlasena.

PLANETAARIUMIVOOR – VASTUSTE LEHT
3 projitseeritud pilti. Iga osa kestab 15 minutit. Kokku aega antud: 45 minutit.

ÜLESANNE 1

Näete südaöist tähistaevast Keszthely kohal. Projitseeritud taevas ei näidata Päikesesüsteemi objekte.

KÜSIMUSED/ÜLESANDED:

1.1. Projitseeritud taevas on 3 noovat, mille heledus on 2 tähesuurust. Märkige nende asukohad taevakaardil ringjoonega (vt. lk 2). (Märkige ainult 3 tähte. Kui on märgitud rohkem kui 3 ringjoont, siis iga vales asukohas oleva eest võetakse 1 punkt maha). []

1.2. Taevakaardilt on eemaldatud Messier' objektid. Märkige ristiga (X) kõik projitseeritud taevas nähtavad Messier' kataloogi kerasparved ning kirjutage iga objekti Messier' number vastava risti kõrvale. []

1.3. Millise kuu teisele poolele vastab projitseeritud (kesköösel CEST järgi) taevas Keszthelys? Tõmmake ring õige kuu ümber.

JAN / FEB / MAR / APR / MAY / JUN / JUL / AUG / SEP / OCT / NOV / DEC []

1.4. Milline on kohalik täheaeg? (15 minuti täpsusega)

..... []

1.5. Loetlege 6 sodiaagi tähtkuju, mida on kas osaliselt või täielikult näha. (Kasutage ametlikke IAU lühendeid või nimesid. Kui teie nimekirjas on tähtkujud, mida ei ole projitseeritud taevas näha, kaotate igaihe eest ühe punkti.)

.....

.....

.....

.....

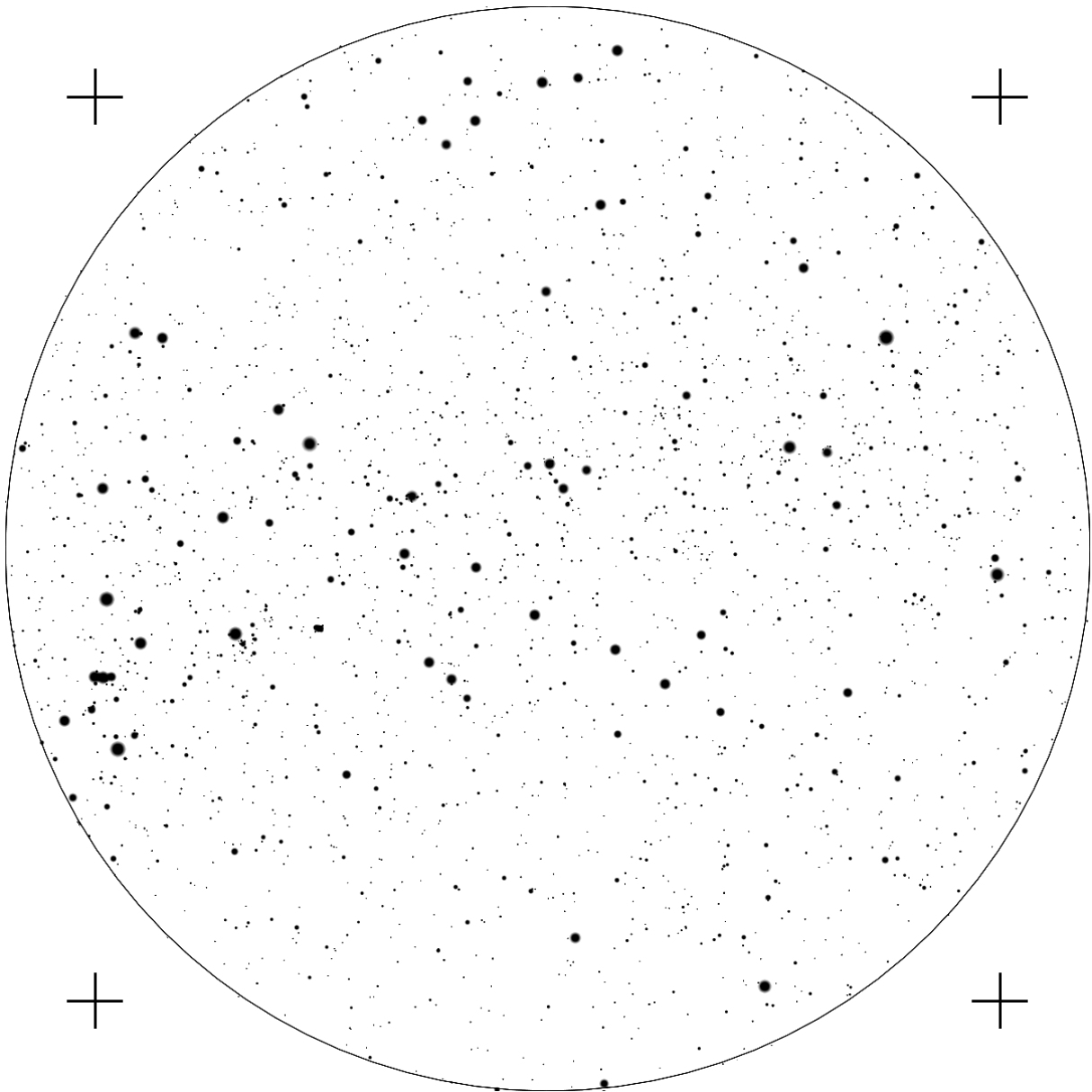
.....

.....

[]

Student ID code:

			-		
--	--	--	---	--	--



ÜLESANNE 2

Me asume kuskil Maa peal. Projitseeritud taevas ei näita ühtegi Päikesesüsteemi objekti.

KÜSIMUSED/ÜLESANDED:

2.1. Määrake vaatluskoha geograafiline laiuskraad:° []
Millisel poolkeral asub vaatluskoht? N / S (Tõmmake ring õige vastuse ümber.) []

2.2. Leidke projitseeritud taeva 3 heledaima tähe asimuudid. Asimuuti mõõdetakse põhjast itta. Kirjutage all olevasse loetelusse tähtede nimed kas inglise keeles või nende Bayeri tähised ja lisage nende asimuudid.

Hele täht / nimi: Asim:° []

Hele täht / nimi: Asim:° []

Hele täht / nimi: Asim:° []

2.3. Kollased x-märgid tähistavad 3 komeedi asukohti. Milline komeet asub ekliptikale kõige lähedamal? (Tõmmake allpool ring õige numbri ümber.)

1 / 2 / 3 []

2.4. Loetlege 9 antud vaatluskohas nähtavat tähtkuju, mis sisaldavad mittelojuvaid tähti. (Kasutage IAU ametlikke lühendeid või tähistusi)

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

[]

2.5. Mintaka (δ Orionis) on praegu loojumas. Mitu tundi varem see tõusis? (15 minuti täpsusega.)

..... []

ÜLESANNE 3

Selle vaate korral asume Kuu peal. Nagu näha, varjutab Maa Päikest (vt. punast ringi taevas). Järelikult on Kuu ühes enda sõlmedes. Eeldage, et Kuu pikkuse- ja laiuse-suunaline libratsioon on hetkel täpselt 0°.

KÜSIMUSED/ÜLESANDED:

3.1. Milline aasta-aeg on vaatluse hetkel Ungaris? (Tõmmake ring õige vastuse ümber)

Kevad / Suvi / Sügis / Talv []

3.2. Projitseeritud taevas on kollane ringjoon (punase ringjoone kõrval), mis tähistab asteroid Juno asukohta, mille kaugus Päikesest on vaatlushetkel täpselt 3 aü. Hinnake selle kaugust Kuust vaatlushetkel. (Ümardage lähima täisarvuni, ühikuks kasutage miljonit kilomeetrit) Eeldage, et kõik orbiidid on ringikujulised.

.....miljonit km []

3.3. Hinnake, kui kaua läheb projitseeritud sündmuse järel aega (Maa päevades), ...

...kuni Päike vaatluskohas loojub? []

...kuni Maa vaatluskohas loojub? []

3.4. Määrake vaatluskoha (selenograafilised) koordinaadid Kuu peal. (need koordinaadid on defineeritud järgmisel leheküljel):

..... []

Mis on selle Kuu suure piirkonna nimi, kus teie vaatluskoht asub? Ärge kasutage oma emakeelset nimetust vaid ametlikku IAU nimetust. (Vt. Kuu kaarti järgmisel leheküljel)

..... []

3.5. Hinnake vaatluskoha ja Apollo-11 maandumiskoha (0,6875 N, 23,4333 E) vahelist kaugust:

..... km []