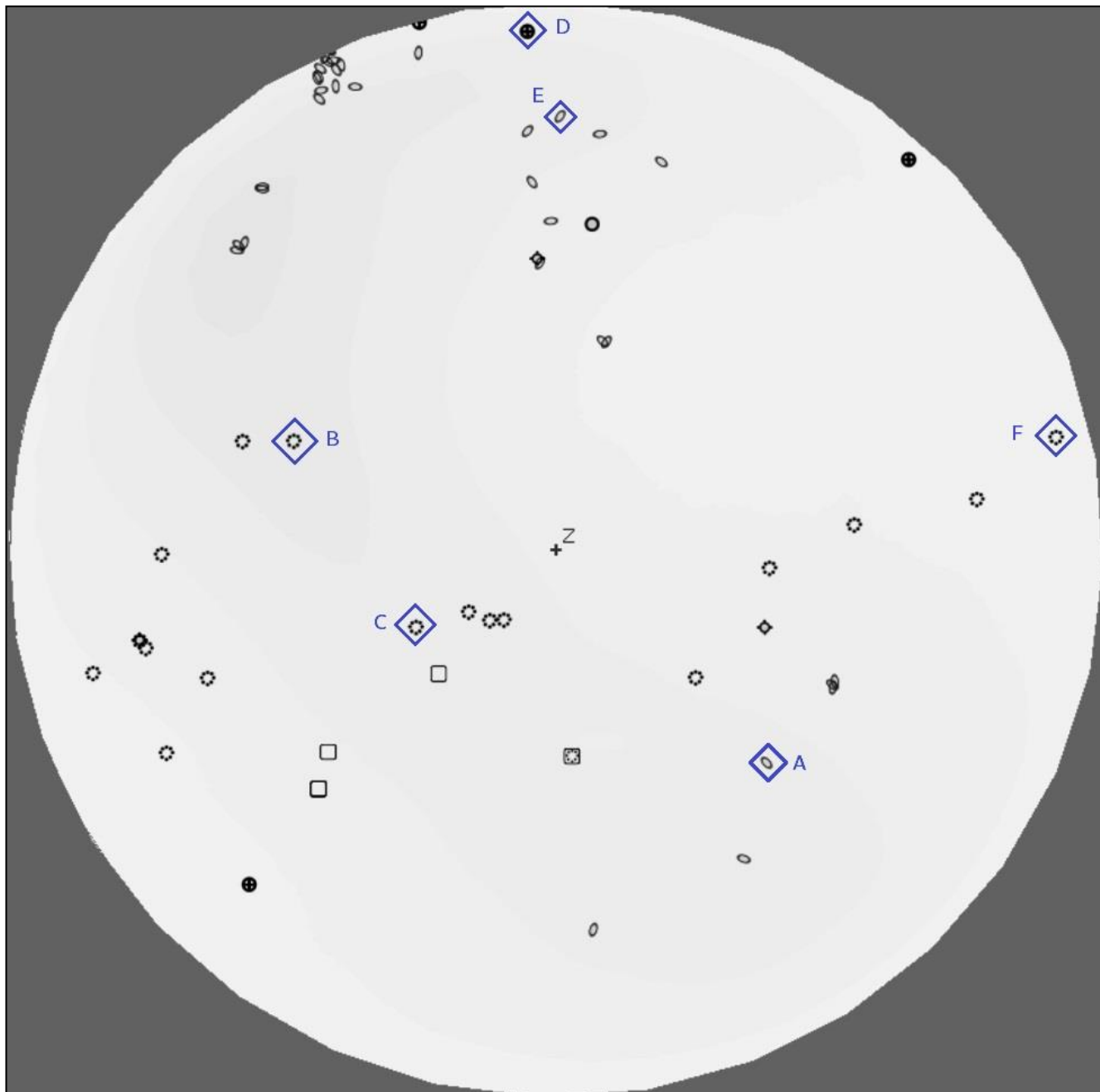


МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
НАЦИОНАЛНА КОМИСИЯ ЗА ОРГАНИЗИРАНЕ НА ОЛИМПИАДАТА ПО АСТРОНОМИЯ
XXVIII НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

Подборен кръг, 12 юли 2025 г., Варна, наблюдателен тур – Решения

Задача 1. Tabula rasa [19 т.]. На Фигура 1 е дадена звездна карта в азимутална еквидистантна проекция. В такава проекция зенитното отстояние на дадена точка е пропорционално на разстоянието от центъра на картата. Всичко по небето е премахнато освен обектите от каталога на Месие.



Фигура 1. Звездна карта (към Задача 1).

- **А)** На какъв тип обект съответстват дадените означения върху картата? **[4 т.]**

Символ	Тип обект
	Галактика
	Кълбовиден куп
	Планетарна мъглявина
	Двойна звезда

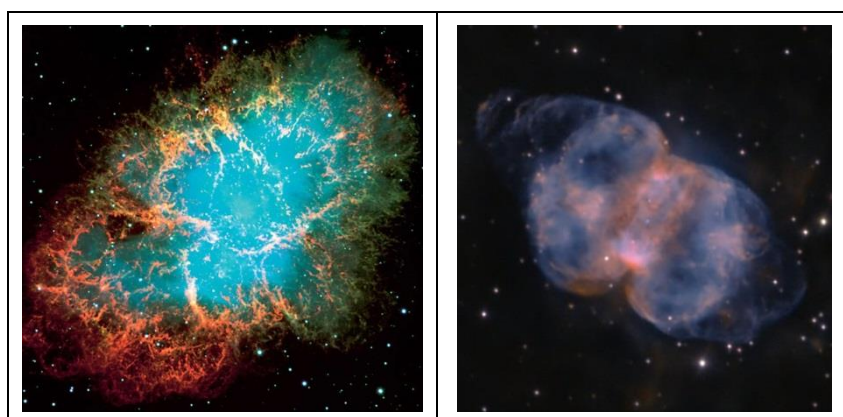
- Б) С буквите А-Е са отбелязани на картата няколко обекта. За всеки от тях запишете неговия номер в каталога на Месие или неговото название. [6 т.]

Обект	Номер или название
А	М33 / Галактика Триъгълник
В	М44 / Ясли
С	М35
Д	М3
Е	М63 / Галактика Слънчоглед
Е	М29

- В) Определете ъгловото отстояние между двойките обекти, показани на снимките. [4 т.]



Отговор: 102.4°



Отговор: **53.8°**

- Г) Кое съзвездие е в зенита? [2 т.]

Отговор: **Колар**

- Д) Кой от обектите над хоризонта е най-близо до мястото си на долна кулминация? [1 т.]

Отговор: **M92**

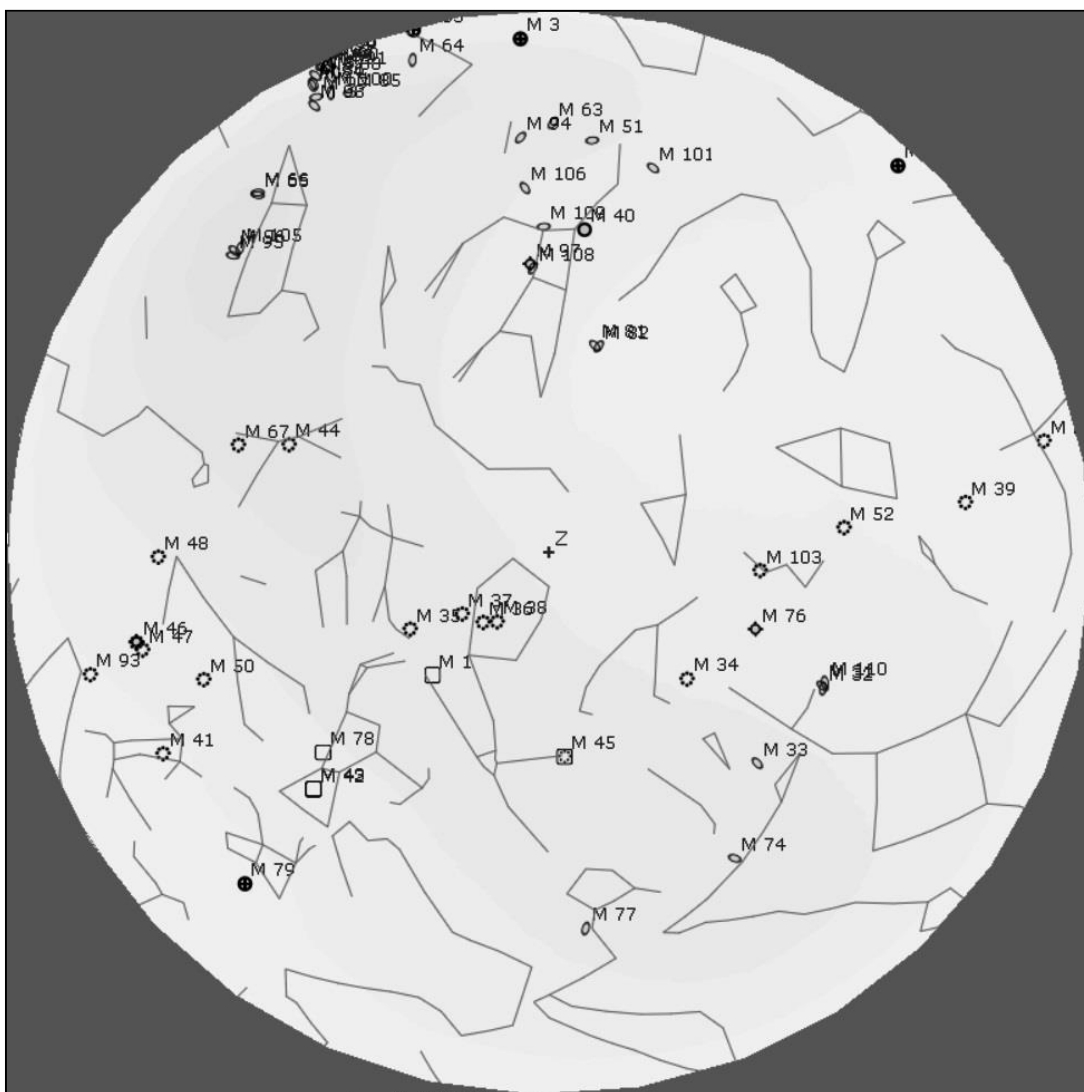
- Е) Колко часа остават до следващата горна кулминация на M81? [2 т.]

Отговор: **4.3 h**

Упътване: Тази задача се изпълнява отделно от останалите. Времето за работа е 20 минути.

Решение.

Б) Звездната карта с нанесени върху нея очертания на съзвездията и надписани Месие обекти изглежда така:



Фигура А1. Звездна карта с означени Месие обекти.

В) Първата двойка обекти е М51 и М45. Азимутите им са почти противоположни, така че може да използваме пропорция спрямо радиуса на картата (който съответства на 90°). Получаваме 102.3° .

Втората двойка е М1 и М76. Те са близо до зенита, където при такъв тип проекция на небето деформациите са малки. Затова въпреки че азимутите на обектите са различни, отново може да измерим отсечката, която ги свързва, и да я съпоставим с радиуса на картата. Резултатът е 54.1° .

Д) Очертанието на Голяма мечка се разпознава от М40 (до Мегрец), М109 (до Фекда) и М97 (до Мерак). Може с добра точност да нанесем положението на звездата Дубхе, след което със звездите Дубхе и Мерак да намерим Полярната звезда, нанасяйки отсечката Мерак-Дубхе още пет пъти. След това забелязваме, че на север е купът М92.

Е) Отново използваме, че около зенита деформациите са малки. Начертаваме денонощния паралел на М81 като окръжност с център в Полярната звезда. Измерваме ъгъла, който остава на М81 до кулминация. Той е 65° , откъдето получаваме 4.3 h.

Коментар. Наблюденията се правят от Прага ($\varphi = 50^\circ \text{ N}$, $\lambda = 14^\circ \text{ E}$) на 26.10.2025. Часът е 3:22 по гражданско време.

Критерии за оценяване.

- А)** За всеки верен отговор по [1 т.]
Отговор „спирална/елиптична галактика“ не се приема.
- Б)** За всеки верен обект по [1 т.]
- В)** За първата двойка [100.4°; 104.4°] [2 т.]
За втората двойка [51.8°; 55.8°] [2 т.]
- Г)** Колар [2 т.] // Рис, Жирав, Персей [1 т.]
- Д)** М92 [1 т.]
- Е)** [3.3 h; 5.0 h°] [2 т.] // [2.5 h; 3.3 h] [1 т.]
-

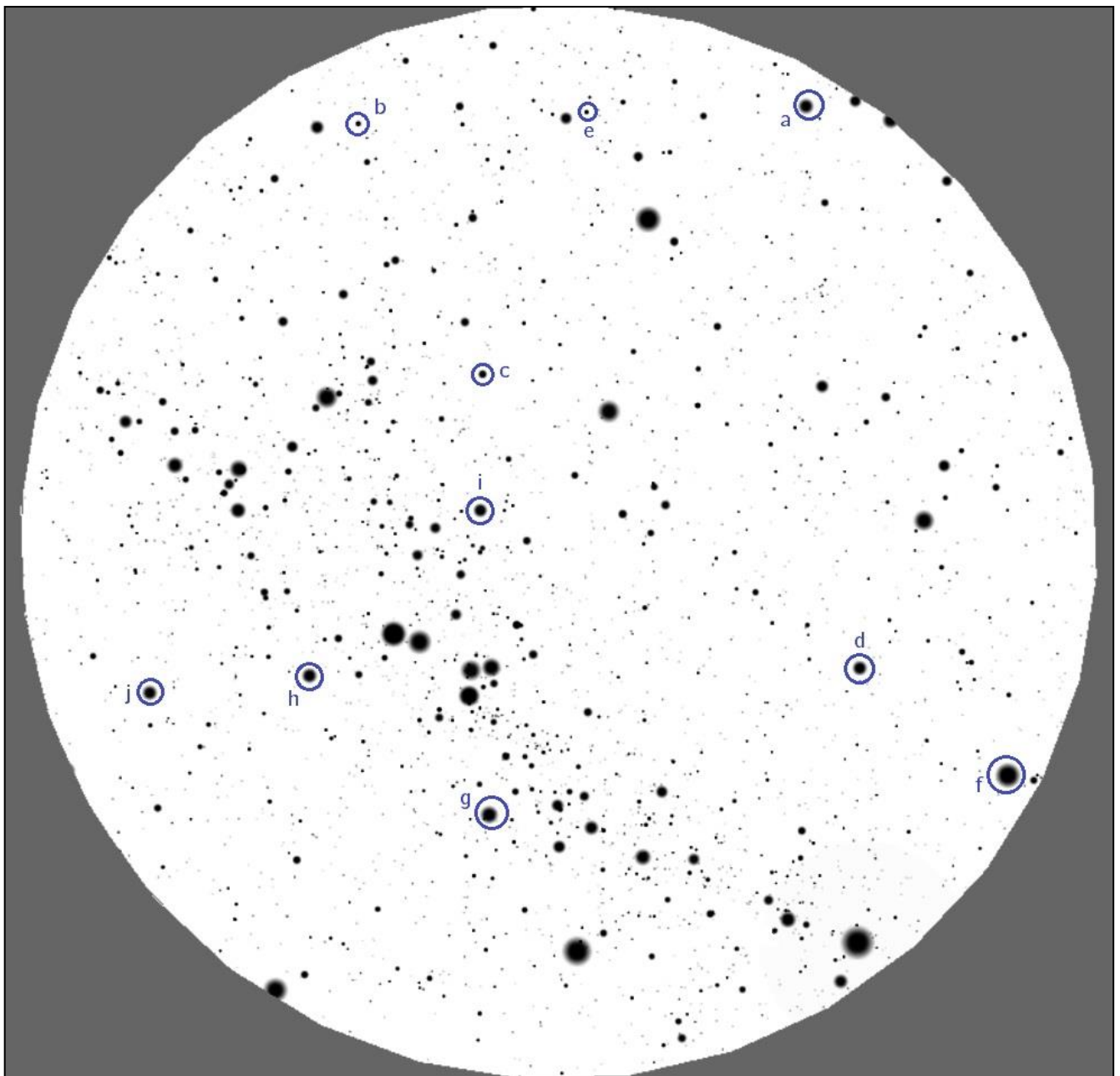
Задача 2. Неочаквана задача [25 т.]. На Фигура 2 е дадена звездна карта в азимутална еквилистантна проекция. В такава проекция зенитното отстояние на дадена точка е пропорционално на разстоянието от центъра на картата. Датата на наблюдение е 20.02.

- А)** С буквите а-ј са отбелязани на картата няколко звезди. За всяка запишете нейното име и съзвездие. [10 т.]

Звезда	Име	Съзвездие
a	Алкаид	Голяма мечка
b	Рас Алгети	Херкулес
c	Зубенелгенуби	Везни
d	Алфард	Хидра
e	Нусакан	Северна корона
f	Процион	Малко куче
g	Миаплацидус	Кил
h	Атрия	Южен триъгълник
i	Менкент	Кентавър
j	Пийкок	Паун

- Б) Една ярка звезда ($< 2^m$) е премахната от картата. Коя е тя? [2 т.]
- В) Намерете географската ширина на наблюдателя. [4 т.]
- Г) Колко е часът по местно средно слънчево време? [4 т.]
- Д) Какви са хоризонталните координати на звездата Антарес? [2 т.]
- Е) Какви са еклиптичните координати на звездата Арктур? [3 т.]

Име на звездата	Адара (ϵ СМа)	
Ширина	$\varphi = 34^\circ S$	
Час	3 h 02 m	
Координати [Д]	$A = 95^\circ$ (геодезичен)	$h = +45^\circ$
Координати [Е]	$\lambda = 204^\circ$	$\beta = +31^\circ$



Фигура 2. Звездна карта (към Задача 2).

Решение.

В) Видимо сме в южното полукуълбо. Най-точният начин за намиране на ширината е с прецизно прекарване на небесния екватор. Най-близката до зенита точка от екватора отстои от него на $z = |\varphi|$.

Друг възможен начин е да намерим южния небесен полюс. Това може да стане, като пресечем симетралата на Толиман и Хадар с линията на Акрукс и Гакрукс. След това отмерваме зенитното отстояние. То е $z = 90^\circ - |\varphi|$ и оттам $\varphi = 34^\circ \text{ S}$.

Г) Трябва да знаем ректасценцията на меридиана, за който телата в момента кулминират. Тя е приблизително $\alpha = 13^{\text{h}}$. По този меридиан часовият ъгъл сега е $t = 0^{\text{h}}$. От връзката $s = \alpha + t$ имаме, че звездното време също е 13^{h} . Оттам нататък използваме, че в деня на пролетно равноденствие (21.03) звездното време изпреварва местното средно слънчево с 12 h, като с всеки изминал ден тази разлика расте с 3 m 56 s. За нашата дата на наблюдение разликата е 10 h 06 m, тоест часът е 2 h 54 m.

Е) Тук идеята е да построим еклиптиката и да оценим отстоянието на Арктур от нея. Дъгата от еклиптиката към Арктур е близка до вертикален кръг, така че ъгълът β може да се оцени добре с пропорция.

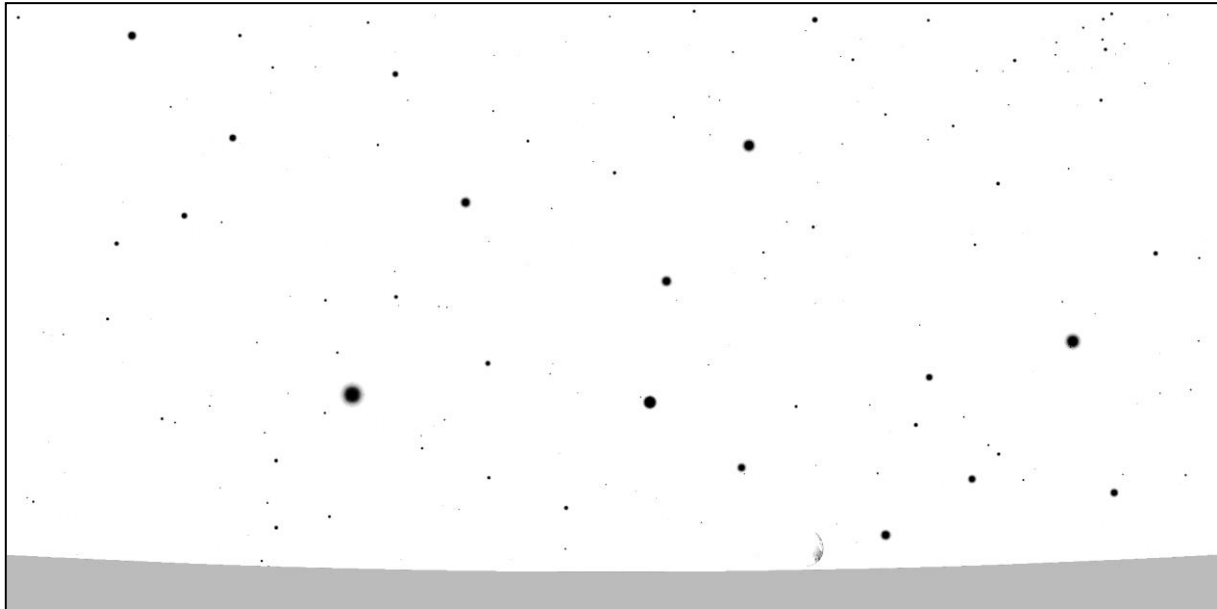
Коментар. Наблюденията се правят от Кейптаун ($\varphi = 34^\circ \text{ S}$, $\lambda = 18^\circ \text{ E}$) на 20.02.2025. Часът е 3:48 по гражданско време. Луната е изкуствено премахната.

Критерии за оценяване.

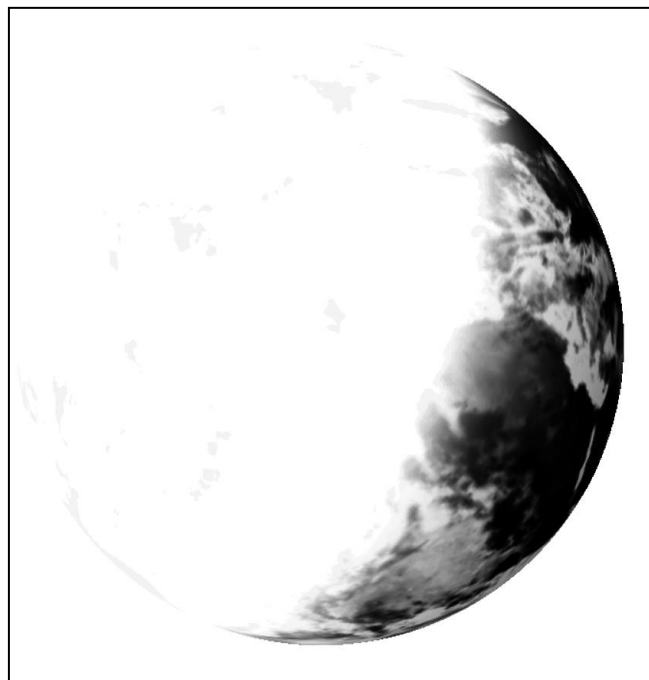
- А)** За всяка звезда и съзвездие **[0.5 т.] + [0.5 т.]**
Приемат се и Байерови означения.
- Б)** Адара ($\epsilon \text{ CMa}$) **[2 т.]**
- В)** **[32° S; 36° S] [4 т.]** // **[30° S; 38° S] [2 т.]** **[28° S; 40° S] [1 т.]**
Ако полукуълбото не е указано изрично, не се дават точки.
- Г)** **[2:30; 3:30] [4 т.]** // // **[2:15; 3:45] [2 т.]** // **[2:00; 4:00] [1 т.]**
- Д)** Азимут **[92°; 98°] [1 т.]**; Височина **[43°; 47°] [1 т.]**
- Е)** Еклиптична дължина **[196°; 212°] [1.5 т.]**; Еклиптична ширина **[28°; 34°] [1.5 т.]**
-

Задача 3. География [17 т.] В невниманието си Ярослав се е загубил някъде по Луната. Той с лекота може да конструира ракета, с която да се върне на Земята – но първо трябва да се ориентира! Замислено съзерцавайки родната планета, Ярослав забравя да наблюдава каквото и да е друго. Земята е в съзвездието Дева, ниско над хоризонта, както е показано на Фигура 3. Увеличено изображение на земния диск е дадено на Фигура 4.

- **А)** Кои са трите най-ярки звезди от дадения участък от небето? **[3 т.]**
- **Б)** Оценете селенографската дължина на мястото на наблюдение. **[3 т.]**
- **В)** Оценете селенографската ширина на мястото на наблюдение. **[3 т.]**
- **Г)** На коя дата наблюдава Ярослав? **[4 т.]**
- **Д)** Оценете в колко часа по универсално време се правят наблюденията. **[2 т.]**
- **Е)** Избройте точно две лунни морета, които са по-близки до Ярослав в сравнение с Морето на спокойствието. **[2 т.]**



Фигура 3. Земята на лунното небе.



Фигура 4. Увеличено изображение на земния диск.

Звезди (от по-ярки към по-слаби)	1: Спика	2: Денебола	3: Порима
Дължина	$\lambda = 80^{\circ} \text{ E}$		
Ширина	$\varphi = 67^{\circ} \text{ N}$		
Дата	16.07		
Час по UT	6:30 UT		
Морета	Море Хумболт, Море на кризите, Море на студа, Море на яснотата		

Решение.

Б)+В) Ще пренебрегнем причините за либрацията на Луната – наклона на лунната ос спрямо оста на еклиптиката (1.5°), наклона на лунната орбита спрямо еклиптиката (5.1°) и ексцентрицитета на лунната орбита (0.055). Тъй като Земята е на практика на хоризонта за наблюдателя, то от гледна точка на Земята той трябва да е някъде около лунния лимб. Следователно селенографската му дължина е около 90° E или 90° W .

Сега да помислим за ширината. По земния сърп в долните части различаваме Африка, а в горните Европа. По-северните ширини по земното кълбо са по-високо над хоризонта, с което уточняваме, че сме в северното полукълбо на Луната (тук най-лесно е да си представите в пространството равнината на математическия хоризонт на наблюдателя и разположението на Земята спрямо нея).

Взимаме линията, съединяваща върховете на земния сърп. Тя трябва да е перпендикулярна на еклиптиката. Ако се намирахме например на ширина 90° N по лунния лимб, равнината на математическия хоризонт щеше да е успоредна на еклиптиката и затова съединяващата линия щеше да е вертикална на изображението. Но ние забелязваме, че линията всъщност е наклонена под ъгъл 23° спрямо равнината на хоризонта и е ориентирана нагоре и надясно. За да стане това, трябва да се отместим от северния полюс на Луната с 23° по лимба. Правилният меридиан е 90° E – може да съобразим, че ако бяхме избрали 90° W , съединяващата линия щеше да е ориентирана нагоре и наляво. И така, отговаряме с $\varphi = 67^\circ \text{ N}$ и $\lambda = 90^\circ \text{ E}$.

Коментар. Истинската дължина е 80° E . Голямото разминаване с метода ни на работа идва от това, че в резултат на либрацията при високите селенографски ширини Луната може да бъде на хоризонта дори и за много далечни от лимба ($90^\circ \text{ E}/90^\circ \text{ W}$) дължини. Сравнете например координатите ($\varphi = 87^\circ \text{ N}$, $\lambda = 170^\circ \text{ W}$), откъдето Земята понякога се вижда, с координатите ($\varphi = 5^\circ \text{ N}$, $\lambda = 110^\circ \text{ W}$), за които Земята със сигурност не изгрива.

Г) Делим дължината на най-широката част от земния сърп на диаметъра на земния сърп, за да получим фазата на Земята $f = 0.28$. Сега фазовия ъгъл (Слънце-Земя-Луна) ψ може да намерим от формулата $f = \frac{1+\cos\psi}{2}$. Получаваме $\psi = 116^\circ$. По вида на земния сърп заключаваме, че Луната сега е във фаза между пълнолуние и последна четвърт. Земята в момента е на такова положение спрямо звездите, на каквото ще бъде Слънцето след завъртане на Земята по орбитата ѝ с $180^\circ - \psi = 64^\circ$, тоест след 65 d.

Но в настоящия момент Земята е в есенната равноденствена точка, а Слънцето е там на 22.09. Съответно трябва да извадим 65 дни от 22.09, при което получаваме 15.07.

Д) Пренебрегвайки уравнението на времето, за точката с географски координати ($\varphi = 0^\circ$, $\lambda = 0^\circ$) изгревът става в 6:00 UT независимо от датата. Виждаме по изображението на земния диск, че тя е отместена на около половин час от терминатора. Като много приблизителна оценка, часът би трябвало да е около 6:30 UT.

Критерии за оценяване.

- А)** Слика [1 т.]; Денебола [1 т.]; Порима [1 т.] // Виндемиатрикс [1 т.]
Б) [70° E ; 110° E] (или [$+70^\circ$; $+110^\circ$]) [3 т.] // Ако полукълбото не е указано изрично или е указано грешното полукълбо [2 т.]
В) [63° N ; 73° N] (или [$+63^\circ$; $+73^\circ$]) [3 т.] // Ако полукълбото не е указано изрично или е указано грешното полукълбо [1 т.]
Г) $16.07 \pm 5 \text{ d}$ [4 т.] // $\pm 8 \text{ d}$ [2 т.]
Д) [6:00 UT; 7:30 UT] [2 т.] // (7:30 UT; 8:00 UT) [1 т.]
Е) За Море Хумболт, Море на кризите, Море на студа, Море на яснотата

(или Mare Humboldtianum/Crisium/Tranquillitatis/Frigoris) по [1 т.]

Ако са написани повече от две морета [0 т.]

Задача 4. Пътуваме във времето [19 т.]. Знаехте ли, че русенският астроном Марина Маринова си има джобна машина на времето?

Тази вечер Марина иска да направи фотометрия на затъмнително двойната звезда VW Сер ($\alpha = 20^{\text{h}}37^{\text{m}}$, $\delta = +75^{\circ}41'$). За да намери звездата в телескопа, тя сравнява с площадка от сайта на Американската асоциация на наблюдателите на променливи звезди – AAVSO. Площадката е дадена на Фигура 5 (гранична звездна величина 16.5), а един от кадрите, получен от Марина, е даден на Фигура 6 (гранична звездна величина 12). Полето на наблюдателната площадка е по-малко от това на кадъра.

- А) Означете върху Фигура 6 затъмнително двойната звезда V и звездите ориентири A, B и C. [2 т.]

Марина знае, че за да стигне с телескопа от Звезда A към VW Сер, тя трябва да коригира по ректасцензия с $\Delta\alpha = -3.58^{\text{m}}$ и по деклинация с $\Delta\delta = +3.90'$.

- Б) Какво е ъгловото отстояние η между Звезда A и VW Сер? [3 т.]

Отговор: $\eta = 13.84'$

- В) Начертайте паралела R и меридиана M, които преминават през VW Сер на Фигура 6. За паралела означете посоката на нарастване на ректасцензията, а за меридиана означете посоката на нарастване на деклинацията. [3 т.]

На Марина ѝ хрумва да получи кривата на блясък на VW Сер в годината 37373. След пътуването във времето телескопът ѝ остава насочен към затъмнително двойната звезда, но звездите ориентири вече са напълно разместени! Марина иска въпреки всичко да намери корекцията в екваториалните координати $\Delta\alpha'$ и $\Delta\delta'$, нужна за насочване от Звезда A към VW Сер.

За щастие тя е запомнила ъгловите скорости на A, B и C. С помощта на тази информация Марина успява да проследи промените по небето.

Звезда	Ъглова скорост [mas/yr]
A	38.78
B	18.87
C	32.76

- Г) Намерете собственото движение на VW Сер. [4 т.]

Отговор: 10.7 mas/yr

- Д) Начертайте паралела R' и меридиана M', които преминават през VW Сер на Фигура 7. За паралела означете посоката на нарастване на ректасцензията, а за меридиана означете посоката на нарастване на деклинацията. [4 т.]

- Е) Намерете корекциите $\Delta\alpha'$ (в минути) и $\Delta\delta'$ (в дъгови минути). [3 т.]

Отговор: $\Delta\alpha = +2.25^{\text{m}}$

Отговор: $\Delta\delta' = +30.7'$

Упътване: mas/уг означава хилядни от дъговата секунда на година.

Площадката не е обърната спрямо небето!

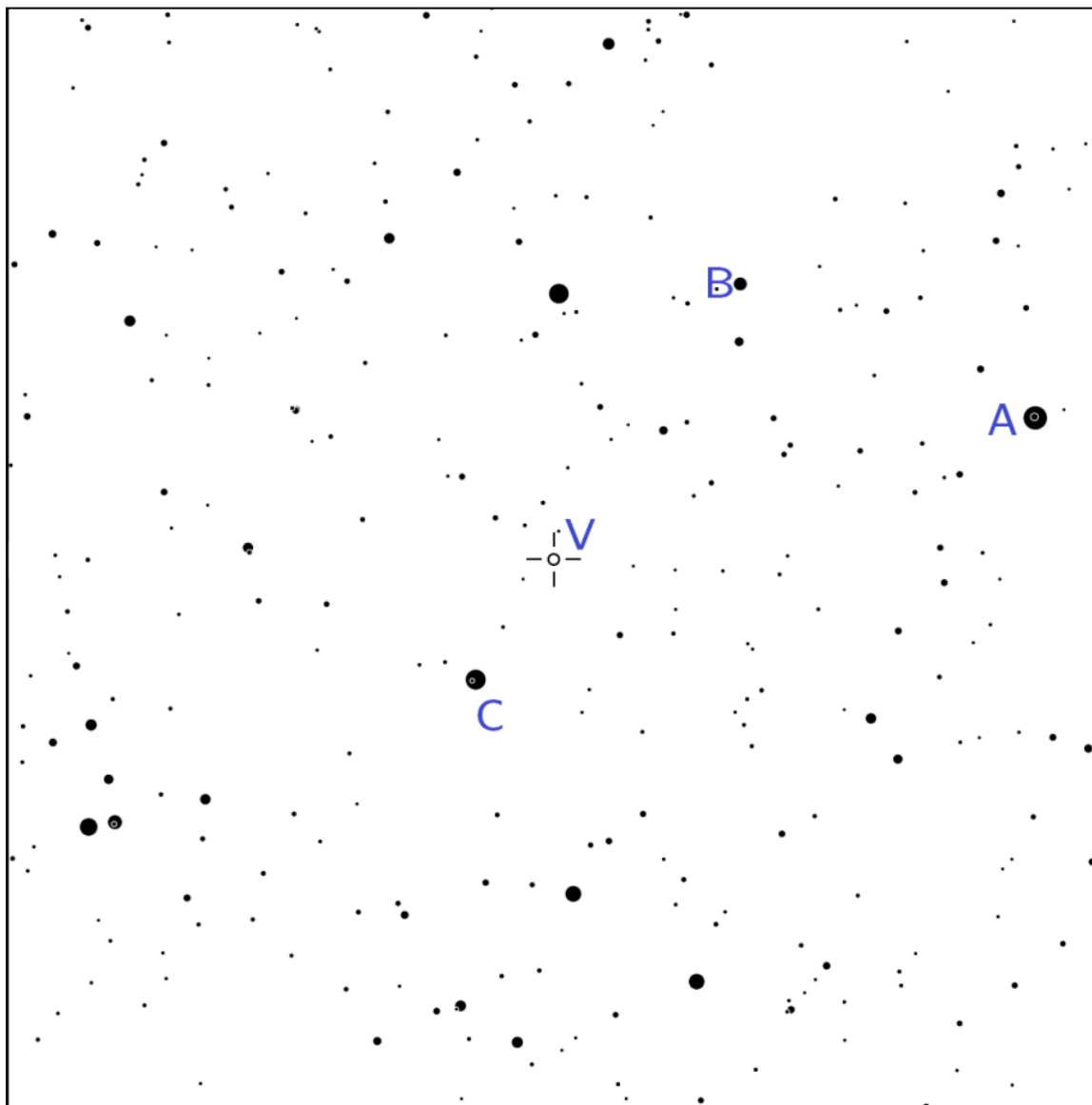
Справочни данни:

Наклон на земната ос

$$\varepsilon = 23.5^\circ$$

Период на прецесия на земната ос

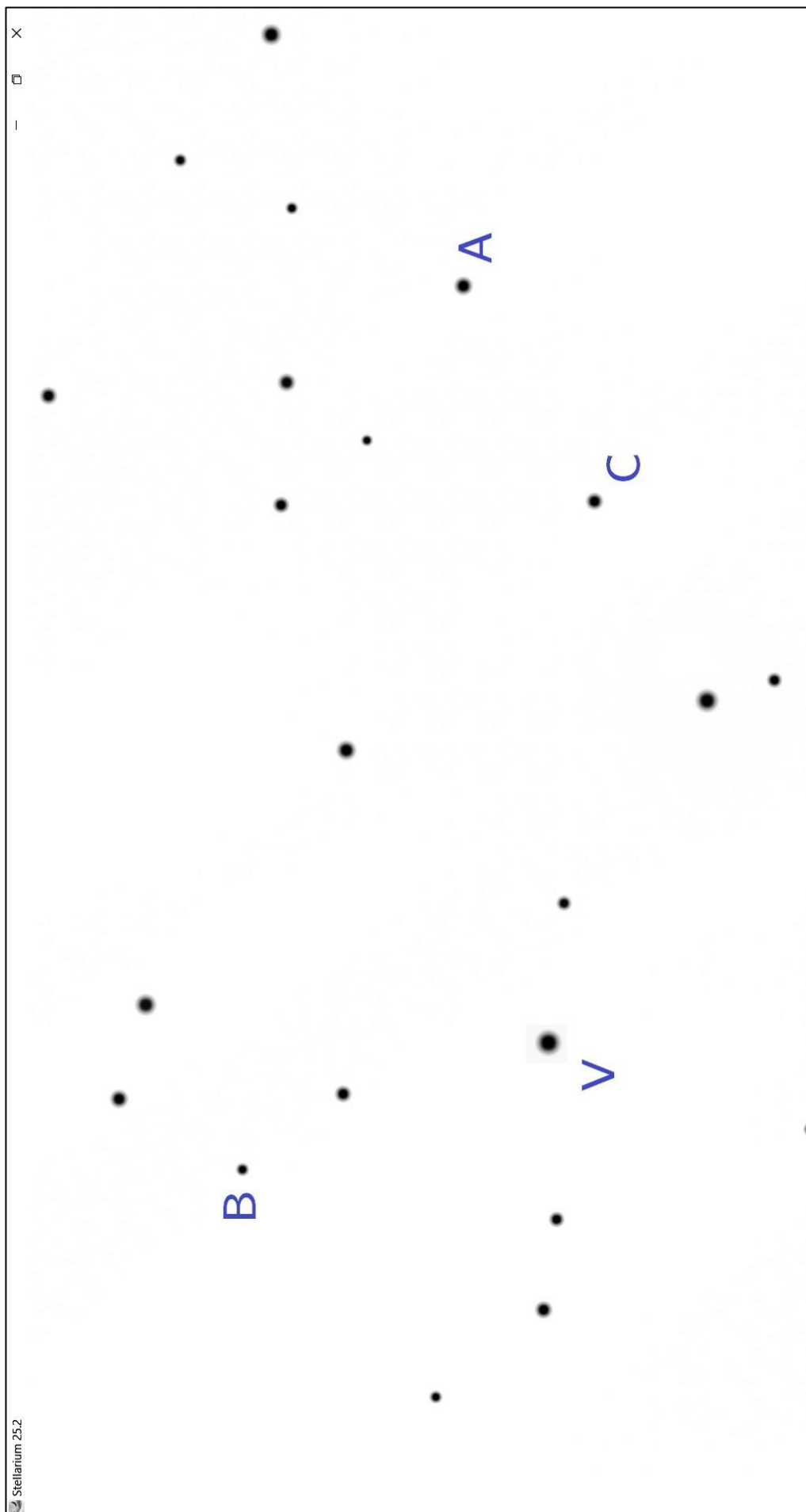
$$T = 25800 \text{ yr}$$



Фигура 5. Площадка от AAVSO за VW Сер.



Фигура 6. Кадър с VW Сер от 2025 г.



Фигура 7. Кадър с VW Сер от 37373 г.

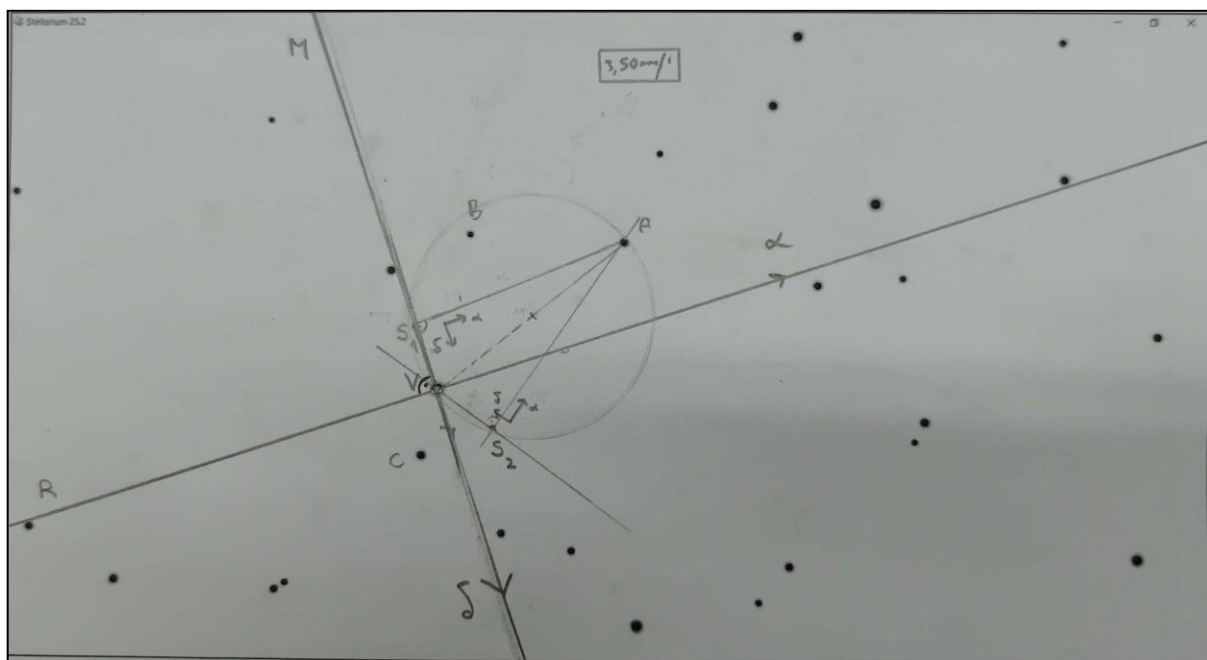
Решение.

Б) Звездите са много близо една до друга, така че може да работим в плоско приближение. Ъгловото отстояние между звездите е $\Delta\alpha \cos \delta = 13.28'$. Общото отстояние е

$$\eta = \sqrt{(\Delta\delta)^2 + (\Delta\alpha \cos \delta)^2} = 13.84'.$$

В) По ъгловото отстояние η намираме мащаба на Фигура 6 и Фигура 7: $3.50 \text{ mm}/'$. Тъй като гледаме малка област по небето, паралелите и меридианите се явяват успоредни прави линии. Паралелът и меридианът през V сключват прав ъгъл. Знаем, че разстоянието от A до меридиана (това е разлика в ректасцензии) е $13.28' \equiv AS$, а това от A до паралела е $3.90' \equiv SV$ (това е разлика в деклинации). Отсечките AS и SV са също под прав ъгъл, така че точката S лежи на окръжността с диаметър AV, като същевременно разстоянието ѝ от V е $3.90'$. Тогава за положението на S намираме две възможности, които означаваме с S_1 и S_2 .

За всеки вариант проследяваме посоките на нарастване на деклинацията и ректасцензията съгласно знаците на $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$. Звездните карти не са обърнати и съответно ако направлението на увеличаване на δ се пада нагоре, то това на увеличаване на α трябва да е наляво. Така вариант S_2 отпада. Затова именно линията VS_1 е нашият меридиан M. Перпендикулярната ѝ линия е нашият паралел R.



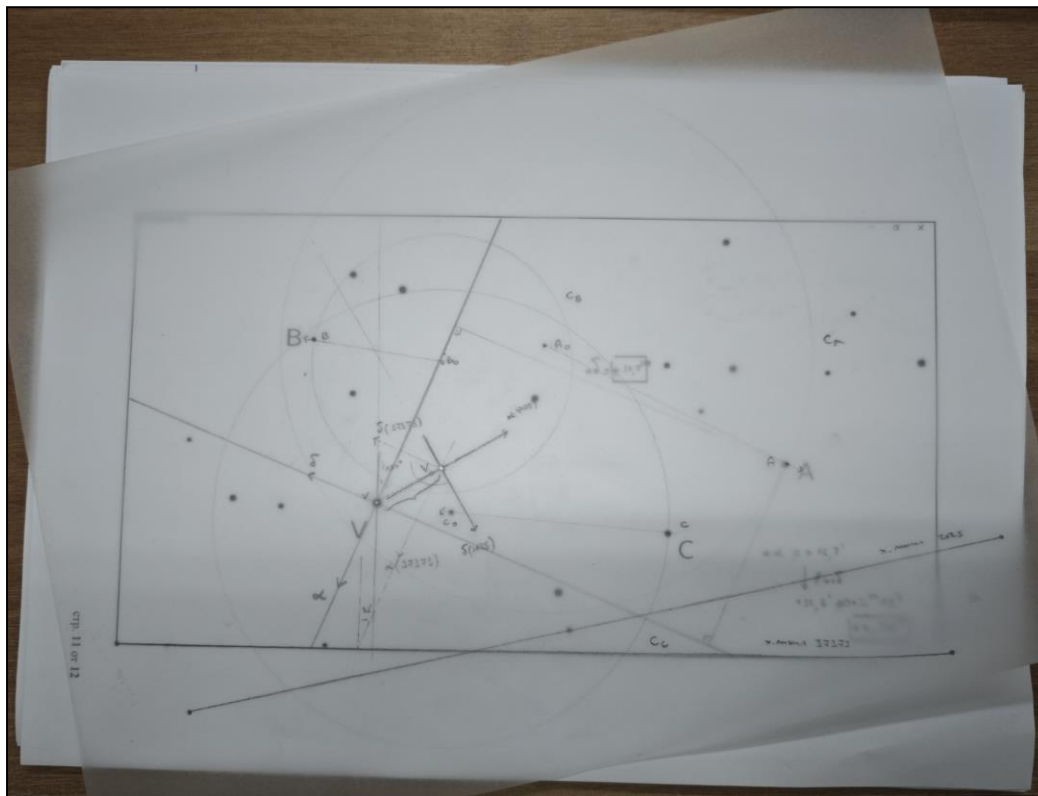
Фигура A2. Построения по кадъра за 2025 г.

Г) След пътуването във времето идват промени и от собственото движение на звездите, и от промяната на ориентацията на картата (която се явява просто завъртане под някакъв ъгъл). За да отчитаме собствени движения, трябва да сравним двата кадъра, ако ориентацията им беше същата. Под това ориентацията да е същата се има предвид, че трябва да завъртим Фигура 6 под такъв ъгъл, че след време $\Delta t = 37373 - 2025 = 35348$ уг в бъдещето положенията на A, B и C да са точно на същите места по листа хартия като тези от Фигура 7.

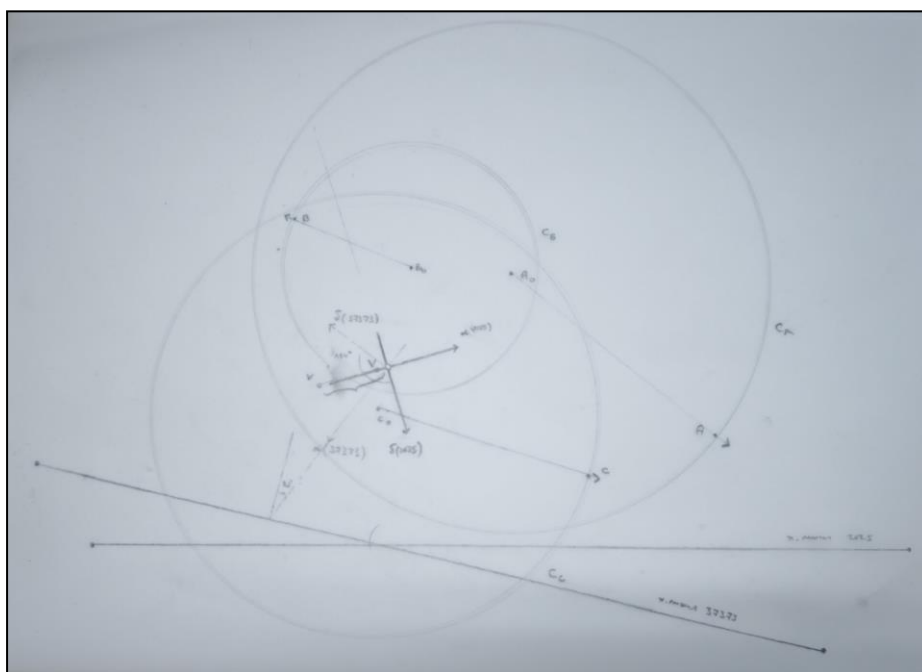
Ъглите, на които се отместват трите звезди за време Δt , са $\beta_A = 22.8'$, $\beta_B = 11.1'$, $\beta_C = 19.3'$. По кадрите това съответства на $R_A = 79.9 \text{ mm}$, $R_B = 38.9 \text{ mm}$ и $R_C = 67.6 \text{ mm}$. Сега налагаме лист прозрачна хартия върху Фигура 6 и бележим положенията на звездите там с V_0 , A_0 , B_0 и C_0 . Около звездите ориентири чертаем окръжности с радиуси R_A , R_B , R_C , които означаваме с c_A , c_B , c_C . Те ще съдържат всички възможни положения на звездите в бъдещето при условия на запазване на ориентацията

на картата.

Оттук нататък започваме да въртим листа прозрачна хартия над Фигура 7, като търсим положенията на А, В, С от Фигура 7 едновременно да попаднат върху съответните им окръжности. С няколко проби откриваме, че има единствен вариант това да стане. Когато прецизно намерим конфигурацията на съвпадение, преписваме върху прозрачната хартия А, В, С и V от кадъра в годината 37373. Накрая мерим отстоянието между V и V_0 . То е 22.0 mm, което е ъгъл $6.3'$, и оттам $\mu = 10.67 \text{ mas/yr}$.



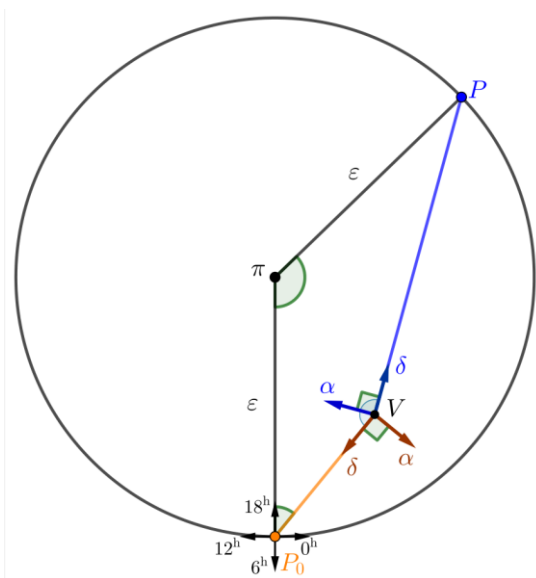
Фигура А3. Наслагване на листа прозрачна хартия върху кадъра от 37373 г.



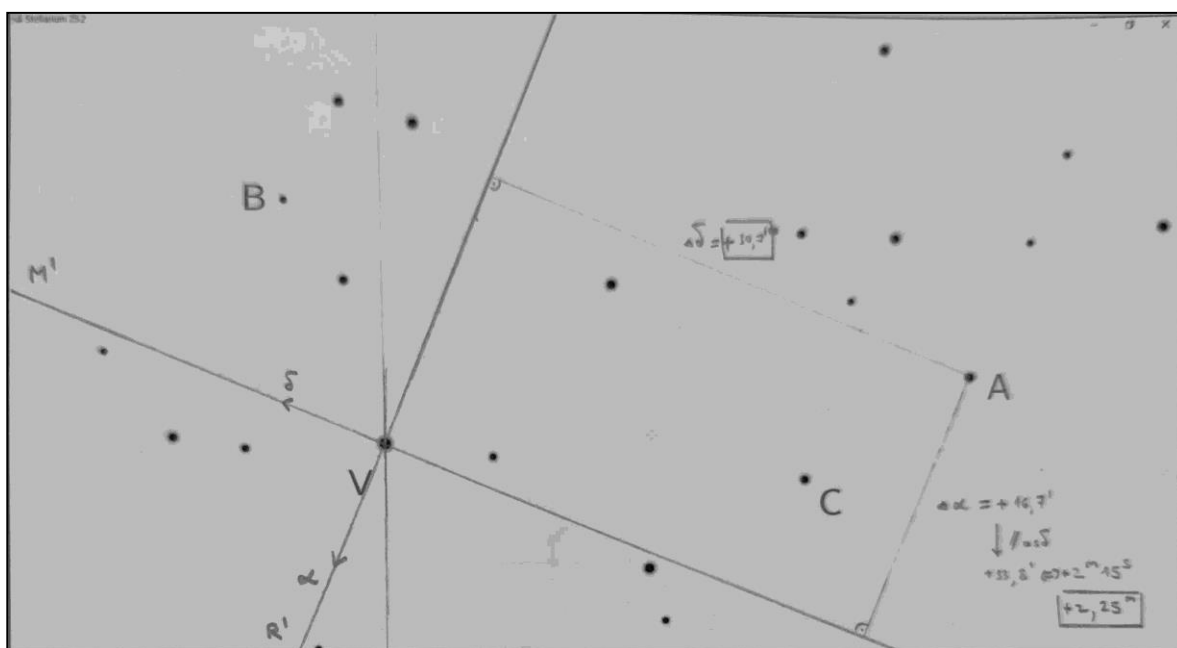
Фигура А4. Лист прозрачна хартия с отбелязана отсечка VV_0 (увеличете във файла!).

Коментар. Всъщност собственото движение на VW Сер е много високо (636 mas/yr). За целите на задачата положението на звездата е изкуствено преместено. Останалите данни не са променяни.

Д) Върху листа прозрачна хартия пренасяме също меридиана и паралела за V_0 . Търсим по какъв начин те се завъртат поради прецесията на земната ос. Кадрите се правят близо до северния небесен полюс P_0 и северния еклиптичен полюс π , което позволява да работим в плоско приближение. Съставяме чертеж за прецесията. За време Δt полюсът P_0 се завърта с $\frac{35348 \text{ yr}}{25800 \text{ yr}} \cdot 360^\circ = 493^\circ$ до положение P в посока, обратна на тази на нарастването на ректасцензията. Използваме $\angle P_0 V = \alpha - 18^h = 2^h 37^m$ и $P_0 V = 90^\circ - \delta = 14^\circ 19'$, за да нанесем положението на V . Сега отчитаме графично $PV = 39.6^\circ$, с което намираме, че новата деклинация на точката V_0 е $\delta' = 60.4^\circ$. Също измерваме $\angle P_0 VP = 154^\circ$. Това ще бъде ъгълът между меридианите през V_0 , когато сравняваме двата кадъра.



Фигура А5. Прецесионен кръг.



Фигура А6. Построения по кадъра за 37373 г.

Пренасяме това на прозрачната хартия, с което получаваме меридиана и паралела през V_0 . Виждаме под какъв ъгъл те пресичат краищата на Фигура 7 (също преписани върху пауса). Накрая използваме тази информация, за да построим правилните паралел и меридиан през изместеното положение на двойната звезда V.

Е) По Фигура 7 вече можем да спуснем перпендикуляри от А към меридиана M' и паралела R' . Техните ъглови размери са $30.7'$ по деклинация и $16.7'$ по ректасцензия. Ползвайки новата деклинация на V, разделяме размера по ректасцензия на $\cos \delta$ и превръщаме в минути, с което получаваме $\Delta\alpha' = +2.25^m$. Корекцията по деклинация също е положителна, $\Delta\delta' = +30.7'$.

Критерии за оценяване.

- А) За всяка звезда **[0.5 т.]**
- Б) **[13.5'; 13.9'] [3 т.]** // **[53.7'; 54.0'] [2 т.]** (при изпуснат $\cos \delta$)
Точното изчисление дава $\eta = 13.72'$.
- В) R и P са две взаимноперпендикулярни прави линии **[1 т.]**
Правилни посоки на нарастване (като квадранти) **[1 т.]**
И паралелът сключва ъгъл $[17^\circ; 30^\circ]$ с дългата страна на кадъра **[1 т.]**
Точната стойност е 25° .
- Г) **[8 mas/yr; 13 mas/yr] [4 т.]**
- Д) Правилни посоки на нарастване (като квадранти) **[1 т.]**
И паралелът сключва ъгъл $[45^\circ; 70^\circ]$ с дългата страна на кадъра **[3 т.]**
Точната стойност е 55° .
- Е) $\Delta\alpha'$: **[1.9^m; 3.3^m] [2 т.]**
 $\Delta\delta'$: **[+25'; +33'] [1 т.]**
-

Задачите са съставени от:
Стефан Иванов (1-4)