

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
ЦЕНТРАЛНА КОМИСИЯ ЗА ОРГАНИЗИРАНЕ НА ОЛИМПИАДАТА ПО
АСТРОНОМИЯ

XI НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

<http://astro-olymp.org>

IV кръг
Практически тур

Старша възраст – решения

Задача 1. Вълни на Моргън в атмосферата на Слънцето. Дадени са три негативни изображения на част от слънчевия диск, получени през 3 минути. В резултат на слънчевото избухване, по повърхността на Слънцето тръгва вълна, която може да се види на второто и третото изображение. В горния десен край на изображенията са дадени моментите от време, в които те са били получени.

Очертайте фронта на вълната на изображенията и пресметнете средната скорост, с която вълната се е движила между тези два момента (на второто и третото изображение).

Слънчевото избухване е станало в слънчево петно, което се вижда на негативните изображения като малко светло петънце в левия край на голямо факелно поле (тъмното петно). Ако слънчевото избухване е станало в 18:43:59 UT, каква е била средната скорост на вълната в първите две минути? Дали вълната ще успее да обиколи цялата слънчева повърхност?

Сравнете скоростта на вълната с втора космическа скорост за Слънцето. Как ще коментирате резултата?

Радиус на Слънцето – 700000 км.

Маса на Слънцето – 2×10^{30} кг.

Решение:

Очаква се вълната да има сферична симетрия, но понеже явлението се наблюдава в края на диска, виждаме фронта на вълната като елипса. Очертаваме фронта на двете изображения. Построяваме една хорда на слънчевия диск и нейната симетрала. Очевидно симетралата ще бъде диаметър на диска. Определяме центъра на слънчевия диск като средата на тази симетрала. За хордата и нейната симетрала прилагаме правилото на пресичащите се хорди:

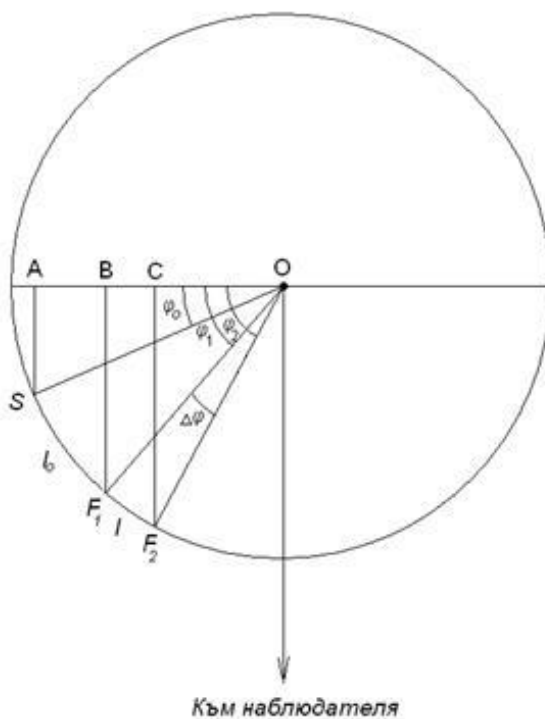
$$ab=cd$$

където a и b са дължините на отсечките, на които е разделена едната хорда при пресичането си с другата хорда, а c и d са отсечките, на които се дели другата. Оттук определяме диаметъра на слънчевия диск. Същото можем да направим и използвайки две хорди и пресечната точка на техните симетрала.

Свързваме центъра на избухването с центъра на слънчевия диск с права линия и пренасяме успоредно тази права на второто и третото изображение. Измерваме разстоянието от центъра на слънчевия диск до слънчевото петно и до точките на пресичане с фронта на вълната върху второто и третото изображение.

Да построим разрез на Слънцето през слънчевото петно и центъра на слънчевия диск. Нека S е положението на слънчевото петно върху повърхността на Слънцето, а F_1 и F_2 са положенията на фронта на вълната в двата момента от време върху слънчевата повърхност. Нека $OA = a_0$ е разстоянието от центъра на диска на Слънцето до слънчевото петно, $OB = a_1$ и $OC = a_2$ са разстоянията от центъра на диска на Слънцето до фронта на вълната в

За да намерим средната скорост v_{23} , с която вълната се разпространява между второто и третото изображение, трябва да измерим разстоянието, което тя изминава по слънчевата повърхност. На нашия чертеж това е дъгата l , имаща централен ъгъл $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$. От чертежа се вижда, че $\cos \varphi_1 = a_1/R$ и $\cos \varphi_2 = a_2/R$, където R е радиусът на Слънцето, измерен върху изображението с намерения център на слънчевия диск. От тези съотношения намираме ъглите φ_1 , φ_2 и $\Delta\varphi$.



Тогава

където Δt_{23} е интервалът от време между моментите на второто и третото изображение.

$$R = 93.5 \text{ mm}, a_0 = 83 \text{ mm}, a_1 = 52 \text{ mm}, a_2 = 38 \text{ mm}.$$
$$l = 120000 \text{ km}$$
 $v_{23} = 665 \text{ km/s.}$
$$l_0 = 352000 \text{ km}$$
$$v_{12} = 2860 \text{ km/s}$$

2

Използвайки дадената маса на Слънцето M , пресмятаме втора космическа скорост за него. Получаваме $v_{II} = \sqrt{2\gamma M/R} \approx 620 \text{ km/s}$ (γ е гравитационната константа). Виждаме, че в първите минути вълната се разпространява със скорост по-голяма от скоростта на избягване от Слънцето. Въпреки това тук няма противоречие защото в действителност получените скорости са скорости на разпространение на вълнов процес, при което не се пренася вещество, а само енергия.

Задача 2. Наблюдение на окултация на звезда от астероид. Десет наблюдатели, разположени както е показано на схемата, наблюдават окултация на звездата ТУС 1065-021222-1 от астероида 225 Хенриета на 16 юни 2007 г. Звездата има координати $\alpha = 17^h 56^m 19^s$ и $\delta = -21^\circ 43' 18''$. Нейната звездна величина е 11.67^m , а на астероида 12.46^m . Хоризонталният денонощен паралакс на астероида, гледан от Земята, е $5.56''$. Астероидът има ъглово преместване на фона на звездите $\mu = 24,84''/\text{h}$.

Някои от наблюдателите са наблюдавали само едно закриване на звездата, а други, поради неправилната форма на астероида, две закривания. За всички тях той се намира близо до зенита. В таблицата са дадени моментите на закриване и откриване на звездата за всеки наблюдател.

Считайте, че видимият размер на астероида е много по-голям от този на звездата (откриването и закриването са мигновенни).

А) Начертайте посоката на движение на сянката на астероида и обяснете зависи ли тя от конфигурацията между Земята и него.

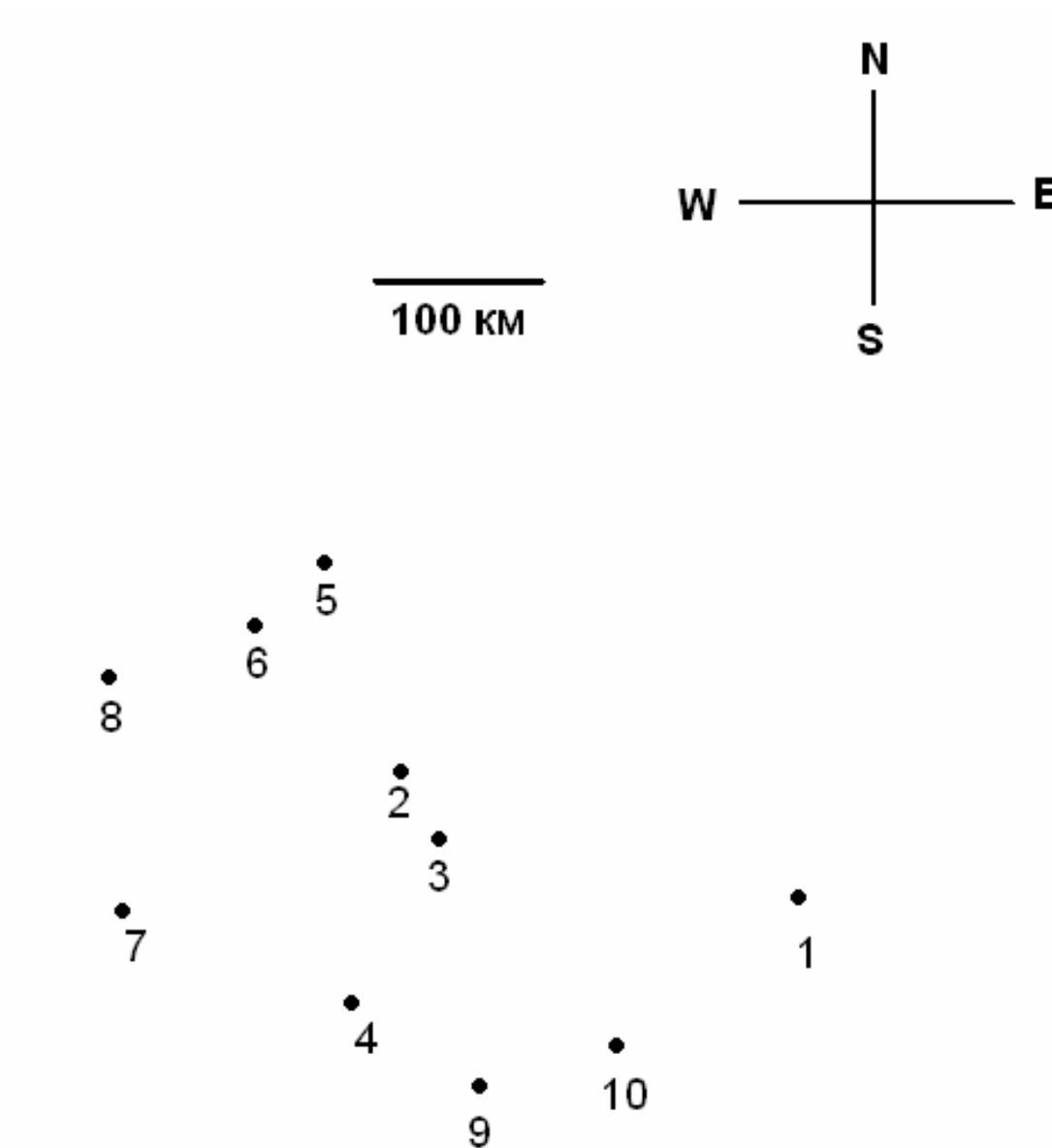
Б) Опитайте се да възстановите профила и размерите на астероида.

В) Намерете орбиталния период на астероида, като приемете, че той се движи по кръгова орбита.

Не отчитайте околоосното въртене на астероида по време на окултацията.

Екваториален радиус на Земята – 6378 km

Наблюдател	Закриване	Откриване	Закриване	Откриване
1	00h 00m 00,0s	00h 00m 10,0s		
2	00h 00m 30,4s	00h 00m 35,6s	00h 00m 38,7s	00h 00m 44,2s
3	00h 00m 27,8s	00h 00m 32,5s	00h 00m 34,9s	00h 00m 39,7s
4	00h 00m 35,1s	00h 00m 44,8s		
5	00h 00m 34,8s	00h 00m 36,4s		
6	00h 00m 40,4s	00h 00m 43,8s	00h 00m 50,7s	00h 00m 53,8s
7	00h 00m 51,2s	00h 01m 00,9s		
8	00h 00m 51,4s	00h 00m 56,1s	00h 01m 01,6s	00h 01m 06,8s
9	00h 00m 27,8s	00h 00m 30,9s		
10	00h 00m 15,7s	00h 00m 25,3s		



Решение:

А) Датата на окултацията е 17 юни, т.е. съвсем близо до лятното слънцестоене. От друга страна координатите на звездата, респективно и на астероида, съответстват на положение около точката зимното слънцестоене. Можем да направим извода, че астероидът се намира много близо до опозиция. Понеже астероидът е на орбита с по-голям радиус от орбиталния радиус на Земята, то неговата скорост е по-малка от земната. Следователно, Земята „изпреварва“ сянката му. Това означава, че по земната повърхност сянката се движи от изток на запад, или в посока обратна на посоката на движение на Земята по орбитата ѝ. Начертаваме тази посока върху схемата.

Посоката на движение на сянката зависи от конфигурацията на астероида и Земята. Когато позицията на астероида е близка до някоя от квадратурите например, цялата орбитална скорост на Земята е насочена към него. Тогава планетата ни не се движи спрямо сянката на астероида и относителното движение на сянката по земната повърхност е в посока на орбиталното движение на астероида. То е в същата посока като движението и на Земята – от запад на изток.

Б) Първо привеждаме общите съображения, въз основа на които работим. Звездата се намира много далеч от нас и затова считаме, че идващият от нея светлинен сноп е успореден. Следователно, сянката (областта от която се вижда окултацията на звездата) има контур, отговарящ на профила на астероида. С течение на времето тази сянка се придвижва по земната повърхност и различни наблюдатели могат да наблюдават окултацията. През всеки наблюдател преминава една хорда от този контур с определена дължина l .

За времето на окултацията t сянката очевидно изминава път l по траекторията си. Нейната скорост е равна на тангенциалната компонента на скоростта на астероида относно Земята V_T . Тя може да бъде изразена като произведение на ъгловото преместване за единица време μ и разстоянието r от Земята до астероида. Разстоянието пресмятаме, използвайки дадения ни денонощен паралакс p и радиуса на Земята R . Така получаваме:

$$r = R/p = 1.5 \text{ AU}$$

$$V_T = \mu r \approx 8 \text{ km/s}$$

След като за време t астероидът се премества на разстояние l , то $l = V_T t = \mu r t$. Оттук следва, че всеки наблюдател, като измерва продължителността на покритието, може да пресметне дължината на преминалата през него хорда. Спрямо всички наблюдатели сянката се движи в една и съща посока, т.е. през тях преминават успоредни една на друга хорди от профила. Използвайки горната формула, получаваме за хордите, преминали през всички наблюдатели:

Наблюдател	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дължина [km]	80	41	38	78	14	27	76	36	25	77
Дължина [km]		44	38			25		33		

За наблюдателите, които са наблюдавали две покрития, интервалите от време между края на първото и началото на второто са:

Наблюдател	2	3	6	8
Интервал [s]	3,1	2,4	6,9	5,5

Следователно разстоянията между края на първото покриване и началото на второто са:

Наблюдател	2	3	6	8
Разстояние [km]	25	19	55	44

За да получим профила е необходимо да нанесем хордите в еднакъв мащаб в един и същи момент от време. За мащаб избираме $1 \text{ cm} = 20 \text{ km}$. Начертаваме ос Ox по посока на движението на сянката. За всеки наблюдател нанасяме съответната хорда така, че началото ѝ да лежи в точката на наблюдателя, успоредно на Ox . За тези, които са наблюдавали две закривания, чертаем и двете хорди с прекръсването между тях. След като сме изпълнили тази процедура, остава да намерим положението на всички хорди в един и същи момент от време, например началото на окултацията за наблюдател 1. За тази цел правим следното. Намираме времената между началото на окултацията за първия и всички останали наблюдатели. Техните стойности са:

Наблюдател	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Интервал [s]	30,4	27,8	35,1	34,8	40,4	51,2	51,4	27,8	15,7

Ако за даден наблюдател интервалът е Δt , то за него хордата трябва да се премести на разстояние $V_T \Delta t$ в посока обратна на движението на сянката, тъй като през наблюдател 1 тя е минала първо. Оттук получаваме, че разстоянията, на които трябва да се транслират хордите, са:

Наблюдател	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дължина [km]	241	220	279	274	321	407	408	220	125
Дължина [cm]	4,8	4,4	5,6	5,5	6,4	8,1	8,2	4,4	2,5

Сега вече имаме положенията на хордите в момента, в който започва окултацията за наблюдател 1. За да получим окончателно профила, свързваме краищата на хордите. Понеже астероидът е близо до зенита, то не се налага да разглеждаме деформация поради проекцията на сянката върху сферата. Получава се контур на заек. От мащаба на хордите намираме, че дебелината на астероида е между 80 и 120 км.

В) Получихме, че разстоянието до астероида е $r = 1.5$ AU. Понеже той е в опозиция, радиусът на неговата орбита е $a = 1.5 + 1 = 2.5$ AU. От третия закон на Кеплер за търсения период T имаме, $a[\text{AU}]^3 / T[\text{год.}]^2 = 1$, откъдето пресмятаме $T \approx 1,8$ год.

