

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
XVIII НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ

Национален кръг, 03 май 2015 г., Добрич

ТЕМА ЗА ВЪЗРАСТОВА ГРУПА – XI-XII КЛАС
Практически кръг
Решения

1 задача. Лебед X-1. Космическият източник на рентгенови лъчи Лебед X-1 е открит през 1964 г. Във видима светлина на същото място се наблюдава далечна звезда от 9^m. Това е гореща звезда свръхгигант, която влиза в състава на двойна система с много масивна и плътна компонента, представляваща най-вероятно черна дупка. Черната дупка привлича вещество от звездата свръхгигант, при падането си върху нея веществото се ускорява и нагрява до милиони градуси, при което излъчва рентгенови лъчи, а също, както впоследствие се открива – и мощно радиолъчение.

Чрез системата от радиотелескопи VLBA в САЩ са направени наблюдения на радиоизточника, свързан с черната дупка. Дадената по-долу Фигура 1 съдържа две графики. Горната представлява паралактичното отместване на обекта в направление изток-запад, а долната – в направление север-юг. Отместването е в хилядни от дъговата секунда (milliarcseconds – mas). Върху паралактичното отместване е наложено значително по-краткопериодичното орбитално движение на черната дупка около общия център на масите на двойната система.

- А) Като използвате графиките, постройте паралактичната елипса, описвана от радиоизточника и определете разстоянието до него.
- Б) Определете орбиталния период на системата. Оценете радиуса на орбитата на черната дупка около общия център на масите.

Решение:

За да построим паралактичната елипса, трябва да прекараме линията, която усреднява късопериодичните осцилации на дадените криви на паралактичните отмествания. Внимателно прекарваме кривите точно през централните части на късопериодичните осцилации. Едната от дадените криви дава отклонението в направление изток-запад, на небето. Приемаме, че това са отклонения по ректасцензия. Другата крива дава отклоненията в направление север-юг. Приемаме, че това са отклонения по деклинация. Отчитаме по кривите отклоненията в двете направления и формираме двойки числа със стойностите на отклоненията, за един и същи момент от време. Тези двойки числа представляват относителни координати, които ще използваме да построим паралактичната елипса на милиметрова хартия.

Разделяме времевия интервал от една година на 12 равни части и за всяка от точките, които са 13 на брой, определяме стойността на отклоненията по ректасцензия и деклинация. Първата и последната точка очакваме да съвпадат.

Таблицата с данните изглежда по следния начин:

N	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
1	0.07	-0.41
2	0.31	-0.31
3	0.47	-0.11
4	0.53	0.11
5	0.43	0.33
6	0.20	0.45
7	-0.10	0.44
8	-0.35	0.31
9	-0.50	0.10
10	-0.53	-0.11
11	-0.40	-0.32
12	-0.18	-0.42
13	0.09	-0.43

По тези относителни координати построяваме паралактичната елипса на милиметрова хартия в подходящ мащаб. Избраният мащаб е 200мм/mas. Внимателно прекарваме крива линия през точките, така че тя да опише елипса. Намираме приблизителното положение на голямата ос на елипсата. Измерваме я. Половината от голямата ос представлява паралакса на системата. Измерваме и получаваме за голямата ос 217 мм. Половината от нея е 108.5 мм. Използваме мащаба и пресмятаме паралакса на звездата $\pi'' = 0.54 \text{ mas} = 0''.00054$. Този паралакс отговаря на разстояние:

$$r = 1/\pi'' = 1850 \text{ pc}$$

За да определим орбиталния период на системата трябва да преброим колко обиколки прави черната дупка около общия център на масите за една година. Получаваме 65 оборота за 1 година. Следователно периодът на системата е 5.6 дни.

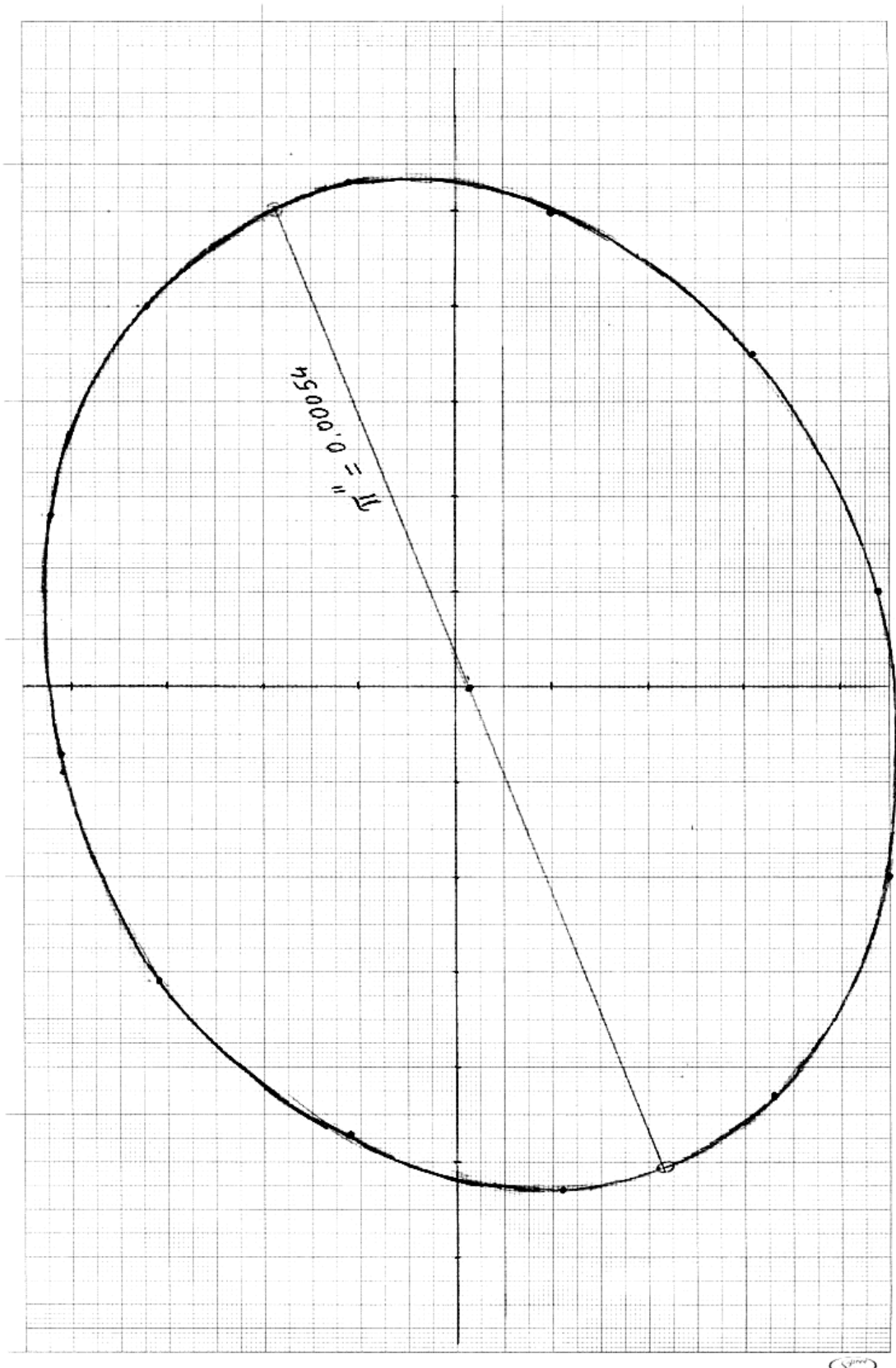
Радиуса на орбитата на черната дупка ще определим от амплитудата на късопериодичната съставяща на паралактичното отместване на черната дупка. Измерваме амплитудата на колебанията в направлението изток-запад, която е малко по-голяма от амплитудата в другото направление. Получаваме, че пълната амплитуда е 4мм, което отговаря на 0.133 mas. Следователно ъгловият размер на радиуса на орбитата вероятно е 0.0667 mas. Една астрономическа единица, на това разстояние, има ъглов размер равен на паралакса на системата, т.е. 0.54 mas. Разделяме ъгловия размер на радиуса на орбитата на ъгловия размер на една астрономическа единица и получаваме радиуса на орбитата на черната дупка в астрономически единици:

$$R = \frac{0.0667}{0.54} = 0.123AU = 18.4 \cdot 10^6 \text{ km}$$

Разбира се, поради липса на информация, не отчитаме наклона на орбитата на черната дупка към картинната плоскост, което води до занижаване на оценката за голямата полуос на орбитата.

Критерии за оценяване (общо 12 т.):

- За правилен подход към построяването на паралактичната елипса – 3 точки.*
- За качествено построяване на паралактичната елипса – 3 т.*
- За правилно определяне на паралакса на системата – 2 т.*
- За определяне на орбиталния период на системата – 2 т.*
- За определяне на вероятния радиус на орбитата на черната дупка – 2 т.*



Построяване на паралактичната елипса.

2 задача. Цефеида. Звездата δ Cephei е една от първите открити пулсиращи променливи звезда. От нея и съзвездието, в което тя се намира, е произлязло наименованието на цял основен тип подобни звезди, наречени цефеиди. Звездата има маса 4.5 слънчеви маси и радиус 44.5 слънчеви радиуса, а периодът, с който си изменя блясъка, е 5.37 дни. На Фиг. 2 е дадена кривата на блясъка на тази звезда. Лъчевата скорост, характеризираща движението на звездата като цяло в пространството, е -16.8 км/сек. На Фиг. 3 е дадена кривата на наблюдаваната лъчева скорост на звездата, която се изменя вследствие на нейното пулсиране.

Изказва се предположение, че след по-бурната фаза на разширение на звездата във всеки цикъл на пулсиране следва период на свободно падане на веществото в гравитационното поле на звездата.

- Проверете това предположение. Направете необходимите измервания и изчисления, за да аргументирате вашето заключение.

Решение:

Фазата на нарастване на лъчевата скорост върху диаграмата на Фиг. 3 съответства на интервала от време, когато разширението на звездата се забавя и после започва свиване с ускоряващи се темпове. Както се вижда от кривата, в този интервал лъчевата скорост расте по линеен закон. Това съответства на движение на външните слоеве към центъра на звездата с постоянно ускорение. От кривата ние може да определим това ускорение. Отсичаме праволинейния участък от фазата на нарастване на лъчевата скорост и определяме, че през този интервал тя е нарастнала с $\Delta v = 30$ км/с. А самият интервал е равен на 0.56 от фазата на изменение на параметрите на звездата. Като имаме предвид, че нейният период е 5.37 дни, намираме продължителността на интервала:

$$\Delta t = 0.56 \times 5.37^d \times 24^h \times 3600^s \approx 260000 \text{ sec}$$

За ускорението можем да напишем:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \approx 0.115 \text{ m/sec}^2$$

Нека сега да пресметнем ускорението на силата на тежестта на повърхността на звездата:

$$a_g = \frac{\gamma M}{R^2}$$

където γ е гравитационната константа, M е масата на звездата, а R е нейният радиус. Получаваме $a_g \approx 0.62 \text{ m/sec}^2$. Виждаме, че ускорението на силата на тежестта е значително по-голямо от ускорението, с което се движат свиващите се външни слоеве на звездата. Следователно движението на веществото в тях се определя предимно от други фактори, а не само от гравитацията и с положителност не може да се класифицира като свободно падане. Това означава, че предположението е неправилно.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

За правилни теоретични съображения по решаването на задачата – 3 точки.

За измервания и определяне на ускорението на движение на веществото – 2 т.

За правилен числен резултат – 1 т.

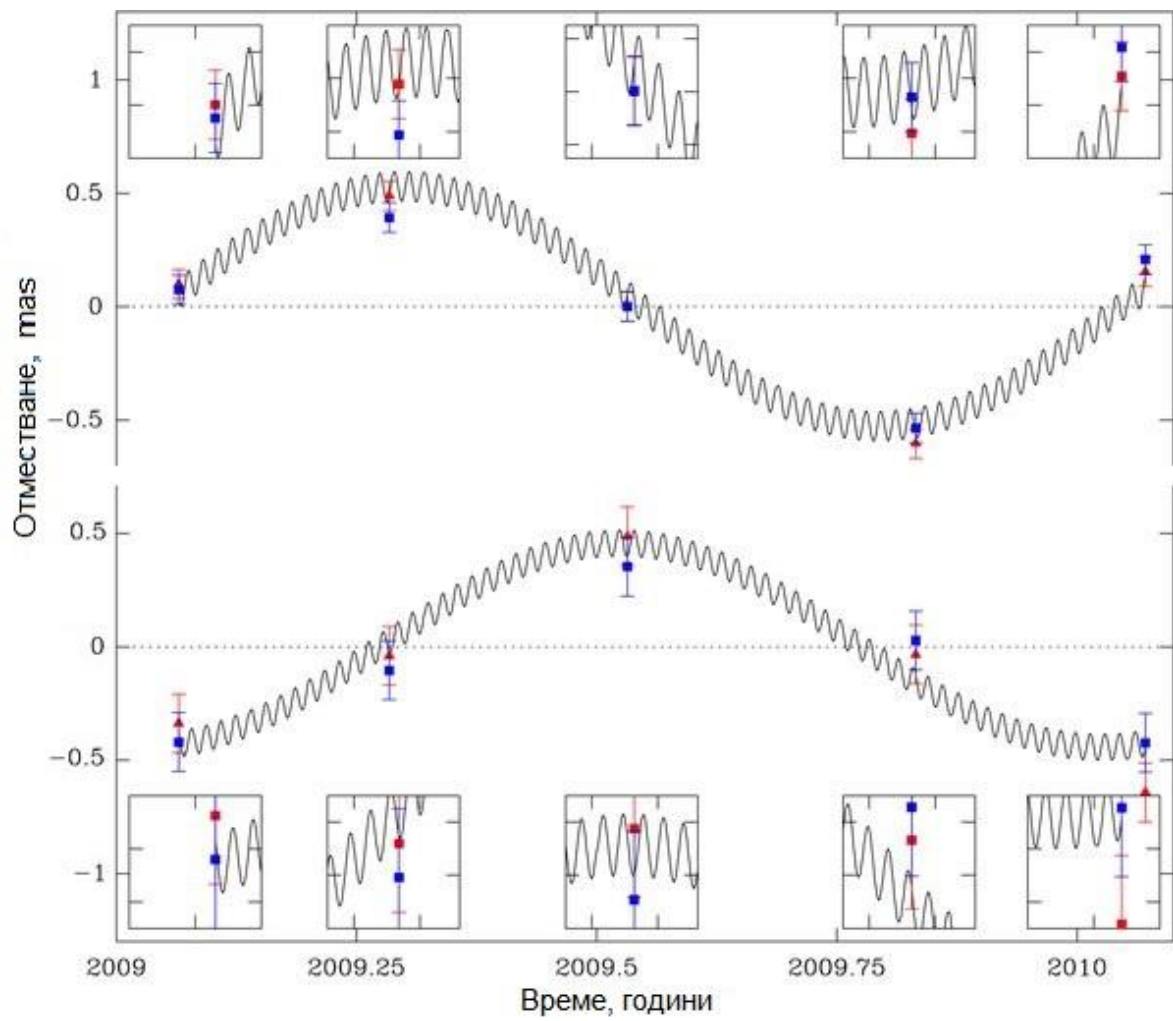
За определяне на гравитационното ускорение – 2 т.

За сравнение и заключение – 2 т.

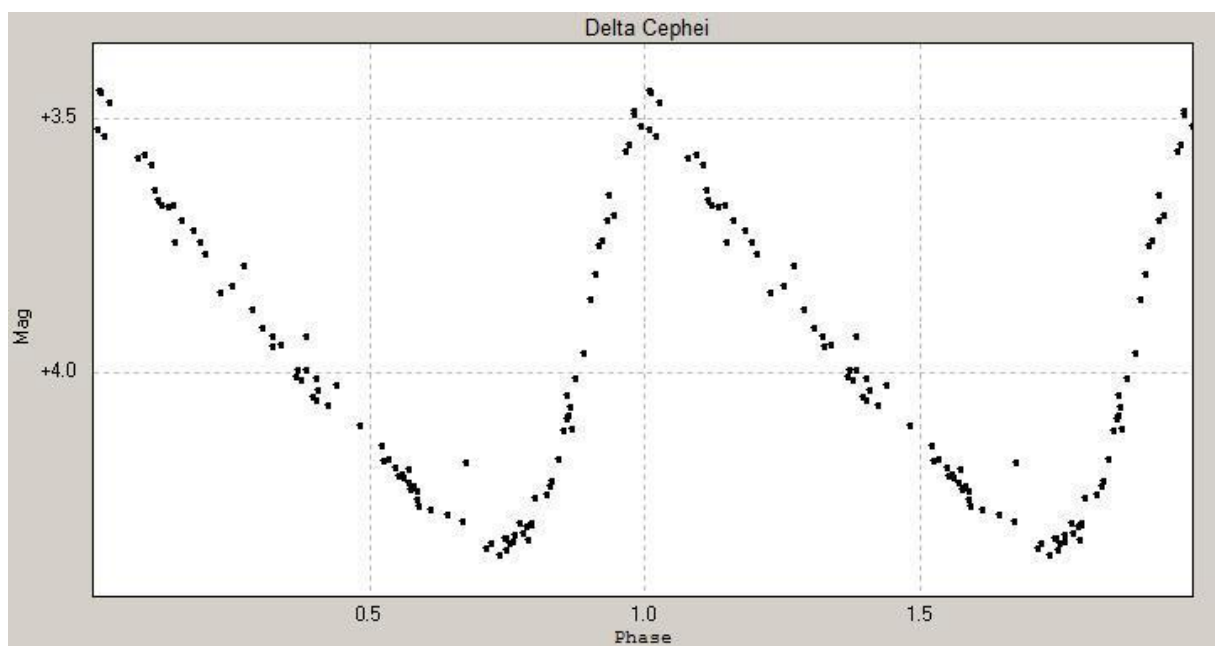
Справочни данни:

Маса на Слънцето 2×10^{30} кг

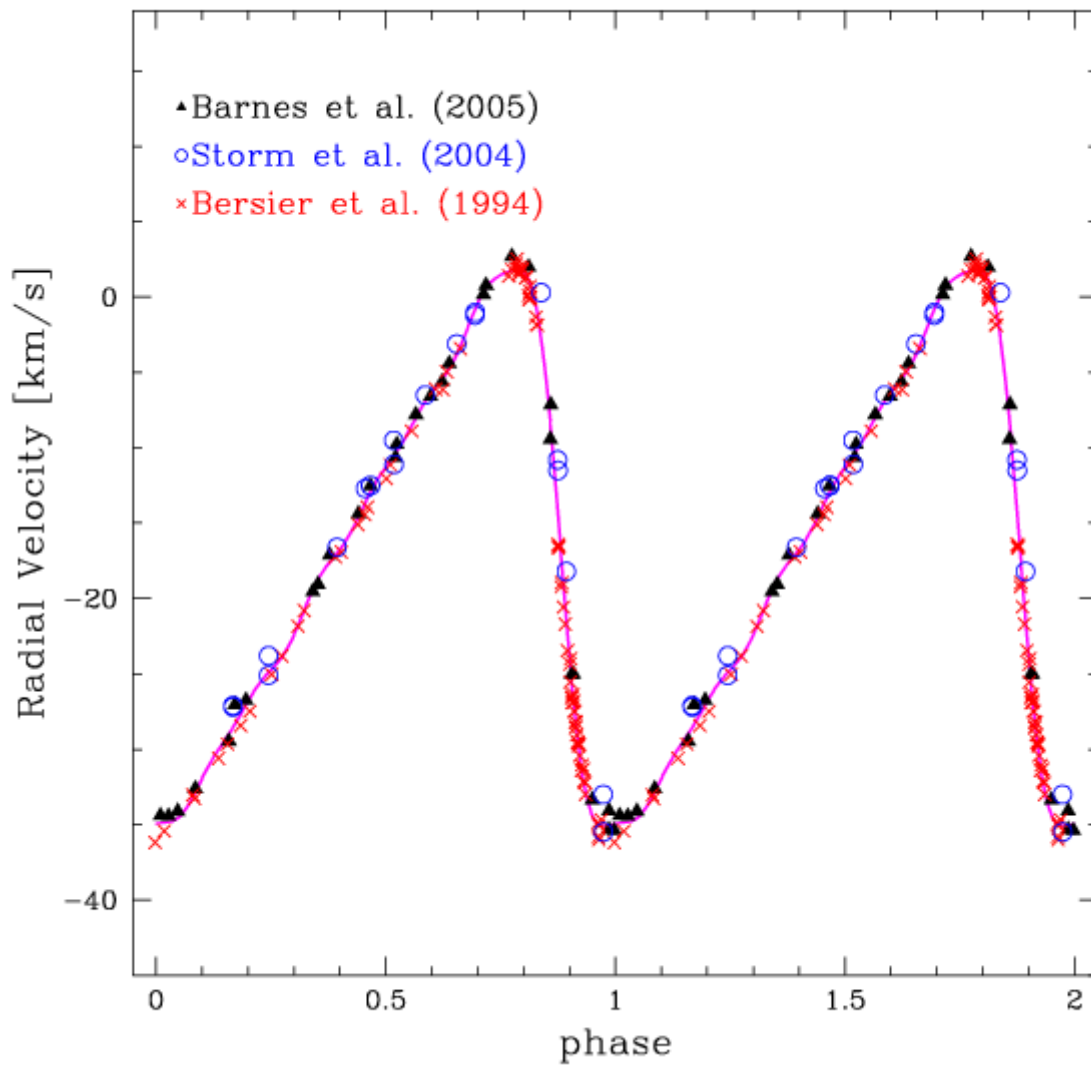
Радиус на Слънцето 700000 км



Фиг. 1. Паралактично и орбитално движение на радиоизточника Лебед X-1.



Фиг. 2. Крива на изменение на бляска на δ Сер.



Фиг. 3. Крива на изменение на радиалната скорост на δ Сер.