

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
КОМИСИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ОЛИМПИАДАТА ПО АСТРОНОМИЯ
XXVI НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ
<http://astro-olymp.org>

IV кръг
Практически тур, 15 юли 2023 г., гр. Варна

Младша възраст – решения

1 задача. Галактиката NGC 824.



Галактиката NGC 824 е пресечена спирална галактика с активно ядро, открита през 1837 г. от английския астроном Уилям Хершел в съзвездие Пещ. Талантливи астрономи от олимпийската младша възрастова група усилено изучават галактиката с бъдещия голям телескоп, монтиран в село Звездица покрай гората в края на улица „Персей“.

Получен е спектър на галактиката. Най-силната емисионна линия в него е линията на двукратно йонизирания кислород OIII с лабораторна дължина на вълната 5007 ангстрьома.

- А) Направете необходимите измервания по спектъра и определете разстоянието до галактиката. Константата на Хъбъл е 70 km/s/Mpc (километри в секунда на мегапарсек).
- Б) Използвайте негативното изображение на галактиката и определете приблизително нейния диаметър в парсеци и в светлинни години (1 pc = 3.26 ly). Видимото ъглово разстояние между звездите, означени с 1 и 2, е 142" (дъгови секунди). Отговорете качествено дали тази галактика е по-голяма или по-малка по размер от нашата галактика.
- В) Определете приблизително до какво разстояние от центъра се простира удължението на ядрото на галактиката, наричано „бар“.

Решение:

Определяме мащаба на скалата на дължините на вълните в спектъра на галактиката. Измерваме отместването на позицията на спектралната линия на кислорода OIII от отметката за 5000 ангстрьома и получаваме около 3.5 nm. По случайност тази отметка е много близка до лабораторната дължина на вълната за линията на OIII. Важно е да определим именно това малко отместване. По-нататък, като използваме мащаба и лабораторната дължина на вълната $\lambda_0 = 5007$ ангстрьома, получаваме за отместването на наблюдаваната дължина на вълната:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 \approx 98.52 \text{ ангстрьома}$$

След това намираме червеното отместване на линията:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \approx 0.0197$$

Ако $c = 300\,000$ km/s е скоростта на светлината, то за скоростта на отдалечаване на галактиката намираме:

$$v = cz \approx 5903 \text{ km/s}$$

Разстоянието до галактиката определяме от закона на Хъбъл:

$$r = \frac{v}{H} \approx 84.33 \text{ Мpc} \approx 274.9 \times 10^6 \text{ ly} \approx 275 \times 10^6 \text{ ly}$$

Тук H е константата на Хъбъл.

Върху изображението на галактиката измерваме разстоянието между звездите 1 и 2, което се оказва около 99.5 mm. От него определяме мащаба на снимката. За да определим размера на галактиката, правим няколко измервания, като ориентираме линейката в различни направления, усредняваме и получаваме около 55 mm (Възможно е при измерването да се получи размер около 60 mm). Измерваме също и цялата дължина на бара на галактиката. Разстоянието от центъра на галактиката до краищата на бара ще бъде половината от общата му дължина. За нея получаваме около 9.5 mm. Като използваме мащаба на снимката, намираме видимия ъглов размер на галактиката и видимото ъглово разстояние от центъра на галактиката до единия край на бара, съответно:

$$\Delta \approx 78.5''$$

$$\delta \approx 13.6''$$

Като използваме полученото от нас разстояние до галактиката, определяме нейния линеен размер и разстоянието, до което се простира барът от центъра на галактиката:

$$D = \frac{r\Delta}{206265} \approx 32\,000 \text{ pc} \approx 105\,000 \text{ ly}$$

$$d = \frac{r\delta}{206265} \approx 5560 \text{ pc} \approx 18\,000 \text{ ly}$$

Тъй като даденият спектър не позволява много точно определяне на червеното отместване на галактиката, то при измерванията могат да се получат стойности за разстоянието до нея, които варират в известни граници. В резултат от това, както и поради размитите граници на изображението на галактиката, получените стойности за нейния размер също ще варират в съществени граници за решенията на различните участници в олимпиадата. Тъй като диаметърът на нашата галактика се оценява на около 100 000 ly, то може да се каже единствено, че галактиката NGC 824 е сравнима по размери с нашата галактика или дори е малко по-голяма.

Ева Божурова

Критерии за оценяване (общо 20 т.):

За определяне на мащаба на скалата на спектъра – 2 т.

За измерване и определяне на наблюдавана дължина на вълната на линията на кислорода OIII – 3 т.

За пресмятане на разстоянието до галактиката – 5 т.

За определяне на мащаба на изображението на галактиката – 2 т.

За измерване и пресмятане на размера на галактиката – 4 т.

За измерване и пресмятане на полудължината на бара – 2 т.

За сравнение между размерите на галактиката NGC 824 и Млечния път – 2 т.

2 задача. Неизвестен обект.

В таблицата по-долу е дадена информация за геоцентричната лъчева скорост на един обект от Слънчевата система (времето се измерва в дни, а нулевият момент е произволно избран).

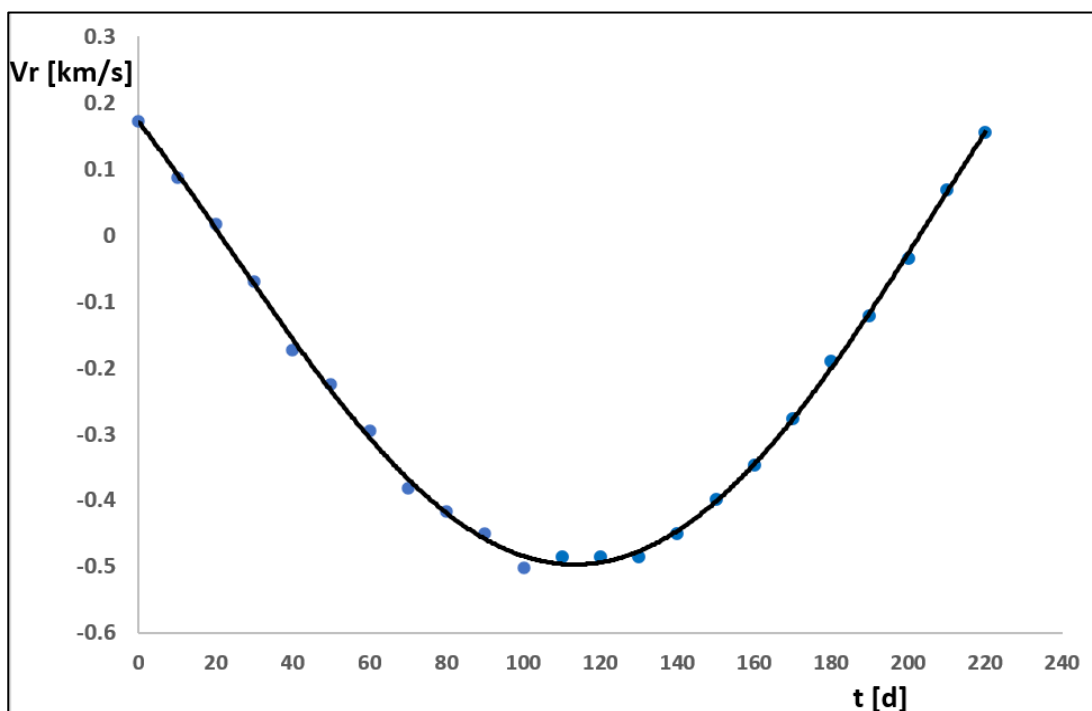
- А) Начертайте графика, която показва изменението на лъчевата скорост на обекта с времето.
- Б) Намерете в кои моменти от време тази лъчева скорост е равна на 0.
- В) Намерете в кой момент лъчевата скорост на обекта е минимална.
- Г) Намерете разликата между максималното и минималното разстояние между обекта и центъра на Земята.
- Д) Кой би могъл да е този обект?

Геоцентрична лъчева скорост на обект от Слънчевата система

време [d]	V_r [km/s]	време [d]	V_r [km/s]
0	0.173	110	-0.485
10	0.087	120	-0.485
20	0.017	130	-0.485
30	-0.069	140	-0.45
40	-0.173	150	-0.398
50	-0.225	160	-0.346
60	-0.294	170	-0.277
70	-0.381	180	-0.19
80	-0.416	190	-0.121
90	-0.45	200	-0.035
100	-0.502	210	0.069
		220	0.156

Решение:

а) На милиметровата хартия начертаваме следната графика, използвайки предоставените ни данни:



Прекарваме плавна крива през точките.

б) Начертаваме хоризонтална права линия, съответстваща на лъчева скорост, равна на 0. Намираме, че тя пресича прекараната от нас крива в моментите 22 d и 203 d.

в) Използвайки метода на хордите, можем да намерим, че лъчевата скорост е минимална в момента, съответстващ на 106 d.

г) По дефиниция, лъчевата скорост представлява проекцията на скоростта по лъча на зрение между обекта и наблюдателя. Тази скорост е всъщност, промяната на разстоянието обект-наблюдател за единица време. Поради това, моментите, в които лъчевата скорост на обекта е равна на 0 са моментите, в които разстоянието е максимално или минимално. *Максимумът на разстоянието се достига в първия момент, в който V_r е 0, защото тогава лъчевата скорост от положителна става отрицателна, т.е. разстоянието спира да расте и започва да намалява. Аналогично, минималното разстояние е във втория момент, в който лъчевата скорост е 0. Това не се изисква да бъде написано в решението на ученика.*

За да намерим разликата между максималното и минималното разстояние, трябва да намерим площта, която се загражда под графиката на лъчевата скорост, между двата момента, в които тя е 0. Разбира се, това е сложна математическа процедура и не можем да направим това точно, дори само защото не знаем аналитично как тя се променя с времето. Затова можем да намерим площта приблизително, използвайки следния метод:

- Умножаваме всяка една от дадените ни стойности на лъчевата скорост по интервала от време между две измервания (той е постоянен – 10 денонощия). По този начин ние намираме приблизително промяната на разстоянието между обекта и наблюдателя за този интервал от време, предполагайки, че скоростта остава постоянна за това време.
- Извършваме тази процедура за всички 17 интервала, за които лъчевата скорост остава отрицателна.
- Събираме всички получени изменения на разстоянието и получаваме общата промяна на разстоянието обект-наблюдател, за целия интервал през който лъчевата скорост е по-малка от 0.

Резултатите от умножението са дадени в таблицата. Сумирайки всички промени в разстоянието до обекта, получаваме почти точно 5 млн km. *Това подусловие може да се реши и чрез директно, но приближено намиране на площта под кривата на лъчевата скорост, т.е. преброяване на квадратчетата под тази крива. Независимо от начина на решаване, ако той е принципно верен, изпълнен правилно и се получава разумна стойност, следва да се присъди максималният брой точки.*

д) Обектът би могъл да бъде нашето Слънце. Това е така, защото намерената разлика между минималното и максималното разстояние до него почти точно съответства на разликата между перихелийното и афелийното

номер на интервал	V_r [km/s]	Δr [km]
1	-0.069	-59616
2	-0.173	-149472
3	-0.225	-194400
4	-0.294	-254016
5	-0.381	-329184
6	-0.416	-359424
7	-0.45	-388800
8	-0.502	-433728
9	-0.485	-419040
10	-0.485	-419040
11	-0.485	-419040
12	-0.45	-388800
13	-0.398	-343872
14	-0.346	-298944
15	-0.277	-239328
16	-0.19	-164160
17	-0.121	-104544
18	-0.035	-30240

разстояние по земната орбита. Допълнителен аргумент е фактът, че интервалът от време между моментите в които разстоянието е максимално и минимално е приблизително 180 денонощия или половин година. *Разбира се, това е само един от възможните отговори. Всякакви други добре аргументирани отговори би следвало да бъдат оценявани.*

Никола Каравасилев

Критерии за оценяване (общо 20 т.):

А) – 4т.

За добре построена графика: всички точки са поставени на точните си места, осите са разграфени и оразмерени правилно, използвани са поне 2/3 от листа милиметрова хартия, през точките е прекарана плавна крива – 4т.

Б) – 2т.

За намиране на моментите, в които лъчевата скорост е 0 (с допустимо отклонение $\pm 2d$) – 2т.

В) – 2т.

За намиране на момента, в който лъчевата скорост е минимална, чрез метод на хордите (с допустимо отклонение $\pm 2d$) – 2т.

Г) – 10т.

За разбиране, че в моментите, в които лъчевата скорост е 0, разстоянието до обекта е минимално или максимално – 2т.

За правилна идея за намиране на разликата между минималното и максималното разстояние – 3т.

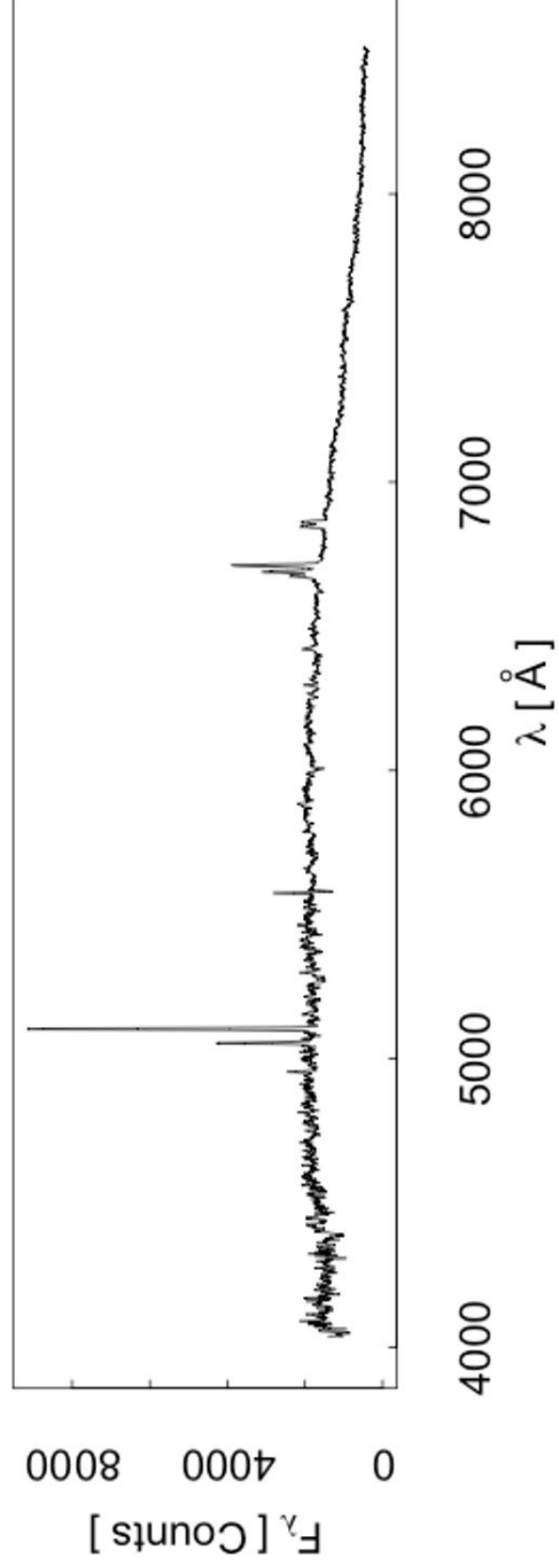
За правилно прилагане на метода за намиране на тази разлика – 3т.

За получена достоверна стойност на разликата ($\pm 0,5$ млн km) – 2т.

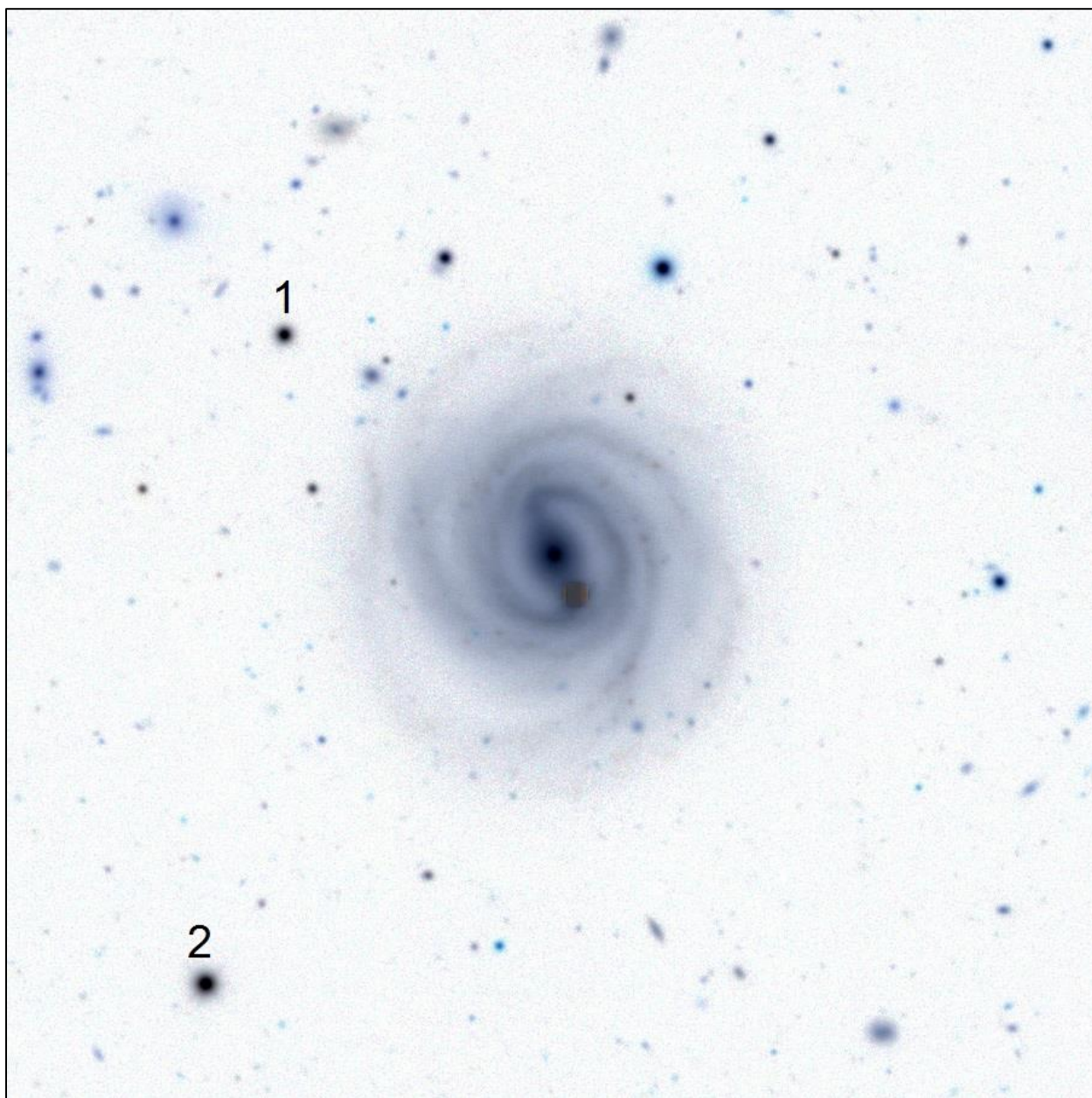
Д) – 2т.

За правилен отговор, че това може да е Слънцето, и вярна аргументация – 2т.

(Максималният брой точки на това подусловие следва да бъде присъден дори ако е посочен друг отговор, но е дадена достатъчно убедителна и пълна аргументация.)



Спектър на галактиката NGC 824



Негативно изображение на галактиката NGC 824. Ъгловото разстояние между звездите 1 и 2 е равно на $142''$.