

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
КОМИСИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ОЛИМПИАДАТА ПО АСТРОНОМИЯ

XIX НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ
<http://astro-olymp.org>

IV кръг, 13 юли 2016 г., х. Бузлуджа, практически тур

Старша възраст – решения

1 задача. Геминиди. Пред вас е фотография (негативно изображение), получена чрез наслагване на множество кадри в нощта на максимална активност на метеорния поток Геминиди – 14/15 декември.

- Направете необходимите построения върху снимката и определете положението на радианта на метеорния поток. Имайте предвид, че радиантът на един метеорен поток не представлява точка, а малка област, тъй като траекториите на метеорните частици, врязващи се в земната атмосфера, не могат да бъдат идеално успоредни.

- Използвайте предоставената ви звездна карта, за да определите приблизително екваториалните координати на радианта – ректасцензия и деклинация.

- Както виждате, радиантът на метеорния поток Геминиди се намира близо до еклиптиката. Нека пренебрегнем отстоянието на радианта от еклиптиката. Метеорните частици от роя на Геминидите имат геоцентрична скорост – скорост на движение относно Земята – 35 км/сек. Начертайте схема със Слънцето, земната орбита около него и положението на Земята върху нея в нощта на максимална активност на Геминидите. Отбележете посоката към радианта на Геминидите.

- Определете графично по схемата посоката и големината на хелиоцентричната скорост (скоростта относно Слънцето) на метеорните частици от роя на Геминидите в момента на срещата им със Земята.

Решение:

Посторояваме продълженията назад на известен брой метеори и получаваме областта радианта на Геминидите. Тя отстои съвсем малко на запад от звездата Кастор от съзвездието Близнаци (Gemini). По-точно, радиантът на Геминидите се намира съвсем близо до звездата ρ Gem. Нанасяме приблизително положението на радианта върху звездната карта и като използваме нейната координатна мрежа, чрез измервания и определяне на мащаби намираме приблизително координатите на радианта:

$$\alpha \approx 7^h 20^m \quad \delta \approx 32^\circ$$

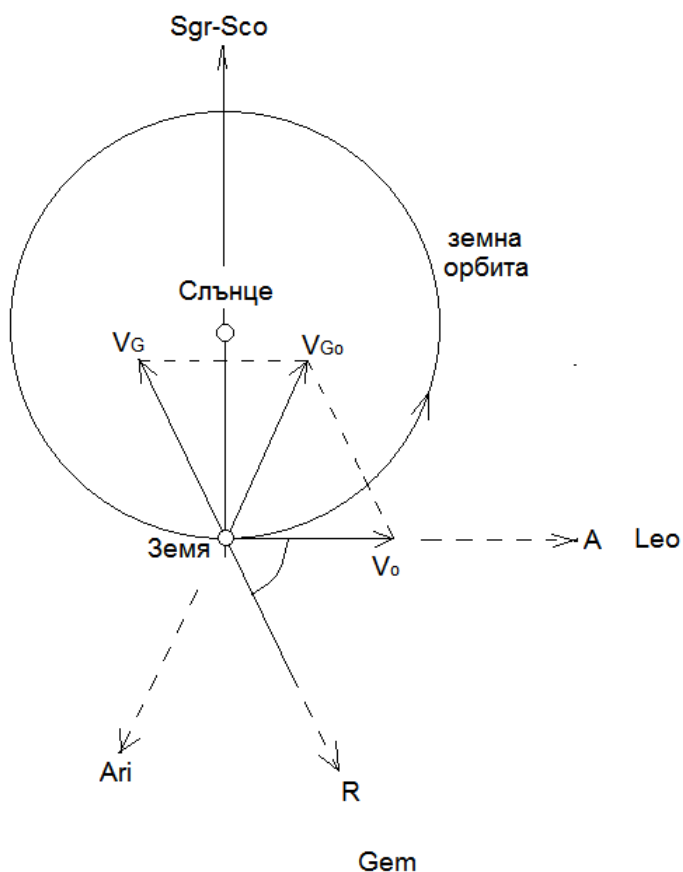
Получените от нас стойности се оказват много близки до координатите, определени от астрономите ($\alpha \approx 7^h 28^m$, $\delta \approx 32^\circ$).

По външната окръжност на звездната карта са нанесени датите от годината. Названията на месеците липсват, но ние много лесно можем да ги възстановим, като вземем предвид пресечните точки на еклиптиката и небесния екватор – пролетната и есенната равноденствени точки. Определяме местоположенията на датата на зимното слънцестояние и после датата 14 декември, когато Геминидите имат максимална активност. Нека определим положението на Слънцето върху еклиптиката на тази дата. За целта прекарваме права от северния небесен полюс, отбелязана на картата с Р, до позицията на датата 14 декември. Пресечната точка на тази права с еклиптиката определя положението на Слънцето S. На пръв поглед по-добре би било да начертаем тази права линия, започвайки не от северния небесен полюс, а от северния еклиптичен полюс, тъй като точката Р не е център на еклиптиката. Но картата е в такава проекция, че частта от еклиптиката в северната небесна полусфера е със свит мащаб, а частта от еклиптиката в южната небесна полусфера е със значително разтегнат мащаб. Така че, когато определяме положението на Слънцето по еклиптиката посредством права,

идваща от северния небесен полюс Р, ние допускаме по-малка грешка. Слънцето се оказва в съзвездието Змиеносец.

Да наречем апекс на Земята точката от небесната сфера, към която е насочено орбиталното движение на нашата планета в даден момент. Земята обикаля около Слънцето в същата посока, в която се върти около себе си. Следователно апексът на Земята ще е на 90° западно от посоката към Слънцето. Отбелязваме апекса на Земята с точка А на картата. Тя се оказва на границата на съзвездията Лъв и Дева. С точка R отбелязваме положението на радианта на Геминидите. Измерваме върху картата ъгъла APR. Той е приблизително равен на 65° .

Начертаваме схема на разположението на Слънцето, Земята и посоката, от която към нас летят метеорните частици от роя на Геминидите – посоката към радианта.



Посоките към апекса на Земята А и към радианта на Геминидите R сключват ъгъл 65° помежду си. Означаваме орбиталната скорост на Земята с v_o , а скоростта на метеорните частици от роя на Геминидите относно Земята с v_G . Скоростите са изобразени чрез вектори с подходящ мащаб на дължините им в милиметри, който съответства на големините на скоростите. Построяваме вектора $\vec{v}_{Go}$ така че да е изпълнено равенството:

$$\vec{v}_G = \vec{v}_{Go} - \vec{v}_o$$

При графичното решение на задачата можем да измерим дължината на вектора $\vec{v}_{Go}$ и тя се оказва приблизително равна на тази на вектора $\vec{v}_G$. По големина скоростта на частиците от роя на Геминидите относно Слънцето също е приблизително равна на 35 км/сек.

Но по посока тази скорост е различна. Измерването показва, че тя сключва ъгъл около 50° с относителната скорост на Геминидите спрямо Земята. За наблюдател на Слънцето радиантът на същия метеорен рой би се намирал в съзвездието Овен.

Вместо графичното решение можем да използваме косинусовата теорема и отново да получим същия резултат:

$$v_{Go} = \sqrt{v_o^2 + v_G^2 - 2v_o v_G \cos 65^\circ}$$

$$v_{Go} \approx 35 \text{ км/сек}$$

Ъгълът между векторите на земната орбитална скорост и скоростта на Геминидите относно Слънцето (хелиоцентричната скорост) може да се определи с помощта на синусовата теорема, приложена към същия триъгълник от скорости.

Критерии за оценяване (общо 20 т.):

За получаване на радианта на потока върху снимката – 4 т.

За сравняване с картата и определяне на координатите му – 2 т.

За посторения върху звездната карта и разсъждения с цел начертаването на схемата с орбитата на Земята – 3 т.

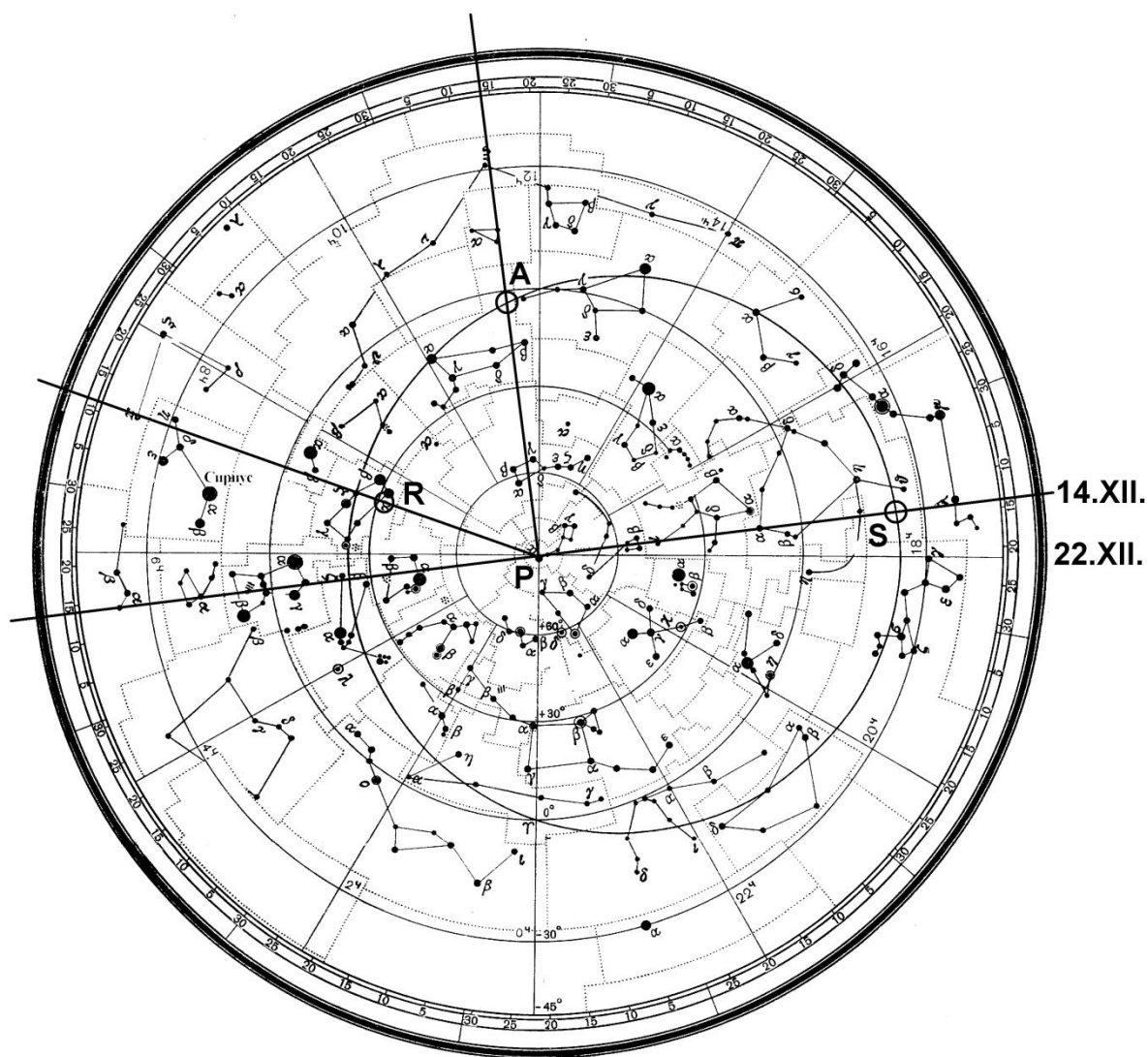
За правилно построяване на схемата – 3 т.

За правилен метод за определяне на хелиоцентричната скорост – 2 т.

За практическо изпълнение на метода чрез измервания и пресмятания – 3 т.

За правилен резултат за големината и посоката на геоцентричната скорост на Геминидите – 3 т.

Определянето на големината и посоката на хелиоцентричната скорост чрез тригонометрични пресмятания, вместо с графичен метод, да се смята за равностойно по качество решение.



Построения към звездна карта към решението на задача 1.

2 задача. Куп от галактики Дева. В таблицата разполагате с данни за разстоянията и лъчевите скорости относно Млечния път на 30 галактики. Някои от тях са членове на купа от галактики в съзвездието Дева (Virgo cluster), който е един от най-големите ни известни купове.

• А) Изобразете графично зависимостта между лъчевата скорост и разстоянието за дадените галактики.

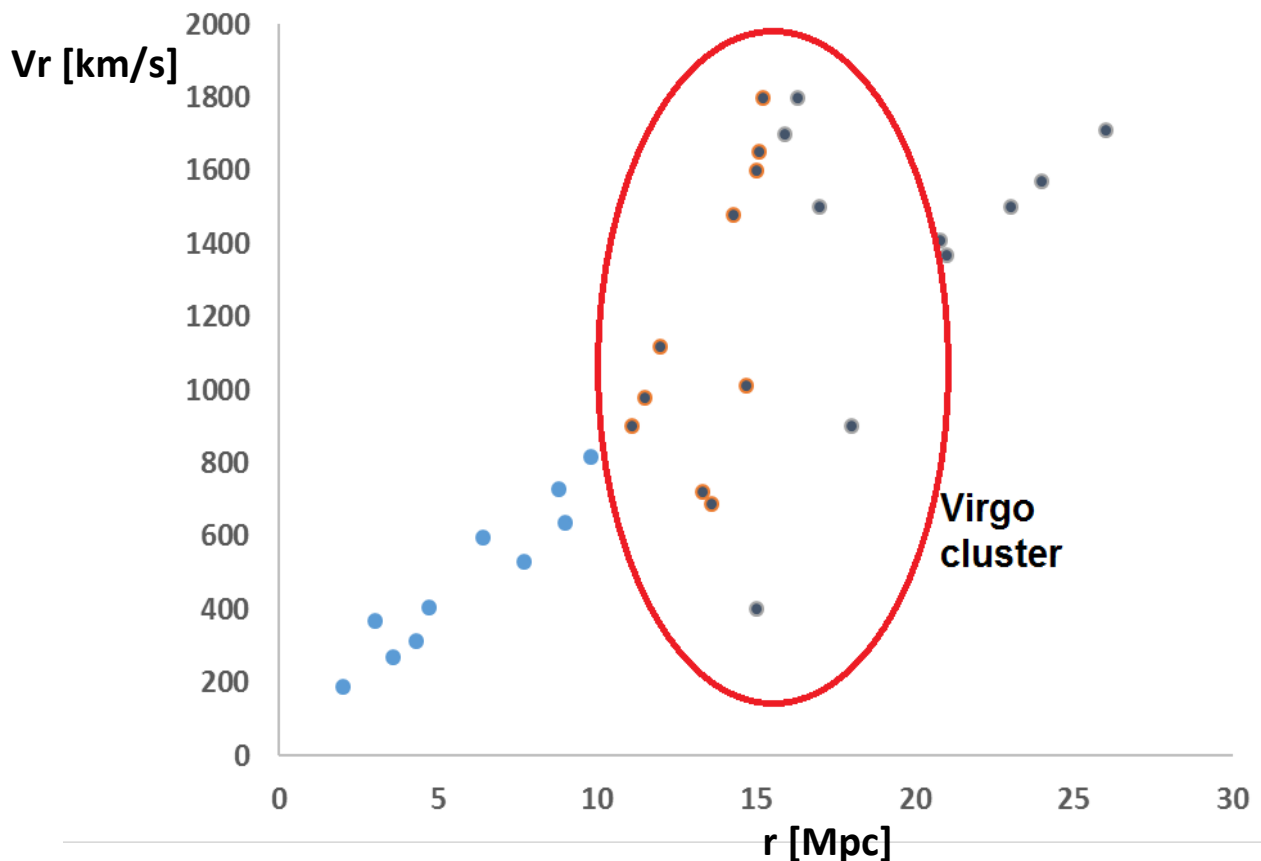
• Б) Върху получената диаграма означете областта, заемана от галактиките, които са членове на купа в Дева. Обяснете Вашето решение.

• В) Използвайки получената диаграма, оценете константата на Хъбъл, а също така и масата на купа в Дева.

№	r [Mpc]	Vr [km/s]	№	r [Mpc]	Vr [km/s]	№	r [Mpc]	Vr [km/s]
1	2	190	11	11,1	900	21	15	400
2	3	370	12	11,5	979	22	15,9	1700
3	3,6	268	13	12	1120	23	16,3	1800
4	4,3	315	14	13,3	720	24	17	1500
5	4,7	407	15	13,6	690	25	18	900
6	6,4	598	16	14,7	1010	26	20,8	1410
7	7,7	531	17	14,3	1480	27	21	1370
8	8,8	729	18	15	1600	28	23	1500
9	9	638	19	15,1	1650	29	24	1570
10	9,8	816	20	15,2	1800	30	26	1710

Решение:

А) На милиметровата хартия начертаваме графика, която показва как се променя лъчевата скорост на галактиките, относно Млечния път, като функция на разстоянието до тях.



Б) Ако всички галактики в таблицата бяха несвързани гравитационно, то техните лъчево скорости, относно Млечния път, би трябвало да удовлетворяват закона на Хъбъл. Според този закон, скоростта (V_r), с която две галактики се раздалечат поради разширението на Вселената, зависи от разстоянието (r) по следния начин:

$$V_r = H \cdot r,$$

където H е константата на Хъбъл.

Оттук следва, че графиката, която изобразява зависимостта между V_r и r , би трябвало да е права линия с наклон H . Виждаме, че получената от нас графика може да бъде апроксимирана с линейна зависимост за разстояния от 0 до 11 Мпс, а също така и за такива, които са по-големи от 21 Мпс. Това означава, че за тях е изпълнен законът на Хъбъл.

Между 11 и 21 Мpc лъчевите скорости значително се отклоняват от тази права линия, като някои имат по-ниски, а други по-високи скорости. Можем да кажем, че именно в тази област от графиката се намира и купът в Дева, защото в него галактиките се движат около общия център на масите, като техните скорости имат най-различни посоки.

Оттук можем да определим, че радиусът на купа (половината от размера на областта в която има галактики, които се отклоняват значително от закона на Хъбъл) е $R \approx 5 \text{ Мpc}$.

В) Можем да намерим константата на Хъбъл, начертавайки правата, която най-добре апроксимира галактиките, които са на разстояние между 0 и 11 Мpc от нас, защото както вече споменахме, за тях е в сила законът на Хъбъл. Забелязваме, че те добре се апроксимират по същата права, близо до която лежат и галактиките, разположени на разстояние по-голямо от 21 Мpc.

След като начертаем правата, ние трябва да определим нейния наклон (ъглов коефициент, градиент...). Това правим, като избираме две точки, които лежат на нея, и измерваме техните координати. Такива точки са например: (5 Мpc; 440 km/s) и (25 Мpc; 1700 km/s).

Забележка: Препоръчително е да се изберат две точки, които са максимално далечни. Така се измерват максимално дълги отсечки и грешката, която се внася при измерването, се свежда до минимум.

Наклонът определяме като разделим промяната на лъчевата скорост на изменението на разстоянието. Този наклон е числено равен на търсената константа на Хъбъл. Като резултат получаваме:

$$H = \frac{(1700 - 440) \text{ km/s}}{(25 - 5) \text{ Мpc}} = 63 \frac{\text{km/s}}{\text{Мpc}}$$

Масата на купа можем да определим като измерим скоростта V , с която се движат относно центъра на купа най-далечните галактики. Премаме, че центърът на купа, спрямо нас, има скорост, която се определя от закона на Хъбъл, т.е. той може да бъде поставен върху правата, която начертахме. За да намерим V , измерваме максималното отклонение на скорост на галактика от правата, която описва закона на Хъбъл. Получаваме: $V \approx 600 \text{ km/s}$.

Можем да приемем, че това е кръговата скорост с която се движи галактика, намираща се в периферията на купа. Следователно, ако M е търсената маса, то можем да запишем:

$$V = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$$

Следователно:

$$M = \frac{V^2 \cdot R}{G} \approx 4 \cdot 10^{14} M_{\text{Сл.}}$$

Критерии за оценяване (20т.):

А) Начертаване на графика – 5т.

Б) Отговор с вярно обяснение за това къде по диаграмата са разположени галактиките, членове на купа – 5т.

В) - За правилен метод за намиране на константата на Хъбъл и верен числен резултат – 5т.

- За правилен метод за намиране на масата на купа и правдоподобен числен отговор – 5т.



