

**МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА**  
**XXI НАЦИОНАЛНА ОЛИМПИАДА ПО АСТРОНОМИЯ**

**Общински кръг на олимпиадата по астрономия**  
**2017 – 2018 учебна година**  
**Възрастова група XI-XII клас – решения**

**1 задача. Луна и пингвинче.** На рисунката виждате малко пингвинче, застанало върху леда.

- А) Нарисувайте приблизително как ще изглежда за пингвинчето фазата на Луната след една седмица.
- Б) Разгледайте внимателно лунното изображение. Сравнете го със снимки на Луната. Проучете някои лунни карти. Може ли някога едно антарктическо пингвинче да вижда Луната, разположена по този начин?
- В) Приблизително в каква посока се вижда Луната?



**Решение:**

Луната очевидно е в пълнолуние. След една седмица тя ще бъде във фаза приблизително последна четвърт. Тогава тя ще изглежда като полукръг, обърнат с изпъкналата си страна на изток. Ние живеем в северното полукълбо и за нас Луната в такава фаза се вижда с изпъкналата си част наляво:



Пингвинчето, обаче, живее в южното полукълбо и за него Луната ще се вижда обърната на обратно:



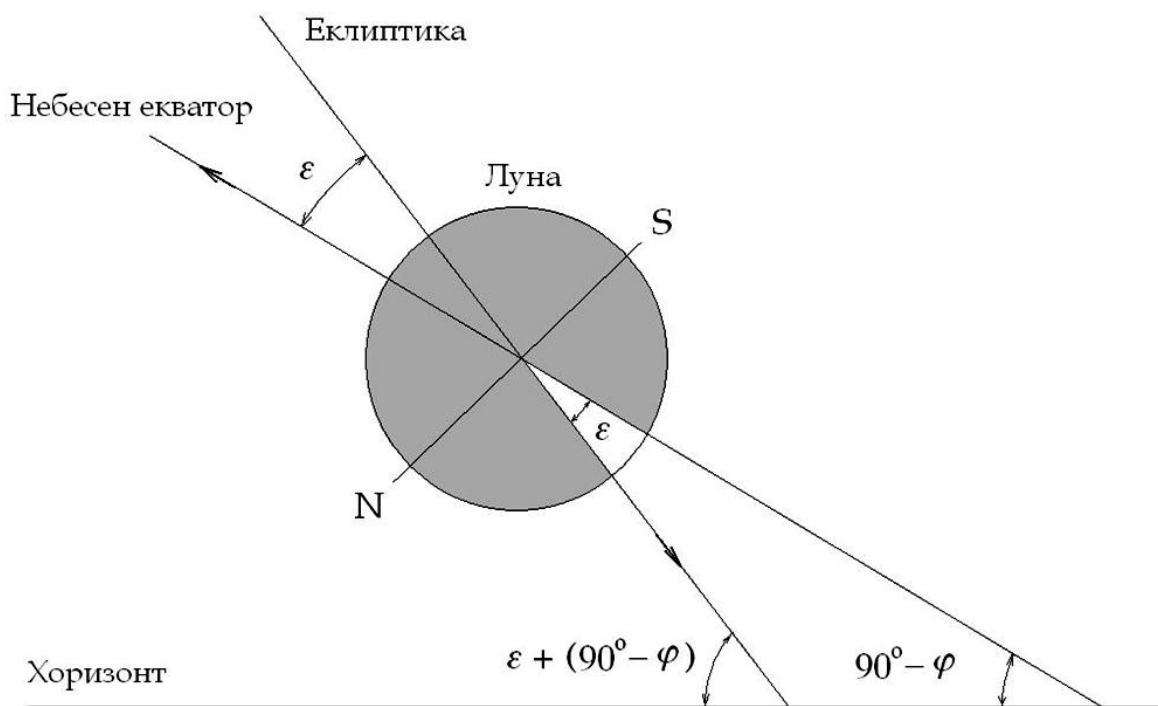
На следващата фигура е показана Луната в пълнолуние, като са означени нейният северен и южен полюс, някои морета, Океанът на бурите и кратерът Тихо за общи ориентери.



Сравняваме тази фигура с изображението на Луната на картинката с пингвинчето и отбелязваме приблизително ориентацията на лунната ос. Вижда се, че северният полюс на Луната е от долната страна, както и трябва да бъде за наблюдател от южното полукълбо.



Ние гледаме към пингвинчето от страни, дори леко отгоре. Това, че Луната се вижда непосредствено над него означава, че тя е много ниско, почти на хоризонта. Измерваме с транспортир и намираме, че оста на Луната сключва с хоризонта ъгъл около  $40^\circ$ . Оста на Луната е почти перпендикулярна на равнината на еклиптиката. Следователно еклиптиката сключва с хоризонта ъгъл около  $50^\circ$ . Нека Луната се намира близо до една от равноденствените точки. Тогава наклонът на оста на Луната ще се определя не само от географската ширина, но и от ъгъла между небесния екватор и еклиптиката. На снимката виждаме, че северният полюс на Луната е насочен наляво и надолу. Това е възможно само ако Луната е ниско над източния хоризонт. Ако тя е близо до пролетната равноденствена точка, то тогава ъгълът, който сключва лунният екватор, а следователно и еклиптиката с хоризонта, е равна на  $\theta = \varepsilon + (90 - \varphi) = 50^\circ$ , както се вижда от схемата по-долу и както следва от измерванията по картинката.



Решаваме това уравнение относно  $\varphi$  и получаваме  $\varphi = 90^\circ - 50^\circ + \varepsilon = 40^\circ + 23^\circ.5 = 63^\circ.5$ . Следователно Луната може да бъде видяна по този начин от точка с южна географска ширина, равна на  $63^\circ.5$ .

По-голямата част от крайбрежието на Антарктида е на юг от южната полярна окръжност или почти съвпада с нея. Само Антарктическият полуостров се проточва на няколко градуса на север от полярната окръжност като достига до около  $63^\circ$  южна ширина. За да види Луната по този начин пингвинчето трябва да се намира в най-северната част на Антарктическият полуостров.

Както вече определихме, Луната се намира ниско над източния хоризонт, т.е. тя се вижда в посока изток.

#### Критерии за оценяване (общо 10 т.):

*За определяне на правилната лунна фаза след една седмица – 2 т.*

*За правилна схематична рисунка на тази фаза – 2 т.*

*За отчитане, че от южното полукълбо Луната ще се вижда на обратно – 1 т.*

*За свързване на видимото разположение на лунните морета с факта, че пингвинът наблюдател се намира в южното полукълбо – 1 т.*

*За правилен начин на разсъждение относно връзката между видимата ориентация на лунната ос и разположението на наблюдателя върху Земята – 2 т.*

*За намиране на информация къде на антарктическия континент може да се намира наблюдателят – 1 т.*

*За правилен краен извод – 1 т.*

*За правилен отговор относно посоката – 1 т.*

**2 задача. Спиралните ръкави на Млечния път.** В голямата галактика в съзвездието Андромеда, която е съсед на нашата Галактика, е твърде вероятно вече да е възникнал разумен живот и някои тамошни астрономи да са се заели с изучаването на Млечния път, с надеждата да открият следи от извънандромедиански цивилизации. Изследванията включват изучаване на спиралната структура на нашата Галактика. Ние знаем, че Слънцето се намира на около 8 крс от центъра на Галактиката и се движи около него със скорост 220 km/s. Известно е, че на това разстояние, наречено радиус на коротация, ъгловата скорост на движение на звездите, при обикалянето им около центъра на Галактиката, е близка до ъгловата скорост на въртене на спиралните ръкави в Галактиката. Спиралните ръкави представляват вълни на плътността, които се разпространяват в диска на Галактиката и които предизвикват струпване на облаците от прах и газ и, вследствие на това, активно звездообразуване в тези области.

- Каква трябва да е разделителната способност на телескопите на астрономите от М31, за да могат те за 10 години да забележат въртенето на спиралните ръкави от нашата Галактика? Сравнете я с разделителната способност на подходящи телескопи, с които разполагат земните астрономи.

Приемете, че всички участъци от спиралните ръкави се движат с една и съща ъглова скорост.

### **Решение:**

Щом ъгловата скорост на спиралните ръкави е еднаква по цялата им дължина, с най-голяма линейна скорост ще се движат участъците от спиралните ръкави, които са в периферията на нашата Галактика. Затова тяхното движение ще е най-лесно да се забележи от наблюдателите в галактиката в съзвездието Андромеда, често наричана просто галактиката Андромеда. Нека приемем, че вниманието на андромедианските астрономи е съсредоточено върху такъв участък от спирален ръкав. Да означим разстоянието от Слънцето до центъра на нашата Галактика с  $R$ , а скоростта му на движение с  $v$ . Радиусът на Галактиката е  $R_0 \approx 15000$  парсека. За скоростта на наблюдавания периферен участък от спирален ръкав тогава можем да напишем:

$$v_0 = v \frac{R_0}{R}$$

$$v_0 \approx 412.5 \text{ km/s}$$

Сега трябва да пресметнем колко километра ще измине този участък от спиралния ръкав за 10 години и да определим под какъв ъгъл ще се вижда изминатото разстояние от галактиката Андромеда. За целта ще трябва да превърнем разстоянието от галактиката Андромеда до нашата Галактика също в километри. Но по-лесно е да работим само в светлинни години. Скоростта на светлината е  $c = 300000 \text{ km/s}$ . За 10 години периферният участък от спиралния ръкав на нашата Галактика ще измине разстояние:

$$s = \frac{v_0}{c} \cdot 10 \text{ год.} \approx 0.01375 \text{ ly (светлинни години)}$$

Разстоянието от нашата Галактика до галактиката Андромеда е  $r \approx 2.54 \times 10^6 \text{ ly}$ . За андромедианските астрономи разстоянието, изминато от участъка от спиралния ръкав в нашата Галактика, ще се вижда под ъгъл:

$$\alpha = \frac{s}{r}$$

Чрез горната формула ще получим този ъгъл в радиани. Но очевидно той ще е изключително малък. По-добре ще е да го изразим в дъгови секунди:

$$\alpha = \frac{s}{r} \cdot \frac{180^\circ \cdot 60' \cdot 60''}{\pi} \approx \frac{s}{r} \cdot 206265$$

$$\alpha \approx 0''.001$$

При добри атмосферни условия с наземните оптически телескопи се постига разделителна способност, при която най-малките различни детайли от наблюдаваните космически обекти са с видими ъглови размери от 0.5 – 1 дъгови секунди, а чрез използване на адаптивна оптика се достига до разделителна способност стотни от дъговата секунда. Такава е и разделителната способност на космическия телескоп Хъбъл. С помощта на радиотелескопи се постига на порядъци по-добра разделителна способност. Още по-висока разделителна способност се получава, ако няколко радиотелескопи, разположени на големи разстояния по земното кълбо, работят в режим на интерферометрия. Така работи например системата от телескопи VLBA (Very Long Baseline Array), разположени в няколко щата на територията на САЩ, на Хавайските острови в Тихия океан и на Вирджинските острови в Карибско море. Разделителната способност, която се постига, е десетохилядни от дъговата секунда. С космическата обсерватория Gaia могат да се определят позиции на обекти с точност до 20 микросекунди, или 20 милионни части от дъговата секунда. Ако астрономите в галактиката Андромеда разполагат с подобна техника, те могат по принцип да регистрират преместването на отделен обект от нашата Галактика, движещ се с изчислената от нас скорост за 10 години. Определянето на скоростта на движение на спиралните ръкави обаче, е по-сложна задача. Тъй като те са вълни на плътността, които се разпространяват през масата на веществото на Галактиката, те не се състоят от едни същи обекти в различни моменти от време. За да се реши поставената задача, трябва да се дефинират структурите, по които се проследява движението на един спирален ръкав. Например може да се наблюдава предният фронт на вълната на плътността, където се формират достатъчно плътни междувъзвездни мъглявини, в които се провокират процеси на образуване на млади звезди. Това трябва да стане по протежението на достатъчно обширен участък от спиралния ръкав. Въпреки високата разделителна способност на най-добрите телескопи, поради изтъкнатите причини определянето на скоростта на спиралните ръкави ще бъде твърде трудно в рамките на толкова кратък период от време.

#### Критерии за оценяване (общо 10 т.):

*За намиране на информация за радиуса на нашата Галактика и разстоянието до галактиката Андромеда – 1 т.*

*За обосноваване на избора на периферен участък от Галактиката – 1 т.*

*За определяне на неговата скорост – 2 т.*

*За определяне на изминатото разстояние за 10 години – 2 т.*

*За намиране на видимите ъглови размери на изминатото разстояние за наблюдател в галактиката Андромеда – 3 т.*

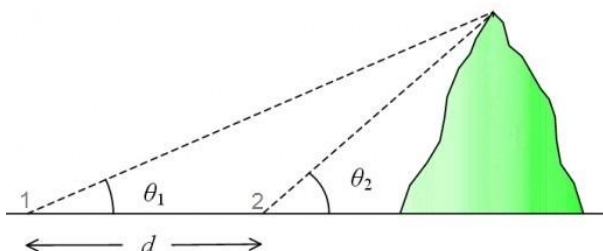
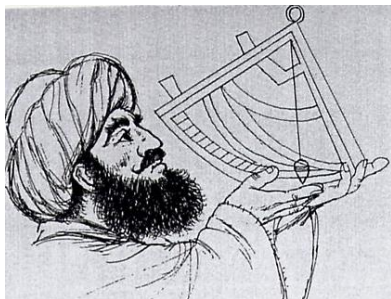
За съпоставка с разделителната способност на земни телескопи – 1 т.

*Забележка: В различни източници могат да се намерят различни стойности за диаметъра на нашата Галактика, особено ако е изразен в парсеци или пък в светлинни години, а също и за разстоянието до галактиката Андромеда. Участниците могат да използват различни начини за изчисление, превръщайки величините в различни мерни единици. В зависимост от това те ще получават различни крайни отговори – по стойност, но не и по порядък. При проверката тези различни числени отговори следва да се признават за верни при правилни изчисления и да се оценява правилната логика на решението преди всичко.*

**3 задача. Методът на Ал-Бируни.** Персийският учен Абу Рейхан ал Бируни (973 – 1048 г.) е успял да определи радиуса на Земята по нов, предложен от него начин. Нужно е да се намери изолиран планински връх, заобиколен от равен терен. С ъгломерен инструмент се измерват ъглите  $\theta_1$  и  $\theta_2$  от хоризонта до върха на планината в точките 1 и 2, а също и разстоянието между тях  $d$ . После наблюдателят се качва на планинския връх и измерва ъгъла на понижение на физическия хоризонт спрямо математическия хоризонт.

- А) Възстановете метода на Ал-Бируни – обяснете как той е пресметнал радиуса на Земята, използвайки тези измервания.

- Б) Твърди се, че радиусът на Земята, изчислен от Ал-Бируни, е 6336 км, което се различава само с 35 км от съвременната стойност. Но критиците на метода считат, че това е случайно получен резултат. Какви са източниците на грешка при този метод?



**Решение:**

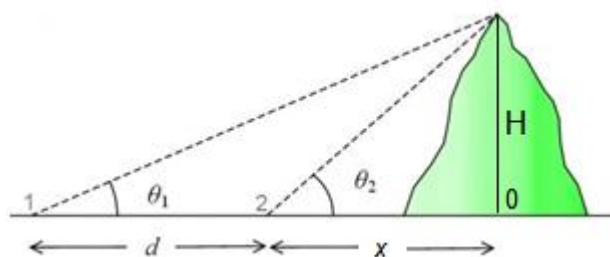
Означаваме върху дадения чертеж с  $H$  височината на планината и с  $x$  разстоянието от точка 0 до точка 2. След като сме измерили ъглите  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , както и разстоянието  $d$ , ние можем да определим височината  $H$ . В сила са следните съотношения:

$$\begin{aligned}x + d &= H \cotg \theta_1 \\ x &= H \cotg \theta_2\end{aligned}$$

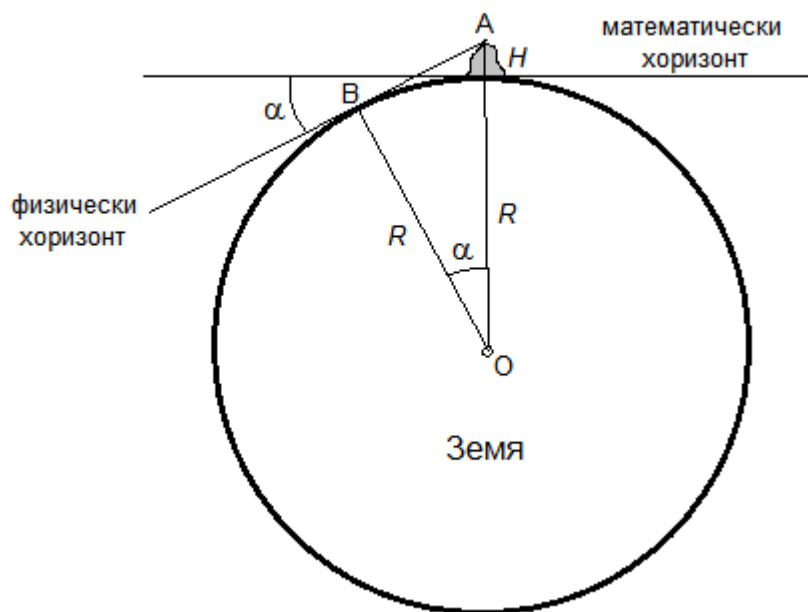
От тях намираме:

$$d = H(\cotg \theta_1 - \cotg \theta_2)$$

$$H = \frac{d}{\cotg \theta_1 - \cotg \theta_2}$$



След като вече ни е известна височината на планината  $H$ , можем да използваме второто наблюдение – понижението на физическия хоризонт от върха на планината, за да определим радиуса на Земята.



На горната схема с  $O$  е означен центърът на Земята, а с  $A$  – върхът на планината, където се намира наблюдателят. Оттам той измерва ъгъла на понижение на физическия хоризонт спрямо математическия хоризонт. Този ъгъл е означен с  $\alpha$ . Той е равен на ъгъла  $AOB$ , поради това, че са ъгли с взаимно перпендикулярни рамене. За правоъгълния триъгълник  $AOB$  можем да напишем:

$$\frac{R}{R + H} = \cos \alpha$$

Ъгълът  $\alpha$  ни е известен от второто измерване, а височината на планината вече обяснихме как може да се определи. Единствено неизвестен в горното уравнение остава земният радиус, който вече лесно можем да пресметнем:

$$R = H \frac{\cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

Така по принцип може да се определи радиусът на Земята, но при този метод на измерване има много сериозни източници на грешка. Трудно е да се намери самотна планина, разположена върху обширен равен участък. Не се знае какво е надморското равнище на самия равен участък, от който се отчита височината на планината. При определяне на ъгъла на понижение на физическия хоризонт спрямо математическия

трябва да се отчита рефракцията – изкривяването на светлинните лъчи в земната атмосфера.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

*За описание на метод, по който може да се определи височината на планината с правилни формули – 4 т.*

*За описание на метод, по който може да се определи радиусът на Земята чрез измерване на понижението на хоризонта – 4 т.*

*За коментиране на източниците на грешки – 2 т.*

**4 задача. Маршмелоу върху неутронна звезда.** Вероятно сте опитвали бонбони Маршмелоу – сладки, меки като дунапен и много леки. Представете си, че в далечното бъдеще един непредвидлив гимназист решава да си направи експеримент. Решава да пусне бонбон Маршмелоу от един метър височина върху повърхността на неутронна звезда. Ако бонбонът оцелее при полета си до повърхността на звездата, отделената енергия при удара трябва да е равна на кинетичната му енергия. Според вас с каква енергия можем да я сравним:

- С кинетичната енергия на 8 кг гюле падащо на земята от Айфеловата кула.
- С кинетичната енергия на 100 тонен локомотив, движещ се с 300 km/h.
- С кинетичната енергия на международната космическа станция.
- С енергията, отделена при взрива на атомна бомба.

Намерете нужната ви информация, извършете необходимите пресмятания и отговорете на въпроса.

**Решение:**

Една неутронна звезда може да има радиус примерно  $R = 10 \text{ km}$  и маса  $M = 2$  слънчеви маси. Масата на Слънцето е  $2 \times 10^{30} \text{ kg}$ . Следователно  $M = 4 \times 10^{30} \text{ kg}$ . Ускорението на силата на тежестта на повърхността на такава неутронна звезда ще бъде:

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

където  $\gamma = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$  е гравитационната константа.

$$g_N \approx 2.67 \times 10^{12} \text{ m/s}^2$$

Можем дори да пресметем, че на повърхността на неутронната звезда бихме тежали няколкостотин милиарда пъти повече отколкото на Земята.

Случайно избрана опаковка с бонбони Маршмелоу от магазин за хранителни стоки се оказва, че съдържа 12 бонбона с обща маса 80 грама. Можем да приемем, че масата на един бонбон е  $m \approx 7 \text{ g}$ . На височина  $h = 1$  метър над повърхността на неутронната звезда бонбончето ще има потенциална енергия:

$$E = mg_N h$$

При удара с повърхността цялата тази потенциална енергия ще се превърне в кинетична. Да пресметнем числената ѝ стойност:

$$E \approx 1.9 \times 10^{10} \text{ J}$$

Височината на Айфеловата кула е 300 м. Енергията на 8 кг гюле, падащо от нея, ще бъде  $8 \text{ kg} \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 \cdot 300 \text{ m} = 23250 \text{ J}$ .

За да пресметнем енергията на локомотива, първо трябва да превърнем неговата скорост в метри в секунда:



$$300 \text{ km/h} = \frac{300000 \text{ m}}{60 \text{ min} \times 60 \text{ s}} \approx 83.3 \text{ m/s}$$

Енергията на локомотива ще бъде:

$$\frac{100000 \text{ kg} \times (83.3 \text{ m/s})^2}{2} \approx 3.5 \times 10^8 \text{ J}$$

Масата на Международната космическа станция е приблизително 420 тона, а средната ѝ скорост е 7.66 km/s. Нейната кинетична енергия ще бъде:

$$\frac{420000 \text{ kg} \times (7660 \text{ m/s})^2}{2} \approx 12 \times 10^{12} \text{ J}$$

Енергията, освободена при взрива на атомната бомба, хвърлана над Хирошима, е  $63 \times 10^{12} \text{ J}$ . Любопитно е, че тя е сравнима по порядък с кинетичната енергия на Международната космическа станция.

Накрая можем да направим извода, че енергията на бонбончето, падащо от височина 1 метър върху неутронна звезда, ще бъде около 50 пъти по-голяма от енергията на локомотива и около 600 пъти по-малка от тази на Международната космическа станция. Това наистина е впечатляващо.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

*За намиране на информация за параметрите на неутронната звезда – 1 т.*

*За правилен начин за пресмятане на кинетичната енергия на бонбончето върху неутронната звезда – 3 т.*

*За верен числен резултат – 1 т.*

*За пресмятане на енергията на гюлето, локомотива, космическата станция и намиране на информация за енергията на атомната бомба – 4 т.*

*За сравнение с енергията на бонбончето – 1 т.*

*Забележка: Различни участници могат да използват леко различни начални данни за масата и радиуса на неутронната звезда, както и за масата на бонбоните. В зависимост от това те ще получават числени отговори, които се различават в неголяма степен от посочените тук. При правилни разсъждения и изчисления, отговорите трябва да се оценяват като верни.*

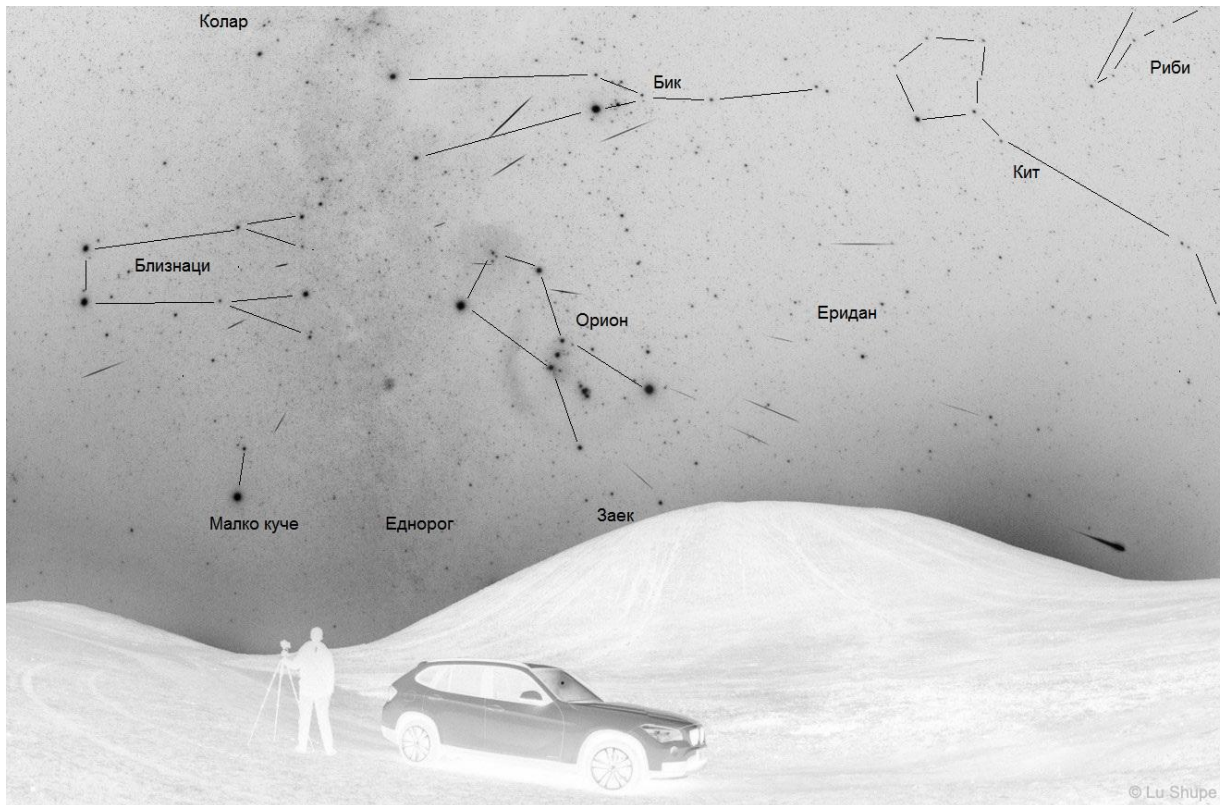
**5 задача. Метеорен поток.** Намерете информация и проучете какво представляват метеорите, метеорните потоци, от какви космически тела се пораждат метеорните роеве и какво е метеорен радиант.

Дадено ви е негативно изображение на звездното небе и множество метеори от активен метеорен поток.

- А) Означете върху изображението поне три съзвездия.
- Б) С помощта на линейка и молив постройте радианта на метеорния поток.
- В) В кое съзвездие се намира радиантът? Като знаете, че метеорните потоци получават названията си по съзвездията, в които са техните радианти, определете кой е метеорният поток, който е фотографиран. Кога е максимумът на активността на потока?
- Г) Коя е родителската комета на метеорния рой, предизвикващ този метеорен поток? Същият рой се пресича от Земята още веднъж и се наблюдава още един метеорен поток, породен от него. Как се нарича той и кога е максимумът на неговата активност?



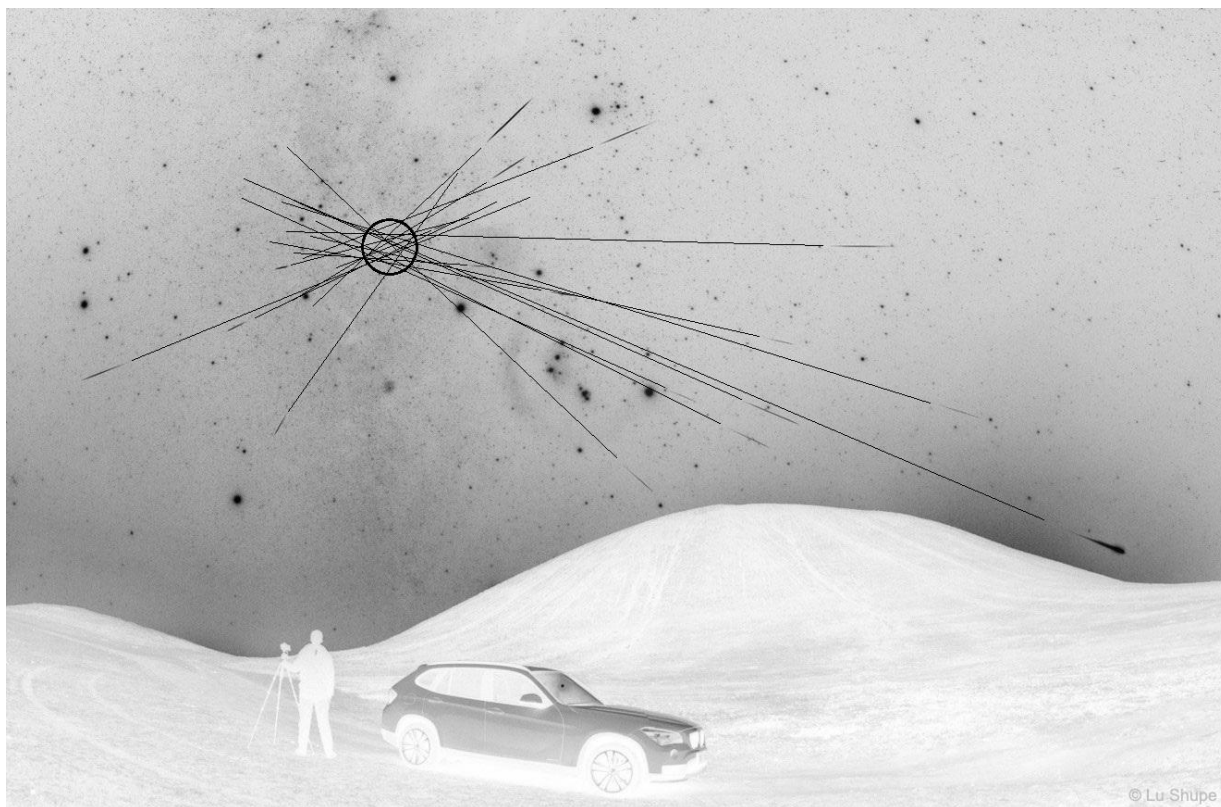
**Решение:**



Фиг. 1. Съзвездия.

На фиг. 1 са означени съзвездията, които се виждат, включително и онези от тях, от които върху снимката попадат само определени части. От участниците в олимпиадата се иска да означат само три от тези съзвездия.

Метеорните тела или частици са отломъци от скално вещество или лед, които се движат в междупланетното пространство. Метеорите са светлинни явления, породени от навлизането на метеорни тела в земната атмосфера. Поради високите скорости на метеорните тела, на височина около 80 – 100 км над земната повърхност във въздуха се предизвиква светене. (Метеорните частици се движат с космически скорости, многократно надвишаващи скоростта на звука. Когато навлязат в достатъчно плътните слоеве на земната атмосфера, при движението им се пораждат ударни вълни, предизвикващи изключително рязко вплътняване на въздуха, при което той се нагрива до няколко хиляди градуса температура. Това обяснение се дава тук за информация, но не се изисква от участниците). Метеорен поток се наблюдава, когато при движението си по своята орбита Земята пресича някой метеорен рой. Роевете от метеорни частици са останки от разрушаващи се комети. Метеорните частици, принадлежащи на определен рой, влизат в земната атмосфера по почти успоредни траектории. Затова при наблюдение на метеорен рой метеорите сякаш се разлитат от една точка, наречена радиант. Това е явление на перспективата, подобно на случая, когато успоредните железопътни релси ни се струва, че се събират в една точка на хоризонта.



Фиг. 2. Радиант на Орионидите.

С молив и линейка продължаваме назад траекториите на метеорите върху снимката. Радиантът никога не е точка, затова тези продължения се събират и пресичат в една област от небето, която е означена с кръг на Фиг. 2. В тази област е радиантът на наблюдавания метеорен поток. Виждаме, че той се намира в район, където граничат

съзвездията Орион, Близнаци и Бик, но внимателна справка със звездна карта ни показва, че радиантът е в рамките на съзвездието Орион. Следователно наблюдаваният поток трябва да се нарича Ориониди. Действително, това е снимка на метеори от потока Ориониди, действащ във втората половина на октомври.

Метеорният поток Ориониди има максимална активност на 20-21 октомври. Родителска комета на съответния метеорен рой е известната Халеева комета. Земята пресича роя и в началото на май. Тогава се наблюдава метеорният поток  $\eta$ -Аквариди с максимум на активността 5-6 май.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

*За означаване на картата и посочване на имената на три съзвездия – 3 т.*

*За построяване на радианта и показано разбиране какво представлява метеорен поток и метеорен радиант – 4 т.*

*За посочване в кое съзвездие се намира радиантът и определяне кой е бил метеорният поток – 1.5 т.*

*За намиране на информация коя е родителската комета на роя и кой е другият метеорен поток, породен от него, както и датата на максимална активност – 1.5 т.*

**6 задача. Движенията на далечна галактика.** Наблюдавана е спирална галактика в покрайнините на купа от галактики в съзвездието Косите на Вероника. Галактиката се намира на разстояние 102 Мрс, определено по няколко метода (но без използване на закона на Хъбъл). Получен е спектър на галактиката, в който наблюдаваната дължина на водородната линия  $H_{\alpha}$  е  $\lambda_{H\alpha} = 6732.3 \text{ \AA}$ . Пълната наблюдавана ширина на линията е  $\Delta\lambda = 9.71 \text{ \AA}$ . Равнината на диска на галактиката е наклонена под ъгъл  $60^\circ$  (това е наклонът на равнината на диска към картинната плоскост или наклонът на перпендикуляра към равнината на диска на галактиката относно зрителния лъч). Приемете, че линията се разширява единствено поради ефекта на Доплер, вследствие на въртенето на звездите около центъра на галактиката. За константата на Хъбъл приемете  $H = 70 \text{ km/s.Mpc}$ .

- А) Определете максималната скорост, с която звезди от галактиката се отдалечават от наблюдателя. (Всички наблюдения на лъчеви скорости са приведени към центъра на Слънчевата система, така че да отпадне зависимостта от движението на Земята около Слънцето). Разпишете пълната формула и обяснете от какви събираеми тя се състои.

- Б) Оценете долната граница на пространствената скорост на галактиката (скоростта, която не се дължи на разширението на Вселената) както и най-вероятната стойност на пространствената скорост.

- В) Определете максималната скорост, с която се движат звездите около центъра на галактиката.

**Решение:** Лабораторната дължина на вълната на линията  $H_{\alpha}$  е  $\lambda_{0H\alpha} = 6562.8 \text{ \AA}$ . Виждаме, че наблюдаваната дължина на вълната е по-голяма от лабораторната. Разликата в дължините на вълните е:

$$\Delta\lambda_{Gal} = \lambda_{H\alpha} - \lambda_{0H\alpha} = 169.5 \text{ \AA}$$

Това отместване на линията в спектъра се дължи на ефекта на Доплер поради движението на галактиката относно наблюдателя. От приблизителната формула на Доплер може да намерим скоростта, с която галактиката се отдалечава от нас:

$$\frac{\Delta\lambda_{Gal}}{\lambda_{0H\alpha}} = \frac{v_{Gal}}{c}$$

$$v_{Gal} = c \cdot \frac{\Delta\lambda_{Gal}}{\lambda_{0H\alpha}} = 7748.2 \text{ km/s}$$

където  $c$  е скоростта на светлината (приемаме, че  $c = 300000 \text{ km/s}$ ).

Скоростта на галактиката се определя от няколко фактора:

1. От разширението на Вселената –  $v_H$
2. От компонентата по лъча на зрение на пространствената скорост на галактиката относно реликтовото излъчване (т.е. относно отпращаващата система, в която реликтовото излъчване е изотропно) –  $v_{0Gal}$
3. От компонентата по лъча на зрение на пространствената скорост на наблюдателя относно реликтовото излъчване –  $v_{0Ob}$

Тогава за скоростта на галактиката може да запишем:

$$v_{Gal} = v_H + v_{0Gal} + v_{0Ob}$$

Тук всички компоненти са дадени със знак “+”, но трябва да имаме предвид, че ако някоя от скоростите води до намаляване на общата скорост на отдалечаване, ние трябва да вземем нейната стойност със знак “–”. Това е възможно, разбира се, само за компонентите на собствените пространствени скорости на галактиката и наблюдателя, защото скоростта, получена от закона на Хъбъл, винаги води до отдалечаване на обектите.

Обаче се търси не скоростта на галактиката, а максималната скорост на отдалечаване на звезди от галактиката. Към скоростта на галактиката относно наблюдателя трябва да добавим компонентата по лъча на зрение на максималната скорост на въртене на звездите около центъра на галактиката –  $v_{0Rot}$ . Тази скорост причинява разширяване на спектралната линия. Звездите в галактиката, обаче се движат както в посока от наблюдателя, така и към него. Относно центъра на галактиката това движение предизвиква разширение на спектралната линия както към червения, така и към синия край на спектъра. Затова за нашите пресмятания ние ще вземем половината от ширината на линията. Възможно е да напишем:

$$v_{Rot} = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{2\lambda_{0H\alpha}} = 221.9 \text{ km/s} \quad (1)$$

Това съотношение, обаче, не е съвсем вярно. Трябва да имаме предвид, че червеното преместване променя не само дължината на спектралната линия, но и нейната ширина. Лесно е да се съобрази, че промяната на ширината на линията се подчинява на същото съотношение, както и промяната на дължината на линията (Това може да се докаже като се напишат формулите на Доплер за двата края на линията и след това се извадят):

$$\frac{\Delta\lambda - \Delta\lambda_{0H\alpha}}{\Delta\lambda_{0H\alpha}} = \frac{v_{Gal}}{c}$$

$$\Delta\lambda_{0H\alpha} = \frac{\Delta\lambda}{\left(\frac{v_{Gal}}{c} + 1\right)} = 9.47 \text{ \AA}$$

Записваме формулата за скоростта с истинската ширина на линията:

$$v_{0Rot} = c \cdot \frac{\Delta\lambda_0}{2\lambda_0} = 216.4 \text{ km/s} \quad (2)$$

Лесно се показва, че напълно еквивалентна е и следната формула:

$$v_{0Rot} = c \cdot \frac{\Delta\lambda}{2\lambda_{H\alpha}} = 216.3 \text{ km/s} \quad (3)$$

Това е компонентата по лъча на зрение на максималната скорост на въртене на звездите около центъра на галактиката. Окончателно, за максималната скорост получаваме:

$$v_{Max} = v_{Gal} + v_{0Rot} = v_H + v_{0Gal} + v_{0Obs} + v_{0Rot} = 7964.6 \text{ km/s} \quad (4)$$

За да намерим пространствената скорост на галактиката трябва да премахнем влиянието на червеното преместване, поради разширението на Вселената, както и влиянието на скоростта на наблюдателя. Знаем разстоянието до галактиката и от закона на Хъбъл намираме скоростта която се добавя поради разширението на пространството:

$$v_H = H \cdot r = 7140 \text{ km/s}$$

Галактиката е в околностите на купа от галактики в съзвездие Косите на Вероника, в което се намира и Северният полюс на нашата Галактика. Намираме информация за точното положение на купа и виждаме, че той е само на 2 градуса от галактичния полюс. Следователно може да не отчитаме движението на Слънцето около центъра на нашата Галактика, защото скоростта му има почти нулева проекция по направление на изследваната галактика. Търсим информация за направлението, в което се движи нашата Галактика и намираме, че това е точка в съзвездие Хидра. От нея до купа в Косите на Вероника са около 63 градуса. Ние не знаем къде точно, относно купа, е търсената галактика, затова прекалено прецизиране е излишно. Може да приемем, че ъгловото разстояние между посоката към която се движи нашата Галактика и посоката към изследваната галактика е, примерно, 63 градуса (може да приемем и стойност 60 градуса). Скоростта, с която се движи нашата Галактика, относно реликтовото излъчване, е 552 km/s. Компонентата по лъча на зрение на тази скорост е:

$$v_{0Obs} = v_{MW} \cdot \cos 63^\circ \approx 250 \text{ km/s}$$

С тази стойност е била намалена истинската радиална скорост на изследваната галактика. Затова трябва да я прибавим към радиалната компонента на собствената скорост на галактиката. *(Нейната посока е в същата полусфера, в която се намира и галактиката или, казано по друг начин, ъгълът, който сключват двете скорости, е по-малък от 90°).* Тогава, за скоростта  $v_{0Gal}$  получаваме:

$$v_{0Gal} = v_{Gal} - v_H + v_{0Obs} = 858 \text{ km/s}$$

Това е компонентата, по лъча на зрение, на пространствената скорост на галактиката.

Ако пространствената скорост е ориентирана по лъча на зрение, то тя ще е равна на тази скорост. Това е случаят, в който тя ще бъде минимална. Следователно това е долната граница на пространствената скорост на галактиката.

Не трябва да забравяме, че лъчевата скорост е само една от компонентите на пространствената скорост. Ако предположим, че останалите две пространствени компоненти са близки по стойност на наблюдаваната лъчева скорост, то за пространствената скорост ще получим следната оценка:

$$v_{sp} = \sqrt{(v_{0Gal}^2 + v_{0Gal}^2 + v_{0Gal}^2)} = v_{0Gal} \cdot \sqrt{3} \approx 1240 \text{ km/s}$$

Това е една вероятна оценка на пространствената скорост на галактиката.

За да определим скоростта на движение на звездите около центъра на галактиката трябва да отчитаме два фактора. Първо – наклонът на галактиката относно зрителния лъч. Второ – това, че поради червеното преместване се променя не само дължината на спектралната линия, но и нейната ширина. Вече получихме истинската ширина на спектралната линия, както и радиалната компонента на скоростта –  $v_{0Rot} = 216.4 \text{ km/s}$ . За да получим истинската скорост  $v'_{0Rot}$  на въртене на звездите около центъра на галактиката, трябва да коригираме скоростта за наклона на галактиката. Равнината на диска на галактиката сключва ъгъл  $i = 60^\circ$  с небесната сфера. Тогава:

$$v_{0Rot} = v'_{0Rot} \cdot \sin i$$

$$v'_{0Rot} = \frac{v_{0Rot}}{\sin i} = 249.9 \text{ km/s}$$

Понеже в нашите пресмятания използвахме максималната ширина на линията, то това е максималната скорост, с която звезди се движат около центъра на галактиката.

Критерии за оценяване (общо 10 т.):

*За правилно използване на формулата на Доплер и намиране на  $v_{Gal}$  – 2 т.*

*За правилно определяне на  $v_{0Rot}$  – 1 т. (Ако е използвана формула (1) – 0.5 т. )*

*За определяне на максималната скорост  $v_{Max}$  – 2 т. (Достътъчна е първата половина от формула 4 и числен резултат. )*

*За правилни разсъждения и определяне на радиалната компонента на пространствената скорост на галактиката – 2 т.*

*За правилни разсъждения и определяне на долната граница на пространствена скорост на галактиката – 1 т.*

*За правилни разсъждения и определяне на вероятната пространствена скорост на галактиката – 1 т.*

*За правилна корекция на скоростта поради наклона на равнината на галактиката и определяне на максималната скорост на звездите около центъра на галактиката – 1 т.*