

Светлини и сенки

Ева Божурова

СУ "Св. Климент Охридски", 1172 София, бул. "Дж. Баучер" 5

Абстракт. В статията са разгледани някои любопитни астрономически и не само астрономически явления, свързани с разпространението на светлината. Разглежданията са ограничени само в рамките на геометричната оптика. Представени са решенията на няколко задачи върху оптичните закономерности, които могат да се използват при работата с ученици, проявяващи специален интерес към физиката и астрономията.

Светът около нас е пълен с любопитни явления, на които рядко обръщаме внимание. Когато се задълбочим в науката физика, ставаме способни да ги виждаме на всяка крачка и да откриваме тяхната удивителност. Особено много от "скритите чудеса" в нашата ежедневна действителност са свързани с разпространението на светлината. Тук ще опишем някои от тях, като при всички разглеждания ще се ограничим само в рамките на геометричната оптика. Описанията ще придружим с няколко оптически и астрономически задачи, в които явленията и закономерностите ще бъдат представени чрез по-прости и по-сложни математически пресмятания.

Пепелна светлина на Луната

Смяната на лунните фази е била наблюдавана още от най-древните хора и периодът, през който става тази смяна, се е превърнал в мерна единица за време, наречена по името на Луната (Месечина) – месец. Със смяната на лунните фази за нас, земните жители, на Луната става смяна на лунния ден и лунната нощ.

Когато в ясна нощ Луната в небето ни изглежда като тънък сърп, често можем да видим, че останалата неогрята от Слънцето част на нашия спътник не е съвсем тъмна (Фиг. 1). Тя се отличава от тъмния небесен фон със слабо сребристо сияние, наречено "пепелна светлина". Но нали там слънчевите лъчи не достигат и трябва да е лунна нощ – тогава откъде идва светлината? Това явление за първи път е описано и обяснено правилно от великия италиански художник Леонардо да Винчи още през XV век. От гледната точка на един лунен наблюдател Земята също



Фиг. 1. Пепелна светлина на Луната [1].

си сменя фазите, както Луната за нас. Като си представим разположението на Слънцето, Земята и Луната в новолуние например, лесно можем да се убедим, че в такъв момент Земята за лунния наблюдател ще изглежда като изцяло осветен кръг – тя ще е в “пълноземие”. Съответно, когато за нас Луната е във фаза близка до новолуние и изглежда като тънък сърп, за лунния наблюдател Земята ще е във фаза близка до “пълноземие”. Това означава, че тогава лунната нощ няма да е много тъмна. В нощното лунно небе ще свети почти пълната ярка Земя и ще огрява лунната повърхност. Ето откъде идва “пепелната светлина” на Луната – това е слънчева светлина, отразена от Земята към Луната и после от Луната към нас.

С не много сложни пресмятания можем да оценим колко пъти пепелната светлина на Луната в новолуние е по-слаба от светлината на Луната в пълнолуние. Нека E_0 е осветеността, която Слънцето създава върху Луната, L е светимостта или общата мощност на излъчването на Слънцето, а $r_0 = 150 \times 10^6$ km е разстоянието от Слънцето до Луната.

$$E_0 = \frac{L}{4\pi r_0^2}.$$

Ще разглеждаме приблизително Луната като диск, който разсейва

слънчевата светлина равномерно в полупространството пред себе си. Общата светлинна енергия от Слънцето, попадаща върху Луната в единица време, е:

$$W_L = \pi R_L^2 E_0 ,$$

където $R_L = 1737 \text{ km}$ е радиусът на Луната, а πR_L^2 е площта на лунния диск. В пълнолуние Луната създава върху Земята осветеност:

$$E_L = \frac{A_L W_L}{2\pi r_L^2} ,$$

където $A_L \approx 0.12$ е отражателната способност (албедо) на Луната. Коефициентът 2 вместо 4 в знаменателя идва от това, че лунният диск разсейва светлина само в половината пространство около себе си.

Осветеността, която Слънцето създава върху Земята, също е E_0 , понеже можем да считаме, че разстоянието r_0 от Луната до Слънцето е практически същото, като разстоянието от Земята до Слънцето. Земята също ще разглеждаме като диск. Ако $R_T = 6371 \text{ km}$ е радиусът на Земята, то общата светлинна енергия, която попада върху Земята от Слънцето в единица време, ще бъде:

$$W_T = \pi R_T^2 E_0 .$$

Оттук намираме осветеността, която Земята в “пълноземие” създава върху Луната:

$$E_T = \frac{A_T W_T}{2\pi r_L^2} ,$$

където $r_L = 384\,400 \text{ km}$ е разстоянието от Земята до Луната, а $A_T \approx 0.3$ е отражателната способност на Земята. По-нататък определяме общата светлинна енергия, която Луната получава от Земята в единица време:

$$\widetilde{W}_L = \pi R_L^2 E_T .$$

Накрая получаваме осветеността, която създава за нас нощната страна на Луната, огрявана от земната светлина:

$$\widetilde{E}_L = \frac{A_L \widetilde{W}_L}{2\pi r_L^2} .$$

Тази осветеност характеризира пепелната светлина на Луната в новолуние.

Накрая нека сравним блясъка на Луната в пълнолуние с пепелната светлина. След прости алгебрични преобразувания намираме:

$$\frac{E_L}{\tilde{E}_L} = \frac{2r_L^2}{A_T R_T^2} \approx 24000.$$

Пепелната светлина е около 24000 пъти по-слаба от светлината на Луната в пълнолуние. Но все пак ние спокойно я виждаме при добри атмосферни условия. Всъщност, ако изразим разликата в блясъка на Луната в новолуние и в пълнолуние чрез звездни величини, ще получим приблизително 11^m . Като имаме предвид, че звездната величина на Луната в пълнолуние е -12.7^m , то се оказва, че звездната ѝ величина в новолуние, в резултат на пепелната светлина, ще бъде около -1.7^m .

Земни и лунни сенки

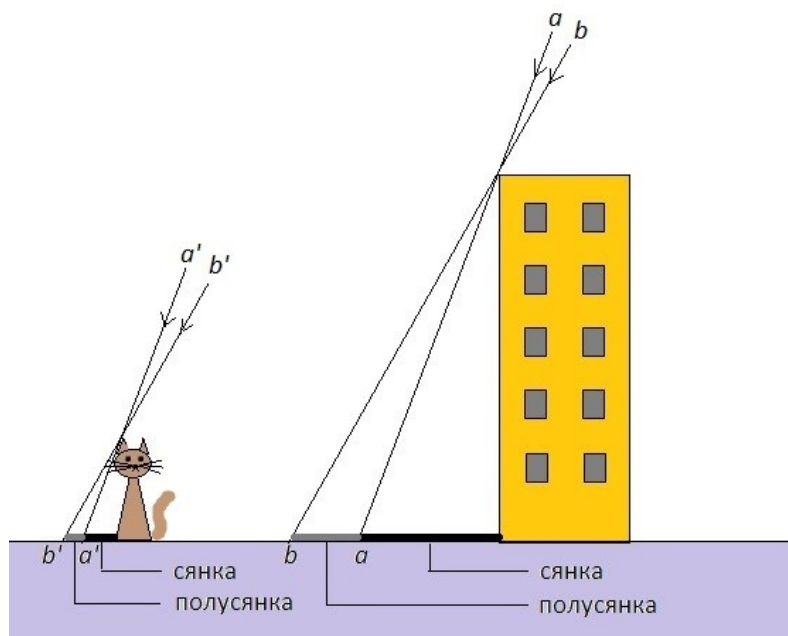
При описание на пътешествия до Луната в научнофантастичната литература понякога се споменава за резките сенки, които космонавтите и релефните форми хвърлят на лунната повърхност. Това е един от детайлите, внушаващи впечатлението за странния далечен свят на Луната.



Фиг. 2. Сенки на сграда и котка [2].

Обяснението обикновено се свързва с липсата на атмосфера. Но дали наистина лунните сенки са по-резки от тези на Земята? За да си обясним това, няма нужда да летим до Луната, достатъчно е да се вгледаме внимателно в земните сенки.

На снимката (Фиг. 2) се вижда, че на едно място можем да имаме както сравнително резка сянка – тази на котката, така и доста размита – сянката на сградата до нея. Нека си представим как се получава сянката на сградата. На схемата (Фиг. 3) лъчът aa идва от най-горната точка на видимия диск на Слънцето. Минавайки покрай горния ръб на сградата, той очертава границата на нейната сянка. Лъчът bb идва от най-долната точка на видимия слънчев диск и очертава границата на полусянката – размитата зона на сянката на сградата. Лъчът $a'a'$ идва също от най-горната точка на видимия слънчев диск и очертава сянката на котката. Тъй като Слънцето е на огромно разстояние от нас, този лъч можем да считаме за практически успореден на лъча aa . По същия начин лъчът $b'b'$, идващ от най-долната точка на видимия слънчев диск, може да се счита за успореден на лъча bb . Ъгълът между лъчите aa и bb при сградата е равен на ъгъла между лъчите $a'a'$ и $b'b'$ при котката. Всеки от тези два ъгъла се равнява на видимия ъглов диаметър на Слънцето. От схемата



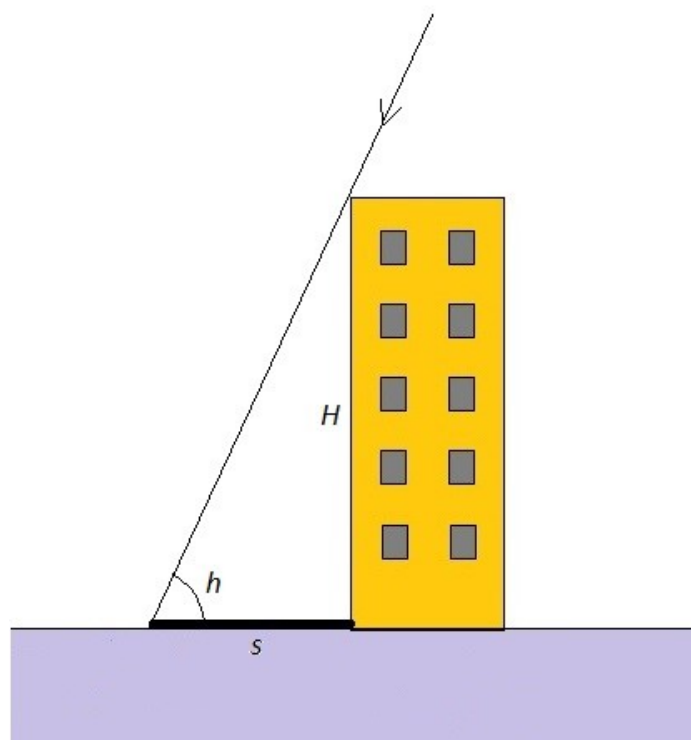
Фиг. 3. Сенки и полусенки.

лесно се вижда, че сянката на сградата има по-размито очертание – по-широка зона на полусянката, понеже тя е много по-висока, отколкото котката.

Следователно размитостта на сенките на Земята се дължи на факта, че Слънцето не е точков източник на светлина, а има съществен видим ъглов размер. По същата причина сенките на Луната също трябва да бъдат размити, а атмосферата не е причината за размиването на границите на земните сенки. Поради наличието на атмосфера обаче, земните сенки не са толкова тъмни, като тези на Луната. Сенките на Земята са по-светли заради разсеяната светлина от атмосферата.

Височини на земни сгради и лунни планини

По сянката на една сграда можем да определим нейната височина (Фиг. 4). Достатъчно е да знаем само ъгловата височина h на Слънцето в даден момент за нашето географско място. Можем да я определим с помощта на секстант, или да я видим в някоя от многобройните компю-



Фиг. 4. Определяне на височина на сграда по нейната сянка.

търни програми, показващи вида на небето и координатите на небесните светили за всяко време и място по Земята. Измерваме дължината на сянката s (пренебрегваме ширината на размитата зона на сянката, защото тя е незначителна в сравнение с цялата сянка). Накрая за височината на сградата получаваме:

$$H = s \tan h.$$

По подобен начин могат да се определят и височини на релефни форми на Луната. На снимката, дадена по-долу (Фиг. 5), се вижда Луната във



Фиг. 5. Луната във фаза един ден след последна четвърт [3].

фаза около един ден след последна четвърт. Терминаторът е линията, разделяща светлата (дневната) от тъмната (нощната) страна на Луната. Тази граница не е рязка, пак поради обстоятелството, че Слънцето не е точков светлинен източник. На дневната страна на Луната се виждат сенките, които хвърлят лунните планини и валове на кратерите. Откъм нощната страна, близо до терминатора се забелязват светещите точки на върховете на лунните възвишения, които поради височината си са все още огрети от Слънцето, въпреки настъпването на нощта за по-ниските части от повърхността около тях.

Всичко това може да се използва за определяне на височините на тези образувания.

На Фиг. 6 е дадена Луната във фаза, сходна с тази на снимката. Терминаторът е означен с Т. Откъм дневната страна на Луната, недалеч от терминатора виждаме планина означена с М, която хвърля сянка. Краят на сянката е означен с S. От другата страна на терминатора – там, където вече е нощ – се намира друго планинско възвишение, чиито връх Р все още е огрят от Слънцето. Оранжевата пунктирна линия минава през центъра на видимия лунен диск и двете крайни точки на терминатора. Ще приемем, че двете планини се намират на централна линия от видимия лунен диск, която е перпендикулярна на терминатора. Върху такова фотографско изображение ние можем да измерим разстоянията a_P , a_T , a_S и a_M , както и радиуса R на Луната. Нека сега си представим Луната завъртяна около хоризонтална ос, така че посоката към земния наблюдател да се окаже нагоре. От долната схема на Фиг. 6 лесно се вижда как можем да определим ъгловите отстояния на точките Р, Т, S и М от централната линия:

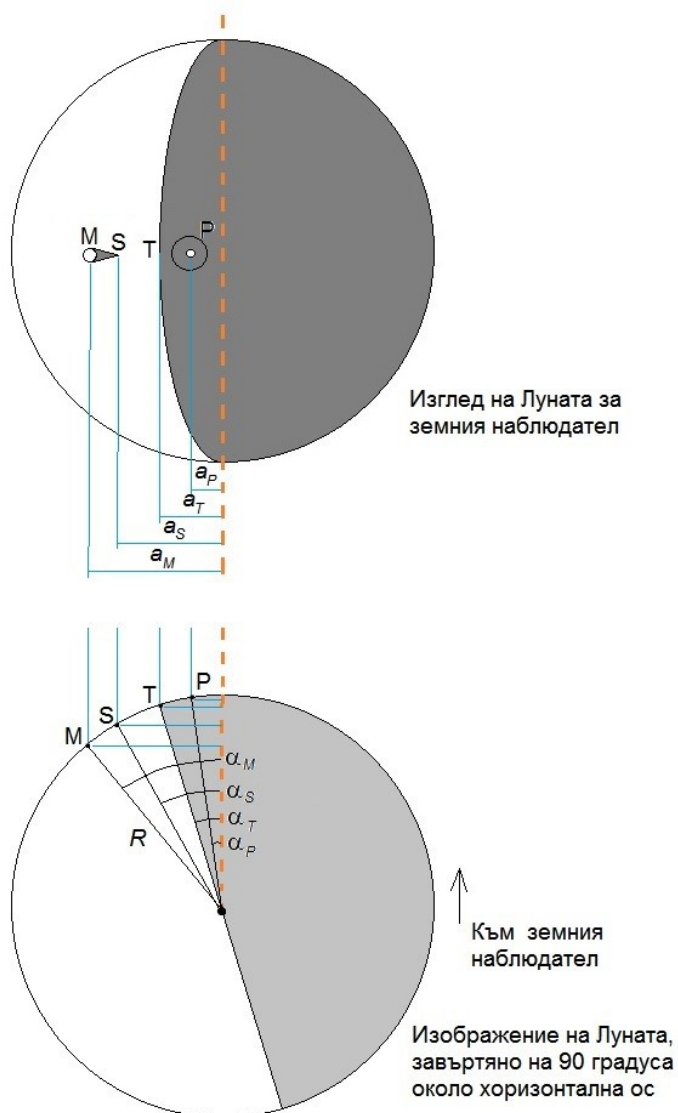
$$\begin{aligned}\sin \alpha_P &= \frac{a_P}{R}, & \sin \alpha_T &= \frac{a_T}{R}, \\ \sin \alpha_S &= \frac{a_S}{R}, & \sin \alpha_M &= \frac{a_M}{R}.\end{aligned}$$

От значение за нас обаче са ъгловите отстояния на точките Р, S и М от терминатора. Намираме ги от съотношенията:

$$\alpha_{PT} = \alpha_T - \alpha_P, \quad \alpha_{ST} = \alpha_S - \alpha_T, \quad \alpha_{MT} = \alpha_M - \alpha_T$$

Ако завъртим леко долното изображение на Фиг. 6 надясно така, че терминаторът да стане вертикален и го увеличим, ще получим схемата на Фиг. 7. От нея се вижда, че височината h_P на планинския връх Р може да се намери от следното съотношение:

$$\cos \alpha_{PT} = \frac{R}{R + h_P}$$

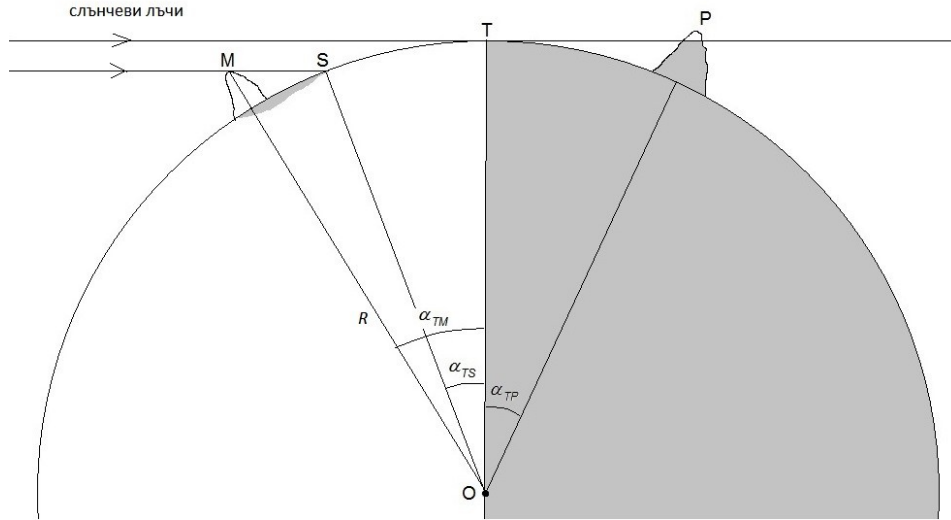


Фиг. 6. Луната с планина (М) на дневната страна, хвърляща сянка (S), и планински връх (Р) на нощната страна, все още огрят от Слънцето.

Оттук получаваме:

$$h_P = R \frac{1 - \cos \alpha_{PT}}{\cos \alpha_{PT}}$$

Тук, разбира се, трябва да използваме истинския радиус R на Луната в километри, а не измерения по снимката в милиметри. Освен това, по



Фиг. 7. Определяне на височините на лунните планини.

този начин ние определяме само някаква минимална стойност на височината на планинския връх, понеже не знаем каква точно част от него се намира над нивото на сянката.

Нека O е центърът на Луната. За да определим височината на планината M , ще разгледаме триъгълника MOS . Да означим ъглите в този триъгълник с върхове M , O и S съответно с β_M , β_O и β_S . За ъгъла β_O можем да напишем:

$$\beta_O = \alpha_{TM} - \alpha_{TS}$$

Ъгълът между слънчевия лъч и лунната повърхност в точка S е равен на α_{TS} – това са ъгли с взаимно перпендикулярни рамене. Следователно:

$$\beta_S = \alpha_{TS} + 90^\circ$$

Третият ъгъл в триъгълника MOS се намира от съотношението:

$$\beta_M = 180^\circ - \beta_O - \beta_S$$

За да определим височината h_M на планината M , прилагаме синусовата теорема:

$$\frac{R}{\sin \beta_M} = \frac{R + h_M}{\sin \beta_S}$$

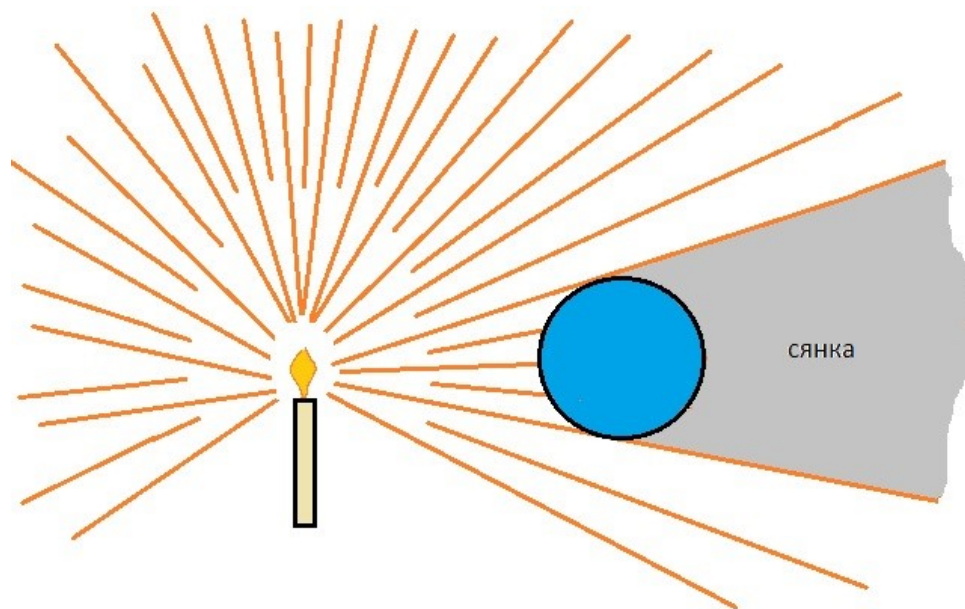
Оттук получаваме:

$$h_M = R \frac{\sin \beta_S - \sin \beta_M}{\sin \beta_S}$$

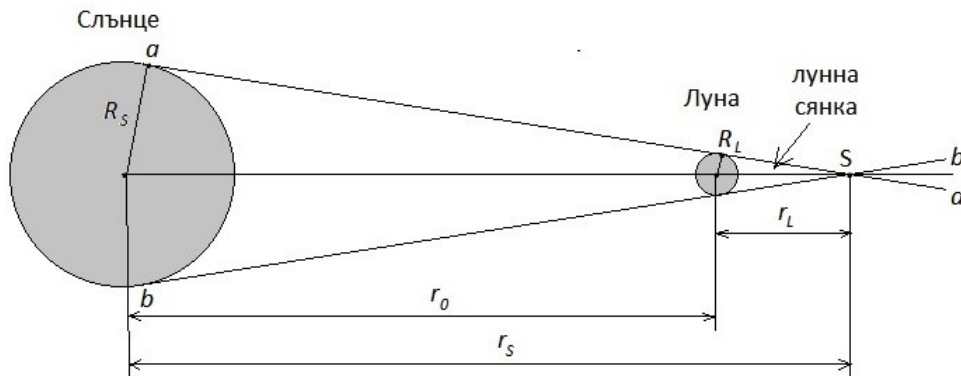
Това е теоретично описание на метода, по който могат да се определят височините на лунни релефни форми по фотографии на Луната. Поточни резултати се получават, когато релефните форми са близо до лунния терминатор и когато фазата на Луната е близка до първа или последна четвърт. В общия случай планинският връх може да не се намира около центъра на видимия лунен диск, а значително по-нагоре или по-надолу около терминатора. Тогава считаме, че той лежи на малък кръг от лунна повърхност, перпендикулярен на терминатора, и вместо радиуса на Луната R използваме радиуса на този малък кръг, който също можем да измерим по снимката. Реалната му стойност в километри получаваме, като използваме за мащаб целия лунен радиус R .

Сянката на Луната

Наблюдавайки различни предмети при осветление примерно със свещ, ние сме свикнали да смятаме, че те хвърлят сенки, които се увеличават по размер с нарастване на разстоянията от предметите (Фиг. 8). Но нека отново от ежедневиия свят да преминем към космически мащаби. При слънчево затъмнение Луната, осветявана от Слънцето, хвърля сянка върху Земята. Колко ли е голяма лунната сянка върху повърхността



Фиг. 8. Сѐнка при осветяване със свещ.



Фиг. 9. Лунна сянка.

на нашата планета? Чертежът на лунната сянка (Фиг. 9) значително се различава от картинката със свещта. За разлика от ситуацията на Фиг.8, при слънчевото затъмнение източникът на светлина, т.е. Слънцето, е по-голям от обекта, хвърлящ сянка, т.е. Луната. Не можем да изобразим слънчевите лъчи, излизащи само радиално от Слънцето, както обикновено ги рисуват децата. Трябва да имаме предвид, че всяка точка от повърхността на Слънцето излъчва във всички посоки.

Лъчите aa и bb очертават границите на лунната сянка – областта от пространството, в която ако се намираме, не бихме виждали никаква част от Слънцето. Тази област има форма на конус с връх S . Лунната сянка се стеснява с отдалечаване от Луната.

Да означим с $R_S = 69\,6000\text{ km}$ и $R_L = 1737\text{ km}$ радиусите на Слънцето и Луната, с r_0 разстоянието от Слънцето до Луната, а с r_S и r_L разстоянията от Слънцето и от Луната до върха на конуса на лунната сянка (Фиг. 9). Очевидно:

$$\frac{r_L}{r_S} = \frac{R_L}{R_S}, \quad r_S = r_0 + r_L, \quad r_L = r_0 \frac{R_L}{R_S - R_L}.$$

Благоприятно условие за продължителна пълна фаза на едно слъчево затъмнение е Земята да се намира около афелия на своята орбита, така че видимият ъглов диаметър на Слънцето да е по-малък. В такъв случай $r_0 \approx 152.1 \times 10^6\text{ km}$ и за тази стойност получаваме: $r_L \approx 380\,500\text{ km}$

Средното разстояние между центровете на Земята и Луната е $384\,400\text{ km}$. Радиусът на Земята е 6370 km . Вижда се, че разстоянията от центъра на Луната до върха на лунната сянка и до земната повърхност са много близки. Ето защо при пълно слънчево затъмнение диаметърът



Фиг. 10. Пръстеновидно слънчево затъмнение, 20 май 2012 г. [4].

на лунната сянка, попадаща върху Земята, е много малък. Той може да е от порядъка на 100-200 km или по-малък. Пълната фаза на слънчевото затъмнение може да продължи едва няколко минути, докато лунната сянка премине през наблюдателния пункт.

Понякога върхът на лунната сянка въобще не достига до Земята и тогава се наблюдава пръстеновидно слънчево затъмнение. Тогава видимият от Земята ъглов диаметър на Слънцето е малко по-голям от този на Луната и тя не може изцяло да покрие дневното ни светило (Фиг. 10).

Сянката на Земята

Сянката, хвърлена от Земята, също има форма на конус и се стеснява с отдалечаване от нашата планета. Но на разстоянието до лунната орбита земната сянка е все още доста обширна и надвишава около три пъти по диаметър Луната. Ето защо на Луната е необходимо значително време, докато прекоси тази сянка и пълната фаза на лунното затъмнение може да продължи повече от час.

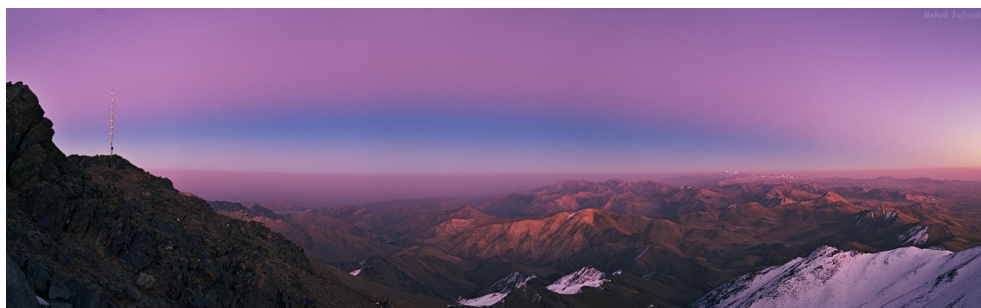
По време на пълно лунно затъмнение Луната не е тъмна. Тя грее в загадъчна здрачна светлина със сиворъждив, ръждивочервен или златистооранжев цвят. Причината е, че слънчевите лъчи, минаващи непосред-



Фиг. 11. Пълно лунно затъмнение, 15 април 2014 г. [5].

редствено покрай Земята, се изкривяват в земната атмосфера и проникват в областта на геометричната сянка на Земята. Светлинните вълни с по-къси дължини, съответстващи на виолетов, син или зелен цвят, се разсейват доста силно от атмосферата и остава по-дълговълновото лъчение, което огрява лунната повърхност в различни оттенъци на червено и оранжево (Фиг. 11). Би било наистина интересно човек да се намира в такъв момент на Луната. В тъмното лунно небе би се виждал черният кръг на Земята, закриващ Слънцето. Той ще бъде ограден от червения ореол на атмосферата, а около него ще се вижда външната част на слънчевата корона.

За да видим земната сянка, всъщност не е необходимо да чакаме поредното лунно затъмнение. Можем да я виждаме почти всякога малко преди изгрева или малко след залеза на Слънцето. В такъв момент е необходимо да се обърнем с гръб към посоката, където би трябвало да е Слънцето, и да погледнем напред. При открит хоризонт ще видим потъмня сивосиня ивица в небето непосредствено над хоризонта, а над нея по-светло небе. Понякога на границата между двете се наблюдава размитата широка ивица с нежнорозов цвят, която носи поетичното название “пояс на Венера”. Сивосинята ивица представлява сянката на Земята, а



Фиг. 12. Сянката на Земята и розовият “пояс на Венера” [6].

розовият “пояс на Венера” се получава от последните високи, но достатъчно плътни слоеве на земната атмосфера, които ефективно разсейват слънчевата светлина и за които Слънцето все още е над хоризонта. Височината на тези слоеве е около 30–40 km. Всъщност при дневен старт на космически кораб от борда му на такива височини се наблюдава постепенно превръщане на яркото синьо земно небе в черна космическа бездна, обсипана със звезди.

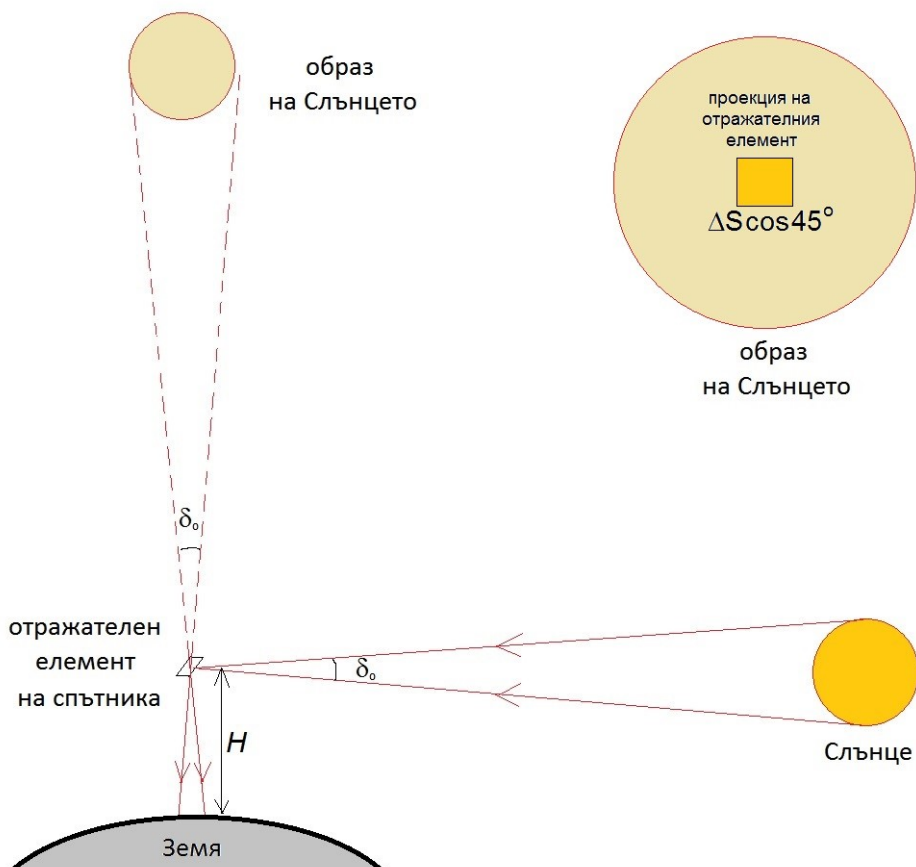
Присъствието на земната сянка е познато и на астрономите любители, които добре знаят, че изкуствените спътници на Земята се наблюдават като бавно движещи се светещи точки по небето обикновено във вечерните и в предутринните часове. Особено впечатляващи са преминаванията на Международната космическа станция, която е доста ярка. Много малко спътници могат да се видят около средата на нощта. Това е защото около средата на нощта спътниците, които прелитат над нас, се намират в земната сянка. Само някои, летящи на много високи орбити, могат да се окажат извън нея и да бъдат осветени от Слънцето, така че да ги видим.

Проблясъци от изкуствени спътници на Земята

Понякога в нощното небе можем да забележим ярък проблясък, който се наблюдава няколко секунди и постепенно угасва. Най-често това представлява отблясък от слънчева светлина в някой от слънчевите панели или в някоя от главните антени на телекомуникационен спътник от системата “Иридиум”. Проблясъците могат да са изключително ярки – някои достигат до 9-та звездна величина! Продължителността им пък може да достигне до около 10 секунди.

По-ярките проблясъци се получават от отражения в главните антени на спътниците. Всеки спътник има по три такива антени, покрити със

сребро. Площта на една антена е 1.6 m^2 . Спътниците летят на височина около 780 km над земната повърхност. С не много сложни пресмятания можем да оценим звездната величина на проблясък в антената на спътник от системата “Иридиум” [7]. Нека предположим, че земен наблюдател вижда проблясък в отражателен елемент на спътник в зенита, а Слънцето е на хоризонта (Фиг. 13). В такъв случай очевидно отражателният елемент трябва да е наклонен на 45° към хоризонта. Ако отражателният елемент беше огледало с огромни размери, то земният наблюдател щеше да вижда в него цял отразен образ на Слънцето. Но ъгловите размери на отражателния елемент, видими от земната повърхност, са много малки – значително по-малки от видимите ъглови размери на образа на Слънцето. Получава се така, че все едно земният наблюдател



Фиг. 13. Получаване на проблясък в отражателен елемент на спътник.

гледа към образа на Слънцето през малък отвор с размерите на проекцията на отражателния елемент на спътника върху образа на видимия слънчев диск. Следователно проблясъкът от спътника ще е толкова пъти по-слаб от блясъка на Слънцето, колкото пъти видимата ъглова площ на отражателния елемент е по-малка от видимата ъглова площ на слънчевия диск.

Да означим с $H = 780 \text{ km}$ височината на спътника над земната повърхност, с $\Delta S = 1.6 \text{ m}^2$ площта на отражателния елемент и с $\delta_0 = 0.5^\circ$ видимия ъглов диаметър на Слънцето.

Тогава видимата ъглова площ на слънчевия диск ще бъде:

$$\sigma_0 = \frac{\pi \delta_0^2}{4}.$$

Видимата ъглова площ на проекцията на отражателния елемент на спътника ще бъде:

$$\sigma = \frac{\Delta S \cdot \cos 45^\circ}{H^2}.$$

Нека E_0 е осветеността, която Слънцето би създавало за земния наблюдател, ако беше в зенита. Нека E е осветеността, създавана от слънчевата светлина, отразена от спътника. За отношението на двете величини можем да напишем:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{\sigma}{\sigma_0}, \quad \frac{E}{E_0} = \frac{4\Delta S \cos 45^\circ}{\pi \delta_0^2 H^2},$$

където ъгълът δ_0 е изразен в радиани. Като заместим с числените стойности, получаваме:

$$\frac{E}{E_0} \approx \frac{1}{32 \times 10^6}.$$

Проблясъкът от спътника е около 32 милиона пъти по-слаб от Слънцето в зенита за наблюдателя. Видимата звездна величина на Слънцето е:

$$m_0 = -26.7^{\text{m}}$$

Използвайки формулата на Погсън, за видимата звездна величина на проблясъка получаваме:

$$m = m_0 + 2.5 \log \frac{E}{E_0} \approx -8^{\text{m}}$$

Имайки предвид наблюдателните данни, можем да заключим, че нашата оценка е достатъчно реалистична. Трябва все пак да отбележим, че не

сме отчели отражателната способност на елемента от спътника, който поражда проблясъка. Но както споменахме, най-ярките проблясъци се получават от посребрените антени на спътниците, а тяхната отражателна способност е много висока.

Можем също и да оценим размера на областта от земната повърхност, в която се наблюдава проблясъкът. Този размер е:

$$d = H\delta_0 \approx 7.8 \text{ km},$$

където отново ъгълът δ_0 е изразен в радиани.

Каква форма има тази осветена от проблясъка област? Нека си спомним, че можем да разглеждаме ситуацията по следния начин – в зенита на наблюдателя се намира образът на Слънцето. Част от този образ наблюдателят вижда сякаш през много малък отвор с размерите на проекцията на отражателния елемент на спътника. Това е същото, както при наблюдение с камера обскура – кутия с малък отвор, през който влиза светлина отвън и върху противоположната страна на кутията се получават изображения на външните предмети. Следователно осветената от проблясъка област от земната повърхност ще представлява образ на Слънцето, получен сякаш с помощта на камера обскура. Независимо от формата на отражателния елемент, осветената област ще бъде кръгла като самото Слънце. По подобен начин чрез малко огледалце получаваме “слънчево зайче” – кръгло светло петно върху стена или друга повърхност, което е образ на Слънцето. В случая със спътника, обаче, “слънчевото зайче” върху земната повърхност има доста по-внушителни размери.

Литература

- [1] <http://img.dictionary.com/>
- [2] <https://www.flickr.com/photos>
- [3] J. French, Michigan State University, Moon Photopage
<http://www.pa.msu.edu/people/frenchj/moon/index4.html>
- [4] Kevin Baird, Annular eclipse “ring of fire”
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Annular_eclipse_%22ring_of_fire%22.jpg#metadata
- [5] Full Moon and Libra Lunar Eclipse – April 15, 2014
<http://www.homeplanetastrology.com/full-moon-and-libra-lunar-eclipse-april-15-2014/>
- [6] Babak A. Tafreshi, The Belt of Venus,
<http://twanight.org/newTWAN/photos.asp?ID=3002988>
- [7] Международна олимпиада по астрономия, 2000 г.

Lights and Shadows

Eva Bojurova

University of Sofia, Faculty of Physics, 1164 Sofia, 5 James Bourchier Blvd.

Abstract: The article deals with some intriguing astronomical and not only astronomical phenomena associated with the propagation of light. All considerations are limited within the laws of geometrical optics. Presented are the solutions of several problems on optics that can be used by teachers working with high school students showing special interest in physics and astronomy.