

МЕТЕОРИ. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Валентин Велков

Астрономически клуб „Канопус“ – Варна

Резюме. В настоящата статия са разгледани някои основни понятия, свързани с метеорната астрономия, както и употребата на правилната терминология при работа на български език. Поради огромния обем на тематиката това се явява първата част от предстояща поредица, която разглежда само най-общите положения в метеорната наука. Статията може да послужи на народните обсерватории и сродни структури, свързани с обучението по астрономия на любители (поради липсата на подобна литература на български език), а метеорните явления ще продължават да привличат вниманието на широк кръг от хора, оказвайки им най-вече едно силно, емоционално въздействие!

Ключови думи: метеор; болид; метеорни явления; метеорити; радиант; метеорен поток; метеорен дъжд; метеороиди; метеорна астрономия

Метеорните явления представляват важен етап при формирането на първоначалния облик на планетите в ранния стадий на образуването на Слънчевата система. Макар и не със същата динамика, дори в наше време те продължават да играят значителна роля в обмена на вещество в планетарен мащаб. Те са ключов фактор за баланса между загуба на маса на Земята (поради изпаренията на атоми и молекули от земната атмосфера) и приток на материя (постъпваща чрез попадащите върху нея метеорни частици). По най-груби оценки на специалисти в областта на метеорната астрономия системният приток на метеорна материя в земната атмосфера варира между 3 и 50 000 тона за денонощие (Levin 1956)!

През последните години се наблюдава повишен интерес към метеорните явления както в световен мащаб, така и у нас. Все по-често в различните източници за масова информация е застъпена метеорната тематика. Причината е в преминаване на Земята през някои по-богати метеорни роеве и очакваните във връзка с това максимуми на метеорни потоци. Изобилстват също и съобщения за наблюдавани болиди или намерени метеорити. Много често сме свидетели на боравене с неправилна терминология. От друга страна, има една прекалено тясна област в астрономията, която е слабо застъпена дори в курсовете по астрономия на университетско ниво и още по-слабо – в учебни-

ците за средния курс. Метеорната тематика е прекалено голяма, за да могат да бъдат обхванати всички нейни аспекти в рамките и обема на една статия. Ето защо си поставих за цел на сравнително популярно ниво да разгледам някои основни неща и понятия.

При навлизането на твърда частица с голяма скорост в атмосферата се поражда светлинно явление, наречено метеор (фиг. 1).



Фигура 1. Ярък метеор с две избухвания, заснет на 13.08.1985 г. от обсерваторията в с. Аврен, обл. Варненска, с помощта на фотоапарат „Зенит“ в полето около зв. Куп η & χ Рег. По слабо вълнообразната траектория може да се съди, че метеороидът е имал леко спираловидно движение. Над главното избухване може да бъде видяна кометата Джакобини – Циннер като слабо издължен мъглав обект с капковидна форма. Фотографията е колективно дело на астрономите любители Румен Шопов, Галин Ганчев и Милен Нанков (източник: снимков архив на астрономически клуб „Канопус“ – Варна).

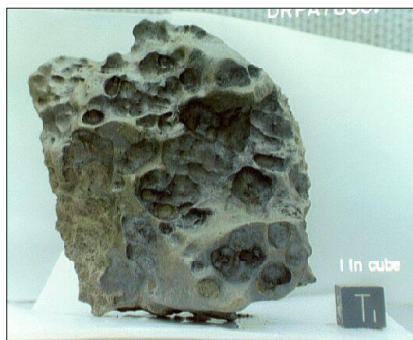
Терминът произлиза от древногръцката дума **μετέωροζ** – явление нагоре (от **μετά** – там, и **αίρειν** – издигащ се) (Astapovich 1958). Според Аристотел метеорите са атмосферни възпламенявания, което се съхранило и в думата „метеор“ (т.е. „явление във въздуха“). За появата на метеор са необходими два компонента: атмосфера и частица, пораждаща явлението, наречена **метеорно тяло** или **метеороид**. Двата термина са еквивалентни, но първият се употребява обикновено когато става въпрос за движение по орбитата преди достигане на атмосферата, а вторият се използва за процеси, протичащи при движение на тялото вече в съпротивителна среда (Bronstein 1981). При движение на метеороида, в резултат на сблъсъка на атоми от повърхността му с тези на атмосферата, кинетичната им енергия нараства и температурата на средата се повишава до 2500 – 3000 К. Започват процеси на изпарение на атомите от метеороида и йонизация на взаимодействащото вещество. След рекомбинация се получава електромагнитно излъчване, което е причина за проявата на светлинното явление. Процесът на загуба на маса на метеороида се нарича **аблация**.

По-масивни частици могат да навлязат в по-плътните атмосферни слоеве и да имат по-интензивно излъчване. Обикновено метеори с блясък, по-голям от -4^m , се наричат **болиди** (от гръцкото **βολίς** – снаряд, гюлле, и латинското **bolis** – топка) (фиг. 2а; б).



Фигура 2. а) Ярък болид от -10^m , заснет на 02.08.1992 г. в 23 ч. 07 мин. UT от Валентин Велков при участие в Националната лагер-школа в местността Белите брези край Кърджали с помощта на фотоапарат „Практика“, обектив: 1,8/50 mm, филм: ORWO 400 ISO . (източник: снимков архив на астрономически клуб „Канопус“ – Варна); б) дневен болид заснет от Paul Brown през 2001г.¹⁾

Поради големия диапазон (от - 4^m до около - 30^m), болидите се разделят на три подгрупи: **обикновени болиди** (от - 4^m до - 8^m), **ярки болиди** (от - 9^m до - 12^m) и **свръхболиди** ($> - 12^m$). В англоговорящите страни за обикновените болиди се използва терминът Fireball, а за останалите Bolide. По време на появата на болид понякога се случва да се „чуват“ звуци паралелно със самото явление. Такива болиди се наричат „**електрофонни**“. Имайки предвид огромната разлика в скоростите на разпространение на звуковите и светлинните вълни, от физична гледна точка това е невъзможно. Още повече че на височината на появата на болидите средата не е достатъчно плътна за разпространението на звукови вълни. Обяснението е в наличието на нискочестотни електромагнитни вълни, отделени по време на полета на болида, които при взаимодействие с околни предмети (предимно метални, жици на далекопроводи и др.) водят до излъчването на звукови вълни от тях. Така излъчените звукови вълни изминават много по-кратък път от светлинните и достигат до наблюдателя практически едновременно. При най-масивните тела се случва да не се загуби цялата маса при взаимодействието с атмосферата и тогава остатъкът от метеорното тяло, достигнал твърдата повърхност на планетата, се нарича метеорит (фиг. 3а). По-малко масивните метеорити обикновено падат на повърхността със скоростта на свободно падащо тяло в съпротивителна среда. По-масивните при сблъсък с повърхността водят до образуването на кратер (фиг. 3б).



Фигура 3. а) Снимка на железен метеорит⁴⁾



б) Един от най-известните кратери с метеоритен произход – кратерът Barringer в Аризона³⁾

Големите кратери, образувани в миналото при сблъсък на по-масивни тела със Земята, се наричат „**астроблеми**“. Терминът идва от гръцки и означава „**звездна рана**“ (Hutchison & Graham 1999; Barskov 2001).

Понякога поради нехомогенен състав и структура на големи тела се получава раздробяване в плътните слоеве на атмосферата и отломците се разпи-

ляват на по-голяма площ. Тогава се получава явлението метеоритен дъжд. Един от най-известните примери в това отношение представлява метеоритният дъжд, породен от падането на Сихоте-Алинския метеорит²⁾.

В зависимост от своята структура, метеоритите се разделят на две основни групи: хондрити и ахондрити. **Хондритите** са сред най-древните образувания в Слънчевата система, защото голяма част от тях са образувани от първоначалната газово-прахова мъглявина още в началните стадии на оформянето на планетите. Носят наименованието си от порестата си структура, в която веществото е кондензирано в малки сфероидни зърна, наречени „хондри“. **Ахондритите** имат леко аморфна структура, понякога с наличие на кристали в нея. Те са се образували на по-късен етап и са включени в състава на по-големи тела, които са претърпели разтопяване и разслояване на химичните елементи на гравитационен принцип. По структура много напомнят вулканичните скали и базалти. На даден етап тези тела в резултат на сблъсък на родителското им тяло с друго голямо тяло, претърпяло частично или пълно раздробяване, са били изхвърлени в пространството.

По химичен състав метеоритите се делят на железни, желязокаменни и каменни. От изброените най-интересна е групата на т.нар. „въглеродни хондрити“, някои от които са изключително богати на органични елементи. В състава на някои от тях има открити дори и аминокиселини.

В зависимост от яркостта си метеорите могат да бъдат класифицирани в няколко основни групи (Astapovich 1958):

1. Ултрателескопични метеори – по слаби от +16 звездна величина.
2. Слаби телескопични метеори – от +16 до +12 звездна величина.
3. Телескопични метеори – от +11 до +7 звездна величина.
4. Обикновени метеори – от +6 до +2 звездна величина.
5. Ярки метеори – от +1 до -3 звездна величина.
6. Бolidи – от -4 до -8 звездна величина.
7. Ярки болиди – от -9 до -13 звездна величина.
8. Свръхболиди – от -14 звездна величина и по-ярки.

В зависимост от масата и от условията на тяхното регистриране метеорните тела, пораждащи метеорите, могат да се разделят на три групи (Bronstein 1981).

Микрометеороиди. Техният размер е от порядъка на десетки микрометри и по-малки. Те не могат да бъдат наблюдавани с оптични или радиолокационни методи, тъй като не създават забележимо светене и йонизация. Изпитвайки съпротивлението на най-високите слоеве на земната атмосфера, те забавят скоростта си, преди да са се нагрили до температура на изпарение и да започнат да светят. Горната граница на тяхната маса достига до 10^{-6} g, съответстваща на долната граница на частица, достъпна за регистриране на метеор чрез



Фигура 4. Скала на мащаба на метеорните явления и зоната на задръжка (където метеорните тела изчерпват масата си или постигат скорост на свободно падащо тяло в съпротивителна среда) при зададена скорост от 30 km/s (Astapovich 1958)

радиолокация. Частици с маси $10^{-13} \div 10^{10} \text{ g}$ напълно загубват своите космически скорости още на височина $130 \div 110 \text{ km}$ над земната повърхност и под действието на гравитационното привличане и аеродинамичното си съпротивление бавно се посипват по повърхността на Земята. През 1950 г. Ф. Уипъл пръв въвежда понятието за тях, наричайки ги съвсем удачно микрометеорити. Техният максимален размер зависи от доатмосферната им скорост (v_{∞})².

$$r_{\max} = \frac{4.2 \cdot 10^{15}}{v_{\infty}^3}, \text{ където } v_{\infty} \text{ е изразено в cm/s}$$

Съгласно горепосочената формула при навлизане в земната атмосфера с минимално възможната скорост от 11,2 km/s без загуба на маса на повърхността на Земята падат частици с радиус около 30 микрона, което при средна плътност от 3 g/cm^3 съответства на маса от $3 \cdot 10^{-10} \text{ g}$. Основните методи за регистрацията на тези частици са детектори върху космически апарати, спе-

циални прахоуловители под формата на гелове и полутечни емулсии, разположени върху балони и ракети, както и микрократери по лунни образци, доставени на Земята или проби от дънни и ледникови отлагания. С изключение на първия, нито един от останалите изброени методи не позволява определяне на техните орбитни елементи. Микрометеороидите са известни още и като „**частици на Браунли**“ в чест на Доналд Браунли (Donald Brownlee), който пръв започва изследване на междупланетно вещество. За тяхната повишена концентрация около равнината на еклиптиката свидетелства явлението „зодиакална светлина“, представляващо отразена и разсеяна слънчева светлина от подобни частици (фиг. 5).



Фигура 5. Снимка на зодиакална светлина, направена от базата на ESO в La Silla Observatory в Чили през септември 2009 (източник: [ESO Fan Page](#))

С помощта на космически апарати е натрупано голямо количество информация за физичните и кинематичните свойства на микрометеороидите, плътността на техния приток, както и за разпределението им по орбити. Получени са също така интересни сведения за тяхното разпределение до орбитите на Марс и Сатурн. Те основно могат да бъдат разделени на две подгрупи. Към първата се отнасят частици с маса под 10^{-13} g. Те се движат под влияние на слънчевия вятър и светлинното налягане по хиперболични орбити и са наречени **β -метеороиди**. Към втората се отнасят частици със сравнително по-големи размери и маса от

порядъка на 10^{-12} – 10^{-7} g. В резултат на влиянието на ефекта на Пойнтинг – Робертсът (виж „Еволюция на метеорните роеве“) техните големи полуоси намаляват и те бавно, по завита спирала, падат към Слънцето.

2. Метеороиди. Това са малки частици или по-големи тела, създаващи достатъчна йонизация или светене, за да могат да бъдат регистрирани с визуални, фотографски, видео- и радиолокационни наблюдения. Проследяването на техните траектории позволява достатъчно надеждно определяне на орбитните им елементи и подлагането им на статистически анализи. Диапазонът на масите им е в границите между 10^{-6} ÷ 10^7 g.

3. Метеорити. Те са много добре изучени от физико-химична и минералогична гледна точка, но точни метеорни орбити са определени за много по-малко от цялото им количество – за тези, които са били заснети при полета на ярки болиди и по-късно намерени. Най-доброто постижение в това отношение е откритият на 06.10.2008 г. обект **2008 TC₃**. Той е забелязан ден преди навлизането в земната атмосфера в 02:46 UTC. Благодарение на предварително изчислените параметри на орбитата, предсказващи падането му на Земята, е намерен по-късно в Судан като вече паднал метеорит (фиг.6)

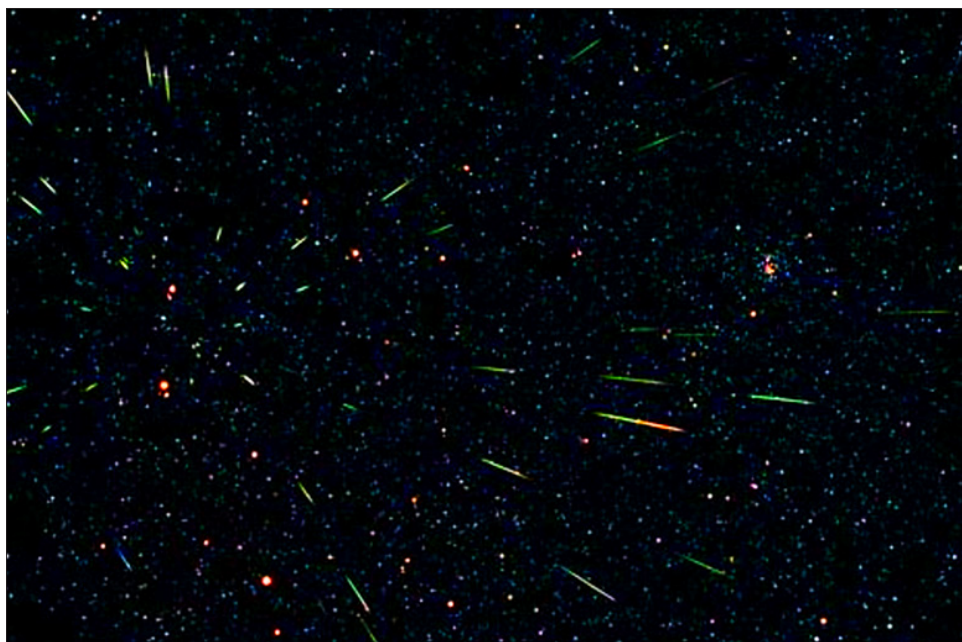


Фигура 6. Фрагмент от 2008 TC₃, открит на 28 февруари 2009 г. от Питър Йенисенс с помощта на студенти от Хартумския университет. Нубийска пустиня, Судан

Източник: http://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/asteroid_treasure_hunt.html

Диапазонът на масите на намерените метеорити – от 10^{-2} до 10^8 g, се отнася за крайната маса на метеоритите след преминаването им през земната атмосфера. Разбира се, техните доатмосферни маси са значително по-големи.

Когато множество от метеорни частици с общ произход се движат по сходни орбити, казваме, че те са формирали метеорен рой. При преминаването на Земята през даден метеорен рой наблюдаваме повишаване на метеорната активност с навлизането ѝ в по-плътните участъци на роя. Проявата на тази активност наричаме метеорен поток, а пресичането на най-плътната част от роя наричаме максимум на метеорния поток. В един и същи период от време могат да действат няколко метеорни потока. Когато активността на даден метеорен поток надхвърли 1000 за един час, използваме определението метеорен дъжд (фиг. 7).

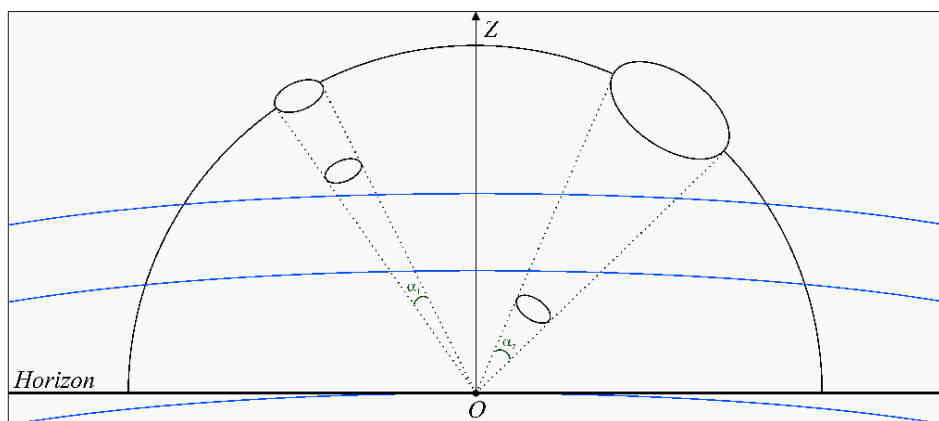


Фигура 7. Снимка, направена по време на метеорния дъжд на Леониди от N.S. Evans през 1999 година. Снимката представлява сглобка от 9 кадъра, всеки от които с 8-минутна експозиция, и е любезно предоставена лично от автора

Много често в средствата за масова информация се бъркат термините метеорен поток с метеоритен поток и максимум на метеорен поток с метеорен дъжд! Това е, защото темата за метеоритите е много по-застъпена в ежедневи-

ето, всички знаят за метеорита, довел до гибелта на динозаврите! Преводът на английската дума **shower** се използва както като душ, така и за дъжд и когато статиите на журналистите се превеждат с Google Translate, всичко изглежда точно! Терминът за метеорен дъжд обаче, който се използва в английския, е **Meteor storm!**

А сега да отделим малко внимание и на геометрията на метеорните явления. Наблюдавайки пространството около себе си, човек неволно проектира по-близко разположените тела и предмети на фона на по-отдалечените. В крайна сметка, всичко се свежда до проекция върху една **безразмерна** сфера, в центъра на която е самият наблюдател. Ако трябва да сме прецизни, всяко око е център на такава сфера, но поради пренебрежимо малкото разстояние между очите на фона на най-отдалечените обекти се приема, че сферата е една. Когато става въпрос за по-отдалечени обекти, техните линейни размери стават трудни за преценка и на практика големината им се свежда до проекция върху сферата под някакъв централен ъгъл. Ъгловата проекция на по-отдалечените обекти върху тази сфера изглежда по-малка. На безкрайно отдалечените обекти, където линейните им размери са пренебрежимо малки на фона на разстоянието до тях, ъгловите размери се приемат за точкови, а лъчите, достигащи до наблюдателя в центъра на сферата, са практически успоредни. Именно такъв фон са звездите, а сферата се нарича **Небесна сфера**. Поради непрозрачността на земната повърхност наблюдаваните обекти се свеждат само до проекция върху **полусферата** (фиг. 8).

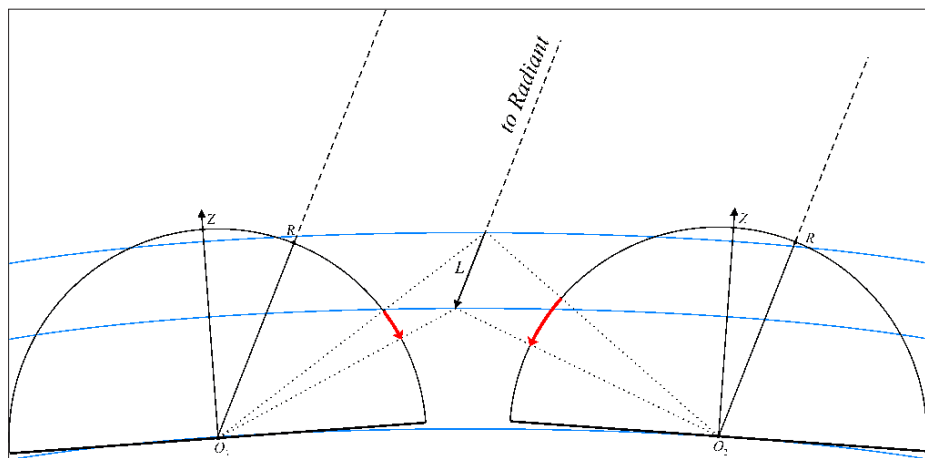


Фигура 8. Илюстрация на проекция върху Небесната полусфера на два обекта с еднакви линейни размери и различно отстояние от наблюдателя в центъра на сферата. Със син пунктир е дадена в мащаб кривината на земната повърхност и дебелината на атмосферния слой, където се проявяват метеорните явления.

Дадена е също линията на хоризонта и посоката към зенита (Z)

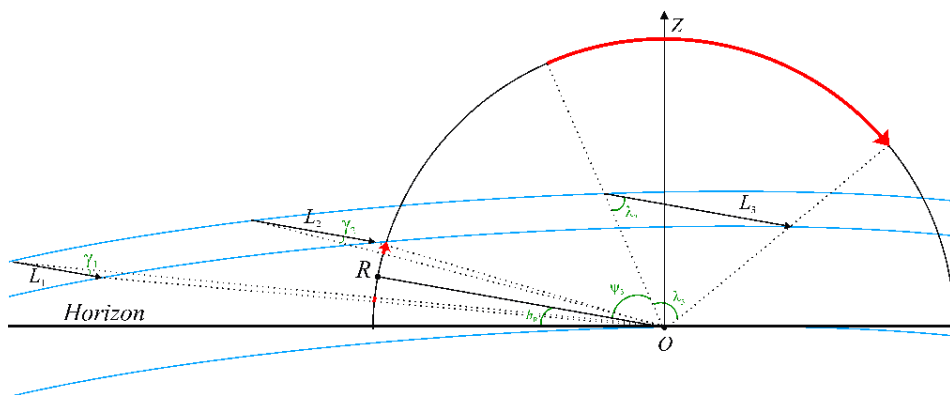
Проекцията става в две направления: проекция на линейни размери и проекция на линейни скорости. Проекцията на линейната дължина на метеора върху сферата зависи от големината на линейната му дължина, ъгъла на ориентация спрямо наблюдателя и линейното разстояние до него. Тя се нарича **ъглова дължина** и представлява дъга от голяма окръжност. Измерва се в градуси с централен ъгъл между началото и края на метеора. Проекцията на линейната скорост зависи от същите фактори и представлява измината љглова дължина за единица време. Нарича се **ъглова скорост** и се измерва в градуси за единица време.

Метеорни радианти. Метеор, наблюдаван от двама различни наблюдатели, разположени на разстояние, съизмеримо с разстоянието до метеора, би се проектирал на небесната сфера като две различни, взаимно успоредни траектории, които се пресичат в безкрайността в една точка. Тази точка се нарича **радиант** на метеора и обикновено се бележи с **R** (фиг. 9).



Фигура 9. Илюстрация на проекция на метеор върху небесната полусфера за двама различни наблюдатели. С **L** е означен линейният размер на метеора, с червен цвят – неговата проекция върху небесната сфера. Със син пунктир е дадена в мащаб кривината на земната повърхност и дебелината на атмосферния слой, където се проявяват метеорните явления. Дадена е също линията на хоризонта и посоката към зенита (**Z**). Заради кривината на Земята в един и същи момент имаме различно зенитно отстояние на радианта (при разположение на пунктовете в посока изток – запад), но на фона на звездите той има еднакви положения и екваториални координати

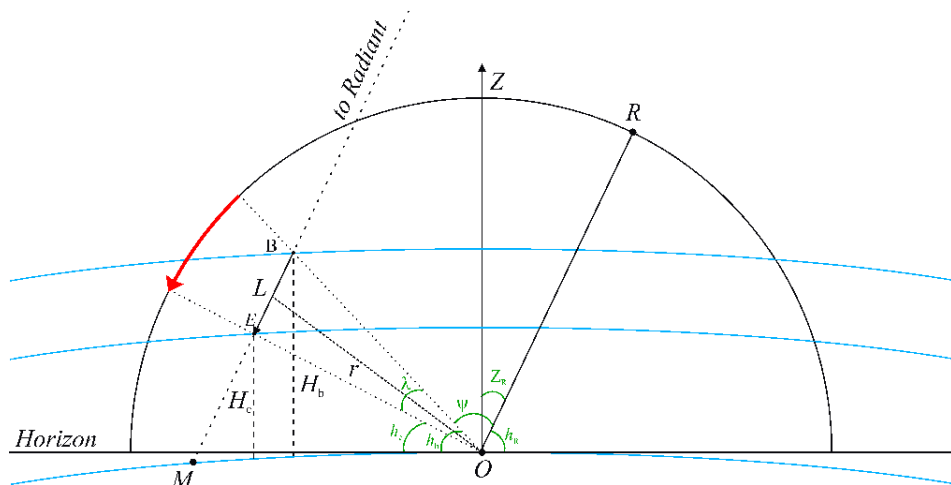
Всъщност, както беше споменато в началото, всеки от двамата наблюдатели се явява център на такава сфера, но поради факта, че разстоянието между тях е пренебрежимо малко в сравнение с разстоянието до фоновите звезди, чийто паралакс при тази база е практически 0 градуса, може да приемем, че центърът на сферата е еднакъв и за двамата. Радиантът на метеора представлява пресечната точка на неговата траектория с небесната сфера в безкрайността. Колкото по-близо до радианта се намира метеорът, толкова по-малка е ъгловата му дължина и по-бавна ъгловата му скорост спрямо фоновите звезди (фиг. 10).



Фигура 10. Когато радиантът се намира близо до хоризонта, ефектът с проекции на дължини и скорости се подсилва поради различната отдалеченост на метеора до наблюдателя

Метеор, движещ се по лъча на зрение от радианта към наблюдателя, има нулева ъглова дължина и нулева ъглова скорост спрямо звездите. Такъв метеор се появява като точков и се нарича **стационарен**. Њгловата дължина на такъв метеор е 0 градуса, а ъгловата му скорост – 0°/сек. Вероятността да се види подобен метеор, е много малка, но все пак е различна от нула. По време на максимуми на обилни метеорни потоци или метеорни дъждове тази вероятност се реализира по-често. По статистики на известни метеорни наблюдатели един стационарен метеор се случва средно на 13 000 видени метеора (Astarovich 1958)!

В общи линии метеорът може да се опише със следните характеристики (фиг. 11):



Фигура 11. Основни характеристики на метеора

линейна дължина – L , ъглова дължина – λ , разстояние до метеора – r , точка на появяване – B , точка на изчезване – E , линейна височина на появяване – H_b , линейна височина на изчезване – H_e , ъглова височина на появяване – h_b , ъглова височина на изчезване – h_e , ъглово отстояние на началото от радианта – ψ , зенитно отстояние на радианта – Z_R , височина на радианта над хоризонта – h_R , и земна точка на метеора – M (тази точка от земната повърхност, от която метеорът би се виждал като стационарен). Има и такива метеори, които нямат земна точка. Това се случва при метеори, минаващи през зенита, когато техният радиант се намира на хоризонта. Дори се случва някое метеорно тяло да не успее да се разруши докрай, а само да „прониже“ полегата земната атмосфера и да продължи по орбитата си.

Към изброените характеристики на метеора трябва да добавим и още една – неговата **яркост**. Яркостта на метеора се определя в звездни величини и на практика представлява осветеността E върху ретината на човешкото око (или друг приемник), която създава излъчването на метеора с интензитет I във видимата част на спектъра. Осветеността зависи най-вече от големината на интензитета I , разстоянието до източника r и ъгъла θ , под който попадат лъчите върху приемника (в случая човешкото око).

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \theta^\circ$$

Очевидно е, че при еднакъв интензитет яркостта на един и същи метеор би била различна на различни разстояния от наблюдателя. Ако приемем за средна височина на метеорните явления 100 км над повърхността на Земята,

то минималното разстояние до наблюдателя е при метеор, появил се в зенита (фиг. 10). Поради кривината на Земята разстоянието до метеор на същата височина над повърхността, но на хоризонта, ще бъде за този наблюдател 1100 km, а видимата звездна величина m – значително по-слаба. За да се избегне тази разлика, се въвежда понятието *Абсолютна звездна величина* на метеора m_z . Това е същата звездна величина, която той би имал на стандартно разстояние от 100 km (Babadzhanov 1987):

$$m_z = m + 10 - 5 \lg r$$

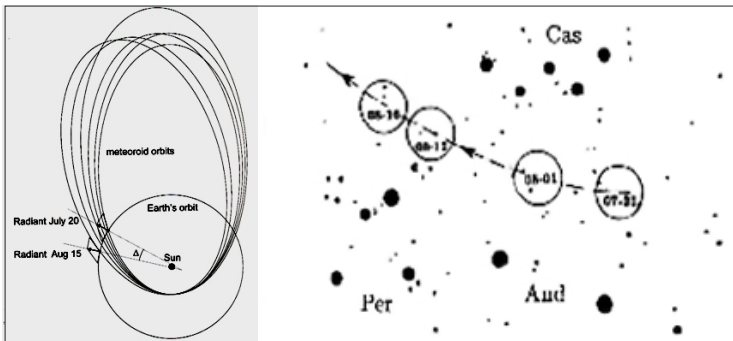
Освен това поглъщането на светлина от земната атмосфера нараства с дебелината на въздушния слой, през който тя преминава. Ето защо, ако сравнението на блясъка на метеора е ставало не по близки звезди на същата ъглова височина, а със звезди в зенита, следва да се направи и такава корекция (Babadzhanov 1987):

$$m_z = m + 10 - 5 \lg r - 0,2 \sec Z ,$$

където Z – зенитното отстояние на метеора.

Тъй като метеорните тела от един и същи рой се движат по сходни орбити, те навлизат в земната атмосфера по почти успоредни траектории и имат общ радиант. Този общ радиант, на практика, не е точков, а заема някаква площ от небесната сфера, като колкото по-стар е роят, толкова по-голяма е площта на радианта на метеорния поток. Всъщност радиантът на даден метеорен поток представлява площта от небесната сфера, върху която са разположени индивидуалните радианти на всеки негов поточен метеор. В зависимост от това в кое съзвездие се намира радиантът по време на максимума на потока, той носи неговото име. Например в Персей – Персеиди, във Водолей – Аквариди. Има и няколко изключения, като например метеорния поток Квадрантиди, носещ името на несъществуващото вече съзвездие Стенен Квадрант, или потоци, носещи имената на родителските си комети Джакобиниди (Драконида) – от кометата Джакобини – Цинер, или Понс-Винекиди (Юнски Боотиди) – от кометата Понс-Винке. При много стари роеве в резултат на срещи с големите планети и тяхното гравитационно влияние върху частиците се случва траекториите на отделни групи да не са паралелни. Това води до образуването на подструктури на основния радиант. При някои еклиптикални потоци се наблюдава формиране на две области на радиация, съответно под Еклиптиката (Южни) и над Еклиптиката (Северни) клонове. Типичен пример за такъв поток са Тауридите.

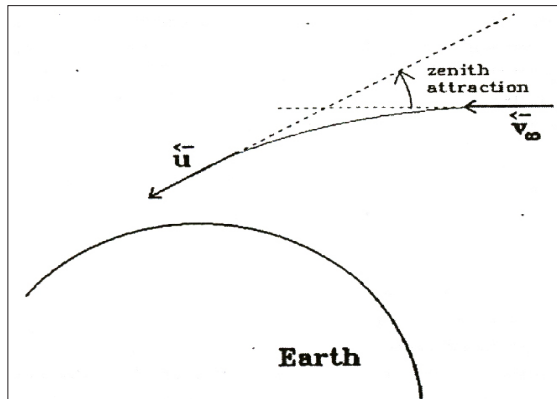
Поради движението на Земята по орбитата ѝ около Слънцето ъгълът на среща с орбитата на роевете бавно се променя и това води до преместване на радианта по небесната сфера спрямо положението на звездите (фиг. 12).



Фигура 12. Пресичане на роя на Персеидите от Земята (вляво) и движение на радианта на метеорния поток през периода му на действие (вдясно)

Движението става в посока от запад на изток и е около градус за денонощие, като при радиантите около Еклиптиката преместването е по-голямо, а в близост до полюса на Еклиптиката – по-малко.

При движение на метеорното тяло в гравитационното поле на Земята, скоростта му, която е векторна величина, се определя от две компоненти. Едната компонента е векторът на силата на земното ускорение, насочен към центъра на масата на Земята, а втората е векторът на тангенциалната скорост по посоката на движението на метеороида спрямо Земята. В резултат на това траекторията му се закривява по дъга от голяма окръжност и в една азимутална координатна система неговият радиант се проектира по близо до зенита, отколкото е в действителност. Така наблюдаваният радиант се нарича **видим радиант**, а ефектът се нарича **ефект на зенитното притегляне на радианта** (фиг. 13).



Фигура 13. Схема на ефекта на зенитното притегляне на радианта. С $\vec{v}_{\infty}$ е означена топоцентричната (доатмосферна) скорост, а с $\vec{u}$ – моментната скорост на метеора (Arlt et al. 2008)

Най-силно ефектът се проявява, когато радиантът се намира на хоризонта, защото тогава двата вектора сключват ъгъл от 90° , а когато радиантът е в зенита, направленията на векторите съвпадат. Тъй като векторът на силата на земното ускорение е с еднаква големина за всички метеорни тела, а векторът на тангенциалната скорост по посоката на движението на метеороида е различен за различните метеори, то ефектът се проявява най-силно при най-бавните метеори. Знаейки екваториалните координати на видимия радиант α и δ , атмосферната скорост v_∞ и геоцентричната скорост v_g на метеорите на даден поток, чрез преход в хоризонтална координатна система може да се направи корекция за ефекта на зенитното притегляне (Hutchison & Graham 1999):

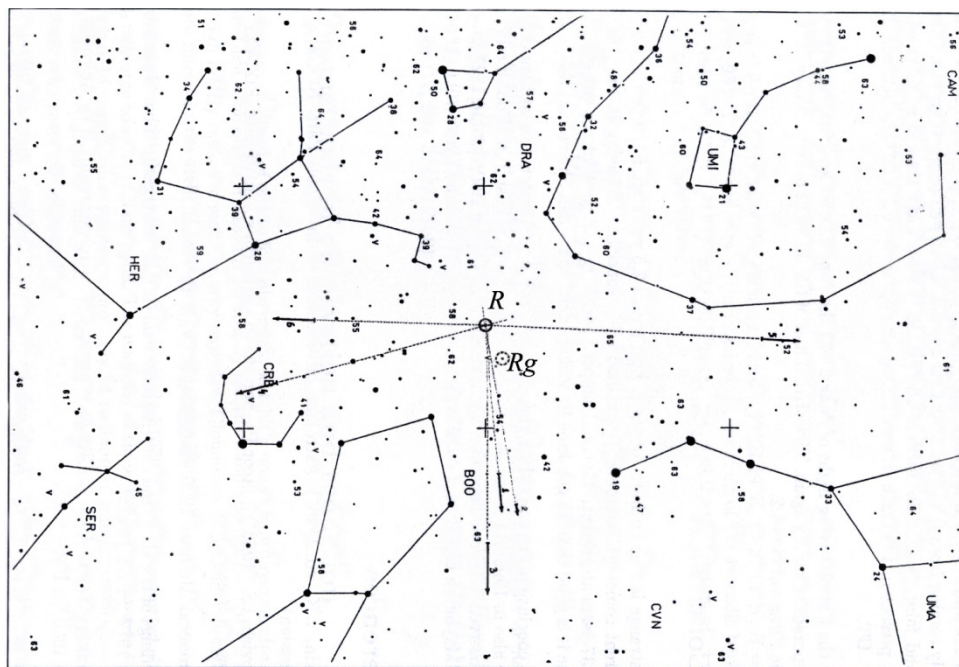
$$\Delta z = 2 \arctan \left(\frac{v_\infty - v_g}{v_\infty + v_g} \tan \frac{z}{2} \right),$$

където z е зенитното отстояние на видимия радиант, а Δz – корекцията на положението на радианта в градуси. Така коригираният радиант се нарича **мо-поцентричен**. За най-бавните метеори с радиант, разположен на хоризонта, Δz може да надхвърли 15 градуса!

Още един фактор влияе върху положението на видимия радиант и това е аберацията от въртенето на Земята. Заради него видимият радиант се отмества на изток от истинското си положение. Макар и по-слабо изразен от ефекта на зенитното притегляне, този ефект също трябва да се отчита. Отместването в източно направление се изчислява по формулата (Alrt et al. 1999):

$$\sin \Delta \beta = \frac{\sin \beta \cos \varphi v_e}{v_\infty},$$

където β е отстоянието на видимия радиант от точката на изтока, а $\Delta \beta$ – корекцията на положението на радианта, φ – географската ширина на наблюдателния пункт. След двете корекции се получава положението на геоцентричния радиант, което за разлика от положението на видимия е еднакво за цялата Земя в даден момент от време (фиг. 14).



Фигура 14. Карта на фотографски радиант на метеорния поток Юнски Ботиди, получен от Валентин Велков в нощта на 27/28.06 1998 год. С плътна малка окръжност е означен видимият радиант (R), а с пунктирана – геоцентричния (R_g) (Velkov 1998)

Когато се получи вече положението на геоцентричния радиант R_g , показващ положението на радианта на метеорния поток спрямо Земята, може да се изчисли и неговият истински (хелиоцентричен радиант) R_h , показващ положението му в Слънчевата система спрямо Слънцето. За целта от справочник трябва да се вземат или изчислят координатите на Апекса на Земята A към момента, за който се отнасят координатите на геоцентричния радиант. В метеорната астрономия обикновено вместо в часове, дати и месеци, с цел да се избегнат неудобствата от разликата с един ден след февруари при високосни години, се използва Слънчевата дължина $\lambda_\odot$.

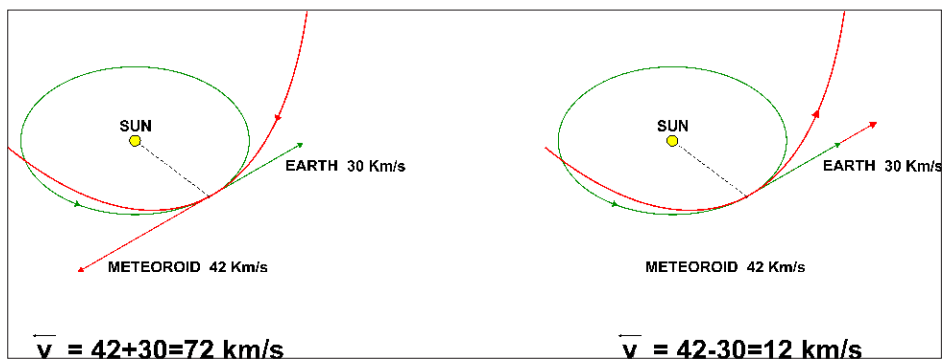
$$A = \lambda_\odot - 90^\circ$$

По формулите от сферичната тригонометрия, на базата на координатите на геоцентричния радиант, се изчислява видимата му от Апекса елонгация ε . Тогава истинската му елонгация ε' ще бъде (Astapovich 1958):

$$\operatorname{tg} \varepsilon' = 1 - \frac{v_t}{v_g} \sec \varepsilon ,$$

където v_t е скоростта на Земята по орбитата ѝ, а v_g е геоцентричната скорост на метеорния поток.

Скорости. Скоростта, с която се появява един метеор, е негова видима скорост u . Именно тази скорост определяме директно от наблюдението, било то фотографско, видео, радио наблюдение или дори визуално. Тя не е константна, а се мени в някакви граници поради различни фактори. Най-силният от тях е съпротивлението на земната атмосфера, водещо до забавянето ѝ. Ако се абстрахираме от този фактор, най-определяща е геоцентричната скорост v_g . Това е скоростта, с която метеорните тела срещат Земята. Тя е векторна величина и зависи от орбиталната скорост на Земята, хелиоцентричната скорост на метеорното тяло (скоростта, която тялото има на разстояние 1 ау от Слънцето, където тялото среща Земята) и ъгъла, под който се срещат двете траектории. Скоростта на Земята vt е приблизително 30 km/s, а максимално възможната скорост за тяло, принадлежащо на Слънчевата система на разстояние 1 ау от Слънцето, е около 42 km/s. Така максимално възможната скорост при точно насрещно движение се получава около 72 km/s. (фиг. 15).



Фигура 15. Схема на срещата на Земята с метеорно тяло, имащо максимално възможната хелиоцентрична скорост

Геоцентричната скорост на метеорното тяло може да се изрази чрез формулата (Roggemans 1992):

$$v_g = \sqrt{v_h^2 + v_t^2 - 2v_h \cdot v_t \cos \varepsilon'} ,$$

където ϵ' е ъгълът между вектора на хелиоцентричната скорост на метеорното тяло и направлението към Антиапекса.

Под влиянието на земното притегляне геоцентричната скорост на тялото би нараснала до стойност, определена по формулата (Roggemans 1992):

$$v_{\infty} = \sqrt{v_g^2 + \frac{2\Upsilon M_t}{R}} \approx 10^3 \sqrt{v_g^2 + 125} \text{ [m/s]},$$

където Υ – гравитационната константа ($\Upsilon = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ [m}^3 \cdot \text{km} \cdot \text{s}^{-2}]$), M_t – масата на Земята ($M_t = 5,976 \cdot 10^{24} \text{ kg}$), R – средният радиус на Земята ($R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$). Тази скорост се нарича **топоцентрична** или още **доатмосферна скорост** и се бележи с v_{∞} . Това означава, че на достатъчно голямо разстояние тяло, притежаващо нулева относителна скорост спрямо Земята, би се ускорило до 11,2 km/s и тя е минимално възможната доатмосферна скорост за метеороид.

БЕЛЕЖКИ

1. <http://fireball.meteorite.free.fr/meteor/en/21/2001-07-23/pennsylvania/synthese>
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Sikhote-Alin_meteorite
3. <http://apod.nasa.gov/apod/ap990711.html>
4. <http://www.astronomynotes.com/solfluf/s3.htm>

ЛИТЕРАТУРА

- Б. Ю. Левин, 1956. *Физическая теория метеоров и метеорное вещество в солнечной системе*, Москва: Издательство Академии Наук СССР.
- И. С. Астапович, 1958. *Метеорные явления в атмосфере Земли*, Москва: Государственное издательство Физико-математической литературы.
- В. А. Бронштэн, 1981. *Физика метеорных явлений*, Москва: Наука – Главная редакция физико-математической литературы.
- Барсков И., Журавлев А., Короновский Н., Старостин В., 2001. *Энциклопедия для детей, Том 4, „Геология“*, Москва: Аванта+ Paul Roggemans, M Gyssens, Christian Steyaert & Tonny Vanmunster, превод – Ева Божурова, редактор – Захари Дончев, 1992. *Ръководство за визуални метеорни наблюдения*, София: NATURELLA
- П. Б. Бабаджанов, 1987. *Метеоры и их наблюдение*, Москва: Наука – Главная редакция физико-математической литературы.

REFERENCES

- Rainer, Arlt, David J. Asher, Peter G. Brown, Margaret Campbell-Brown, Audrius Dubietis, Ralf Koschack, Detlef Koschny, Esko Lyytinen, Alastair McBeath, Robert H. McNaught, Sirko Molau, Jürgen Rentdel, Paul Roggemans, Mihaela Triglav, Jérémie Vaubaillon, Cis Verbeeck, Jean-Marc Wislez & Vladimír Znojil, 2008. *Handbook for meteor observers*, Potsdam: International Meteor Organization .
- Velkov, V., 1998. The 1998 June Boötid outburst observed in Bulgaria. *Proceedings of the International Meteor Conference* (Stara Lesna, Slovakia, 20 – 23 August 1998).
- Arlt, R., Rendtel, J., Brown, P., Velkov, V., Hocking, W.K. & Jones, J. 1999. The 1998 outburst and history of the June Boötid meteor shower. *Montly Notices of the Royal Astronomical Society*, **308**(3), 887 – 896.
- Hutchison, R. & Graham, A., 1999. *Meteorites*, New York: Sterling Publishing Co., Inc.

METEORS. BASIC CONCEPTS AND TERMINOLOGY

Abstract. This article discusses some basic concepts related to meteor astronomy, as well as the use of the correct terminology when working in Bulgarian. Due to the huge volume of topics, this is the first part of an upcoming series that examines only the most general principles in meteor science. The article can serve the public observatories and similar structures related to the teaching of amateur astronomy (due to the lack of such literature in Bulgarian), and meteor phenomena will continue to attract the attention of a wide range of people, giving them mostly a strong, emotional impact!

Keywords: meteor; fireball; bolide; meteor phenomena; meteorites; radiant; meteor shower; meteor storm; meteoroids; meteor astronomy

✉ **Valentin Velkov**

ORCID iD: 0000-0002-3127-5467

Astronomical club “Canopus”,
4, Primorski park, postal box 120
9000 Varna, Bulgaria

E-mail: valdvelkov@gmail.com.