https://doi.org/10.53656/nat2022-1.02

New Approaches

МЕТЕОРИ. ОСНОВНИ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ – II ЧАСТ

Валентин Велков
Астрономически клуб „Канопус“ – Варна

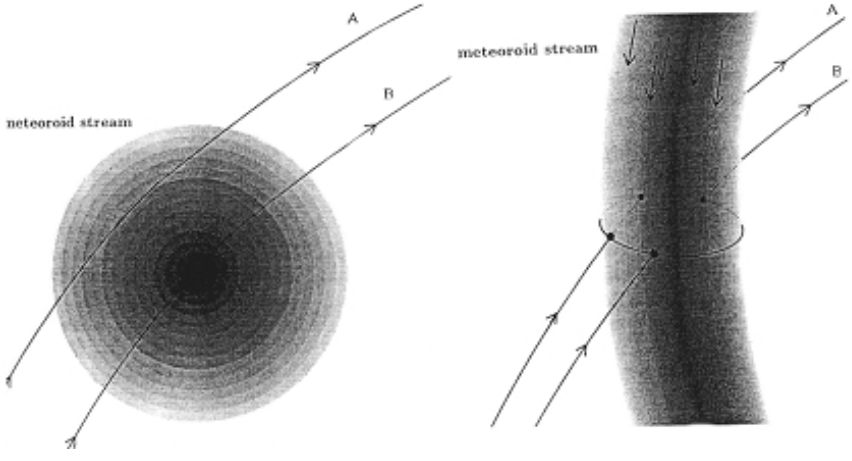
Резюме. Настоящата статия се явява втора от поредицата, разглеждаща същността на метеорните явления и някои техни аспекти. В нея са разгледани някои основни понятия, свързани с метеорната астрономия, както и употребата на правилната терминология при работа на български език. Поради огромния обем на тематиката и невъзможността да се побере в рамките на един брой от списанието, това се явява продължение от една 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 рой; разпределение по маса; популационен индекс; метеорен дъжд; метеороиди; метеорна астрономия

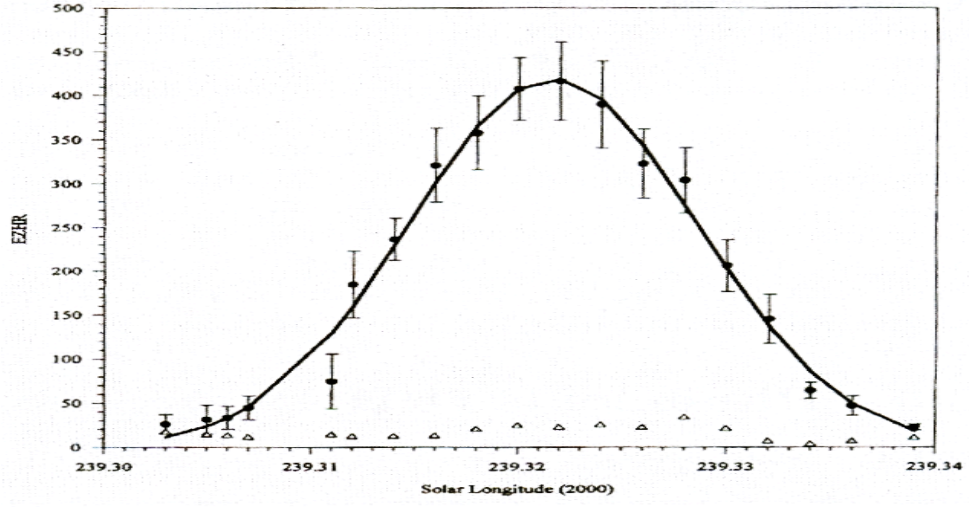
Метеорни роеве

Основни характеристики на метеорните роеве

Ежегодно Земята пресича десетки метеорни роеве, а някои като този, породен от Халеевата комета например – дори два пъти в година! На фигура 1 е показан идеализиран вариант на сечение на метеорен рой, с най-плътна концентрация на метеорни тела в геометричния му център и плавно намаляваща към периферията му. При подобен вариант активността на потока плавно нараства до достигане на максимум, а след това плавно намалява.



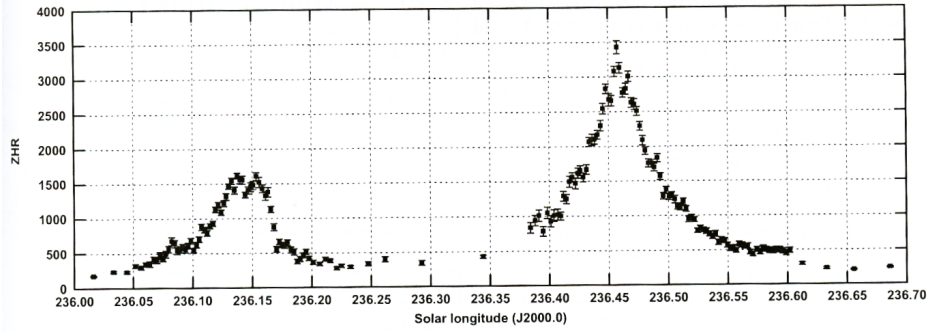
Фигура 1. Схема на пресичан от Земята метеорен рой (Arlt et al. 2008)



Фигура 2. Профил на активността на метеорния поток Алфа-моноцеротиди през 1995 година (Arlt et al. 2008)

В повечето случаи обаче метеорната материя е разпределена нехомогенно, образувайки отделни „влакна“. Тогава е възможно да се наблюдават двойни,

тройни максимуми и сериозни вариации в активността (фиг. 3).



Фигура 3. Профил на активността на метеорния поток Леониди по време на метеорния дъжд през 2001 година (Arlt et al. 2008)

Особено важно е да се изучава разпределението на частиците по маса в един рой. Това може да стане на базата на разпределението на метеорите от потока по звездни величини. Яркостта на един метеор зависи от интензитета на неговото излъчване във видимата част на спектъра и разстоянието му до наблюдателя. Интензитетът на лъчение, от своя страна, зависи на първо място от скоростта, след това от масата на метеороида, от ъгъла му на навлизане в атмосферата и химичния му състав. За метеорите от един и същи поток скоростите на метеорните тела са практически еднакви и се предполага, че имат сходен химичен състав, както и еднакви условия за навлизане в земната атмосфера. Това, което ги отличава помежду им, е масата на метеороидите, които ги пораждат. Затова те се разделят на класове звездни величини, центрирани върху целите стойности и обхващащи симетрично половинките между съседни класове. Според една стара теория в достатъчно голям от статистическа гледна точка обем в пространството сумарната маса на метеорните частици с определена големина е еднаква за всеки клас. Това означава, че колкото по-малки са частиците, толкова по-голям е техният брой (респективно броят на по-слабите метеори, които те пораждат). Бройката на слабите метеори би трябвало да нараства по някакъв експоненциален закон, така че отношението на бройката метеори между съседни класове звездни величини да остава константно за целия интервал от наблюдавани звездни величини. Това съотношение се нарича ***популационен индекс*** и се бележи с **r** в методиката на Международната метеорна организация или с **и** в руската методика, но физическият му смисъл е еднакъв. Стойността му може да бъде получена от разпределения по звездни величини при извършени наблюдения. При реално разпределение на наблюдавани поточни метеори обаче се наблюдава покачване на бройката с нарастване на звездната величина

до достигане на максимална стойност при даден клас звездни величини, последвано от спад до почти нулеви стойности. При това максимумът зависи от конкретните условия за наблюдения и граничната звездна величина. Това е така, защото появяващите се метеори не могат да бъдат зарегистрирани на 100%. Вероятността за зарегистриране на един метеор намалява с нарастване на звездната величина. Ето защо при определяне стойността на **r** се използват тези класове звездни величини, където вероятността за регистриране на метеор е близка до 100%. За определянето на популационния индекс се построява т.нар. „функция на светимостта“ на метеорите. При нея вместо **истинския** брой на метеорите по звездни величини **N(m)** в логаритмичен мащаб се дава интегралният брой метеори до дадена звездна величина **Φ(m),** съответстващ на броя на частиците до дадена маса в роя (Arlt et al. 2008).

$$\mathbf{\Phi(m)} = \sum_{\mu=-\infty}^{m} \mathbf{N(m)}$$

Може да се докаже, че:

$$\mathbf{r} = \frac{\mathbf{N(m+1)}}{\mathbf{N(m)}} = \frac{\mathbf{\Phi(m+1)}}{\mathbf{\Phi(m)}}$$

Оттук следва че:

$$\frac{\mathbf{\Phi}(m_1)}{\mathbf{\Phi(m_2)}} = \mathbf{r}^{\mathbf{m_1-m_2}}$$

При m_2= 0 и m_1= m:

$$\mathbf{\Phi(m) = \Phi(0)\ r^{\ m} = C_0\ r^{\ m}},\ \text{където}\ \mathbf{C_0}=\text{const}$$

След логаритмуване последното равенство придобива вида:

$$\mathbf{lg\Phi(m) = m\ lg\ r + lg\ C_0}$$

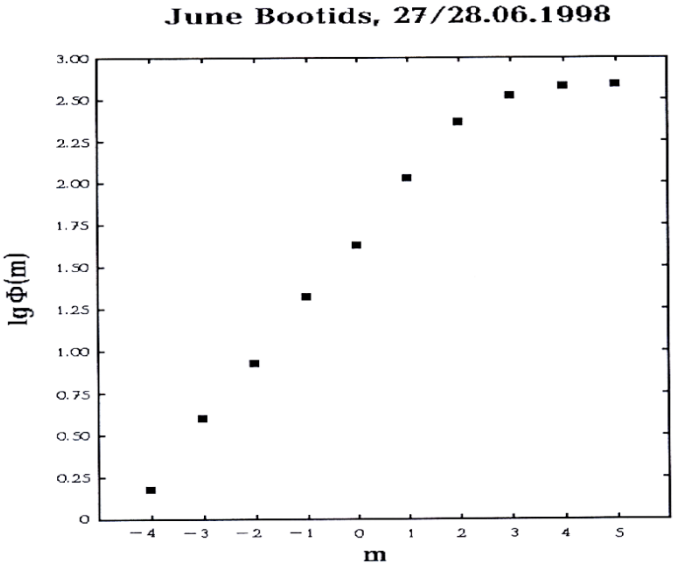
В идеалния случай би трябвало точките от графиката да се подредят в идеална права от вида y = ax + b.

$$\mathbf{lg\Phi(m) = a\ m\ lg\ r + b}$$

$$\mathbf{r = 10^a 10^a}$$

В реалните случаи, поради описаните по-горе особености, правата плавно се отклонява към хоризонтална част. Поради систематични грешки, заложени в математичния модел от теоретично естество, първите три класа звездни величини са с по-стръмен от нормалния наклон (Velkov 1998). За да се избегнат те, е препоръчително първите три класа звездни величини да се обединяват в един, начален. При добри условия за наблюдение и добра метеорна активност

могат да се подберат поне 5 съседни класа от звездни величини, оформящи линеен участък. Именно по този участък с помощта на метода на най-малките квадрати се получава стойността на **r** (фиг. 4).



Фигура 4. Функция на светимостта на метеорния поток Юнски Боотиди за нощта на 27/28.06.1998 г., получена от разпределението по звездни величини на 387 наблюдавани поточни метеора. На базата на статистически надеждния интервал от -2^m до +2^m, съдържащ 228 от тях, е получен популационен индекс r =2.27 (Velkov 1998)

Тук може да се въведе понятието „параметър на разпределението на частиците по маса“ **s: s=1+2,5 lg r**

По визуални наблюдения стойността на **r** се изменя в интервал от 1,7 до 4,4, което съответства на стойности на **s** между 1,6 и 2,6, като колкото по малка е стойността му, толкова по-голямо е процентното отношение на по-масивните частици. Тогава законът за разпределение по маси на метеорните тела в роя F(M) е

$$F(M)=F(1)\ M^{1-s},$$

където, F(1) – броят на метеорните частици с маса M >1g, а **s** – параметър на разпределението на частиците по маса.

Интегралната плътност на частици в потока, по-масивни от M, **φ(M)** ще бъде:

$$\boldsymbol{\varphi(M) = \varphi(1)\ M^{1-s}[\text{частици. м}^{-2}\text{. сек}^{-1}]},$$

където φ(1) – плътността на потока за частици с маса M > 1g. Очевидно е, че плътността на потока за частици с маса, пораждаща метеори от $0^{-ва}$ звездна величина и по-ярки, ще бъде:

$$\varphi(M) = \Phi(0) = \varphi(1)\, M_0^{\,1-s},$$

където **Φ(0)** е интегралната плътност на потока за метеорите от $0^{-ва}$ звездна величина и по-ярки, а $\mathbf{M_0}$ – доатмосферната маса на частица, пораждаща при вертикално навлизане в земната атмосфера със скорост **v** метеор от $0^{-ва}$ звездна величина.

Определяйки от наблюдения интегралната плътност на потока за метеорите от $0^{-ва}$ звездна величина **Φ(0)** и изчислявайки доатмосферната маса на базата на данните за скоростта на частиците в роя $\mathbf{M_0}$, можем да изчислим интегралната плътност на потока за частици, по-масивни от 1 г.

$$\varphi(1) = \frac{\Phi(0)}{M_0^{1-s}} \quad [\text{частици. м}^{-2}\text{. сек}^{-1}]$$

Определяйки плътността на потока, лесно може да се изчисли броят на частиците, по-масивни от M, намиращи се в единица обем от метеорния рой. Пространствената плътност е:

$$D(M) = \frac{\varphi(M)}{v} [\text{частици. м}^{-3}]$$

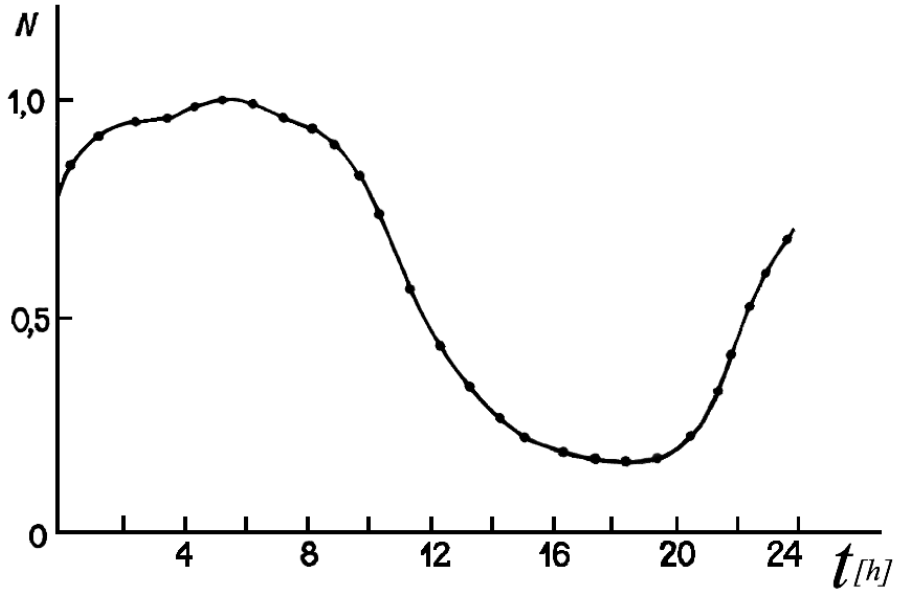
Тогава средното разстояние между частиците до дадената маса се намира по формулата:

$$\Delta = \sqrt[3]{D^{-1}}\ [\text{м}],$$

което за по-голямо удобство се привежда към километри.

Има и метеори, които не принадлежат към никакъв метеорен поток. Метеорните тела, които ги пораждат, се движат по хаотични индивидуални орбити, без да са свързани с някакъв рой. Такива метеори се наричат ***спорадични*** или фонови и могат да се виждат между 5 и 15 на час, в различните периоди на нощта и през различните сезони. Въпреки малките стойности на активността на спорадичните метеори, основният приток на метеорна материя върху Земята се пада именно на тях. По теоретични пресмятания, получени на базата на голяма статистика, притокът на метеорна материя от спорадични метеори е около 44 т в денонощие, или около 16 000 т годишно. За сравнение, един от най-известните метеорни потоци – Персеиди, дава приток от 2,6 т за година, а един от най-активните зимни потоци – Геминиди – 15 т годишно (Babadzhanov 1987). Средната маса на частица от спорадичния фон, по-масивна от 10^{-8} г, е около $1{,}1.10^{-5}$ г, което съответства на плътност на веществото в околоземното пространство от порядъка на 10^{-22}г/см^3. При

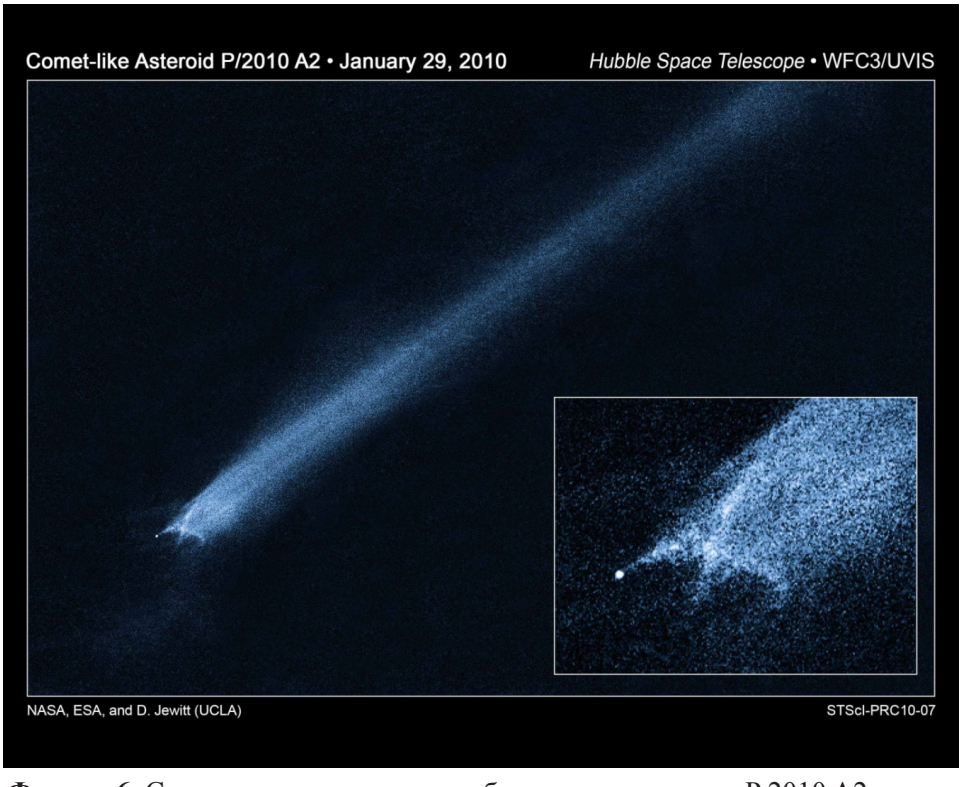
спорадичните метеори се наблюдава ясно изразена денонощна и годишна вариация. Причината за денонощната вариация е промяната на положението на наблюдателя спрямо апекса и антиапекса на Земята. Минимумът съответства на 18 ч. местно време, в началото на вечерта, когато Земята екранира апекса и могат да се виждат само метеори, догонващи планетата. Съответно максимумът е на разсъмване, когато могат да се наблюдават както метеори, догонвани от Земята, така и метеори, идващи насрещно (фиг. 5).



Фигура 5. Денонощна вариация на часовите числа на метеорите по радиолокационни наблюдения в град Душанбе. На абсцисата е местното декретно време, а по ординатата – броят на метеорите като части от максималната активност, приета за 1.0 (Babadzhanov 1987)

Формиране на метеорните роеве

Два са основните източници за формиране на метеорни роеве. Единият (по-рядко срещан) е чрез сблъсък на астероиди и раздробяването им на множество малки отломъци (фиг. 6).



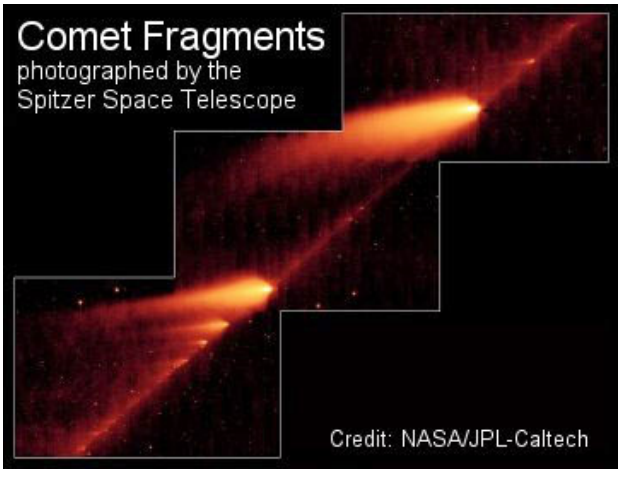
Фигура 6. Снимка на документиран сблъсък на астероида P 2010 A2, довел до раздробяването му на малки отломъци. Снимка: Hubble Space Telescope, NASA

Активността от подобни роеве не е висока. Понякога е възможна появата на болиди и дори падане на метеорити.

Вторият източник, формиращ почти 100% от метеорните роеве, са кометните ядра. Там също могат да се класифицират два основни модела: разпадане на ядрата или стандартният, валиден за повечето роеве. Разпадането на кометни ядра е често срещано явление при кометите. Причините за това са структурата и химичният състав на ядрата, слабото гравитационно свързване на съставните елементи и може би някакво външно влияние – било то под формата на сблъсък с астероиди или приливни въздействия на близки големи планети. Най-типичният случай за метеорен рой, породен от разпадаща се комета, е случаят с метеорния поток Андромедиди, наричани още Биелиди на името на родителската комета **3D/Biela**. Първите сведения за метеорен поток, породен от тази комета, датират от 6 декември 1741 год. През 1846 г. кометата

е наблюдавана като разпаднала се вече на две части. По различни изчисления ядрото трябва да се е разцепило през 1842 г. или началото на 1843 г.[5)] По-късно напълно се разпада. През 1872 и 1885 г. Земята пресича роя на кометата точно през отломъците и се наблюдават метеорни дъждове с часово число от няколко хиляди. Тогава радиус-векторът на низходящия възел на кометната орбита е бил точно 1 au. В началото на XX век, в резултат на все по-голямото нарастване на радиус-вектора на низходящия възел, роят се отдалечава и активността на този поток се прекратява (Babadzhanov 1987).

Друга подобна разпаднала се комета е **73P/Schwassmann-Wachmann 3** (фиг. 7).



а) Copyright © NASA / ESA

б) Fragmentos B e C do Cometa 73P/Schwassmann Wachmann 3.
Foto de Andrew Catsaitis em 31/5/2006

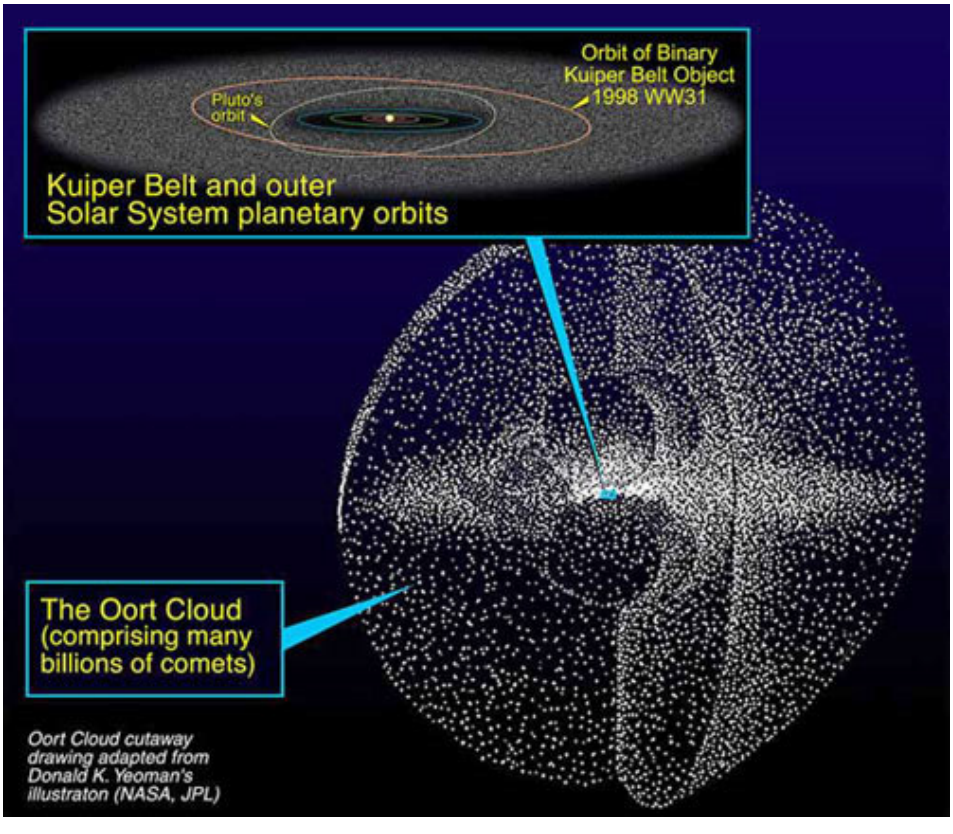
Фигура 7. Снимки на фрагменти от кометата **73P/Schwassmann-Wachmann 3**, направени от космически (а) и наземни (б) телескопи

С особено внимание трябва да се следи за много висока метеорна активност от тази комета на 31.05.2022 г., когато Земята ще премине много близко край отломките от разпадането през 1995 г.

Стандартният модел на формиране на метеорни роеве е свързан с периодичното изхвърляне на метеорни частици при преминаване на кометите през перихелия.

Съвременният модел на кометните ядра ги разглежда като гигантски айсберги от лед, замръзнали газове и споени силикатни частици, въглеводороди и дори с примеси от метали. По данни от първите космически апарати, изследвали комета, е зарегистрирано наличие на Na, K, Mg, Fe, H_2O, CO_2, органични молекули. Най-голямо е съдържанието на вода – около 80%, следвано от въглероден оксид – 10%, смес между метан и амоняк – 2,5%, и останалите проценти са на прахови частици. Според

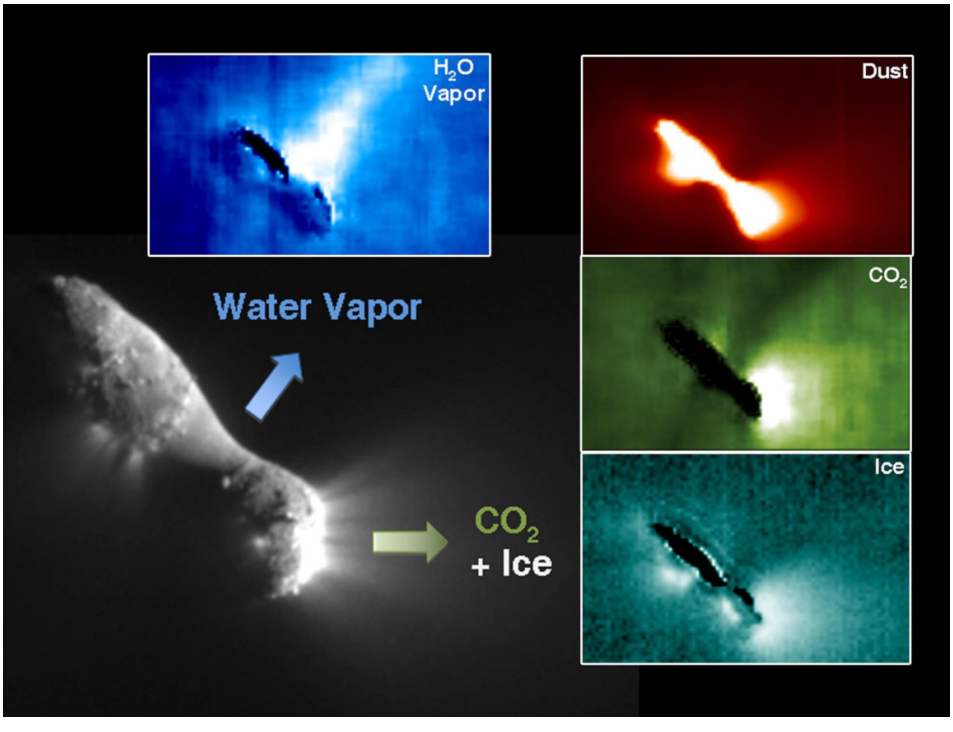
една от хипотезите ядрата са се образували в периферията на Слънчевата система и съдържат в най-чист вид първичната материя, от която са формирани всички планети. Намират се в т.нар. Облак на Оорт и понякога, в резултат на гравитационни смущения, навлизат във вътрешността на Слънчевата система (фиг. 8).



Фигура 8. Схема на облака на Оорт

Според друга хипотеза ядрата са формирани някъде в района на планетите гиганти и са били изхвърлени на принципа на гравитационна прашка при сближаване с новообразувалите се големи планети.

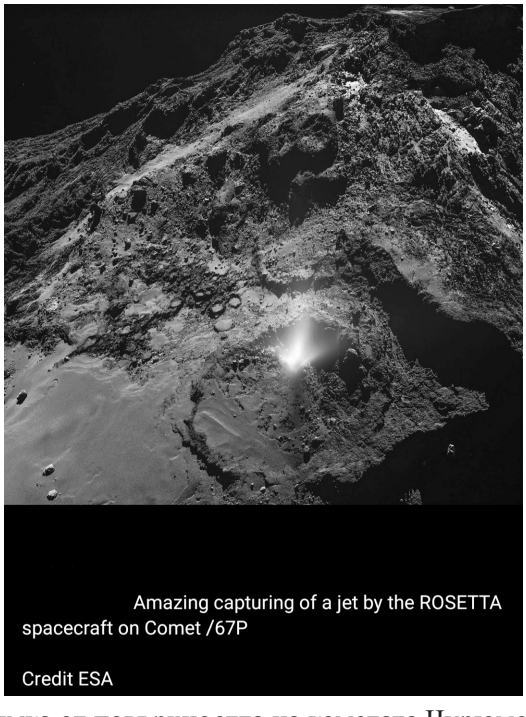
Развитието на космонавтиката и специални мисии до няколко комети много допринесоха в последните години за изясняване на техния строеж и химичен състав. Стана ясно, че отделните съставки в ядрото не са хомогенно разпределени (фиг. 9).



Фигура 9. Схема на различните излъчващи компоненти на кометата **Hartley 2**
Източник: НАСА[6)]

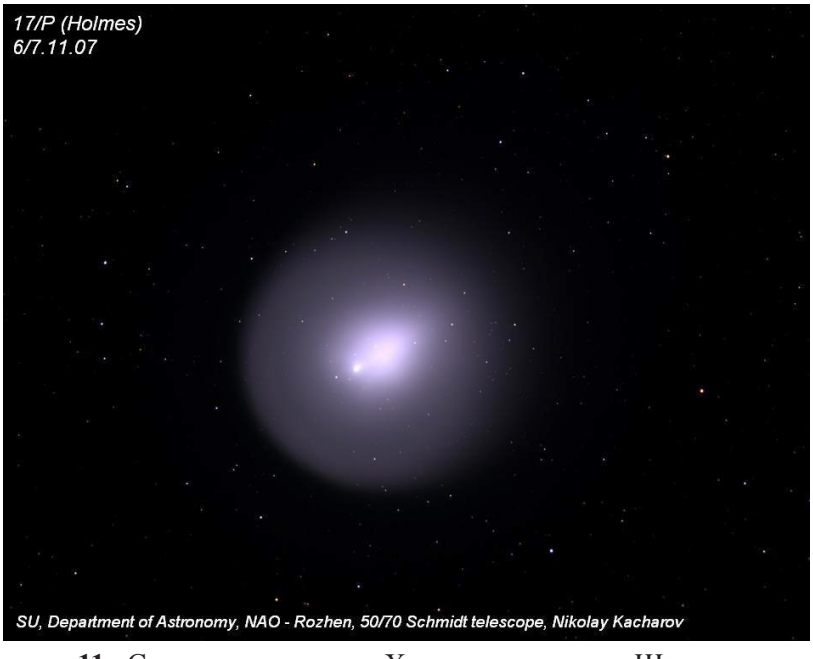
При преминаване през перихелий в кометното ядро протичат бурни процеси. В началото на по-далечни разстояния от Слънцето започва изпарението на по-летливите газове, които образуват около ядрото кома. На по-късен етап започва и изпарението на водата, като включените в ледени кристали прахови частици се освобождават и наслояват по повърхността на ядрото. Те образуват повърхностен слой с дебелина от порядъка на 1 до няколко сантиметра. Този слой има много ниско албедо (около 4% за ядрото на Халеевата комета и около 2,4 – 3% за кометата Борели). Той поглъща слънчевата светлина и преизлъчва в инфрачервения диапазон, отдавайки част от топлината си на слоевете под него. По данни от (Balebanov 1986) температурата на праховия слой върху ядрото на Халеевата комета е около 330 K. Там, където под него има джобове от лесно изпарими газове, те се нагряват, разширяват и разтрошават повърхностната кора. Получава се струя от газове, подобна на гейзер, която увлича със себе си частици от повърхността (фиг. 10).

Фигура 10а. Снимка на ядрото на Халеевата комета, направена от фрагменти от космическия апарат на Европейската космическа агенция – „Джото“. Виждат се две мощни струи от изригващи газове. На практика са установени поне 7 места, като количеството изхвърлен материал за цялото ядро е от порядъка на 3 тона за секунда



Фигура 10б. Снимка от повърхността на кометата Чурюмов – Герасименко, направена от космическия апарат на Европейската космическа агенция от мисията „Розета“. На нея ясно се вижда газова струя, изригваща от „джоб“ под кората

На мястото на изхвърлените частици се наслояват нови от разположените под повърхността слоеве. Така повърхностният слой се обновява за около едно денонощие, а количеството на изхвърлените прахови частици за същото време се равнява на около 1 000 000 т (Balebanov 1986). Процесите на натрупване изпреварват тези на изхвърляне и с течение на времето кората започва да възпрепятства изпаренията от сърцевината на ядрото. Получава се „изсъхнала комета“ – астероидоподобно тяло, каквото е родителското тяло на метеорния поток Геминиди – TV 1983. Средната скорост на разпространение на праховите частици в пространството около Халеевата комета е била около 1км/сек. Разбира се, динамиката на процесите в кометните ядра е свързана с тяхното разстояние до Слънцето. При комети с по-голямо перихелийно разстояние скоростта е по-ниска. Въпреки че основната активност на кометните ядра е, когато те са в перихелий, не са изключени изхвърляния на метеорна материя и на по-далечни разстояния от Слънцето. Един от механизмите на различен тип активност са химичните взаимодействия на веществата от повърхността в контактната зона с тези от ядрото, разположени под тях. Взаимодействащите молекули се наричат още първични (родителски), а образуваните при взаимодействието – вторични (дъщерни). Някои от химичните реакции са екзотермични и отделянето на топлина може да провокира изпарението на леснолетливи газове в локалните участъци на взаимодействие върху кометното ядро. Макар и неосновен, този механизъм също допринася за попълването на роя с частици. Друг механизъм е този на т.нар. „избухващи“ комети. При изпарение на газове през отделни пори върху праховата кора под нея остават кухи обеми. Получава се нещо като „куха черупка“ около ядрото. В резултат на гравитационното привличане от страна на ядрото (колкото и слабо да е то) се натрупват еластични напрежения. Когато тези напрежения станат по-големи от здравината на „черупката“ или под влияние на външни причини (сблъсък с миниастероид например), тя се разтрошава и отломките ѝ падат върху ядрото, активирайки изхвърляне на газове и метеорни частици. Такова събитие може да се случи и когато кометата е далеч от перихелия си. Типичен пример за това е кометата Холмс (фиг. 11).



Фигура 11. Снимка на кометата Холмс, направена с Шмид телескопа на НАО – Рожен. Кометата е заснета от д-р Николай Качаров в нощта на 6/7.11.2007 г. по заявка на катедра „Астрономия“, когато все още е бил студент в СУ „Климент Охридски“. Снимката е любезно предоставена от самия автор

Веднъж изхвърлени от ядрото, частиците започват да се движат по самостоятелни орбити. Наред с гравитационните сили на привличане от страна на Слънцето, върху отделените метеорни частици действат и сили на отблъскване, породени от светлинното налягане. Квантите на електромагнитното лъчение, при съприкосновение с напусналите кометното ядро частици, им предават своя импулс в направление, обратно на посоката на вектора на гравитационните сили. Така всяка частица, с която се е сблъскал квант лъчение, получава импулс $\boldsymbol{p = h\nu/c}$, където $\boldsymbol{h}$ – е константата на Планк, $\boldsymbol{\nu}$ е честотата, а $\boldsymbol{c}$ – скоростта на светлината във вакуум. Най-силно това въздействие се проявява при частици с по-малка маса, разпределена върху по-голяма площ. Най-малко масивните частици биват „издухвани“ в пространството, малко по-големите променят по-съществено скоростта си, а оттам и орбиталните си елементи, а най-масивните частици остават най-малко повлияни. Тъй като мощността на слънчевото лъчение е различна на различно отстояние от него, то различна е и масата на частиците, за които се

постига равновесие между двете противоположни сили. Ако означим с **Fp** силата на светлинното налягане, а с **Fg** – силата на гравитационно привличане, за разстояние от 1AU от Слънцето (Nikolov et al. 1986):

$$\frac{\mathbf{Fp}}{\mathbf{Fg}} = \frac{\mathbf{2.10^{-5}}}{\mathbf{r}}\mathbf{cm}$$

Това означава, че за околностите на Земята равновесното състояние се отнася за частици с големина 0,2 μm, а за частици, по-големи от 0,1mm, лъчистото налягане може да се пренебрегне.

Немският математик и астроном Фридрих Бесел въвежда специална величина за отблъскващо ускорение **1-μ**

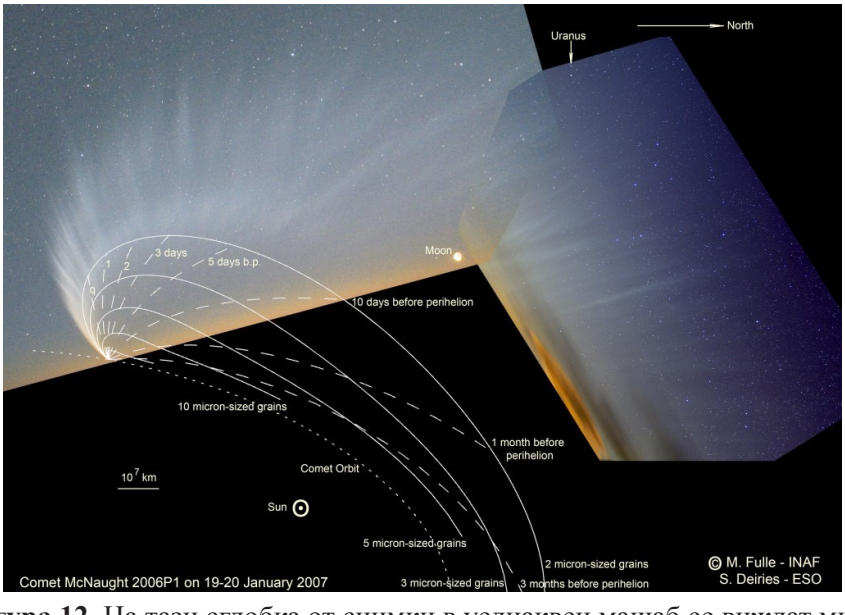
$$1\text{-}\mu = \frac{\mathbf{Fp}}{\mathbf{Fg}}$$

В началото на XX в. руският астроном Фьодор Бредихин, на базата на теорията на Бесел създава механична теория на кометните опашки, разделяйки ги на три основни типа. Най-леките прахови частици заедно с йонизираните газове се издухват от слънчевото светлинно налягане и формират т.нар. опашки от I тип. По-масивните прахови частици се закривяват от правото положение на йонната опашка и образуват опашка от II тип, а най-масивните частици се закривяват най-силно, тъй като светлинното налягане на слънчевото лъчение почти не им влияе, и формират опашки от III тип. Този опростен модел почти не се отличава от съвременния модел, описващ образуването на метеорните роеве, свързан най-вече с опашките от III тип.

Според съвременния модел формирането на праховите опашки представлява сложна комбинация от траекториите на частици с различни размери и химичен състав, повлияни различно от светлинното налягане. Най- малките частици, повлияни в най-голяма степен, се отдалечават най-много от кометното ядро, следвайки широка полегата дъга, а по-масивните имат по-къси и закривени пътища. Това се потвърждава и от изследването на ядрото на Халеевата комета от съветските автоматични станции „Вега“ (Balebanov 1986). На разстояние 750 000 км от ядрото са зарегистрирани частици с маса, не по-голяма от 10^{-13} – 10^{-15} г, като неочаквано много голямо е било количеството на частици с маса 10^{-16} г и по-малка. По-близо до ядрото вече са били зарегистрирани частици и с маса 10^{-6} г, а на разстояние под 2000 км от ядрото западноевропейската автоматична станция „Джото“ е претърпяла сблъсък с достатъчно масивна частица (между 0,1 и 1 г), която я е извела от нормален режим на работа за 32 минути (Balebanov 1986).

Кривите, на които могат да бъдат открити частици с еднакви размери, се наричат ***синдинами***. В един идеализиран вариант, в който от кометното ядро

непрекъснато се отделят частици с нулева начална скорост, силата на светлинното налягане в съчетание с орбиталното движение на ядрото биха формирали тънка прахова опашка с една-единствена синдинама. На практика обаче от кометното ядро се отделят различни по размер частици и с различаващи се начални скорости. Това води до формирането на множество синдинами с различаващи се помежду си **1-μ**. Втората особеност е, че отделянето на частици не става непрекъснато, а „залпово“, в резултат на което едновременно се изстрелват частици с различни размери и различни ускорения **1-μ.** Така се дефинира понятието ***синхрона***. Тъй като ускорението на частиците започва от нула при самото ядро, затова и синхроните започват направо от него. Поради сложната структура и състав на кометното ядро, където може да се наблюдават изригвания на частици от различни места по повърхността му едновременно или циклично на серии, това би довело до образуването на няколко синхрони в кометната опашка. По данни на съветските автоматични станции „Вега“ на около 160 сек. преди минималното сближение от 8030 км с ядрото на Халеевата комета потокът от прахови частици е станал „пулсиращ“. Станцията периодично е преминавала през области с повишена плътност на прахови частици, разделени в пространството на разстояние от 300 – 500 км, като количеството на сблъскващите се частици рязко е скачало до над 1000 удара в сек./дм^2.



Фигура 12. На тази сглобка от снимки в уеднаквен мащаб се виждат много ясно изразените синхрони и синдинами на кометата Mc Naught 2006P1 с теоретичен разчет за размера на частиците, формиращи различни синдинами

В съответствие със съвременния модел на кометните ядра, представляващи конгломерат от замръзнали газове, вода и споени от тях прахови частици с различни размери и маси, скоростта на изхвърляне **c** (м/сек) на една частица зависи от нейния радиус **ρ** (см), плътността ѝ **δ** (г/см^3), разстоянието на кометното ядро от Слънцето **r** (а.е.) и радиуса на ядрото $\mathbf{R}_c$ (км) (Babadzhanov 1987).

$$\mathbf{c} = \left(\frac{R_c}{\delta\rho}\right)^{1/2} \cdot \frac{6{,}6}{\mathbf{r}^{9/8}} \text{ m/sec}$$

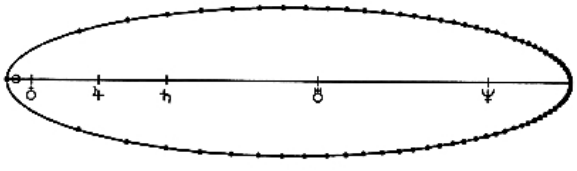
От формулата следва, че колкото по-голямо е ядрото на кометата, толкова по-голяма е скоростта, с която то изхвърля частица с дадени размери и плътност. Най-интензивно вещество от кометното ядро се изхвърля около перихелия. То се осъществява във всички посоки, особено при наличие на околоосно въртене на ядрото. Така скоростта на частиците, изхвърлени по посока на движението на кометата, се наслагва векторно върху скоростта на ядрото и те минават на по-външна орбита, с по-голяма полуос и по-големи периоди от тези на самата комета. Така при своето движение те ще изостават от кометното ядро. Частиците, изхвърлени в обратна на движението посока, от своя страна, ще минават на по-вътрешна орбита и ще изпреварват ядрото. Най-масивните частици, които не успяват да придобият големи ускорения, запазват в пространството близкото си положение до кометното ядро. В резултат на разликите в периодите след известно време частиците се разсейват по протежение на кометната орбита, образувайки затворен рой. Така може да се изчисли времето, необходимо за затваряне на конкретен метеорен рой, по формулата (Babadzhanov 1987)

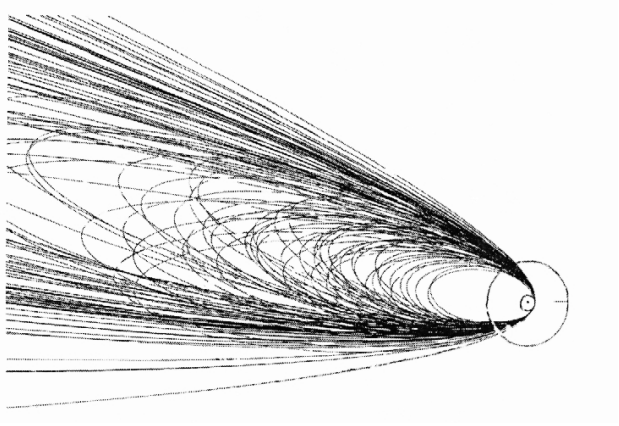
$$\mathbf{T} = \frac{P_{max}^2}{P_{\mathbf{max}} - P_{\mathbf{m}in}},$$

където $P_{\mathbf{max}}$ и P_{min} са съответно максималният и минималният период на обиколка на две частици. Времето, необходимо за затварянето на роя, зависи от радиуса на кометното ядро, размерите и плътностите на изхвърляните частици, перихелийното разстояние и голямата полуос на кометната орбита. Например, ако изхвърляне на частици се осъществява в перихелий, при $\mathbf{R}_c$ = 5 км и маса на частиците 10^{-3} г с плътност δ = 3,5 г/см^3, то за затваряне на роя на метеорния поток Геминиди са необходими 6,4 години, а за роя на Персеиди при тези параметри – цели 650 години. За затварянето на тези роеве с частици, които са с маса 1 г, пораждащи ярки метеори, е необходимо 2,5 пъти по-голямо време.

Еволюция на метеорните роеве

Разгледаният дотук модел описва отделянето на метеорно вещество от кометното ядро в рамките на конкретно преминаване на дадена комета близо до Слънцето. В първия стадий от еволюцията на роя, в резултат на дисперсиите в скоростите на изхвърлените от ядрото частици, около него се образува облак. Най-масивните частици, като най-инертни поради малката разлика в скоростта си с тази на кометното ядро, запазват близкото си разположение до него, а по-малко масивните бавно разширяват заемания от тях обем в пространството. При среща на Земята с подобен облак се наблюдават метеорни дъждове, каквито се случват при метеорните потоци Леониди, Дракониди и др. Земята пресича тези облаци само за няколко часа или дори по-кратко време. Периодичността на метеорните дъждове е близка до периода на родителската комета. Във втория стадий дисперсията в скоростите на частиците довежда до разсейването им по протежение на цялата орбита. Тъй като изхвърлянето им от кометното ядро е станало близо до перихелия (макар, че по законите на Кеплер през по-голямата част от времето на периода си те се намират в близост до афелия си), то около перихелия тяхната концентрация е най-голяма (фиг. 13 а, б).

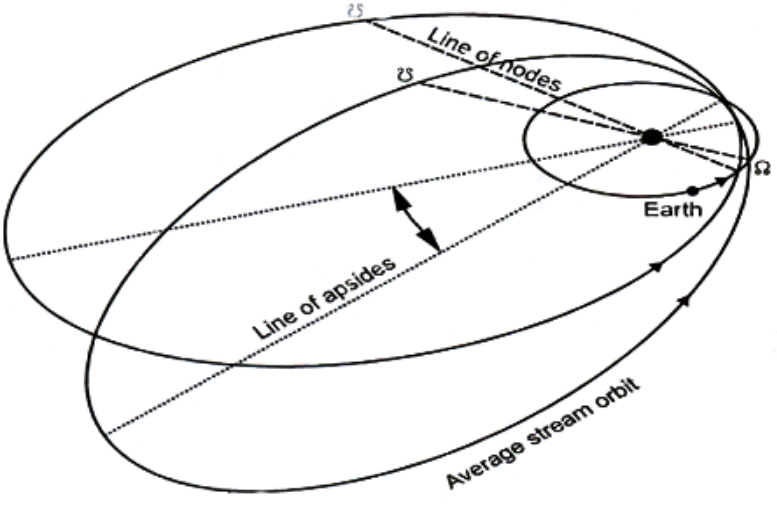




Фигура 13 а). Разпределение на частиците по протежение на орбитата си; **б)** Разпределение на орбитите на частиците в роя (Arlt et al. 2008)

При преминаването на Земята през такъв рой се наблюдава метеорен поток с кратка продължителност на действие, а профилът на активността през годините слабо се различава. Подобни метеорни потоци са Квадрантиди и Априлски Лириди. В третия стадий роят се удебелява и става много широк, в резултат на което периодът на активността много нараства до месец и повече. Подобни са метеорните потоци Персеиди и Тауриди.

Погледнато в дългосрочен план, при всяко ново преминаване ядрото има леко различаваща се орбита спрямо предишни преминавания. Основната причина за това е гравитационното влияние на големите планети в Слънчевата система, които причиняват векови изменения на орбитните елементи. Наблюдава се както завъртане на апсидната линия в равнината на кометната орбита, така и промяна на самия наклон на орбитата спрямо равнината на еклиптиката. Разпръснатите по цялата кометна орбита частици също се повлияват от тези планети и претърпяват пертурбации (фиг. 14).



Фигура 14. Векови изменения на орбитните елементи на метеорен рой (Arlt et al. 2008)

Наред с това върху разсейването на метеорната материя особено влияние има ефектът на Пойнтинг – Робертсън. Той се състои в поглъщането на слънчева радиация и изотропното ѝ преизлъчване, водещо до загуба на скоростта на частиците и намаляването на техните големи полуоси и ексцентрицитет. В резултат на това вместо по затворена орбита метеорните частици бавно падат върху Слънцето по спирална траектория. Ефектът се проявява по-

силно при частици с по-малка маса и ниска плътност. За частица, движеща се по кръгова орбита, времето до нейното падане се изчислява по формулата (Babadzhanov 1987).

$$\tau = 7.10^6 \rho\ \delta\ r_0^2 \text{ год},$$

където !!! r_0 е началният радиус на кръговата орбита в а.е., **ρ** – радиус на частицата в см, **δ** – плътност на частицата в г/см^3. Например каменна частица с радиус ρ=10^{-3} см и плътност δ=3,5г/см^3, движеща се по кръгова орбита r_0 = 1 а.е., би паднала върху Слънцето за 24 000 години, а за частица със същите параметри, но с пореста структура (δ = 0,6 г/см^3) – само за 4000 години. Времето за частица, движеща се по елиптична орбита с голяма полуос 1 а.е., е още по-кратко. На практика обаче, с приближаване към Слънцето частицата започва да се изпарява и нейният радиус да намалява. При достигане на някаква критична стойност ρ.δ ≤5,76.10^{-5}, където ρ и δ са съответно в [см] и [г/см^3], силата на светлинното налягане превишава тази на гравитацията и частицата ще бъде „издухана“ извън пределите на Слънчевата система по хиперболична орбита. Това се изчислява по формулата (Babadzhanov 1987)

$$\beta = \frac{5{,}76.10^{-5}}{\rho.\delta}$$

Такива частици се наричат **β-метеороиди**.

Влиянието на ефекта на Пойнтинг – Робертсън води до диференциацията на частиците по маса в роя така, че по-маломасивните частици се разполагат на по-вътрешни орбити, а масивните – на по-близките до кометното ядро. Това води до наблюдавани различни стойности на **r** за различните участъци в роя, които Земята пресича. С течение на времето поради този ефект би трябвало роят да обеднее откъм по-маломасивни частици, но тяхното количество се попълва при всяко ново преминаване на кометата през перихелий. Това продължава до момента, в който кометното ядро се разпадне и прекрати своето съществуване или дебелината на праховата кора на повърхността му стане толкова голяма, че прекрати изригването на газове, увличащи със себе си прахови частици, какъвто е случаят с родителското тяло на метеорния поток Геминиди. Ефектът на Пойнтинг – Робертсън, наред с пертурбациите в резултат на гравитационното влияние на планетите, води до такива промени на първоначалните орбитни елементи на метеорните частици, че става невъзможно асоциирането им с техните родителски тела. Това спомага за непрекъснато попълнение на спорадичните метеори.

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
5. http://www.space.com/5200-mother-meteor-storms.html , Article: „The Mother of All Meteor Storms", by P. Jenniskens, Carl Sagan Center, SETI Institute
6. http://www.nasa.gov/mission_pages/epoxi/index.html
7. http://apod.nasa.gov/apod/ap070201.html

ЛИТЕРАТУРА

АСТАПОВИЧ, И. С., 1958. *Метеорные явления в атмосфере Земли*. Москва: Государственное издательство Физико-математической литературы.

ARLT, R., ASHER, D., BROWN, P., CAMPBELL-BROWN, M., DUBIETIS, A., KOSCHACK, R., KOSCHNY, D., LYYTINEN, E., MCBEATH, A., MCNAUGHT, R., MOLAU, S., RENTDEL, J., ROGGEMANS, P., TRIGLAV, M., VAUBAILLON, J., VERBEECK, C., WISLEZ, J-M. & ZNOJIL, V., 2008. *Handbook for meteor observers*. Potsdam: International Meteor Organization.

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 Sosiety*. **308**(3) [21.09.1999]

БАБАДЖАНОВ, П.Б., 1987. *Метеоры и их наблюдение*. Москва: Наука – Главная редакция физико-математической литературы.

БАЛЕБАНОВ, В.М., 1986. Проект Вега: завершающий этап. Современные достижения космонавтики. *Космонавтика, Астрономия*. (12). Москва: Знание.

БРОНШТЭН, В. А., 1981. *Физика метеорных явлений*. Москва: Наука – Главная редакция физико-математической литературы.

VELKOV, V., 1998. The 1998 June Boötid outburst observed in Bulgaria. In: *Proceedings of the International Meteor Conference*. [Stara Lesna, Slovakia, 20 – 23 August 1998].

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ, 2001. *Энциклопедия для детей, Том 4, Геология*. Москва: Издательский центр „Аванта+"

ЛЕВИН, Б. Ю., 1956. *Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе*. Москва: Издательство Академии Наук СССР.

НИКОЛОВ, Н., ГОЛЕВ, В. & РАЧЕВА, В., 1986. *Срещи с кометите*. София: Наука и изкуство.

ROGGEMANS, P., GYSSENS, M., STEYAERT, C. & VANMUNSTER, T., 1992. *Ръководство за визуални метеорни наблюдения.* Превод – Ева Божурова, редактор – Захари Дончев. София: Naturella.

HUTCHISON, R. & GRAHAM, A., 1999. *Meteorites*. New York: Sterling Publishing Co.

REFERENCES

ARLT, R., ASHER, D., BROWN, P., CAMPBELL-BROWN, M., DUBIETIS, A., KOSCHACK, R., KOSCHNY, D., LYYTINEN, E., MCBEATH, A., MCNAUGHT, R., MOLAU, S., RENTDEL, J., 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 Sosiety*. **308**(3) [21.09.1999]

ASTAPOVICH, I. S., 1958. *Meteornaye yavleniya v atmosfere Zemli.* Moskva: Gosudarstvennoe izdatelystvo Fiziko-matematicheskoy literaturay [in Russian].

BABADZHANOV, P.B., 1987. *Meteoray i ih nablyudenie*. Moskva: Nauka – Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literaturay [in Russian].

BALEBANOV, V.M., 1986. Proekt Vega: zavershayushtiy etap. Sovremennaye dostizheniya kosmonavtiki. *Kosmonavtika, Astronomiya*. (12). Moskva: Znanie [in Russian].

BRONSHTEN, V. A., 1981. *Fizika meteornayh yavleniy*. Moskva: Nauka – Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literaturay [in Russian].

ENTSIKLOPEDIYA, 2001. *Entsiklopediya dlya detey, Tom 4, Geologiya*. Moskva: Izdatelyskiy tsentr „Avanta+“ [in Russian].

HUTCHISON, R. & GRAHAM, A., 1999. *Meteorites*. New York: Sterling Publishing Co.

LEVIN, B. Yu., 1956. *Fizicheskaya teoriya meteorov i meteornoe veshtestvo v solnechnoy sisteme*. Moskva: Izdatelystvo Akademii Nauk SSSR [in Russian].

NIKOLOV, N., GOLEV, V. & RACHEVA, V., 1986. *Sreshti s kometite*. Sofia: Nauka i izkustvo [in Bulgarian].

ROGGEMANS, P., TRIGLAV, M., VAUBAILLON, J., VERBEECK, C., WISLEZ, J-M. & ZNOJIL, V., 2008. *Handbook for meteor observers*. Potsdam: International Meteor Organization.

VELKOV, V., 1998. The 1998 June Boötid outburst observed in Bulgaria. In: *Proceedings of the International Meteor Conference*. [Stara Lesna, Slovakia, 20 – 23 August 1998] [in Bulgarian].

METEORS – BASIC CONCEPTS AND TERMINOLOGY – II PART

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 second 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 stream; meteor storm; meteoroids; mass distribution; population index; 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.