

АСТРОНОМИЯ ИЛИМДЕРИ
АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ
ASTRONOMICAL SCIENCES

Рудаков С.Э.

**УЗАК МЕЗГИЛДҮҮ КОМЕТАЛАРДЫН ПАЙДА БОЛУУ
БОЖОМОЛУНА КАРАТА ЭСКЕРТҮҮ**

Рудаков С.Э.

**ЗАМЕЧАНИЕ К ГИПОТЕЗЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ
ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМЕТ**

S.E. Rudakov

**THE NOTE ON THE HYPOTHESIS OF THE ORIGIN
OF LONG-PERIOD COMETS**

УДК: 52-423

Макалада узак мөөнөттүк кометалардын булутта таандык болгон объектилердин өз ара кагылышууларынын жана тартылууларынын натыйжасында Оорт тышкы чөйрө булуттарда пайда болуу механизми каралды. Мындай окуялар жетишерлик көп аткарылуусу үчүн, салмагы бир күн жана андан ашкан мезгил менен ушул тармакта көптөгөн сандагы асман телолорунун болушу зарыл. Ошону менен бирге, олут булут астрономиялык байкоолор үчүн «ачык-айкын» болушу керек. «Ачык-айкындуулук» деп бул жерде бир же бир нече космостук метеориттердин Күн системасынын чет жакаларында жайгашкан ар кайсы жылдыздарынын жабуу ыктымалдыгын өзгөрткөн геометриялык көрүнүшүнүн чоңдугу түшүндүрүлөт. Эгерде космостук метеориттердин көпчүлүк өлчөмү метрдин үлүшүнүн чегинде, жүздөгөн метрге чейин болсо, бул мүмкүн. Оорт булуту кичи объектилерден турушу мүмкүн эмес, сантиметр жана андан аз, анткени алар жылдыздын айланасында байкалган дифракциялык ореолго алып келишет, ал эми чындыгында эле андай эмес. Оорт булуту ошондой эле чоң объектилерден турушу мүмкүн эмес, километр жана андан ашык. Алар жылдыздын капталышы менен мурун эле табылган болот.

Негизги сөздөр: чөйрөсү, булуттар, тышкы област, периферия, Күн системасы, узак мезгилдүү кометалар, астероиддер, кометалар, жылдыздар.

В статье рассмотрен механизм образования долгопериодических комет во внешнем сферическом облаке Оорта в результате столкновения и гравитационного взаимодействия объектов, принадлежащих облаку. Чтобы подобные события происходили достаточно часто, необходимо существование в указанной области большого количества небесных тел суммарной массой от одной солнечной и более. Вместе с тем облако Оорта должно быть «прозрачным» для астрономических наблюдений. Под «прозрачностью» здесь понимается величина обратная геометрической вероятности покрытия звезды одним или множеством космических тел, находящихся на периферии солнечной системы. Такое возможно, если размеры большинства космических тел окажутся в пределах от долей метра до сотен метров. Облако Оорта не может состоять из мелких объектов, сантиметр и менее, так как они вызовут

легко наблюдаемый дифракционный ореол вокруг звезд, чего в действительности нет. Облако Оорта также не может состоять из крупных объектов, километр и более. Они давно были бы обнаружены по покрытию ими звезд.

Ключевые слова: сфера, облака, внешняя область, периферия, Солнечная система, долгопериодические кометы, астероиды, кометы, звезды.

The mechanism of formation of long-period comets in the outer spherical Oort cloud as a result of collision and gravitational interaction of objects belonging to the cloud is considered. For such events to occur often enough, it is necessary that a large number of celestial bodies with a total mass of one solar mass or more exist in the specified region. However, the Oort cloud should be "transparent" for astronomical observations. "Transparency" here refers to the inverse of the geometric probability of covering a star with one or many cosmic bodies located on the periphery of the solar system. This is possible if the size of most cosmic bodies is in the range of fractions of a meter to hundreds of meters. The Oort cloud cannot consist of small objects, a centimeters or less, as they will cause an easily observable diffraction halo around the stars, which is not really the case. The Oort cloud also cannot consist of large objects, kilometer or more. They would have been detected long ago by the covering of stars.

Key words: sphere, clouds, outer region, periphery, solar system, long-period comets, asteroids, comets, stars.

Гипотеза существования большого количества комет на периферии солнечной системы – облако Оорта – введено Яном Оортом в 1950 году для объяснения появления во внутренних областях солнечной системы долгопериодических комет. Долгопериодические кометы (и астероиды) движутся по орбитам с высоким эксцентриситетом. Подверженные гравитационному влиянию планет, особенно планет-гигантов, долгопериодические объекты имеют незамкнутые орбиты и в конечном счете падают либо на планеты и их спутники, либо на Солнце. Период обращения долгопериодических комет составляет от двухсот лет до миллионов лет и за время существования

солнечной системы она должна была давно очиститься от подобных объектов. Этого, однако, не произошло [1].

Как поставщик долгопериодических комет рассматривались пояс астероидов и пояс Койпера [2]. Космические тела, принадлежащие этим областям, движутся по устойчивым орбитам с относительно малыми эксцентриситетами. Гравитация планет-гигантов хотя оказывает влияние на их орбиты: раскачивает, переводит часть тел в резонансы, - но перевести космические тела на высокоэллиптические орбиты с афелиями порядка 20 000 а. е. неспособна. Кроме того, и пояс астероидов, и пояс Койпера поставляют кометы с малымиклонениями, а долгопериодические тела приходят со всемиклонениями [3].

Облако Оорта предположительно включает внутреннюю область в форме диска и внешнюю сферическую область – ВСО - на значительном удалении от Солнца [3].

Допуская, что облако Оорта существует до сих пор, следует предположить, что небесные тела движутся по устойчивым орбитам, близким к круговым, или с перигелиями существенно выше орбит газовых планет-гигантов. К центру солнечной системы их могут бросать как гравитационные взаимодействия самих тел ВСО, так и возмущения со стороны небесных тел, не входящих в солнечную систему. В качестве возмущающих тел называют близкий пролёт другой звезды [4]. Вопрос какие именно звезды в прошлом проходили мимо Солнца, остаётся открытым, но в будущем, приблизительно через полтора миллиона лет ожидается пролёт красного карлика K7V (HIP 89825) [5] сквозь облако Оорта. Возмущения со стороны планет-гигантов ничтожны, так как они расположены очень близко к Солнцу.

То обстоятельство, что долгопериодические кометы появляются со всевозможнымиклонениями, допускает, в частности, что два небесных тела облака Оорта могут двигаться навстречу друг другу. При существенной разнице в массах и достаточно малом прицельном расстоянии, большое тело может отбросить малое тело либо вглубь, к внутренним областям солнечной системы - малое тело проходит над большим, - либо наружу – малое тело проходит под большим. В последнем случае малое тело может быть выброшено за пределы солнечной системы, или же после прохождения афелия своей новой орбиты, опять-таки устремиться к центральной части. Большое тело лишь незначительно изменит параметры своей орбиты.

В пользу предположения, что долгопериодические кометы появляются в результате гравитационного взаимодействия объектов облака Оорта, а не пролетающей звезды говорит тот факт, что максимальный

размер долгопериодических комет не превышает тысячи километров [6]. То есть тело с размером и массой как у Земли способно направить к центру солнечной системы объект с размерами и массой как у Луны. Сами же землеподобные тела практически не меняют своих орбит, остаются на периферии. Пролетающие же звезды способны направить к центру солнечной системы в том числе крупные объекты по массекратно превышающие массу Земли. Долгопериодические землеподобные тела не наблюдаются.

Для того, чтобы предложенный механизм появления долгопериодических комет работал, необходимо, чтобы периферия солнечной системы была достаточно плотно заселена небесными телами, различающимися по массе в тысячу и более раз. С другой стороны, плотная заселенность периферии солнечной системы никак не должна противоречить факту «прозрачности» периферии для наблюдения за объектами дальнего космоса. За небольшим исключением (предположительно Седна, 2000 CR₁₀₅, 2006 SQ₃₇₂, 2008 KV₄₂, 2012 VP₁₁₃) [3] наблюдательная астрономия не регистрирует объекты облака Оорта.

Под «прозрачностью» здесь понимается величина обратная вероятности уверенного обнаружения объекта ВСО наземными или космическими телескопами во всех диапазонах.

Рассмотрим «прозрачность» гипотетического облака Оорта.

Космические тела, имеющие орбиты с перигелиями выше 20 000 а. е. и афелиями вплоть до границы солнечной системы, назовём объектами или телами внешнего сферического облака Оорта – объектами или телами ВСО. Отнесем к объектам ВСО все тела независимо от размеров: как мельчайшую пыль, так и гипотетического компаньона Солнца - звезду Немезиду. Пусть космическое тело имеет радиус r , плотность ρ . Суммарную массу ВСО обозначим через M , а само облако представим размазанным по поверхности сферы радиуса R .

Объём одного тела ВСО составит $\frac{4}{3}\pi r^3$, его масса $m = \frac{4}{3}\pi r^3 * \rho$, а всего в облаке таких тел окажется $n = \frac{M}{m} = \frac{3M}{4\pi r^3 \rho}$ штук.

Площадь поверхности, затеняемая одним телом, $s = \pi r^2$; площадь поверхности сферы радиуса R есть $S = 4\pi R^2$, тогда вероятность покрытия какой-либо бесконечно удалённой звезды – точечного источника света - равна отношению площади поперечного сечения всех объектов ВСО к площади сферы по которой пролегают их орбиты

$$p = \frac{ns}{S} = \frac{3M}{4\pi r \rho} * \frac{1}{4\pi R^2} \quad (1)$$

Формула (1) выражает геометрическую вероятность покрытия точечного источника объектами ВСО.

Оценим «прозрачность» облака Оорта заселенными телами различного размера, таблица 1. В первой колонке даны условные названия объектов ВСО. «Луны», «Земли» и «Немезида» - объекты по размерам равные Луне, Земле и Солнцу. Во второй колонке указаны размеры в метрах и угловых микросекундах. (Угловые размеры на расстоянии 10^{16} метров от земного наблюдателя!). Ни один из приведенных объектов не доступен прямому наблюдению по причине недостаточного углового разрешения даже внеатмосферных телескопов и слишком слабого блеска. Угловой диаметр «Немезиды» находится на пределе разрешающей способности телескопа Хаббл.

Суммарную массу объектов ВСО для определенности примем равной массе Солнца.

Радиус сферы орбит выберем достаточно большим, но всё же таким, где ещё возможны устойчивые

орбиты. Радиус сферы Хилла для Солнца относительно Галактики $34,5 \cdot 10^{12}$ км., если обращение вокруг Солнца происходит в ту же сторону, что и вращение Солнца вокруг центра Галактики. В противном случае он равен $15 \cdot 10^{12}$ км [7].

Примем $R = 10 \cdot 10^{12}$ км. = 10^{16} м.

Пятая колонка - геометрическая вероятность покрытия бесконечно удалённой звезды - рассчитана по формуле (1)

Круговая линейная скорость космических тел на указанной орбите $V_{кр} = \sqrt{\frac{G \cdot M_{\odot}}{R}} = 115 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$, где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ – гравитационная постоянная, $M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30}$ кг. – масса Солнца.

Шестая колонка – максимальное время покрытия - вычисляется как $2 \cdot r / V_{кр}$.

Таблица 1

Геометрическая вероятность покрытия далёкой звезды космическим объектом ВСО. ($R = 10^{16}$ м, $M = M_{\odot}$).

№	Объект ВСО	Радиус объекта r, м./угловой диаметр, мк сек	Количество объектов n, шт.	Площадь, покрываемая ВСО n*s, м ² .	Вероятность покрытия звезды	Время покрытия, макс., сек
1.	Космическая пыль	$0,000\ 001/2 \cdot 10^{-11}$	$4,8 \cdot 10^{44}$	$1,5 \cdot 10^{33}$	1	$17 \cdot 10^{-9}$
2.	Песчинки	$0,001/2 \cdot 10^{-8}$	$4,8 \cdot 10^{35}$	$1,5 \cdot 10^{30}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$17 \cdot 10^{-6}$
3.	Мелкие астероиды	$1,0/2 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{26}$	$1,5 \cdot 10^{27}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$17 \cdot 10^{-3}$
4.	Крупные астероиды	$1000,0/2 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{17}$	$1,5 \cdot 10^{24}$	$1,2 \cdot 10^{-9}$	17
5.	«Луны»	$1,7 \cdot 10^6/3,6$	$91 \cdot 10^6$	$860 \cdot 10^{18}$	$0,69 \cdot 10^{-12}$	8 часов
6.	«Земли»	$6,3 \cdot 10^6/130$	$1,9 \cdot 10^6$	$230 \cdot 10^{18}$	$0,19 \cdot 10^{-12}$	30 часов
7.	«Немезида»	$695 \cdot 10^6/29000$	1	$2,1 \cdot 10^{18}$	$1,7 \cdot 10^{-15}$	138 суток

Первая строка таблицы 1 Космическая пыль диаметром 2 микрона суммарной массой в одну солнечную, равномерно распределенную по сфере радиусом $R = 10^{16}$ метров полностью закроет небесную сферу и за счет дифракции вызовет свечение – ореол вокруг звезды. В действительности такого явления не наблюдается.

Вторая строка. Песчинка имеет угловой диаметр порядка 10^{-8} микросекунд. Угловой диаметр Сириуса – 6000 микросекунд, Кастора – 45. В данном случае уместно говорить не о покрытии, а о транзите песчинки по диску звезды. Хотя песчинки затенят лишь 0,012 часть диска звезды, тем не менее, флуктуацию

блеска звезды заметить можно. Кроме того, песчинки создадут слабо светящийся ореол вокруг звезды. В действительности ни флуктуации блеска, ни ореола не наблюдается.

Третья строка. Мелких астероидов хоть и много – $4,8 \cdot 10^{26}$ штук –, но они малы – $2 \cdot 10^{-5}$ угловых микросекунд. Транзит мелкого астероида по диску звезды столь скоротечен и столь незаметен, что обнаружить его невозможно.

Четвертая строка. Угловой размер крупного астероида – 0,02 микросекунды - сопоставим с угловым размером обычной звезды. Инструментальными методами покрытие или транзит крупного астероида по

диску звезды заметить возможно, но оно очень маловероятно - $1,2 \cdot 10^{-9}$ и слишком уж непродолжителен – транзит длится около 17 секунд. Так, например, группе исследователей под руководством Хильке Шлихтинг удалось обнаружить астероид размером 975 метров на расстоянии 6,76 млрд. километров используя датчик точного наведения телескопа Хаббл. Для этого потребовалось просмотреть данные за 4,5 года [8].

Пятая строка. «Луна» способна ощутимо и надолго – на 8 часов - уменьшить блеск звезды. Современные приборы надежно фиксируют подобное событие, однако его вероятность исчезающе мала – порядка 10^{-13} . Во всяком случае ни о каком случайном затмении звезд транснептуновым объектом не сообщалось [9].

Шестая строка. «Земля» полностью затмит звезду средних размеров, например, Кастор. Хотя вероятность такого события ещё меньше, чем прохождение «Луны» по диску звезды, но покрытие звезды «Землёй» можно обнаружить даже невооруженным глазом. За всю историю наблюдений сообщений о таком событии нет.

Седьмая строка. Вероятность случайно обнаружить «Немезиду» – $1,7 \cdot 10^{-17}$. Однако своими размерами - 29000 угловых микросекунд – она способна покрыть любую звезду на четыре месяца. Учитывая, что человечество наблюдает небо уже несколько тысячелетий, столь крупный объект как «Немезида» уже давно был бы обнаружен.

Таким образом, при $R=10^{16}$ м. и $M=M_{\odot}$ внешнее сферическое облако Оорта не может состоять целиком ни из пыли, ни из песчинок, и в нем не может быть объектов, по размерам подобным Солнцу.

Крупные астероиды, «Луны» и «Земли» не мешают астрономическим наблюдениям, но их можно обнаружить по покрытию звезд если организовать целенаправленный длительный поиск большим количеством приборов.

Объекты сферического облака размером от долей метра до сотен метров современными техническими средствами обнаружить невозможно.

О столкновении объектов ВСО.

Поскольку объекты внешнего сферического

облака движутся по всевозможным орбитам, то не исключено лобовое столкновение двух тел. Лобовое столкновение произойдет со скоростью $2 \cdot 115 = 230$ метров в секунду.

Энергия удара $\frac{m \cdot V^2}{2} = \frac{1 \cdot 230^2}{2} = 26450 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Этой энергии совершенно недостаточно, чтобы полностью превратить в пыль вещество астероидов. Неупругий удар разобьет астероиды на куски различных размеров; пыль, разумеется, тоже образуется. Часть кинетической энергии перейдет в тепло. Оставшаяся часть энергии разбрасывает обломки с небольшими скоростями, которые под действием собственной гравитации вновь образуют компактное тело. Если массы столкнувшихся объектов различались мало, то орбитальная скорость нового объекта окажется близко к нулевой, и он начнет падение к Солнцу. Если к тому же одно из столкнувшихся тел было каменным, а другое ледяным, то образуется конгломерат из каменных обломков, пыли и летучих - идеальная комета.

Осколки, которые потеряли орбитальную скорость, но так и не прибились к компактному телу, через три миллиона лет выпадут на Землю и другие планеты метеоритным дождем.

Столкновение крупного астероида с мелкими объектами всегда будет приводить к торможению мелкого объекта и будет наблюдаться тенденция агрегации объектов ВСО в крупные тела.

В формуле (1) радиус объекта ВСО r , плотность вещества ρ и квадрат радиуса сферы R находятся в знаменателе. При заданной суммарной массе облака обнаружить объекты ВСО тем труднее, чем они крупнее (парадокс!), чем выше плотность вещества и чем дальше от наблюдателя находятся объекты ВСО.

Если вещество рассредоточено во внешних областях солнечной системы сферически симметрично, то допустимо предполагать там сколь угодно большие массы. В таблице 2 приведены геометрические вероятности покрытия точечного источника света объектами ВСО, суммарной массой равной десяти массам Солнца (строки 1-4) и ста массам Солнца (строки 5-8).

В строках 7 и 8 расчет выполнен для объектов, находящихся на границе солнечной системы.

Геометрическая вероятность покрытия далёкой звезды космическим объектом ВСО.
($R=10^{16}$ м. и $3 \cdot 10^{16}$ м., $M=10M_{\odot}$ и $M=100M_{\odot}$).

№	Объект внешнего сферического облака Оорта	Суммарная масса тел ВСО M , кг	Радиус орбит ВСО R , м	Среднее расстояние между телами, м	Вероятность покрытия	Время покрытия, сек.
1.	Мелкие астероиды	$10 M_{\odot}$	10^{16}	$10 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	0,017
2.	Крупные астероиды	$10 M_{\odot}$	10^{16}	$10 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	17
3.	«Земли»	$10 M_{\odot}$	10^{16}	$60 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{-12}$	30 часов
4.	«Немезида»	$10 M_{\odot}$	10^{16}	$6,7 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{-14}$	138 суток
5.	Мелкие астероиды	$100 M_{\odot}$	10^{16}	$4,5 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,017
6.	«Земли»	$100 M_{\odot}$	10^{16}	$28 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{-11}$	30 часов
7.	Мелкие астероиды	$100 M_{\odot}$	$3 \cdot 10^{16}$	$13 \cdot 10^6$	$1,3 \cdot 10^{-5}$	0,03
8.	«Земли»	$100 M_{\odot}$	$3 \cdot 10^{16}$	$85 \cdot 10^{12}$	$2,1 \cdot 10^{-12}$	56 часов

При увеличении суммарной массы облака в десять раз, во столько же раз увеличивается количество объектов. Скорее всего, давно были бы обнаружены не только «Немезиды», но и «Земли».

Вероятность обнаружения крупных астероидов инструментальными средствами остаётся невысокой.

Астероиды размером от долей метра до сотен метров с орбиты Земли обнаружить невозможно, поэтому ВСО, заселённая мелкими астероидами остаётся «прозрачной», пока масса облака не станет столь большой, что с высокой вероятностью на диск звезды будут одновременно проецироваться от тысяч до миллионов астероидов.

В столбце 4 приведено среднее расстояние между объектами ВСО.

$$\text{Вычисляется как } \sqrt[3]{\frac{\text{Объём шара радиуса } R}{\text{Количество объектов ВСО } n}}.$$

При суммарном количестве мелких астероидов $50 \cdot 10^{26}$ шт., сфере радиусом 10^{16} метров, орбитальной скорости тел 115 метров в секунду, грубая умозрительная оценка даёт одно рождение долгопериодической кометы в год.

Выводы. Плотное заселенная – от $M_{\odot}$ и более – сферическая область облака Оорта может самостоятельно генерировать долгопериодические кометы, залетающие в центральную область солнечной системы либо в результате столкновения двух тел мало отличающихся по массе, либо в результате гравитационного взаимодействия тел с большой разницей в массах.

Внешнее сферическое облако, заселённое мелкими и крупными астероидами и в небольшом количестве «Землями», остаётся «прозрачным», даже если

масса облака многократно превышает солнечную.

Мелкие астероиды могут претендовать на роль «тёмной материи» в пределах солнечной системы. Крупные астероиды, и даже «Земли» могут претендовать на роль «тёмной материи» в межзвёздном пространстве.

Литература:

1. Jan Oort. The structure of the cloud of comets surrounding the Solar System and a hypothesis concerning its origin // Bull. Astron. Inst. Neth. - 1950. - T. 11. - P. 91-110.
2. Harold F. Levison, Luke Donnes. Comet Populations and Cometary Dynamics // Encyclopedia of the Solar System / Edited by Lucy Ann Adams McFadden, Lucy-Ann Adams, Paul Robert Weissman, Torrence V. Johnson. - 2nd ed. - Amsterdam; Boston: Academic Press, 2007. - P.575-588. - ISBN 0120885891.
3. Облако Оорта. Википедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/Облако_Оорта
4. The Astrophysical Journal, 863:45 (12pp), 2018 August 10. Outer Solar System Possibly Shaped by a Stellar Fly-by
5. Astronomy Letters, 2010 Vol. 36, No. 3 Searching for Stars Closely Encountering with the Solar System V.V. Bobylev Pulkovo Astronomical Observatory, Russian Academy of Sciences, St-Petersburg.
6. Комета. Википедия. <https://ru.wikipedia.org/wiki/комета>
7. Левантовский В.И. Механика космического полёта в элементарном изложении. 3-е изд. - М.: Наука, 1980.
8. https://astronomynow.com/news/n0912/17kbo/Самый_маленький_объект_пояса_Койпера,_обнаруж._телескопом_Хаббл.
9. Покрытия звезд астероидами в 2004 году. [http:// www.moscowaleks.narod.ru/pokstar.html](http://www.moscowaleks.narod.ru/pokstar.html)
10. Рудаков С.Э. Расчет статически устойчивых систем зарядов с распределенной плотностью. / Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. - №1, 2010. - С. 7-12.
11. Рудаков С.Э. Вводное занятие по комплексным числам в средней школе. / Известия ВУЗов Кыргызстана. №3, 2010. - С. 8-9.