

УДК 523.683—323.8

Эволюция связки орбит в метеорном рое Геминид

Е. Н. Крамер, И. С. Шестака

На основании фотографических наблюдений метеорного потока Геминид исследуется эволюция роя. Анализ фазовых расстояний орбит в рое и дисперсии элементов орбит для различных эпох приводит к выводу о том, что рой Геминид возник сравнительно недавно — не ранее 1000 лет назад, а порождаемый им метеорный поток доступен наблюдениям только при одном сближении с Землей на протяжении 200—300 лет.

A BUNDLE OF ORBITS' EVOLUTION IN GEMINIDS METEOR SWARM, by Kramer E. N., Shestaka I. S. — On the basis of photographic observations of Geminids meteor stream evolution of the swarm is investigated. The analysis of the orbital phase distances in the swarm and of the dispersion of orbital elements for different epochs leads to the following conclusions: a) the Geminids swarm originated not earlier than 1000 year ago; b) its meteor stream may be observed only during one approach to the Earth over 200—300 years.

В последние годы в печати появились работы, в которых делаются попытки проследить эволюцию метеорных роев, в частности Геминид, на продолжительных интервалах времени — от десятков до сотен тысяч лет [2—4, 6—9]. Часто исследование совокупности орбит отдельных частиц роя заменяется изучением его средней орбиты. Реальная задача исследования движения совокупности тел с приблизительно одинаковыми орбитами сводится к решению уравнений возмущенного движения с множеством случайных значений начальных условий.

Дисперсия исходных случайных элементов орбит метеорного роя может быть различной. Интегрирование дифференциальных уравнений изменяет со временем дисперсию элементов орбит. В случае общего происхождения объектов при интегрировании их уравнений движения назад эта дисперсия должна уменьшаться. Ранее [4] авторы обратили внимание на то, что для большинства метеорных роев дисперсия их элементов орбит, как правило, увеличивается при учете вековых возмущений, как вперед, так и назад от начальной эпохи. Было высказано предположение, что некоторые короткопериодические метеорные рои могли возникнуть в результате гравитационной фокусировки орбит метеорного фона.

Оставляя в стороне метеорные рои, происхождение которых несомненно связано с дезинтеграцией комет (Персеиды, Леониды, Бизлиды и др.), мы предприняли попытку изучить прошлое метеорного роя Геминид на основании фотографических наблюдений [1, 10—13, 15] порождаемых им метеоров.

Известный зимний метеорный поток Геминид является результатом встречи Земли с роем метеорных частиц, приблизительно равномерно распределенных вдоль орбиты. Средние элементы этого роя по различным фотографическим наблюдениям потока приведены в таблице.

Метеорный рой Геминид характеризуется некоторыми особенностями. Во-первых, полюсь и афелийное расстояние его орбиты значительно меньше, чем у других метеорных роев. В частности, афелийное расстояние роя намного меньше среднего расстояния Юпитера от Солнца. Во-вторых, до сих пор не удалось найти комету, которая могла бы

быть родоначальницей Геминид. Более того, ни одна из известных комет не имеет орбиты с таким малым афелийным расстоянием. В связи с этим высказывалось предположение о возможной связи Геминид не с кометами, а с астероидами. Недавно Уиппл отождествил орбиту роя с орбитой открытого с помощью спутника IRAS нового астероида 1983 ТВ [14].

Средние элементы орбиты роя Геминид по данным фотографических наблюдений

ω	Ω	i	e	q а. е.	V_h , км/с	P , лет	N	Литературный источник
град.								
324.1	260.2	23.9	0.899	0.143	34.08	1.69	51	[13]
± 3.3	± 1.6	± 2.6	± 0.016	± 0.019	± 1.28	± 0.36		
324.3	260.2	23.3	0.896	0.141	33.95	1.60	20	[12]
± 0.5	± 1.8	± 0.7	± 0.006	± 0.002	± 0.44	± 0.11		
324.9	260.6	25.6	0.908	0.133	34.43	1.75	17	[10]
± 0.9	± 0.5	± 1.6	± 0.008	± 0.007	± 0.48	± 0.14		
324.3	261.2	24.0	0.899	0.140	34.09	1.64	19	[15]
± 0.6	± 1.0	± 1.3	± 0.008	± 0.005	± 0.54	± 0.16		
324.1	261.4	23.3	0.897	0.138	34.00	1.62	16	[11]
± 0.8	± 1.1	± 0.9	± 0.005	± 0.003	± 0.45	± 0.12		
325.5	259.0	23.6	0.898	0.135	33.87	1.55	12	[1]
± 2.5	± 3.1	± 2.9	± 0.015	± 0.016	± 0.68	± 0.23		
324.5	261.0	22.8	0.903	0.137	34.25	1.68	1	Средняя орбита, используемая в данной работе

Вне зависимости от гипотезы о происхождении Геминид мы приняли попытку исследовать вековые возмущения и эволюцию этого роя, для чего выбрали 135 орбит Геминид, вычислили периоды осцилляций аргумента перигелия Π_1 внутри интервала $0^\circ - 360^\circ$ и эксцентриситета — Π_2 . Отметим, что в полном соответствии с приведенным ниже соотношением М. Л. Лидова [5], Π_2 примерно в два раза меньше Π_1 . Коэффициенты корреляции периода осцилляции аргумента перигелия с независимыми элементами орбиты следующие: $\rho(\Pi_1, a) = -0.927$, $\rho(\Pi_1, e) = -0.608$, $\rho(\Pi_1, \omega) = 0.457$. При $N=85$ все эти величины являются значимыми (для наиболее точных орбит).

Для всех 135 орбит были вычислены вековые возмущения от Юпитера и Сатурна с учетом эффекта Пойнтинга — Робертсона на 40 000 лет вперед и назад от исходной эпохи $t_0=1950.0$. Нас интересовала прежде всего компактность роя в прошлом. В качестве характеристики компактности было выбрано среднее фазовое расстояние

$$D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left\{ (e_0 - e_j)^2 + (q_0 - q_j)^2 + 4 \left(\sin^2 \frac{i_0 - i_j}{2} + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \sin i_0 \cdot \sin i_j \cdot \sin^2 \frac{\Omega_0 - \Omega_j}{2} \right) + (e_0 + e_j)^2 \times \right.$$

$$\left. \left(\sin \frac{\omega_0 - \omega_j}{2} \cdot \cos \frac{i_0 - i_j}{2} \cdot \cos \frac{\Omega_0 - \Omega_j}{2} + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \cos \frac{\omega_0 - \omega_j}{2} \cdot \cos \frac{i_0 + i_j}{2} \cdot \sin^2 \frac{\Omega_0 - \Omega_j}{2} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$\times \frac{1}{1 - \left(\sin^2 \frac{i_0 - i_j}{2} + \sin i_0 \cdot \sin i_j \cdot \sin^2 \frac{\Omega_0 - \Omega_j}{2} \right)}$$

орбит роя от некоторой средней орбиты, элементы которой приведены в последней строке таблицы.

Характер изменения среднего фазового расстояния за 80 000 лет изображен на рис. 1, из которого видно, что минимум D соответствует начальной эпохе. Изменение D во времени, как вперед, так и назад имеет циклический характер с общей тенденцией к возрастанию. Такое изменение фазового расстояния в будущем понятно: со временем рой постепенно разрушается. С одной стороны, из возрастания D в прошлом следует, что если рой возник в результате распада астероида или кометного ядра, то произошло это сравнительно не-

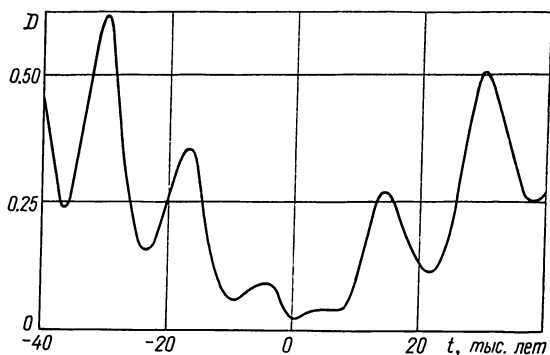


Рис. 1. Изменение среднего фазового расстояния орбит Геминид при интегрировании уравнений движения вперед и назад от начальной эпохи (1950.0)

давно, и, следовательно, интегрирование уравнений движения отдельных частиц далеко назад не имеет смысла, ибо этих частиц тогда еще не было (возрастание D имеет чисто формальный характер). Но, с

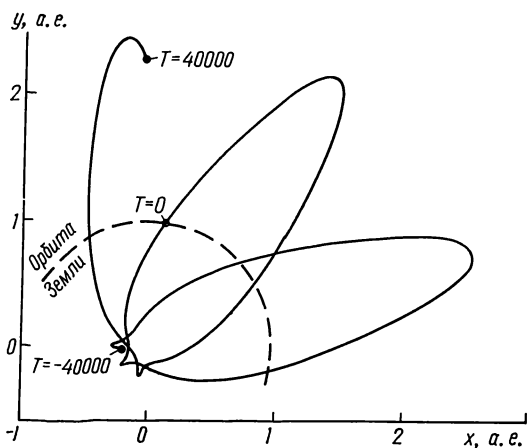


Рис. 2. Изменение во времени положения точек пересечения в нисходящем узле средней орбиты роя Геминид с плоскостью эклиптики

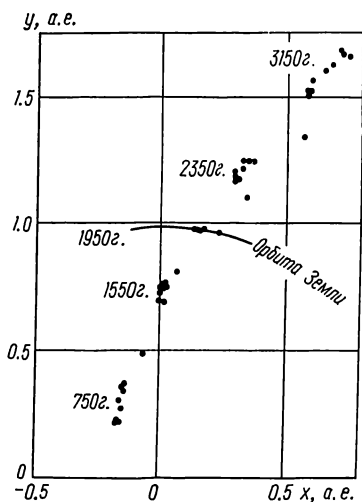


Рис. 3. Дисперсия точек пересечения 10 индивидуальных орбит роя Геминид с плоскостью эклиптики в эпоху наблюдения и для моментов от 750 до 3150 гг.

другой стороны, вероятность концентрации частиц метеорного фона в обильный рой Геминид под влиянием гравитационной фокусировки ничтожно мала.

Начальные значения D (на 1950.0) для Геминид в среднем составляют 0.08. Отметим, что 49 орбит из 135 обнаруживают некоторое уменьшение D или сохраняют его первоначальное значение при интегрировании назад на 400 — 1200 лет. Интегрирование назад за эти пределы приводит к резкому возрастанию D . Следовательно, рой Геминид не мог образоваться ранее, чем около 1000 лет назад. Сближение же его с орбитой Земли началось недавно — не более 100 — 200 лет

назад. С этого времени Геминиды наблюдаются в виде метеорного потока.

Возможность наблюдения метеорного потока зависит от площади рассеяния точек пересечения орбит роя с плоскостью эклиптики. Вследствие возмущений нисходящий узел средней орбиты роя (или родительского тела при интегрировании назад) описывает с течением времени сложную траекторию (рис. 2), пять раз за 80 000 лет пересекающую орбиту Земли. На рис. 3 изображены точки пересечения с

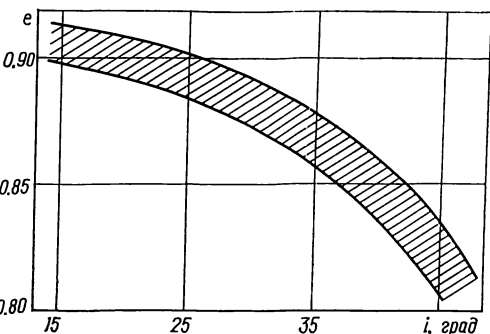
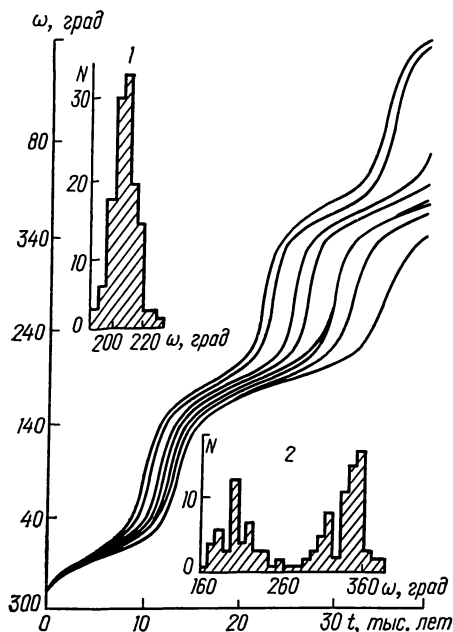


Рис. 5. Возмущенные значения элементов орбиты e и i для потока Геминид

Рис. 4. Изменение аргументов перигелия 10 орбит роя Геминид со временем и распределения аргумента перигелия для эпох $|t-t_0|=4000$ лет (1) и $|t-t_0|=30400$ лет (2)

плоскостью эклиптики 10 типичных геминидных орбит при интегрировании назад и вперед. Из этого рисунка следует, что учет возмущений превращает компактное облако точек в вытянутую вдоль линии узлов обширную область: видно, во-первых, как изменяется сближение роя с Землей в целом, и, во-вторых, как происходит разрежение роя. Создается впечатление, что после образования рой может наблюдаться в виде метеорного потока только при одном сближении с Землей, когда площадь сечения роя плоскостью эклиптики не слишком велика.

Вычисление вековых возмущений для 135 Геминид вперед от исходной эпохи показали, что дисперсия элементов орбиты в рое со временем увеличивается. Для фиксированного момента времени эксцентриситет принимает произвольные значения в интервале 0.78 — 0.92 (при $a \approx \text{const}$ перигелийные расстояния орбит заключены в интервале 0.12 — 0.30). Аргумент перигелия со временем монотонно возрастает (рис. 4). При этом скорость его изменения минимальна в окрестностях 0° и 180° . В то же самое время минимальна и дисперсия значений аргумента перигелия. Однако, как видно из этого же рисунка, в целом наблюдается общая тенденция к увеличению дисперсии ω . На рис. 4 цифрами 1 и 2 отмечены распределения аргумента перигелия для эпох $|t-t_0|=4000$ и $|t-t_0|=30400$ соответственно. В первом случае разброс значений ω еще мал, тогда как во втором — распределение становится уже двухмодальным, а сами значения аргумента перигелия разбросаны в интервале от 160° до 360° с явно выраженной концентрацией в окрестностях 360° (0°) и 180° .

Возмущенные значения эксцентриситета и наклонности орбиты для потока Геминид попадают в узкую полосу, показанную штриховкой

