

радиус которой считается равным 3 а.е., входят только 14 комет, из которых 5 имеют  $q < 1 \text{ а.е.}$ . Следовательно, из комет, вошедших в сферу действия, 33 % могут подойти очень близко к Земле. Если учесть замечание авторов в работе [13], что результаты конкретных вычислений анализируемой работы в общих чертах совпадают с результатами, полученными в нашей работе [100], то можно утверждать, что из 14 эллиптических комет вошедших в сферу видимости, примерно 60 % имеют период меньше 15 лет. Из работы С. К. Всехсвятского также следует, что условия видимости не влияют на отношение количества комет с прямыми и обратными движениями.

#### § 24. Р а с п р е д е л е н и е к о м е т п о $a$ , $p$ и $i$ / Задача в п р о с т р а н с т в е / .

При рассмотрении задачи в пространстве плохо известными факторами остаются те же самые, что и в задаче на плоскости. Во - первых, распределение элементов орбит долгопериодических комет. Это значит, что плохо известно, как диффузия комет изменила состав орбит комет в потоке,

проходящем через сферу действия Юпитера по сравнению с потоком новых комет. Во-вторых, плохо известно, как распределяются новые кометы по  $q$  и, в - третьих, плохо известны условия открытия короткопериодических комет. Чтобы исследовать роль упомянутых факторов на распределение элементов короткопериодических комет, мы начнем с рассмотрением подсчетов, сделанных Х.А. Ньютоном. [11]

Чтобы определить распределение орбит комет после захвата, Х.А. Ньютон подсчитал число прохождений комет с определенно ориентированными скоростями через некоторую плоскость, проходящую через планету. Ввиду постулированного равномерного распределения комет, столь частный подсчет комет является законным. За плоскость, относительно которой ведется подсчет, берется плоскость, в которой лежит кратчайшее расстояние между невозмущенными орбитами планеты и комет. Прохождение комет определяется кратчайшим расстоянием  $d$  /абсцисса/ и ординатой  $h$ . Направление потока комет определяется при помощи угла  $\omega$  между скоростью каждой кометы и скоростью планеты. Для определения большой полуоси орбиты захваченной кометы  $a$  Х.А. Ньютон применяет формулу [30]

$$a = \frac{s}{4m} \frac{A^2 + d^2 + h^2 \sin^2 \theta}{A \cos \theta \pm |h| \sin^2 \theta}$$

которая получается из формулы (289) при  $\frac{1}{a_1} = 0$ . При определенном значении  $\omega = \omega(\theta)$  упрощенное уравнение (289) представляет собой уравнение изоэргонального эллипса при данном значении параметра  $a$ . Кометы, которые проходят плоскость подсчета через точки изоэргонального эллипса параметра  $a$ , после захвата попадают на эллипсы, большие полуоси которых равны  $a$ . Кометы, которые пройдут плоскость подсчета через точки внутри изоэргонального эллипса, попадают на эллипсы, большие полуоси которых меньше или равны  $a$ . Так как, соответственно гипотезе, кометы распределены равномерно, то число комет с большой полуосью, которая меньше данного значения  $a$ , пропорционально площади изоэргонального эллипса параметра  $a$ . Определение площади эллипса не представляет трудностей, и мы имеем для вероятности открытия комет с большой полуосью, меньшей чем  $a$ , следующее выражение:

$$F = \frac{m^2}{4R^2} \int \left[ 4a^2 - \left( \frac{a - z - as}{s} \right)^2 \right] ds.$$

Х.А. Ньютон получил для периодов обращений комет, захваченных Юпитером, следующие соотношения:

$$10^9 : 126 : 839 : 1701 : 2670 \dots, \quad (332)$$

т.е. из  $10^9$  параболических комет только 126 после захвата будут перемещаться по эллипсам с временем обращения, меньшим половины периода обра-

ния Юпитера, 839 комет будут иметь время обращения, меньше периода обращения Юпитера, и.т.д. Неоднократно отмечалось, что эти данные указывают на несостоятельность теории захвата, так как среди короткопериодических комет почти не наблюдаются кометы, у которых период обращения больше периода обращения Юпитера. Это несогласие получается главным образом потому, что при подсчетах Х.А.Ньютон не учитывал дезинтеграцию и вероятность открытия завлеченных комет.

Х.А.Ньютон [90] рассматривает также распределение захваченных комет по наклонностям плоскостей орбит. Выход комет из части пространства, на которое распространяется влияние планеты, можно представить совершенно аналогично входу комет в эту часть пространства. В этом случае  $\omega$  будет представлять собой угол между скоростью планеты и скоростью захваченной кометы. Следовательно, подсчет распределения комет по углу, который определяет направление движения комет, аналогичен определению распределения по  $a$  и основывается на той же гипотезе.

Конкретные вычисления для Юпитера плохо согласуются с данными наблюдений. Х.А.Ньютон получил, что примерно 20% всех короткопериодических комет должны иметь обратные движения, однако в действи-

тельности ни одна из открытых короткопериодических комет не имеет обратного движения. Такое несогласие объясняется неправильностью основной гипотезы о равномерном распределении параболических комет в межпланетном пространстве.

В настоящем параграфе вновь исследуется распределение комет группы Шутера с учетом распределения орбит параболических, т.е. новых комет, длительность существования и вероятность открытия короткопериодических комет. Распределение орбит параболических комет является функцией четырех аргументов, а именно : расстояния перигелия от Солнца  $q_1$ , долготы восходящего узла  $\Omega_1$ , расстояния перигелия от восходящего узла  $\omega_1$  и наклона плоскости орбиты  $i_1$ . Многократно проверялось, что распределение по  $\Omega_1$  и  $\omega_1$  весьма значительно отличается от равномерного. На это указывают исследования Витковского и Оппенгейма. Герпель показал, что полюсы орбит параболических комет распределены равномерно. Это утверждение в дальнейшем многократно подтверждалось. Относительно распределения орбит комет по  $q_1$  нельзя сказать ничего определенного. Казалось бы, всего проще решить вопрос на основании прямых наблюдений, составляя статистику величин  $q_1$  для всех известных параболических комет. При этом получается некоторая

кривая, которая имеет ординату, равную нулю вблизи Солнца, максимум на расстоянии, равном радиусу земной орбиты, а затем асимптотически приближается к нулю. Без сомнения, эта кривая сильно зависит от условий видимости комет в момент открытия. В настоящее время нет вполне удовлетворительной теории определения вероятности открытия параболических комет, поэтому мы считаем целесообразным гипотетически установить зависимость функции распределения комет от  $q_1$ . Мы предположили, что перигелии параболических комет расположены равномерно в межпланетном пространстве. Это предположение противоречит гипотезе Гершеля, согласно которой скорости параболических комет на сфере действия Солнца ориентированы произвольно. От принятого нами закона о зависимости функции распределения от  $q_1$  зависит распределение захваченных комет по наклонностям плоскостей орбит. Вычисления показывают, что кометы, плоскости орбит которых после захвата имеют малые наклонности, перед захватом имели сравнительно большие значения  $q_1$ . Среди комет, наклонности орбит которых после захвата равны примерно  $180^\circ$ , имеется значительная часть таких, которые перед захватом двигались по орбитам с малыми значениями  $q_1$ . Из сказанного следует, что чем большее число параболи-

ческих комет с малыми перигелийными расстояниями учитывается при вычислении, тем больше после захвата получается комет с обратным движением.

До сих пор нет теории для определения вероятности открытия короткопериодических комет, а по наблюдениям определить эту вероятность невозможно. Мы [100] выдвинули рабочую гипотезу, по которой вероятность открытия параболических и короткопериодических комет при одном прохождении комет через перигелий одинаковым образом зависит от  $q_1$ . Так как мы имеем гипотезу относительно распределения перигелиев параболических комет, то вероятность открытия этих комет как функция от  $q_1$  или, что то же самое, вероятность открытия короткопериодических комет для одного прохождения берется непосредственно из графика, построенного для зависимости числа открытых параболических комет от  $q_1$ . С другой стороны, чем чаще комета проходит через перигелий, тем больше вероятность ее открытия.

Численные подсчеты привели к очень хорошему совпадению результатов, полученных при решении плоской и пространственной задач. Следовательно, заключения полученные на основе плоской задачи правильны и подтверждают гипотезу захвата в

целом.

Распределение комет группы Юпитера в пространстве, т.е. функции распределения больших полюсей  $a$ , параметров  $\mu$  и наклонностей  $i$  будем искать аналогично распределению комет в плоской задаче. Для этого в настоящем параграфе найдем распределение скоростей  $v_1$  параболических комет на сфере действия Юпитера, т.е. функцию распределения юпитероцентрических сферических координат точек пересечения параболических орбит со сферой действия Юпитера  $\alpha, \delta$  и сферических координат направлений скоростей в этих точках  $L, H$ .

Основной плоскостью сферической системы координат является плоскость орбиты Юпитера. Направление скорости Юпитера в этой системе имеет координаты  $L=90^\circ, H=0^\circ$ . Для функции распределения  $f$  имеем следующую формулу, если индекс один означает, что соответствующие величины относятся к относительному движению:

$$\int f(\alpha, \delta, L_1, H_1) d\alpha d\delta dL_1 dH_1 =$$
$$= c \int |f_1(q_1) \frac{D(q_1, \omega_1, i_1, \Omega_1)}{D(\alpha, \delta, L_1, H_1)} v_1 \sin i_1 \cos \beta| d\alpha d\delta dL_1 dH_1,$$

(353)

где  $\beta$  - угол между нормалью к сфере действия Юпитера и относительной скоростью,  $f_1$  - функция рас-



пределения перигельных расстояний параболических комет,  $c$  — некоторая постоянная.

Пусть начало системы координат  $x, y, z$  помещено в центре Солнца, ось  $x$  направлена к Юпитеру, а ось  $y$  по направлению движения Юпитера. Оси  $x_1, y_1, z_1$  параллельны осям  $x, y, z$ , а начало их находится в центре Юпитера. Пусть гелиоцентрические сферические координаты кометы при входе в сферу действия есть  $\tau, h, \lambda$ . Тогда имеем:

$$x = \tau \cosh h \cos \lambda = x_1 + R = \rho \cos \delta \cos \alpha + R, \quad (334)$$

$$y = \tau \cosh h \sin \lambda = y_1 = \rho \cos \delta \sin \alpha, \quad (335)$$

$$z = \tau \sinh h = \rho \sin \delta, \quad (336)$$

где  $\rho$  — радиус сферы действия Юпитера,  $R$  — радиус орбиты Юпитера. Величину  $\frac{\rho}{R} \approx 0,06$  будем считать малой первого порядка. В дальнейшем ограничимся точностью до малых величин первого порядка включительно. Тогда имеем:

$$\sin \lambda = \frac{\rho}{R} \cos \delta \sin \alpha, \quad (337)$$

$$\sinh h = \frac{\rho}{R} \sin \delta, \quad (338)$$

$$\tau = R \left[ 1 + \frac{\rho}{R} \cos \delta \cos \alpha \right]. \quad (339)$$

Условие, что комета  $\mathcal{K}$  перемещается по плоской кривой, плоскость которой имеет наклон  $i_1$

и восходящий узел  $\Omega_1$ , дает /рис. 1/:

$$\operatorname{tg} h = \sin(\lambda - \Omega_1) \operatorname{tg} i_1. \quad (340)$$

Условие, что конец вектора скорости кометы, представленный на небесной сфере точкой  $V$ , также лежит в выше упомянутой плоскости, имеет следующий вид:

$$\operatorname{tg} H = \sin(L - \Omega_1) \operatorname{tg} i_1. \quad (341)$$

Из уравнений (340) и (341) следует:

$$\operatorname{tg} \Omega_1 = \frac{\operatorname{tg} H \sin \lambda - \operatorname{tg} h \sin L}{\operatorname{tg} H \cos \lambda - \operatorname{tg} h \cos L}. \quad (342)$$

Так как  $\cos \lambda \approx 1$ , а  $\operatorname{tg} H$  может принять малые значения только в случае, если  $\delta$  мало, то имеем:

$$\Omega_1 = \frac{S}{R} (\sin \alpha \cos \delta - \sin \delta \sin L \operatorname{ctg} H). \quad (343)$$

Угол между радиусом-вектором и осью параболы вдвое больше угла между радиусом-вектором и касательной. Следовательно,

$$\pi - \angle KN = 2(\pi - \angle KV), \quad (344)$$

где точка  $N$  на небесной сфере представляет перигелий орбиты кометы. С точностью до малых величин нулевого порядка имеем:

$$\omega_1 = \angle MN \approx \angle KN, \quad (345)$$

$$\angle KV \approx \angle MV, \quad (346)$$

где  $M$  — точка пересечения орбит Юпитера и кометы

на небесной сфере. При этом

$$\omega_1 = 2M\psi - \pi \quad (347)$$

Из  $\Delta(M\psi M_2)$  следует

$$\cos M\psi = \cos H \cos(L - \Omega_1), \quad (348)$$

$$\sin M\psi = \sin H \sin^{-1} i_1. \quad (349)$$

Следовательно,

$$\cos \omega_1 = -\cos 2M\psi = 1 - 2 \cos^2 H \cos^2(L - \Omega_1), \quad (350)$$

$$\sin \omega_1 = -\sin 2M\psi = -2 \sin H \cos H \cos(L - \Omega_1) \sin^{-1} i_1. \quad (351)$$

Так как мы рассматриваем захват из поля параболических комет, то

$$q_1 = \frac{1}{2} R \left\{ (1 + \cos \omega_1) + \frac{S}{R} \left[ (1 + \cos \omega_1) \cos 2 \cos \delta + \sin \delta \sin \omega_1 \sin^{-1} i_1 \right] \right\}. \quad (352)$$

При определении частных производных от старых переменных по новым переменным в целях вычисления якобиана можно допустить некоторые упрощения. Например, в случае вычисления производных от  $i_1$  (340) мы можем считать  $\Omega_1$  величиной постоянной. Это следует из формул о составлении частных производных и известного свойства определителя, которое утверждает, что к элементам строчки можно прибавить элементы другой строчки, умноженные на произвольный множитель. При вычислении якобиана следует рассматривать два случая.

Во-первых, случай, когда  $\mathcal{H}$ ,  $i_1$  и  $\delta$  не являются малыми величинами. В этом случае  $\mathcal{S}/R$  единственная малая величина, которая и определяет порядок якобиана. Во-вторых, следует рассмотреть случай, когда  $\mathcal{H}$ ,  $i_1$  и  $\delta$  суть малые величины порядка  $\eta$ . В этом случае в формулах (341), (343), (350) должны быть учтены члены со множителем  $\varepsilon$ , так как производные по  $\delta$  и  $\mathcal{H}$  от некоторых старых переменных являются величинами порядка  $\eta^{-1}$ . На основе формул (341), (343), (350) и (352) имеем:

$$\left| \frac{\mathcal{D}(\Omega_1, i_1, \omega_1, \varphi_1)}{\mathcal{D}(\alpha, \delta, \mathcal{L}, \mathcal{H})} \right| = \left| \frac{\mathcal{S}^2 \sin i_1}{2R(\sin^2 \mathcal{L} + \tan^2 \mathcal{H}) \sin^2 \mathcal{H}} \right| |a_{ij}|, \quad (353)$$

где

$$|a_{ij}| = \begin{vmatrix} \cos \alpha \cos \delta & a_{12} & \dots & \dots & \dots \\ \varepsilon & \varepsilon & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{41} & a_{42} & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}, \quad (354)$$

где  $\varepsilon$  - малая величина порядка  $\mathcal{S}/R$ ;  $a_{12} = -\sin \alpha \sin \delta \sin \mathcal{H} - \cos \delta \sin \mathcal{L} \cos \mathcal{H}$ ;  $a_{41} = -(1 + \cos \omega) \sin \alpha \cdot \cos \delta$ ;  $a_{42} = -(1 + \cos \omega) \cos \alpha \sin \delta \sin \mathcal{H} + \frac{\sin \omega_1}{\sin i_1} \cos \delta \sin \mathcal{H}$ .

В первом случае оказывается, что определитель имеет конечное значение, и, следовательно, при вычислении его значения возможно вместо  $\varepsilon$  подставить нуль. Во втором случае определитель имеет также конечное значение, и поэтому можно

отбросить члены с множителями  $\varepsilon$  или  $\sin \mathcal{H}$ . Чтобы получить в обоих случаях одну и ту же формулу, мы во втором случае подставим вместо  $\varepsilon$  значение нуль и сохраним малые члены высшего порядка относительно  $\eta$ . После простых преобразований имеем:

$$\left| \frac{D(\Omega, i, \omega, q_1)}{D(\alpha, \delta, L, \mathcal{H})} \right| = \left| 2 \left( \frac{S}{R} \right)^2 q_1 \cos \delta \cos \mathcal{H} \sin^{-2} \mathcal{H} \sin i_1 \times \right. \\ \left. \times (\sin \delta \sin \mathcal{H}) + \sin \delta \cos \delta \sin L \cos \mathcal{H} + \cos \delta \cos \delta \cos L \cos \mathcal{H} \right| . \quad (355)$$

В сферу действия Юпитера комета входит по направлению  $L_1, \mathcal{H}_1$ . Составляющие абсолютной скорости  $v$  и относительной скорости  $v_1$  связаны следующими соотношениями:

$$v \cos L \cos \mathcal{H} = v_1 \cos L_1 \cos \mathcal{H}_1, \quad (356)$$

$$v \sin L \cos \mathcal{H} = v_1 \sin L_1 \cos \mathcal{H}_1 + v_0, \quad (357)$$

$$v \sin \mathcal{H} = v_1 \sin \mathcal{H}_1, \quad (358)$$

где  $v_0$  - круговая скорость Юпитера.

Формулы (356) - (358) с точностью до малых величин нулевого порядка дают

$$v_1 = v_0 \left( -\sin L_1 \cos \mathcal{H}_1 + \sqrt{\sin^2 L_1 \cos^2 \mathcal{H}_1 + 1} \right). \quad (359)$$

На основе формул (356) - (359) получаем:

$$\left| \frac{D(\alpha, \delta, L, \mathcal{H})}{D(\alpha, \delta, L_1, \mathcal{H}_1)} \right| = \left| \frac{v_1^2 \cos \mathcal{H}_1}{v \cos \mathcal{H} (v_1 + v_0 \sin L_1 \cos \mathcal{H}_1)} \right|. \quad (360)$$

Большие возмущения получаются только в случае, если  $\mathcal{H}_1 \approx -\delta$ ,  $\mathcal{L}_1 \approx \alpha + 180^\circ$ . Так как мы рассматриваем только случай больших возмущений, то

$$\left| \frac{\mathcal{D}(\Omega_1, \omega_1, i_1, q_1)}{\mathcal{D}(\alpha, \delta, \mathcal{L}_1, \mathcal{H}_1)} v_1 \sin i_1 \cos \beta \right| = \left| c' \rho^2 \left( \frac{v_1}{v_0} \right)^3 \cos^2 \delta \right|, \quad (361)$$

где  $c'$  - некоторая постоянная.

Из формулы

$$\frac{\sin \mathcal{H}}{\sin \delta} = - \frac{v_1}{\sqrt{2} v_0}, \quad (362)$$

учитывая, что  $v_{1,m} = \sqrt{2} v_0 + v_0$ , следует, что  $\mathcal{H}$  и  $\delta$  - величины одного порядка. Следовательно, формула (361) верна также в случае малых значений  $\mathcal{H}$ ,  $\delta$  и  $i_1$ .

В сфере действия Юпитера комета перемещается по плоской кривой - гиперболе. Направление соответствующей плоскости на небесной сфере определим углом  $A$  с кругом  $\delta$ . Угол, который образует радиус-вектор точки входа с относительной скоростью, обозначим через  $\beta$ . Так как мы рассматриваем только случай малых  $\pi - \beta$ , то имеем следующие соотношения:

$$\mathcal{H}_1 + \delta = (\pi - \beta) \cos A, \quad (363)$$

$$(\mathcal{L}_1 - \pi - \alpha) \cos \delta = (\pi - \beta) \sin A. \quad (364)$$

На основе формул (363) и (364) имеем:

$$\left| \frac{\mathcal{D}(\alpha, \delta, \mathcal{L}_1, \mathcal{H}_1)}{\mathcal{D}(\alpha, \delta, \beta, A)} \right| = \left| \frac{\pi - \beta}{\cos \delta} \right| \quad (365)$$

Рассмотрим треугольник, вершины которого находятся в точке  $\delta = 90^\circ$  и в точках входа  $\alpha, \delta$  и выхода  $\alpha_2, \delta_2$  кометы из сферы действия. Легко получаем

$$\cos 2\varphi = \sin \delta \sin \delta_2 + \cos \delta \cos \delta_2 \cos(\alpha_2 - \alpha), \quad (366)$$

$$\frac{\sin A}{\cos \delta_2} = \frac{\sin(\alpha_2 - \alpha)}{\sin 2\varphi}, \quad (367)$$

где  $\varphi$  - угол между радиусом-вектором точки входа и осью параболы. Так как  $\mathcal{L}_1 \approx \pi + \alpha$  и  $\mathcal{H}_1 \approx -\delta$ , то из формулы (359) следует

$$v_1 = v_0 \left( \sin \alpha \cos \delta + \sqrt{\sin^2 \alpha \cos^2 \delta + 1} \right). \quad (368)$$

На основе формул (366), (367), (368) и (326) имеем:

$$\left| \frac{\mathcal{D}(\alpha, \delta, A, \beta)}{\mathcal{D}(\alpha_2, \delta_2, \varphi, v_1)} \right| =$$

$$= \left| \frac{\kappa^2 m_1 \sqrt{\rho} \cos \delta_2 \sqrt{\sin^2 \alpha \cos^2 \delta + 1}}{\cos^2 \varphi (2\kappa^2 m_1 \tan^2 \varphi + \rho v_1^2)^{3/2} \cos \delta (\sin \delta \cos \delta_2 \cos \alpha_2 - \cos \alpha \cos \delta \sin \delta_2)} \right| \quad (369)$$

При

$$\sin \delta \cos \delta_2 \cos \alpha_2 - \cos \alpha \cos \delta \sin \delta_2 =$$

$$= \cos \alpha \cos \delta \cos \alpha_2 \cos \delta_2 (\sec \alpha \operatorname{tg} \delta - \sec \alpha_2 \operatorname{tg} \delta_2) =$$

$$= \cos \alpha \cos \delta \cos \alpha_2 \cos \delta_2 (\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \delta_2) = 0, \quad (370)$$

имеем полюс. Здесь  $S(\delta_2)$  - угол, который большой круг, проходящий через точки  $\alpha = -90^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$  и точку входа  $\alpha$ ,  $\delta$  / выхода  $\alpha_2$ ,  $\delta_2$ , образует с основной плоскостью. Для того чтобы устранить этот полюс и получить более удобные формулы, введем вместо  $\varphi$  переменную  $S$ . На основе формул (366), (368) и формулы для  $S$  получаем

$$\cos 2\varphi = \pm \sqrt{\frac{6v_0^2 v_1^2 - v_1^4 - v_0^4}{4v_0^2 v_1^2}} (\sin S \sin \delta_2 +$$

$$+ \cos \delta_2 \cos \alpha_2 \cos S) + \frac{v_1^2 - v_0^2}{2v_0 v_1} \cos \delta_2 \sin \alpha_2. \quad (371)$$

Следовательно,

$$\left| \frac{\partial(\alpha_2, \delta_2, \varphi, v_1)}{\partial(\alpha_2, \delta_2, S, v_1)} \right| = \left| \frac{\cos \alpha \cos \delta \cos \alpha_2 \cos \delta_2 (\operatorname{tg} \delta_2 - \operatorname{tg} \delta)}{2 \sin 2\varphi} \right|. \quad (372)$$

При выходе кометы из сферы действия для простоты будем считать, что относительная скорость направлена по радиусу-вектору точки выхода из сферы действия. Так как долгота перигелия есть малая величина первого порядка, то закон площадей дает



следующие формулы, с точностью до малых величин нулевого порядка включительно:

$$\kappa\sqrt{\mu} \sin i = x v_z - z v_x = R v_1 \sin \delta_2, \quad (373)$$

$$\kappa\sqrt{\mu} \cos i = x v_y - y v_x = R(v_0 + v_1 \cos \delta_2 \sin \alpha_2). \quad (374)$$

Формула Грюз имеет вид

$$v_1^2 = 3v_0^2 - \frac{2v_0 \kappa\sqrt{\mu}}{R} \cos i - \frac{\kappa^2}{a}. \quad (375)$$

На основе (373), (374) и (375) имеем:

$$\left| \frac{D(v_1, \alpha_2, \delta_2)}{D(\sqrt{\mu}, i, a^{-1})} \right| = \left| \frac{\kappa^2 \sqrt{\mu}}{2 R^2 v_1^3 \cos^2 \delta_2 \cos \alpha_2} \right|. \quad (376)$$

На основе формул (333), (361), (365), (369), (376), (370), (372) и (376) имеем:

$$\iiint f_0(\sqrt{\mu}, i, a^{-1}) d\sqrt{\mu} di da^{-1} =$$

$$= c'' \iiint f_2 f_3 \frac{\sqrt{\mu}}{\cos \alpha_2 \cos \delta_2} \left[ \int \frac{f_1 \sqrt{\sin^2 \alpha \cos^2 \delta + 1}}{v_1 \cos^4 \varphi (2\kappa^2 m_1 \tan^2 \varphi + \rho v_1^2)^2} ds \right] d\sqrt{\mu} di da^{-1}, \quad (377)$$

где  $f_2$  даёт вероятность длительности существования короткопериодических комет,  $f_3$  есть функция распределения открытия комет, а  $c''$  — некоторая постоянная величина. В формуле (377) предложенный порядок интегрирования является законным, что можно

видеть непосредственно из формул (373) - (375).

Чтобы оценить интеграл (374) в окрестности значения  $\alpha = 270^\circ$ , мы считали в формулах (373), (374) и (375) величины  $i$ ,  $a$  постоянными, а  $v_1$ ,  $\delta_2$  - параметрами. Переходя к переменной  $\alpha_2$ , приближенно имеем:

$$\int \frac{\sqrt{\mu} d\sqrt{\mu}}{\cos \delta_2 \cos \alpha_2} = 0.0305 v_1^2 \cos \delta_2 \Delta \alpha_2. \quad (378)$$

Подсчеты велись в случае, если

$$f_1 = q^2,$$

а для  $f_2$  были рассмотрены гипотеза С.В. Орлова:

$$f_2 = \mu^{5/2} a^{3/2} [2 + e^2]^{-1},$$

и гипотеза гравитационного разрушения:

$$f_2 = \mu^{3/2} a^{3/2}.$$

Значения вероятностей открытия короткопериодических комет брались непосредственно из графика. Использовался график, данный в предыдущем параграфе с учетом комет, открытых в последнее время. Значения вероятностей зависят от того, в каком интервале считать  $f_3(q) = 1$ . Были рассмотрены два варианта, а именно  $[0; 0,4 \text{ а.е.}]$  и  $[0; 1,0 \text{ а.е.}]$ .

Во втором варианте для значений  $q > 1$  соответствующие значения вероятностей первого варианта /таб. XVI/ должны быть умножены на 6. Оказалось, что результаты вычислений почти не зависят от того, какой из вариантов применяется. В

настоящей работе использован вариант [0;0,4a.e.].

Таблица ХУ1

$q$	$f_2(q)$	$q$	$f_2(q)$	$q$	$f_2(q)$	$q$	$f_2(q)$
0.0	1.00	1.4	0.033	2.8	0.0037	4.2	0.00092
0.2	1.00	1.6	0.019	3.0	0.0030	4.4	0.00074
0.4	1.00	1.8	0.012	3.2	0.0025	4.6	0.00060
0.6	0.53	2.0	0.010	3.4	0.0020	4.8	0.00047
0.8	0.31	2.2	0.0071	3.6	0.0017	5.0	0.00036
1.0	0.17	2.4	0.0056	3.8	0.0014	5.2	0.00027
1.2	0.067	2.6	0.0045	4.0	0.0011		

Кроме варианта С.В.Орлова мы рассмотрели также случай учета индивидуальных свойств движения комет. Этот вариант был нами построен по идее акад. В.Г.Фесенкова. В этом варианте введен множитель  $S$ , который при  $K \geq 15^\circ$  равен

$$S = v_i^{-1} \operatorname{ctg} K, \quad (379)$$

а при  $K < 15^\circ$

$$S = v_i^{-1} \operatorname{ctg} 15^\circ. \quad (380)$$

$K$  есть угол между радиусом вектором для точки  $\alpha$ ,  $\beta$  и направлением  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\beta = 0^\circ$ . Причины, почему Фесенков ввел такой множитель, объяснять не будем, т.к. теперь считаем их мало обоснованными. Однако сам вариант имеет в настоящее время большое значение, т.к. является единственным учитывающим влия-

ние диффузии ~~через~~ посредством множителя  $S$  в выражении подинтегральной функции (377). Действительно, при помощи этого множителя мы в потоке новых комет для которого подсчитано подинтегральное выражение (377) увеличиваем число комет, у которых  $K=0^\circ$ , т.е. увеличиваем плавным образом число комет, орбиты которых имеют  $q \approx 5a.e.$  и уменьшаем число комет, у которых  $K=90^\circ$ , т.е.  $q=0$ .  $S$  состоит из двух множителей  $v_1^{-1}$  и  $ctgK$ , из которых первый множитель по сравнению со вторым меняется мало, т.к. мы рассматриваем только дольшие возмущения, притом такие, которые приводят к образованию короткопериодических комет. Из тех же самых причин практически не имеет значение то, что в варианте учета индивидуальных свойств движения комет, не учтен множитель  $v_1$ . Согласно законам диффузии в потоке долгопериодических комет по сравнению с потоком новых комет имеются главным образом кометы, у которых  $q=5,2$ . Следовательно, вариант учета индивидуальных свойств движения комет действительно учитывает диффузию комет и было бы правильнее его назвать вариантом учитывающим диффузию, а не вариантом учета индивидуальных свойств движения комет [101].

Несмотря на то, что при интегрировании были вычислены значения в 1500 узловых точках, нельзя

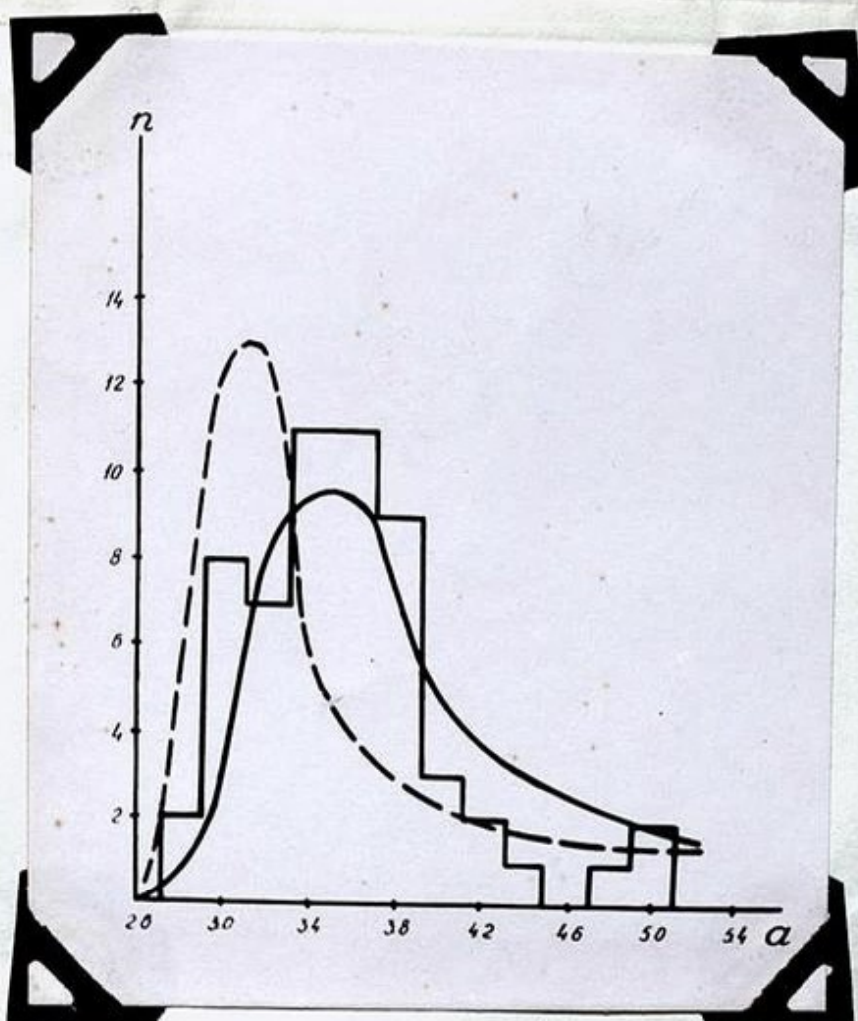


Рис. 19. Распределение короткопериодических комет по значениям больших полуосей. Штриховая линия - теоретическое распределение гидродинамического способа подсчета в варианте С.В.Орлова, сплошная - теоретическое распределение в индивидуальном способе подсчета, т.е. при учете диффузии для варианта гравитационного разрушения; ломаная - эмпирическое распределение.

утверждать, что кривые, представляющие теоретические подсчеты, получены правильно во всех деталях. С другой стороны, число открытых короткопериодических комет также слишком мало для детального представления распределения элементов орбит комет. Так как невозможно провести среди короткопериодических комет четкую границу между комета-

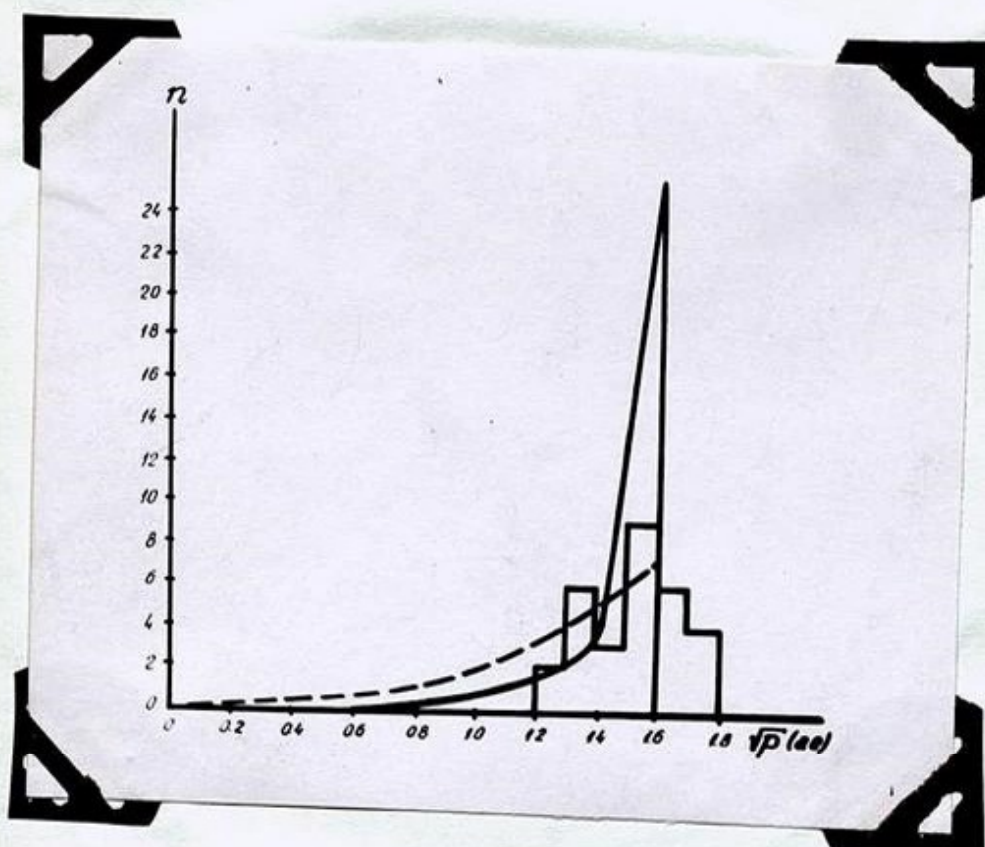


Рис. 20. Распределение короткопериодических комет по  $\sqrt{a}$  при постоянном значении больших полуосей. Штриховая линия - теоретическое распределение гидродинамического способа подсчета в варианте С.В. Орлова; сплошная - теоретическое распределение в индивидуальном способе подсчета, т.е. при учете диффузии для варианта гравитационного разрушения; ломаная - эмпирическое распределение.

ми группы Юпитера и остальными короткопериодическими кометами, то из анализа мы исключили только несколько комет, элементы которых явно не соответствуют условиям теории захвата.

На рис. 19 показано распределение по  $a$ . Теоретическое распределение получено, как среднее арифметическое из распределений при  $i = 10^\circ$  и

$i = 20^\circ$ . Для эмпирического распределения использованы элементы почти всех короткопериодических комет. Очевидно, способ учета индивидуальных свойств движения комет лучше согласуется с эмпирическим распределением комет. Уменьшение числа открытых короткопериодических комет с возрастанием значения большой полуоси  $a$  происходит главным образом за счет эффекта вероятности открытия комет. Вариант С.В. Орлова, который не учитывает диффузию, дает завышенное количество комет с малыми значениями  $a$ . Формула Б.Ю. Левина, которая не хуже представляет действительность дает, если не учитывать диффузию, еще более завышенное количество комет с малыми значениями  $a$ . Следовательно, объяснить распределение короткопериодических комет по  $Q$  возможно только при учете диффузии комет, т.к. в этом случае оба варианта дают хорошие результаты.

На рис. 20 показано распределение по  $\sqrt{r}$  при значениях от  $a = 3,4 \text{ а.е.}$  до  $a = 3,8 \text{ а.е.}$  Ввиду малого числа открытых короткопериодических комет, для эмпирического распределения использованы короткопериодические кометы с любой наклонностью плоскостей орбит. Теоретическое распределение подсчитано при  $i = 10^\circ$ ,  $a = 3,6 \text{ а.е.}$  Из рис. 20 видно, что некоторые из комет выходят за пределы, предвиденные теори-

ей. Причины этого явления будут рассмотрены в § 29. Очевидно, оба варианта дают концентрацию комет при максимальном возможном значении  $\sqrt{r}$ , причем согласующуюся с наблюдениями.

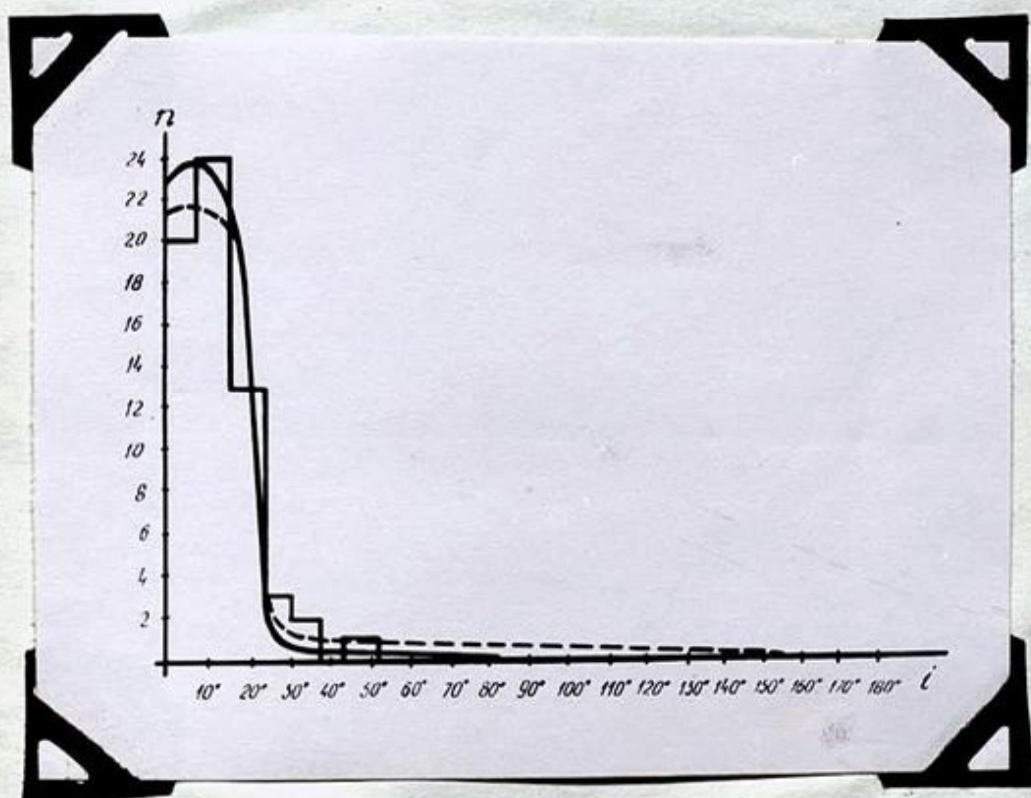


Рис. 21. Распределение короткопериодических комет по значениям наклонов плоскостей орбит комет. Штриховая линия - теоретическое распределение в варианте С.В. Орлова ; сплошная - теоретическое распределение в индивидуальном способе подсчета, т.е. при учете диффузии для варианта гравитационного разрушения ; ломаная - эмпирическое распределение.

На рис. 21 дано распределение комет по  $i$ .  
 Вариант С.В. Орлова лучше согласуется с эмпиричес-



ким распределением комет, так как он предвидит существование комет с наклонностями орбит комет до  $30^\circ - 40^\circ$ . Однако дальше нами будет показано, что такие орбиты при захвате не получаются. В § 29 будет показано, что имеются различные причины возникновения короткопериодических комет. Орбиты с  $i > 30^\circ$  не образуются сразу после захвата Юпитером, а через некоторое время, когда другие планеты значительно изменили элементы орбиты кометы. Следовательно, учет диффузии дает лучшее совпадение с наблюдениями.

## § 25. Р а с п р е д е л е н и е

### д о л г о т п е р и г е л и е в .

Кривая распределения долгот перигелиев короткопериодических комет имеет максимум при  $\pi = 0^\circ \div 20^\circ$  и минимум при  $\pi = 180^\circ \div 200^\circ$ . Подобно распределяются также долготы перигелиев астероидов. Ньюкомб [102] пытался объяснить существование этих экстремумов действием возмущений со стороны боль-

ших планет, главным образом, Юпитера, перигелий которого имеет долготу  $\mathcal{L} = 13^\circ$ . Некоторые авторы [103] объясняли экстремумы селекцией открытия комет и малых планет. Для комет группы Юпитера эффект, указанный Ньюкомбом, не может играть существенной роли, так как они существуют весьма короткое время. Вероятность открытия комет в зависимости от времен года зависит от многих, хотя и мало изученных факторов, а именно: числа ясных ночей, яркости фона неба, количества наблюдателей, участвующих в поисках новых комет и т.д. Изучение влияния упомянутых факторов на вероятность открытия комет является для нас слишком сложной задачей. Заметим только следующее: главным фактором при открытии комет, по нашему мнению, является эффект яркости фона неба. Кометы, имеющие  $\mathcal{L} [150^\circ; 210^\circ]$  открыты в ноябре (1), январе (2) феврале (2), марте (1), апреле (1) и в мае (1). Кометы, имеющие  $\mathcal{L} [0^\circ; 60^\circ]$ , открыты в июле (1), августе (1), сентябре (4), октябре (2), ноябре (8), декабре (2). Очевидно, что эффектом фона неба экстремумы объяснить невозможно. Из статистики малых планет следует, что влияние числа ясных ночей на их открытие также мало. На рис. 22 гладкая кривая показывает распределение перигелиев астероидов № 1 - № 1563. Примерно такое же распределе-

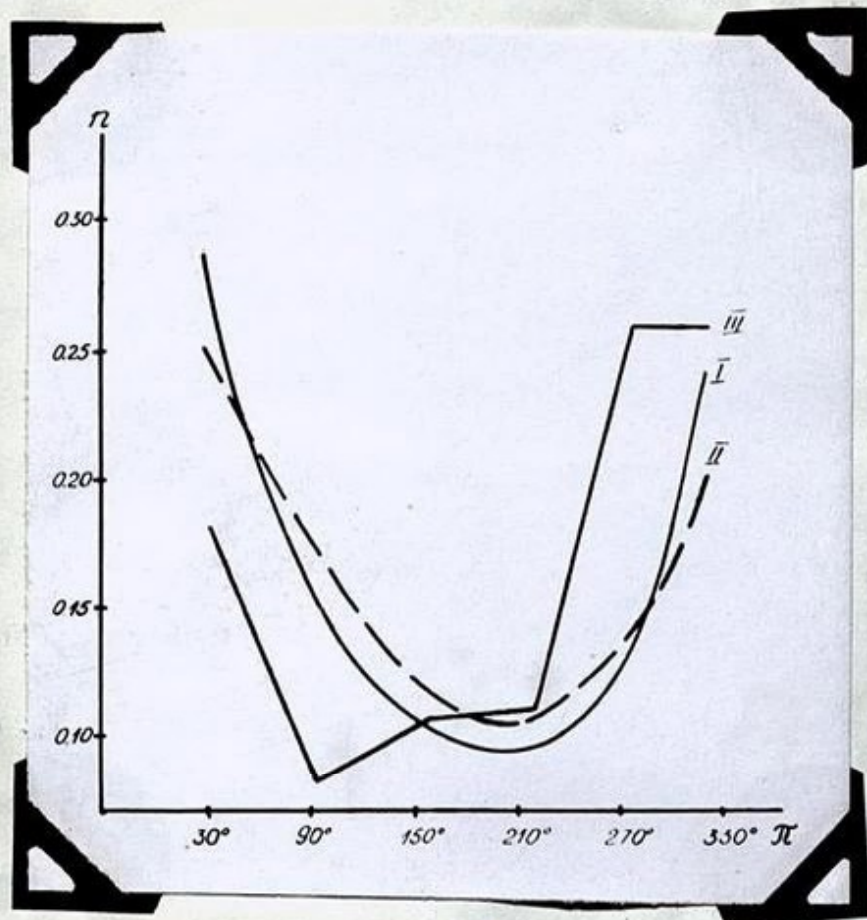


Рис. 22.

ние дают астероиды, открытые в Иоганнесбурге /кривая, составленная из прямых отрезков/. Прерывная кривая представляет собой действительное распределение, так как здесь учтены только те астероиды, которые в афелии ярче 14 звездной величины [104]. При сопоставлении кривых непосредственно видно, что условия наблюдений /число ясных ночей/ мало искажают действительное распределение по  $\pi$ .

Шульхоф [90] анализировал распределение долгот перигелиев с точки зрения теории захвата комет и указал на следующие причины, благоприят-

ствующие захвату в афелии Юпитера : 1/ в афелии радиус сферы действия больше, чем в перигелии ; 2/ в афелии Юпитер движется медленнее ; 3/ в афелии смещение точки наибольшего сближения орбит является самым малым. Шульхоф и другие ученые признали упомянутые эффекты недостаточными для объяснения экстремумов кривой распределения долгот перигелиев. В настоящее время к упомянутым эффектам следует присоединить увеличение плотности потока параболических комет с увеличением расстояния от Солнца. В методе учета индивидуальных свойств движения комет следует учесть : 1/ изменение объема тора с расстоянием от Солнца ; 2/ увеличение плотности потока параболических комет с увеличением расстояния от Солнца.

1. При подсчете числа захваченных комет сферы действия нами была [105] заменена тором, который описан вокруг орбиты Юпитера. Согласно нашим исследованиям, из комет, перигелии орбит которых находятся в торе, происходят кометы группы Юпитера. Диаметр сечения тора определяется формулой

$$d^2 = cR, \quad (381)$$

где  $c$  - функция, слабо зависящая от  $R$ . Невозможно точно установить зависимость длины отрезка орбиты в торе  $\Delta h$  как степенную функцию от  $R$ .

Мы предположим, что  $\Delta h$  пропорционально  $R$ . Сле -

довательно, отношение завлечённых комет в перигелии и афелии Юпитера из-за эффекта изменения диаметра тора будет:

$$n_1 = \frac{R_a}{R_p}, \quad (382)$$

где  $R_a$ ,  $R_p$  — соответственно расстояния афелия и перигелия от Солнца. В дальнейшем через  $n$  с разными индексами будем обозначать отношение завлечённых комет в перигелии и афелии Юпитера в результате действия разных эффектов. Так как статистика короткопериодических комет ведётся по  $\pi$ , а количество завлеченных комет зависит от объема тора, то

$$n_2 = \frac{R_a^2}{R_p^2} \quad (383)$$

Если вести подсчет захвата по гидродинамическому способу, то количество завлеченных комет пропорционально площади сферы действия Юпитера, следовательно,

$$n_1' = \frac{R_a^2}{R_p^2} \quad (384)$$

В этом случае следует также учесть, что приток комет пропорционален относительной скорости потока и промежутку времени, за который Юпитер перемещается на единицу угла  $\pi$ . Таким образом,

$$n_2' = \frac{R_a^{7/2}}{R_p^{7/2}} \quad (385)$$

2. Для определения плотности потока долгопериодических комет нами были рассмотрены несколько случаев. Для объяснения упомянутых выше экстремумов наиболее эффективным оказался вариант, по которому предполагается для потенциального возраста следующая зависимость от  $a$  :

$$T = S, q^{5/2} a^{1/2},$$

где  $T$  - возраст кометы,  $S$ , - постоянная,  $q$  - перигелийное расстояние,  $a$  - большая полуось орбиты кометы. Для этого варианта отношение плотностей потока долгопериодических комет с данным  $q$  в афелии и перигелии будет :

$$n_3 = \frac{R_a^{5/2}}{R_p^{5/2}} \quad (386)$$

Для других нами рассмотренных вариантов в формуле (386) получим показатели степени, уменьшенные в два раза. В § 28 убедимся, что первый вариант мало надежен. Следует подчеркнуть, что при диффузии захвату способствует не только увеличение плотности потока с данным  $q$ , но и уменьшение значений  $a$ , которое при больших значениях  $q$  происходит более интенсивно. К сожалению, учесть, количественно этот эффект мы не можем. Если принять во внимание все эффекты, то приближенно будем иметь

[106]:

$$n_4 = 1,4 \div 1,8$$

По наблюдениям для 66 короткопериодических комет имеем:

$$n_4 = 4,5.$$

Несогласие между теорией ( $n_4$ ) и наблюдениями ( $n_5$ ) можно объяснить селекцией открытия комет. Действительно, чтобы перейти от теоретического отношения чисел астероидов в афелии и перигелии к тому, что наблюдается в действительности, следует как видно из рис. 22, теоретическое полученное значение  $n_4$  умножить примерно на 2. Селекция открытия комет несколько больше, поэтому соответствующий множитель вполне может быть 2,5 - 3,0 и, кроме того, значение  $n_5 = 4,5$  приближенно.

## § 26. Р а с п р е д е л е н и е к о м е т п о а б с о л ю т н ы м я р к о с т я м.

Кокс и Буржуа [107] по проверенным на практике фотометрическим формулам подсчитали среднюю величину действительного распределения абсолютных величин долгопериодических комет. Оно сильно отличается от наблюдаемого, так как мы открываем, главным образом, только яркие кометы. В теории захвата предполагается, что короткопериодические

кометы возникли из долгопериодических. Так как короткопериодические кометы несколько десятков раз проходят через сферу видимости и, следовательно, попадают в хорошие для открытия условия, то их открыть легче. Поэтому мы открываем более слабые короткопериодические кометы, и следует ожидать, что распределение наиболее ярких короткопериодических комет по абсолютным величинам должно быть похожем на действительное распределение абсолютных величин долгопериодических комет. На



Рис. 23. Распределение комет по абсолютным величинам. Кривые приведены к одинаковому количеству комет.



рисунке 23 сплошная кривая представляет действительное распределение абсолютных величин долгопериодических комет по данным Вуркома [16]. Штриховая кривая показывает распределение абсолютных величин короткопериодических комет. К короткопериодическим кометам причислены те, периоды обращения которых  $P$  меньше 76 лет [106]. Если учесть кометы, у которых  $P < 15$  лет, то у прерывистой кривой будет отсутствовать часть соответствующая  $H[2^m, 6^m]$

При данном  $H[1^m, 6^m]$  наибольшую ординату имеют точки прерывистой кривой, а наименьшую - штриховая. Это значит, что долгопериодические кометы более яркие нежели короткопериодические. Учитывая условия наблюдений, мы получаем сплошную кривую, у которой ординаты точек для значений  $H[4^m, 8^m]$  также больше соответствующих ординат точек штриховой кривой. Отсюда следует, что долгопериодические кометы более яркие, чем короткопериодические, но в действительности не на столько, как это следовало бы из сравнения штриховой и прерывистой кривой. Это объясняется тем, что короткопериодические кометы израсходовали в среднем больше газов, чем долгопериодические. Аналогично объясняется и эффект новых комет.

Если кометы наблюдались в нескольких появле-

ниях, то при построении кривой учитывались данные первого появления.

По данным Кокса и Буржуа получается, что короткопериодическую комету в десять раз легче открыть чем долгопериодическую.

## ГЛАВА У11

### ОТНОСИТЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО КОРОТКОПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМЕТ.

#### § 27. Учет диффузии в подсчетах Вуркома.

В теории захвата очень важным является вопрос об отношении чисел открытых коротко- и долгопериодических комет. Так как поверхность сферы действия планет много меньше поверхности сферы видимости, то уже Лаплас пришел к заключению, что вероятность захвата комет весьма мала. Х.А.Ньютон подсчитал, что число комет, период обращения которых меньше периода обращения Юпитера, составляет примерно одну миллионную от числа параболических комет, входящих в сферу, радиус которой равен радиусу орбиты Юпитера. Многие ученые считали малость этого числа доводом неправильности

основных идей теории захвата, однако Х.А.Ньютон [90], Х.Н.Рассел [1] и другие предполагают, что это число указывает на то, что захват не происходит сразу, а кометы проходят через сферу действия несколько раз. Такой процесс Вурком назвал диффузией комет и дал доказательство того, что диффузия приводит к образованию комет группы Юпитера.

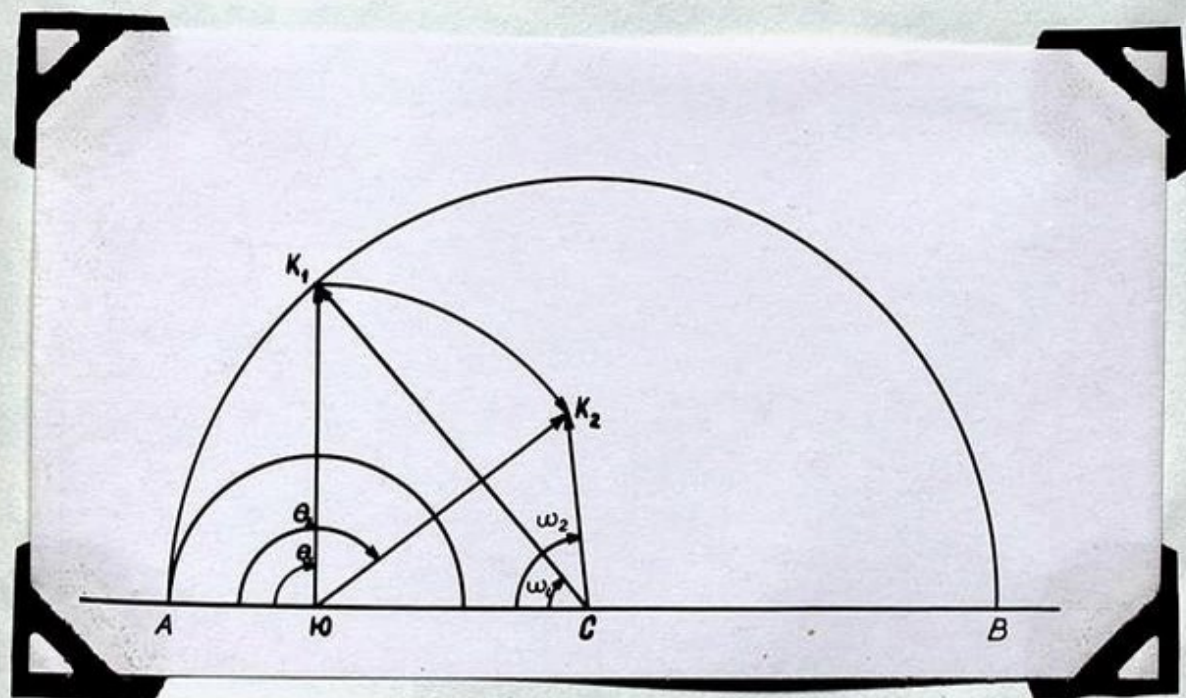


Рис. 24.

Следует различать два вида диффузии комет. В главе 1У мы рассмотрели диффузию почтипараболических комет, т.е. накопление малых возмущений элементами орбит почтипараболических комет. Характерной особенностью этого процесса является отрыв комет от Солнечной системы при возмущениях

величины  $\xi = \frac{1}{a}$  порядка  $0,003 \text{ а.е.}^{-1}$  и постоянство перигельного расстояния.

Теперь мы рассмотрим эволюцию орбит комет при возмущениях  $\xi = \frac{1}{a}$  порядка  $0,1 \text{ а.е.}^{-1}$ . Ясно, что в этом случае перигельное расстояние орбиты кометы сильно меняется и при прохождении кометы через перигелий она то попадает, то не попадает в сферу видимости. Характерной особенностью эволюции орбит при больших возмущениях является сравнительно большая устойчивость минимального расстояния между орбитой кометы и орбитой Юпитера и быстрая дезинтеграция комет в сфере видимости. Первыми исследователями изучавшими эволюцию орбит комет при сравнительно больших возмущениях были Вурком [16] и Казимирчак-Полонская [17].

В § 30 рассмотрим работу Уинила, в которой он исследовал процесс эволюции орбит комет из почти параболических в короткопериодические, не разделяя этот процесс на отдельные этапы.

Познакомимся с определениям Вуркома относительного количества короткопериодических комет, где большое значение имеют сравнительно большие возмущения. Для простоты будем применять терминологию плоской задачи. На рис. 24 показана диаграмма скоростей. От точки  $C$  откладываются абсолютные скорости, а от  $H$  относительные скорости, с которыми кометы входят

и выходят из сферы действия. Мы уже отметили, что подсчет захвата можно провести в три этапа.

1. этап. Определение относительной скорости при входе в сферу действия. Если параболическая скорость кометы в абсолютном движении направлена под углом  $\omega_1$  к движению Юпитера, то ее относительная скорость  $\vec{HOK}_1$  образует с направлением движения угол  $\theta_1$ . Таким образом, 1 этап вычисления выполнен, и мы нашли направление и абсолютную величину относительной скорости  $\vec{HOK}_1$  при входе в сферу действия.

2. этап. § Относительное движение кометы вокруг Юпитера. Так как нас интересует только окончательный результат, то следует определить лишь угол поворота линейной скорости  $\vec{HOK}_1$ . Этот угол по диаграмме определить невозможно, можно только сказать, что эта скорость повернулась на некоторый угол, скажем,  $\theta_2 - \theta_1$ , и заняла положение  $\vec{HOK}_2$ .

3. этап. Определение абсолютной скорости. Очевидно, что ее представляет вектор  $\vec{CK}_2$ . Так как  $|\vec{CK}_2| < |\vec{CK}_1|$ , то в рассмотренном случае возмущение Юпитера преобразует параболическую орбиту в эллиптическую. Если комета будет несколько раз проходить через сферу действия, то на диаграмме скоростей это будет представляться как поворот вектора  $\vec{HOK}_1$  по окружности  $K_1, K_2$  на соответствующую

щие углы. Полуокружность  $AB$  представляет параболические скорости. Концы векторов скоростей комет с большими полуосями орбит в интервале  $[\infty, 100a.]$  на диаграмме находится в очень узком полукольце, который практически совпадает с полуокружностью  $AB$ . Гипотеза о равномерном распределении комет в пространстве позволяет определить по формулам Ньютона вероятность поворота вектора  $\vec{JOK}_i$  в ту или другую сторону на определенный угол. На рисунке 25 показаны значения вероятностей поворотов в виде стрелок, длины которых характеризуют относительные значения вероятностей. В виде кружка на диаграмму скоростей нанесены известные в настоящее время кометы группы Юпитера.

Вурком разделяет диаграмму скоростей на несколько частей. В части  $ACB$  кометы входят в круг действия сзади, так как здесь  $0 < \omega < 45^\circ$ . Это приводит к образованию эллиптических орбит прямого движения или гипербола. Из рисунка 25 непосредственно видно, что в области  $ACB$  кометы интенсивно стремятся диффундировать в область, где находятся кометы, открытые в настоящее время. Однако, эти многочисленные кометы /больше 50%/ не достигают области открытых комет. Это значит, что непрерывно происходит интенсивный обмен между уже открытыми кометами и кометами, оставшимися не-

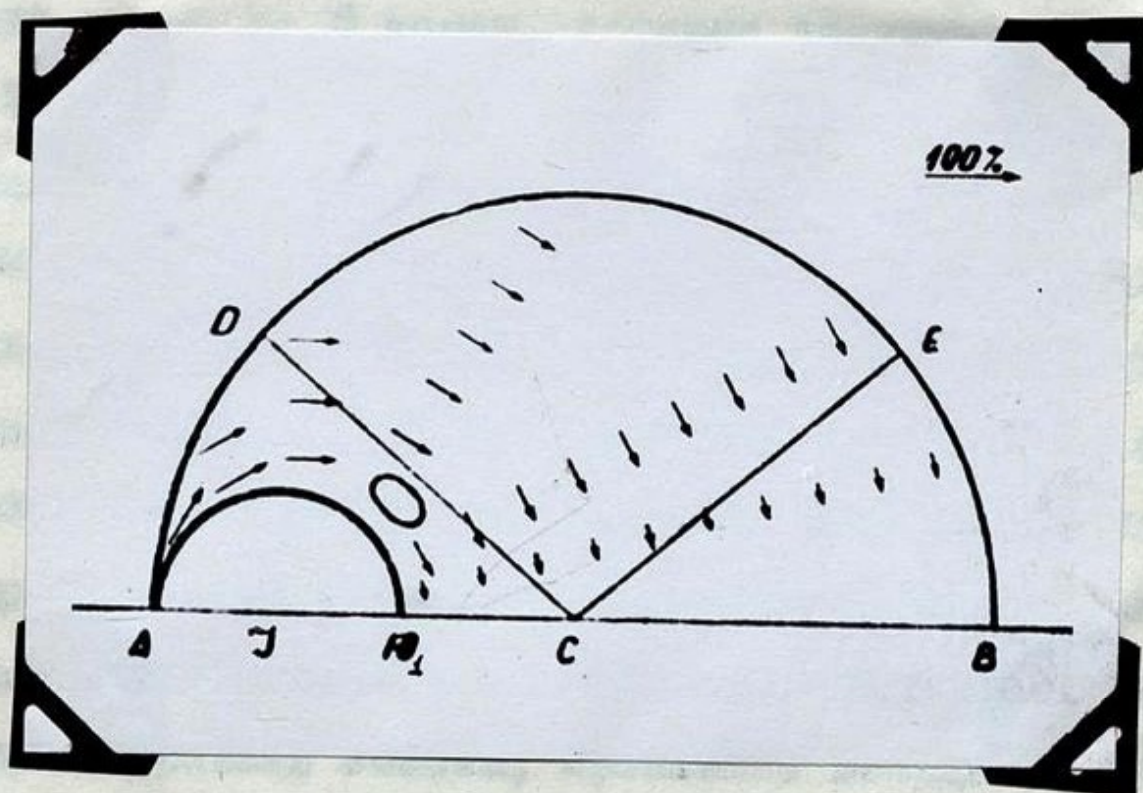


Рис. 25.

димыми. Это - отмеченные в § 22 кометы Вольф  $\bar{1}$ , Отерма, Шайн-Шальдека и другие. Вурком считает, что такой обмен объясняет потерю 10 комет за 200 лет с 1715 по 1915 г. В течение этого промежутка времени было открыто 56 короткопериодических комет. Вурком считает, что в части  $DCE$  расположены кометы, которые относительно возмущений находятся в равновесии с полем параболических комет. Часть  $ECB$  представляет те кометы, которые покидают Солнечную систему. Вурком считает, что за упомянутое время дезинтегрировалось 6 комет. Таким образом, из 56 комет потеряно несколько меньше одной трети всех комет. Вурком старается объяснить, каким об-



разом приток захваченных комет может компенсировать также те 6 комет, которые дезинтегрировались в течение 200 лет. Для этого он расширяет понятие группы комет Юпитера. Группу комет с полуосями орбит от 2,6 а.е. до 50 а.е., у которых  $0 < \omega < 45^\circ$  в дальнейшем будем называть расширенной группой комет Юпитера. Орбиты этой группы устойчивы относительно возмущений от других планет. Согласно Вуркому, непосредственный захват параболических комет в расширенную группу комет Юпитера должен компенсировать кометы, пропавшие вследствие дезинтеграции, так как кометы расширенной группы комет Юпитера интенсивно диффундируют в группу комет Юпитера. Однако, по подсчетам Вуркома, интенсивность потока захваченных в расширенную группу комет Юпитера равна только 0,15 комет за 100 лет, однако, как показывают, кометы дезинтегрируются быстрее, а именно, 3 кометы за 100 лет. Вурком считает, что он сумел объяснить потерю 5 комет за 100 лет осцилляцией перигельных расстояний, но не сумел полностью объяснить потерю комет, которые дезинтегрируются. Однако, утверждение А. Вуркома, что имеется интенсивная диффузия комет из расширенной группы в группу комет Юпитера, имеет место только в случае больших возмущений. Следовательно, его результат 0,15 комет за 100 лет, сле-

дует признать преувеличенным.

Теоретически можно подсчитать, что средняя плотность комет для  $q = 5a.e.$  в зависимости от избранного варианта в 5 - 10 раз больше, чем для  $q = 1a.e.$  Этого не знал Вурком. Поэтому его подсчеты следует исправить. Предположим, что на расстоянии Юпитера поток долгопериодических комет в 5 раз плотнее, чем вблизи Земли. Следовательно, результат Вуркома /0,15 комет за 100 лет/ следует умножить на 5. Нужно учесть также и то обстоятельство, что в результате диффузии параболических комет с  $q = 5a.e.$  получаются орбиты с  $z = 0,02a.e.$  Таким образом, в среднем при захвате в расширенную группу комет Юпитера, возмущения должны быть практически вдвое меньше, чем по подсчетам Вуркома, т.е. комет в группе окажется в 4 раза больше. Учет диффузии дает, что в расширенной группе комет Юпитера должно быть всего в 20 раз больше комет, чем подсчитал Вурком без учета дезинтеграции. Следовательно, приток будет 3 кометы за 100 лет, что, согласно Вуркому, полностью соответствует данным наблюдений. По формулам (192) или (195) легко подсчитать, что практически в расширенной группе комет Юпитера дезинтеграция происходит только у комет со значениями большой полуоси от  $a = 2,6a.e.$  до  $a = 5,2a.e.$

В заключение отметим те причины, вследствие которых не наблюдаются гиперболические кометы. Во-первых нужно учесть, что гиперболические кометы проходят через сферу видимости один раз, а эллиптические несколько десятков раз. Следовательно, короткопериодические кометы открыть легче, чем гиперболические. Во-вторых, диффузия комет с обратными движениями протекает медленнее, чем диффузия комет с прямыми движениями. В-третьих, диффузия гиперболических комет невозможна. Известно, что вероятность непосредственного захвата в расширенную группу комет Юпитера в 100 раз больше, чем в группу комет Юпитера. Таким образом, число, которое С.К.Всехсвятский [13] получил для гиперболических орбит, должно быть уменьшено в несколько тысяч раз.

Следует указать на некоторые недостатки выше изложенных рассуждений. Во-первых, нам кажется сомнительным предположение А.Вуркома, что кометы, захваченные в расширенную группу Юпитера, не могут из нее уйти, а могут только дезинтегрироваться в сфере видимости комет. Во-вторых, выше проведенный учет диффузии является неточным.

§ 28. Подсчет относительного количества короткопериодических комет.

Большое возмущение со стороны Юпитера может возникнуть только в том случае, если минимальное расстояние между орбитами кометы /точкой  $E$  / и орбитой Юпитера /точкой  $A$  / имеет весьма малое значение. <sup>рис. 11</sup> Определим средние значения величины  $d$  и длины отрезка орбиты планеты  $\Delta h$ , при которых  $\delta \geq \delta_0$  (289). Для этого рассмотрим формулу Х.А. Ньютона. Формула имеет место при прохождении через сферу действия как параболических, так и эллиптических или гиперболических комет. Решая (289) относительно  $h$ , имеем [105]:

$$h = \frac{-2m_1}{s\delta} + \sqrt{\frac{4m_1^2}{s^2\delta^2} - \frac{1}{\sin^2\theta} \left[ A^2 + d^2 - \frac{4m_1 A \cos\theta}{s\delta} \right]}, \quad (387)$$

где

$$\delta = \frac{1}{a} - \frac{1}{a_1}.$$

При  $\theta \rightarrow 0$  действительные значения  $h$  имеются только при

$$A^2 + d^2 - \frac{4m_1 A \cos\theta}{s\delta} \leq 0, \quad (388)$$

или

$$d^2 \leq \frac{4m_1 A \cos \theta}{s \delta} - A^2 \approx \frac{m_1^2 R}{(\sqrt{2}-1)^3} \left[ \frac{4}{\delta} - \frac{R}{\sqrt{2}-1} \right], \quad (389)$$

где  $R$  - радиус орбиты Юпитера. При  $\delta = 0,1 \text{ a.e.}^{-1}$  имеем  $d \approx 0,043 \text{ a.e.}$  (389) и  $\Delta h = 0,09 \text{ a.e.}$  (387). При  $d < 0,043 \text{ a.e.}$  и  $\theta \rightarrow 0$ , согласно формуле (388), величина  $\Delta h \rightarrow \infty$ . В действительности это не имеет места, так как орбиты комет и Юпитера отличны от прямой.

Чтобы получить представление о средних значениях  $d$  и  $\Delta h$ , в случае больших возмущений при  $\theta \neq 0$ , следует рассмотреть формулу

$$\Delta h = 2 \sqrt{\frac{4m_1^2}{s^2 \delta^2} - \frac{1}{\sin^2 \theta} \left[ A^2 + d^2 - \frac{4m_1 A \cos \theta}{s \delta} \right]} \quad (390)$$

при разных значениях  $\Delta h$ ,  $\theta$ ,  $s$  и  $d$ . При  $\delta = 0,1 \text{ a.e.}^{-1}$ ,  $\Delta h = 0,05 \text{ a.e.}$ ,  $d = 0,025 \text{ a.e.}$  соотношение  $s = s(\theta)$  есть уравнение прямой с  $\theta = 50^\circ$  /см. рис. 26/. Следовательно, примерно у половины долгопериодических комет ( $a \geq 10 \text{ a.e.}$ ) значения  $d$  и  $\Delta h$ , определяющие минимальное значение вероятности непосредственного захвата комет, равны соответственно  $0,05 \text{ a.e.}$  и  $0,025 \text{ a.e.}$  Понятно, что с меньшей вероятностью возможен также захват остальных комет, которые могут стать кометами группы Юпитера при больших возмущениях. Случай  $d = 0,02$ ,  $\Delta h = 0,04$  охватывает все долгопериодические кометы, которые могут быть

непосредственно захвачены в группу Юпитера. Это можно видеть из рис. 26, на котором представлена

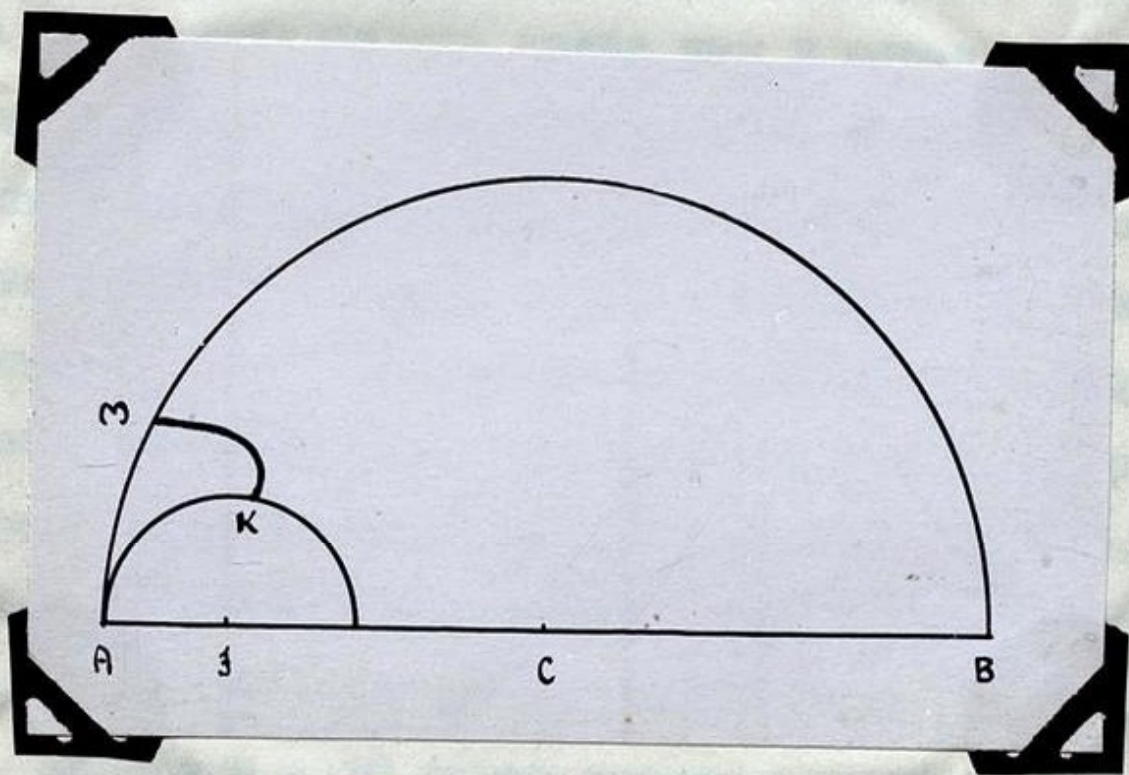


Рис. 26.

кривая  $s = s(\theta)$  для значений  $d = 0,02$  и  $\Delta h = 0,04$ ; -МК.

Представим себе, что некоторая комета проходит через тор, описываемый сферой действия Юпитера. Пусть у этой кометы  $d = d_1$ ,  $s = s_1$ ,  $\theta = \theta_1$ . Большие возмущения ( $\delta = 0,1 \text{ a.e.}^{-1}$ ) получается только при определенном положении Юпитера, скажем, если Юпитер будет находится в интервале  $[h_1, h_2]$ . Вероятность того, что Юпитер будет находится именно в этом интервале, очевидно, равна

$$K_1 = \frac{\Delta h}{2\pi R} \quad (391)$$

До настоящего времени нам известно 450 долгопериодических комет и 55 комет группы Юпитера. Считается, что из них 25 комет потеряно. Из этих 25 комет наблюдались более чем в одном прохождении только 7. Согласно А. Вуркому можно с уверенностью утверждать, что эти кометы пропали вследствие дезинтеграции, так как только у них имеются достаточно хорошо определенные орбиты, Вурком показал, что большинство остальных комет потеряно в результате возмущений со стороны больших планет, вследствие которых  $q$  увеличилось и кометы даже в перигелии были недоступны наблюдениям. Следовательно, потеря 5 - 10 комет должна компенсироваться притоком комет путём захвата.

С возрастанием перигелиальных расстояний комет  $q$  от 0 а.е. до 0,8 а.е., число открытых долгопериодических комет возрастает, а в интервале /0,8 - 5,0 / резко уменьшается. Очевидно, что в интервале /0,8 - 5,0/ сильно сказываются влияния условий открытия комет. Мы будем предполагать, что примерно до 0,8 а.е. условия открытия комет одинаково благоприятны, а в интервале /0,8 - 5,0/ начинают резко ухудшаться. Так как мы будем подсчет вести по точкам перигелиев комет, то следует предположить, что число открытых долгопериодических комет соответствует объему сферы, радиус

которой 1 а.е. Следовательно, число перигелиев открытых комет на каждое  $a.e.^3$  есть

$$K_2 = \frac{1350}{4\pi} . \quad (392)$$

Однако не все кометы, попавшие в эту сферу, описанную вокруг Солнца, могут быть открыты. Только те из них открываются, для которых условия наблюдений достаточно благоприятны. А. Вурком предполагал, что открытие параболических комет до 9<sup>м</sup> имеет в 4 раза меньшую вероятность, чем открытие короткопериодических комет такой же яркости. Мы предположим, что открыть параболические кометы в 10 раз труднее, чем кометы группы Юпитера, которые несколько десятков раз проходят вокруг Солнца и, следовательно, попадают в очень хорошие условия наблюдений. Итак относительная вероятность открытия параболической кометы есть

$$\frac{1}{K_3} = \frac{1}{10} , \quad (393)$$

а число перигелиев комет на каждое  $a.e.^3$  равно

$$K_2 K_3 = \frac{3375}{\pi} . \quad (394)$$

Все кометы, точки перигелиев которых находятся в торе радиуса  $R$  с сечением радиуса  $d$ , подлежат непосредственному захвату с вероятностью  $K_1$ . Для определения  $K_1$  следует знать значение  $\Delta h$ .



Мы видели, что для комет, из которых могут образоваться в результате непосредственного захвата кометы группы Юпитера, минимальные значения для  $d$  и  $\Delta h$  при  $\delta = 0,1 a. e^{-1}$ , равны соответственно 0,02 и 0,04. Для комет, у которых  $\theta = 0$ , минимальные значения  $d = 0,043$  и  $\Delta h = 0,09$ . Однако, в этот тор попадают также кометы, точки перигелиев которых находятся вне тора. Поэтому мы предположим, что  $d_{ср} = 0,043$  и  $\Delta h_{ср} = 0,09$ . Значение  $d_{ср} = 0,043$  соответствует данным наблюдений, так как для комет, которые возникли непосредственным захватом минимальные расстояния находятся в интервале  $/0 ; 0,15 a. e./$ . Объем соответствующий точкам перигелиев комет, которые непосредственно захватываются в группу комет Юпитера, есть

$$K_4 = 2 \pi R \pi d_{ср}^2. \quad (395)$$

Плотность перигелиев комет вблизи орбиты Юпитера больше, чем вблизи орбиты Земли, примерно в 10 раз. Следует отметить, что орбиты комет, которые подлежат захвату, имеют малые наклонности, а именно  $0 \leq \theta \leq 40^\circ$ . С другой стороны, согласно первому закону диффузии орбиты комет, которые подлежат захвату имеют малые наклонности. Таким образом, не следует вводить множитель зависящий от выбора комет с малыми значениями  $i$ . Множитель, соответ-

ствующий диффузии комет, есть

$$K_5 = 10$$

Теперь нетрудно определить приток комет в группу комет Юпитера по формуле:

$$K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 = 33750 \Delta h_{cp} d_{cp}^2 \approx 5 (\text{комет}). (396)$$

Из числа комет (396) не все попадают в сферу видимости короткопериодических комет. Однако А. Вурком установил, что перигелии комет группы Юпитера вследствие возмущений часто входят и выходят из сферы видимости. Примером таких комет служат кометы Шайн - Шалдека, Отерма и т.д. Так как кометы с малым значением  $q$  гибнут гораздо быстрее, то практически все захваченные кометы дезинтегрируются в сфере видимости. Таким образом, наш подсчет показывает, что при помощи больших возмущений можно объяснить дезинтеграцию 5 комет.

Проф. С.К. Всехсвятский [13] считает одним из главных недостатков теории захвата невозможность ею объяснить отсутствие гиперболических комет. При подсчете гиперболических комет отсутствуют следующие множители, которые учитывались при подсчете короткопериодических комет: 1.  $K_3$  - так как гиперболические кометы, подобно параболическим, проходят через сферу действия только один

раз. 2.  $K_4$  - так как диффузия комет с обратными

нием практически отсутствует. 3. Перигелии орбит гиперболических комет не могут входить и выходить из сферы видимости. Поэтому приток гиперболических комет составляет примерно 0,2% от притока эллиптических комет и, следовательно, вероятность того, что эти кометы будут наблюдаемы, очень мала.

### § 29. О причинах образования короткопериодических комет.

Согласно мнениям Г.Фейе и Г.Н.Рассела, характерной особенностью комет группы Юпитера являются весьма малые минимальные расстояния между орбитами этих комет и орбитой Юпитера  $d$ . Шульхоф показал, что величина  $d$  мало меняется при близких приближениях кометы к Юпитеру. Исследования Шульхофа дают только общие указания о зависимости  $d = d(t)$ . Поэтому невозможно сказать без специальных вычислений, как изменяется величина  $d$  с изменением времени  $t$  и возможно ли объяснить данное изменение  $\Delta d$  за время существования комет при помощи возмущений со стороны Юпитера. Ясно, что если некоторая комета подходит сравнительно близко также к некоторой другой планете, то  $\Delta d$  может за короткое время принять весьма большие значения. Г.Фейе [8] и Г.Н.Рассель [1] определи-

ли значения  $d$  для всех короткопериодических комет. Вычисления показывают весьма большую концентрацию  $d$  около нуля. Примерно у 60 % короткопериодических комет  $d \leq 0,16 \text{ а.е.}$ . Интервал  $0,7 \text{ а.е.} \geq d \geq 0,16 \text{ а.е.}$  покрывается примерно равномерно. С точки зрения теории захвата это означает, что по крайней мере 50 % короткопериодических

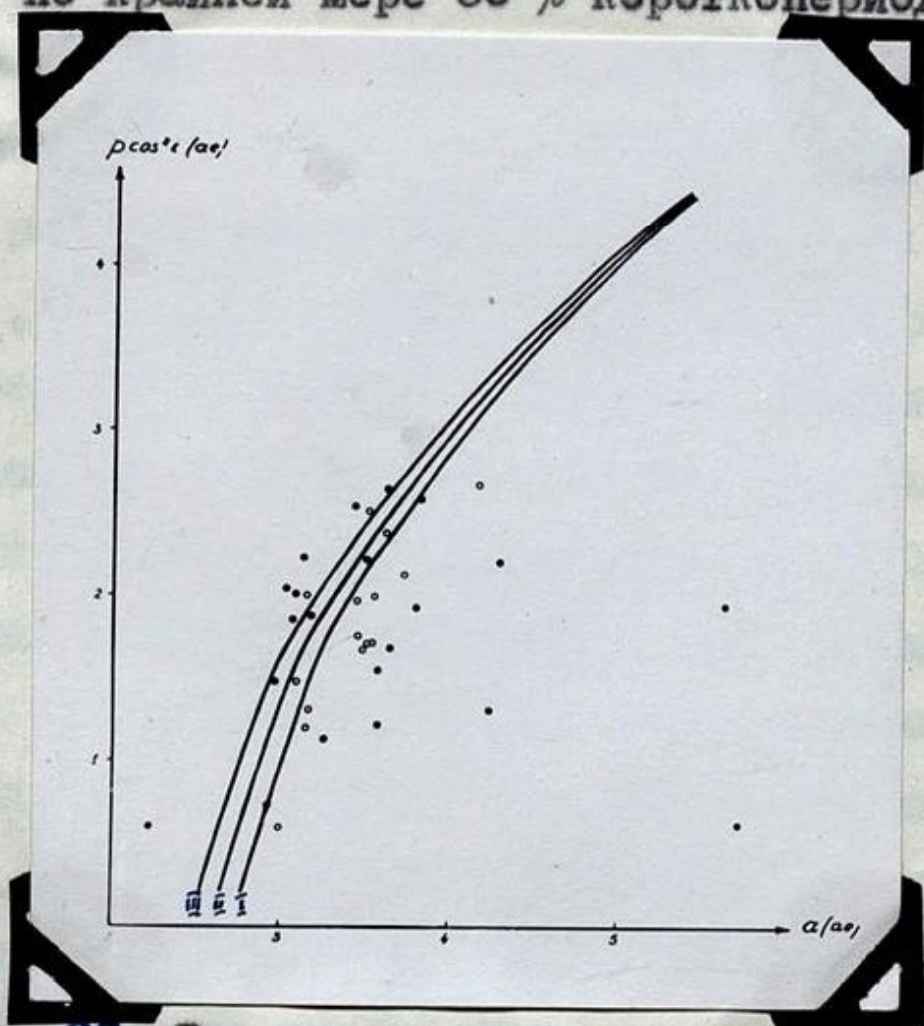


Рис. 27. Распределение комет относительно кривых предельного захвата. I - Юпитер в перигелии, II - на среднем расстоянии, III - в афелии.

ких комет возникли из долгопериодических путем больших возмущений. Возможно допустить, что остальные 50 % комет группы Юпитера возникли вследствие диффузии <sup>при</sup> малых возмущениях. Однако, такое допущение требует добавочных исследований. Оче-

видно, что кометы с большими значениями  $d$ , более старые. На это указывает таб. 18 в работе А. Вуркома, из которой видно, что из потерянных комет, которые наблюдались в нескольких прохождениях, две имеют  $d \leq 0,16 \text{ а. е.}$ , а у 4 комет  $d \geq 0,22 \text{ а. е.}$  Нет сомнения, что эти кометы действительно дезинтегрировались. Что же касается их абсолютных величин яркости, то их среднее значение у обеих групп одинаково.

На рис. 27 представлены кривые (299) и (301) для  $R = R_p(\text{I})$ ,  $R = R_a(\text{III})$  и  $R = R_s(\text{II})$ , где  $R$  — расстояние Юпитера от Солнца, и отмечены короткопериодические кометы, у которых определены минимальные расстояния  $d$  между их орбитами и орбитой Юпитера. Точки, находящиеся над кривыми  $\text{II}$ ,  $\text{III}$ , представляют собой 11 комет /30%/ с аномальными значениями элементов орбит. Согласно варианту учета индивидуальных свойств движения комет, все кометы, которые возникли из параболических путем очень больших возмущений со стороны Юпитера, должны находиться несколько ниже кривой  $\text{II}$ . Этому условию подчиняются примерно 17 - 21 комета /60%/. Четыре кометы /10%/ находятся далеко от кривых  $\text{II}$  и  $\text{III}$ . Белыми кружками отмечены кометы, у которых  $d < 0,15 \text{ а. е.}$  90% этих комет находятся сразу под кривыми  $\text{II}$  и  $\text{III}$ . Очевидно, вариант учета индивидуальных свойств

движения комет хорошо отражает действительность. Для объяснения возникновения остальных комет следует рассмотреть следующие гипотезы.

Первая гипотеза. Все короткопериодические кометы возникли путем больших возмущений. Следовательно, минимальные расстояния между их орбитами и орбитой Юпитера  $d$  были малыми, и на рисунке 27 они находились бы непосредственно под кривыми  $\bar{\text{II}}$  и  $\bar{\text{III}}$ . Однако с течением времени, вследствие возмущений, главным образом, со стороны других планет, изменились их элементы и, следовательно, увеличились расстояния  $d$ . Поэтому мы наблюдаем тесную корреляцию между  $d$  и положением кометы на рис. 27.

Вторая гипотеза. Те короткопериодические кометы, для которых значения  $d$  большие, никогда не подвергались значительным возмущениям со стороны Юпитера. Следовательно, они не должны лежать непосредственно под кривыми  $\bar{\text{II}}$  или  $\bar{\text{III}}$ . Чтобы проверить вторую гипотезу, следует подсчитать вероятность возникновения короткопериодической кометы при диффузии. Согласно Вуркому, уравнение диффузии правильно описывает её только в случае, если  $\frac{1}{a} < 0.02 a.e^{-1}$ . Мы также подчеркивали, что уравнение диффузии не может быть применено для больших значений  $\frac{1}{a}$ , так как при выводе его предполага-

ется  $q = \text{const.}$ ,  $i = \text{const.}$  и т.д. Не смотря на это, формально применим формулы диффузии для  $\frac{1}{a} = 0,2 a \cdot e^{-1}$ . Учитывая, что в торе с большим диаметром среднее  $D$  больше, чем в торе с меньшим диаметром, получим, что число комет, которые посредством диффузии преобразовались на расстоянии Юпитера от Солнца в короткопериодические  $\frac{1}{a} > 0,2 a \cdot e^{-1}$ , составляет из числа всех комет на расстоянии Юпитера примерно 0,5 % /1 вариант  $T = sq^{\frac{5}{2}} a^{3/2}$ , а для второго варианта  $T = sq^{3/2} a^{3/2}$  / имеем 0,01 %. Для случая, соответствующего формуле (197), получаются абсурдные результаты. По этим данным возможно [106] подсчитать число возникших посредством диффузии короткопериодических комет в торе с радиусом в 1 а. е. вокруг орбиты Юпитера. Согласно подсчетам, диффузия дает в 1000 раз больше комет, чем захват /первый вариант/, а для второго варианта мы получили в 20 раз больше. Если вместо  $V(0,02) : V(0) = 0,01$  предположить, что  $V(0,02) : V(0) = 9005$ , то для второго варианта получается примерно одинаковые количества комет для диффузии и захвата. Учитывая формальность нашего подсчета и большую зависимость результатов от избранного варианта и числовых данных, приходим к заключению, что развитая нами теория диффузии не в состоянии решить вопрос, сколько комет возникает из-за диффузии. Следовательно,

остаётся неизвестным, которая из предложенных гипотез более вероятна.

Можно указать ещё на следующий путь возникновения комет группы Юпитера. Юпитер и Сатурн имеют примерно одинаковые радиусы сфер действия. Следует предположить, что значительная часть комет группы Сатурна также расположена вдоль соответствующих кривых предельного критерия захвата. Соответствующие кометы имеют малые наклонности плоскостей орбит и, поэтому, некоторые кометы семейства Сатурна часто встречаются с Юпитером и могут быть захвачены также Юпитером. Таким образом, возникают кометы с почти круговыми орбитами, возникновение которых нельзя объяснить возмущающим действием одного только Юпитера. Особо большую вероятность быть вторично захваченными имеют те кометы семейства Сатурна, перигелии орбит которых находятся вблизи орбиты Юпитера. Наиболее вероятным следует считать двойной захват Сатурна-Юпитера для комет, которые расположены вдоль кривых предельного захвата и перигелии орбит которых после первого захвата находятся вблизи орбиты Юпитера. В этом случае, после больших возмущениях Юпитера получаем

$$a \approx 3,9 \text{ а.е.}, \quad r = 3,4 \text{ а.е.},$$

что почти точно совпадает с элементами комет



Отерма и Швассмана-Вахмана. Вычисления Фокина также показывают, что комета Отерма раньше принадлежала к семейству комет Сатурна. Комета Швассмана-Вахмана 1 не является характерной кометой группы Юпитера, так как у нее не афелий, а перигелий находится вблизи орбиты Юпитера. Возможно, что эта комета также произошла из комет группы Сатурна, перигелии которых расположены вблизи орбиты Юпитера. Если предположить, что это так, и что точка выхода кометы из круга действия имела координату  $\alpha = 0$ , то получаем  $a = 6,1 \text{ a. e.}$ ,  $p = 5,8 \text{ a. e.}$ , что почти точно совпадает с элементами кометы Швассмана-Вахмана 1.

Таким образом получается, что захват Сатурна весьма интенсивно пополняет группу Юпитера.

В нашей работе [108] мы старались доказать, что описанный выше двойной захват имеет сравнительно большую вероятность.

§ 30. Некоторые критические замечания о работе Уиппла об эволюции орбит комет.

Согласно теории диффузии почти параболических комет Оорта, а также теории диффузии, которая рассмотрена в гл. 19, средний потенциальный возраст видимых комет равен нескольким десяткам оборотов и влияние диффузии кончается при  $a \cong 40a_e$ . Уиппл [18] допускает, что некоторые кометы являются очень устойчивыми и могут существовать очень долго. Проходя на близких расстояниях от Солнца, они могут сделать до нескольких десятков тысяч оборотов. Он получил, что диффузия комет может дать короткопериодические кометы в количестве, которое совпадает с наблюдениями.

Рассмотрим кратко теорию Уиппла о происхождении короткопериодических комет. Уиппл предполагает, что существует кометное облако Оорта и что возмущения со стороны звезд пополняют новыми кометами число комет, проходящих через зону планет. Он предполагает, что кометы, проходя через перигелии своих орбит, гибнут в лучах Солнца по закону

$$P(L) = L^{-\alpha}, \quad (397)$$

где  $P(L)$  - вероятность того, что комета имеет потенциальный возраст  $L$  оборотов, а  $\alpha$  - некоторая постоянная. После числа оборотов, равного  $L_m$  погибают все кометы.

Считается, что изменения больших полуосей орбит комет вследствие возмущений со стороны планет распределяются по нормальному закону, и что этот закон правильно описывает также распределение больших возмущений.

Таким образом, Уиппл считает, что эволюцию комет определяют четыре фактора. Во-первых, стационарный приток новых комет. Во-вторых, поглощающий барьер при  $\frac{1}{a} = 0$ , т.е. удаление гиперболических комет навсегда из Солнечной системы. В-третьих, гибель комет с вероятностью  $P(L)$ . В-четвертых, возмущения со стороны планет на движения комет по нормальному закону распределений величины  $\delta$ . Уиппл считает, что последние два фактора действуют друг от друга независимо и подсчитывает распределение больших полуосей орбит комет при условии воздействия всех упомянутых факторов. Мы проверили числовые подсчеты Уиппла и получили, что они ошибочны. По этому не будем останавливаться на сравнении результатов Уиппла с наблюдениями, а отметим только, что Уиппл сомневается, что  $\delta$  рас-

200  
пределается по нормальному закону при больших значениях  $\delta$  и что диффузия распространяется в область короткопериодических комет. Он считает возможным ввести при  $a \cong 5a.e.$  отражающий барьер, который должен более правильно представлять диффузию при сравнительно малых значениях  $a$ .

По нашему мнению, теория Уиппла имеет следующий принципиальный недостаток. Уиппл не учитывает, что открытые долгопериодические кометы образовались путем эволюции новых комет с  $q \cong 1a.e.$ , а короткопериодические кометы получают путем эволюции орбит новых комет с  $q \cong 5a.e.$

Рассмотрим возможный путь исправления этого недостатка. Согласно Уипплу, имеются очень неустойчивые и очень устойчивые ядра комет. Гибель первых мало зависит от перигельного расстояния их орбит и, следовательно, характеризуется постоянной  $\alpha$ . При  $q = 1a.e.$ , где имеется достаточно богатый материал наблюдений по теории Уиппла, сравнивая теорию с наблюдениями можно определить значения  $\alpha$  и  $L_m$ . Для  $q \cong 5a.e.$  мы имеем то же значение для  $\alpha$ , т.к.  $\alpha$  от  $q$  не зависит. Значение  $L_m$  для  $q \cong 5,0a.e.$  можно определить на основе соображений из физики комет или экстраполируя график, данный на рис. 11. Для определения распределения обратного значения большой полуоси орбит комет по

теории Уиппла, кроме  $\alpha$  и  $L_m$  следует знать распределение  $\delta = \delta(q)$ . Эти значения нам известны из подсчетов Вуркома и Керра.

В заключении еще раз отметим, что мы считаем, что никаких конкретных результатов по теории Уиппла мы не имеем, так как по нашему мнению числовые подсчеты в работе Уиппла ошибочны, а других подсчетов по этой теории мы пока не имеем.

§ 31. Семейство комет  
Сатурна и других  
планет.

Для обоснования теории захвата следует теоретически объяснить, почему наблюдается много комет группы Юпитера, а нет ни одной характерной кометы группы Сатурна или других планет. Этим вопросам занимался Г.Н. Рассел [1] и другие исследователи, однако в соответствующих подсчетах не учитывались законы диффузии почти параболических комет. Законы диффузии почти параболических комет могут быть проверены на основе наблюдений комет, орбиты которых имеют малые перигельные расстояния, т.к. мы в достаточно большом количестве открываем только кометы с  $q \approx 1a.e$ . Короткопериодические кометы группы Юпитера возникают главным образом из невидимых с  $q \approx 5,0a.e$ , а группы Сатурна из невидимых комет с  $q \approx 10a.e$ . О диффузии комет с  $q \approx 10a.e$  мы знаем очень мало и поэтому исправить соответствующие подсчеты согласно эффекту диффузии мы не умеем. Можно сделать только следующие замечания качественного характера.

Интенсивная дезинтеграция комет кончается

на расстоянии, примерно равном 3 - 4 а.е. от Солнца. Влияние выброса из Солнечной системы у комет группы Юпитера и Сатурна примерно одинаково. Следовательно, эффект дезинтеграции при подсчетах отношений количеств короткопериодических комет групп Юпитера и Сатурна играет малую роль, а эффект дезинтеграции в распределении короткопериодических комет группы Сатурна должен быть таким же, как у комет группы Юпитера.

Учитывая выше сказанное, мы считали целесообразным рассмотреть вопрос о семействе комет Сатурна и других планет с трех точек зрения, а именно, во-первых, по Расселу, во-вторых, согласно нашим работам, в которых не учитывается дезинтеграция почти параболических комет, и в-третьих, сделать некоторые подсчеты с точки зрения теории диффузии почти параболических комет.

Г.Н. Рассел развил приближенную теорию для малых возмущений. Познакомимся с основами этой теории. Чтобы подсчитать, какая вероятность того, что параболическая комета после прохождения через сферу действия станет эллиптической и будет иметь полуось орбиты меньше данного значения  $a$ , следует в формуле для  $F$  /стр. 209/ для нижнего предела взять минимальное значение  $S$ , т.е.  $S = \sqrt{2} - 1$ , а для верхнего предела - максимально возможное значе-

ние  $S$ . Это имеет место, если  $a > 3,1a.e.$  / в случае захвата Юпитером/, т.е. в случае малых возмущений. Чтобы получить максимально возможное значение для  $S$ , следует учесть, что комета в этом случае выходит из сферы действия через точку

$\alpha = 270^\circ, \beta = 0^\circ$ . Следовательно;

$$(v_0 - v_1)^2 = \kappa^2 \left( \frac{2}{R} - \frac{1}{a} \right),$$

где обозначения такие же, как в § 20. После подстановки Рассела

$$a - R = (\lambda^2 - 1) a \quad (398)$$

для верхнего предела имеем  $S = 1 + \lambda$ . Интеграл для  $F$  легко берётся в элементарных функциях, и при  $a > 3R$  приближенно имеем:

$$F = \frac{4}{3} \frac{m_1^2 a^2}{R^2} \quad (399)$$

В космогонии комет формула (399) нашла широкое применение. Мы эту формулу применили в § 27 при учете диффузии почти параболических комет, когда определяли число комет, захваченных в расширенную группу комет Юпитера. Формула (399) показывает, что вероятность захвата увеличивается пропорционально  $a^2$ , т.е. что малые изменения большой полуоси орбиты кометы более вероятны, чем большие изменения. Следовательно, переход комет в расширенную группу Юпитера происходит за счёт тех комет, которые вследствие диффузии движутся по ор-



битам с наименьшими  $a$ . Мы считали, что в среднем вследствие диффузии захват происходит из числа комет с  $a = \frac{1}{2} a_0$ , где  $a_0$  - верхний предел  $a$  расширенной группы Юпитера.

Рассел учитывает, что из гипотезы равномерного распределения скоростей параболических комет следует, что количество комет, входящих в сферу, описанную вокруг Солнца, радиус которой  $R$ , пропорционально величине этого радиуса; следовательно, число комет, имеющих  $q \leq q_0$ , пропорционально  $q_0$ . В данном промежутке времени число комет, входящих в сферу радиуса  $R$  и имеющих эллиптические орбиты, большая полуось которой меньше данного значения  $a$ , определяется выражением  $\frac{4}{3} \frac{m_1^2 a^2}{R}$  в единицах числа комет, проходящих в течение того же промежутка времени через сферу, радиус которой 1 а.е. Некоторые из них практически невидимы, так как орбиты соответствующих комет имеют слишком большие перигельные расстояния. Рассел предполагает, что параболические и эллиптические кометы по  $q$  распределяются одинаково, следовательно, выражение

$$\frac{4}{3} \frac{m_1^2 a^2}{R} q$$

дает число комет, захваченных планетами на расстояниях  $R$  массы которых  $m_1$ , большие полуоси орбит которых меньше  $a$  и перигельные расстояния

которых меньше  $q$  по сравнению с числом комет, прошедших через сферу с радиусом в 1 а.е. Рассел считает возможным таким образом выведенное выражение применить также для комет со сравнительно короткими периодами. Если предположить  $q = 2$ ,  $a = 100$ , то для комет, видимых с Земли и имеющих  $a \leq 100$  а.е., получаем следующие данные: имеются 90000 комет семейства Юпитера, 2400 - Сатурна, 14 - Урана и 3 - Нептуна. Соответствующие данные подсчитаны в предположении, что через сферу, радиус которой 1 а.е., прошло  $10^9$  комет. Отсюда Рассел делает заключение, что с Земли возможно открыть только кометы семейства Юпитера.

В нашей работе [109] также был рассмотрен вопрос о захвате комет планетами. Мы решали плоскую задачу при следующих предположениях: 1) все планеты вращаются вокруг Солнца по круговым орбитам; 2) если комета находится вдали от планеты, то ее притягивает только Солнце; 3) в круге действия планеты, радиус которой  $\rho [\rho = R m^{2/5}]$ , где  $m$  - масса планеты,  $R$  - радиус орбиты планеты комету], притягивает только планета. Для анализа мы применили формулу:

$$\int |f(a, n)| da dn = \int |f_1| |f_2| |f_3| \left| \frac{\mathcal{D}(2 + \beta_1, \beta_2)}{\mathcal{D}(a, n)} \right| da dn,$$

где  $a$  — большая полуось орбиты кометы после захвата,  $\mu$  — параметр,  $f$  — вероятность открыть новую короткопериодическую комету.

Множитель

$$f_1 = \frac{\kappa}{2} m^{2/5} R^{3/2} \left[ -\sin(\alpha + \beta_2) + \sqrt{2 - \cos^2(\alpha + \beta_2)} \right]^2 \times \\ \times \left[ \cos^2(\alpha + \beta_2) + \sin(\alpha + \beta_2) \sqrt{2 - \cos^2(\alpha + \beta_2)} \right]^3$$

дает функцию распределения комет, входящих в круг действия по углам  $\alpha$  и  $\beta_2$  /§23/. Предполагается, что точки перигелиев параболических комет в плоскости распределены равномерно. Вероятность открывь данную параболическую комету  $f_2 = f_2' f_2''$  зависит от двух факторов. Во-первых, она зависит от яркости комет, т.е. от расстояния кометы до Солнца. Соответствующий фактор  $f_2'$  предполагается для короткопериодических и параболических комет одинаковым. Во-вторых, вероятность открытия зависит от частоты появления данной кометы в круге видимости. Предполагается, что

$$f_2'' = s_0 a^{-3/2},$$

где  $s_0$  — некоторая постоянная. В § 23 мы предполагали  $f_2 \equiv f_2'$ . Так как там был рассмотрен только захват Юпитером, что приводит к возможности от-

крытия комет в весьма узких границах большой по-  
луоси орбит, то допущенная неточность практичес-  
ки не влияла на результаты.

Множитель  $f_3$  зависит от времени существова-  
ния комет. Здесь рассмотрим только гипотезу гра-  
витационного разрушения, т.е. когда

$$f_3 = s_1 a^{3/2} \mu^{3/2},$$

где  $s_1$  - коэффициент пропорциональности. Формула  
Х.А. Ньютона для плоского случая в переменных  $\alpha$   
и  $\beta_2$  может быть выражена следующим образом:

$$\frac{4a}{R} = \frac{1 + \left(\frac{h}{Rm}\right)^2 2s^2 \cos^2 \beta}{\sqrt{2} \sin \beta - 1 + \left(\frac{h}{Rm}\right) 2s \cos^2 \beta}, \quad (400)$$

$$\sqrt{p/R} = \sqrt{2} \sin \beta - \frac{1}{2 \left(\frac{a}{R}\right)}, \quad (401)$$

$$s^2 = 3 - 2\sqrt{2} \sin \beta, \quad (402)$$

$$\sqrt{2} \cos \beta = \left[ -\sin(\alpha + \beta_2) + \sqrt{2 - \cos^2(\alpha + \beta_2)} \right] \cos(\alpha + \beta_2). \quad (403)$$

Пусть,  $J$  - Юпитер,  $\vec{v}_J$  - вектор скорости Юпитера,  
 $m$  - масса Юпитера,  $K$  - точка входа кометы в круг  
действия, радиус которой  $\rho$ , скорость Сатурна -  $\vec{v}_s$ .

Из  $\Delta JKT$  /рис. 28/

$$h = \frac{\rho \sin(\pi - \beta_2)}{\cos(\alpha + \beta_2)} \quad (404)$$

Если учесть, что  $\pi - \beta_2$  есть величина малая, то

$$\frac{h}{R m} = \frac{\rho (\pi - \beta_2)}{R m \cos(\alpha + \beta_2)} = \frac{m^{-3/5} (\pi - \beta_2)}{\cos(\alpha + \beta_2)} \quad (405)$$

При помощи формул (400) - (405) величины  $a/R$  и  $r/R$

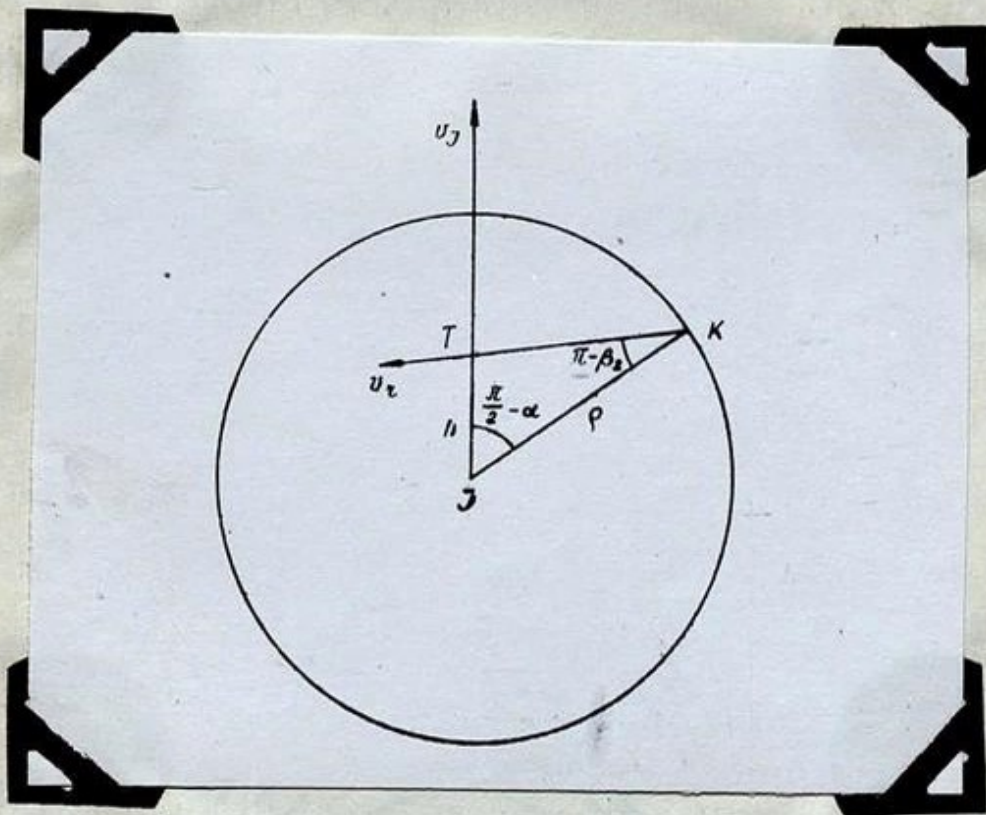


Рис. 28.

выражаются через  $\alpha + \beta_2$  и  $\beta_2$ . Для различных планет система формул отличается только множителем  $m^{-3/5}$ . Так как этот множитель меняет только шкалу изоэнергических кривых  $a/R = c_i$  и изосекториальных кривых  $\sqrt{r/R} = c_i'$ , то можно использовать один и тот же график  $\frac{a}{R} [\alpha + \beta_2, m^{-3/5} (\pi - \beta_2)] = c_i$  и

$\sqrt{r/R} [\alpha + \beta_2, m^{-3/5} (\pi - \beta_2)] = c_i'$  для всех планет при определении  $\frac{D(\alpha + \beta_2, \beta_2)}{D(a, \mu)}$ . Соответствующий график представлен на рис. 29. Сравним этот график с графиком, данным на стр. 198. Для  $\alpha + \beta_2 = 0$  и  $\frac{a}{R} = 1$ , согласно рис. 29, мы имеем  $\pi - \beta_2 = 3,7$ , а согласно рис. 17, имеем  $180^\circ - \beta_2 \cong \frac{4^\circ + 2,5^\circ}{2} \cong 3^\circ$  для  $\alpha + \beta_2 = 0$ ,  $a = 5,2$ . После приведения, т.е.  $180^\circ - \beta_2 = 0,88 \cdot 3,7 \cong 3^\circ$ , мы получаем хорошее совпадение результатов.

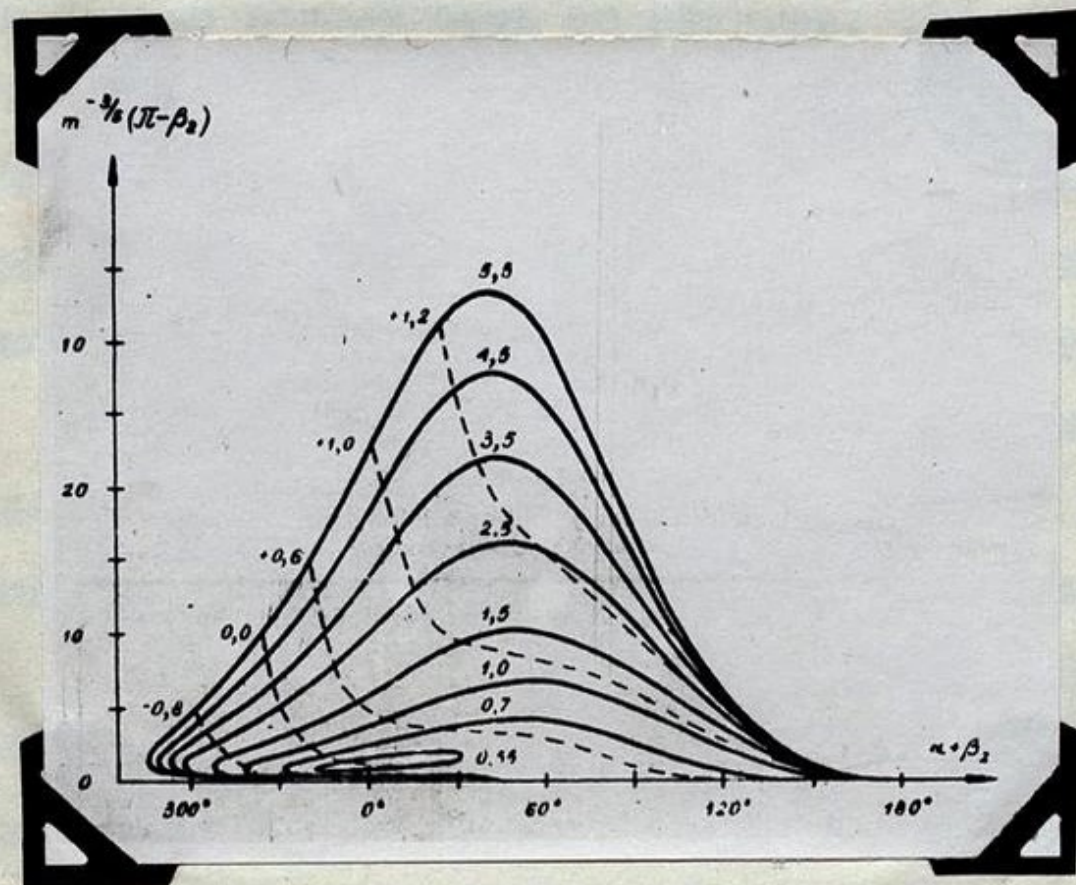


Рис. 29.

При помощи построенного графика мы определили распределение  $a$  и  $\sqrt{r/R}$  для различных планет. Мы пришли к следующим заключениям. Для комет се-

мейства Земли мы имеем приблизительно ту же картину, что и для комет семейства Юпитера. Для коротко - периодических комет, у которых большие полуоси орбит комет одинаковы, наибольшую вероятность быть открытой у кометы с наибольшим значением  $\sqrt{r}$ . Кометы, у которых  $a$  имеет наименьшее возможное значение, открываются с наименьшей вероятностью. В отличие от комет семейства Юпитера, чем большее значение  $a$  имеет орбита кометы семейства Земли, тем больше вероятность ее открыть. 15% комет семейства Земли имеют обратные движения. Кометы семейства Земли составляют 0,2% от комет семейства Юпитера. То же самое примерно можно сказать и о семействах комет остальных планет земной группы.

Результаты для комет семейства Сатурна приведены в таблице XVII. Данные подсчитаны в предположении, что имеется 26 комет группы Юпитера.

Из таблицы следует, что в настоящее время должны быть открыты 10 комет группы Сатурна. Однако, в настоящее время нам известны 4 кометы, элементы орбит которых  $a$  и  $\sqrt{r}$  соответствуют элементам комет семейства Сатурна, и наклонности плоскостей орбит которых  $i < 10^\circ$ . Это - кометы Гале, Неуймин, Вейсала и комета 1954 IV - 1954  $i$ . Соответствующие данные в таблице помещены в скобках. Все четыре кометы находятся за пределами, кото-

рые допускает теория. Очевидно, что теория пред-  
 видит больше комет, чем открывается в действитель-  
 ности. Поэтому нами исследовалось влияние кольца  
 Сатурна на захват [109].

Обозначим через  $d$  радиус кольца Сатурна.

Тогда

$$Q \geq d,$$

если  $Q$  - расстояние перицентра<sup>а</sup> в относительной ор-  
 бите кометы. Величина  $Q$  определялась при помощи  
 следующих приближенных формул

$$A = \frac{mR}{s^2}, \quad (406)$$

$$B = \frac{\sqrt{2} |h|}{s} |\cos \beta|, \quad (407)$$

где  $A$  и  $B$  большая и малая полуось гиперболичес-  
 кой орбиты.

Уравнение, при помощи которого можно отде-  
 лить возможные и невозможные области движения,  
 имеет следующий вид:

$$d = \frac{mR}{s^2} \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{h}{mR}\right)^2 2s^2 \cos^2 \beta} - 1 \right]. \quad (408)$$

Учитывая формулы (405) и (403), имеем:

$$|m^{-3/5} (\pi - \beta_2)| = \sqrt{\frac{d}{mR}} \left| \frac{\sqrt{\frac{ds^2}{mR} + 2}}{-\sin(\alpha + \beta_2) + \sqrt{2 - \cos^2(\alpha + \beta_2)}} \right|. \quad (409)$$



Таблица XVII

$\sqrt{r}$ \ a		4.8- -5.1	5.1- -5.5	5.5- -5.9	5.9- -6.2	6.2- -6.6	6.6- -7.0	7.0- -7.3	7.3- -9.5
0.0- вар. I		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-0.5 вар. II		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.5- вар. I		0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-0.8 вар. II		0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.8- вар. I		0.5	0.4	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
-1.1 вар. II		0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
1.1- вар. I		0.1	1.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.4
-1.4 вар. II		0.1	0.8	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.4
1.4- вар. I	/1/	0.6	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
-1.6 вар. II	/1/	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1.6- вар. I	/2/		0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
-1.8 вар. II	/2/		0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
1.8- вар. I			0.6	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
-1.9 вар. II			0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1.9- вар. I			/1/	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
-2.0 вар. II			/1/	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
2.0- вар. I					0.2	0.3	0.3	0.4	
вар. II					0.2	0.3	0.3	0.4	

При помощи формулы (409) мы подсчитывали количество комет, которые должны быть открыты, если предположить, что захват происходит только вне кольца Сатурна. Соответствующие данные представлены в варианте 11. В этом случае предвидится 6:

+ 7 комет группы Сатурна.

Изложенные выше подсчеты относятся к гидродинамическому методу, в котором неучтена диффузия. Мы неоднократно убеждались /гл.  $\overline{1У}$ ,  $\overline{У1}$  / в том, что в действительности захват происходит согласно подсчету, который учитывает индивидуальные свойства движения комет, т.е. при учете диффузии комет. Согласно этому варианту наиболее вероятным является захват комет, которые входят в сферу действия сзади. В этом случае

$$v_{от} = v_s (\sqrt{2} - 1),$$

а угол между асимптотами может принять всевозможные значения примерно в интервале от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Тиссеран для Юпитера подсчитал, что в случае  $\alpha = 0$  мы имеем  $q = 1,1$ . Если  $\alpha$  увеличивается, то также увеличивается и значение .

Подсчитаем, какое минимальное значение  $q$  получается для комет семейства Сатурна на кривой предельного критерия, если предположить, что захват возможен только вне кольца Сатурна. По формуле:

$$Q = \frac{mR}{(\sqrt{2} - 1)^2} (\sec \alpha - 1) \quad (410)$$

для  $Q = \alpha$  имеем:

$$\sec \alpha = 1 + \frac{0,171 d}{mR}, \quad (411)$$

т.е.  $\alpha \cong 20^\circ$ . При помощи подобных подсчетов можно убедиться, что размеры Юпитера не влияют на захват. По значению  $\alpha \cong 20^\circ$  можно определить проекции абсолютной скорости по формулам

$$v_{\tau} = v_s [1 - (\sqrt{2} - 1) \cos 40^\circ] = 0,683 v_s,$$

$$v_n = v_s (\sqrt{2} - 1) \sin 40^\circ = 0,266 v_s.$$

Следовательно,  $a = 6,5 \text{ а.е.}$ ,  $q = 2,8 \text{ а.е.}$ , т.е. основной поток комет семейства Сатурна находится вне сферы видимости, и поэтому мы этих комет не наблюдаем. Таким образом объяснено, почему мы не наблюдаем типичных комет группы Сатурна. Подобные объяснения имеют место также для комет остальных внешних больших планет.

# Л И Т Е Р А Т У Р А .

- 1 H.N. Russell, On the origin of periodic comets.  
Astronomical Journal vol. 33, Nr. 7, 48, 1920.
- 2 Б.Ю. Левин. Природа, сентябрь № 9, 1960.
- 3 Littleton R.A. The comets and their origin  
Cambridge 1953.
- 4 J.N. Oort, Bull. Astron. Inst. of Netherl. 408, 91, 1950.
- 5 И.В. Галибина, "Определение первоначальных  
и будущих орбит некоторых долгопериодических  
комет". Бюл. ИТА, 6, 82, 1958.
- 6 Маковер С.Г., "Об определении первоначальных  
орбит долгопериодических комет". Бюл. ИТА,  
6, 77, 1956.
- 7 Левин Б.Ю. Выделение газов из ядра кометы и  
изменения ее абсолютного блеска, А.Ж. 20,  
№ 4, 37, 1943.
- 8 G. Fayet, Bull. Ast. 28, 145-171, 1911.
- 9 L. Schulhof, Bull. Astr. VIII pp 147, 191, 225, 1891.
- 10 H.A. Newton, On the origin of comets. American  
Journal of science, III, vol. XVI, p. 175, 1878.
- 11 On the capture of comets by planets, especially  
their capture by Jupiter, National Academy of  
Science, Memoirs, vol. VI, 1891.
- 12 Б.М. Цигалев, Астр. журн., 1, 93, 1924.
- 13 С.К. Всехсвятский, О.И. Бабиц и В.В. Казютин-  
ский, Астр. ж. 39, 473, 1958.

- 15 Фокин А.В., Бюл. ИТА АН СССР 7, № 2, 113 - 119, 1958.
- 16 A.woerkom, Bull. Astrn. Inst. of Netherl. 399, 445, 1948.
- 17 Е.И.Казимирчак-Полонская, Основные задачи исследования сближений комет с большими планетами. Тр. ИТА вып. У11 1961 г.
- 18 F.L.whiple, Astron. Journal, 67, No 1926, 1, 1962.
- 19 Th. Banasiewicz, Méthodes arithmométriques de la correction des orbites. Acta Astr., Ser C, 1, 1929.
- 20 Th. Banasiewicz, L'orbite corrigée de la comète Orkisz. Okólnik Ob., № 17, 1925.
- 21 W. Eckert and D. Brouwer, The use of rectangular coordinates in the differential correction of orbits. Astr. Journ., 46, 1937.
- 22 Н.С.Самойлова-Яхонтова. Исправление эллиптических орбит. Бюл. ИТА, 53, 1944.
- 23 Н.С.Самойлова - Яхонтова. К вопросу об улучшении элементов эллиптических орбит, Бюл. ИТА, 3, 59, 1949.
- 24 Субботин М.Ф. О дифференциальном исправлении орбит с эксцентриситетом, мало отличающимся от единицы. Бюл. ИТА, 7, 89, 1959.
- 25 Маковер С.Г., Комета Энке-Баклунда. Движение за 1937-1951 годы. Труды ИТА вып. 4, 133 - 204, 1955.
- 26 С.Г.Маковер. Труды ИТА, вып. У1, 67, 1956.
- 27 С.И.Лучич, "Исследование движения кометы ... Бюл. ИТА, 7, 85, 1959

- 28 M.Kamienski, Acta Astron. D., Nr. 1, 1959.
- 29 E.Strömngren "Beitrag zur Kosmogonie der Kometen"  
A.N. 151, Nr. 3605, 65, 1899.
- 30 A.Thraen, "Definitive Bahnbestimmung des Cometen  
1886 II", AN 132. Nr 3160 - 61, 241, 1893.
- 31 A.Thraen, "Untersuchung über die vormalige Bahn  
des Cometen 1886 II", AN 136, Nr 3249-133, 1894.
- 32 E.Strömngren, "Über Kometenbahnexcentricitäten"  
I-Medd. fran. Lunds Astr.Obs. Nr. 1, 1898.
- 33 E.Strömngren, "Über Kometenbahnexcentricitäten"  
II-Medd. fran Lunds Astr.Obs. Nr 7, 1899.
- 34 E.Strömngren, "Über den zweiten Teil der Störungs-  
funktion" AN 3878.
- 35 К.А.Штейнс, "К вопросу о происхождении долго-  
периодических комет" Астр.ж. АН СССР т.30, 185,  
1953.
- 36 E.Strömngren, "Über den Ursprung der Kometen" Publ.  
og minehe Medd. fra Københavns Obs, Nr.19, 1914.
- 37 E.Strömngren and H.C.Rasmussen, "On the Original  
Orbits of Comets 1925 I, 1902 III and 1897 I"  
Publ. og mindre Medd. fra Københv.Øbs, Nr 114, 1938.
- 38 Дирикис М.А., Определение первоначального  
характера орбит комет с эксцентриситетом,  
близким к единице. Труды Астр. сект. ИФ АН  
ЛССР, вып. 6, 3 - 66, 1956.
- 39 K.Šteins. Some remarks concerning the determina-  
tion of the primary and ultimate orbits of long  
periodic comets. Acta Astronomica, vol 9, 4,

- 40 E. Strömgren. Analytische Störungsausdrücke für parabolische Bahnen. AN 169, Nr. 4033-34, 1, 1905.
- 41 Schiaparelli. Entwurf einer astronomischen Theorie der Sternschnuppen, Stettin, 1871.
- 42 L. Fabry "Etudes sur la probabilité des comètes hyperboliques et l'origine des comètes" Marseille 1893.
- 43 - 49 Moisseiev N., Über einige Grundfragen der Theorie des Ursprungs der Kometen, Meteore und des kosmischen Staubes (Kosmogonische Studien). I Ueber das Explosionschema und die Verteilungen der Aphelien und Hyperbolwahrscheinlichkeiten Труды ГАФИ, т.5, вып. 1, 3-46, 1930.
- Über die Wahrscheinlichkeit eines Kometenfalls auf die Sonne. Труды ГАФИ, т.5, вып. 1, 47-66, 1930.
- Über die Verteilung der Dichtigkeiten der Kometen, wie auch der Grössen und Richtungen ihrer Geschwindigkeiten innerhalb der Wirkungssphäre der Sonne. Труды ГАФИ, т.5, вып. 1, 67-87, 1930.
- Über die Verteilungen der Bahnelemente. Труды ГАИШ, т.5, вып. 2, 1-68, 1933.
- Über die Verteilung der Dichten innerhalb einer sich bewegenden Wirkungssphäre. АЖ, т.9, вып. 1-2, 30-52, 1932.
- О влиянии условий видимости первого рода на наблюдаемое распределение перигельных расстояний комет. Труды ГАИШ, т.6, вып. 1, 5-28, 1935.
- О статистической теории захвата комет Солнцем.

- 50 В.Г.Фесенков, Sur les perturbations séculaires dans le mouvement des comètes non périodiques par les étoiles voisines. Труды Главной Российской астрофизической обс. 1, 186, 1922.
- 51 В.Г.Фесенков, О происхождении комет. А Ж 28, вып. 2, 98, 1951.
- 52 В.Орик, Amer. Acad. Proc., 67-6, 169, 1932.
- 53 Г.К.Бадалян, Астр.журн., 11, 346, 1934.
- 54 L. Euler, Nov. Comm. Petrop., 10, 207, 1767.
- 55 А. Legendre, Traité des fonctions elliptiques et des intégrales Euleriennes, t I, p 411 - 539, Paris 1825.
- 56, 57 К.А.Штейнс, "К вопросу о возмущениях от звезд на движение комет" ч.1 Астр.журн. том 32, вып.3, 282, 1955 г. ; ч.11, том. 33, вып. 5, 756, 1956 г.
- 58 К.А.Штейнс и С.Я.Стуре, "К вопросу о диффузии комет" ч.1У Астр.журн. том.39 вып., 506, 1961г.
- 59 J. Court, VAN 6, 285, 1932.
- 60 С.К.Всехсвятский, замечания к работам Я.Оорта, посвященным вопросам происхождения и эволюции комет. А.Ж. т.31, вып. 6, 537-543, 1954 г.
- 61 S. Oppenheim, Astronomische Nachrichten 216, 47 (1922), Probleme der Astronomie-Festschrift für H.v. Seeliger, Berlin 1924.
- 62 Tygor, J.G.M.N.R.A.S. 117, 370, 1957.
- 63 J. Witkowski, Bulletin de la Société des amis



orbits of extremely short perihelion distances.  
Труды астрономической обсерватории

Скальнате Плесо том 11, 19, 1957.

- 65 H. Kurnik, The distribution of the Directions of Perihelia and of the Orbital Poles of Non-periodic Comets. *Acta Astronomica* vol. 9, 4, 207, 1959.
- 66 G. Fayet, "Recherches concernant les excentricités des Comètes". *Annales de l'Observ. de Paris* XXVI, 1, 1910.
- 67 К.А.Штейнс и М.П.Пудане. Ученые записки Латв. Госунив. том 41, вып. 5, 1961 г.
- 68 R. H. Kerr. Proc 4 th. Berkeley Sympos. Math. Statist. and Probability, 1960. Vol.3. Berkeley-Los Angeles Univ. California Press. 149-164. 1961.
- 69 И.П.Тарасашвили. Об изменении оскулирующей полуоси для кометы на большом расстоянии от Солнечной системы. А.М. вып. 5, 66, 1939 г.
- 70 E. Sinding. On the Systematic Changes of the Eccentricities of nearly Parabolic Orbits. *Publ. og mineke Medd. fra Københavns Obs.* Nr. 146, 1948.
- 71 J. Bauschinger, Die Bahnbestimmung der Himmelskörper. Leipzig 1906.
- 72 I. M. Hammersley and R. A. Lyttleton, Proc. 4th Berkeley Sympos. Math. Statistics and Probability, 1960, vol 3, Berkeley and Los Angeles, California Press, pp 229-244, 1961.
- 73, 74 D. G. Kendall, Proc. 4th Berkeley Sympos. Math.

75. С.К.Всексвятский, "Физические характеристики комет". Москва, 1958 г.
76. С.В.Орлов, Астр.журн., 16, 3, 1939.
77. H.Zanstra, Monthly Notices Roy.Astron.Soc., 89, 178, 1929.
78. Wurm K., Beitrag zur Deutung der Vorgänge in Kometen I. Zs. f. Ap. 8, 281, 1934.
79. K.Wurm. Natur der Kometen. Mitteil.Sternw. Bergedorf, 8, Nr.5, 1943.
80. Левин Б.Ю. Успехи физики комет. Успехи астроном. наук 111, 191, 1947.
81. N.Vobrovnikoff, Liek Obs.Bull. 408, 1929.
82. Орлов С.В., Голова кометы и новая классификация кометных форм. Изд.Сов. наука 1945.
83. Добровольский О.В. Нестационарные процессы в кометах и солнечная активность. Труды АН Тявж. ССР т. У111, 1961 г.
84. Воронцов-Вельяминов Б.А. Строение кометных ядер. Астрон.ж. т 22, вып, 6, 317, 1945.
85. К.А.Штейнс и Э.Я.Риакстыньш. К вопросу о диффузии комет 1. А.ж. т.37, вып.6, 1061, 1960.
86. F.Triceani. Funzioni ipergeometriche confluenti. Roma, 1954.
87. Л.Е.Рейзинь и С.Я.Стуре - Существование и асимптотика решения одного вырождающегося параболического уравнения. Ученые Записки Латв.Госунив. том 38, вып.1, 85, 1960.

- 88 К.А.Штейнс. К вопросу о диффузии комет.  
2. Астр. журн. т. 38, 107, 1961.
- 89 G. Baldat et M<sup>lle</sup> G. de Obaldia. Catalogue  
Général des orbites de Comètes de l'an - 466 à  
1952, Paris, 1952.
- 90 К.Д.Покровский, "Происхождение периодических  
комет" ч. 1, Юрьев 1901.
- 91 Jean Bosler, Les principes géométriques de la  
théorie de la capture des comètes par les gros-  
ses planètes. Journal des Observateurs, vol. XIV,  
Nr. 9, Septembre 1931.
- 92 F. Tisserand, Traité de Mécanique Céleste t. IV p  
206 Paris 1896.
- 93 К.А.Штейнс. Об основных вопросах теории зах-  
вата комет. Ученые Записки Латв. Госунив.  
том 38, вып. 1, 69, 1960.
- 94 В.Ф.Проскурин, "О временных захватах в задаче  
трех тел". Бюлл. ИТА 8, 97, 1962.
- 95 К.А.Штейнс. Предельный критерий захвата комет.  
Астр. журн. т. 35, вып. 1, 1958.
- 96 Дубяго А.Д., Астр. журн., 33, 381, 1956.
- 97 Chazy J. Sur l'allure final du mouvement dans  
le problème des trois corps. Journ. de math  
Pures et appl., ser. 9, 8, 1929.
- 98 Проскурин В.Ф. О кратковременных захватах в  
задаче трех тел. Научн. бюлл. ЛГУ 33, 1955.

99. Проскурин В.Ф. и Л.И.Румянцева. Временные захваты в задаче трех тел. Бюл. ИТА, 7, 87, 1959 г.
100. К.А.Штейнс, Распределение комет группы Юпитера, ч. 1, т.34, вып. 1, 1957.
101. К.А.Штейнс, Распределение комет группы Юпитера, ч. 11 Астр. журн. т.36, вып. 3, 512, 1959 г.
102. S. Newcomb, A.N. 58, 209, 1862.
103. A. Brunn, A.N. 172, 273, 1906.
104. К.А.Штейнс, Определение возраста семейства малых планет - Эос /670-682/ Астр.журн. т.33, вып. 2, 246, 1956 г.
105. К.А.Штейнс. К вопросу о диффузии комет ч. 111. т.38, 304, 1961.
106. К.А.Штейнс, Распределение комет группы Юпитера. Астр.ж. ч.3, т. 39, 915, 1962.
107. P. Bourgeois et J.F. Cox, Bull. Astr. 9, 349, 1934.
108. K. Šteins, On the origin of comets with almost circular orbits. Acta Astronomica, vol. 8, 3, 112, 1958.
109. K. Šteins. The problem of the capture of comets by planets. Acta astr. vol. 7, 4, 221, 1957.
110. Memoirs of the British Astr. Ass. vol 39, No 3, 1961.

# СОДЕРЖАНИЕ.

Введение .....	1
----------------	---

## ГЛАВА 1

### О ПРИНАДЛЕЖНОСТИ КОМЕТ К СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ.

§ 1. Выбор вида оскулирующих орбит .....	12
§ 2. Метод Э.Стремгрена и новая формула для оценки невычисленной части возмущений .....	27
§ 3. Принадлежность комет к Солнечной системе .....	36

## ГЛАВА 11

### ВОЗМУЩЕНИЕ СО СТОРОНЫ ЗВЕЗД НА ДВИЖЕНИЕ КОМЕТ.

§ 4. Основные проблемы .....	43
§ 5. Размеры кометного облака, согласно задаче двух центров .....	51
§ 6. Изменение $q$ , $a$ и $\tilde{\omega}$ согласно задаче двух центров .....	58
§ 7. Случай неодинаковых масс .....	63
§ 8. Оценка ширины зоны возмущений от звезд $\Delta \frac{1}{a}$ . Обобщенная формула Оорта ..	74
§ 9. О необходимости дальнейших исследований .....	84

## ГЛАВА 111

### СРЕДНЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ОБРАТНОЙ ВЕЛИЧИНЫ БОЛЬШОЙ ПОЛУОСИ ВСЛЕДСТВИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ОТ ПЛАНЕТ.

§ 10. Проверка гипотезы Оорта .....	89
§ 11. Метод фиктивных комет .....	94
§ 12. Анализ метода Вуркома. Подсчеты Керра	99
§ 13. Проблема Тарасашвили .....	105

## ГЛАВА 1У

### ДИФфуЗИЯ ПОЧТИ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ КОМЕТ

§ 14. Вывод основного уравнения. Случай Вуркома .....	108
§ 15. Потенциальный возраст комет .....	115
§ 16. Решение и анализ дифференциального уравнения диффузии для нестационар- ного состояния .....	123
§ 17. Уравнение диффузии для стационар- ного состояния .....	135
§ 18. Законы диффузии .....	140
§ 19. Проблема новых комет .....	153

## ГЛАВА У

### БОЛЬШИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ .

§ 20. Метод Х.А. Ньютона .....	160
§ 21. Метод сферы действия .....	170

## ГЛАВА У1

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМЕТ ГРУППЫ КУИТЕРА.

§ 23. Распределение комет по большим полуосям и параметрам орбит, /плоская задача/ .....	183
§ 24. Распределение комет по $a$ , $p$ и $i$ /задача в пространстве/ .....	207
§ 25. Распределение долгот перигелиев .....	231
§ 26. Распределение комет по абсолютным яркостям .....	237

## ГЛАВА У11

### ОТНОСИТЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО КОРОТКО- ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОМЕТ.

§ 27. Учет диффузии в подсчетах Вуркома ...	241
§ 28. Подсчет относительного количества короткопериодических комет .....	250
§ 29. О причинах образования короткоперио- дических комет .....	257
§ 30. Некоторые критические замечания о работе Уиппла об эволюции орбит комет .....	264
§ 31. Семейство комет Сатурна и других планет .....	268
ЛИТЕРАТУРА .....	282