

Ордена Ленина  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
имени М.В. Келдыша  
Академии наук СССР

Т.М. Энеев

НОВАЯ  
АККУМУЛЯЦИОННАЯ  
МОДЕЛЬ  
ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНЕТ  
И СТРУКТУРА  
ВНЕШНИХ ОБЛАСТЕЙ  
СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

**Препринт № 166**

**Москва, 1979**

Т.М. Энеев. Новая аккумуляционная модель формирования планет и структура внешних областей солнечной системы. Препринт № 166 Института прикладной математики им. М.В. Келдыша АН СССР. М., 1979. 17 стр. Библ. 16 назв.

#### Аннотация.

В рамках новой космогонической модели формирования планетных систем (Энеев, Козлов, 1977, 1979) изучается вопрос о возможной структуре внешних (занептунных) областей солнечной системы. В основу изучения вопроса положен анализ проблемы происхождения планеты Плутон. Отмечается, что при определенных условиях эволюционный процесс в некоторых аккумуляционных зонах протопланетного облака мог закончиться не формированием планеты, а образованием астероидного пояса. Высказывается гипотеза, что подобного рода условия существовали в период формирования солнечной системы за орбитой Нептуна и что в настоящее время в этой области существуют неизвестные астероидные пояса. Полагается при этом, что планета Плутон является астероидом одного из этих поясов. Обсуждается вопрос об эволюционных последствиях формирования внешних астероидных поясов. При этом указывается на неизбежность миграции части тел астероидных поясов в области, лежащие внутри орбиты Нептуна, с соответствующим влиянием этих тел на последующую эволюцию планет и их орбит. В частности, обращается внимание на возможность существования связи между указанной выше миграцией астероидных тел и резонансными соотношениями в солнечной системе.

Ключевые слова: планетная космогония, аккумуляция, планета Плутон, трансплутонные планеты.

T.M. Eneev. On possible structure exterior (trans-Neptune) area of the Solar system. Keldysh Institute of Applied Mathematics Prerprint N 166, 1979.

### Resume

The question about the possible structure of outer (beyond Neptune) regions of the solar systems is studied within the scope of the new cosmogony model of formation of planetary systems (Eneev and Kozlov, 1977, 1979). The analysis of the problem of Pluto's origin is the basis of this study. It is noted that under certain conditions the evolutionary process in some accumulation zones of the protoplanetary cloud may lead to the formation of an asteroid belt but not to the formation of a planet. The hypothesis is stated that during the solar system formation such conditions existed beyond Neptune's orbit and that at present unknown asteroid belts exist in this region. Pluto is assumed to be an asteroid of one of these belts. The question is discussed about evolutionary consequences of formation of outer asteroid belts. It is noted that the part of bodies must inevitably migrate from the asteroid belts into the regions lying within Neptune's orbit, and these bodies must take a respective effect upon the subsequent evolution of planets and their orbits. In particular, the attention is paid to the possible existence of the connection between the above migration of asteroid bodies and the resonant relations in the solar system.

## Введение

Новая космогоническая модель процесса аккумуляции планетных систем [1, 2] дает в главных чертах единую в непротиворечивую картину формирования планет солнечной системы, а также систем спутников у планет. Существенной деталью этой картины является наличие в ней глубокой связи между процессом формирования орбит и масс планет и процессом формирования их вращательного движения вокруг своих осей. Вместе с тем, в рамках данной модели возникли определенные трудности в объяснении происхождения некоторых специфических деталей структуры солнечной системы. К такой детали относится, в частности, необычная для планетной системы орбита планеты Плутон. Действительно, эксцентриситет и, особенно, наклонение плоскости орбиты Плутона имеют аномально большие значения по сравнению с аналогичными параметрами других планет ( $e = 0.25$ ,  $i = 17^\circ$ ). Совершенно уникальным является то обстоятельство, что перигелий орбиты Плутона находится ближе к Солнцу, чем орбита Нептуна. В то же время, согласно новой космогонической модели начальные орбиты сформировавшихся в аккумуляционном процессе больших планет были весьма близки к круговым, а плоскости этих орбит почти совпадали [1]. Чтобы связать факт аномальности параметров орбиты Плутона с данными новой аккумуляционной модели, рассмотрим различные гипотезы происхождения Плутона, подвергая при этом критическому анализу каждую из гипотез с точки зрения совместимости ее с указанной выше моделью.

А. Формирование Плутона происходило согласно схеме новой космогонической модели, т.е. в результате действия механизма так называемого "эффекта кольцевого сжатия вещества" [1, 2]. Данная гипотеза представляется здесь наиболее привлекательной, однако, как уже было отмечено выше, в ее рамках трудно объяснить аномальность характеристик орбиты Плутона. Если механизм кольцевого сжатия вещества действовал так же, как и в случае формирования других больших планет, то начальная орбита Плутона была бы почти круговой с плоскостью близкой к плоскостям орбит других планет. Согласно современным данным теории устойчивости солнечной планетной системы, возмущающее гравитационное влияние других больших планет не смогло бы в этом случае привести к существенной эволюции исходной орбиты Плутона (прежде всего, к существенному росту

эксцентриситета и наклона орбиты). Таким образом, механизм кольцевого сжатия вещества в его исходном виде не может быть применен к объяснению процесса формирования Плутона. Тем не менее, этот механизм, по-видимому, сыграл определенную, хотя и ограниченную роль в начальной фазе аккумуляционного процесса формирования Плутона. Подробнее об этом будет сказано в последующих разделах статьи.

В. Плутон - бывший спутник Нептуна, покинувший последний в результате воздействия возмущающих гравитационных сил (гипотеза Литлтона).

Согласно новой космогонической модели спутники планет сформировались в ходе эволюции газопылевых протоспутниковых дисков, имевшихся у больших планет, причем, сами диски и планеты сформировались в ходе гравитационного сжатия протопланет, представлявших из себя, по-видимому, газопылевые облака значительной протяженности (начальные размеры протопланет были сравнимы с размерами их сфер Хилла). Образовавшиеся протоспутниковые диски и в последующем из них спутниковые системы были намного меньше сфер Хилла соответствующих планет. Солнечные гравитационные возмущения сами по себе не могли оказать существенного влияния на эволюцию таких, близких к планетам, регулярных спутниковых систем, – по крайней мере, к выбросу отдельных их членов. Совместное влияние солнечных возмущений, нецентральности поля тяготения планеты и эволюции оси ее вращения могло привести к значительному наклону плоскостей орбит спутников к плоскости эклиптики, что, в свою очередь, вызвало бы сильную эволюцию эксцентриситетов их орбит [3]. Однако, как показывает анализ, даже при весьма больших наклонах плоскостей орбит вследствие быстрых движений их линий апсид (из-за нецентральности поля тяготения Нептуна) эволюция эксцентриситетов будет отсутствовать – примером тому служат орбиты спутников Урана [3]. В таком случае исключается возможность тесного сближения двух спутников и, как одно из возможных следствий этого, выброс одного из спутников за пределы системы <sup>1</sup>. Таким образом, в рамках рассматриваемой концепции гипотеза Литлтона не может быть положена в основу объяснения причин аномальности орбитальных характеристик Плутона.

С. Плутон – реликтовый объект аккумуляционной зоны Нептуна, по

---

<sup>1</sup> Спутник Нереида представляет собой, по-видимому, тело, пришедшее из занептунных областей солнечной системы (см. ниже) и захваченное Нептуном.

тем или иным причинам не объединившийся с Протонептуном в ходе аккумуляции и выброшенный вследствие возмущений со стороны последнего на внешнюю околосолнечную орбиту (с последующим выходом на резонансный режим движения).

Данная гипотеза, впервые высказанная, по-видимому, Б.Ю. Левиным (1972), заслуживает серьезного внимания [4]. В рамках рассматриваемой аккумуляционной модели теоретически такой случай нельзя полностью исключить. Однако, тщательный анализ механизма кольцевого сжатия вещества показывает, что вероятность реализации данного случая очень мала. В ходе аккумуляционного процесса взаимодействуют и объединяются не твердые тела, а весьма разреженные образования (газопылевые сгущения вещества). На заключительной стадии этого процесса немногие оставшиеся крупные сгущения приобретают столь значительные размеры (порядка их сфер Хилла), что пролет мимо них других менее крупных сгущений (каким мог быть Протоплутон), не заканчивающийся, в конечном счете, их захватом первыми, становится практически почти невозможным событием.

Подводя итог обзору приведенных выше трех гипотез, следует отметить, что ни одна из них не может быть принята в качестве надежной основа для объяснения аномальности орбитальных характеристик Плутона. Вместе с тем, наличие в солнечной системе других специфических объектов с необычными орбитами (Гидальго, Хирон и др.) наводит на мысль о том, что в основе аномальности орбит указанных объектов, также, впрочем, как и в самом факте их существования, может лежать какая-то общая причина. В связи с этим был предпринят специальный анализ отдельных сторон и деталей рассматриваемого аккумуляционного процесса формирования планет. В частности, была исследована трансформация механизма кольцевого сжатия вещества в условиях предельных значений физических характеристик начальных тел протопланетного облака. Этот анализ позволил сформулировать новую гипотезу причин аномальности орбитальных характеристик Плутона, позволившую также с единой точки зрения объяснить существование ряда других специфических деталей структуры солнечной системы. В последующих разделах статьи приводятся основные элементы указанной гипотезы.

## 2. Трансформация механизма кольцевого сжатия вещества в условиях шмидтовской схемы аккумуляционного процесса.

Механизм кольцевого сжатия вещества, лежащий в основе новой планетной космогонической модели, может нормально функционировать в строго определенных условиях структурного состояния вещества аккумулирующихся тел протопланетного диска. Как отмечалось в ранее опубликованных работах [1, 2], указанные тела представляли собой, по-видимому, газопылевые сгущения, заполнявшие значительную часть своих эффективных (гравитационных) объемов и медленно сжимавшихся за счет внутренних гравитационных сил. Существенно подчеркнуть при этом, что для "нормального" функционирования механизма кольцевого сжатия вещества необходимо, чтобы сжатие сгущений шло значительно медленнее, чем процесс их объединения. Если это условие не будет выполнено, то соответствующим образом трансформируется и указанный механизм. Например, если сжатие сгущений будет идти настолько быстро, что еще до окончания формирования единой протопланеты сами они превратятся в твердые тела – планетоиды, то аккумуляционный процесс существенно изменит свой характер. Тесные сближения планетоидов<sup>2</sup>, как правило, будут заканчиваться не их объединением, а разлетом с более или менее сильной деформацией исходных орбит (в данном случае для простоты не рассматривается возможность дробления тел). Орбиты планетоидов с течением времени из почти круговых станут более или менее эксцентричными и аккумуляционный процесс приобретет черты классической схемы О.Ю. Шмидта – схемы лежащей в основе большинства современных аккумуляционных моделей. Исследователи, придерживающиеся указанной схемы, исходят, при этом, из неявно постулируемого положения, что соответствующий аккумуляционный процесс неизбежно должен привести к формированию планетной системы. Данное положение, однако, не является абсолютно бесспорным. На некоторые слабые его стороны указывал ряд планетологов (например, Мак-Крей, 1972). В связи с этим следует отметить также, что схема О.Ю. Шмидта в последние годы испытывает серьезные трудности в вопросах своего обоснования [5].

---

<sup>2</sup> В данном случае под тесным сближением двух тел понимается такое, при котором силы тяготения между ними больше возмущающих сил центрального тела.

Численные эксперименты, проводившиеся в ходе работы с так называемой предельной моделью процесса аккумуляции [1] дали материал, позволивший по-новому взглянуть на некоторые стороны схемы О.Ю. Шмидта. При этом был обнаружен ряд важных обстоятельств, по-видимому, ускользнувших ранее от внимания планетологов. Так например, было обнаружено, что аккумуляционный процесс шмидтовского типа совершенно не обязательно заканчивается формированием регулярной планетной или спутниковой системы. В значительном числе случаев (возможно, что в большинстве) в финале указанного процесса в соответствующих аккумуляционных зонах планет образуются рои тел-планетоидов с непересекающимися орбитами, по своей структуре похожие на астероидный пояс.

Данный феномен имеет следующее объяснение. В случае "нормального" функционирования механизма кольцевого сжатия вещества, когда тесные сближения сгущений благодаря их размерам и возникающим в ходе гравитационного взаимодействия приливным силам, как правило, заканчиваются их объединением, большие полуоси  $a_i$  вновь образующихся сгущений фокусируются (смещаются) в направлении к некоторой средней полуоси данной аккумуляционной зоны  $a_{cp}$ . В случае шмидтовской схемы такой фокусировки нет, а имеет место противоборство двух тенденций. С одной стороны, тесные сближения планетоидов ведут к росту эксцентриситетов и расхождению больших полуосей их орбит. С другой стороны, объединения планетоидов в результате их контактов, приводят к резкому уменьшению эксцентриситетов и, вместе с тем, к уменьшению гравитационного взаимодействия между вновь образующимися планетоидами. В конечном счете, в аккумуляционной зоне может образоваться рой планетоидов,двигающихся первоначально по непересекающимся орбитам и гравитационно слабо взаимодействующих между собой. Данная картина, полученная сначала в результате приближенного теоретического анализа, была в дальнейшем подтверждена специальными численными экспериментами [7].

### 3. Внешние астероидные пояса солнечной системы.

Из сказанного выше следует, что в ходе эволюции протопланетного газопылевого диска при определенных условиях в отдельных аккумуляционных зонах вместо планет могли образоваться рои планетоподобных тел – своеобразные астероидные пояса. В настоящей статье выдвигается гипоте-

за, что указанные условия существовали в период формирования солнечной системы за орбитой Нептуна.

Мысль о существовании более или менее значительных масс вещества непосредственно за орбитой Нептуна не нова. Впервые достаточно четко она была высказана, по-видимому, Камероном (1962). Количественная разработка этой гипотезы, основанная на изучении невязок в движении Нептуна и Урана, принадлежит Уипплу (1964). Новым в выдвигаемой гипотезе являются структура и генезис предполагаемых занептунных масс вещества.

Во-первых, в отличие от Камерона, Уиппла и Левина (1972), полагающих, что занептунное вещество представляет собой пояс ледяных тел – кометных ядер<sup>3</sup>, данная гипотеза исходит из того, что значительная часть тел занептунной зоны (возможно, преобладающая по массе) морфологически должна быть отнесена к планетам, а не к кометам<sup>4</sup>. Эти тела, по-видимому, имеют железо-каменистые ядра и ледяные мантию.

Во-вторых, тела занептунной зоны распределены по нескольким поясам, более или менее резко отделенным друг от друга.

В-третьих, формирование указанных поясов было непосредственно связано с механизмом кольцевого сжатия вещества и, главное, со специфическими условиями функционирования этого механизма в занептунной зоне солнечной системы.

Эволюция внешней (занептунной) части протопланетного диска первоначально шла аналогично эволюции его внутренней части. Сгущения – протопланеты, образовавшиеся после распада из-за гравитационной неустойчивости сплошного газопылевого протопланетного диска, двигаясь по почти круговым орбитам, сначала объединялись при каждом тесном сближении. При этом имел место, отмеченный выше, эффект фокусировки их орбит к середине аккумуляционной зоны. Однако, вследствие замедленного темпа этих объединений, из-за большой удаленности внешних областей

---

<sup>3</sup> В данном случае, очевидно, не имеется в виду кометное облако Оорта, расположенное от Солнца на расстояниях порядка  $10^5$  а.е.

<sup>4</sup> Аналогичной точки зрения придерживается Дробышевский Э.М. (1976), полагающий, что за орбитой Нептуна находится большое число луноподобных тел, причем, Плутон является одним из них [10]. Эта идея, однако, в данной статье не обсуждается, т.к. космогоническая концепция, на которую она опирается (концепция Дробышевского Э.М.) лежит в стороне от той группы аккумуляционных концепций, к которым относится данная статья.

диска от Солнца, сжатие сгущений успело зайти достаточно далеко, в определенном смысле обогнав процесс объединения тел (скорость этого процесса пропорциональна  $r^{3/2}$ , где  $r$  – расстояние от Солнца). "Нормальное" функционирование механизма кольцевого сжатия вещества (с фокусировкой орбит!) было прервано, по-видимому, на ранней стадии аккумуляционного процесса, а сгущения уплотнились в более или менее твердые блоки задолго до того, как они могли бы объединиться в единое тело – протопланету. Так в соответствующих аккумуляционных зонах образовались астероидные пояса. Интересно отметить, что замедление темпа объединения тел и связанное с ним некоторое нарушение "нормального" функционирования механизма кольцевого сжатия вещества, по-видимому, имело место уже в зоне Нептуна, – об этом свидетельствуют вращательные характеристики этой планеты [1].

Теория новой аккумуляционной модели позволяет приблизительно указать положение астероидных поясов за орбитой Нептуна. Согласно этой теории, в эволюционирующем протопланетном диске могут одновременно или в разное время существовать два характерных типа аккумуляционных зон – тип "сильных" зон с более или менее плотным орбитальным потоком тел и тип "слабых" зон с ослабленной плотностью орбитального потока. Для относительной ширины зон "сильного" типа характерно значение  $a_{max}/a_{min} = 1.5$ ; для зон "слабого" типа  $a_{max}/a_{min} = 1.9$ . Здесь  $a_{max}$  и  $a_{min}$ , соответственно, максимальная и минимальная границы зон [1]. Если начальная зависимость поверхностной плотности вещества  $\sigma_0$  от  $r$  имеет более или менее плавный характер, то следует ожидать периодического чередования "сильных" и "слабых" зон [1]. В таком случае, поскольку зона Урана является "слабой", а Нептуна – "сильной" [1], следующей за орбитой Нептуна должна располагаться "слабая" зона, далее "сильная" и т.д. Пользуясь указанной схемой, нетрудно вычислить средние расстояния для занептунных аккумуляционных зон  $a_{cp}$ . Для трех последовательных зон получим следующие значения в а.е.  $a^1_{cp} = 52$ ,  $a^2_{cp} = 85$ ,  $a^3_{cp} = 148$ . Очевидно, что около приведенных расстояний и должны располагаться гипотетические астероидные пояса<sup>5</sup>. В связи с этим интересно отметить два семейства периодических комет с афелийными расстояниями, располагающимися в области пер-

---

<sup>5</sup> В данном случае число поясов взято произвольно - вопрос об их числе подлежит дальнейшему анализу.

вых двух зон [11, 12]. Возможно, что указанные семейства как-то связаны с внешними астероидными поясами, подобно тому, как, по-видимому, связаны некоторые семейства короткопериодических комет с планетами-гигантами.

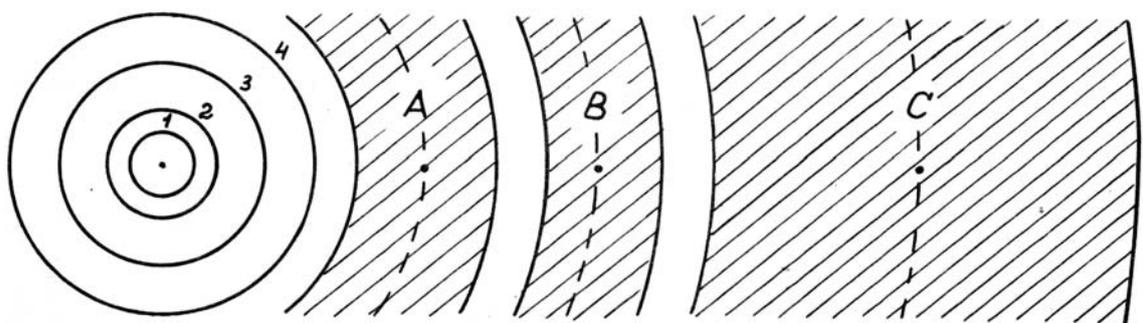


Рис.1. Схематическое изображение орбит планет-гигантов и внешних астероидных поясов (цифрами обозначены орбиты планет: 1 - Юпитера, 2 - Сатурна, 3 - Урана, 4 - Нептуна).

На рис.1 схематически показано положение астероидных поясов по отношению к орбите Нептуна (пояса условно обозначены буквами *A*, *B*, *C*). Значительно труднее оценить массы поясов. Для оценки массы пояса *A* можно воспользоваться результатами работы Уиппла (1964), Применение его методики позволяет ориентировочно оценить мощность пояса *A* в 20-30 земных масс. Есть другой, менее обоснованный и надежный, но все же заслуживающий внимания способ оценки массы пояса *A*. Он основан на экстраполяции в зону пояса *A* закона поверхностной плотности вещества использованного при моделировании процесса формирования Урана и Нептуна [2]. Закон этот имеет вид:

$$\sigma = 0.017 - \exp(-0.027 r) + 0.6 \exp(-0.31 r).$$

Для процессов аккумуляции в занептунных зонах существенно только первое слагаемое указанной формулы, т.к. второе пренебрежимо мало по сравнению с ним. Расчет с помощью указанной формулы, дает для массы пояса *A* следующее значение:  $m_A = 42$  (в земных массах). Дальнейшая экстраполяция указанного закона в зоны *B*, *C* и *D* (четвертая гипотетическая зона) дает для них соответственно массы  $m_B = 31$ ,  $m_C = 26$ ,  $m_D = 3$ , т.е. при принятом законе  $\sigma(r)$  четвертую зону (*D*) можно считать практически не существующей, а зона *C* является последней. Конечно, данная экстраполяция еще менее законна и обоснована, чем предыдущая – приведенные результаты имеют более качественный, чем количественный характер и к ним надо относиться с большой осторожностью.

#### 4. Формирование Плутона и эволюция его орбиты.

Астероидные пояса, после того как они сформировались, начали медленно эволюционировать из-за гравитационного взаимодействия составлявших их тел. Эксцентриситеты орбит астероидов, значения которых первоначально была, по-видимому, сравнительно умеренными, начали постепенно расти, достигая величин, при которых перигелии и афелии орбит стали заметно выходить за пределы аккумуляционных зон. Существенно при этом, что перигелии орбит астероидов пояса *A* могли опускаться до орбиты Нептуна и ниже. Движение астероида по такой орбите могло подвергнуться сильному возмущающему влиянию поля Нептуна, и сама орбита за сравнительно короткий срок претерпеть значительную трансформацию. В частности, при соответствующем прохождении астероида в сфере действия Нептуна могло резко увеличиться гелиоцентрическое наклонение его орбиты. Другими словами, новая гелиоцентрическая орбита астероида по своей форме и положению стала бы подобной современной орбите Плутона. В связи со сказанным естественно предположить, что Плутон является одним из астероидов пояса *A*, орбита которого претерпела указанную выше трансформацию, причем, движение Плутона в последующем вошло в резонанс с движением Нептуна. Влияние же пояса *A* на движение Плутона после этой трансформации стало существенно меньше влияния Нептуна из-за сильного удаления орбиты Плутона в афелии от плоскости пояса *A* (~ 15 а.е.).

Плутон является одним из наиболее крупных астероидов пояса *A*. Его орбита не смогла бы, по-видимому, достаточно проэволюционировать за космогонически приемлемый срок за счет малых тел этого пояса. Поэтому весьма вероятно, что в поясе *A* существовало несколько тел с массой порядка массы Плутона, вызвавших соответствующую эволюцию его орбиты. На рис.2 приведен пример эволюции трех тел с массами порядка массы Плутона ( $m = M_3 \cdot 10^{-8}$ ) и с начальными почти круговыми орбитами ( $e_0 = 0.005$ ), расположенными друг от друга на расстоянии 0.1 а.е.<sup>5</sup> На рисунке приведены кривые эволюции эксцентриситетов и больших полуосей орбит. По оси абсцисс отложено число тесных сближений тел. Эволюционный процесс, изображенный на рис.2, охватывает период порядка  $10^9$  лет. Из

---

<sup>5</sup> Пример был рассчитан по просьбе автора статьи С.И.Ипатовым.

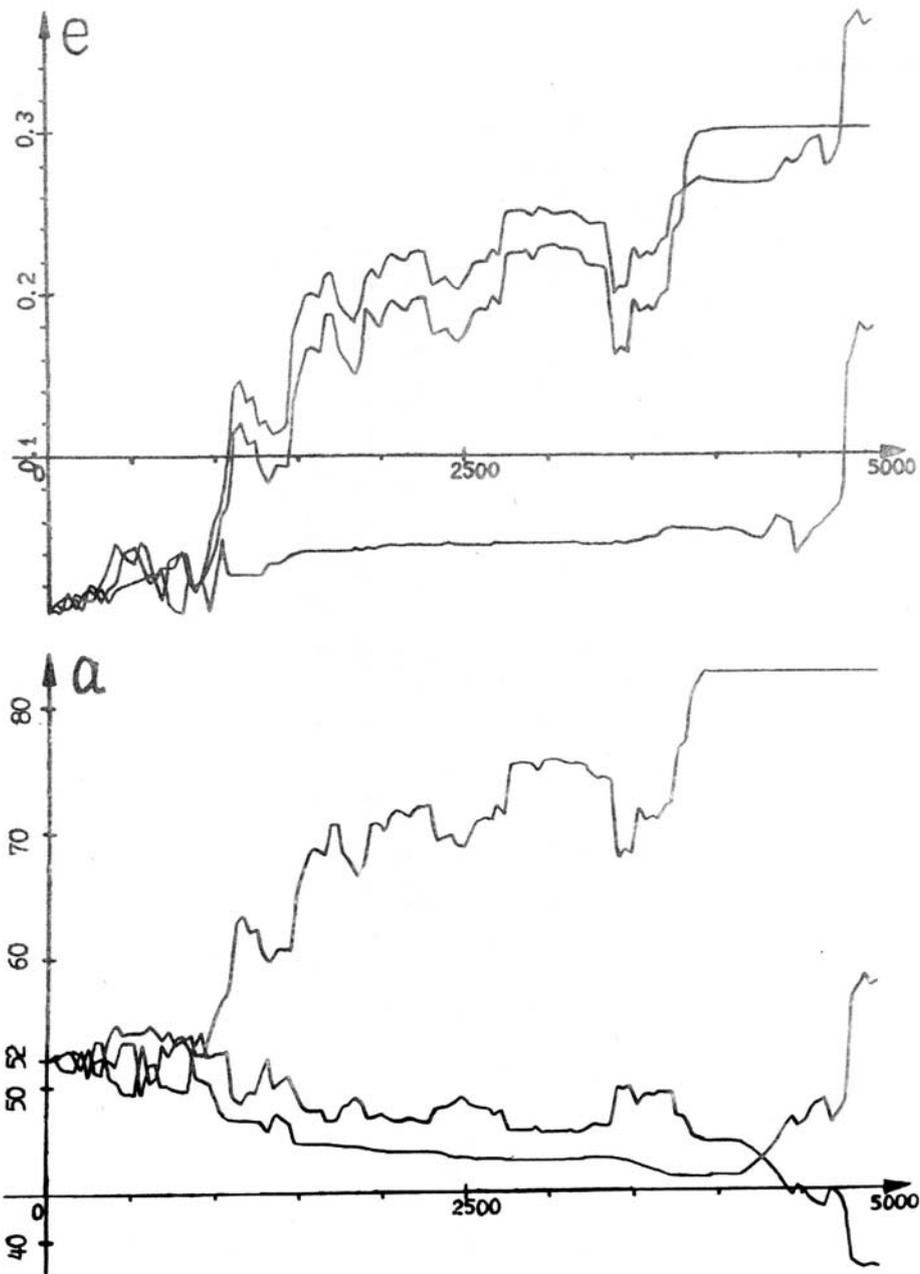


Рис.2. Эволюция эксцентриситета  $e$  и больших полуосей орбит  $a$  трех гравитационно взаимодействующих тел.

анализа рис.2 следует, в частности, что, по крайней мере, одно из указанных выше крупных тел может и в настоящее время находиться на внешней периферии пояса  $A$ .

## 5. Эволюция внешних астероидных поясов и миграция их тел во внутренние области солнечной системы.

Образование внешних астероидных поясов и их эволюция имели далеко идущие последствия для солнечной системы. Эволюция эксцентриситетов к большим полуосей астероидов пояса *A* приводила к тому, что часть из астероидов пояса рано или поздно попадала в сферу действия Нептуна. В результате происходила быстрая и сильная трансформация их орбит. Перигелии орбит части из этих астероидов опускались до уровня орбиты Урана и ниже, что приводило к дальнейшей их трансформации с последующим опусканием перигелиев до уровней орбит Сатурна, Юпитера и далее в область планет земной группы. Так развился мощный процесс миграции тел астероидных поясов во внутренние области солнечной системы. Механизм подобного рода миграции был подробно изучен в работе Е.И. Казимирчак-Полонской (1971), которая обратила внимание на существенную роль трансформационных свойств полей планет-гигантов в эволюции кометных орбит [13].

Время пребывания большинства астероидов во внутренних областях солнечной системы было ограниченным из-за сильных трансформационных свойств гравитационного поля Юпитера, которое в конечном счете выбрасывало их за пределы солнечной системы или в область облака Оорта. Лишь часть астероидов могла "застрять" на длительный срок внутри системы. Возможно, что к таким телам относится, аполлоновская группа астероидов, группа "троянец" и некоторые другие.

Миграция тел астероидных поясов в области, лежащие внутри орбиты Нептуна, была наиболее значительной в начальный период существования солнечной системы, охватывающий время порядка  $0.5 \cdot 10^9$  лет. В последующем эта миграция существенно уменьшилась из-за "разрыхления" структуры астероидных поясов. Взаимное гравитационное влияние тел поясов и, особенно, влияние тел, ранее мигрировавших, а затем вернувшихся в пояса, привело к заметному расхождению плоскостей орбит астероидов и, соответственно, к увеличению толщины поясов. Пространственная плотность орбитального потока астероидов уменьшилась на несколько порядков и, соответственно, уменьшилось число их тесных сближений в единицу времени. Последнее обстоятельство и привело к резкому замедлению про-

цесса миграции. Тем не менее, процесс миграции тел из астероидных поясов идет, по-видимому, и в настоящее время. Свидетельством этому служит присутствие в солнечной системе таких странных объектов, как Хирон, Гидальго и некоторых других. Возможно, далее, что, по крайней мере, часть короткопериодических комет и метеоритов представляет собой обломочный материал, мигрировавший и из астероидного пояса *A*. Этот материал возник в результате катастрофических столкновений астероидов в этом поясе. При этом метеориты могут представлять собой фрагменты железокаменистых ядер, а кометы – фрагменты ледяных мантий и рыхлых поверхностных слоев разрушившихся астероидов. В связи с этим большой интерес представляет гипотеза Г.И. Петрова (1976) о рыхлой, снегоподобной структуре некоторых кометных ядер [14].

Далее следует отметить, что часть тел миграционного потока, образуя из себя своеобразный "кометно-астероидный ветер", с большими скоростями обрушивалась на поверхности планет и спутников, оказывая динамическое влияние на их поступательное и вращательное движение. Возможно, что указанные "ветер" и являлся тем диссипативным фактором, который способствовал формированию резонансных структур в солнечной системе [15]. Возможно, далее, что некоторые необычные детали структуры солнечной системы также смогут быть объяснены через соответствующее влияние "ветра". Например, не исключено, что обратное орбитальное движение Тритона может быть объяснено через эволюцию плоскости его орбиты из-за совместного влияния "ветра" и других возмущающих факторов.

Наконец» падение тел астероидных поясов на поверхности планет и спутников оказало определенное воздействие на их физико-химическую эволюцию. В частности, это воздействие было, по-видимому, исключительно сильным в геологической и геохимической истории Земли. Вопрос этот требует, однако, отдельного обсуждения.

## 6. Заключение.

Таким образом, последовательное развитие новой аккумуляционной модели формирования планет, необходимое для объяснения аномальности орбитальных характеристик Плутона, логически почти неизбежно подводит к выводу о возможности существования внешних (занептунных) астероидных поясов солнечной системы. По крайней мере, в рамках рассматриваемого

мой концепции другого сколько-нибудь надежного и убедительного пути решения проблемы не видно. В связи с этим возникает задача обнаружения тел внешних астероидных поясов с помощью прямых наблюдений. При этом следует иметь в виду, что, хотя в результате описанного выше миграционного процесса отдельные тела поясов присутствуют, по-видимому, во многих внутренних областях солнечной системы (в том числе в области земной группы планет), только прямое наблюдение этих тел за пределами орбиты Нептуна может дать убедительное доказательство существования внешних астероидных поясов. Решение указанной задачи связано, однако, с большими трудностями.

Как уже было отмечено выше, Плутон является одним из наиболее крупных тел внешних поясов. Если в этих поясах и существуют в настоящее время другие тела, имеющие размеры порядка размеров Плутона, то их очень немного, и они должны находиться, по крайней мере, на внешней периферии пояса А. В противном случае они были бы, по-видимому, уже обнаружены [16]. Подавляющее же большинство тел поясов имеет существенно меньшие размеры. Об этих размерах в настоящее время можно судить по некоторым косвенным данным, поскольку закон распределения тел поясов по массам (и, следовательно, по размерам) пока неизвестен. Эти косвенные данные можно получить, например, на основании изучения размеров таких объектов как Хирон или Нереида (предположительно, захваченное Нептуном одно из тел пояса А). Указанные объекты с точки зрения рассматриваемой модели, должны быть одними из типичных представителей тел поясов. В противном случае, едва ли их удалось бы наблюдать в настоящее время в силу редкости и уникальности рассматриваемых событий пребывания тела на неустойчивой орбите между большими планетами (Хирон) или пребывания захваченного планетой тела на устойчивой спутниковой орбите (Нереида). Если этот вывод верен, то тел с поперечным размером в 200-300 км должно быть достаточно много в зоне пояса А. Возможно, что их там десятки, а может быть и сотни тысяч. Можно ожидать, что яркостная характеристика таких тел, при расстоянии их от Земли в 50 а.е., будет соответствовать 23-23 звездной величине. Наблюдение объектов такой яркости находится в пределах возможностей самых мощных современных оптических средств (САО АН СССР), Здесь могут, однако, возникнуть большие трудности в деле опознавания и селекции тел внешних астероидных поясов на фоне огромного числа звезд и других объектов такой же яркости.

Поэтому для решения указанной задачи представляется весьма целесообразным привлечение мощных вычислительных средств, а также современных математических методов обработки массовой информации. При надлежащей организации работы поставленную задачу, по-видимому, можно было бы решить за более или менее обозримое время.

Автор благодарен С.И. Ипатову за помощь в вычислениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов Н.Н., Энеев Т.М. 1977. Препринт Ин-та прикладной математики им. М.В. Келдыша АН СССР № 134.
2. Энеев Т.Н., Козлов Н.Н. 1979. "Письма в Астрон. ж." Т. 5, № 9.
3. Лидов М.Л. 1963. Сб. "Проблемы движения искусств. неб. тел". Изд. АН СССР. М.
4. Левин Б.Ю. 1978. "Письма в Астрон. ж.". Т. 4, № 2.
5. Левин Б.Ю. 1972. *In Symp. origine Syst. Solaire. Nice 1972. Paris, 1972.*
6. Мак-Крей У. (*Mac Crea W.H.*). Там же.
7. Ипатов С.И. 1978. Препринт Ин-та прикладной математики им. М.В. Келдыша АН СССР № 101.
8. Камерон (*Cameron A.G.W.*). 1962. *Icarus V.1. 13-69.*
9. Уиппл (*Whipple F.L.*) 1964. *Proc. Nat. Acad. Sci. V.51. 711.*
10. Дробышевский Э.М. 1976. Препринт Физ.-технич. ин-та им. А.Ф. Иоффе АН СССР № 508. Ленинград.
11. Шютте (*Schuette C.*) 1949. *Popular Astronomy, v. 57, N 4. 176-182.*
12. Шютте (*Schuette C.*) 1965. *Acta Astronomica, v. 15. N 1.*
13. Казимирчак-Полонская Е.И. 1971. Бюллетень Ин-та теор. астрономии АН СССР. Т. XII. № 9 (142).
14. Петров Г.И., Стулов В.П. 1975. "Космич. исслед.", т. 13, № 4.
15. *Moltschanov A.M. 1968. Icatius. V.8. 203-215.*
16. Томбо К. 1961. Сб. "Планеты и спутники". Пер. с англ. под ред. В.И. Мороза. М., 1963.