



Слънчевата система – една повредена система?*

Цветан Георгиев

Тогава по естествен начин изпъква максимата „При правилата най-интересни са изключенията“.

В тази статия се разглеждат отклонения от очакванията около произхода и еволюцията на Луната, спътни-

ковите системи и астероидните пояси, около разнообразието на ексцентрицитетите и наклоните на планетните орбити, както и около разнообразието на периодите на въртене и наклоните на осите на планетите. Наличните необикновени данни и факти могат да се разглеждат като свидетелства за множество катастрофални явления (колизии) в миналото на Слънчевата система.

В учебниците по астрономия отклоненията от порядъка в Слънчевата система се споменават бегло, защото иначе би се наложило да се включат допълнителни данни и факти, причините за които са винаги ясни, но коментарите са винаги обемисти. В тази статия се представят основните значителни отклонения от реда и хармони-

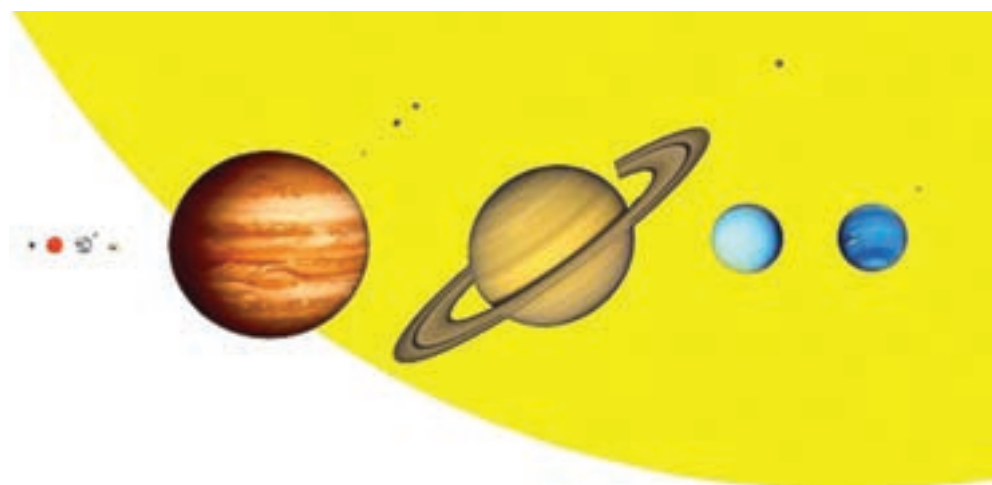
Величественият порядък в Слънчевата система, в противоположност на неспокойния хаос при хората, винаги е привличал вниманието на мислителите. Обаче при детайлно запознаване с особеностите на Слънчевата система се установяват множество нарушения на привидния порядък.

ята в Слънчевата система, които не могат да се обяснят в рамките само на плавна еволюция, дирижирана главно от силата на гравитацията. Фактически пред нас изпъква една повредена Слънчева система, деофор-

мена в съвременния си вид от катастрофи (колизии) в далечното минало. Например днес е ясно, че външният вид на повърхностите на планетите и техните спътници е следствие на ударите на скални обекти, каквито са метеорите и астероидите. Фактически кратерите на Луната, планетите и техните спътници са неми паметници на безброй такива удари.

По темата за повредите на Слънчевата система съществуват множество данни, хипотези и теории, отразени в обширна литература, но тук може да се представят накратко само най-основните извънредни факти и евентуалните техни интерпретации. Използвани са числени данни от Астрономическия календар на Института по астроно-

* Произходът и развитието на Слънчевата система е широко изследван въпрос от много години. Има хипотези, които се приемат от широк кръг астрономи и които се потвърждават от отделни факти. Трудно е да се състави цялостната картина на предполагаемите промени и състояние на Слънчевата система, в която се намираме, въпреки нейната близост и използването на съвременни научни методи. Затова е интересно да се представят факти и различни мнения, някои от които са спорни, предлагащи обяснения на въпроса как е възникнала и какви закони управляват нейното развитие и бъдеще. – Регколегията на сп. „Природа“



Осемте планети и техните големи спътници на фона на част от слънчевия диск. От ляво надясно: Меркурий, Венера, Земя (с Луна), Марс, Юпитер (с 4 големи спътника – Йо, Европа, Ганимед и Калисто), Сатурн (с огромен пръстен и 1 голям спътник – Титан) Уран и Нептун (с 1 голям спътник – Тритон)

мия с Национална астрономическа обсерватория, от справочници и от Интернет.

За начало следва да се отбележи, че хипотезата на Кант – Лаплас от края на XVIII в. за произхода на Слънчевата система от междוזвездна газово-прахова мъглявина е отдавна общоприета.

Според нея в началото, при отсъствие на силни външни въздействия, газово-праховата мъглявина се състява и свива. При това, в съответствие със закона за запазване на момента на импулс, скоростта на въртене нараства. Мъглявината се сплесква и постепенно се превръща във въртящ се диск. В центъра се формира протозвезда (младото Слънце), набираща материал от диска. Когато протозвездата стане достатъчно масивна и плътна, поради естествената радиоактивност и високото налягане температурата в центъра ѝ достига 14 млн. градуса и там започват термоядрени реакции. Тогава цялата протозвезда се нагрява отвътре навън и се превръща в звезда, обградена от прото-планетен диск. Температурата на повърхността на звездата достига хиляди градуса. Тя става мощен източник на електромагнитно лъчение и на звезден вятър (корпускулярно лъчение). По-нататък под действието на звездния вятър леките химически елементи, намиращи се в мъглявината близо до звездата, „мигри-

рат“ към периферията на протопланетния диск. Останалите близо до звездата тежки елементи се състяват първо като концентрични пръстени, а след това като планети с висока средна плътност. От изтласканите далече леки елементи се образуват големи планети с ниска средна плътност.

До средата на XX в. се е разглеждала сериозно и катастрофична хипотеза за произхода на планетите. Според нея Слънчевата система е „родена“ от Слънцето при близко преминаване на друга звезда, предизвикала откъсване от Слънцето на протопланетен облак. По-нататък, с течение на времето, протопланетният облак се е фрагментирал във вид на протопланети. Само че такова близко взаимодействие на две самотни звезди изглежда почти невероятно, т.е. Слънчевата система следва да се смята за уникална. В началото на XXI в. ситуацията е друга. От края на XX в. астрономите изучават в инфрачервени лъчи множество протопланетни мъглявини в различни еволюционни фази и сценарият по Кант – Лаплас се смята за несъмнен. Открити са вече над 300 екзопланети. А при Слънчевата система трудното обяснимите особености са много.

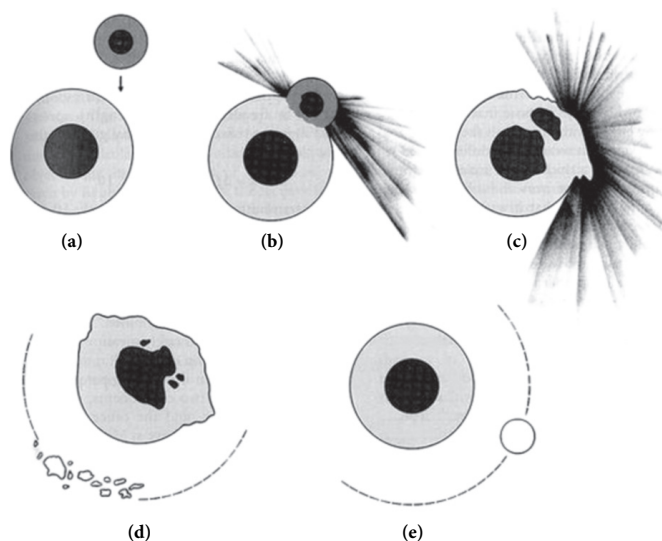
В Слънчевата система изпъква най-вече фактът, че има ясно изразена група вътрешни планети от земен тип (Меркурий, Венера, Земя, Марс) и група външни планети от

тип газови гиганти (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). За разлика от първите, вторите са доста далеч от Слънцето, въртят се бързо, имат ниска средна плътност, нямат твърди повърхности, имат много спътници и т.н. При това съществуват множество индивидуални особености в движенията, строежа и химическия състав на планетите и на техните спътници. В Слънчевата система има и други обекти, произходът и еволюцията на които заслужават специално внимание. Такива са планетите джуджета (по-малки от Луната твърди тела), астероидите (още по-малки твърди тела), метеорите в потоци (най-малки твърди тела), кометите, както и междупланетният прах и газ.

Да започнем с **Луната**. Двойката Луна – Земя има доста високо отношение на маси-

мална“ планета. Днес все повече се обсъжда катастрофична хипотеза за произхода на системите Земя – Луна и Плутон – Харон.

Съвременните данни показват, че Земята и планетите са се образували преди около 4,5 млрд. г. чрез акреция в рамките на пръстени от дисковидна газово-прахова мъглявина, останала след формирането на Слънцето. Постепенно към центъра на прото-Земята се „утаявали“ тежки химически елементи, а неграта се загорявали от високото налягане и от радиоактивния разпад на най-тежките химически елементи. Допълнителен фактор за загоряването били ударите или сливанията с други, много по-малки протопланетни тела. При това, повърхностният земен слой, контактувайки с космическия студ, изстинал



Пет етапа на предполагаем катастрофичен произход на Луната.

Илюстрация: <http://www.astro.virginia.edu/class/oconnell/astr121/guide13-s04.html>

те, около $1/81$, и може да се смята за двойна планета. В другите такива двойки Ганимед – Юпитер, Титан – Сатурн и Тритон – Нептун отношенията са много по-малки, съответно $1/12\,900$, $1/3600$ и $1/600$. Само при двойката Харон – Плутон това отношение е много по-високо – $1/10$, но Плутон, с твърда повърхност и крайно ниска средна плътност (2 г/см^3), не се смята за „нор-

и кристализирал като скална кора. Така са се образували твърдите повърхности и на другите достатъчно масивни планети. Това е и единственият известен фундаментален и глобален механизъм за първоначално образуване на скали с магмен произход (базалти и гранити), т.е. на твърди планетни повърхности. След това други скали са се образували и продължават да се образуват

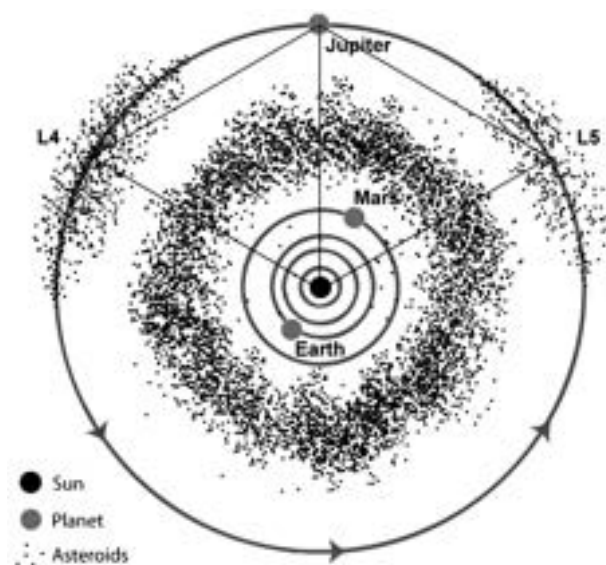
чрез други, локални механизми, известни в геологията.

Образуването на Луната и големите спътници на планетите в рамките на хипотезата на Кант – Лаплас са нерешени проблеми. Трудно е да се обясни как може да се локализира и превърне в голям спътник, фактически в малка планета, газово-праховата материя в непосредствена близост до прото-Земя или прото-Юпитер. Катастрофичната хипотеза като че ли въвежда такава възможност, поне за Луната. Един катастрофичен сценарий за образуването на системата Земя – Луна е изследван и публикуван от Алекс Холидей (А. Halliday). Според него Луната се е образувала в първия милиард години от съществуването на Земята в резултат на удар от планета, голяма колкото Марс, с тежко ядро като Марс и с маса около 10 % от земната маса, наречено Тайя.

Основните етапи на предполагаемата колизия са следните: (а) Тайя се приближава под ъгъл спрямо направлението към центъра на Земята; (б) Тайя разбива и пробива земната повърхност; (в) Обломки от Тайя и обломки от най-горната земна мантия се изстрелват в околното космическо пространство, а тежкото ядро на Тайя продължава пътя си, произвеждайки земната мантия; (д) Значителна част от земното кълбо е обезобразено и деформирано, ядрото на Тайя е погълнато от масивното земно ядро, а в околното пространство има материал за Луна (малка планета); (е) В края на колизията Земята, погълнала тежкото ядро на Тайя, е ускорила въртенето си до денонощен период около 5 часа и съществено е изменила наклона на оста си. От обломките чрез акреция се е образувала прото-Луна, обикаляща в началото по орбита с радиус около 60 000 км. По нататък дегазацията и вулканичната дейност създали първата земна атмосфера, а кондензацията на парата и леда от падащите комети образували океани. Поради гравитацията Луната добила кълбовидна форма със слоеста структура, забавила въртенето си и се отдалечила от Земята.

Сериозни свидетелства в полза на този сценарий са сходството на средните плътности на Луната – $3,35 \text{ г/см}^3$ и на най-горната част от земната мантия, около $3,5 \text{ г/см}^3$, ниската фракция на тежки елементи в скалните образци от лунната повърхност, доставени на Земята от космически мисии, както и сравнително малкото ядро на Луната.

В Слънчевата система особен интерес представлява **Главният астероиден пояс**. Според известното отпреди 250 г. правило на Тициус – Боде между Марс и Юпитер би трябвало да има още една планета. Обаче там, в широк пояс, обитават множество съвсем малки „планети“ и огромен брой скални отломъци, всички те наречени астероиди. Те образуват т.нар. Главен астерои-



Главният астероиден пояс между Марс и Юпитер и две други групи астероиди, обособени около т.нар. Лагранжеви точки L4 и L5 по орбитата на Юпитер. Илюстрация: <http://www.creationscience.com/online-book/Asteroids2.htm>

ден пояс, който се разглежда като резултат от необразувана планета или от разрушена планета.

С правилото на Тициус – Боде са свързани любопитни и романтични страници от

историята на астрономията, въпреки че днес оригиналният вид на това правило изглежда доста странен. Тази тема е много обширна и не може да бъде засегната и подходящо илюстрирана само накратко, но тя е представена широко в интернет. Следва да се изтъкне, че съвременната версия на правилото на Тициус – Боде е линейната зависимост между номера на планетата n и логаритъма на орбиталния ѝ период T или логаритъма на разстоянието ѝ до Слънцето D : $\log T = \log T_0 + \theta \times n$ или $\log D = \log D_0 + \delta \times n$. Тук T_0 , θ , D_0 и δ са константи, подлежащи на определяне чрез данните за T и D . Двете зависимости изглеждат равностойни, понеже според третия закон на Кеплер е изпълнено $T^2/D^3 = \text{const}$. Обаче в първата от тях може да се включи с номер 0 ротационният период на Слънцето, който, оказва се, подкрепя правилото.

Съвременната версия на правилото на Тициус – Боде не се удовлетворява от орбитата на Плутон. Това е очаквано, защото Плутон има силно елиптична орбита, наклонена към еклиптиката на 17° , т.е. той изглежда представител на група популация обекти. Малко известен е фактът, че правилото не се удовлетворява и от орбитата на Земята. Обичайният метод на най-малките квадрати, чрез който се определят оптималните номера на планетите, присвоява на Меркурий номер 1, на Венера и Земята един и същи номер – 2, на Марс – 3, на липсващата планета – 4 и т.н. При това, като че ли не Венера, а Земята е неуместна. Подробности дава например Стенли Дърмот (S. Dermott).

Днес правилото на Тициус – Боде се смята за принципно очаквано. По аналогия с дисковете на галактиките, в протопланетния облак плътността би трябвало да намалява експоненциално с разстоянието от центъра и експоненциално с разстоянието от равнината на диска. При тези обстоятелства се очаква радиусите в диска, благоприятни за образуване на планети, да нарастват с по-

стоянна стъпка в логаритмична скала. Това твърди например Питър Линч (P. Lynch).

В последното десетилетие правилото на Тициус – Боде се прилага за анализ на извънслънчеви планетни системи. Например неотдавна Тимоти Бовърд и Чарлз Лайнуивър (T. Bovaird, C. Lineweaver) са анализирали данните за 68 (!) извънслънчеви планетни системи с по най-малко 4 известни екзопланети във всяка от тях и са „предсказали“ възможното съществуване на още 141 планети в тези системи.

Най-големият астероид в Главния астероиден пояс, Церера, с диаметър около 950 km, е твърде малък и лек, за да се смята за планета. Днес той, заедно с Плутон, се отнася към изявения в началото на XXI в. клас обекти, наречени планети джуджета (плутоиди). Има още 3 астероида с размери над 400 km (Палада, Веста Хигия), които не се смятат дори за планети джуджета. Тези тела, включително и Церера, нямат достатъчно маса, за да са се оформили подобно на Земята по схемата „акреция на газ и прах – нагряване откъм недрата – кристализация на твърда повърхност“. Изследванията показват, че следва да има около 200 астероида с диаметър над 100 km и над 750 000 астероида с диаметър над 1 km. Все по-малките тела с размери до десетки метри са вероятно много милиони. (Някои от тези тела са потенциално опасни за живота на Земята.)

Отдавна съществува хипотеза, че астероидите са остатъци от разрушена планета, наречена Фаетон. Обаче допускането, че Фаетон е бил разрушен от гравитационното въздействие на Юпитер, се отхвърля решително от съвременните теоретични и компютърно-симулационни изследвания. Според друга хипотеза астероидите са продукти на фонтани от дълбоки и мощни изригвания от вече формирани планети. Тази хипотеза изглежда приемлива днес, но свидетелства за състояли се такива грандиозни изригвания не са известни. Остава възможността астеро-

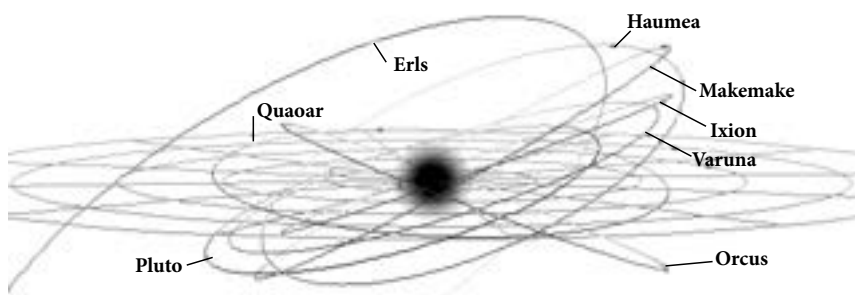
идите да са резултат от разбиването на планетата Фаетон от грузо, достатъчно голямо тяло.

В подкрепа на хипотезата за разбитата планета Фаетон свидетелства фактът, че част от големите астероиди имат високи средни плътности, т.е. те не са просто гигантски скални отломъци, придобили с времето къбковидна форма. Естествено е да се предположи, че някои астероиди могат да съдържат значителна фракция тежки химически елементи и следователно биха могли да бъдат остатъци от недра на планета. Например по съвременни данни астероидите Юфрозини (Euphrosyne) и Сайки (Psyche) имат средна плътност над 6 г/см³. За сравнение, плътността на желязото е 7,9 г/см³, на Земята и Меркурий е средно 5,5 г/см³, на желязо-каменните метеорити е около 4,5 г/см³, на тежките базалти е около 3,1 г/см³, а леките гранити е около 2,5 г/см³. От друга страна, част от големите астероиди имат типично ниска средна плътност, като Церера, малко под 2 г/см³. Те могат да се разглеждат като скални образувания, произхождащи от повърхността и горната мантия на разбитата планета, съдържащи значителна фракция лег.

Въпросът за общата маса на астероидите е кардинален. Най-често се отбелязва, че масата на Главния астероиден пояс е около 2000 пъти по-малка от земната и

около 25 пъти по-малка от лунната, значи не е достатъчна за планета. При това около 1/3 от астероидната маса се съдържа в Церера, около 1/6 – в следващите по големина 3 астероида и около 1/2 – във всички останали астероиди. На това може да се възрази, че е възможно значителна астероидна маса да е паднала върху планетите, а също и че е възможно дори големи спътници на планетите да са прихванати остатъци от разбитата планета. Затова според други данни общата маса на астероидите е съществено по-голяма, включително и близка до лунната, но проблемът не е окончателно решен.

Понякога се твърди, че астероидите са остатъци от веществото, от което се е образувала Слънчевата система. Обаче прякото образуване на скални тела с астероидни маси от междувъзвезден газ и прах е невъзможно. Освен това не изглежда възможно да съществуват астероиди или твърди остатъци от планети в протопланетното вещество, т.е. в междувъзвездните мъглявини. Все пак, ако такива се открият, катастрофичната хипотеза за произхода на астероидите в Слънчевата система може да бъде заменена от хипотеза за несъстояла се планета. Тогава пак следва да се разглежда катастрофична хипотеза за произхода на астероидите в междувъзвездната мъглявина.



Осем транс-нептунови планети джуджета, принадлежащи към Пояса на Койпър и обикалящи около Слънцето по силно ексцентрични и силно наклонени към еклиптиката орбити. Не са показани Ерида и Седна, чиито разстояния до Слънцето са доста по-големи. Илюстрация: www.lunarplanner.com



Проф. Цветан Георгиев, доктор на физическите науки, е астроном и преподавател по физически науки в Нов български университет. Работил е 20 г. в Националната астрономическа обсерватория на вр. Рожен, 4 г. в Специалната астрофизическа обсерватория в Северен Кавказ и 1,5 г. в германски астрономически институти. Научните му приноси са главно по строеж и еволюция на галактики.

Значителен интерес представляват и **транс-нептуновите планети джуджета**. Според представата за гравитационна еволюция в протопланетния облак би трябвало да се образуват само големи планети и евентуално големи спътници. Не е ясен произходът на откритите досега десетки транс-нептунови обекти, включително десетина планети джуджета, най-напред Плутон. Забележително е, че орбитите на всички тези тела имат различни големи ексцентрицитети и различни големи наклони към еклипиката.

Планетите джуджета и по-малки от тях тела в астероидния пояс, известен като Пояса на Койпър, са далечни и трудно откриваемы обекти. Възможно е и Поясът на Койпър да е резултат от разрушена планета. Например спътникът на Нептун, Тритон, има силно ексцентрична

орбита с голям наклон към екватора на Нептун и обратно движение. Тритон е седмият по маса спътник в Слънчевата система и единственият голям спътник с обратно движение. Той може да се смята за прихваната планета джудже от Пояса на Койпър.

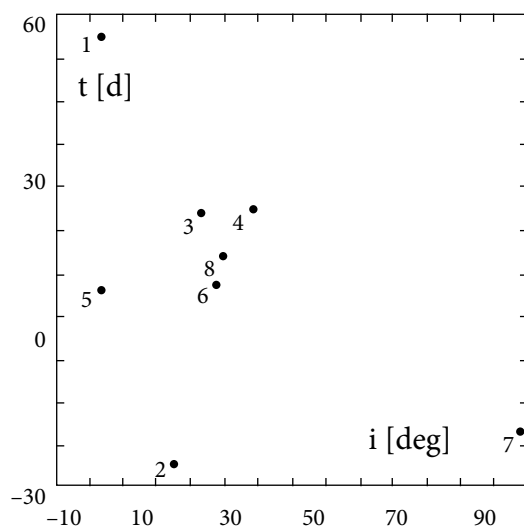
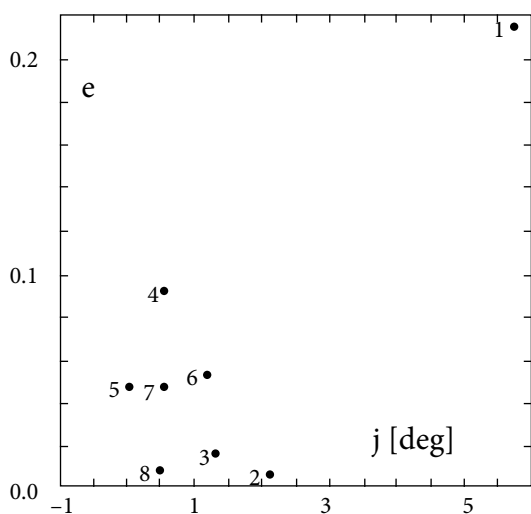
Ексцентричните и некомпланарни планетни орбити са друга интересна тема. Според представата за плавно образуване и еволюция на Слънчевата система орбитите на планетите и големите спътници на планетите би трябвало да бъдат почти кръгли и да лежат почти в една равнина. Също така осите на планетите би трябвало да са приблизително перпендикулярни на орбитите на планетите. Разбира се, планетите и спътниците взаимодействат гравитационно милиарди години и не може да се очаква такива изисквания да бъдат изпълнени с висока точност. Само че някои от наблюдаваните отклонения са впечатляващи.

Най-ексцентричните планетни орбити – на Меркурий и на Марс – имат отношения на малките към големите си оси съответно 0,76 и 0,89. Орбитите на другите планети са близки до окръжности. Наклоните на орбитите на планетите към еклипиката (т.е. към равнината на земната орбита) са неголеми и различни. Те са следните: за Меркурий – 7,0°, за Венера – 3,4°, за Марс – 1,8°, за Юпитер – 1,3°, за Сатурн – 2,5°, за Уран – 0,8° и за Нептун – 1,8°. При транс-нептуновите обекти наклоните са типично 20° – 50°. Наклонът на земната орбита към слънчевия екватор също не е малък: 7,2°.

Силно наклонените оси на въртене и случаите на обратното въртене са най-фрапиращите отклонения от реда в Слънчевата система. Очаквано е осите на планетите да са незначително наклонени към равнините на орбитите им, обаче, с изключение на Меркурий и Юпитер, те са силно наклонени. Ето ги всичките: Меркурий – 0°, Венера – 17°, Земя – 23°, Марс – 25°, Юпитер – 3°, Сатурн – 27°, Уран – 98° (!) и Нептун – 28°.

На следващите две диаграми са съпоставени основните астрономични параметри на планетите: наклон на орбитата спрямо еклиптиката i , ексцентрицитет на орбитата e , наклон на екватора на планетата спрямо орбитата на планетата j и период на въртене на планетата t . Първите два параметъра са орбитални, а вторите два – планетарни. Между тези двойки параметри

изменение на ексцентрицитета и наклона на орбитата на планетата, е огромна. Очевидно в началото на съществуването на Слънчевата система близките контакти и/или сливания на масивни тела са били достатъчно чести явления. Очевидно е също, че плавният ход на планетната еволюция е бил нарушаван многократно от катастрофични събития.



Две съпоставки на четири основни параметъра на планетите. Вляво: Наклон на орбитата към земната орбита i в градуси и ексцентрицитет на орбитата e . Вдясно: Наклон на екватора на планетата спрямо нейната орбита j в градуси и период на въртене на планетата t в часове. Планетите са номерирани обичайно: 1 – Меркурий, 2 – Венера, 3 – Земя, 4 – Марс, 5 – Юпитер, 6 – Сатурн, 7 – Уран и 8 – Нептун

три не се наблюдават корелации, следователно различията са предизвикани от случайни колизии.

Очаквано е и всички планети да се въртят в посоката на обикаляне около Слънцето, т.е. в директна посока при поглед откъм северния полюс на Слънцето или Слънчевата система. Обаче ротационните периоди на Венера и Уран са по-големи от техните орбитални периоди, т.е. гледани от Слънцето, Венера и Уран се въртят обратно!

Ясно е, че енергията, необходима за изменение на наклона на оста и скоростта на въртене на планетата, още повече за

В заключение следва да се отбележи, че дотук бяха изброени само особености на планетите от Слънчевата система, които силно противоречат на представата за плавна гравитационна еволюция. Други проблеми, както и многобройни особености на спътниковите системи на планетите, биха могли да бъдат добавени.

В тази статия са имани предвид четири интересни научни публикации. Те могат да бъдат намерени лесно чрез имената на авторите на сайта на SAO/NASA Astrophysics Data System Abstract Service, на адрес http://adsabs.harvard.edu/ads_abstracts.html. ■