1951 г. Май *Т. XLIV, вып. 1*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ МЕТЕОРИТ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОБЛЕМЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В. Г. Фесенков

12 февраля 1947 г. произошло падение огромного железного дождя в приморской тайге, примерно на расстоянии 150 *км* от ближайшей железнодорожной станции Иман, посредине расстояния между Владивостоком и Хабаровском. Это необычайное явление было исследовано экспедицией Академии наук СССР, выехавшей уже в следующем месяце, немедленно после получения известия о падении. Были опрошены многочисленные свидетели в нескольких десятках населённых пунктов, бывшие непосредственными очевидцами полёта метеорита в атмосфере, и установлено с полной определённостью положение его радианта, т. е. направление движения в пространстве при встрече с Землёй, и соответствующий момент времени.

На самом месте падения в отрогах Сихотэ-Алинского хребта среди густой приморской тайги было найдено свыше ста кратеров разных размеров, образованных ударами метеоритных масс о скальные породы, сложенные в большинстве из наклонных пластов серых порфиров, и обнаружены многочисленные следы, характеризующие динамику явления.

Хотя крупные массы, образовавшие при своём падении кратеры, явным образом падали на несколько секунд ранее и, следовательно, обладали в момент падения большей скоростью, чем мелкие индивидуальные метеориты, засыпавшие железным дождём площадь в несколько квадратных километров, тем не менее направление их движения при ударе о земную поверхность было приблизительно одинаковым — все массы падали с севера почти точно в меридиане под углом к горизонту в 60°.

Для определения орбиты метеорита в пространстве необходимо знать, кроме положения точки радианта, ещё скорость его встречи с Землёй. Эта скорость не может быть, однако, определена с достаточной точностью из свидетельских показаний очевидцев и должна быть поэтому найдена косвенными, но достаточно надёжными методами.

Скорость движения метеорита в атмосфере связана с общим искривлением его траектории между точкой появления, когда это тело только что появилось в виде раскалённого шара ослепительной яркости, и точкой падения на поверхность Земли. Наблюдения показывают, что это искривление достигало примерно 30°. Однако картина очень усложняется тем обстоятельством, что метеорит интенсивно кипел в атмосфере, оставив большую часть своей массы в виде газов и тонкой пыли и, в конечном счёте, раздробился на множество крупных и мелких осколков, упавших на почву. Определение скорости метеорита в пространстве, а следовательно, и элементов его орбиты, зависит ещё от знания его первоначальной массы и, в гораздо большей степени, от знания отношения начальной массы к конечной, которая при падении произвела все обнаруженные разрушения в тайге и может быть непосредственно исследована.

Для разрешения последней задачи нужно было воспользоваться результатами всех исследований, произведённых с 1947 г. до последнего времени. После упомянутой выше первой экспедиции, носившей общий разведывательный характер, последовали другие экспедиции, организованные Комитетом по метеоритам АН СССР при содействии различных организаций и учреждений. Эти экспедиции располагали всевозможными современными средствами исследования, разнообразной техникой, достаточной подсобной рабочей силой, снаряжались ежегодно и продолжались каждая в течение ряда месяцев.

Была произведена подробная аэрофотосъёмка места падения, топографическая съёмка, заснято несколько кинофильмов, в том числе также и с воздуха, прочёсан при помощи миноискателей весь район падения железных масс, произведены магнитные изыскания внутри и вне кратеров, и, кроме того, раскопаны вплоть до нетронутых скальных пород несколько десятков кратеров малых и средних размеров. Подобный размах работ оказался возможным только благодаря большому содействию со стороны различных организаций.

Наиболее характерные кратеры оставлены нетронутыми и вокруг них воздвигнуты защитные павильоны-беседки, с целью сохранения на будущие времена этого редкого явления природы.

Первые три экспедиции 1947—1949 гг. собрали и доставили в Москву около 26 тонн метеоритного материала. Итоги работ последней экспедиции 1950 г. ещё не подведены полностью, но и ею также собрано одиннадцать тонн метеоритного вещества.

Можно полагать, что индивидуальные метеориты, получившие кору ожога уже в воздухе и выделяющиеся своим фиолетовым оттенком, собраны почти полностью, хотя они покрывали наибольшую площадь в несколько квадратных километров. Гораздо сложнее дело обстоит с метеоритами, образовавшими кратеры,

так как подобные метеориты полностью дробились при ударе о скальные породы. Большие метеоритные глыбы, лишь частично раздробившиеся, были найдены только в малых кратерах и воронках. Наибольшая подобная глыба в две тонны обнаружена в небольшой воронке, расположенной в северной части кратерного поля с мягким грунтом. Метеоритная глыба пробила поверхностные слои и застряла на глубине 4 метров. Для фиксирования её извлечения и транспортировки командирован специальный кинооператор.

В больших кратерах метеоритное вещество оказалось раздробленным на множество частей, начиная от обломков в несколько сот килограммов и вплоть до мельчайших чешуек, насыщавших почву. Вследствие этого в наиболее крупных кратерах не оказалось значительных масс метеоритного вещества. Железные частицы, изобиловавшие в почве (их можно было извлекать магнитом), за прошедшие с момента падения несколько лет почти полностью окислились и фактически исчезли. Это значительно затрудняет оценку общей метеоритной массы, упавшей на Землю, тем более, что самые крупные кратеры ещё не раскопаны полностью. Однако профили этих кратеров и отложения насыпного материала за их пределами измерены нашими экспедициями. В ряде случаев по отметкам на сохранившихся стволах деревьев можно было судить об угле, под которым происходил выброс материала из кратеров, и на основании этого оценить энергию, затраченную на их образование. Кроме того, можно также определить примерную массу метеорита, пошедшую на образование кратера, поскольку скорость падения метеоритных масс не могла превышать 400—500 метров в секунду, но едва ли была меньше этой величины. Так, например, согласно подобным расчётам, самый большой кратер № 1 диаметром в 28 метров, из которого за несколько мгновений было выброшено во все стороны около 5000 тонн глины и скальных пород, должен был образоваться при падении в него примерно 20—30 тонн метеоритного вещества. Учитывая общую энергию, затраченную при образовании кратерного поля в целом, весь фактически собранный метеоритный материал, результаты раскопок нескольких десятков кратеров малых, средних, а частично и крупных размеров, можно считать, что общая масса метеорита, фактически упавшая на Землю, составляла около 100—150 тонн.

Тем не менее эта масса, несомненно, составляла только небольшую часть первоначального метеоритного тела, встретившегося с Землёй 12 февраля 1947 г. Уже простой осмотр отдельных индивидуальных метеоритов, отколовшихся от основной массы на сравнительно небольшой высоте над поверхностью Земли, показывает глубокие проплавления, обусловленные завихрениями воздуха перед пролетающими массами, которые выявляют в ряде

случаев внутренние структурные особенности. Это свидетельствует о том, что даже на последнем участке траектории метеорита происходила значительная потеря его массы.

Из наблюдений многих очевидцев можно было установить объём дымового следа, оставшегося после метеорита, который держался в воздухе несколько часов и был настолько плотен, что Солнце через него или совсем не просвечивало или же представлялось в виде красного диска незначительной яркости. Общая масса мелких частиц железа, образовавших этот след, должна составлять, как показывают наши расчёты, по крайней мере 200 тонн. Кроме того, значительное количество вещества в полурасплавленном состоянии было сдуто с поверхности летящих масс в виде капелек более крупных размеров, как это показывают исследования Е. Л. Кринова. Однако наибольшая потеря массы происходила в более высоких слоях атмосферы вследствие большей скорости движения метеорита и, соответственно, большей работы силы сопротивления. Укажем, что линейные размеры головы Сихотэ-Алинского болида достигали 600 метров, а эффективная температура этой головы, состоящей из метеоритных масс, перемешанных с газами, была порядка 6000° (голова летящего болида по цвету не отличалась от Солнца и большинством очевидцев сравнивалась с цветом электросварки). Принимая это во внимание, можно рассчитать, что при продолжительности полёта даже в несколько секунд первоначальная масса метеорита должна была составить несколько тысяч тонн при всех возможных предположениях относительно скорости его встречи с Землёй. Во всяком случае все эти оценки показывают, что на земную поверхность должна была упасть лишь небольшая доля первоначальной массы в пределах от 5 до 20%.

Окончательное определение первоначальной массы метеорита производилось нами последовательными приближениями совместно с определением начальной скорости встречи его с Землёй. Для этого нужно было построить общую теорию движения космических тел в земной атмосфере со сверхзвуковой скоростью, когда влетевшее космическое тело испытывает огромное сопротивление своему движению, раскаляется, оплавляется на поверхности и непрерывно расходует свою массу. Кроме того, нужно было связать эту теорию с общими явлениями движения в атмосфере метеорных тел уже достаточно изученных.

Оказалось, что действительно в атмосферу влетело несколько тысяч тонн, из которых около 10% смогло достигнуть земной поверхности под указанным выше углом. Скорость встречи с Землёй оказалась вполне определённой, именно, заключённой в пределах 14—15 *км/сек*. Найдя скорость метеорита в момент встречи с Землёй, можно было перейти к определению его орбиты в пространстве.

Как известно, всякая орбита—её размеры, форма, положение её плоскости, ориентировка самой орбиты в её плоскости и положение тела на орбите—определяется 6 параметрами, так называемыми элементами орбиты. Для нахождения этих элементов, являющихся неизвестными величинами, требуется знание шести независимых исходных данных, а именно: 1) положения метеорита в данный момент в пространстве, определяемого тремя координатами, 2) направления его движения, определяемого двумя углами—координатами радианта, и 3) величины самой скорости движения. Положение метеорита в пространстве в момент столкновения с Землёй есть просто положение самой Земли в этот момент и, следовательно, хорошо известно, если только определён самый момент столкновения, как нам это удалось сделать. Направление метеорита, т. е. положение той точки на небесном своде, из которой он вылетел,—точки радиации—довольно хорошо было определено путём показаний во многих населённых пунктах многочисленных очевидцев, и это доставляет ещё два независимых параметра. Скорость встречи метеорита с Землёй представляет последний необходимый параметр, но находится с наибольшими трудностями. Вследствие этого нами были сделаны сначала различные пробные определения орбиты в различных предположениях относительно его скорости. При этом естественно получаются различные размеры и ориентировки орбиты. Тем не менее, при всех возможных предполагаемых скоростях оказывалось, что метеорит встретился с Землёй около момента прохождения им через перигелий, т. е. около точки своей орбиты, наиболее близкой к Солнцу.

Таким образом, даже не зная скорости, можно вывести то несомненное заключение, что метеорит никогда не приближался к Солнцу сколько-нибудь значительно ближе Земли и потому не мог подвергаться каким-либо нагреваниям, которые могли бы влиять на его структуру. Очень возможно, поэтому, что его структура является первичной и отражает самые условия его образования.

Зная скорость, можно немедленно определить орбиту обычными методами теоретической астрономии. Оказалось, что плоскость орбиты Сихотэ-Алинского метеорита составляла с плоскостью земной орбиты угол только в 9°,4, а большая полуось его орбиты только в 2 раза превышала радиус орбиты Земли. Если нанести орбиту метеорита в масштабе ближайших планет солнечной системы, то ясно видим, что он исходил из зоны астероидов—пояса малых планет, во множестве обращающихся между орбитами Марса и Юпитера. Таково, следовательно, место в солнечной системе, откуда вышел этот метеорит—это пояс астероидов. По существу это тело представляло собой типичный маленький астероид и могло бы наблюдаться как отдельное приближающееся к Земле тело ещё на расстоянии лунной орбиты.

В последние годы с развитием средств наблюдения открывается всё большее количество очень мелких тел—настоящих астероидов, проходящих почти в непосредственном соседстве с земной орбитой и могущих, следовательно, также столкнуться с Землёй. Некоторые из них имеют ещё меньшие орбиты, проникающие ещё более далеко в глубь орбит планет, ближайших к Солнцу, чем Сихотэ-Алинский метеорит. Так, например, в 1949 г. был открыт астероид, получивший провизорное обозначение МА 1949, а затем окончательно названный Икаром. Этот астероид приближается к Солнцу на наименьшее расстояние в 34 миллиона *км*, т. е. значительно ближе Меркурия и в пять раз ближе Земли, и каждый раз накаливается при этом до температуры красного каления, примерно до 700° абс.

Количество известных подобных мелких астероидов, близко подходящих к земной орбите, увеличивается с каждым годом. Итак, Сихотэ-Алинский метеорит есть по существу первый астероид, который можно непосредственно исследовать в наших лабораториях. Как уже указывалось, нет основания считать, что его вещество подвергалось перекристаллизации в междупланетном пространстве под действием солнечного нагревания.

Каковы же результаты его лабораторного исследования?

За истекшие годы Сихотэ-Алинский метеорит подвергался разностороннему исследованию. Академик Заварицкий, член-корр. АН СССР Виноградов, ст. научный сотрудник Института геохимии Трофимов, член-корр. АН Украинской ССР Бурксер, учёный секретарь КМЕТ Кринов, ст. научный сотрудник Института астрономии и физики АН Казахской ССР Явнель и другие исследовали его химический состав, строение, возраст (по гелиевому методу), соотношения изотопов железа, изменения во время полёта в атмосфере и другие особенности. Так, например, показано, что железо представлено в этом метеорите такими же изотопами и в том же соотношении, как и на Земле, что метеоритные массы состоят не из монокристалла, как это было в случае Бугославки (метеорит 1916 г., также упавший на Дальнем Востоке), а из множества отдельных кристаллов железо-никеля, неправильно ориентированных один по отношению к другому и потому плохо связанных между собой. Кроме того, в состав метеорита входят многочисленные инородные включения—соединения железо-никеля с фосфором и серой—шрейберзит и троилит, которые ещё более способствуют хрупкости метеоритного вещества. Поэтому достаточно сильного удара метеоритной массы при падении, чтобы эта масса разлеталась на мелкие части, унося с собой по всем направлениям земные породы. Этим обусловлено большое разрушительное действие метеорита и способность его образовывать кратеры. Интересно, кроме того, что шлифы метеорита показывают неумановские линии, пересекающиеся под прямым углом, так что ми-

кроструктура метеорита является гексагональной: плоскости кристаллизации пересекаются под прямыми углами. С другой стороны, макроструктура его оказывается октаэдрической—восьмигранной. Это наглядно видно на ряде образцов, показывающих расположение балок, пересекающихся под углами в 60°.

Интересно, что все образцы этого метеорита, принадлежащие к гораздо большей первоначальной массе, имеют тот же самый состав и строение. Какой бы кусок метеорита ни взять, в него входит 94% железа, 5,4% никеля, 0,16% кобальта и ничтожные примеси других элементов в той же самой пропорции в пределах погрешностей определения.

Ст. научный сотрудник Института астрономии и физики АН Казахской ССР А. А. Явнель исследовал также содержание в Сихотэ-Алинском метеорите ряда примесей благородных металлов—рутения, родия, палладия, серебра, платины, золота. Это содержание, составляющее несколько граммов на тонну, немного варьирует в различных метеоритах, падавших в разных местах и в разное время, но во всех исследованных Явнелем образцах Сихотэ-Алинского метеорита оказывается одним и тем же. Это обстоятельство чрезвычайно показательно. Равномерность структуры, химического состава, постоянство примесей показывает, что этот метеорит должен был образоваться путём кристаллизации внутри достаточно большой расплавленной массы, в которой была возможна миграция самых различных элементов и соединения их применительно к их атомному сродству. Подобное обогащение одних элементов другими наблюдается во многих земных рудах, хорошо известно геохимикам и объясняется, как указывал Гольдшмидт и другие, теми же причинами.

Таким образом, Сихотэ-Алинское падение наглядно подтверждает мнение, высказанное уже несколько лет назад академиком Заварицким, нашим наиболее крупным авторитетом по вопросу структуры метеоритов, о том, что метеориты могли образоваться внутри достаточно крупного тела, быть может, планетных размеров и при высокой температуре. На то же указывает исследование Явнеля, который наблюдал диффузию фосфидов и по её степени сделал заключение о температуре, при которой она могла иметь место.

Сихотэ-Алинский метеорит есть также типичный представитель метеоритов вообще, отличаясь от них только своими огромными размерами. Можно полагать поэтому, что и другие метеориты родственны астероидам и имели с ними одинаковое происхождение. Давно предполагается, что средний состав метеоритов очень близко соответствует среднему составу Земли и вообще планете земного типа, такой, как Венера, Марс, Меркурий. Железные метеориты, вроде Сихотэ-Алинского, соответствуют чисто железному составу предполагаемого земного ядра, железо-каменные—

промежуточным слоям земного шара и чисто каменные—слоям более наружным. Наконец, редкие метеориты, вроде Мигей или углистого метеорита Старое Борискино со значительным содержанием воды в связанном состоянии, соответствуют, согласно академику Заварицкому, коре родоначальной планеты.

Остановимся в кратких чертах на характерных свойствах астероидов.

На первое января 1950 г. этих тел с определёнными орбитами было известно в общей сложности 1565. Более массивные и яркие астероиды уже открыты полностью. Это видно из того, что все вновь открываемые тела этого рода очень слабы и доступны только крупным инструментам. При этом вновь открываемые астероиды почти не увеличивают общую массу этих тел, которая, как можно считать, не превышает $^1/_{700}$ массы Земли. Все астероиды лишены всяких атмосфер—они слишком малы для этого, но в тех случаях, когда можно судить об их диаметрах, имеют совершенно различную отражательную способность. Можно считать поэтому, что они подобно метеоритам также имеют различный состав.

Далее, можно считать установленным, что мелкие астероиды не имеют круглой формы и представляют просто неправильные обломки. Вследствие этого, как правило, мелкие астероиды меняют свой блеск, иногда очень заметным образом, именно на несколько звёздных величин. В некоторых случаях можно непосредственно видеть неправильную форму этих тел. Так, например, известный астероид Эрос, очень близко подходящий к Земле и служащий вследствие этого для определения линейного масштаба всей солнечной системы, оказывается, имеет вид неправильного бруска: его длина в 10—12 *км*, по крайней мере вдвое превышает ширину. Совсем мелкие астероиды тем более представляют собой просто неправильные обломки. Далее установлено, что эти тела хотя и подвергались в течение сотен миллионов или даже миллиардов лет возмущающему действию планет солнечной системы, тем не менее до сих пор сохранили следы какой-то взаимной связи. Уже Ньюкомб в конце 19 столетия открыл интересные зависимости в расположении в пространстве больших осей их орбит и эти зависимости в настоящее время при гораздо большем материале не только не сгладились, но, напротив, выступили ещё с большей определённостью. Хираяма и затем Н. М. Штауде показали, что около 20% астероидов объединяются по свойствам их орбит в определённые семейства. Существуют, кроме того, очень тесные группы астероидов, объединённые общими свойствами. Так, например, имеется замечательная группа так называемых троянцев—астероидов, которые одновременно являются спутниками Солнца и вместе с тем Юпитера. Это осуществляется благодаря тому, что они всегда располагаются на одинаковом

расстоянии от обоих тел, именно в вершинах равносторонних треугольников, образованных с Солнцем и Юпитером. Представляется очевидным, что астероиды не могли образоваться каждый в отдельности. Все их свойства указывают на то, что они образовались путём распада на части гораздо более крупного тела.

Таким образом, на примере астероидов, метеоритов и в особенности наглядно на примере Сихотэ-Алинского метеорита видно, что в солнечной системе когда-то имело место, казалось бы, невероятное событие—распад на части планеты, существовавшей ранее. Сихотэ-Алинский метеорит наглядно показывает, что он исходит из области астероидального кольца, так что здесь и нужно искать загадочную планету. Нужно думать, что сами астероиды произошли путём распада подобной планеты и представляют только более крупные осколки её по сравнению с метеоритами.

Прежде чем мы остановимся на этой проблеме, укажем, что в солнечной системе существуют ещё и другие мелкие тела с ничтожно малой массой, происхождение которых до последнего времени по существу оставалось без всякого разъяснения. Что такое, например, кометы? Мы знаем, что массы их ничтожно малы, но насыщены газами. Эти газы в результате солнечного нагревания освобождаются при каждом приближении кометы к Солнцу. Поэтому каждая комета может существовать как таковая лишь ограниченное число своих обращений вокруг Солнца. Все кометы поэтому могут считаться молодыми телами. Вместе с тем они принадлежат к солнечной системе и не являются к нам из межзвёздного пространства. Откуда же они берутся? С. К. Всехсвятский уже около 25 лет защищает гипотезу о том, что кометы суть продукты извержения из больших планет—Юпитера и Сатурна или даже из их крупных спутников. Всехсвятский не смущается тем, что скорость выброса с поверхности Юпитера должна по крайней мере равняться 60 *км/сек* и что плотная атмосфера планеты толщиной в несколько тысяч километров должна оказывать подобному выбросу сильное сопротивление. Помимо чисто физической невероятности таких гигантских извержений в миллионы тонн, против этой гипотезы можно привести ещё то возражение, что при подобных выбросах, ориентированных произвольно по отношению к поверхности планеты, не получается ничего подобного действительным орбитам непериодических комет. Настоящие типичные кометы движутся по чрезвычайно вытянутым орбитам с периодом обращения в десятки и сотни тысяч лет. Так называемые короткопериодические кометы, с короткими периодами обращения, всегда входят в состав планетных семейств, причём свойства их орбит хорошо объясняются в предположении, что они были захвачены посредством больших возмущений со стороны крупных планет. Между тем выброшенные продукты извержений

должны в подавляющем числе случаев двигаться по чрезвычайно коротким орбитам и это находится в резком противоречии с действительностью. Совершенно подобное же возражение можно сделать и против гипотезы С. В. Орлова, согласно которой кометы возникают как результат происходящего в настоящее время дробления астероидов при столкновении их с метеоритами. Далее, неизвестно происхождение так называемых нерегулярных спутников больших планет, которые не находят себе объяснения ни в какой космогонической гипотезе. Эти нерегулярные спутники очень мелки, расположены обычно далеко от планеты и притом крайне беспорядочно и имеют как прямое, так и обратное обращения.

Между тем солнечная система в целом отличается большой регулярностью своих движений.

Выше уже упоминалось о существовании «троянцев», которые в количестве 14 тел образуют с Юпитером и Солнцем равносторонние треугольники. В настоящее время положение их вполне устойчиво и они не могут его покинуть. Но как они могли в него попасть?

Можно показать, что предположение об указанном выше необычайном событии—распаде планеты, обращавшейся ранее между орбитами Марса и Юпитера, даёт объяснение не только происхождению астероидов и метеоритов, но также и кометам и нерегулярным спутникам больших планет.

Итак, предположим, что ранее существовала планета, которая взорвалась и что её обломки разлетелись без всякого порядка в разные стороны. Естественно, что наиболее крупные осколки должны были получить соответственно меньшую скорость и целиком остаться в пределах пояса астероидов. Это современные более или менее крупные астероиды. Мелкие астероиды должны были распространиться на значительно большее пространство в солнечной системе.

Все эти астероиды движутся в прямом направлении. Неизвестно ни одного астероида с обратным движением. Это показывает, что сила происшедшего взрыва не была очень велика. Даже самые малые осколки, не говоря уже о более крупных, получали скорость гораздо меньшую, чем скорость самой планеты по её орбите, т. е. порядка 5—7 *км/сек*. Это только незначительно превышает скорость современных снарядов. Если самые мелкие осколки, которые двигались всего быстрее, получили бы скорость всего только порядка 40% орбитальной скорости самой планеты, которая составляла 15—17 *км/сек*, то они могли выйти за пределы солнечной системы на огромное расстояние, например, в десятки тысяч астрономических единиц.

На подобных огромных расстояниях уже сказывается возмущение со стороны ближайших звёзд. Солнечную систему, строго

говоря, нельзя считать изолированной в пространстве, напротив того, она находится в различном взаимодействии с окружающей вселенной. Очень слабые боковые силы возмущения, происходящие от ближайших звёзд, уже достаточны для того, чтобы несколько отклонить выброшенный астероид от радиального направления на Солнце и заставить его, при возвращении к Солнцу, обогнуть последнее на значительно большем расстоянии.

Детальный анализ, проведённый нами, показывает, что вековые возмущения со стороны ближайших звёзд в гораздо большей степени влияют на параметр почти параболической орбиты, чем на её большую ось. Вследствие этого орбита подобного мелкого осколка, выброшенного на большое расстояние, будет оставаться в пределах того же комплекса подобных тел, но, в зависимости от характера возмущений, будет то входить, то выходить из области видимости, ограниченной ближайшими окрестностями Солнца радиусом в 2—3 астрономические единицы.

Вхождение в эту область видимости, где астероидальное тело, испытывая нагревание от Солнца, выделяет окклюдированные в нём газы, воспринимается нами как появление новой кометы. Ясно, что подобные кометы могут приходить к нам как по прямому, так и по обратному направлению. Массы их можно предсказать в согласии с действительностью на основании наблюдаемой дисперсии в распределении астероидов известных размеров.

Гораздо труднее разобраться в проблеме происхождения троянцев и нерегулярных спутников больших планет, в том числе спутников Марса, которые всегда являлись камнем преткновения во всякой космогонической гипотезе. Можно, однако, повидимому, доказать, что при некоторых условиях астероиды, разлетевшиеся в результате взрыва планеты по всему пространству солнечной системы, могли быть уловлены планетами и образовать систему неправильных спутников, резко отличающихся от обычных регулярных спутников, повидимому, органически связанных с планетами. Задача эта более сложна и требует ещё введения дополнительного фактора — сопротивляющейся среды. В данный момент можно утверждать, что происхождение троянцев и тем более нерегулярных спутников больших планет можно качественно объяснить тем, что это мелкие астероиды, захваченные планетой, около которой они проходили при действии сопротивляющейся среды. Детальная теория этого явления должна быть ещё уточнена.

Если подобная картина правильна, если действительно метеориты и астероиды образовались при одном и том же акте—взрыве некоторой планеты, то возраст всех этих тел должен быть одинаковым. Под возрастом метеоритов следует понимать интервал времени, протекший с момента их отвердения, когда входящие в их состав элементы лишаются возможности свободно перемещаться

и в каждом образце метеорита совместно сохраняются начальные и конечные продукты радиоактивного распада, соотношение между которыми правильно меняется с течением времени. До сих пор возраст метеоритов определялся исключительно гелиевым методом.

Однако гелий в каменных метеоритах вообще не сохраняется и даже в железных может уходить в пространство, в особенности при повышении температуры и при большой пористости, которая обычно свойственна метеоритам. При этом получается их видимое «омоложение». С другой стороны, космические лучи, облучая метеорит в межпланетном пространстве, обусловливают выделение дополнительных количеств гелия при разрушении ядер различных элементов и тем самым приводят к очень повышенным оценкам их возраста. В результате применение гелиевого метода приводит к огромной дисперсии в оценках возраста в пределах от нескольких десятков миллионов до 8—10 миллиардов лет. Вследствие этого гелиевый метод должен быть отброшен, как принципиально неправильный.

В последнее время в Радиевом институте АН СССР Э. К. Герлинг произвёл определение возраста двух метеоритов, предоставленных для этой цели Метеоритным комитетом АН СССР, именно Саратов и Жовтиевый Хутор, по совершенно новому аргоновому методу. Как известно, один из изотопов калия, именно K_{40}, теряя электрон, переходит в аргон. Найдя количество аргона в каменных метеоритах по отношению к этому изотопу калия, можно тем самым определить их соответствующий возраст. Огромное преимущество этого метода заключается в том, что аргон, обладая гораздо большими молекулярными размерами, хорошо сохраняется в метеоритах, не диффундируя в пространство. С другой стороны, его количество не меняется под действием космических лучей.

Для обоих метеоритов найдено в пределах точности определений одно и то же значение для их возраста, именно 3,0 миллиарда лет. Если это будет подтверждено и для других образцов, то с большой вероятностью можно будет утверждать, что все метеориты имеют одинаковый возраст, соответствующий эпохе распада гипотетической планеты.

В заключение следует попытаться ответить на вопрос, каким же образом могло произойти это необычайное событие — распад на части планеты, ранее обращавшейся между орбитами Марса и Юпитера? Замечу, что это событие кажется нам невероятным только потому, что мы не представляем себе физических свойств Земли или же ошибочно считаем, что Земля, как и всякая другая планета достаточно большой массы, не отличается по своим свойствам от обычной глыбы вещества, с какой мы привыкли иметь дело у земной поверхности.

Это совершенно неправильно. Земля в целом состоит, конечно, из тех же химических элементов, которые имеются вообще во вселенной и встречаются в том или ином количестве в земной коре, но, благодаря большой массе и связанному с этим огромному давлению, внутри Земли возникают новые физические свойства. В данном случае мы видим новый пример того, как количество переходит в качество. Солнце также состоит из таких же элементов, среди которых преобладает водород. Однако вследствие того, что солнечная масса совсем другого порядка, чем сама масса Земли, Солнце также отличается новыми свойствами, прежде всего, способностью самопроизвольно поддерживать атомные реакции.

Таким образом, было бы неосновательно утверждать, что планеты ни при каких обстоятельствах не могут распасться со взрывом. Нужно сначала ближе исследовать свойства их внутренних слоёв.

Несомненно, что все химические реакции при очень больших давлениях в сотни тысяч и миллионы килограммов на $см^2$ происходят преимущественно в направлении уменьшения объёма. Именно потому внутри Земли могут встречаться металлы, неизвестные в чистом виде на земной поверхности. При уменьшении давления реакции должны пойти в обратном порядке. Известно, кроме того, что теплоёмкость в высокой степени увеличивается с давлением. При уменьшении давления теплоёмкость любого тела резко уменьшается, а это означает, что температура его должна сразу сильно возрасти. Увеличение температуры приводит к образованию в центре планеты перегретых газов и, быть может, ко взрыву.

Для того чтобы давление внутри планеты могло бы понизиться, достаточно, чтобы она приблизилась к другому возмущающему телу, например, планете, в данном случае к Юпитеру, на некоторое расстояние, на котором могла бы уже сказаться разность притяжений со стороны последнего на различные слои планеты. Никакого прямого столкновения нет надобности предполагать. Сближение планеты с Юпитером может произойти на минимальном расстоянии во много радиусов последнего. Тем не менее это может оказаться достаточным для того, чтобы произошло некоторое перераспределение давлений внутри планеты, уменьшение давления в её центре и, как следствие, резкое увеличение её центральной температуры и взрыв. Несмотря на то, что эти соображения носят чисто качественный характер, не подлежит сомнению, что распад планеты подобным путём вполне возможен. Всё дело только в том, на какое наименьшее расстояние происходит сближение планеты с Юпитером.

Для осуществления подобного сближения нужно, чтобы планета двигалась вокруг Солнца по эксцентрической орбите. Близости сближения могло способствовать также то обстоятельство,

что в отдалённом прошлом, именно несколько миллиардов лет назад, размеры солнечной системы были в несколько раз меньшими, чем в настоящее время. В настоящее время подобные тесные сближения обычных планет невозможны. Обратим, однако, внимание на то, что даже Марс, сравнительно массивная планета, движется по довольно эксцентрической орбите ($e = 0{,}0933$), вследствие чего расстояние его от Земли может меняться от 54 до 102 миллионов километров. Орбита Меркурия ещё более эксцентрична и даже на простой взгляд резко отличается от окружности. Всего более эксцентрична орбита наиболее отдалённой от Солнца планеты — Плутона, который способен приближаться к Солнцу даже ближе, чем соседняя с ним массивная планета Нептун. Эти планеты не сталкиваются между собой только потому, что движутся в разных плоскостях в пространстве. Если бы, однако, плоскости движения Плутона и Нептуна примерно совпадали бы между собой, то сближение обеих планет на малое расстояние и даже прямое столкновение их было бы возможным, со всеми вытекающими отсюда разрушительными последствиями.

Мы не знаем, где в точности была расположена и что из себя представляла орбита исчезнувшей планеты. Очевидно, однако, что эта планета находилась в наиболее опасном соседстве, какое только возможно в солнечной системе, именно с самой массивной планетой — Юпитером, масса которого более чем в 300 раз превышает массу Земли. Во всяком случае распад планеты на части при известных специфических условиях не может считаться невозможным ни с точки зрения физики, ни с точки зрения небесной механики.

Упомянем, что согласно новой теории Рамзея Земля и планеты состоят во всей своей массе из одного и того же вещества лишь с небольшим увеличением к центру его молекулярного веса, которое находится, однако, в различных фазовых состояниях в зависимости от давления (металлическая фаза с обилием свободных электронов и повышенной электропроводностью в центральных областях). При некоторых критических размерах планета может оказаться в неустойчивом состоянии и взорваться даже без воздействия на неё постороннего тела. Возможность этого процесса должна быть тщательно рассмотрена.

Во всяком случае нет надобности делать насилие над здравым смыслом, чтобы объяснить такие разнородные явления, как метеориты, астероиды, кометы, семейства троянцев, нерегулярные спутники больших планет. Именно эти явления не получали до сих пор по существу никакого объяснения. Все космогонисты ограничивались объяснением только самых общих черт устройства солнечной системы — распределения планет в одной плоскости, движения их по круговым орбитам в определённом порядке и исключительно в прямом направлении, до некоторой степени также

вращение их вокруг оси. Однако эти общие черты строения солнечной системы могут быть объяснены самыми разнородными теориями и потому не могут служить пробным камнем того, что имело место на самом деле. Напротив того, рассмотрение мелких тел солнечной системы, прежде всего метеоритов, гораздо лучше вскрывает подлинные события, имевшие место некогда в солнечной системе, и позволяет судить о её прошлом состоянии.