

ПОПУЛЯРНЫЕ  
ЛЕКЦИИ  
ПО АСТРОНОМИИ



Ф.Ю.ЗИГЕЛЬ

**МАЛЫЕ  
ПЛАНЕТЫ**

ПОПУЛЯРНЫЕ ЛЕКЦИИ ПО АСТРОНОМИИ  
ВЫПУСК 16

---

Ф. Ю. ЗИГЕЛЬ

# МАЛЫЕ ПЛАНЕТЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1969

**Зигель Ф. Ю.**

**3-59 Малые планеты. М. «Наука», 1969.**

104 стр. («Популярные лекции по астрономии»). 35 000 экз.,  
19 коп.

Откуда взялся тот рой малых планет, который обращается вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера? Связаны ли малые планеты с метеоритами, падающими на Землю? Какое место в планах освоения космоса могут занимать малые планеты? Вот некоторые из вопросов, рассматриваемых в книге Ф. Ю. Зигеля.

Читатель узнает также об истории изучения астероидов, современных методах их исследования, о некоторых замечательных малых планетах — Икаре, Гермесе, Эроде и других.

2-6-4  
177-69

526

*Феликс Юрьевич Зигель*

**МАЛЫЕ ПЛАНЕТЫ**

(серия: «Популярные лекции по астрономии»)

М., 1969 г., 104 стр. с илл.

Редактор *Г. С. Куликов*

Техн. редактор *Л. А. Пыжова*

Корректор *Т. А. Панькова*

Сдано в набор 24/IV 1969 г. Подписано к печати 28/VII 1969 г. Бумага 84×108<sup>1/2</sup>. Физ. печ. л. 3,25. Условн. печ. л. 5,46. Уч.-изд. л. 5,72. Тираж 35000 экз. Т-11503. Цена книги 19 коп. Заказ № 3769

Издательство «Наука»

Главная редакция

физико-математической литературы

Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Ордена Трудового Красного Знамени  
Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова  
Главполиграфпрома Комитета по печати  
при Совете Министров СССР  
Москва, М-54, Валовая, 28

Главная цель и первые достижения относятся к распространению человека в эфире, использованию солнечной энергии и повсюду рассеянных масс, как астероиды и еще меньшие тела.

К. Э. Ц и о л к о в с к и й «Цели звездо-  
плавания»

## АСТЕРОИДЫ В ПОВЕСТКЕ ДНЯ

В строении Солнечной системы есть особенность, по-видимому вовсе не характерная для всех планетных систем. Это — пояс малых планет, орбиты которых, за редкими исключениями, расположены между орбитами Марса и Юпитера. Даже наибольшие из этих тел в телескопы средних размеров выглядят звездообразными, перемещающимися на фоне созвездий объектами. Отсюда и второе наименование малых планет — *астероиды*, в буквальном переводе с греческого означающее «звездоподобные».

Сложилось мнение, что пояс астероидов представляет собою второстепенную, несущественную деталь Солнечной системы. В учебниках астрономии — школьных и вузовских — о малых планетах говорится скороговоркой. Книг, специально посвященных этой теме, очень мало — в мировой астрономической литературе обстоятельная монография И. И. Путилина \*) до сих пор остается уникальной. Несмотря на многолетнюю и весьма плодотворную деятельность некоторых специализированных в этой области обсерваторий и институтов, изучение малых планет ведется пока главным образом с позиций небесной механики. Астрофизические исследования астероидов единичны и не подчинены какой-либо единой, целеустремленной программе.

Такому положению вещей отчасти способствовало временное ослабление интереса к изучению планет вообще, наступившее в первой половине текущего века. Изумительные успехи звездной астрономии временно оттеснили планетную астрономию на второй план. Исследование планет сделалось достоянием почти исключительно астрономов-любителей.

---

\*) И. И. П у т и л и н, Малые планеты, Гостехиздат, 1953.

«Астрономы-профессионалы, — как справедливо отмечает Д. Койпер \*)», — с их большими телескопами были настолько заняты удивительными проблемами звезд, туманностей, скоплений, Галактики, звездной Вселенной, что астрономия стала почти исключительно наукой о звездах». Естественно, что неблагоприятная обстановка особенно сказалась на изучении малых планет.

Наступление космической эры произвело переоценку ценностей во всех сферах человеческой деятельности, в том числе и в астрономии. Обреченная, казалось, на вечные времена быть чисто «наблюдательной» наукой, астрономия на наших глазах быстро превращается в науку экспериментальную.

Ближний космос становится ареной практической деятельности человечества. Перспективы в близком будущем вступить на поверхность Луны, а затем и ближайших планет выглядят сегодня совершенно реальными. Вполне закономерно, что в этих условиях планетная астрономия переживает второе рождение. Она превращается в очень важное подспорье космонавтики.

С точки зрения космонавтики астероиды интересны прежде всего в двух отношениях. При будущих полетах космических аппаратов сквозь пояс планет (рис. 1) метеорная опасность существенно возрастет. Количественная оценка этой опасности для конкретных траекторий космических аппаратов может быть уверенно сделана, очевидно, лишь тогда, когда строение и состав астероидного кольца станут нам известными достаточно хорошо. Сравнительно весьма небольшие массы астероидов, принципиально говоря, облегчают посадку на крупнейшие из малых планет и отлет с них. Но, с другой стороны, такая посадка осложнена отсутствием атмосферы вокруг астероидов — применить в этом случае «воздушный тормоз» не удастся. В современной космонавтической литературе ставятся даже такие, с первого взгляда полуфантастические задачи, как использование природных богатств астероидов и транспортировка некоторых, наиболее ценных из них в район земной орбиты для разработки, так сказать, «на месте».

Можно по-разному оценивать актуальность и техническую осуществимость этих частных задач общего плана освоения ближнего космоса. Несомненно, однако, что зна-

---

\*) Сборник «Планеты и спутники», ИЛ, 1963.

чение астероидов для современной науки вовсе не исчерпывается их ролью в будущей космической деятельности человечества. Уже сегодня, сейчас всестороннее изучение астероидов может привести к решению некоторых важных проблем естествознания.

Малые планеты до сих пор остаются единственными небесными телами, которые мы изучаем двояко — астрономическими методами и, с другой стороны, непосредственно

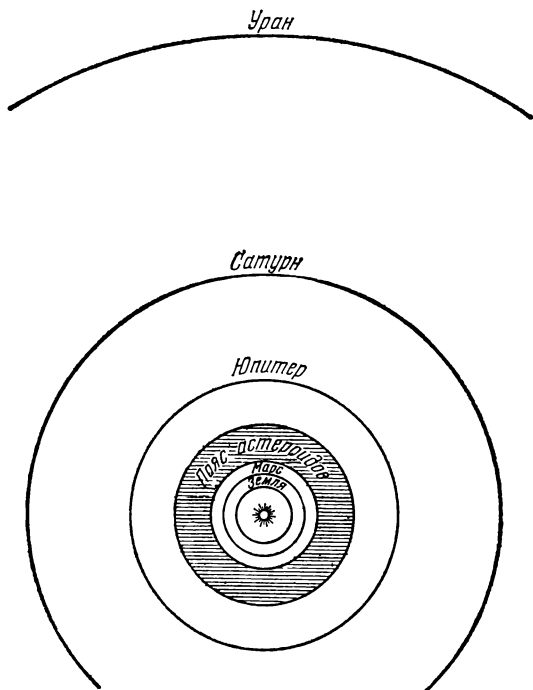


Рис. 1. Пояс астероидов.

в земных лабораториях. Действительно, в тех случаях, когда орбиты метеоритов удастся определить достаточно точно, оказывается, что эти тела приходят на Землю из самой гущи астероидного кольца. Иначе говоря, не вызывает сомнений тот факт, что подавляющее количество метеоритов (если не все они) и малые планеты — тела одной природы и одного происхождения. В тех случаях, когда орбита астероида

сильно вытянута (что характерно лишь для самых малых из них) и пересекает орбиту Земли, возникает возможность прямого столкновения астероида с нашей планетой. В этом случае малая планета имеет шансы попасть в земную лабораторию.

Единство природы метеоритов и астероидов необычайно расширяет проблематику изучения последних. Сочетая астрономические данные о малых планетах с результатами, добытыми метеоритикой, можно выяснить ряд космогонических проблем и в первую очередь такой кардинальный вопрос, как происхождение малых планет.

Была ли когда-нибудь на месте пояса астероидов крупная планета, катастрофически распавшаяся на множество осколков, или здесь, в этой области планетной системы, всегда, с самого начала ее формирования, существовали постепенно дробящиеся лишь небольшие тела — до сих пор окончательно не решено. Между тем то или иное решение вопроса послужило бы «пробным камнем» для ряда космогонических гипотез.

С другой стороны, открытие в метеоритах высокомолекулярных органических соединений и так называемых «организованных элементов», которые многие исследователи считают остатками внеземных организмов, ставит перед современным естествознанием такие проблемы, как эволюция органических веществ в космосе, возникновение жизни на Земле и за ее пределами. Не исключено, что решение этих волнующих проблем будет найдено именно при совместном изучении метеоритов и астероидов.

Новые проблемы не исключают, разумеется, и классических задач, решаемых с помощью астероидов. И впредь движение малых планет поможет разобраться в сложнейших задачах небесной механики. По-прежнему малые планеты останутся бесполезными при построении звездных каталогов.

Но все-таки не эти классические темы определяют дальнейшее изучение астероидов. Главными становятся проблемы астрофизические, космогонические, космонавтические. Комплексное изучение метеоритов и астероидов — вот главное в теперешних исследованиях малых планет.

Астероиды — в повестке дня современного естествознания. Мы надеемся, что актуальность темы побудит читателя к дальнейшему, более подробному знакомству с малыми планетами.

## НЕМНОГО ИСТОРИИ

Первые открытия малых планет не были чистой случайностью. Еще в 1596 г. в книге «Тайны космографии» Иогани Кеплер высказал догадку, что между орбитами Марса и Юпитера должна существовать еще одна неизвестная планета. Эта огромная область мирового пространства, казалось, должна быть чем-то заполненной.

С другой стороны, Кеплер настойчиво искал связь между расстояниями планет от Солнца и их периодами обращения. Но для построения простого эмпирического закона только известных планет было мало. И тогда, как пишет сам Кеплер, «я позволил себе странное и смелое предположение: я допустил, что кроме планет видимых существуют еще две планеты, невидимые по их чрезвычайной малости и находящиеся между Меркурием и Венерой и между Марсом и Юпитером».

Умозрительные предположения Кеплера были два века спустя (правда, лишь отчасти) подтверждены замечательным эмпирическим соотношением, связывающим средние расстояния планет от Солнца. Иоганн Тициус, профессор астрономии в Виттенберге, в 1772 г. обратил внимание на то, что величины больших полуосей планетных орбит в астрономических единицах \*) достаточно хорошо представляются формулой

$$a_n = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n.$$

Вот таблица, сравнивающая величины  $a_n$ , вычисленные по этой формуле, с действительными расстояниями планет от Солнца:

Планета	$n$	Вычисленное расстояние $a_n$ , а. е.	Действительное расстояние, а. е.
Меркурий	$-\infty$	0,4	0,4
Венера	0	0,7	0,7
Земля	1	1,0	1,0
Марс	2	1,6	1,5
?	3	2,8	—
Юпитер	4	5,2	5,2
Сатурн	5	10,0	9,5
Уран	6	19,6	19,1
Нептун	7	38,8	30,1
Плутон	8	77,2	39,5

\*) Астрономическая единица равна длине большой полуоси земной орбиты (149,5 млн. км). Обозначается а. е.



Если учесть, что в те времена три последних планеты еще не были открыты, совпадение подмеченной закономерности с реальностью казалось современникам Тициуса просто удивительным.

Открытие Тициуса заинтересовало берлинского астронома Иоганна Боде, который не замедлил придать ему широкую огласку. Очень скоро «правило Тициуса — Боде», как стали именовать открытую закономерность, получило неожиданное подтверждение.

13 марта 1781 г. Вильям Гершель открыл Уран. Расстояние этой новой планеты от Солнца оказалось очень близким к тому, которое вытекало из правила Тициуса — Боде. Теперь уже мало кто из астрономов сомневался в том, что этот эмпирический закон отражает объективные связи природы. Но отсюда следовало, что между Марсом и Юпитером на самом деле должна существовать планета, большая половина орбиты которой близка к 2,8 а. е.

Восемь лет спустя после открытия Урана Ф. Цах пытался вычислить орбиту гипотетической планеты, а в 1796 г. на астрономическом конгрессе в Готе была создана группа из 24 астрономов, получившая шутовское наименование «отряда небесной полиции». В него кроме Цаха входили, в частности, и такие видные астрономы, как Лаланд и Шретер. Задача состояла в том, чтобы организовать систематические поиски недостающей планеты. Для этой цели весь зодиакальный пояс разбили на 24 участка — по числу наблюдателей.

Поиски начались, но первые четыре года они не принесли желаемого результата. Открытие было сделано Джузеппе Пиацци, директором обсерватории в Палермо (Сицилия), не имевшим никакого отношения к «отряду небесной полиции».

В ночь с первого на второе января 1801 г. Пиацци измерял положение звезд в созвездии Тельца. Это был очередной этап многолетней трудоемкой работы — составления нового звездного каталога. На следующую ночь Пиацци заметил, что одна из звезд, наблюдавшихся им накануне, чуть сместились к западу, тогда как остальные полсотни звезд остались неподвижными. На третью ночь Пиацци окончательно убедился, что движущийся объект не звезда, а тело, принадлежащее к Солнечной системе.

Решив, что ему случайно удалось открыть новую комету, Пиацци продолжил наблюдения, никого поначалу, однако,

не извещая о сделанном открытии. Лишь 24 января он послал сообщение в Берлин и Милан. Почта была плохая, время тревожное — Европу потрясали наполеоновские войны, — и письмо Пиацци достигло Берлина 20 марта, а Милана и того позже — 5 апреля.

Любопытно, что как раз в эти месяцы, пока письма Пиацци добирались до адресатов, молодой иенский философ Георг Гегель опубликовал диссертацию, где с позиций чисто умозрительных пытался доказать, что более семи планет в Солнечной системе быть не может.

Находившийся в Берлине Боде, получив письмо Пиацци, игнорировал острополемические философские спекуляции Гегеля. Он ни на минуту не усомнился в том, что наконец открыта давно разыскиваемая планета. К сожалению, в это время она скрылась в лучах Солнца, и для того, чтобы снова ее отыскать, предстояло по наблюдениям Пиацци с достаточной точностью вычислить ее орбиту.

Задача была очень трудной. Открытая и вновь потерянная планета наблюдалась Пиацци в течение 40 дней. За это время она описала на небосводе дугу около трех градусов — всего шесть видимых поперечников Луны. Для точного определения орбиты этих данных, по мнению тогдашних астрономов-теоретиков, было явно недостаточно. Складывалась досадная ситуация, требующая какого-то выхода.

Он был найден Карлом Гауссом, тогда еще мало кому известным 24-летним доцентом Геттингенского университета. Гаусс разработал новый изящный способ, позволявший определить орбиту небесного тела всего по трем его наблюдениям. Можно ли было найти лучший случай для проверки новой теории?

Вооруженный еще ранее изобретенным им способом наименьших квадратов, Гаусс принялся за вычисление и уже в ноябре 1801 г. обнародовал полученные им результаты. Большая полуось новой планеты получилась равной 2,8 а. е. — в полном согласии с правилом Тициуса — Боде. Гаусс определил и положение планеты на небе, но продолжительная пасмурная погода мешала астрономам снова найти утерянную было планету. Лишь в последнюю, новогоднюю ночь 1801 г. Фридрих Ольберс, астроном из Берлина, увидел в созвездии Девы, очень близко от места, указанного Гауссом, подозрительную не отмеченную на картах звездочку. Так была вторично найдена планета, получившая

по предложению Пиаци имя Цереры, богини-покровительницы Сицилии.

Казалось, здесь следовало поставить точку. Недостающая планета была найдена, и притом как раз в том месте, где ее искали. Небесная механика благодаря Гауссу добилась очередного триумфа, правило Тициуса — Боду получило права закона — «закона планетных расстояний». Чего же большего можно желать?

28 марта 1802 г., наблюдая Цереру, Ольберс недалеко от нее совершенно неожиданно для себя заметил еще одну незнакомую звездочку. Двух часов наблюдения оказалось достаточным, чтобы этот объект заметно сместился на фоне обычных звезд. Так, вопреки ожиданиям, в списке планет Солнечной системы появился еще один член — малая планета Паллада.

В отличие от Цереры, Паллада имела орбиту, сильно наклоненную (под углом  $34^\circ$ ) к плоскости земной орбиты, и хотя ее большая полуось также получилась равной 2,8 а. е., простая схема строения Солнечной системы показалась и Ольберсу и его современникам безнадежно утраченной.

«Где тот прекрасный закономерный порядок, которому, по-видимому, подчинялись планеты в своих расстояниях? — писал Ольберс к Боду. — Мне кажется, еще рано философствовать по этому поводу; мы должны сначала наблюдать и определять орбиты, чтобы иметь верные основания для наших предположений, тогда, быть может, мы решим или по крайней мере приблизительно выясним, всегда ли Церера и Паллада пробегали свои орбиты в мирном соседстве, отдельно одна от другой, или обе являются только обломками, только кусками прежней, большой планеты, которую взорвала какая-нибудь катастрофа.»

Гипотеза Ольберса, реабилитирующая представления о стройности Солнечной системы, на первых порах быстро нашла себе, как тогда считали, опытное подтверждение. Если на самом деле когда-то между Марсом и Юпитером существовала распавшаяся затем на куски крупная планета, то по законам небесной механики ее осколки должны обладать орбитами, плоскости которых имеют общую линию пересечения. Отсюда Ольберс сделал вывод, что не только Церера и Паллада, но и все другие еще неоткрытые малые планеты должны (каждая в свое время) проходить вблизи двух точек неба, одна из которых находится в созвездии Девы, другая — в созвездии Кита.

Предсказание Ольберса сбылось как нельзя лучше — 2 сентября 1804 г. Гардинг нашел в созвездии Кита третий астероид — Юнону, а 29 марта 1807 г. сам Ольберс в созвездии Девы открыл четвертый астероид — Весту (рис. 2).

Теперь уже у всех астрономов сложилось убеждение, что в пространстве между орбитами Марса и Юпитера обращается вокруг Солнца, по-видимому, множество небольших тел — осколков когда-то катастрофически погибшей планеты.

Жажда новых открытий охватила не только профессионалов-астрономов, но и многочисленных любителей астрономии. Во имя бескорыстного служения науке эти энтузиасты превращали чердаки своих жилищ в домашние обсерватории. На скромные средства, иногда очень замысловатым путем, они приобретали телескопы, и долгие ночи месяц за месяцем, год за годом искатели новых астероидов проводили в поисках пятой планеты. Трудолюбие их поистине изумительно, как, впрочем, и упорство, с которым они преодолевали иногда весьма значительные трудности — в первую очередь отсутствие подробных карт зодиакальных созвездий.

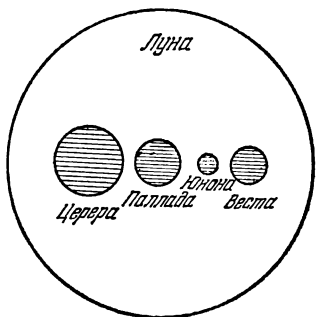


Рис. 2. Размеры крупнейших астероидов в сравнении с Луной.

Вот как описывает самодельную обсерваторию почтового чиновника Карла Генке его близкий друг:

«Мы поднялись по высокой лестнице на просторный и чистый чердак домика. Я заметил только стул и стол — о башне не было и помину. На южной стороне крыши Генке вынул пять черепиц — открылась балка, и образовалось соответствующее отверстие. К балке был прикреплен деревянный желобок — наблюдатель мог поворачивать его в любую сторону. Телескоп был привязан к желобу простой бечевкой».

Другой открыватель малых планет художник Герман Гольдшмидт увидел во Флоренции портрет Галилея и сделал с него две копии. Одну из них он подарил Араго — известному французскому астроному, вторую обменял на небольшой телескоп.

Несмотря на все усилия и тщательные поиски, лишь в 1845 г., после 15-летних непрерывных поисков, Генке открыл наконец пятый астероид — Астрею. Вопреки Ольберсу, орбита Астреи не пересекалась с орбитами первых четырех малых планет, и этот факт породил первые сомнения в гипотезе о происхождении пояса астероидов при распаде одной земноподобной планеты.

С той поры начинается вереница все новых и новых открытий карликовых планет. Спустя десять лет каталог астероидов насчитывал уже 36 объектов, а к 1890 г. было открыто 302 малых планеты.

Как и во всяком деле, здесь выделились свои чемпионы: Пализа открыл 83 астероида, Шарлуа — 72, Вольф — 22. Случалось, что наблюдателю в одну ночь удавалось открыть сразу два неизвестных астероида. Так, например, дважды повезло Петерсу и трижды Пализа. В конце концов непрерывно нарастающее число открытий породило некоторые затруднения.

Следуя давно сложившейся традиции, первые астероиды называли именами древнеримских богинь. Однако очень скоро «мифологические запасы» были исчерпаны, и уже 45-й астероид получил обычное женское имя «Евгения». Традиция по необходимости сменилась произволом. Рассматривая современные каталоги астероидов, мы встречаем наименования, свидетельствующие о немалой изобретательности их авторов. Не правда ли, забавно, что в Солнечной системе есть планеты Индустрия, Философия, Геометрия, Фотография, Юстиция? Разумеется, использовались и географические имена: Россия, Азия, Европа, Австралия и многие другие.

Некоторые астероиды названы женскими именами, и можно смело утверждать, что многие из читательниц этой книжки найдут свое имя в каталоге астероидов. Среди них планеты Анна, Мария, Елизавета, Елена, Наталья, Ирина и другие (но отсутствуют астероиды Зоя, Зинаида, Надежда, Полина. ). Правда, редкие и наиболее замечательные из астероидов носят мужские имена, например астероиды Эрот, Гермес, Икар. Но и здесь, как правило, мужские наименования приобретают женские окончания. Вот как выглядят названия астероидов, которым присвоены искаженные фамилии известных русских ученых: Бредихина, Морозовия, Белопольская, Цераския, Штернберга. . Впрочем, в списке астероидов можно, например, встретить и такой ничем не

примечательный астероид, как Витя. Еще не скоро окажется исчерпанной фантазия первооткрывателей малых планет, и еще много странных, вычурных имен появится в будущих каталогах астероидов. Впрочем, уже сейчас присвоение имен иногда отстает от темпов новых открытий и около полутора сотен астероидов отмечены в списках пока лишь порядковым номером.

В настоящее время каждая новооткрытая малая планета поначалу получает предварительное обозначение.

Рядом с годом открытия ставится буква латинского алфавита в зависимости от той половины месяца, в котором планета была открыта. Так, например, если астероид обнаружен в первой половине января 1969 г., то он обозначается 1969 A, во второй половине января — 1969 B и т. д. Но за 15 дней может быть открыто несколько астероидов. Поэтому к указанному обозначению присоединяется еще одна буква алфавита (в последовательности открытия). Например, три астероида, открытые во второй половине января 1969 г., должны иметь такие предварительные обозначения: 1969 B, 1969 BB, 1969 BC.

Кроме этой общей системы обозначений применяются и частные, даваемые обсерваторией, где состоялось открытие. Окончательное обозначение, т. е. порядковый номер и имя, астероид получает лишь после того, как для него уверенно вычислена орбита.

Вот тут и заключена главная трудность. Пока астероиды насчитывались единицами, вычисление их орбит и эфемерид (т. е. положений на небе для любых моментов времени в будущем) осуществляли энтузиасты-одиночки. Но очень скоро эта задача стала для них совершенно непосильной, и из-за незнания орбит (а следовательно, и эфемерид) открытые малые планеты были снова потеряны. Такая неприятность произошла, как уже говорилось, с Церерой. Но тогда Гаусс спас положение, а впоследствии аналогичные все учащающиеся эпизоды далеко не всегда имели благополучный исход. Примеры выглядят разочаровывающими.

За пятилетие с 1871 по 1875 г. из 47 открытых планет 45 получили окончательное обозначение. Но уже в первое пятилетие нового века (1901—1905 гг.) из 300 открытых малых планет было потеряно 179, а в 1936—1940 гг. из 1176 открытий малых планет было занесено в каталог всего 138 объектов!

Если положение нового астероида отмечено на небе один или только два раза, его можно считать безнадежно затерянным среди звездной россыпи слабосветящихся звезд. Еще в 1953 г., как отмечал И. И. Путилин, число таких астероидов превышало 3500 (т. е. почти в два с половиной раза больше окончательно занумерованных!).

С целью преодоления этих трудностей еще в 1873 г. был создан Берлинский вычислительный институт, бывший вплоть до 1945 г., по существу, центром изучения малых планет. После войны эту роль взял на себя (основанный еще в 1920 г.) Ленинградский институт теоретической астрономии (ИТА) Академии наук СССР. Эфемериды \*), публикуемые ИТА, используют обсерватории всего мира. Несмотря на применение новых вычислительных методов и широкое использование вычислительных машин, проблема потери вновь открываемых астероидов остается далеко еще не решенной.

В истории изучения малых планет 1891 г. отмечен первым применением в этой области фотографии. Фотографический метод, предложенный Максом Вольфом, существенно облегчил и упростил наблюдения малых планет. Впрочем, отдельные астрономы и раньше (например, в 1886 г.) успешно применяли фотографию при отыскании утерянных астероидов.

Вольф, а за ним и другие исследователи малых планет стали систематически фотографировать эклиптикальный \*\*) пояс неба с помощью короткофокусных светосильных фотокамер — астрографов. Укрепленные на параллактическом штативе и движимые часовым механизмом, эти камеры давали изображения крупных участков неба. Звезды на негативе получались кружочками бóльших или меньших размеров, а перемещающийся на их фоне астероид за время экспозиции (2—3 часа) прочерчивал на негативе короткую, но вполне заметную полоску. Открытие стало делом сравнительно легким, и нередко появлялся соблазн вслед за открытием одного астероида ринуться в поиски других, в другую часть неба. В результате новооткрытая малая планета фиксировалась на одном или двух снимках, что для определения точной орбиты было недостаточным.

---

\*) Эфемеридой называется таблица, в которой указано положение небесного тела на небосводе для различных моментов времени.

\*\*) Эклиптикой называется видимый годовой путь Солнца на фоне звезд.

Этот недостаток, однако, не остановил дальнейшее развитие фотографического метода. Уже за первое пятилетие (1891—1895 гг.) Вольф и Шарлуа открыли на негативах 90 новых астероидов — результат, говорящий сам за себя. Оправдала себя фотография и при поисках потерянных малых планет, поисках, иногда увенчивающихся триумфом. Ныне фотография применяется всюду, где разыскивают новые астероиды.

В настоящее время число обсерваторий, занимающихся наблюдениями малых планет, приближается к трем десяткам. Кроме ИТА есть и другие вычислительные учреждения, специализировавшиеся в этой области. В Ленинграде, Николаеве, Ташкенте, Киеве и других городах обработка наблюдений малых планет проводится в значительной мере с помощью электронно-вычислительных машин. Проводились, и небезуспешно, телевизионные наблюдения некоторых астероидов, при которых приемником их излучения, пойманного телескопом, был не глаз, а телевизионная трубка (ортикон).

Русские и советские ученые внесли заметный вклад в изучение малых планет. Еще в начале прошлого века В. К. Вишневский в Петербурге наблюдал Цереру и Юнону. Во второй половине века на Московской и других русских обсерваториях было получено значительное количество наблюдений малых планет — их видимого блеска и положений на небосводе. В начале текущего века в Ташкентской обсерватории фотографировался астероид Эрот (для уточнения расстояния от Земли до Солнца).

С 1912 г. в только что созданной Симеизской обсерватории начались систематические наблюдения астероидов. С помощью фотографии фиксировались их положения на небе, что облегчало вычисление орбит и эфемерид. Эти исследования с успехом были продолжены и в советское время, вплоть до 1941 г. Было открыто много новых малых планет, первая из которых, обнаруженная еще в 1913 г. Г. Н. Неуйминым, получила имя «Симеиза». Среди открытых в Советском Союзе астероидов следует отметить малую планету Владилену (№ 852), названную так в честь Владимира Ильича Ленина.

Кроме Симеизской обсерватории, специализировавшейся по астероидам, малые планеты наблюдались также и почти на всех остальных советских обсерваториях, включая Пулковскую. Параллельно с наблюдениями и их обработкой



проводились во многих местах также теоретические исследования проблем, связанных с малыми планетами (например, в области теории возмущений). Был поставлен и ряд астрофизических исследований астероидов — их показателей цвета, переменности блеска и других. Наиболее крупные

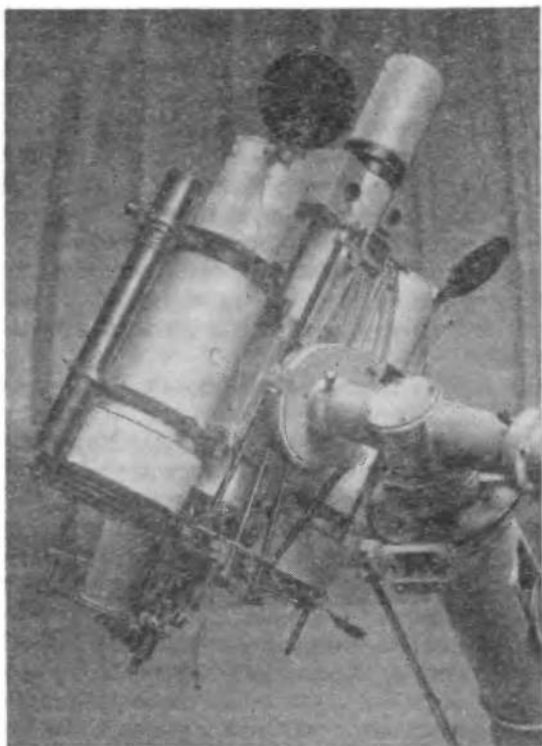


Рис. 3. Астрограф Симеизской обсерватории.

исследования малых планет выполнили Г. Н. Неуймин, С. И. Белявский и В. А. Альбицкий.

Список астероидов, открытых в СССР, непрерывно пополняется. Решением Международного планетного центра в 1967 г. утверждены наименования очередного десятка новых «советских» астероидов. Теперь в каталогах малых планет появились астероиды Чайка (в честь первой женщины-

космонавта Валентины Николаевой-Терешковой), Волга, Украина, Дружба, Мирная и другие. Среди них астероид КРАО — таково сокращенное наименование Крымской астрофизической обсерватории. Всего в современных каталогах числится около 1700 малых планет. Для некоторых из них еще в прошлом веке придумали символические знаки, гораздо менее известные, чем символы, употребляющиеся для обозначения главных планет Солнечной системы.

## МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МАЛЫХ ПЛАНЕТ

Для изучения малых планет используют два источника — непосредственные астрономические наблюдения и данные лабораторного исследования метеоритов. В ряде случаев сочетание этих двух подходов к проблеме значительно облегчает ее решение.

Задача астрономических наблюдений состоит прежде всего в возможно более точном определении положения астероида на звездном небе. Решая средствами современной астрометрии эту задачу, мы получаем необходимые данные для вычисления орбиты малой планеты. Результат, разумеется, никогда не бывает абсолютно точным. Причина не только в неизбежных ошибках измерительных приборов и глаза наблюдателя, но и трудностях учета возмущений, которым подвержены астероиды прежде всего со стороны Юпитера и Сатурна.

Уточнение орбит проводится методом последовательных приближений. Открыв новый астероид, стараются получить достаточное количество наблюдений для вычисления предварительной орбиты. Далее эту орбиту у л у ч ш а ю т, используя максимальное число наблюдений, относящихся к различным частям орбиты малой планеты. При вычислении улучшенной орбиты учитывают возмущения со стороны крупных планет — по крайней мере Юпитера и Сатурна. Естественно, что эфемерида, вычисленная по предварительной орбите, расходится в большей или меньшей степени с данными новых наблюдений. Но именно величина этих расхождений и служит основой для получения точных орбит.

Определить положение астероида на небе можно двумя методами — визуальным и фотографическим. Первый из них, бывший когда-то единственным, иногда применяется и в современной практике. Суть его заключается в том, что

с помощью укрепленного в главном фокусе рефрактора м и к р о м е т р а измеряют в данный момент времени расстояние между «опорными» звездами и астероидом, разность их координат на небесной сфере.

В поле зрения рефрактора, снабженного н и т я н ы м микрометром, наблюдатель видит опорную звезду, звездобразную малую планету и две нити — неподвижную и подвижную. Совмещая первую из них со звездой, перемещают (с помощью барабана) подвижную нить до совмещения ее с астероидом. По показаниям шкалы барабана наблюдатель находит расстояние между звездой и астероидом в угловой мере.

Заметим, что микрометр может вращаться и вокруг оптической оси рефрактора. Для этой цели он снабжен устройством, называемым позиционным кругом. По отсчетам на шкале позиционного круга наблюдатель определяет позиционный угол \*) дуги большого круга, проходящего через астероид и звезду. В итоге становится известным положение астероида относительно звезды. Зная же координаты звезды, нетрудно вычислить и координаты астероида.

Визуальный метод применяется ныне как исключение. Он явно не выдерживает конкуренции с фотографическим методом, использующим ряд преимуществ фотопластинки по сравнению с глазом.

Когда в прошлом наблюдатель обнаруживал на небе незнакомую звездочку, требовалось не менее двух-трех вечеров, чтобы выяснить, каков этот объект — астероид, комета или новая звезда. Чтобы зафиксировать новый астероид, современным светосильным фотокамерам требуются какие-нибудь 10—20 минут.

Кроме того, на фотопластинке фиксируется большой участок неба и, если на нем окажется сразу несколько малых планет, пластинка регистрирует их движение с той же легкостью, как и движение одной планеты.

Каждый негатив — отличный документ. Наблюдатель может ошибиться в измерениях, и эта оценка так и останется ошибочной. К негативу можно вернуться вновь и снова повторить измерение. Небесные события фотопластинка фиксирует навсегда, и нередки случаи, когда интересные

---

\*) Позиционным углом в данном случае называется угол между дугой большого круга, соединяющей звезду и астероид, и кругом склонения, проходящим через звезду. Он отсчитывается от направления на северный полюс мира против часовой стрелки от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

объекты находили на старых негативах спустя десятки лет после наблюдения.

Фотопластинка, в отличие от глаза, постепенно накапливает падающую на нее от звезд световую энергию. Ее «восприимчивость» с ростом экспозиции усиливается (конечно, до некоторого предела). Поэтому чем больше экспозиция, тем более слабосветящиеся астероиды окажутся запечатленными на негативе.

Но даже на лучших из негативов всегда возможны случайные дефекты. Иногда они очень коварны: какой-нибудь случайный штрих может быть принят за малую планету. Чтобы этого не случилось, применяют двойные астрографы — две фотокамеры, одновременно фотографирующие небо. Если подозрительный объект виден сразу на двух снимках, то это верный признак, что запечатлен небесный объект.

Для фотографических наблюдений астероидов применяют а с т р о г р а ф ы — телескопы, специально приспособленные для фотографирования неба. Астрограф снабжается часовым механизмом, который придает ему вращение в сторону, противоположную вращению Земли. Направленный на какую-либо точку неба, астрограф будет «смотреть» на нее сколь угодно долго. Свет от какой-либо звезды будет падать на одну и ту же точку пластинки, и изображение этой звезды будет выглядеть кружочком. Астероиды же перемещаются на фоне звезд, и их изображения получатся в виде черточки. Это самый старый и самый простой метод фотографирования астероидов, он называется методом Вольфа. Применяется он при фотографировании ярких астероидов.

При наблюдениях слабосветящихся малых планет часто применяют другой метод, предложенный Меткофом. Часовой механизм астрографа можно отрегулировать таким образом, чтобы астрограф смещался не вслед за звездами, а вслед за наблюдаемым астероидом (угловая скорость перемещения которого известна). Тогда на негативе астероид изобразится кружочком, а все звезды — черточками.

В методике Меткофа экспозиция может быть весьма продолжительной, а значит, накапливая энергию излучения астероида, фотопластинка может зафиксировать очень слабосветящиеся объекты. Когда же используется метод Вольфа, изображение астероида растягивается в полоску, для слабосветящихся астероидов просто незаметную.

Оригинален метод, предложенный известным советским астрономом С. Н. Блажко. На одной и той же пластинке получают три экспозиции с перерывом в 5—10 минут. Всякий раз перед новой экспозицией фотопластинка чуть-чуть (например, на одну минуту дуги) смещается по склонению. Нетрудно сообразить, что получится на негативе. Каждая звезда даст три изображения, причем все эти

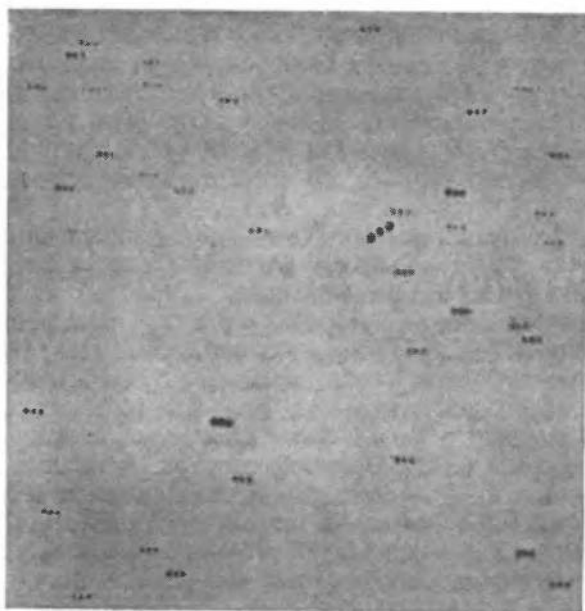


Рис. 4. Снимок астероида Геба, полученный по методу С. Н. Блажко.

изображения растянuty в параллельные друг другу «цепочки» (рис. 4). Что же касается астероида, то он тоже даст три изображения, но благодаря движению астероида относительно звезд «цепочка» изображений малой планеты выделится своим необычным наклоном по отношению ко всем остальным «звездным цепочкам».

Как уже говорилось, астероиды — объекты, недоступные невооруженному глазу. Самый яркий из астероидов — Веста. В наиболее благоприятные моменты, т. е. при макси-

малом сближении с Землей, эта малая планета имеет блеск звезды 6,5-й звездной величины ( $6^m,5$ ) и ее можно наблюдать в бинокль. Лишь немногим уступают ей в блеске Церера ( $7^m,4$ ), Паллада ( $8^m,0$ ), Юнона ( $8^m,7$ ). Большинство же астероидов — это объекты 13—14-й звездной величины, доступные лишь телескопам средних размеров.

Самым подходящим астрографом для фотографирования малых планет будет светосильный и в то же время достаточно длиннофокусный астрограф. Светосила \*) обеспечивает яркость изображения. Чем больше диаметр объектива (при одном и том же фокусном расстоянии), тем большей проникающей способностью обладает астрограф, т. е. тем более слабые объекты оставят свои изображения на негативе. С другой стороны, линейные размеры изображения тем больше, чем больше фокусное расстояние объектива. По этой причине на снимках с длиннофокусным астрографом заметить смещение астероида легче, чем на снимках с короткофокусной фотокамерой. На рис. 5 изображен двойной астрограф обсерватории в Гейдельберге (Германия), на котором еще в 1891 г. были проведены первые фотографические наблюдения астероидов.

Итак, представьте себе, что снимок сделан и негатив попал в лабораторию. Сначала он подвергается предварительной обработке, цель которой — выявить все изображения зафиксированных на нем малых планет. Сделать это можно по-разному, например внимательно рассматривая пластинку в небольшой, слабоувеличивающий микроскоп.

Если есть два негатива одного и того же участка неба, снятые в близкие между собою моменты времени, применяют обычно стереокомпаратор или блинк-компаратор.

Принцип действия первого из этих приборов достаточно прост. Участок звездного неба на двух одновременно полученных негативах выглядит одинаково — разница будет лишь в положениях зафиксированного на пластинках астероида. Если с помощью стереомикроскопа, основной части стереокомпаратора, совместить оптические изображения двух негативов, то изображения звезд при этом сольются, а малая планета благодаря стереоэффекту покажется исследователю как бы висящей в пространстве.

---

\*) Светосилой линзы (или системы линз) называется квадрат отношения ее диаметра к фокусному расстоянию.

В блинк-компараторе специальный блинк-микроскоп сводит два изображения негативов в один окуляр. Особая движущаяся заслонка позволяет видеть то одну, то другую

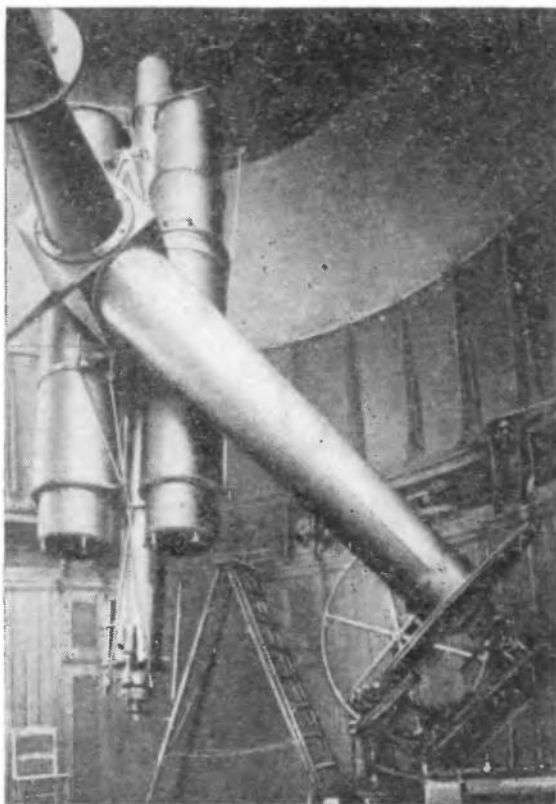


Рис. 5. Двойной астрограф Гейдельбергской обсерватории.

пластинку. Приведя заслонку в быстрое движение, мы получаем любопытный эффект: изображение астероида будет прыгать в поле зрения, тогда как изображения звезд останутся неподвижными.

Обнаружив неизвестную малую планету, отмечают ее положение среди звезд на крупномасштабной звездной кар-

те, определяют приближенно ее координаты и оповещают Ленинградский институт теоретической астрономии о сделанном открытии. Публикации об этом событии производятся в «Астрономическом циркуляре», издаваемом Академией наук СССР, и в циркулярах обсерватории в Цинциннати (США).

Дальнейшая точная обработка фотографий малых планет заключается в возможно более тщательных измерениях положения астероида на негативе относительно известных звезд. Для этой цели применяются специальные высокоточные измерительные приборы. При всех конструктивных различиях назначение приборов одинаково — измерить как можно точнее положение астероида на негативе, а затем определить его координаты на небосводе.

Астрофизические наблюдения малых планет (не считая оценок их видимого блеска) до сих пор остаются редкими, случайными, не подчиненными какой-либо единой программе. Между тем именно наблюдения отражательной способности, цвета, спектра астероидов особенно ценны для раскрытия их физических свойств, без чего невозможно выяснить связь этих тел с другими телами Солнечной системы, решить проблему их происхождения.

Даже оценки видимого блеска астероидов могут стать источником весьма ценной информации. Так как астероиды в бинокль внешне неотличимы от звезд, простейшее определение их видимого блеска делается так же, как и для переменных звезд.

Такие наблюдения доступны каждому любителю астрономии, вооруженному биноклем или телескопом. При достаточном навыке наблюдателя они имеют определенную научную ценность. Более точные измерения блеска астероидов выполняются с помощью специальных фотометров, таких же, какими пользуются и исследователи переменных звезд.

Блеск астероидов непостоянен. Зависит он не только от расстояния до Земли, но и от других причин, например от вращения астероида и его осколочной формы.

При визуальных наблюдениях в телескоп глаз не различает разницы в окраске астероидов. Между тем оценить такую важную физическую характеристику, как цвет малой планеты, можно с помощью фотографии (рис. 6).

Как известно, глаз наиболее чувствителен к желтым и зеленым лучам, а фотопластинка — к синим и фиолетовым.



Отсюда следует, что оценки блеска звезд по визуальным и по фотографическим наблюдениям, вообще говоря, получатся разными. Например, «фотографическая» звездная величина красных звезд всегда меньше их «визуальной» звездной величины. Для голубых звезд эффект будет обратным.

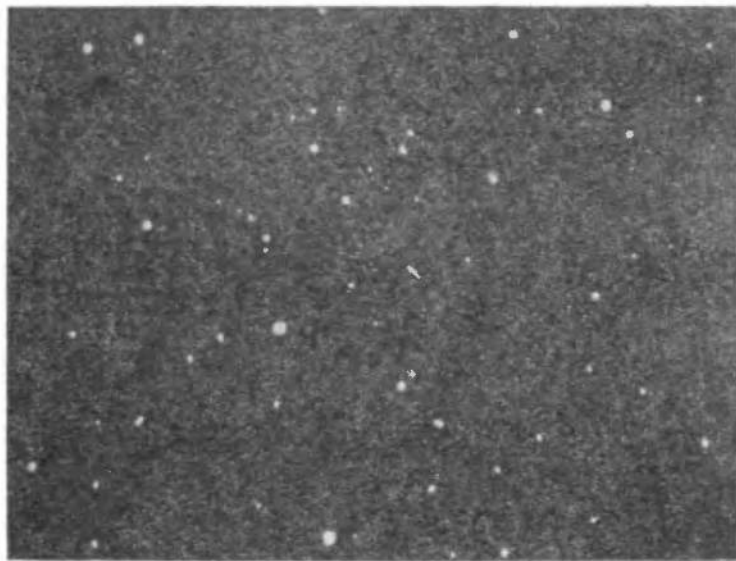


Рис. 6. Фотография следа астероида.

Разность между фотографической и визуальной звездными величинами называется показателем цвета данного светила (подробнее см. на стр. 50). Для белых объектов показатель цвета близок к нулю, для голубых он отрицателен, для желтых, оранжевых и красных — положителен. Показатели цвета астероидов существенно различны, и это обстоятельство несомненно связано с их физической природой — составом, строением.

Еще более ценную информацию в этом вопросе дают спектральные наблюдения. Начаты они были еще Фогелем в 1874 г., но впоследствии проводились эпизодически, от случая к случаю. Причина этого — отчасти в широко рас-

пространенном среди неспециалистов ошибочном убеждении, что спектры всех астероидов представляют собою ослабленные копии солнечного спектра. На самом деле это не так. Малые планеты в ряде случаев вовсе не являются простыми отражателями. В спектре Весты еще Фогель обнаружил загадочные яркие линии излучения. Случай этот, правда, исключителен, но и у многих других малых планет наблюдаются иные, не всегда понятные и до конца не разгаданные особенности спектров, о чем будет рассказано ниже. Спектральные наблюдения астероидов безусловно заслуживают широкого внедрения и развития — может быть, именно они в ряде проблем окажутся решающими.

Совершенно новыми и по форме и по существу станут в недалеком будущем «космонавтические» наблюдения астероидов. Космические летательные аппараты, запущенные в область астероидного кольца, могли бы сообщить на Землю ценную информацию. Например, космические аппараты «Марс-1» и «Маринер-4» при полете к Марсу пересекли орбиты и зарегистрировали существование метеорных потоков, ранее неизвестных. В более отдаленном будущем мыслима даже высадка на крупнейшие из астероидов экипажа космического корабля.

## ДВИЖЕНИЕ И ОРБИТЫ АСТЕРОИДОВ

Видимые перемещения астероидов на небосводе, как и крупных планет, вызваны двумя причинами — истинным движением в пространстве малой планеты и орбитальным движением Земли. Сочетание этих двух движений, как известно, приводит к тому, что планеты описывают на небе замысловатые петли. Их прямое движение — с запада на восток — иногда сменяется попятным, и наоборот. Петлеобразные перемещения планет наблюдаются в периоды их противостояний.

В большинстве случаев видимые движения астероидов мало чем отличаются от видимых движений, скажем, Марса или Юпитера. Есть, однако, и любопытные исключения. В тех случаях, когда плоскость орбиты малой планеты наклонена под значительным углом к плоскости земной орбиты, видимое движение астероида может быть весьма своеобразным. Таков, например, видимый путь на небе астероида Ганимед. Как правило, эта малая планета может удаляться

на десятки градусов от эклиптики, а в отдельных случаях Ганимед подходил близко даже к полюсу эклиптики — поведение, невозможное для крупных планет.

Как уже говорилось, метод Гаусса позволяет по трем наблюдениям вычислить орбиту небесного тела, в частности малой планеты. Поясним главную идею этого метода.

Всякая эллиптическая орбита характеризуется шестью величинами, называемыми ее элементами. Положение плоскости орбиты планеты фиксируется двумя углами:  $i$  — углом, который образует плоскость орбиты планеты с плоскостью земной орбиты, и  $\Omega$  — углом между направлением из центра Солнца на точку весеннего равноденствия  $\Upsilon$  (ту точку неба, где Солнце бывает около 21 марта) и линией пересечения плоскостей земной и планетной орбит.

Форма и размеры планетной орбиты зависят от двух других элементов — большой полуоси  $a$  и эксцентриситета  $e$ . Положение же орбиты в ее плоскости можно найти, зная расстояние перигелия от узла — угол  $\omega$ , который образует линия пересечения земной и планетной орбит с направлением от центра Солнца на перигелий \*) планетной орбиты. Наконец, положение планеты на ее орбите можно узнать, если известен момент прохождения планеты через перигелий  $T$ .

Каждое наблюдение астероида дает его угловые координаты на небе. Можно составить три уравнения, связывающие эти координаты с элементами орбиты планеты. Однако в эти уравнения неизбежно войдет еще одно неизвестное — расстояние планеты от Земли. Следовательно, одно наблюдение даст три уравнения с семью неизвестными. Для второго наблюдения появится еще одно неизвестное — новое расстояние между астероидом и Землей. Значит, в итоге получим шесть уравнений с восемью неизвестными. Наконец, после третьего наблюдения получим девять уравнений с девятью неизвестными, т. е. систему, допускающую единственное решение.

Такова принципиальная сторона метода Гаусса. Хотя предпринимались многочисленные попытки улучшить метод Гаусса, все они ограничивались лишь улучшением деталей, основа же метода сохранилась донныне.

---

\*) Перигелий — ближайшая к Солнцу точка орбиты, афелий — наиболее удаленная от Солнца ее точка.

Если отвлечься от реальной, весьма сложной обстановки и считать, что на астероид действует только притяжение Солнца, то орбита астероида в любом случае, как это доказал еще Исаак Ньютон, будет коническим сечением — эллипсом, гиперболой или параболой. На самом же деле на движение астероида оказывают существенное влияние притяжение Юпитера, Сатурна и других планет. Поэтому орбита, определенная по методу Гаусса, есть, в сущности, лишь первое приближение к истинной форме планетной орбиты. Дальнейшее улучшение орбиты заключается в учете возмущений со стороны возможно большего числа крупных планет. Естественно, что для этого требуются длинные, многолетние и высококачественные ряды наблюдений.

В этой области есть своеобразные рекорды. Например, элементы орбиты Юноны определены с учетом возмущений от всех больших планет (исключая Плутона). Для крупнейшего из астероидов Цереры орбита найдена с учетом возмущений со стороны Венеры, Земли, Марса, Юпитера и Сатурна. Получены значительно улучшенные орбиты и для многих других малых планет.

Каковы же особенности орбит малых планет? Как можно представить себе в общих чертах строение астероидного пояса или кольца (рис. 7)?

За редкими исключениями, орбиты астероидов расположены между орбитами Марса и Юпитера. Более того, около 97% малых планет обладают большими полуосями орбит, заключенными в еще более узких пределах — от 2,17 до 3,64 а. е. (напомним, что большие полуоси орбит Марса и Юпитера близки к 1,5 и 5,2 а. е. соответственно).

Эллиптические орбиты астероидов имеют различную вытянутость, разные эксцентриситеты \*). Примерно 98,7% орбит известных астероидов обладают эксцентриситетами, меньшими 0,33. Среднее же значение эксцентриситета для всех найденных орбит составляет 0,15. Следовательно, хотя орбиты астероидов более вытянуты, нежели орбиты крупных планет, все же большинство астероидов обращается по орбитам, мало отличающимся от круговых. Примечательно, что чем мельче астероид, тем более вытянута его орбита — закономерность, к которой мы еще обратимся в дальнейшем.

---

\*) Эксцентриситетом эллипса называется отношение расстояния между его фокусами к длине большой оси. Чем больше эллипс вытянут, тем больше его эксцентриситет.

Все крупные планеты, как известно, движутся почти в одной плоскости. Лишь у Меркурия и Плутона наклонения  $i$  орбит равны  $7$  и  $17^\circ$  соответственно.

Орбиты астероидов в этом отношении обладают интересными особенностями. Даже среднее значение наклонений

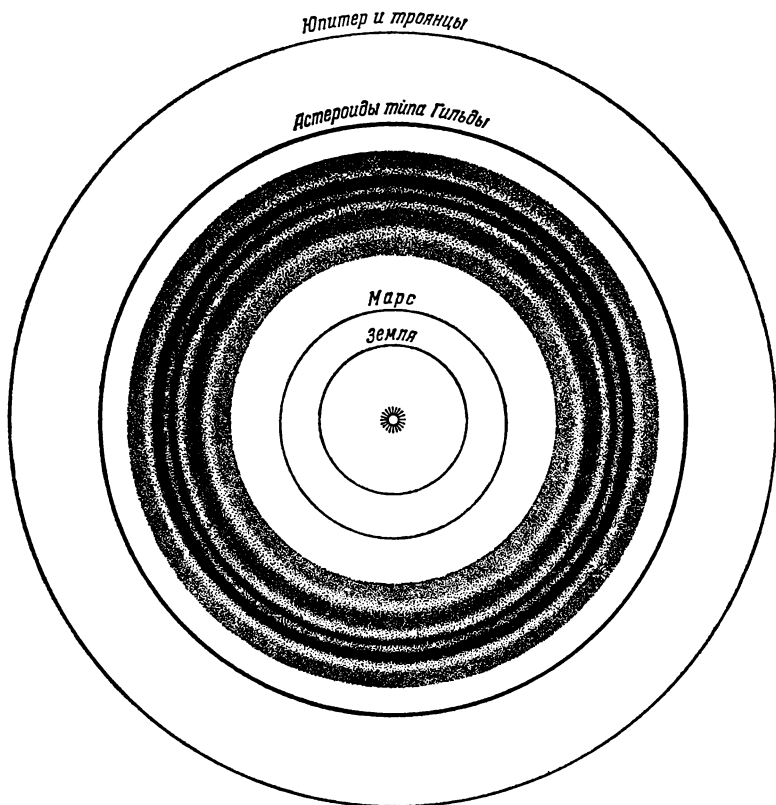


Рис. 7. Строение астероидного кольца.

их орбит превосходит  $9^\circ$ . В отдельных же случаях, как, например, для астероида Гидальго (рис. 8), наклонение достигает  $42^\circ$ . Даже у такого крупного астероида, как Паллада, наклонение орбиты близко к  $35^\circ$ . Отсюда можно сделать вывод, что кольцо астероидов «сплющено» к одной плоскости в гораздо меньшей степени, чем орбиты крупных планет.

Орбиты астероидов распределены в пространстве неравномерно. Астероидный пояс отнюдь не сплошной. В нем наблюдаются просветы, люки, на существование которых впервые обратил внимание Д. Кирквуд в 1866 г. Люки расположены во вполне определенных областях межпланетного пространства, и именно там, где выполняются условия так называемой соизмеримости.

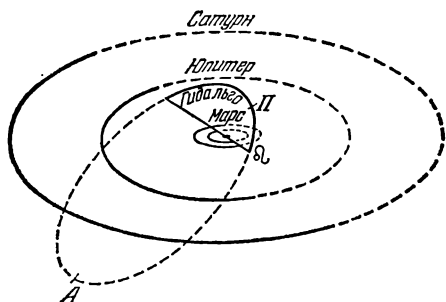


Рис. 8. Орбита астероида Гидальго.

Пусть  $n$  — среднее суточное движение малой планеты. Эта величина определяется формулой

$$n = \frac{k''}{a^{3/2}},$$

где  $a$  — большая полуось орбиты астероида, а  $k''$  — некоторая постоянная, выраженная в секундах дуги. Соизмеримостью называется отношение средних движений возмущающей планеты и астероида, выражаемое простой дробью. Иначе говоря, если  $n_1$  — среднее движение, например, Юпитера, а  $n$  — среднее движение астероида, то в случае соизмеримости  $n_1/n = p/q$ , где в правой части равенства стоит отношение двух взаимно простых чисел.

Как правило, люки в кольце астероидов встречаются именно в тех местах, где (для соответствующих  $a$ ) соблюдаются соизмеримости суточных движений астероидов и Юпитера или Марса. Можно доказать, что именно в таких областях пространства возмущения становятся очень сильными и эти возмущения в конце концов выводят астероид в более «спокойные» зоны. Наблюдения показывают, что в тех частях кольца астероидов, где соизмеримости с Юпитером

равны, например,  $1/2$ ,  $1/3$ ,  $2/7$ ,  $5/11$  и т. п., имеются достаточно обширные и заметные люки. Есть и один люк, порожденный Марсом. Он соответствует соизмеримости  $2/1$ . В зоне астероидов можно выделить 7 колец, разделенных заметными люками.

Не для всех соизмеримостей, однако, есть люки. С увеличением числа открываемых астероидов ряд люков постепенно заполняется. С другой стороны, при некоторых соизмеримостях с Юпитером (например  $2/3$ ) наблюдаются не люки, а, наоборот, сгущения астероидных орбит.

Наиболее полное изучение люков провел известный японский исследователь астероидов К. Хираяма. Предположив, что астероиды движутся в некоторой сопротивляющейся среде (облака мелких осколков непрерывно дробящихся астероидов), Хираяма сумел теоретически объяснить существование как люков, так и сгущений.

Среди свыше полутора тысяч известных в настоящее время астероидов иногда встречаются пары с почти одинаковыми элементами орбит. Таковы астероиды Ингрида и Азалия, Лобелия и Капанула, Юнона и Клото.

Некоторые группы астероидов с близкими элементами орбит более многочисленны. Группа троянцев, замечательных астероидов, обращающихся вокруг Солнца почти по орбите Юпитера (подробно о них речь пойдет ниже), состоит из 15 малых планет.

Интересна тесная группа астероидов типа Гильды. Она включает в себя 19 малых планет, имеющих почти одинаковые орбиты и с внешней стороны как бы окаймляющих пояс астероидов.

Хираяма ввел понятие «семейство астероидов» — совокупность малых планет, имеющих общее происхождение. Для выделения таких семейств Хираяма использовал так называемые собственные элементы орбит, т. е. такие элементы, величина которых не меняется во время движения астероида независимо от возмущений со стороны других планет. Если астероиды принадлежат к одному семейству, то они должны иметь и одинаковые собственные элементы.

Поясним идею Хираяма на несколько упрощенном примере. Представьте себе, что крупный астероид распался на ряд осколков (например, при столкновении с другим астероидом). В этом случае орбиты осколков будут отличаться одним примечательным свойством: все они будут проходить

через точку разрыва астероида, образуя некую связку эллипсов. По этому признаку можно сделать вывод, что нынешние осколки когда-то составляли единое целое.

В действительности все, конечно, сложнее. Возмущения со стороны Юпитера и других планет в конце концов разрушают связки орбит, следы катастрофического распада крупного тела на мелкие осколки со временем «рассасываются», затушевываются, становятся неуловимыми.

Тем не менее Хираяма удалось уверенно выделить пять семейств астероидов с почти одинаковыми собственными элементами. Впоследствии, в 1925 г., советская исследовательница Н. М. Штауде выделила еще 15, правда, менее определенно выраженных семейств.

Г. Ф. Султанов и другие исследователи предприняли успешные попытки выделения семейств малых планет не по сходству собственных элементов, а по другим параметрам. Результаты оказались сходными с теми, какие получил Хираяма.

Из всего этого можно сделать вывод, что группы и семейства астероидов — это, по-видимому, продукты распада некоторых более крупных родоначальных тел. Количество астероидов в настоящую эпоху так велико, что столкновения между ними не только возможны, но, по-видимому, происходят постоянно, на протяжении всей эволюции астероидного кольца. Не будет преувеличением утверждение, что зона астероидов — это зона непрерывного механического распада, деградации небесных тел. Взаимные столкновения астероидов приводят к их измельчанию, к накоплению в кольце астероидов пылевой сопротивляющейся среды — мельчайших осколков непрерывно разрушающихся астероидов.

## ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ АСТЕРОИДЫ

Исключения, как известно, не только подтверждают правило, но и обращают на себя внимание. Те из астероидов, которые имеют необычные орбиты, т. е. выделяются по этому признаку среди подавляющего большинства малых планет, считаются замечательными (термин, не претендующий, разумеется, на какую-либо официальность). Мы познакомим читателя лишь с некоторым из замечательных астероидов.



## Троянцы

Допустим, что в некоторый момент времени известны положения трех тел в пространстве и их начальные скорости. Тела будем считать материальными точками, т. е. размерами этих тел пренебрежем по сравнению с расстояниями между ними. Считая, что между этими тремя материальными точками существует взаимное тяготение, найдем траектории, скорости и ускорения всех трех тел для любого момента времени.

Сформулированная в такой форме задача получила в небесной механике наименование *задачи трех тел*. В 1912 г. К. Сундман, выдающийся финский математик, решил эту задачу в общем виде. Однако его решение представляет лишь чисто теоретический интерес. Координаты трех тел в решении Сундмана представлены в виде рядов («бесконечных сумм»), очень сложных и трудных для вычисления. Например, чтобы вычислить координаты тел на два месяца вперед с точностью всего 10% (причем для простоты массы трех тел и взаимные расстояния между ними считаются равными), необходимо взять число членов ряда, больше  $10^{80000}$ .

Точное и сравнительно простое решение задача трех тел имеет лишь в некоторых частных случаях, рассмотренных знаменитым французским математиком Ж. Лагранжем еще в конце XVIII в.

Представим себе, что одно тело обращается вокруг второго по окружности. Как доказал Лагранж, существуют такие положения третьего тела, при которых взаимное расположение всех трех тел в процессе движения остается неизменным.

Пусть первым телом будет Солнце, вторым — планета, обращающаяся вокруг Солнца по круговой орбите. Точки, в которых третье тело сохранит взаимное расположение по отношению к двум другим телам, называются *либрационными точками*. Первые три из них, так называемые *коллинеарные либрационные точки*  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ , расположены на прямой, проходящей через Солнце и планету. Их расположение на этой прямой, разумеется, зависит от масс первых двух тел и расстояния между ними. Если поместить в любую из этих точек третье тело, вся система из трех тел будет вращаться как единое тело (совсем так, как если бы вы стали вращать рисунок вокруг точки). Исследования, однако, показывают, что по-

ложение третьего тела в коллинеарных либрационных точках неустойчиво. Если это тело даже чуть-чуть, на как угодно малое расстояние отойдет от коллинеарных либрационных точек, назад оно уже не возвратится, а навсегда покинет эту область пространства. Не удивительно поэтому, что такой «случай Лагранжа» в природе не осуществляется.

Несравненно больший практический интерес представляют треугольные либрационные точки  $L_4$  и  $L_5$ . Они образуют с Солнцем и планетой вершины двух равнобедренных треугольников, поворачивающихся во время движения как единое целое. Замечательно, что движение вблизи этих точек устойчиво, что было подробно обосновано в работе В. И. Арнольда \*) и других исследователей. Иначе говоря, выведенное из треугольных либрационных точек, третье тело при определенных начальных условиях (например, не чрезмерно большой скорости) может снова вернуться в исходное положение.

Еще в 1907 г. был открыт астероид Ахилл (или Ахиллес, номер 588), совершавший обращение вокруг Солнца почти по орбите Юпитера. Точнее, он постоянно находился вблизи точки  $L_4$  в системе Солнце — Юпитер. Позже открыли и другие малые планеты, демонстрирующие воплощение в природе одного из «случаев Лагранжа». Всем им присваивали имена героев Троянской войны, и потому в астрономической литературе эти замечательные астероиды называют троянцами (рис. 9).

Их известно пятнадцать. Десять из них (Ахилл, Гектор, Нестор, Агамемнон, Одиссей и др.) движутся впереди Юпитера, опережая его по долготе на  $60^\circ$ . Пять остальных (Патрокл, Приам, Эней, Анхиз, Трои́л) следуют за Юпитером, оставаясь по соседству с точкой  $L_5$ . Собственно, первые десять из указанных астероидов носят имена героев греческого войска и потому их иногда называют «греками» (в отличие от настоящих «троянцев», следующих за Юпитером). Впрочем, это забавное разделение не является общепринятым.

Ни один из троянцев не находится в точности в какой-либо из треугольных либрационных точек. С другой стороны, орбита Юпитера не идеальная окружность, а эллипс с эксцентриситетом, равным 0,05. Сочетание этих двух причин

---

\*) «Успехи математических наук», т. 18, вып. 6, 1963.

приводит к тому, что каждый из троянцев совершает вокруг либрационных точек  $L_4$  и  $L_5$  сложные периодические движения, одновременно обращаясь при этом и вокруг Солнца. Некоторые из троянцев иногда уходят от либрационных точек весьма далеко, например, Анхиз до  $28^\circ$ , а Диомед даже до  $40^\circ$  (по долготе)! Да и минимальное расстояние троянцев от либрационных точек никогда не бывает меньше  $5^\circ$

Троянцы — астероиды крупные. Самый большой из них — Патрокл, имеющий в поперечнике 272 км. Немногоим уступает ему Гектор (поперечник 216 км), у восьми других троянцев поперечники превосходят 100 км.

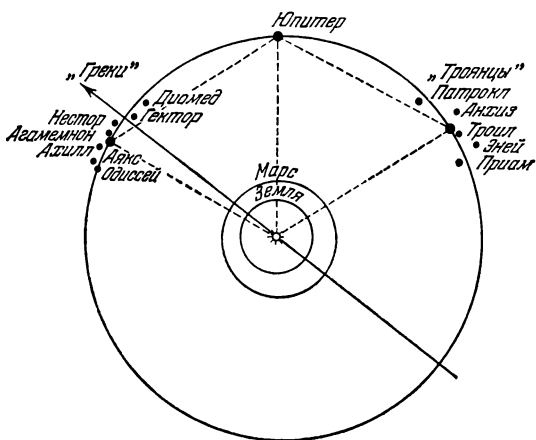


Рис. 9. Группы астероидов-троянцев.

Любопытно, что троянцы не единственная природная иллюстрация частного случая задачи трех тел. В 1959 г. польский астроном Кордылевский обнаружил вблизи треугольных точек либрации системы Земля — Луна обширные облака мелкой космической пыли. Лишь в очень прозрачные темные ночи и при благоприятном расположении Луны эти облака Кордылевского можно обнаружить как размытые слабосветящиеся пятна. Очевидно, в роли троянцев здесь выступают мириады мелких частичек межпланетной космической пыли, захваченных на устойчивые орбиты совместным притяжением Земли и Луны.

Еще задолго до открытия троянцев, 13 августа 1898 г., на Берлинской обсерватории обнаружили необычный астероид. Судя по негативу, за сутки эта малая планета проходила на небосводе путь, равный видимому поперечнику Луны. Мы теперь знаем примеры гораздо более удивительные, но в конце прошлого века случай казался из ряда вон выходящим.

Когда вычислили орбиту Эрота (как наименовали необычный астероид), оказалось, что большая ее часть расположена внутри орбиты Марса. Перигелийное расстояние получилось равным 1,13 а. е., афелийное — 1,78 а. е. а наклонение орбиты — близким к  $11^\circ$

Наиболее поразительным казалось то, что в периоды максимальных сближений Эрота с Землей расстояние между этими небесными телами сокращается до 23 300 000 км. Иначе говоря, Эрот оказался тогда после Луны самым близким к Земле небесным телом.

«Год» Эрота продолжается 1,76 земного года. Можно подсчитать, что великие противостояния Эрота (т. е. наибольшие сближения его с Землей) повторяются через 37 и 44 года. Когда одно из них наступило в 1931 г., Эрот подошел к Земле на расстояние 26 млн. км — событие не только любопытное, но и полезное. Поясним подробнее, что мы имеем в виду.

Как известно, относительные расстояния планет от Солнца (т. е. отношения больших полуосей планетных орбит к большой полуоси орбиты Земли) можно получить непосредственно из наблюдений. Представьте себе, например, противостояние Марса. Оно наступает тогда, когда Марс кульминирует в местную полночь — факт, получаемый из наблюдений. Через месяц взаимное расположение Солнца, Земли и Марса изменится. Вместо того, чтобы располагаться на одной прямой, они теперь образуют вершины некоторого треугольника. В нем угол при Солнце известен — он равен разности дуг, пройденных Землей и Марсом по их орбитам (будем считать их для простоты круговыми). Дуги же легко определяются по периодам обращения Земли и планет, получаемым из наблюдений.

Угол при Земле между направлением на Солнце и направлением на Марс называется элонгацией, и его находят по положениям Солнца и Марса на небе. Таким образом, в

рассматриваемом треугольнике известны все углы \*), а значит (по теореме синусов), можно найти и отношение радиусов орбит Земли и Марса:

$$\frac{MC}{ЗС} = \frac{\sin \angle МЗС}{\sin \angle ЗМС}.$$

Факт этот весьма примечателен. Он объясняет, как Кеплер мог сформулировать свой третий закон движения планет, связывающий расстояния планет от Солнца с их периодами обращения, не зная самих этих расстояний. Все дело в том, что в третьем законе Кеплера

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$$

(квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся, как кубы их расстояний от него) фигурируют не абсолютные расстояния планет (они были измерены впервые в XIX в.), а лишь отношение этих расстояний. Значит, Кеплеру были известны, так сказать, пропорции планетных орбит и он мог правильно изобразить их на чертеже, не указывая, однако, масштаба.

Отсюда следует, что если для любой планеты удастся измерить ее расстояние до Солнца, «единица масштаба» будет найдена, и все остальные расстояния в Солнечной системе получатся в итоге несложных вычислений.

Сближение Эроса с Землей — прекрасный случай для решения такой задачи. Наблюдая Эрот из разных, достаточно далеких друг от друга обсерваторий в один и тот же момент времени, можно измерить его кажущееся смещение на фоне звездного неба. Звездообразность Эроса будет способствовать высокой точности измерений. Определив же расстояние Эроса от Земли, можно уточнить величину астрономической единицы — среднего расстояния от Земли до Солнца, главной «единицы масштаба» в астрономии.

Эрот был первой из малых планет, наблюдения которой существенно уточнили величину астрономической единицы. В дальнейшем для этой цели использовали и другие, близко проходившие от Земли астероиды. В настоящее время все эти способы устарели и уступили место радиолокационным методам определения расстояний от планет.

---

\*) Вершина треугольника, совпадающая с Солнцем, обозначена буквой С, с Землей — З, с Марсом — М.

Эрот обратил на себя внимание также необычными колебаниями блеска. Впервые замеченные еще в 1901 г., эти колебания были изучены рядом астрономов. Судя по всему, они связаны с физической природой Эрота, не вполне ясными пока особенностями его формы и строения.

### Ганимед и его группа

Астероид, получивший наименование Ганимед \*), был впервые обнаружен 23 октября 1924 г. на обсерватории в Бергердорфе. Значительный видимый блеск при открытии

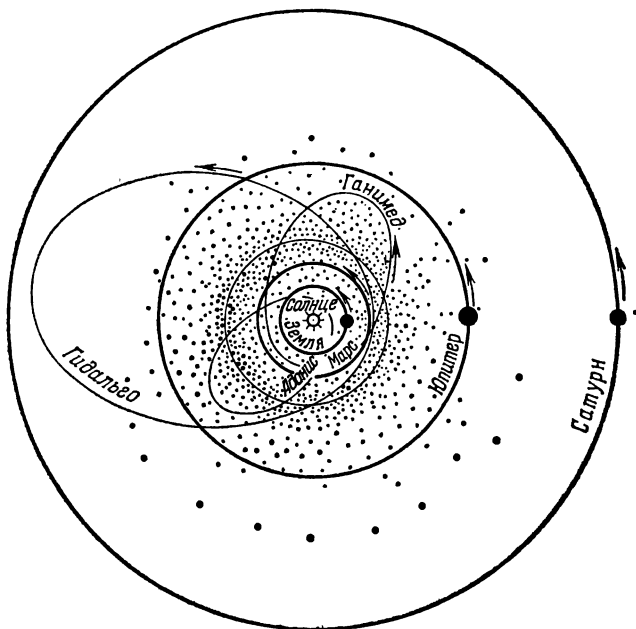


Рис. 10. Орбиты некоторых замечательных астероидов.

(9,5-й зв. величины), необычно быстрое видимое движение выделяли эту малую планету среди остальных. Почти уникальным было и направление движения — прямое, с востока на запад, в отличие от попятного движения, которым обладает большинство астероидов. По своему эксцентри-

\*) Наименование Ганимед носит также крупнейший из спутников Юпитера.

ситету (0,542) и наклонению (около  $26^\circ$ ) орбита Ганимеда напоминала орбиту короткопериодической кометы (рис. 10).

Известны еще два астероида — Альберт и Алинда, — орбиты которых обладают сходными характеристиками. Примечательно, что они могут сравнительно близко подходить к Земле, например, в 1924 г. минимальная дистанция между Ганимедом и Землей составила 0,5 а. е. Впрочем, в этом отношении есть астероиды еще более замечательные. Главная особенность малых планет типа Ганимеда — их весьма вытянутые, «кометообразные» орбиты.

### Гидальго

Этот уникальный астероид, открытый в октябре 1920 г., обладает двумя исключительными особенностями: большая полуось его орбиты — 5,8 а. е., а наклонение орбиты — около  $42^\circ$ . Иначе говоря, по сравнению с остальными малыми планетами астероид Гидальго обращается вокруг Солнца по самой крупной и самой «наклоненной» к эклиптической орбите. Если бы этот угол наклона был близок к нулю, то Гидальго в афелии подходил бы к Сатурну — из-за большого эксцентриситета (0,66) расстояние Гидальго от Солнца меняется от 1,9 до 9,7 а. е.! Однако благодаря значительному наклонению орбиты минимальное расстояние Гидальго от Сатурна никогда не бывает меньше 5,7 а. е. Любопытно, что «год» Гидальго равен 13,7 земного года — другого такого случая среди астероидов мы не знаем.

Подсчитано, что около 1130 г. Гидальго проходил очень близко от Юпитера, который своим могучим притяжением резко изменил первоначальную орбиту. Впрочем, какова была последняя, в деталях не выяснено.

### Амур, Аполлон, Адонис и Гермес

Все эти малые планеты объединяет одна особенность: в своем полете вокруг Солнца они могут иногда очень близко подходить к орбите Земли. Именно это обстоятельство и привело к открытию Амура, Аполлона, Адониса и Гермеса — на больших расстояниях эти планетки с поперечниками порядка 1—2 км попросту остались бы незамеченными.

Амур и Аполлон были открыты в 1932 г., Адонис — в 1936 г., Гермес — в 1937 г. Из этой группы последний астероид, пожалуй, наиболее замечателен.

В часы открытия он почти «летел» по небу — за сутки Гермес переместился на  $90^\circ$  по прямому восхождению, описав четверть небосвода!

Большая полуось орбиты Гермеса (1,3 а. е.) мало отличается от астрономической единицы, и в моменты наиболее тесных сближений с Землей расстояние между Гермесом и нашей планетой может сокращаться до 580 тыс. км.

К сожалению, из-за незнания точных орбит Гермес, Адонис и Аполлон должны считаться безвозвратно потерянными. Лишь очередные встречи с Амуром могут быть заранее предсказаны, и эта малая планета неоднократно наблюдалась в периоды своих оппозиций. К сожалению, минимальное расстояние до Амура никогда не становится меньше 16 млн. км.

## Икар

Этот астероид вполне можно отнести к предыдущей группе. Однако его особенности настолько уникальны, что об Икаре стоит рассказать особо.

Икар был открыт 26 июня 1949 г. на обсерватории Маунт Паломар (США). Почти во всех отношениях его орбита оказалась исключительной: эксцентриситет 0,83, наклонение  $23^\circ$ , большая полуось 1,08 а. е. (рис. 11).

Обращаясь вокруг Солнца с периодом, близким к году (409 суток), Икар в перигелии подходит к Солнцу на расстояние 28 млн. км, т. е. на 30 млн. км ближе, чем Меркурий. При этом поверхность Икара должна накаляться до температуры в  $500^\circ\text{C}$ , между тем как в афелии, уходя за орбиту Марса, Икар сильно охлаждается.

Вряд ли эти значительные колебания температуры не сказываются на физическом строении Икара. Скорее можно думать, что физическая природа этой малой планеты сильно отличается от природы других астероидов.

Икар очень мал — вряд ли его поперечник превышает километр, и только близость к Земле в определенные моменты привела к тому, что его заметили. При наиболее благоприятных для наблюдений сближениях расстояние между Икаром и Землей сокращается до 6—7 млн. км.

После своего открытия Икар наблюдался во время многих противостояний. Поэтому его орбита известна достаточно хорошо и прогнозам о встречах Икара с Землей можно вполне верить.



В июне 1968 г. произошло очередное сближение Икара с Землей. 14 июня расстояние между ними сократилось до 6,4 млн. км. В этот день Икар казался звездочкой 11-й зв. величины, заметно движущейся со скоростью около градуса в час от Полярной звезды в сторону созвездия Волопаса. Икар удалось сфотографировать на нескольких советских обсерваториях (рис. 12). Любопытно, что еще 12 июня на

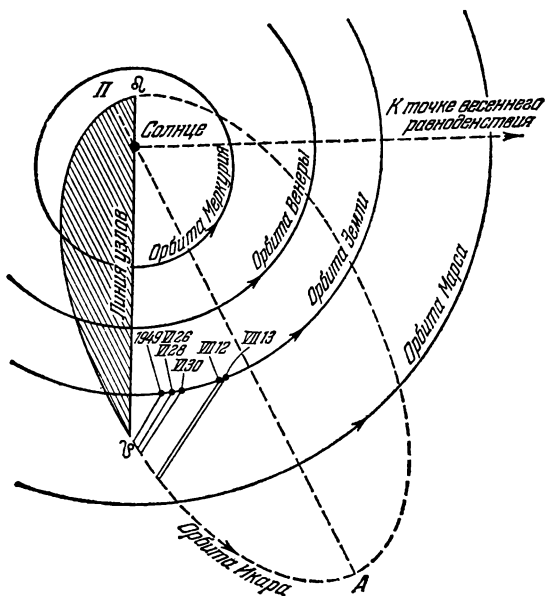


Рис. 11. Орбита астероида Икар.

Крымской астрофизической обсерватории Икар был сфотографирован с помощью телевизионной системы, соединенной с 2,6-метровым рефлектором. Нелепые слухи, распространившиеся несколько лет назад о столкновении Икара с Землей в 1968 г. и о катастрофических последствиях такого столкновения, как и следовало ожидать, не оправдались.

Для астрономии Икар интересен во многих отношениях. В частности, его сближения с Меркурием позволяют уточнить массу последнего. По движению в пространстве перигелия орбиты Икара можно проверить один из эффектов теории

относительности. Наконец, не исключено, что в будущем к этой замечательной малой планете удастся запустить автоматическую межпланетную станцию. Наблюдения вблизи

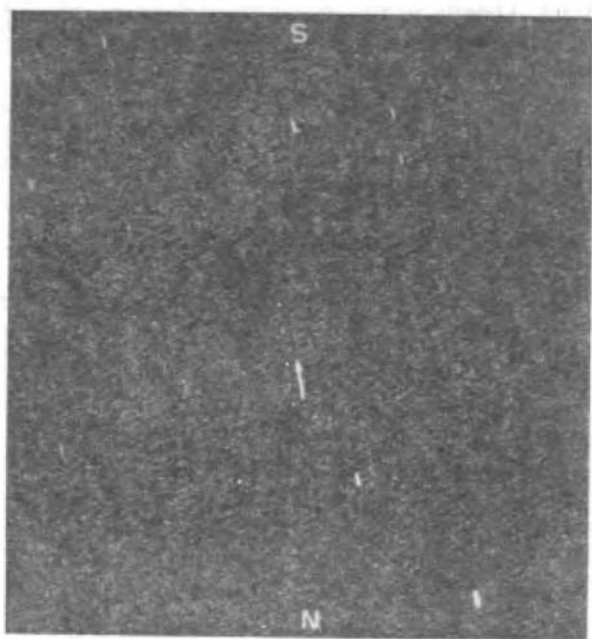


Рис. 12 Фотография астероида Икар.

не говоря уже о посадке) могут значительно обогатить наши пока еще очень скудные сведения о физической природе астероидов.

## **ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МАЛЫХ ПЛАНЕТ**

Еще Гаусс и Ольберс считали изучение блеска малых планет весьма важным средством для выяснения их физической природы. Будучи телами несамосветящимися, астероиды рассеивают падающее на них солнечное излучение, благодаря чему и становятся доступными для наблюдения.

Два фактора прежде всего определяют видимый блеск малой планеты, т. е. освещенность, создаваемую ею на поверхности Земли. Это, во-первых, расстояние астероида от Земли в момент наблюдения и, во-вторых, его расстояние от Солнца. Говоря более конкретно, видимый блеск малой планеты изменяется обратно пропорционально квадратам расстояний до Солнца и до Земли.

Обозначим блеск астероида на расстоянии  $r$  от Солнца и на расстоянии  $\Delta$  от Земли через  $I$ , а под  $I_0$  будем понимать блеск малой планеты соответственно для расстояний  $r_0$  и  $\Delta_0$ . В этом случае оказывается, что

$$I = I_0 \frac{r_0^2 \Delta_0^2}{r^2 \Delta^2}.$$

Здесь за  $r_0$  принимается большая полуось  $a$  орбиты астероида, а за  $\Delta_0$  — величина  $a-1$ , равная, очевидно, расстоянию от Земли до малой планеты в момент ее противостояния.

Если, используя известную формулу Погсона

$$\frac{I}{I_0} = 2,512^{m_0 - m}$$

перейти от блеска  $I$  и  $I_0$  к соответствующим звездным величинам  $m$  и  $m_0$ , то приведенная выше формула после логарифмирования примет вид

$$m = m_0 - 5 \lg a (a - 1) + 5 \lg (r \Delta).$$

Звездная величина  $m_0$  астероида в момент его противостояния зависит от размеров орбиты малой планеты и, следовательно, не характеризует ее физических свойств. Удобнее поэтому пользоваться другой величиной, называемой абсолютной звездной величиной малой планеты. Под этим термином понимают ту видимую звездную величину, которую имел бы астероид, удаленный одновременно от Солнца и Земли на расстояние в 1 а. е. При этом считается, что к Земле обращена вся освещенная половина астероида, т. е. что его фаза соответствует полнолуннию.

Нетрудно сообразить, что два первых условия противоречат третьему. При равной удаленности от Земли и Солнца астероид образует с ними вершины равностороннего треугольника, а значит, астероид будет обладать заметной фазой. Поэтому абсолютная звездная величина малой планеты есть некоторая абстракция, весьма, впрочем, удобная для характеристики физических свойств астероида.

Полагая  $\Delta = r = 1$  а. е. и обозначая абсолютную звездную величину астероида буквой  $g$ , получаем

$$g = m_0 - 5 \lg a (a - 1),$$

откуда, учитывая написанные выше формулы, окончательно имеем

$$m = g + 5 \lg (r\Delta).$$

Таким образом, зная  $g$ , можно для любых расстояний  $r$  и  $\Delta$  вычислить видимую звездную величину  $m$  данного астероида. Очевидно, и наоборот, по измеренным  $m$ ,  $r$ ,  $\Delta$  можно найти  $g$ .

Чем больше абсолютная величина  $g$  астероида, тем он (при прочих равных условиях!) крупнее. Любопытно, что с уменьшением  $g$  количество астероидов, обладающих данной абсолютной звездной величиной, неуклонно возрастает. Несомненно, что огромное множество мелких и мельчайших астероидов из-за малой  $g$  просто пока недоступны современным инструментам.

Чтобы вычислить диаметр астероида, в первом приближении принимаемого за сферическое тело, недостаточно знать только  $g$ . Необходимо, сверх этого, задаться определенным альбедо, т. е. величиной, характеризующей отражательную способность данного астероида. Под альбедо понимают отношение количества рассеянного планетой света к количеству света, полученного ею от Солнца. Альбедо Луны, например, равно 0,07. Это означает, что лунная поверхность рассеивает лишь 7% падающего на нее солнечного излучения. Таким образом, альбедо характеризует степень черноты поверхности, и из приведенных примеров следует, что, скажем, лунные поверхностные породы весьма темные, сходные по отражательной способности, например, с такими земными породами, как вулканические туфы.

Приведенное определение альбедо не вполне строго. В более точных формулировках учитывается закон рассеяния света, принимаемый для данной поверхности. Однако входить в детали и тонкости этого не совсем простого вопроса здесь вряд ли уместно. Физическая же суть альбедо достаточно ясна и при не вполне строгих формулировках. Какое же альбедо следует взять при вычислениях диаметров малых планет?

Как уже неоднократно отмечалось, все известные астероиды выглядят звездообразными объектами, видимые поперечники которых полностью маскируются гораздо боль-

шими по размерам дифракционными дисками. Лишь первые четыре малые планеты: Церера, Юнона, Паллада и Веста — в наиболее мощные телескопы видны как крошечные диски. Рассмотреть эти диски пытались еще Вильям Гершель в 1802 г. и Шретер в 1805 г. Однако только столетие спустя, в 1901 г., Барнард с помощью крупнейшего в мире Йеркского 40-дюймового рефрактора надежно измерил видимые диаметры четырех крупнейших астероидов. У Цереры диаметр диска чуть-чуть превысил секунду дуги ( $1'',06$ ), у остальных трех он меньше  $1''$

Зная видимые угловые размеры астероида, его видимую звездную величину и расстояние от Земли, можно вычислить альbedo малой планеты. Так как это оказалось пока возможным лишь для четырех астероидов, у нас нет никакой уверенности, что такими же альbedo обладают все остальные малые планеты. Выход находят в том, что, например, альbedo всех астероидов принимается равным альbedo Марса или другой крупной планеты. Произвол этого условия очевиден, а отсюда ясно, что размеры малых планет с желательной точностью нам пока неизвестны.

Как распределяются малые планеты по их размерам? Только два астероида, Церера и Паллада, имеют диаметр, превосходящий 400 км, и лишь у 14 малых планет поперечники больше 240 км. Общая закономерность очевидна: с уменьшением размеров число астероидов, обладающих данными размерами, монотонно возрастает. Наименьшие из известных астероидов, как, например, Гермес, имеют поперечники, измеряемые всего сотнями метров. Нет сомнения, что с ростом проникающей силы телескопов уже в недалеком будущем в глубинах околосолнечного пространства удастся выловить крошечные планетки, сравнимые по размерам с крупнейшими из метеоритов. Трудно указать нижнюю границу размеров астероидов. Непрерывное дробление астероидных тел приводит к тому, что в поясе астероидов, несомненно, существуют осколки диаметром в метры, сантиметры, миллиметры и микроны. Если при этом такая частица обращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, хотя бы частично расположенной в поясе астероидов, то у нас нет оснований отказывать в наименовании «астероид» для такого объекта, какими бы малыми размерами он ни обладал.

Впрочем, все дело в терминологии. Можно условно называть астероидами только те объекты астероидного кольца,

поперечники которых, скажем, превосходят сто метров или метр. Пока же такое ограничение не введено, и поэтому рассуждения об общем числе всех астероидов Солнечной системы остаются совершенно неопределенными.

Иначе выглядит другая задача — оценить общую массу астероидного кольца. Решать ее можно по-разному.

Считая форму астероидов сферической, легко подсчитать, что общий объем первых 1500 малых планет равен объему шара с поперечником 1340 км, а это почти в девять раз меньше диаметра Земли. Любопытно, что  $2/3$  этого объема приходится на долю самых крупных астероидов (их номера в каталоге: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 15, 16, 22, 29, 39, 52, 196, 349, 511, 617, 704). Конечно, такая оценка — лишь первое приближение к истине. В ней учтена только часть астероидов, да и к тому же все астероиды считаются шарами, что заведомо неверно.

Результат получится более точным, если учесть не только открытые, но и неизвестные пока астероиды с диаметром, превышающим 1 км. Это можно сделать, используя эмпирический закон, связывающий число астероидов и их размеры. Полагая, что эта закономерность простирается до астероидов диаметром в 1 км, И. И. Путилин еще в 1939 г. подсчитал, что общая масса всех астероидов, не меньших указанного предела (при условии, что их средняя плотность равна средней плотности Земли), близка к одной тысячной доле массы земного шара.

Самая лучшая оценка получится в том случае, если учесть возмущающее действие всего астероидного кольца на движение Марса. При таком методе учитывается масса всех астероидов, как открытых, так и неоткрытых, включая сюда все раздробленное твердое вещество, до мельчайших пылинок включительно.

Впервые оценка по этому методу была выполнена еще Леверрье. Рассмотрев отклонения в движении перигелия марсианской орбиты, Леверрье нашел, что общая масса всех астероидов не превышает  $1/4$  массы Земли и, скорее всего, близка к  $0,1$  массы земного шара. Позже С. Ньюком, пользуясь той же методикой, нашел массу астероидного кольца равной  $1/6$  массы Земли. К тому же выводу в конце прошлого века пришел П. Гарцер.

Проанализировав все проведенные по этому методу расчеты, И. И. Путилин сделал вывод, что суммарная масса астероидного кольца не может быть меньше  $0,1$  массы Земли.

Если принять, что средняя плотность астероидов равна средней плотности земного шара, то гипотетическая планета Фазтон, родоначальница пояса астероидов, должна была иметь диаметр, близкий к 5900 км. При средней же плотности  $3,7 \text{ г/см}^3$  диаметр Фазтона получается равным 6880 км, что на 140 км превосходит поперечник Марса.

Заметим, что и эти, так сказать, «гравитационные» оценки суммарной массы астероидов дают заниженный результат. Остаются неучтенными массы астероидов, движущихся вне астероидного кольца (например, троянцы). С другой стороны, несомненно, что первоначальная масса астероидного кольца могла быть существенно больше современной. Непрерывное дробление астероидов порождает осколки с резко эксцентричными эллиптическими или даже гиперболическими орбитами, которые навсегда покидают пояс астероидов и падают на Солнце, какую-нибудь крупную планету или вовсе покидают Солнечную систему.

Нет, пожалуй, другого района Солнечной системы, где процессы распада, деградации вещества совершались бы с такой односторонней направленностью, как в кольце астероидов. Там все разрушается, мельчает, «рассасывается» в околосолнечном пространстве, и не видно процессов, которые бы существенно пополняли веществом деградирующий пояс астероидов.

Из всего сказанного естественно сделать вывод, что Фазтон (если, конечно, он существовал) мог быть крупной планетой земного типа, не уступающей по размерам Марсу, а может быть, даже и Земле. Мы еще не раз вернемся к проблеме реальности Фазтона, а сейчас обратим внимание читателя на другие физические особенности астероидов.

Если бы даже все малые планеты были идеальными шарами с совершенно гладкой поверхностью, всюду имеющей одну и ту же отражательную способность и окраску, то и тогда видимый блеск астероидов не оставался бы неизменным. Причина этого (кроме изменения расстояния от Солнца и Земли) заключается в изменениях *фазы* астероидов.

Углом фазы называют угол между направлениями из центра астероида к Солнцу и к наблюдателю. Чем больше этот угол, тем меньше (при прочих равных условиях) видимый блеск малой планеты. Связь этих величин, однако, в сильной степени зависит от характера строения поверхности малой планеты, от того, как она рассеивает падающие на нее солнечные лучи. Значит, изучая изменение видимого

блеска астероида в зависимости от его фазы, можно сделать некоторые выводы и о строении его поверхности.

Леонард Эйлер считал, что освещенность какой-либо поверхности зависит (кроме силы источника света и расстояния до него) лишь от угла падения лучей, освещающих данную поверхность. Если обозначить яркость площадки, которую видит наблюдатель, буквой  $B$ , угол падения буквой  $i$ , а освещенность данной площади буквой  $E_0$ , то закон Эйлера выразится простой формулой:

$$B = E_0 k \cos i,$$

где  $k$  — некоторая постоянная.

Назовем углом диффузного отражения  $e$  угол между нормалью к поверхности тела в данной точке и лучом, идущим от этой точки к наблюдателю. Тогда по закону, предложенному Ламбертом,

$$B = E_0 k \cos i \cos e.$$

Есть и более сложные законы, на которых мы останавливаться не будем. Приняв закон Эйлера или закон Ламберта, нетрудно найти теоретическую зависимость видимого блеска астероида от угла фазы. Сопоставив ее с данными наблюдений, можно сделать вывод, подчиняется ли поверхность данного астероида, например, закону Ламберта, а если не подчиняется, то чем вызваны наблюдаемые отклонения.

Многолетние наблюдения показали, что теория расходится с опытом. Регистрируемые изменения блеска с углом фазы гораздо больше тех, которые предсказывают теоретические формулы. Грубо говоря, видимый блеск астероида оказался пропорциональным углу фазы. На графике связь видимой звездной величины и угла фазы изображается прямой линией. Тангенс угла наклона этой прямой к горизонтальной оси называется коэффициентом фазы.

У разных астероидов коэффициенты фазы существенно различны. Отсюда следует, что строение поверхностей малых планет неодинаково. С другой стороны, расхождение между теорией и наблюдениями вызвано тем, что поверхности астероидов не абсолютно гладки (как это принимается в теории), а, наоборот, весьма неровны, шероховаты, с многочисленными возвышенностями и углублениями.

До сих пор мы говорили об изменениях блеска, вызываемых, в сущности, двумя причинами — изменением



расстояния от астероида до Солнца и Земли. Блеск при этом меняется медленно, и в общих чертах, хотя бы качественно, все эти перемены удастся предвидеть. Другое дело — те короткопериодические, быстрые, подчас неправильные колебания блеска, несомненно присущие большинству (если не всем) астероидам, — колебания, причина которых далеко не во всех случаях понятна.

Впервые их обнаружили еще в 1901 г. известный немецкий астроном Оппольцер, наблюдавший астероид Эрот. Четверть века спустя стали известны еще 72 малых планеты с подобными быстрыми колебаниями блеска. В 1935 г. С. К. Всехсвятский и Ю. В. Филиппов показали, что по меньшей мере 44% изученных ими астероидов быстро меняют свой видимый блеск. Позже колебания блеска малых планет изучались многими астрономами, в частности В. П. Цесевичем на Одесской обсерватории. В итоге можно, пожалуй, прийти к заключению, что все без исключения малые планеты сравнительно быстро меняют свой блеск. В тех случаях, когда амплитуда колебаний достаточно велика, колебания блеска фиксируются непосредственно. В остальных случаях их можно лишь подозревать, полагая, что для существующих инструментов они неуловимы. Однако, повторяем, все дело, по-видимому, в чувствительности аппаратуры. Во всяком случае, по мере совершенствования фотометров количество зарегистрированных «переменных» астероидов неуклонно растет.

Быстрые колебания блеска малых планет можно рассортировать на два типа — периодические и неправильные. В первом случае (например, для астероидов Эвномия, Низа, Антигона и других) четко выявляется определенный период, в среднем близкий к четырем часам. Амплитуда при этом невелика и, как правило, не превосходит  $0^m,4$ . Хотя при визуальных оценках блеска переменных звезд опытный наблюдатель дает точность, близкую к  $0^m,1$ , регистрация блеска астероидов с помощью фотометров, разумеется, предпочтительнее. Впрочем, и систематические визуальные оценки блеска малых планет представляют научную ценность.

Трудно указать иную причину для этих явлений, кроме вращения астероидов вокруг некоторых осей. При этом видимый блеск может меняться как из-за того, что к наблюдателю поворачиваются части поверхности астероида с разным альбедо, так и по той причине, что сам астероид имеет неправильную, осколочную форму.

Любопытно, что астероиды, заметно меняющие свой видимый блеск, по своей окраске остаются (в пределах точности измерений) неизменными. Значит, главная причина не в различии окраски и строения отдельных частей астероидов, а в его неправильной, осколочной форме.

Представьте себе такую исполинскую глыбу, «кувыркающуюся» в пространстве. Так как форма астероида неправильная, в разные моменты времени он отражает в сторону Земли различные по интенсивности потоки солнечного света. Отсюда и те колебания блеска, которые фиксирует земной наблюдатель.

Труднее объяснить те изменения блеска, в которых не удается выявить какую-либо периодичность. Так, например, малая планета Бруция от одного противостояния к другому меняет свой блеск весьма значительно (до  $1^m, 5$ ), становясь то ярче, то слабее. Не менее загадочны перемены в блеске астероида Эрот.

Пожалуй, ни у одной из малых планет изменения блеска не изучались так тщательно, как у Эрота. Хотя исследования продолжаются почти семь десятилетий, многое и сегодня остается неясным.

Кривая блеска Эрота сложная. В ней усматривается двойная периодичность с периодами 2 часа 51 мин. и 2 часа 25 мин., так что полный период близок к 5 час. 16 мин. Амплитуда также не остается постоянной, а меняется довольно сложным образом.

В гипотезах не было недостатка. Предполагали, что Эрот — двойная планета, состоящая из двух близких сигарообразных тел. Другие астрономы приписывали Эроту грушевидную форму. Пробовали объяснить факты тем, что альbedo разных частей Эрота существенно различно. Наконец, допускали даже существование на Эроте особых кристаллических горных пород с так называемым квазизеркальным отражением. Но все ухищрения оказались тщетными.

В 1931 г. во время сближения Эрота с Землей в 27-дюймовый рефрактор Иоганнесбургской обсерватории Эрот казался несколько вытянутым, напоминающим по форме восьмерку. Заметим, что при всех колебаниях блеска цвет Эрота остается неизменным. Значит, частично колебания блеска Эрота можно объяснить неправильностью его формы. Другие же причины еще ждут своего исследователя.

Цвет, окраска малых планет характеризуется, как и у звезд, показателем цвета, о котором уже упоминалось. Под

этим термином понимают разность между звездной величиной объекта, полученной из измерений на негативах (фотографическая звездная величина), и звездной величиной того же объекта по визуальным оценкам. Так как человеческий глаз наиболее чувствителен к желто-зеленым, а фотопластинка — к сине-фиолетовым лучам, показатель цвета для объектов различной окраски будет, естественно, неодинаков. Например, для красных звезд фотографический блеск меньше визуального, для голубых звезд — наоборот. Белые звезды спектрального класса А0 принимаются за нуль-пункт — для них показатель цвета считается равным нулю. Тогда у голубых звезд показатели цвета будут отрицательными, а у желтых, оранжевых и красных звезд — положительными. Говоря конкретнее, голубые звезды имеют средний показатель цвета, близкий к  $-0^m,33$ , желтоватые  $+0^m,33$ , желтые  $+0^m,67$ , оранжевые  $+1^m,12$  и красные  $+1^m,73$ .

Еще в 1911 г. Герцшпрунг нашел, что показатель цвета Цереры равен  $1^m,05$ . Так как астероиды отражают солнечный свет, а Солнце — желтая звезда с показателем цвета  $+0^m,79$ , то, очевидно, малая планета с чисто белой поверхностью будет иметь такой показатель цвета. Значит, малая планета с большим показателем цвета будет желто-оранжевой или красной.

Пионерская работа Герцшпрунга позже не подтвердилась — по современным данным показатель цвета Цереры равен  $0^m,70$ , т. е. она имеет почти нейтральный (серый) цвет, как в среднем и все остальные астероиды. В отдельных случаях, однако, отклонения от средней нормы получаются весьма значительными. Скажем, астероид Фортуна (показатель цвета  $+0^m,02$ ) обладает синеватым оттенком, астероид Помпея (показатель цвета  $1^m,15$ ) желтоват, как Луна, а астероид Амхерстия (показатель цвета  $+1^m,31$ ) и вовсе красновато-оранжевый. Примечательно, что средние показатели цвета астероидов ( $+1^m,03$ ) и метеоритов \*) ( $+1^m,08$ ) почти равны — факт, независимо от многих других подчеркивающий тождественность природы и происхождения этих небесных тел.

Спектральные наблюдения малых планет начались около ста лет назад, в 1874 г., когда Фогель визуально изучил спектр Весты. Результат получился неожиданный — в спектре выделялись линия излучения водорода  $H_3$  и две по-

---

\*) У метеоритов исследуется показатель цвета их свежих сколов.

лосы с длинами волн 577 и 518 мкм. Позже большинством исследователей этот результат оспаривался, хотя, недавно Н. А. Козырев снова, по-видимому, наблюдал аналогичный спектр Весты.

Разумеется, атмосферы у Весты, как и у других астероидов, быть не может: слишком малы их массы. Но спорадические истечения газов, вызванные солнечным нагревом и другими причинами, не исключены. Добавим, что Веста — астероид уникальный во многих отношениях. Фиолетовый конец спектра Весты периодически ослабляется, что может быть связано с ее осевым вращением и неоднородностью строения разных частей. Одни наблюдатели фиксировали заметные колебания показателя цвета Весты, другие, наоборот, уверяют, что он постоянен. Аналогичные изменения в спектре подмечены и у многих других малых планет. Вообще следует заметить, что у большинства астероидов фиолетовая и ультрафиолетовая части спектра сильно ослаблены, а иногда и просто отсутствуют. Причина этого явления пока не выяснена.

В тридцатых годах текущего века Лио, а за ним и другие астрономы предприняли изучение отражательной способности малых планет. Выяснилось, что во многих случаях в этом отношении астероиды и Луна схожи друг с другом, — значит, сходны и породы, слагающие их поверхности. Стоит, однако, заметить, что по своим отражательным свойствам Веста оказалась более похожей на мел, чем на лунную поверхность, — еще одна загадка астероида № 4.

Наши сведения о физических особенностях астероидов далеки от полноты, хотя физические исследования астероидов начались почти одновременно с открытием первых малых планет. Но до последнего времени они проводились от случая к случаю, без единой научно обоснованной международной программы. Главными считались, да и теперь считаются, небесно-механические задачи. Успехи космонавтики, однако, выдвигают физическое изучение малых планет в ряд важных и актуальных проблем астрономии.

## МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Астероиды, кометы, а также продукты их распада (метеориты, метеорные тела и космическую пыль) принято называть *малыми телами* Солнечной системы. Такая терминология в какой-то мере условна: известны спутники планет,

уступающие в размерах многим астероидам и тем не менее не включаемые в рассматриваемую группу малых тел. Так, например, из двенадцати спутников Юпитера восемь имеют поперечники, меньшие 160 км; из девяти спутников Сатурна четыре уступают в размерах крупнейшим из астероидов. К малым телам можно было бы причислить также Нериду — второй спутник Нептуна, диаметр которой близок к 300 км. Совсем крошки Фобос и Деймос — спутники Марса.

Небольшие размеры, однако, лишь один из признаков, объединяющих малые тела Солнечной системы. Не менее существен второй признак — самостоятельное обращение вокруг Солнца. В этом отношении наименьшие из астероидов и наибольшие из метеоритов вполне сходны друг с другом.

Как далеко простирается аналогия, сходство всех малых тел? Объединены ли они лишь чисто внешними признаками или есть факты, говорящие об общности их природы и происхождения?

Попробуем ответить на эти вопросы, сопоставив сначала астероиды и кометы.

Кометы принадлежат к числу наиболее удивительных и в то же время малоизученных небесных тел. Неожиданное появление комет, их сложная форма, быстрые изменения и последующее исчезновение — все эти явления с древних времен возбуждали всеобщий интерес и требовали объяснений.

Размеры комет колоссальны. Их хвосты тянутся на сотни миллионов километров, а поперечник головной части комет нередко превышает диаметры Солнца и звезд. Но, несмотря на исполинские размеры, заставляющие считать кометы наиболее крупными телами Солнечной системы, массы комет ничтожно малы. Основная доля вещества кометы сосредоточена в ее твердой части, называемой ядром. По новейшим данным ядра комет — ледяные глыбы из замерзших газов с поперечником не более нескольких километров, включающие в себя в качестве примесей многочисленные тугоплавкие твердые частицы (рис. 13). Ядра комет обращаются вокруг Солнца по сильно вытянутым эллиптическим орбитам. Когда комета приближается к Солнцу, ее ядро нагревается и замерзшие газы, возгоняясь, образуют голову и хвост кометы. Твердые частицы, находящиеся в ядре, служат материалом для формирования пылевых хвостов и метеорных потоков.

В кометах происходят сложные явления, вызываемые главным образом воздействием солнечного тепла, света и корпускулярного солнечного излучения.

Современные средства наблюдений позволяют обнаружить комету тогда, когда ее расстояние от Солнца еще достаточно велико (2—3 а. е.). При такой удаленности от Солнца комета видна в телескоп как небольшое круглое туманное пятнышко с более ярким звездообразным уплотнением в центре — ядром. Туманность, окружающая ядро, называется комой.

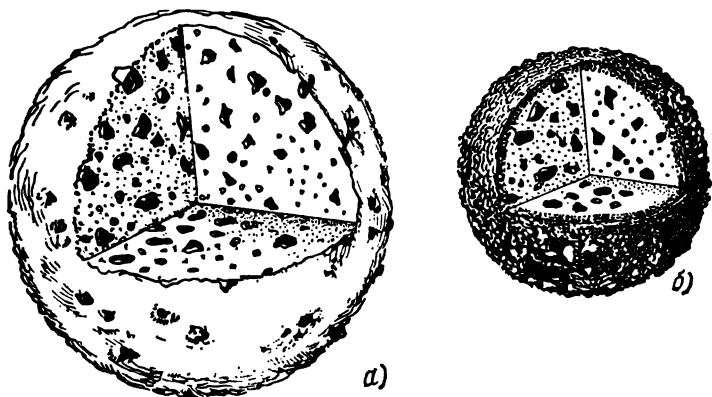


Рис. 13. Ядра комет: а) «молодой», б) «старой».

При приближении кометы к Солнцу из ее ядра в направлении к Солнцу начинают выделяться светящиеся веерообразные струи, называемые и з л я н и я м и. Появление излияний сопровождается увеличением общей яркости кометы. Увеличиваясь в размерах и расширяясь на конце, обращенном к Солнцу, излияния напоминают светящийся фонтан, бьющий из ядра кометы. Это сходство особенно усиливается тогда, когда по мере сближения кометы с Солнцем излияние выделяет на своем конце струи, загибающиеся в сторону, противоположную Солнцу.

В дальнейшем внешняя, обращенная к Солнцу граница излияний становится более или менее резко очерченной, образуя так называемую о б л о ч к у. Оболочка по своим очертаниям близка к параболоиду, причем ядро кометы находится в его фокусе. Нередки случаи, когда наблюдаются не одна, а несколько оболочек, охватывающих одна другую и имеющих общий фокус в кометном ядре.

Кома, ядро, излияния и оболочка образуют г о л о в у кометы. По мере приближения кометы к Солнцу струи излияний огибают со всех сторон ее ядро и уходят в сторону, противоположную Солнцу, образуя один или несколько кометных х в о с т о в. Некоторые из кометных хвостов почти прямолинейны, другие имеют заметную кривизну.

Очень редко у комет образуются аномальные хвосты. Они представляют собой конусообразные выступы, направленные из головы кометы в сторону Солнца. Наконец, у некоторых комет можно наблюдать светящиеся кольца, имеющие общим центром кометное ядро. Они называются г а л о с а м и. Обнаружено, что галосы непрерывно расширяются, сохраняя концентричность с ядром и свою кольцевую форму. Удалось выявить три основных типа кометных хвостов. Хвосты I типа — прямолинейные, тянущиеся вдоль продолженного радиуса-вектора \*) ядра кометы в сторону, противоположную Солнцу (рис. 14).

На старинных рисунках комет хвосты II типа обычно изображаются в виде изогнутой метлы или сабли. Здесь уловлена их характерная черта — они, как правило, шире хвостов I типа и искривлены в сторону, обратную движению кометы. Еще более отклонены в ту же сторону хвосты III типа, в отличие от хвостов II типа представляющие собою светлые прямолинейные полосы, тянущиеся из ядра кометы. Наконец, иногда наблюдаются аномальные хвосты — конусообразные выступы из головы кометы, направленные к Солнцу.

Физическая природа кометных хвостов разных типов различна. Хвосты I типа — газовые, состоящие исключительно из ионов ( $\text{CO}^+$ ,  $\text{N}_2^+$ ,  $\text{CO}_2^+$  и других). В хвостах II типа присутствует мельчайшая пыль (поперечники пылинок — порядка  $10^{-5}$  см), покинувшая кометное ядро. Кроме того, в хвостах II типа, возможно, присутствуют некоторые нейтральные молекулы и продукты их распада. Твердые частицы, образующие аномальные хвосты, настолько крупны, что световое давление солнечных лучей практически никак не отражается на их движении.

Что касается головы кометы, то она включает в себя как пыль (в центральной части, близкой к ядру), так и нейтральные газовые молекулы ( $\text{C}_2$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{CN}$ ).

---

\*) Радиусом-вектором ядра кометы называется отрезок прямой, соединяющий Солнце и ядро.

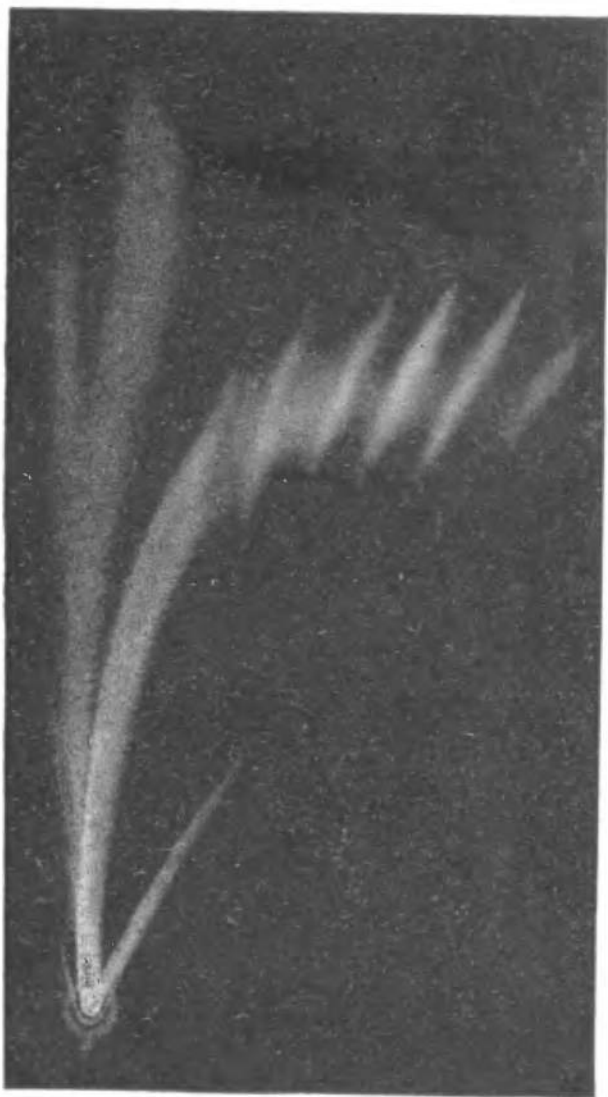


Рис. 14. Большая январская комета 1910 г., у которой наблюдались все типичные кометные формы.



Физика комет зародилась еще в прошлом веке, но только в последние 10—15 лет эту область астрофизики охватил тот необычный бурный прогресс, который вообще характерен для современного естествознания. Только сейчас стало очевидно, насколько сложны физические процессы в кометах и как наивны претензии тех исследователей комет, которые в прошлом считали возможным объяснить кометные явления чисто механическими причинами.

Любую комету можно считать малым телом с непрерывно обновляющейся атмосферой. Как уже отмечалось, грандиозные размеры голов и хвостов комет еще не дают нам права считать кометы исполинскими небесными телами, так как почти вся масса кометы сосредоточена в ее очень компактном ядре. Что же касается головы и хвостов кометы, то их средняя плотность в миллиарды раз меньше плотности комнатного воздуха — факт, оправдывающий известное образное наименование комет («видимое ничто»).

Неоднократно ядра комет проходили вблизи Земли и других крупных планет, однако эти сближения никак не отразились на движении последних. Бывало и так (например, в 1910 г.), что ядра комет проходили между Землей и Солнцем. Однако самые тщательные наблюдения не дали желаемых результатов — никаких следов кометного ядра на фоне солнечного диска замечено не было. Уже эти факты свидетельствуют о крайне малой массе кометного ядра.

В телескоп в центре головы кометы удается различить звездообразное сгущение — так называемое фотометрическое ядро. Но это еще не то реальное твердое ядро, которое служит, так сказать, «основой» кометы. Чем больше применяемое в телескопе увеличение, тем меньше фотометрическое ядро — верный признак, что в данном случае мы видим газовый сгусток со сферическим распределением плотностей, окружающий твердое ядро.

В истории кометной астрономии лишь дважды, по-видимому, удалось разглядеть настоящее ядро кометы. Случилось это в 1927 и в 1930 гг., когда кометы 1927 VII и 1930 VI подошли к нашей планете на расстояние в несколько миллионов километров. Известный французский астроном Бальде на Медонской обсерватории рассмотрел в головах комет звездообразные объекты, не уменьшающиеся при росте увеличения окуляра. По оценке Бальде (при альбедо 0,1), в обоих случаях поперечники кометных ядер оказались

близкими к 400 м — результат, вряд ли сильно отличающийся от действительности.

Как можно представить себе строение кометного ядра? Что это — рой из отдельных мелких частиц, монолит типа исполинского метеорита или нечто иное?

В 1950 г. казанский астроном А. Д. Дубяго показал, что в ядре из глыб отдельные глыбы будут каждые несколько минут сталкиваться друг с другом, дробясь и разрушаясь при этом. Так как столкновения вызовут выделение тепла, безвозвратно покидающего ядро, общая механическая энергия ядра станет непрерывно уменьшаться. В результате за короткий срок движение отдельных глыб в ядре прекратится и рой соберется в единое компактное тело.

Однако здесь снова возникают затруднения. Считать ядро кометы монолитным телом сравнительно небольших размеров нельзя, так как в этом случае непонятно, каким образом с весьма малой площади поверхности такого ядра при его сближении с Солнцем выделяется значительное количество газов.

Выход из затруднения в настоящее время находят в «ледяной» модели кометного ядра, впервые предложенной еще в 1947 г. С. К. Всехсвятским. Согласно новейшим взглядам, основная масса кометного ядра состоит из «льдов» различных газов — метана, аммиака, углекислого газа и других. Среди них есть и обычный водяной лед. Все эти «льды» не чисты — к ним примешаны многочисленные твердые тугоплавкие частицы металлического или каменистого характера. Когда такое монолитное «ледяное» ядро приближается к Солнцу, затвердевшие газы испаряются, минуя жидкое состояние (возгоняются), а твердые частицы, входившие в них как примеси, оседают на поверхности ядра, образуя более или менее толстый слой твердой пыли. Плохая теплопроводность этого слоя предохраняет «ледяное» ядро от слишком быстрого испарения и обеспечивает комете достаточно длительное существование.

Когда говорят о кометных «льдах», может сложиться ошибочное представление, что эти льды похожи по своей плотности, скажем, на хорошо знакомые нам зеленоватые глыбы речного льда. На самом деле это не так. Кометные ядра, постепенно распадаясь, образуют метеорные потоки. Частицы этих потоков, или спорадические метеорные тела, давно уже потерявшие связь с кометой-родоначальницей, сталкиваются с Землей, проносятся метеорами по небосклону.

И вот если в такие моменты зафиксировать метеор на фото-пластинке, сфотографировать его спектр, изучить другие физические качества, а главное, выяснить, как тормозилось метеорное тело в атмосфере, то можно определить среднюю плотность этой частицы кометного ядра. По многим, достаточно надежным данным, она близка к  $0,1 \text{ г/см}^3$ . Иначе говоря, кометные «льды» по своей плотности скорее похожи на очень рыхлый снег, но уже никак не на плотные льдины.

Сравнивая астероиды с кометами, мы не будем входить в детали тех физических процессов, которые совершаются в головах и хвостах комет. Отметим лишь, что непрерывно обновляющиеся атмосферы комет находятся главным образом под действием солнечного излучения — электромагнитного и корпускулярного. Роль первого сводится не только к нагреву кометного ядра и, так сказать, к стимуляции всех активных процессов, наблюдаемых в кометах. Давление солнечных лучей — вот та отталкивательная сила, которая заставляет кометные хвосты (кроме аномальных) направляться в сторону, противоположную Солнцу.

Обычного, светового давления оказывается, однако, недостаточно для объяснения тех огромных отталкивательных ускорений, которые свойственны частицам хвостов I типа. Здесь главная роль принадлежит иному фактору — корпускулярному излучению Солнца.

Поток корпускул (в основном протонов), выброшенных Солнцем, несет с собою так называемое «вмороженное» магнитное поле. Хотя напряженность его весьма невелика (порядка  $10^{-4}$  —  $10^{-5}$  эрстед), взаимодействие этого поля с плазмой головы кометы и ее хвостов при их встрече оказывается весьма существенным. Как показали исследования последних лет, такими взаимодействиями удастся объяснить не только форму хвостов I типа и отталкивательные ускорения, в них наблюдаемые, но и многие другие кометные явления.

Два-три десятилетия назад, когда физическая природа комет была изучена плохо, высказывались гипотезы о близком родстве (если не тождественности) комет и астероидов. Ссылались при этом на старинные наблюдения В. Гершеля и Шретера, якобы видевших Цереру и Палладу окруженными какими-то туманными оболочками. Приводили и более свежие (1928 г.) наблюдения Комаса-Сола, уверявшего, что ему удалось различить туманные оболочки у астероидов Океаны и Эльзы. С другой стороны, указывали на уникаль-

ную комету Швассмана — Вахмана, обращающуюся вокруг Солнца по слабо вытянутому эллипсу между орбитами Юпитера и Сатурна. Некоторые же из комет (например, 1913 III) имели еле различимые комы.

Сегодня все эти соображения кажутся неубедительными. Никаких постоянных газовых оболочек у астероидов, безусловно, нет. Наоборот, атмосферы комет — наиболее характерная и всегда наблюдаемая деталь этих небесных тел. Ядра комет — рыхлые снегоподобные образования с твердыми мелкими частицами. Все малые планеты — монолиты, напоминающие в этом отношении или спутники планет, или метеориты.

Лишь некоторые кометные орбиты несколько напоминают орбиты астероидов (например, орбита кометы Отерма). В целом же по всей совокупности своих элементов орбиты комет и астероидов не имеют между собою почти ничего общего. Так, например, большие полуоси орбит почти всех астероидов заключены в пределах от 2,2 до 3,6 а. е. Иная картина у комет: среднее значение полуосей орбит короткопериодических комет равно 5,9 а. е. Что же касается долгопериодических комет (а таковых большинство), то их полуоси в десятки и сотни раз превосходят полуоси орбит астероидов.

Столь же велики различия и в распределении эксцентриситетов. Около 98% астероидов обладает орбитами, эксцентриситеты которых не превышают 0,33. Между тем даже у короткопериодических комет (за отдельными исключениями) эксцентриситеты больше 0,4. К этому можно добавить, что и по распределению долгот перигелиев, узлов и наклонов кометы скорее «дополняют» астероиды, чем обнаруживают с ними какое-либо сходство.

В небесной механике рассматривается величина, называемая постоянной Якоби \*). Можно доказать, что если несколько небесных тел имеют общее происхождение, то постоянные Якоби должны быть для них весьма близки друг к другу. Объясняется это тем, что, несмотря на возмущения, которым подвергаются первоначальные орбиты, их постоянные Якоби почти неизменны.

Физический смысл постоянной Якоби достаточно прост. Представьте себе астероид, движущийся под действием тяго-

---

\*) Подробнее см. И. И. Путилин, Малые планеты, Гостехиздат, 1953.

тения Солнца и Юпитера (притяжением остальных тел пренебрегаем). Считается при этом, что Солнце и Юпитер обращаются вокруг общего центра их масс по круговым орбитам. Если рассматривать движение астероида относительно Юпитера и Солнца, то в таком относительном движении полная энергия астероида и будет постоянной Якоби.

Эти теоретические выводы много раз успешно выдерживали опытную проверку. Так, скажем, у астероидов одного и того же семейства постоянные Якоби почти тождественны. Есть ли сходство в постоянных Якоби у комет и астероидов — вот вопрос, от решения которого зависит окончательный вывод о родстве этих небесных тел.

Постоянные Якоби для астероидов и комет определялись многими исследователями, причем убедительные результаты были получены еще в 1939 г. А. Н. Чибисовым (для астероидов) и Т. В. Водопьяновой (для комет). Для астероидов постоянная Якоби  $h$  оказалась заключенной в сравнительно узких пределах:

$$-805 \cdot 10^{-7} > h > -1075 \cdot 10^{-7}.$$

Заметим, что если  $h$  рассматривать для отдельных семейств астероидов, то в пределах одного семейства  $h$  почти одна и та же. Для комет  $h$  получилась лежащей в очень широких границах:

$$-859 \cdot 10^{-7} < h < +178 \cdot 10^{-7}.$$

В послевоенные годы аналогичные результаты получил Г. Ф. Султанов,

Различие  $h$  для комет и астероидов очевидно. Этот последний аргумент лишь дополняет сказанное выше о несходстве комет и астероидов по всем физическим признакам. Небесная механика лишь подтверждает тот вывод, что между кометами и астероидами нет ничего общего. Эти малые тела Солнечной системы имеют и разную физическую природу, и различное происхождение.

По современным представлениям, наша планетная система со всех сторон окружена исполинским облаком, состоящим из множества глыб «загрязненного» (т. е. имеющего твердые включения) льда. Каждая такая ледяная глыба — потенциальное кометное ядро. Подлетев близко к Солнцу, оно нагреется, обзаведется газовой головой, хвостами, т. е., иначе говоря, превратится в типичную комету. Но такие случаи не часты и большинство потенциальных кометных ядер,

составляющих это «облако Оорта», имеет эллиптические орбиты с полуосями от 50 до 150 тыс. а. е. При этом вытянутости орбит и их наклоны к плоскости земной орбиты весьма разнообразны. Как показал в 1964 г. известный ленинградский астроном Г. А. Чеботарев, под действием возмущений со стороны ядра Галактики и отдельных близких звезд глыбы из облака Оорта могут или навсегда покинуть Солнечную систему по гиперболической орбите, или, наоборот, приблизиться к Солнцу и превратиться в обычную короткопериодическую комету. Этот последний вариант теоретически обоснован в работах рижского теоретика К. А. Штейнса.

Прямые наблюдения действительно убеждают нас в том, что многие из долгопериодических комет приходят в окрестности Солнца из межзвездных далей, с расстояний, близких к полпути между Солнцем и Альфой Центавра.

Перейдя на короткопериодическую орбиту, потенциальное кометное ядро обзаводится комой, затем хвостом и таким образом становится на путь непрерывного разрушения.

С каждым пролетом вблизи Солнца комета теряет вещество своего ядра. Встреча этого ядра со случайным метеоритом может превратить ядро в совокупность мелких осколков — не это ли произошло со знаменитой кометой Биелы? Впрочем, для некоторых комет с очень рыхлыми ядрами и близкими к Солнцу перигелиями разрушающим может оказаться просто солнечный жар. Так или иначе блеск комет, как это установил еще несколько десятилетий назад известный советский исследователь комет С. К. Всехсвятский, с каждым оборотом вокруг Солнца уменьшается и нужно всего 150—200 оборотов, чтобы комета деградировала полностью. Эти выводы, впрочем, не бесспорны. Ленинградский исследователь Г. А. Чеботарев считает, что возраст комет может быть в сотни и тысячи раз большим.

Возможно, что источником пополнения комет служат не только те многочисленные ледяные глыбы, которые сохранились на периферии Солнечной системы. Как полагает С. К. Всехсвятский, взрывные эруптивные процессы на больших планетах и их спутниках могут привести к выбросу в межпланетное пространство глыб, покрытых льдом. Под действием солнечного излучения каждая из этих глыб имеет все шансы превратиться в комету.

Общепризнанной гипотезы происхождения комет не существует. Однако ясно, что, чем бы ни кончились ведущиеся

сейчас дискуссии вокруг этой проблемы, происхождение комет никак не может нам объяснить, как в Солнечной системе образовался пояс астероидов.

Обратимся теперь к м е т е о р и т а м и постараемся доказать, что между астероидами и метеоритами есть не просто сходство. По существу, астероиды и метеориты — тела одной природы. Мы называем метеоритами те из астероидов, которые, обладая сильно вытянутыми эллиптическими орбитами, сталкиваются с нашей Землей и в результате этого попадают на земную поверхность.

К сожалению, надежно определенных орбит метеоритов мало. Никто не знает заранее, где и когда упадет метеорит. Падение метеорита происходит совершенно неожиданно, его полет в атмосфере продолжается немногие секунды, и лишь иногда, чисто случайно, удается надежно пронаблюдать полет метеорита сразу из двух или нескольких пунктов. В таких случаях несложные вычисления дают все элементы первоначальной орбиты столкнувшегося с Землей небесного тела.

Как раз такая исключительно удачная ситуация сложилась 12 февраля 1947 г., когда на Дальнем Востоке, в районе Сихотэ-Алинского хребта, произошло падение крупного метеорита. Его полет наблюдали сотни очевидцев, как с поверхности Земли, так и с самолета, а художник Медведев из города Имана сумел даже нанести эту неожиданную «деталь» на изображенный им пейзаж.

При входе в земную атмосферу масса Сихотэ-Алинского метеорита составляла примерно тысячу тонн. Затормозившись в атмосфере, метеорит распался на множество осколков, которые упали на Землю, образовав при этом воронкообразные углубления — так называемые ударные метеоритные кратеры. Среди доставленных в Москву осколков есть и совсем крошечные, весом в доли грамма, есть и глыбы, весящие почти две тонны.

Орбита этого космического гостя, вычисленная Н. Б. Дивари, оказалась весьма примечательной. Ее большая полуось равна 2,16 а. е., эксцентриситет 0,54. Перигелий располагался вблизи земной орбиты, наклонение орбиты составляло  $9^{\circ},4$ , а расстояние афелия от Солнца 3,3 а. е. (рис. 15). Короче говоря, осколок, названный нами Сихотэ-Алинским метеоритом, пришел к нам из пояса астероидов, из самой плотной части астероидного кольца. Случай этот далеко не единственный.

Весной 1959 г. чехословацкие астрономы на нескольких станциях установили специальные автоматические камеры. И надо же было такому случиться — 7 апреля 1959 г. над Чехословакией пролетел не просто метеорит, а рой метеоритов, настоящий метеоритный дождь, получивший наименование Пшибрам. Замечательно, что полет метеоритов фиксировался фотокамерами сразу из двух пунктов, находящихся в 40 км друг от друга. В сущности, произошло то же, что и

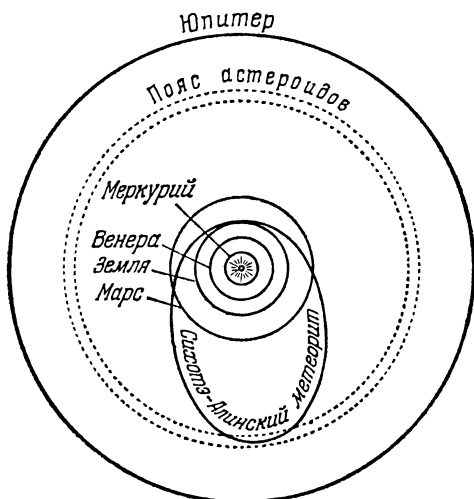


Рис. 15. Орбита Сихотэ-Алинского метеорита.

в 1947 г. Хрупкая космическая глыба не выдержала сопротивления воздуха, распалась, не долетев до Земли, на множество осколков, образовав метеоритный дождь. Первоначальную орбиту метеорита удалось установить еще более уверенно, чем для Сихотэ-Алинского метеорита.

Снова можно утверждать, что к нам пожаловал гость из пояса астероидов, только на этот раз афелий орбиты Пшибрамского метеорита был ближе расположен к орбите Юпитера. Если бы столкновение с Землей не оказалось для метеорита катастрофическим, он подошел бы к Солнцу почти так же близко, как Венера.

Сравните орбиты Сихотэ-Алинского и Пшибрамского метеоритов с орбитами астероида Икар. Они совершенно однотипны, и сходство это не случайно, так как оно подтверждается и другими данными.



Сихотэ-Алинский метеорит был телом очень небольшим — до влета в земную атмосферу его поперечник не превышал нескольких метров. Но Земле приходилось сталкиваться, и притом много раз, с метеоритами несравненно бóльшими.

Если масса метеорита исчисляется многими тысячами тонн или того больше, то земная атмосфера затормозит такое космическое тело не в состоянии. Почти не потеряв первоначальную скорость, оно врывается в поверхность Земли, и при этом кинетическая энергия метеорита переходит в энергию мощного взрыва. Термин «взрыв» здесь не образное описание явления, а совершенно точная его физическая характеристика. При столкновении с Землей кристаллическая решетка метеорита мгновенно разрушается, и метеорит становится, по существу, не твердым телом, а сильно сжатым газом. Газ этот стремительно расширяется, выделяя энергию. Подсчитано, что если скорость соударения равна  $4 \text{ км/сек}$ , то метеорит взрывается с такой же мощностью, как равное ему по массе количество тринитротолуола. При большей скорости энерговыделение быстро растет. Вот почему при встрече Земли с исполинскими метеоритами на земной поверхности остаются заметные «шрамы» — взрывные метеоритные кратеры. По форме они напоминают воронки от взорвавшихся бомб или мин, внутри них очень мало или совсем нет метеоритных осколков (основная масса метеорита при взрыве испаряется), но размеры таких кратеров могут быть весьма внушительными. При этом теория позволяет приблизительно оценить размеры метеорита, образовавшего данный взрывной кратер.

До недавнего времени Аризонский метеоритный кратер считался самым крупным. При диаметре  $1,2 \text{ км}$  его глубина достигает  $175 \text{ м}$ , и на однообразном фоне Аризонской пустыни этот космический шрам весьма заметен. Можно подсчитать, что в этом месте примерно 25 тысячелетий назад в земную поверхность врезался метеорит поперечником около  $25 \text{ м}$  и весом порядка  $60\text{—}70 \text{ тыс. т}$ .

Сейчас стали известными метеоритные кратеры гораздо бóльших размеров. В Северной Америке сначала с самолетов, а затем и наземными средствами были обнаружены исполинские метеоритные кратеры с поперечниками до  $32 \text{ км}$ . В Южной Африке давно известно так называемое кольцо Вредефорта поперечником  $50 \text{ км}$ . Можно подсчитать, что этот шрам на лице Земли возник при падении метеорита диаметром около  $1,5 \text{ км}$ .

Но такая исполинская глыба не уступает в размерах Икару, Гермесу и множеству известных нам типичных астероидов. С другой стороны, недавно в Антарктиде под слоем льда обнаружен метеоритный кратер диаметром около 250 км. Некоторые исследователи приводят убедительные доводы в пользу того, что дуга Гудзонова залива — лишь часть вала разрушенного временем метеоритного кратера поперечником 440 км. Но тогда получается, что Земля сохранила следы встречи с астероидами поперечником в десятки километров!

Напрашивается естественный вывод: как по орбитам, так и по размерам метеориты и наиболее мелкие из известных астероидов сходны друг с другом.

Те немногие из физических характеристик астероидов, которые можно получить непосредственно из астрономических наблюдений, и, с другой стороны, данные лабораторного изучения метеоритов снова указывают на тесное родство этих небесных тел.

Колебания блеска астероидов указывают на их неправильную, осколочную форму. Но такую форму имеют и метеориты. В лабораторных условиях можно определить показатель цвета для разных метеоритов — ведь звездная величина есть мера освещенности, измеряемой лабораторными средствами.

Показатели цвета метеоритов заключены в пределах от  $+0^m,76$  до  $+1^m,39$ , в среднем составляя  $+1^m,08$ . Для астероидов границы показателя цвета  $+0^m,79$  и  $+1^m,37$ , а среднее значение  $+1^m,00$ , т. е. практически то же, что и у метеоритов.

Несколько слов о продуктах распада комет и астероидов. Они различны, как различны и сами эти малые тела. Дробясь и разрушаясь, кометные ядра порождают в основном рыхлые, снежинкообразные метеорные тела. Судя по всему, процесс измельчания астероидов (в результате взаимных столкновений) приводит к образованию мельчайшей твердой космической пыли. Современные датчики космических аппаратов регистрируют пылинки весом всего в  $10^{-13}$  г, но и это, по-видимому, еще не предел раздробленности астероидного вещества.

Есть основания думать, что мельчайшие осколки астероидов гораздо плотнее типичных метеорных тел, приближаясь в этом качестве к железным и каменным метеоритам. Академик В. Г. Фесенков рассмотрел с количественной стороны процесс непрерывного распада, «дезагрегации»

астероидов \*). В результате проведенных расчетов он пришел к выводу, что «каким бы путем ни происходило размельчение астероидов, какие бы скорости выброса при этом ни имели место, но значительная часть космической пыли должна сосредоточиваться именно в поясе астероидов».

Космическая пыль, таким образом, концентрируется внутри пояса астероидов и в ближайших окрестностях астероидного кольца. Но тонкая пылевая вуаль, по-видимому, охватывает всю планетную систему, образуя главную составляющую так называемого Зодиакального облака \*\*). Местные сгущения вблизи крупных планет и их спутников не меняют общей картины. Облако пыли, окутывающее планетную систему, — не это ли наглядное доказательство непрерывного разрушения астероидного кольца, в конце концов приведущего к его полному исчезновению?

## АСТЕРОИДЫ В ЛАБОРАТОРИИ

Рассуждения в предыдущем разделе вполне оправдывают наименование этого. Действительно, если в лабораторию попадает метеорит, есть все основания считать его самостоятельным астероидом или в крайнем случае осколком малой планеты.

Подобные события происходят не часто. Большинство метеоритов падает в океаны или на огромные малонаселенные пространства суши и тем самым ускользает из рук исследователя. Если верить данным, полученным с помощью космических летательных аппаратов, на Землю ежедневно выпадают многие тысячи тонн раздробленного твердого космического вещества. В основном это мелкая и мельчайшая космическая пыль — «прах» астероидов и отчасти комет. Среди этого «праха» некоторая доля, порядка тонн или десятков тонн, принадлежит метеоритам. Но лишь очень немногие из них удастся отыскать и подвергнуть лабораторному исследованию.

Во многих музеях мира хранятся метеориты от 1800 падений. Из них на долю советской коллекции приходится

---

\*) В. Г. Ф е с е н к о в, Метеорная материя в междупланетном пространстве, Изд-во АН СССР, 1947

\*\*\*) В Зодиакальном облаке присутствуют также и электроны, рассеивающие солнечный свет.

метеориты (индивидуальные экземпляры и осколки) от 134 падений. Заметим, что некоторые метеориты при падении или ударе о Землю раздробляются на множество осколков. Так, например, от метеоритного дождя Пултуск 1868 г. собрано около трех тысяч осколков. Поэтому количество экземпляров метеоритов несравненно больше числа падений. Однако общая масса всех собранных и изученных метеоритов очень невелика.

Некоторые из найденных метеоритов из-за трудностей перевозки и по другим причинам продолжают лежать на поверхности Земли, привлекая любознательных туристов. Таковы, например, метеорит Гоба (60 т!), найденный в Юго-Западной Африке или, скажем, метеорит Бакубирита (вес 27 т, найден в Мексике). Самый большой из музейных метеоритов — знаменитый Гренландский метеорит, хранящийся в Нью-Йоркском планетарии. Он весит без малого 34 т!

Метеорит, столкнувшийся с нашей планетой, кроме тяготения Земли прежде всего испытывает на себе сопротивление земной атмосферы. Полет происходит всегда со сверхзвуковой скоростью, и поэтому впереди летящего метеорита возникает очень горячая, ярко светящаяся головная ударная волна. Под ударами встречных молекул воздуха поверхность метеорита плавится, испаряется, и таким образом слой за слоем атмосфера постепенно разрушает метеорит. Если он недостаточно прочен, то неизбежен распад метеорита на малые осколки. Прочные небесные камни атмосфера «обтачивает», придавая им обтекаемую форму.

Литература о метеоритах весьма обширна. Интересующимся подробностями мы рекомендуем для начала две обстоятельные монографии, где есть, кстати сказать, и список других книг по той же теме \*). Здесь же мы ограничимся лишь краткой характеристикой физических и химических свойств метеоритов.

По составу и строению метеориты разделяются на три основные группы: железные (сидериты), каменные (аэролиты) и железо-каменные (мезосидериты).

**Ж е л е з н ы е** метеориты (рис. 16) представляют собою сплав железа с никелем, присутствующим там в заметном количестве (от 5 до 30%). В отличие от земного железа, метеоритное железо легко куется в холодном состоянии.

---

\*) Е. Л. К р и н о в, Основы метеоритики, Гостехиздат, 1955; Б. М е й с о н, Метеориты, «Мир», 1965.

Оно обладает особой кристаллической структурой, выявляющей себя, если протравить слабым раствором кислоты полированную поверхность некоторых железных метеоритов. Глаз различает тогда фигуры, несколько напоминающие морозные узоры на окнах. Эти так называемые видманштеттеновы фигуры характерны для о к т а э д р и т о в — особой разновидности железных метеоритов. У другой разновидности — г е к с а э д р и т о в — при тех же условиях

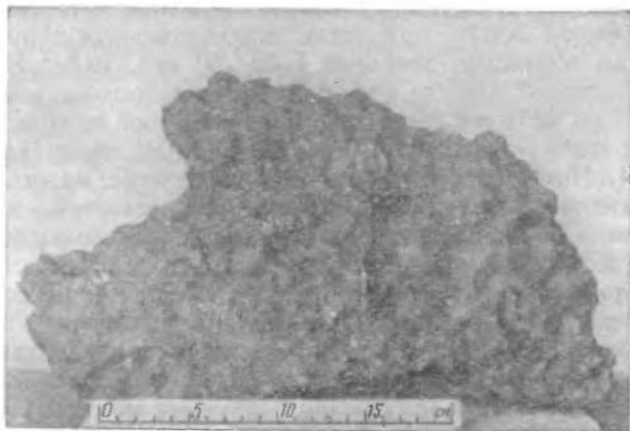


Рис. 16. Осколок железного Сихотэ-Алинского метеорита.

появляется сетка очень тонких прямых линий, называемых неймановыми линиями. Если видманштеттеновы фигуры свидетельствуют о том, что формирование происходило при больших давлениях и температуре, т. е. в недрах достаточно крупной планеты, то неймановы линии, по-видимому, следы взрывных ударных волн, когда-то потрясших эту планету. Впрочем, по мнению некоторых исследователей, неймановы линии могли образоваться во время охлаждения родоначального тела, если перепады температуры внутри него были очень велики. Иначе говоря, неймановы линии, быть может, возникли в результате «температурных» натяжений. Среди железных метеоритов есть и а т а к с и т ы, не обладающие какой-либо приметной особой кристаллической структурой.

К а м е н н ы е метеориты в основном состоят из силикатов, т. е. кремнистых соединений с характерным серо-

пепельным цветом на изломе; никелистое железо присутствует и здесь в виде отдельных блестящих зерен, рассеянных среди каменистой массы. Выделяются и другие зерна золотисто-бронзового цвета — это троилит, соединение железа с серой. Изредка встречаются почти черные или, наоборот, очень светлые каменные метеориты.

Два подкласса каменных метеоритов — хондриты и ахондриты различаются главным образом тем, что у первых имеются хондры — маленькие стеклянные круглые

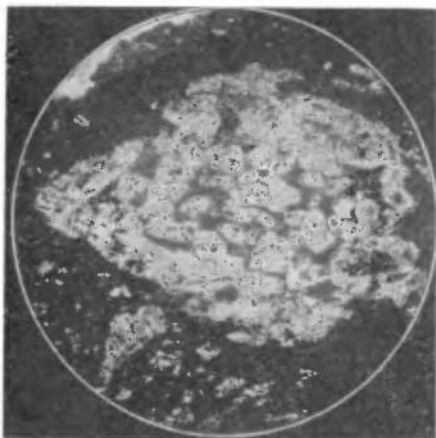


Рис. 17 Хондра метеорита Старое Борискино (вид в микроскоп).

образования размерами от микроскопических крупинок до горошин (рис. 17). Наиболее часты хондры поперечником порядка 1 мм. Обычно они рассеяны по всей массе метеорита, причем особенно хорошо заметны на свежей поверхности излома.

Около 90% всех каменных метеоритов можно отнести к хондритам. В ахондритах, иногда имеющих крупнообломочную структуру, хондры отсутствуют. Нет (или почти нет) в них и никелистого железа.

Среди каменных метеоритов стоит особо выделить группу углистых хондритов, богатых органическим веществом. Они очень хрупки, плохо сохраняются и ценятся как величайшая редкость: во всем мире собрано всего лишь

два десятка углистых хондритов. При растирании пальцами вещество углистых хондритов издает характерный запах нефти — признак наличия в метеорите битуминозных соединений.

Железо-каменные метеориты, как показывает и само наименование, объединяют в себе черты двух предыдущих классов. Примерно наполовину они состоят из никелистого железа и наполовину из силикатов. Некоторые из метеоритов этого класса (так называемые палласиты) напоминают железную губку, пустоты которой заполнены минералом оливином.

Между различными классами метеоритов нет, конечно, резких границ — скорее, наблюдаются непрерывные плавные переходы.

Химическое изучение метеоритов, как и следовало ожидать, открыло в них только те химические элементы, какие известны и на Земле, — одна из наглядных иллюстраций материального единства космоса. Своеобразие метеоритов выражается, таким образом, не в качественном химическом составе, а в количественных соотношениях разных элементов, в минералогической структуре, в некоторых физических особенностях, не характерных для тел земной природы.

Наиболее часто в метеоритах встречаются такие химические элементы, как железо, никель, сера, магний, кремний, алюминий, кальций. Кислород также обилен, но он всегда входит в какое-нибудь химическое соединение. Из последних наиболее характерны для метеоритов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Заметим, что в метеоритах найдены такие радиоактивные элементы, как уран, гелий, калий, торий и другие. По ним можно определить возраст метеоритов — проблема очень сложная, к которой мы еще вернемся.

В метеоритах найдены в основном минералы, встречающиеся и на Земле. Таковы, например, оливин  $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$ , магнетит  $(\text{Fe}_3\text{O}_4)$ , хромит  $(\text{FeCr}_2\text{O}_4)$  и другие. Особо следует отметить хлорит — водный силикат, часто встречающийся в земных горных породах. Есть он и в метеоритах, причем в 1949 г. Л. Г. Кваша в хлорите метеорита Старое Борискино впервые обнаружила связанную (так называемую конституционную) воду. Любопытно, что в данном случае вода составила почти 9% общей массы метеорита. Позже нашли конституционную воду и в других метеоритах — в углистых хондритах ее количество иногда доходит до 20% общей массы.

Некоторые минералы присущи только метеоритам. Таков, например, шрейберзит, или фосфид железа  $(\text{FeNi})_3\text{P}$ , встречающийся в виде округлых желваков в троилите. В свежем состоянии шрейберзит по цвету напоминает олово.

Упомянутый выше троилит (разновидность пирротина  $\text{FeS}$ ) также чисто «метеоритный» минерал, неизвестный в земных условиях. Подобных минералов немало, естественно, что любая гипотеза о происхождении метеоритов должна найти объяснение этой их особенности.

Обратим внимание читателя на некоторые минералы, присутствие которых в метеоритах может указать на особенности происхождения этих космических тел.

**А л м а з ы** в метеоритах (разумеется, в очень малых количествах) впервые были обнаружены еще в 1888 г. русскими исследователями М. Ерофеевым и П. Лачиновым. Позже их находили во многих метеоритах, как каменных, так и железных. До последнего времени считалось, что алмазы могут сформироваться лишь в центральных областях крупных планет, в условиях очень больших давлений. Выяснилось, однако, что не только статическое, гравитационное давление, но и весьма высокие давления, возникающие при различных взрывах, иногда превращают обычный графит в алмаз. Тем самым стало неясно, возникли ли метеоритные алмазы в недрах крупной планеты-родоначальницы или они образовались при взаимных соударениях метеоритов.

**К в а р ц** впервые найден в 1861 г. в нерастворимых осадках многих железных метеоритов. Сначала это открытие в метеоритах осадочной породы породило сомнения. Однако позже вкрапления кварца были найдены в ряде каменных метеоритов, и отрицать его космическое происхождение теперь нет оснований.

**М е д ь** присутствует во многих метеоритах, и каменных, и железных, обычно в форме очень мелких зерен. Есть сообщения о падении медных метеоритов как в XVII в., так и в настоящее время. Достоверность этих сообщений оспаривается, впрочем, как будет показано в дальнейшем, без достаточных к тому оснований.

Из некоторых углистых хондритов удалось извлечь **с е р у**. Наконец, еще в 1834 г. Берцилиус, а за ним позже и другие исследователи обнаружили в углистых хондритах значительное количество (до 10%) растворимых в воде солей, главным образом сульфатов магния.



Все перечисленные минералы интересны прежде всего тем, что они подтверждают старую гипотезу Ольберса о крупной планете-родоначальнице, давшей при распаде современный пояс метеоритов.

Физическим свойствам метеоритов лишь в последнее время стали уделять должное внимание. По своему удельному весу метеориты образуют естественную последовательность от наиболее тяжелых железных метеоритов (их средний удельный вес  $7,72 \text{ г/см}^3$ ) до наиболее легких каменных (ср. уд. вес  $3,54 \text{ г/см}^3$ ). Железо-каменные метеориты занимают промежуточное положение (ср. уд. вес около  $5 \text{ г/см}^3$ ). По оптическим свойствам, как уже упоминалось, метеориты весьма близки к астероидам. Из других физических свойств наиболее интересен остаточный магнетизм, уверенно обнаруженный в очень многих метеоритах. Ниже будет показано, что этот факт также, по-видимому, подтверждает гипотезу Ольберса. Но, пожалуй, самый главный аргумент в пользу реальности Фаетона — земноподобной планеты, родоначальницы пояса астероидов — те сложные органические соединения и те возможные следы жизни, которые найдены в очень многих метеоритах.

В 1806 г., в самый разгар наполеоновских войн, вблизи французского города Але упал необычный метеорит. Это было лишь три года спустя после официального «признания» метеоритов Парижской Академией наук. Предубеждения против «небесных камней» были еще очень сильны, часть осколков метеорита Але была просто утеряна, и лишь один из них через 28 лет попал в лабораторию знаменитого шведского химика Якова Берцелиуса. Поначалу ученый подумал, что произошла ошибка — метеорит Але не был ни каменным, ни железным, ни железо-каменным. Кора плавления, однако, свидетельствовала о космическом происхождении необычного камня, родоначальника самого редкого и тогда еще неизвестного типа метеоритов — углистых хондритов.

Метеорит Але содержал органическую \*) массу, растворимую в воде. При нагревании его частицы бурели и превращались в комочки угля — явный признак обилия высокомолекулярных углеродистых соединений. Хотя сходство с земными веществами того же типа было очевидным, Берцелиус резонно отметил, что этот факт «еще не является до-

---

\*) Органическим называется вещество, содержащее углеродистые соединения.

казательством присутствия организмов в первоначальном источнике».

Работа Берцелиуса положила начало изучению органики метеоритов. К сожалению, до сих пор материал, доступный исследованию, очень редок. Углистые хондриты весьма непрочны — их легко даже пальцами растереть в порошок (и при этом, повторяем, появляется характерный запах нефти, аромат битуминозных соединений). Вообще редкие среди метеоритов углистые хондриты легко разрушаются при полете в атмосфере Земли, да и попав на земную поверхность, они, как правило, бесследно пропадают, смешавшись с земными породами. Неудивительно поэтому, что во всем мире найдены и сохранены пока лишь два десятка углистых хондритов (из них три в Советском Союзе), и каждый из них для науки еще более драгоценен, чем золото.

Спустя четыре года после публикации работы Берцелиуса, в 1838 г., в Южной Африке упал еще один углистый хондрит, исследованный затем известным немецким химиком Фридрихом Велером — тем самым Велером, которому за несколько лет до этого удалось синтезировать мочевины.

Велер выделил из метеорита нефтеобразное маслянистое вещество «с сильным битуминозным запахом» и, в отличие от Берцелиуса, пришел к выводу, что такие вещества, «если опираться на современный уровень знаний», могут образовываться только живыми организмами.

В 1864 г. опять во Франции, вблизи деревни Оргейль, выпал метеоритный дождь из углистых хондритов — случай, исключительный в истории астрономии.

Заметим, что количество органического материала, выделяемого из углистых хондритов, невелико — примерно около одного процента. Но и этого вполне достаточно для весьма важных выводов.

Французский химик Клец строго доказал, что нерастворимое черное вещество метеорита Оргейль представляет собою органические соединения, а вовсе не графит или аморфный углерод. Его поразило сходство этих органических соединений с подобными же веществами, находимыми в торфе или буром угле. В докладе, представленном Парижской Академии наук, Клец утверждал, что органические вещества в метеоритах, «по-видимому, могут указывать на существование организованной материи на небесных телах».

С тех пор в течение почти столетия изучение органики метеоритов велось эпизодически, от случая к

случаю, без каких-либо существенных обобщений. Среди этих немногочисленных работ следует упомянуть исследования метеорита Мигеи, выполненные в 1889 г. Ю. И. Симашко. Русский ученый также обнаружил в этом углестом хондрите органические вещества битуминозного типа.

Не следует думать, что все органические вещества непременно связаны с жизнью или, более того, являются принадлежностью живых существ. Астрономам известны многочисленные простейшие органические соединения, безусловно не имеющие никакого непосредственного отношения к жизни. Таковы, скажем, молекулы  $\text{CH}$  и  $\text{CN}$ , наблюдаемые в межзвездном пространстве и атмосферах холодных звезд. В головах и хвостах комет найдены такие органические вещества, как  $\text{C}_2$ ,  $\text{CO}$  и другие. Известно, каким обилием аммиака и метана характерны атмосферы скорее всего безжизненных планет-гигантов Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна.

Более того, в условиях космоса, по-видимому, постоянно идет синтез весьма сложных органических соединений до аминокислот включительно. В этом нас убеждают, в частности, недавние любопытные эксперименты американского исследователя Р. Берджера. С помощью ускорителя элементарных частиц он бомбардировал протонами смесь метана, аммиака и воды, охлажденную до  $-230^\circ\text{C}$ . Спустя всего несколько минут в этой ледяной смеси ученый обнаружил такие сложные органические соединения, как мочевины, ацетамид и ацетон.

В этих опытах Берджер, в сущности, моделировал условия межпланетного пространства. Поток протонов имитировал первичные космические лучи, а смесь метано-аммиачных и обычных льдов — это, в сущности, типичная модель кометного ядра.

Другой известный американский биохимик М. Калвин бомбардировал потоком быстрых электронов смесь водорода, метана, аммиака и водяных паров. В этих экспериментах был получен аденин — основа для построения нуклеиновых кислот, без которых немислимы белковые формы жизни. Не такие ли процессы происходили в первичной атмосфере Земли и некоторых других планет?

Создается впечатление, что в космосе из неорганических веществ и неорганическим путем создаются высокомолекулярные белковые соединения — «полуфабрикаты» возмож-

ной будущей жизни (но отнюдь не продукты распада каких-то живых организмов).

Таким образом, наличие органических веществ в метеоритах само по себе еще никак не может свидетельствовать о жизни на небесных телах. Эти вещества могли возникнуть и абиогенно, без всякой непосредственной связи с жизнью. Для доказательства противного нужны какие-то иные, более сильные аргументы.

Именно в таком плане и ведется дискуссия в современной метеоритике. Спор еще не закончен, но уже полученные результаты представляют для темы этой книги огромный интерес.

Еще в 1951—1952 гг. английский биохимик Мюллер выделил из углистого хондрита Колд-Бокквельд битуминозные соединения. В сущности, он повторил работы Берцелиуса, Велера и Клеца, но на несравненно более высоком уровне современной аналитической химии. В метеоритных битумах гораздо больше серы, хлора и азота, чем в подобных земных соединениях. Это обстоятельство побудило Мюллера сделать вывод, что битумы в метеоритах имеют абиогенное происхождение.

С иных позиций к той же проблеме подошли уже упомянутый М. Калвин и С. Вон. Доклад, представленный ими в 1960 г. на Международный симпозиум по изучению космического пространства, был озаглавлен многозначительно: «Внеземная жизнь. Некоторые органические составляющие метеоритов и их значение для возможной биологической эволюции вне Земли».

Американские исследователи выпаривали из образцов углистого хондрита летучие вещества, которые затем пропускались через масс-спектрометр. В этих экспериментах определялась относительная масса неизвестных молекул, а кроме того, исследовались инфракрасные и ультрафиолетовые спектры экстрактов углеродных соединений метеорита. Результаты получились ошеломляющими.

Из углекислого хондрита удалось выделить вещество, как две капли воды похожее на цитозин — одно из четырех оснований носителей «кода жизни» в молекуле ДНК. Нашли в метеорите и смесь углеводов, похожую на нефть или парафин.

В следующем, 1961 г. в Нью-Йоркской Академии наук оживленно обсуждалась работа еще трех американских химиков — Г. Надя, Д. Хенесси и У. Майнтайна. Им

удалось выделить из углистых хондритов набор парафинов, весьма похожий на тот, который входит в состав кожицы яблок или пчелиного воска. В связи с этим обострились споры и вокруг проблемы происхождения нефти.

Как это ни печально, но мы до сих пор как следует не знаем, откуда взялось горючее, движущее самолеты, корабли и автомобили. Образовалась ли нефть в результате разложения когда-то живых организмов или «черное золото» есть продукт сложного абиогенного синтеза? Если верна первая гипотеза, битумы в метеоритах можно рассматривать как следы внеземной жизни. Если же нефть имеет неорганическое происхождение, то метеоритные битумы не имеют никакого прямого отношения к жизни вне Земли.

Мы уже говорили об экспериментах, моделирующих образование высокомолекулярных углеродных соединений в условиях межпланетного пространства. Еще легче представить себе подобный абиогенный синтез в обстановке земноподобной планеты. Органические вещества в метеоритах возникли абиогенно — вот главный тезис тех, кто не считает метеориты носителями остатков каких-то внеземных организмов. Такую позицию отстаивают Андерс, Бриггс, у нас в Советском Союзе — молодой исследователь углистых хондритов Г. П. Вдовыкин. По мнению последнего, «изучение спектров различных небесных тел показывает, что углерод является одним из наиболее распространенных элементов в них: он обнаруживается в виде элемента ( $C_2$ ,  $C_3$ ) и в виде соединений ( $CH_2$ ,  $CN$ ,  $CO_2$  и др.) во всех типах небесных тел. Эти составляющие атмосфер и звездного пространства могли полимеризоваться с образованием сложных органических молекул» \*).

Наиболее оживленные дискуссии ныне идут вокруг загадочных «организованных элементов» (рис. 18). Впервые эти странные включения обнаружили в 1961 г. Г. Надь и Д. Клаус при исследовании образцов четырех углистых хондритов. Внешне они напоминали земные ископаемые микроскопические водоросли. Американские исследователи выделили среди них по морфологическим признакам пять типов объектов, причем среди них оказались спаренные, как бы погибшие в процессе клеточного деления. Почти все из «организованных элементов» походило на простейшие растения, живу-

---

\*) Л. Кузнецова, Тринадцать загадок неба, «Сов. Россия», 1967.

щие только в воде, и это обстоятельство, по мнению Нады и Клауса, исключало возможность загрязнения метеорита из почвы. Позже Ф. Стаплин и другие обнаружили «организованные элементы» в ряде углистых хондритов, причем все исследователи отмечали их сходство с некоторыми одноклеточными водорослями.

В 1962 г. ленинградский геолог Б. В. Тимофеев из метеоритов Саратов и Мигей выделил странные спороподобные



Рис. 18. «Организованные элементы», выделенные из некоторых метеоритов.

образования. Их было более двух десятков — желтовато-серых, крошечных, полых, почти сферических оболочек, имеющих в поперечнике от 10 до 60 микрон. Оболочки оказались однослойными, различными по толщине, иногда смятыми в отчетливо очерченные складки. По словам исследователя, «поверхность оболочек гладкая, реже мелкобугорчатая. На одной из форм видно круглое отверстие — устье, характерное для некоторых одноклеточных водорослей. Многие из указанных находок могут быть сравнены с древнейшими на Земле ископаемыми одноклеточными водорослями, жившими более 600 млн. лет тому назад, но их нельзя отнести ни к одной группе растительного мира нашей планеты» \*).

\*) «Огонек», № 4, 1962.

Скептики не соглашались с этими выводами. Они настаивали и настаивают на том, что так называемые «организованные элементы» представляют собою неорганические включения метеорита или в лучшем случае земные организмы, попавшие в метеорит при его «загрязнении».

Андерс и его коллеги в 1963 г. показали, что некоторые из «организованных элементов» очень сходны с зернышками пыльцы крестовника, давно известной в качестве одного из загрязнителей нью-йоркского воздуха. С другой стороны, на метеоритной конференции в Москве в 1964 г. Андерс демонстрировал фотоснимки подозрительных стручков, оказавшихся внутри метеорита Оргейль. Примечательно, что родиной этого растения является Южная Франция, в почве которой и был найден метеорит.

Эти возражения вряд ли, однако, убедительны. Детальное изучение «организованных элементов» показало, что даже морфологически они вовсе не тождественны земным ископаемым водорослям, хотя в общих чертах и сходны с ними. Чтобы опровергнуть подозрения в загрязнении метеорита, ставились контрольные опыты. В помещениях музеев и лабораторий, где находились метеориты, брали пробы пыли. Однако в этих пробах не было найдено ничего, напоминающего «организованные элементы» метеоритов. Не нашли таковых и в образцах битуминозных горных пород, которые хранились в музеях по соседству с метеоритами.

В 1963 г. Надь и его сотрудники исследовали загадочные включения методами ультрафиолетовой спектроскопии. Спектр получился совсем не таким, как у неорганических включений.

Общее количество «организованных элементов» в метеоритах очень велико. По данным Д. Клауса (1964 г.), в маленьком кусочке метеорита Оргейль, весом всего около миллиграмма, найдено 1534 «организованных элемента». Их распределение по размерам, кстати сказать, совсем нехарактерно для минеральных зерен. Еще за три года до этого было показано, что в метеорите Оргейль преобладают углеродные группы с нечетным числом атомов углерода, что характерно только для веществ биогенного происхождения.

Некоторые вещества, синтезируемые живыми организмами, обладают так называемой «оптической активностью». Если через такие вещества пропустить поляризованный луч света, т. е. луч, световые колебания в котором происходят только в одной определенной плоскости, то оптически актив-

ные вещества повернут эту «плоскость поляризации». Замечательно, что оптическая активность — характерное свойство лишь тех органических веществ, которые возникли в результате биогенного синтеза. Значит, это свойство — отличный индикатор живого.

Долгое время пытались обнаружить оптическую активность органических веществ метеоритов, но, увы, безуспешно. Только в 1964 г. Надь и его коллеги экспериментально доказали, что органическое вещество углистого хондрита Оргейль оптически активно. Оно вращало плоскость поляризации, причем вращало в левую сторону, тогда как в контрольных опытах с пылью и другими биологическими загрязнителями метеорита, взятыми из той же лаборатории, плоскость поляризации вращалась вправо. Заметим, что органическое вещество, взятое из другого метеорита, не проявляло никакой оптической активности.

Советские ученые активно участвуют во всей этой дискуссии. В 1966 г. геологи Киргизской ССР во главе с А. С. Лопухиным подвергли контрольным анализам образцы метеорита Саратов \*). В процессе опытов был получен материал, предварительно очищенный от земных растительных элементов, которые могли проникнуть в метеорит. Несмотря на это, в метеорите оказалось большое количество разнообразных сфероидальных или уплощенных оболочек, которые по внешнему виду, строению и оптическим свойствам никак не могут быть отнесены к минеральным образованиям. Поперечники оболочек различны — от 10 до 100 микрон, окраска серая, иногда с коричневатым оттенком. Особенно любопытны двойные оболочки, перетянутые как бы пояском, — неужели и впрямь перед нами организмы, погибшие в самый момент рождения? Как отмечает А. С. Лопухин, «если стать на точку зрения исследователей, принимающих находки растительных остатков в метеоритном веществе за земные, естественно считать метеориты обломками планеты, которая в момент катастрофы находилась на определенной стадии развития, предопределяющей появление на ней сравнительно высоко развитой растительности».

Спор об органике метеоритов сегодня еще не закончен \*\*). Хотя, судя по всему метеориты носят в себе остатки каких-то форм внеземной жизни, вывод этот еще не общепризнан.

---

\*) «Природа», № 8, 1966.

\*\*) См. У. С а л л и в а н, Мы не одни, «Мир», 1967.



Требуются новые и новые контрольные опыты с соблюдением строжайшей стерильности, новые исследования органики метеоритов, которые должны пролить свет и на происхождение астероидов.

Главная задача этих исследований, писали недавно \*), в коллективной статье академики В. Г. Фесенков, А. А. Имшенецкий и А. И. Опарин, «состоит в том, чтобы окончательно решить вопрос, имеет ли органическое вещество, которое встречается в метеоритах, биогенное происхождение (т. е. представляет ли оно собой результат жизненных процессов) или же оно образовалось при химических реакциях без какого-либо участия жизни».

## ЗАГАДКИ ТЕКТИТОВ

В некоторых метеоритных музеях можно встретить странные стеклянные образования. Внешне это куски темно-зеленого, иногда черного стекла самой разнообразной формы. Некоторые из них напоминают маленькие гантели или тарелочки, другие похожи на груши, луковицы, пальцы, полые сферы. Неспециалист иногда может их спутать с осколками обычного бутылочного стекла.

В начале текущего века эти странные образования были названы тектитамы (от греческого слова «тектос», что означает «оплавленный»). Размеры их различны — от крошечных стеклянных бусинок до кусков, сравнимых по величине с куриным яйцом и весящих почти полкилограмма.

Тектиты привлекали внимание еще наших далеких предков. В районе Дуная, на одной из стоянок людей каменного века (25 000 лет назад,) нашли тектиты, видимо употреблявшиеся первобытными людьми в их примитивном хозяйстве.

Лет двести назад в окрестностях реки Влтавы, на территории современной Чехословакии, местные крестьяне при обработке земли «выпахивали» удивительные стеклянные камешки неизвестного происхождения. Их шлифовали, и тогда стеклянный камешек становился блестящим, красивым, с гладкой темно-зеленой поверхностью. Из тектитов стали изготавливать бусы и другие украшения, пользовавшиеся успехом у богемских девушек. Тектиты, найденные в Чехии, получили наименование «молдавитов».

---

\*) Л. Кузнецова, Тринадцать загадок неба, стр. 119.

Позже тектиты были найдены и в других местах земного шара. Чарлз Дарвин во время кругосветного путешествия на корабле «Бигль» в 1884 г. обнаружил тектиты на острове Тасмания («тасманиты»). Считая тектиты земными образованиями, Дарвин описал их как разновидность вулканических бомб, выбрасываемых из жерл вулканов во время извержения.

Позднее в различных местах Австралии были найдены тектиты («австралиты»), поразившие ученых своей необычайной формой (рис. 19). Одни из них напоминали пуговицы, другие были похожи на грибы, третьи — на песочные часы. Имелись здесь и полые стеклянные шары величиной с яблоко при толщине стенок в доли миллиметра, как будто какой-то шутник выдул из природного стекла некоторое подобие мыльного пузыря!

Стеклянные шары, как было позже установлено, вовсе не являются исключительной принадлежностью Австралии — их нашли среди других тектитов на многих островах Малайского архипелага («индошиниты»). Богаты тектитами Филиппинские острова («филиппиниты»), нашли тектиты в Западной Африке и Северной Америке. Любопытно отметить, что ни на огромной территории Советского Союза, ни в одном пункте Южной Америки тектиты пока не найдены. По-видимому, это вызвано трудностями поисков — нелегко отыскать маленькие кусочки темного стекла, да и найдя случайно такой кусочек, каждый ли поймет, что в его руки попал не остаток бутылки, а нечто исключительно ценное для науки? Систематические, продуманные поиски тектитов только еще организуются, и можно не сомневаться, что они принесут свои плоды.

Никто никогда не наблюдал падение тектитов — во всяком случае, достоверными сообщениями об этом наука не располагает. Однако у некоторых народов тектитам даны наименования, по-видимому указывающие на их внеземное происхождение. Так, например, на Филиппинских островах местное население именует тектиты «экскрементами звезд», «солнечными камнями», а жители острова Хайнань называют тектиты «лунными камнями».

Некоторые тектиты носят на себе явные следы полета в земной атмосфере. Представьте себе типичный австралит, напоминающий стеклянную пуговицу. Как показано рядом исследователей, эта форма могла бы образоваться из первоначальной стеклянной сферы, вторгшейся с космической скоростью в земную атмосферу. Лобовая часть сферы

плавилась, а встречный поток воздуха сплющивал постепенно первоначальную сферу, превращая ее в пуговицу. Воздействием атмосферы на летящий тектит удается объяснить



Рис. 19. Внешний вид и форма тектитов.

и некоторые другие формы этих загадочных образований. Позже, когда уже тектиты покоятся на поверхности Земли, их форма продолжает меняться под действием чисто геологических причин (эрозии и др.), причем далеко не всегда

удается разделить действие земных и космических факторов — слишком сложна подчас поверхностная структура тектитов.

Во всех метеоритных коллекциях мира в общей сложности насчитывается около 650 тысяч образцов тектитов — материал вполне достаточный для разного рода исследований и обобщений. Химические и физические свойства тектитов во многом уникальны и не находят себе аналогов ни на Земле, ни в космосе.

С физико-химической точки зрения тектиты — это твердый раствор окислов различных металлов в кремнекислоте. Их химический состав может быть достаточно наглядно иллюстрирован особой диаграммой — так называемой химической розой. Сходство с кислыми вулканическими породами и так называемыми метеоритными импактитами — стеклянными образованиями, возникающими при ударе о Землю и взрыве крупных метеоритов, — очевидно. Но есть, конечно, между ними и существенные различия. В тектитах очень мало летучих элементов — причина, по-видимому, заключается в том высокотемпературном нагреве, который когда-то пережили эти образования. Есть в тектитах такие микроэлементы, как никель, хром, кобальт. Судя по весьма низкому содержанию германия в тектитах, эти объекты не могут иметь земное происхождение.

Обращает на себя внимание крайняя обезвоженность тектитов. Земные горные породы содержат в себе в среднем около одного процента воды. Обычное бутылочное стекло содержит 0,02% воды, тогда как внешне похожие на него молдавиты — не более 0,0005%. В среднем тектиты в сто раз более «обезвожены», чем вулканические стекла. Даже в атомных импактитах, этих стеклянных шлаках, образующихся при наземных атомных взрывах, воды содержится в десять раз больше, чем в тектитах. Опять напрашивается вывод, что когда-то тектиты претерпели исключительно высокий нагрев. Такой же вывод получается и из анализа других физических свойств тектитов.

Иногда в тектитах находят вкрапления чистой двуокиси кремния — так называемого лешательерита. Встречаются также включения коэсита — плотной модификации кремнезема.

Самое, пожалуй, любопытное — это находки в тектитах окисленного метеоритного железа, в котором различимы типичные метеоритные минералы — камасит (никелистое железо) и шрейберзит. А недавно в тектитах нашли

баддеилит (двуокись циркония) — минерал, до сих пор встречавшийся только в искусственных стеклах.

Но еще поразительнее находка, сделанная недавно в одной из лабораторий Кольского филиала Академии наук СССР: в некоторых образцах тектитов обнаружен нефтяной битум, совсем такой же, как в углистых хондритах.

Что же такое тектиты, каково происхождение этих странных осколков природного стекла?

Главная химическая особенность тектитов — обилие кремнезема  $\text{SiO}_2$ , составляющего подчас 70—90% общей массы тектита. Невольно напрашивается аналогия с земными осадочными породами, и в связи с этим американский геохимик Г. Юри писал:

«Химический состав тектитов поразительно сходен с составом наиболее кислых осадочных пород... Такой химический состав не возникает ни при каких известных в природе химических процессах, за исключением, возможно, очень редких и особых явлений».

Из всех известных нам образований на тектиты наиболее похожи так называемые силика-глассы — чистые стекла силикатного состава. Впервые природные силика-глассы в виде мелких стеклянных камешков были случайно найдены в Ливийской пустыне еще в 1816 г. В 30-х годах текущего века подробные исследования ливийского стекла провел английский минералог Л. Спенсер. Оно встречается в районе, имеющем овальную форму (наибольший диаметр 130 км, наименьший 53 км). В двухстах километрах от этих залежей были найдены многочисленные куски такого же стекла вместе со стеклянными наконечниками копий, кварцитовыми топорами и другими каменными орудиями древних обитателей этой местности.

В Ливийской пустыне, там, где найдено загадочное стекло, нет ни малейших следов какого-нибудь метеоритного кратера. Между тем достоверно известно, что вокруг и внутри некоторых взрывных метеоритных кратеров встречаются уже упомянутые выше метеоритные импактиты (от английского слова «impact» — удар). В сущности, это расплавленная при взрыве и затем затвердевшая земная порода, смешанная, естественно, и с веществом метеорита. Неудивительно поэтому, что метеоритные импактиты из кратеров Вабар (Аравия) и Хенбери (Австралия) оказались насыщенными метеоритным веществом в виде мельчайших капелек никелистого железа, а также и вкраплениями лешательерита.

Казалось бы, ключ к объяснению природы тектитов найден. Однако в некоторых районах обычных залежей силика-гласса, где как будто должны находиться огромные метеоритные кратеры, нет ничего, что бы свидетельствовало о падении крупного метеорита. Не найдено в таких районах и ни одного типичного тектита. Считать тектиты продуктом переплавления земного песка, по-видимому, нельзя.

Когда молния ударяет в песок, возникают фульгуриты — разветвленные стеклянные трубки, отмечающие путь грозового разряда. Любопытно, что фульгуриты содержат лешательерит, как и тектиты, и различные силика-глассы. Похоже, что механизм образования всех этих объектов имел нечто общее. Однако отождествить тектиты с обычными фульгуритами невозможно.

Есть, наконец, еще один класс объектов, напоминающих тектиты, — так называемые атомные импактиты. При атомных взрывах на поверхности Земли или на небольшой высоте силикатные породы плавятся, превращаясь в куски стеклянных атомных шлаков. Как в метеоритных, так и в атомных импактитах присутствует коэсит — кристаллический кремнезем с весьма плотной «упаковкой» атомов. Совсем недавно коэсит был найден и в тектитах.

Общий вывод ясен: ни на Земле, ни в космосе мы не знаем объектов, которые можно было бы отождествить с тектитами. По всей совокупности свойств наиболее близки к тектитам различные силика-глассы, в особенности метеоритные и атомные импактиты.

Известный советский исследователь тектитов Г. Г. Воробьев и его сотрудники проделали интересную работу. Они собрали почти всю весьма обширную литературу о тектитах и разместили ее микрокопии и коды на специальных перфокартах. Получилась самая полная в мире библиотека по тектитам, содержащая несколько тысяч книг, статей и заметок. Как отмечает Г. Г. Воробьев, «работа с перфокартотекой и «прочесывание» всей литературы по ста тематическим вопросам показали, что подавляющее число фактов говорит о космическом происхождении тектитов. Позднее это было подтверждено и с помощью электронной вычислительной машины»<sup>\*</sup>).

Таким образом, вероятнее всего, тектиты — это стеклянные метеориты. Их иногда находят в ледниковых

---

<sup>\*</sup>) Г. Г. Воробьев, Что вы знаете о тектитах?, «Наука», 1966.

отложениях, в песке и глине третичной эпохи. То, что тектиты обильны в одних районах и совсем не встречаются в других, указывает, быть может, на то, что эти необычные небесные камни выпадали на Землю плотными роями. Можно ли отнести тектиты и остальные метеориты к одному родоначальному телу или для стеклянных метеоритов следует искать особый источник образования, пока неясно. Впрочем, правильнее решать все эти вопросы в тесной связи с основной, пока нерешенной проблемой — происхождением астероидного кольца.

## БЫЛА ЛИ ПЛАНЕТА ФАЭТОН?

Еще Эрнст Хладный четко сформулировал две основные гипотезы, возможные для объяснения происхождения астероидов. В книге «О происхождении найденной Палласом и других, сходных с ней, железных масс и о некоторых, имеющих к ним отношение, явлениях природы», изданной в Риге в 1794 г., он писал так:

«Если встать на точку зрения, что небесные тела как-то возникли, то такое возникновение немислимо иначе, как путем объединения под действием закона тяготения разрозненных, рыхлых, рассеянных в мировом пространстве материальных частиц или в результате распада на части большой массы при полученном ею ударе извне или в результате внутреннего взрыва».

Гипотеза Ольберса (1804 г.) была первой гипотезой, объяснявшей существование астероидов распадом крупной планеты. Но параллельно с ней выдвигались и другие гипотезы, использующие вторую возможность — объединение в малые планеты «рассеянных в мировом пространстве материальных частиц». Именно такой точки зрения придерживался Лаплас, полагавший, что четыре известных в ту пору астероида образовались из распавшегося когда-то на четыре сгущения газового кольца первичной туманности. Любопытно, что, с точки зрения Лапласа, образование четырех малых планет вместо одной крупной вызвано возмущающим действием Юпитера, мешавшим зарождению землеподобной планеты. Эта идея встречается и в современной гипотезе О. Ю. Шмидта, также отрицающей реальность планеты Фаэтон.

Хотя на протяжении прошлого и нынешнего веков было предложено немало гипотез о происхождении астероидов,

почти все они могут быть отнесены к одному из двух отмеченных выше главных направлений. Впрочем, выдвигались и такие гипотезы, которые не признавали астероиды особым самостоятельным классом небесных тел, а считали малые планеты, например, разновидностью комет.

Родоначальником этого третьего направления можно считать Вильяма Гершеля. По мнению знаменитого исследователя звездной Вселенной, «когда кометы находятся значительное время в удалении, их комы могут сжиматься, если не совершенно, то по крайней мере значительно, делая их похожими на звезды. Тогда они становятся астероидами». Нетрудно видеть, что эта гипотеза Гершеля мало что объясняла, но тем не менее у нее были последователи, пытавшиеся найти не только качественное, но и количественное подтверждение высказанному предположению. Из них особо следует упомянуть Н. Ф. Бобровникова и С. К. Всехсвятского.

Первый из них в 1931 г. высказал предположение, что все астероиды произошли от одной крупной кометы, захваченной когда-то Юпитером, а затем распавшейся на множество осколков. С точки зрения современных данных о кометах гипотеза Бобровникова не выдерживает критики. Массы кометных ядер чрезвычайно малы, чтобы породить весьма массивное астероидное кольцо, да и состав, строение кометных ядер не имеет ничего общего с физическими свойствами малых планет. Не может объяснить гипотеза Бобровникова и причин распада гипотетической исполинской кометы, и характера современных астероидных орбит. Впрочем, и сам Бобровников отмечал, что «при настоящем состоянии наших знаний как относительно комет, так и астероидов еще, может быть, преждевременно строить теорию об их происхождении».

Основная идея, защищаемая уже много лет С. К. Всехсвятским, заключается в том, что кометы, теряя газовую оболочку, превращаются в астероиды. Сами же кометы возникают при мощных эруптивных (т. е. взрывных) процессах на планетах и некоторых их спутниках, являясь, в сущности, продуктами мощных вулканических извержений. В современной редакции эти идеи формулируются так:

«Изучение физической природы и химического состава метеоритов не оставляет сомнений в том, что они должны представлять собой обломки коры небесных тел...

Общераспространенным является представление о том, что метеориты — это тела астероидной природы и что



астероиды можно рассматривать как большие метеоритные тела.

Изучение физической природы и блеска астероидов приводит к выводу об их обломочной форме, а их связь с кометами, выражающаяся в особенностях движения и в сходстве физической природы, позволяет заключить, что кометы после истощения их запасов льда должны превращаться в астероидные или метеоритные тела. Действительно, современные короткопериодические кометы отличаются от астероидов лишь присутствием льда и меньшими массами»<sup>\*)</sup>).

То, что в Солнечной системе почти всюду наблюдаются эруптивные процессы, достигающие на Солнце и планетах-гигантах исключительной мощи, нет сомнений. Весьма возможно, что в прошлом масштабы этих процессов были еще более внушительными и в жизни Солнечной системы они играли далеко не последнюю роль. Не исключено, что по крайней мере часть комет может считаться своеобразными «вулканическими бомбами», выброшенными с поверхности планет и их спутников. Но все это не дает оснований для отождествления комет и астероидов.

Мы уже отмечали существенные различия орбит этих небесных тел, говорящие против общности их природы и происхождения. Ни у одной из комет никогда не наблюдалось ядро, похожее, скажем, на Цереру да и на сотни других астероидов с поперечником в десятки и сотни километров. Ядра комет в основном состоят из льдов, астероиды напоминают огромные каменные или железные метеориты. Можно ли, игнорируя эти факты, считать известные нам астероиды ядрами комет?

Кометные орбиты весьма разнообразны — от маленьких эллипсов, уместающихся внутри орбиты Марса, до исполинских эллиптических орбит долгопериодических комет. Гипотеза С. К. Всехсвятского совершенно не объясняет, каким образом все эти орбиты после потери кометой ее газов превращаются почти в круговые орбиты, лежащие в основном между орбитами Марса и Юпитера, и почему эта загадочная трансформация совершается лишь после «истощения» кометы, не имеющего прямого отношения к характеру ее движения вокруг Солнца, к элементам ее орбиты. Заметим, кстати, что известны кометы (например, 1901 I), полностью поте-

---

<sup>\*)</sup> С. К. Всехсвятский, Природа и происхождение комет и метеоритного вещества, «Просвещение», 1967.

рявшие газы и тем не менее имеющие типичные кометные орбиты. Словом, нет никаких оснований считать кометы прародительницами астероидов.

Когда в 50-х годах текущего века приобрела популярность гипотеза О. Ю. Шмидта, были сделаны попытки в рамках этой гипотезы объяснить происхождение астероидного кольца.

Правило Тициуса—Боде оставляет место для гипотетического Фаэтона. Закон планетных расстояний, полученный О. Ю. Шмидтом, имеет различные параметры для планет земного типа и планет-гигантов. Для планеты Фаэтон он, по существу, не оставляет места, хотя О. Ю. Шмидт и отмечает, что, если бы в районе современного пояса астероидов когда-то «образовалась одна планета, она была бы небольшой, похожей на Землю и Марс, а не на Юпитер»\*).

Но одна планета, по мнению О. Ю. Шмидта, там не могла образоваться главным образом потому, что этому препятствовало возмущающее действие Юпитера.

«Еще на ранних стадиях эволюции протопланетного роя, — пишет О. Ю. Шмидт, — возмущения растущего Юпитера оказали существенное влияние на движение тел, возникших в поясе астероидов, увеличив средние эксцентриситеты и наклоны их орбит и тем самым воспрепятствовав их объединению.

Граничное положение пояса астероидов, приводящее к тому, что изменение температуры частиц в процессе их объединения в крупные тела сопровождалось существенным изменением химического состава, помогло возмущениям Юпитера оказать свое действие. Испарение летучих веществ образующихся тел приводило к их распаду либо, уменьшая их прочность, способствовало дроблению при столкновениях. Тем самым испарение замедлило процесс образования крупных тел в поясе астероидов и дало время возмущениям от Юпитера изменить их орбиты».

Таким образом, по мнению О. Ю. Шмидта и его сторонников, в районе астероидного кольца эволюция протопланетного облака остановилась на промежуточной стадии. «Из пылевого диска, — пишет Б. Ю. Левин, — образовалось много тел размером с крупный астероид. Именно из этих тел образовались современные планеты»\*\*). Легко видеть, что

---

\*) О. Ю. Шмидт, Избранные труды, Изд-во АН СССР, 1960.

\*\*\*) Б. Ю. Левин, Происхождение Земли и планет, «Наука», 1964.

все эти рассуждения о происхождении астероидов носят качественный характер и им никогда не давалось количественное обоснование. С другой стороны, гипотеза О. Ю. Шмидта до сих пор остается лишь одной из многих космогонических гипотез. Считать ее строго обоснованной теорией, однозначно и бесспорно объяснившей происхождение планет,

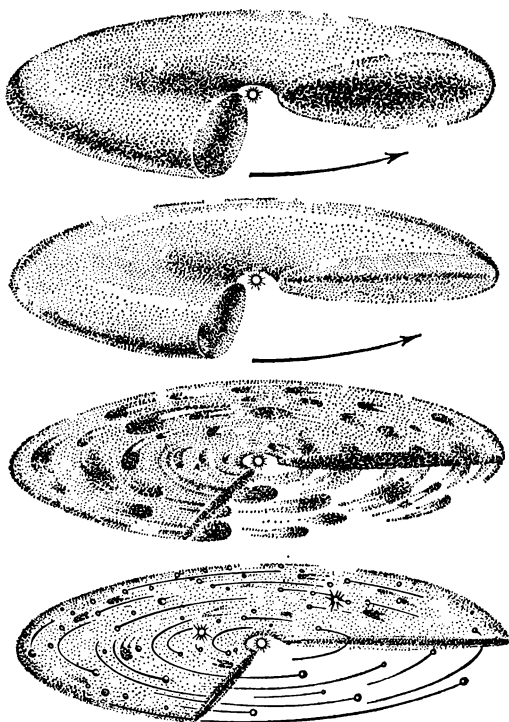


Рис. 20. Образование протопланетных астероидных тел по гипотезе О. Ю. Шмидта.

нет, разумеется, никаких оснований. Более того, даже если согласиться с объяснениями О. Ю. Шмидта, остаются непонятными многие факты.

Если крупные астероиды — это «планетезимали», те строительные кирпичи, из которых сложилась Солнечная система, то почему десятки, сотни астероидов имеют почти круговые и компланарные орбиты, тогда как с точки зрения ги-

потезы О. Ю. Шмидта тела астероидных масс должны иметь сильно вытянутые орбиты, лежащие в разных плоскостях? С другой стороны, при «слипании» из множества мелких частиц протопланетного облака «планетезимали» (а стало быть, и астероиды) должны быть почти шарообразны, тогда как на самом деле все астероиды имеют сложную, неправильную, осколочную форму. Наконец, строение, состав и другие свойства метеоритов свидетельствуют, как будет показано ниже, о том, что родоначальниками астероидов и метеоритов была, по-видимому, крупная землеподобная планета. Иначе говоря, старая гипотеза Ольберса и сегодня выглядит наиболее правдоподобной по сравнению со всеми остальными.

Чтобы обосновать этот тезис, обратимся к фактам. Только они могут служить пробным камнем для любой гипотезы, только бесспорные факты могут отвергнуть или, наоборот, утвердить предлагаемое объяснение. Есть ли факты, доказывающие, что когда-то между орбитами Марса и Юпитера обращалась вокруг Солнца крупная земноподобная планета Фаэтон?

Напомним еще раз, что среднее значение большой полуоси орбит всех известных астероидов равно 2,8 а. е., т. е. оно вполне укладывается в правило Тициуса — Боде. Хотя само это правило пока не получило теоретического обоснования и имеет приближенный характер, по-видимому, все-таки оно отражает некоторую объективную закономерность и в этой закономерности планета Фаэтон — неустранимый член последовательности.

Если когда-то Фаэтон действительно существовал, а затем по каким-то причинам распался на части под действием внутренних сил, то тогда средняя траектория осколков должна, по-видимому, совпадать с той траекторией, по которой двигался центр тяжести родоначального тела, что, впрочем, далеко не очевидно.

В 50-х годах текущего столетия Г. Ф. Султанов попробовал выяснить, можно ли согласовать распределение орбит современных астероидов с представлением о распаде первоначальной планеты. В основу расчетов он положил некоторые упрощающие предположения, а именно что родоначальная планета испытала распад в афелии или перигелии своей орбиты, а также что скорости обломков одинаковы и равномерно распределены по всем направлениям, причем столкновений между ними не происходило. При этих условиях,

вряд ли соответствующих действительности, Г. Ф. Султанов пришел к выводу, что распадом одной планеты существующий ныне пояс астероидов объяснить нельзя. Но этот вывод, как справедливо отметил в свое время академик В. Г. Фесенков \*), можно было заранее ожидать, так как осколки родоначальной планеты заведомо сталкивались между собой и это настолько усложнило первоначальную картину, что ныне решить средствами небесной механики, верна или неверна гипотеза Ольберса, вряд ли вообще возможно. Для решения проблемы следует обратиться к рассмотрению физических свойств астероидов.

Неправильная, осколочная форма всех известных астероидов и метеоритов наглядно свидетельствует о непрерывно продолжающемся разрушении, дроблении тел в кольце астероидов. Даже самые крупные из астероидов — это обломки еще более крупных тел, а вовсе не продукт первичной конденсации вещества протопланетного облака.

Иногда высказывается предположение, что родоначальником современного пояса астероидов было несколько (пятьдесят) сравнительно небольших родоначальных тел. Однако, как показал Дж. Койпер, даже если эти первичные тела лежали почти в одной плоскости и имели почти круговые орбиты, столкновения между ними могли быть крайне редкими — одно столкновение за 30 млрд. лет, т. е. за срок, на порядок превосходящий возраст планетной системы! Эта вряд ли преодолимая трудность может рассматриваться как еще один аргумент в пользу реальности Фаэтона.

Видманштеттеновы фигуры в некоторых условиях могут получаться искусственно как продукт металлургического процесса. Но в таких случаях они получаются почти микроскопически мелкими. Крупномасштабность видманштеттеновых фигур в железных метеоритах, по-видимому, может быть объяснена тем, что эти метеориты формировались под весьма высоким давлением, т. е. в недрах крупной планеты. Впрочем, вопрос о происхождении видманштеттеновых фигур в метеоритах и поныне окончательно не решен.

Неоднократно пытались построить гипотетическую модель Фаэтона. Наиболее успешно это сделал выдающийся советский геолог академик А. Н. Заварицкий. Полагая, что число падений метеоритов разных классов пропорционально объему соответствующих (по составу) частей Фаэ-

---

\*) «Вопросы космогонии», . I, Изд-во АН СССР, 1952, стр. 125.

тона, Заварицкий изобразил наглядно строение этой, быть может, когда-то существовавшей планеты (рис. 21).

Радиус ее железного ядра составлял примерно 0,4 радиуса всей планеты. Наружная твердая кора Фаэтона, соответствующая базальтовой оболочке Земли, по толщине была близка к 1,5% радиуса планеты (у Земли — около одного процента). Общая масса Фаэтона, по Заварицкому, как уже говорилось, была не меньше 0,1 массы Земли. На самом же деле она могла быть гораздо большей, так как после катастрофы значительное количество вещества (в основном в форме пыли и мелких метеороидов) навсегда покинуло зону астероидов.

Конечно, сама по себе эта теоретическая «реконструкция» не доказывает реальности Фаэтона, но, во всяком случае, она и не противоречит гипотезе Ольберса.

В метеоритах находят алмазы и когенит. Оба эти материала, по некоторым теоретическим расчетам, могли приобрести наблюдаемую структуру только под давлением не ниже 30 000 атмосфер, т. е. внутри тела, не уступающего по массе Луне (которая, кстати сказать, в сто раз массивнее Цереры). По некоторым опытным данным, для формирования алмазов типа метеоритных необходимы температура порядка 1200° С и давления свыше 55 000 атмосфер, что уже соответствует недрам землеподобной планеты. Но так как проблема образования алмазов очень сложна \*) и до сих пор не решена, то присутствие в метеоритах алмазов может объясняться по-разному.

В метеоритах обнаружен остаточный магнетизм, возможно вызванный воздействием магнитного поля родоначальной планеты. По данным Е. Г. Гуськовой, исследовавшей (1963 г.)

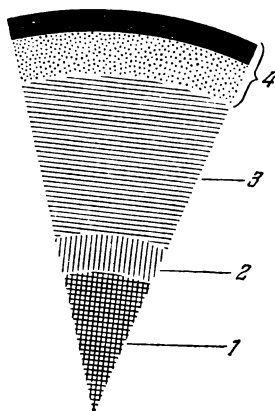


Рис. 21. Строение гипотетической планеты Фаэтон по А. Н. Заварицкому: 1 — железо-никелевое ядро, 2 — железо-силикатная зона, 3 — перидотитовый слой, 4 — базальтовая кора и подкорковый слой.

\*) В. Г. Васильев и др., Тайна образования алмазов, «Знание», 1967.

270 образцов метеоритов всех трех типов, намагничивающее поле имело напряженность порядка 0,2 эрстеда для каменных и 0,6 эрстеда для железных метеоритов, т. е. в этом отношении оно было сходно с геомагнитным полем. Проанализировав всевозможные источники намагничивания, Е. Г. Гуськова пришла к заключению, что «намагниченность метеоритов приобретена ими при образовании в родоначальных телах, имевших собственные магнитные поля, так как где-либо в космическом пространстве трудно ожидать одновременное наличие высоких температур и постоянного магнитного поля, необходимых для образования термоостаточной намагниченности» \*).

К аналогичным выводам пришел также И. Керн, доказавший, что хондриты остывали в магнитном поле родоначальной планеты, причем напряженность этого поля была близка к напряженности магнитного поля Земли.

Космические исследования последнего десятилетия показали, что магнитные поля присущи, по-видимому, только крупным небесным телам. У Луны, Венеры и Марса они практически отсутствуют. Зато есть серьезные основания полагать, что Юпитер окружен мощными радиационными поясами, а стало быть, и весьма интенсивным магнитным полем. Если эти выводы подтвердятся и в дальнейшем, то остаточная намагниченность метеоритов может стать серьезным аргументом в пользу реальности Фазтона.

Как бы ни были весомы приведенные выше аргументы, главное, что заставляет сегодня некоторых исследователей вновь вернуться к гипотезе Ольберса, заключается в другом. Органика метеоритов, сложные высокомолекулярные углеродистые соединения, в них находимые, и особенно загадочные «организованные элементы», удивительно похожие на примитивные формы жизни,— вот, пожалуй, главный аргумент современных защитников гипотезы Ольберса. Если еще можно представить себе (и даже моделировать в лаборатории) абиогенный синтез некоторых белковых веществ, если можно допустить, что такого рода синтез происходил, и, возможно, ныне происходит в межпланетном пространстве, то вряд ли кто-нибудь рискнет утверждать, что и жизнь зародилась там же. Вспомним, что по мнению некоторых исследователей в отдельных метеоритах были обнаружены остатки живых организмов.

---

\*) «Метеоритика», вып. XXVI, 1965.

Такая схема представляется нереальной. Можно спорить о разных частностях гипотезы А. И. Опарина или иных, ей подобных гипотез, но вряд ли можно усомниться в том, что для возникновения белковых форм жизни необходима земноподобная обстановка. Планета, на которой произошло такое событие, должна напоминать Землю. Отсюда и следует вывод о землеподобности Фазтона.

Было бы, однако, ошибкой считать приведенные рассуждения бесспорным доказательством реальности Фазтона. Проблема гораздо сложнее, чем это может показаться неспециалисту. Укажем лишь на некоторые трудности, заставляющие и сегодня считать гипотезу Ольберса только гипотезой.

Советский исследователь метеоритов А. А. Явнель выделил по меньшей мере пять групп метеоритов, сильно отличающихся друг от друга по химическим свойствам. Эти различия иногда действительно могут быть разительными. Если скажем, в Сихотэ-Алинском метеорите содержится всего 6% никеля, то известен метеорит Октибаго-Коунти, у которого процентное содержание никеля в 10 раз больше. Получается, что это не железный метеорит с примесью никеля, а никелевый с примесью железа.

Явнель считает, что каждая выделенная им группа метеоритов формировалась самостоятельно, в отдельном небесном теле.

Заметим, однако, что вывод этот не может считаться бесспорным. Если родоначальное тело было крупной планетой, то в разных ее частях условия могли быть весьма различными — отсюда и существенное расхождение в химических свойствах метеоритов. С другой стороны (напомним читателю работу Койпера), пять или даже десять родоначальных тел не могли превратиться в тот мелкодробленный пояс астероидов, который мы ныне наблюдаем.

Гораздо серьезнее те аргументы противников гипотезы Ольберса, которые основаны на большом разбросе так называемых космических возрастов метеоритов.

Странствуя в межпланетном пространстве, метеорит непрерывно подвергается воздействию космических лучей — потоков быстрых энергичных частиц, в основном протонов и ядер атомов гелия. Эти частицы вызывают в поверхностных слоях метеорита разнообразные ядерные реакции, в итоге которых возникают новые, так называемые космогенные элементы — продукты облучения метеорита космическими



лучами. Если постулировать, что интенсивность космических лучей всегда была такой, как и теперь, то по процентному содержанию космогенных элементов можно подсчитать космический возраст метеорита, т. е. время пребывания его в межпланетном пространстве в качестве самостоятельного небесного тела.

Иная картина складывается внутри достаточно крупного родоначального тела. Уже на глубине порядка нескольких дециметров породы практически экранированы от действий космических лучей (в том смысле, что ядерные реакции с образованием космогенных элементов тут уже не происходят). В этом случае возможен, разумеется, радиоактивный распад, например такой, который совершается в земных урановых рудах. По процентному содержанию продуктов распада урана можно оценить возраст породы. Но это уже будет не космический ее возраст, а срок, протекший со времени образования данного небесного тела (аналог возраста Земли).

Если принципиальная сторона вопроса достаточно проста, то практически определение возраста метеорита встречает многочисленные затруднения. Работа эта очень кропотлива, трудоемка, и интересующихся подробностями читателей мы отсылаем к литературе, где этот вопрос достаточно полно освещен\*).

Что касается срока, протекшего со времени образования метеоритного вещества, то для разных метеоритов и различными методами получается в среднем величина, близкая к четырем с половиной миллиардам лет. Таков же и возраст Земли, найденный аналогичными методами, таким же принимается и возраст планетной системы.

Другое дело — космический возраст метеоритов. Здесь разброс результатов очень велик. Если космический возраст каменных метеоритов в среднем получается равным 20—25 млн. лет, то для железных метеоритов он на порядок больше — в среднем 240—290 млн. лет. Выходит, что образование метеоритов разных классов происходило в разные эпохи, т. е., иначе говоря, объяснить возникновение метеоритов и астероидов единовременным распадом крупного родоначального тела не удастся.

Не исключено, что все эти хронологические трудности связаны с несовершенством современной методики определе-

---

\*) См., например, А. К. Лаврухина, Г. М. Колесов, Изотопы во Вселенной, Атомиздат, 1965.

ния возраста метеоритов, с ошибочностью некоторых принимаемых ныне постулатов.

Постоянна ли, например, интенсивность космического излучения? Судя по данным межпланетной автоматической станции «Марс 1», за короткий срок в несколько лет интенсивность космических лучей солнечного происхождения изменилась на 80%. С другой стороны, выглядит достаточно правдоподобной гипотеза, считающая причиной быстрого вымирания ящеров вспышку в галактических окрестностях Солнца сверхновой звезды. При такой вспышке интенсивность галактических космических лучей могла возрасти в миллионы раз, и естественно, что это резко увеличило бы количество космогенных элементов в метеоритах (что мы сочли бы признаком значительного возраста метеоритов). Коротче говоря, постулат о постоянстве космического излучения по меньшей мере сомнителен.

Представьте себе теперь другую картину. Когда-то при распаде крупной родоначальной планеты возник небольшой астероид поперечником, скажем, в несколько метров. Самые поверхностные слои его начали тотчас же подвергаться космическому облучению — «счетчик» возраста заработал. Прошло несколько миллионов лет, наш астероид, столкнувшись с другим, распался на осколки поперечником меньше метра. Теперь космогенные элементы образуются и в тех осколках, которые раньше были на поверхности астероида, и в тех, что были внутри него. Что произойдет, когда и те и другие попадут к нам в лабораторию? Судя по содержанию космогенных элементов, мы им припишем разный космический возраст. Мы склонны будем считать, что один из осколков образовался на несколько миллионов лет позже других, тогда как на самом деле их выделение из первоначальной крупной планеты произошло одновременно.

Мы уже подчеркивали, что структура метеоритов свидетельствует о сложности пройденного ими жизненного пути. Распад и разделение сменялись объединением, медленное охлаждение — высокотемпературным нагревом. Мы не знаем деталей всей этой предыстории, и у нас нет уверенности, что все эти метаморфозы не сказались на содержании космогенных элементов. Но тогда какую ценность имеет принимаемая ныне хронология?

В некоторых современных работах делается попытка связать скорость радиоактивного распада с меняющейся (по Дираку) силой гравитационного взаимодействия. Если в этих

исследованиях есть зерно истины, то они заставят отвергнуть всю применяемую ныне методику определения возраста метеоритов\*).

Вывод ясен: принимаемая в современной метеоритике хронология отнюдь не может считаться абсолютно бесспорной, и потому разброс в возрастах различных метеоритов не может служить решающим аргументом против гипотезы Ольберса.

Допустим, что гипотеза Ольберса верна. Что же заставило Фаэтон распасться на части, какие причины привели эту планету к катастрофической гибели?

Ответить на этот вопрос пытались многие, но проблема и поныне остается нерешенной. В 1950 г. В. Г. Фесенков предположил, что Фаэтон когда-то подошел весьма близко к Юпитеру и под действием его мощного тяготения внутри Фаэтона резко уменьшились давление и теплоемкость, повысилась температура, образовался перегретый газ и Фаэтон взорвался, «как бомба».

Это предположение никогда не было физически достаточно обосновано. Распределение орбит астероидов показывает, что родоначальная планета никогда не подходила близко к Юпитеру. Позже и сам автор рассматриваемого предположения предпочел отказаться от своей гипотезы.

Еще в 1949 г. И. И. Путилин развил гипотезу о распаде Фаэтона при его очень быстром осевом вращении. Однако эта «ротационная гипотеза» не нашла сторонников из-за плохой своей обоснованности. В частности, И. И. Путилин никак не объяснял причины столь быстрого вращения Фаэтона (линейная скорость на его экваторе — порядка трех километров в секунду!).

Гораздо правдоподобнее выглядит «вулканическая» гипотеза, считающая причиной распада Фаэтона мощные вулканические или какие-то взрывные процессы, на нем происходившие. В разных вариантах и формах эта гипотеза защищалась многими, в частности и А. Н. Заварицким\*). Возможность развития в прошлом мощных эруптивных процессов на телах Солнечной системы убедительно показана С. К. Всехсвятским. Не исключено, что именно такого рода

---

\*) См. статью Э. В. Соболича в сборнике «Метеоритика», вып. XXV, «Наука», 1964.

\*\*\*) А. Н. Заварицкий, Работы по метеоритике, Изд-во АН СССР, 1956.

процессы и привели к гибели, к распаду одну из крупных планет Солнечной системы. Заметим, однако, что и эта гипотеза, защищаемая ныне также А. Рингвудом и другими, обоснована пока явно недостаточно.

Если тектиты — это стеклянные метеориты, нельзя ли связать происхождение этих тел с возникновением кольца астероидов? Было бы, конечно, ошибкой считать все без исключения метеорные тела осколками гипотетического Фаэтона. Вполне мыслимы (принципиально говоря) и иные источники происхождения метеорных тел. Ими могли бы стать, скажем, «вулканические бомбы», выброшенные с поверхности крупных планет, или осколки мелких спутников планет, выброшенные в межпланетное пространство при столкновении спутника с метеоритом.

Некоторые исследователи, как, например, Д. О'Киф, считают тектиты осколками лунных пород, выброшенных в космос при взрыве падающих метеоритов. Эта последняя точка зрения вряд ли соответствует действительности не только потому, что состав поверхностных лунных пород (судя по последним космическим экспериментам) непохож на состав тектитов, но и потому, что вероятность попадания осколков с Луны на Землю весьма невелика.

Космогенный возраст тектитов очень мал (порядка миллиона лет), и это обстоятельство мешает, конечно, объединить их с другими метеоритами. Но если, вспоминая несовершенство современной метеоритной хронологии, игнорировать этот факт, то можно допустить, что тектиты образовались из поверхностных силикатных слоев Фаэтона. К сожалению, и здесь мы наталкиваемся на досадное противоречие. Образование тектитов происходило при очень высокой температуре, углистые же хондриты (которые должны были быть, судя по всему, также образованы из поверхностных слоев Фаэтона), по-видимому, никогда не нагревались сколь-нибудь сильно (иначе в них не сохранилась бы их «органика»).

Как выпутаться из этих противоречий, пока неясно.

Летом 1965 г. на XX Международном конгрессе по теоретической и прикладной химии академик А. П. Виноградов сообщил, что в настоящее время хондры можно получить экспериментально.

Они образуются из плазмы при подземных ядерных взрывах, причем чем мощнее взрыв, тем меньше размеры шариков. Вспомните сходство тектитов с ядерными импактатами. Не говорят ли эти факты о каких-то ядерных процессах,

сопровождаявших распад Фаэтона? Трудности, связанные с обоснованием гипотезы Ольберса, заставляют некоторых современных исследователей искать совершенно новые пути решения проблемы. Интересная гипотеза недавно была высказана академиком В. Г. Фесенковым\*).

Анализируя количественные соотношения различных радиоактивных изотопов, которые встречаются в составе метеоритов, В. Г. Фесенков приходит к заключению, что «Земля и другие планеты образовались в одно время с Солнцем и что, таким образом, процесс образования нашей планетной системы органически должен быть связан с общим галактическим процессом звездообразования». Решающую роль в этом процессе советский ученый отводит вспышкам так называемых сверхновых звезд, при которых не только взорвавшаяся звезда выделяет в пространство огромные запасы вещества и энергии, но и совершается не менее важный процесс — синтез тяжелых элементов.

В межзвездной газопылевой среде В. Г. Фесенков давно уже обнаружил странные волокна и сгущения, связанные, по-видимому, с некоторыми звездами, расположенными на небе цепочкой. Возможно, что вся эта наблюдаемая картина показывает нам процесс зарождения звезд в межзвездной среде. Но тогда в той же среде могли образоваться некоторые вещества и даже отдельные структурные детали (хондры), находимые ныне в метеоритах.

«Процессы на самой ранней стадии развития Солнечной системы отличались чрезвычайной сложностью, — пишет В. Г. Фесенков. — Это был сначала какой-то процесс образования тяжелых, в том числе короткоживущих, элементов, по-видимому, вспышка сверхновой, сопровождавшаяся распространением ударных волн со сжатием вещества газопылевой туманности, в которой быстро выделялись многочисленные сгущения, окружавшие центральное тело — образовавшееся Солнце.

В этих протопланетных сгущениях при их взаимных столкновениях происходили местные небольшие и кратковременные нагревы, которые повели к образованию хондр и вместе с тем большого количества довольно сложных органических соединений.

В образовавшихся астероидальных телах могла происходить постепенная кристаллизация железо-никелевых си-

---

\*) «Природа», № 5, 1968.

деритов; другие же подобные тела подвергались, по-видимому, уже на ранней стадии своего существования многочисленным столкновениям и распадам».

Если и на самом деле происходило все так, как это предполагает В. Г. Фесенков, то гипотетическая земноподобная планета Фаэтон попросту никогда не существовала.

Подводя итоги, следует признать, что и поныне, спустя 170 лет после открытия первого астероида, проблема происхождения астероидного кольца остается нерешенной.

Предложено много гипотез, но ни одну из них нельзя пока считать достаточно убедительной и обоснованной. В такой ситуации единственный выход — продолжать исследования, накапливать все новые и новые факты.

Хотя метеоритика и классическая «наблюдательная» астрономия далеко еще не исчерпали в этой области познания все свои возможности, успешно развивающаяся космонавтика раскрывает перед исследователем астероидов совершенно новые, порой почти фантастические перспективы. Не исключено, что только прямые космические эксперименты окончательно раскроют тайну происхождения малых планет.

## АСТЕРОИДЫ И КОСМОНАВТИКА

В наши дни изучение малых планет может и должно быть связано с некоторыми проблемами космонавтики. Прежде всего это относится к решению некоторых астронавигационных задач.

Изучая орбиты малых планет, можно определять возмущения, вызванные Юпитером и другими планетами в их движении, а по величине возмущений — массы планет. Вряд ли нужно пояснять, что при полете к планетам расчетные траектории зависят не только от расстояния до планеты, но и от ее массы. В этом отношении классические небесномеханические методы и поныне остаются единственными, не имеющими «конкурентов».

Как известно, некоторые из звезд (например, Канопус) использовались в качестве ориентиров для системы стабилизации космических аппаратов. В дальнейшем, особенно при межпланетных перелетах, использование звезд в качестве ориентиров будет применяться еще более широко. В связи с этим, очевидно, надо знать как можно точнее взаимное расположение звезд на небе и их небесные экваториальные

координаты. Максимальное уточнение звездных каталогов насущно необходимо для космонавтики.

В конечном счете задача сводится к возможно более точному определению положения точки весеннего равноденствия — начала отсчета в экваториальной системе координат. Задачу эту можно решить по наблюдениям планеты, для которой разработана точная теория движения. Из всех же планет удобнее всего астероиды, так как их звездообразный облик облегчает измерения и устраняет ряд систематических ошибок. Так намечается еще одна связь малых планет с космонавтикой.

В плане ближайших работ по освоению космоса пояс астероидов рассматривается как область повышенной метеорной опасности, т. е. как некое препятствие для полета к далеким планетам — Юпитеру, Сатурну, Урану, Нептуну и Плутону. Но возможно, конечно и иное, позитивное отношение к астероидам.

Малая масса и небольшие размеры этих тел облегчают посадку на крупнейшие из них (скажем, Цереру) или «стыковку» с остальными, так как даже для Цереры критическая скорость составляет всего 300 м/сек. Заметим, что в настоящее время элементы орбит астероидов известны с большими погрешностями, что пока затрудняет «попадание» в них, т. е. посылку с Земли космических аппаратов в окрестности астероидов (не говоря уже о посадке на их поверхность). Отлет с астероидов в принципе также представляется относительно легкой задачей. Короче, отсутствие атмосферы и значительных полей тяготения облегчает непосредственное изучение малых планет. Но что дадут науке эти исследования? Можно ли использовать на благо человечества малые планеты?

Возможно, что некоторые из астероидов богаты ценными природными минералами. Тогда эти рудные богатства придется или разрабатывать на месте, или транспортировать на Землю. И то и другое в принципе реально, хотя и сопряжено с колоссальными техническими трудностями.

Главное же, вероятно, заключается не в этих грубо утилитарных целях. Гораздо важнее те сведения о прошлом Солнечной системы, о происхождении кольца астероидов и природе этих тел, которые мы получим, вступив на их поверхность. Уже сейчас, до начала непосредственного изучения астероидов средствами космонавтики, есть основания думать, что нас ожидают самые непредвиденные сюрпризы.

Помните, в какой борьбе с косностью и заблуждениями родилась метеоритика? Двести лет назад официальная наука не признавала реальность метеоритов. После 1803 г., когда Парижская Академия наук оказалась вынужденной признать, что «камни с неба падать могут», происходит любопытный процесс постепенного расширения классификации метеоритов.

Когда Берцелиусу в 1834 г. попал в руки первый углистый хондрит, ученый долгое время думал, что произошла какая-то ошибка: ведь в ту пору официально были признаны только железные и каменные метеориты.

Хотя еще Хладный привел убедительные доказательства того, что знаменитое Палласово железо является метеоритом, этому долго не хотели верить. Лишь в 1902 г., когда упал и был затем найден метеорит, по природе сходный с палласовой глыбой, классификация метеоритов была официально пополнена палласитами — любопытной разновидностью каменных метеоритов. Можно думать, что непосредственное изучение астероидов значительно расширит современную классификацию метеоритов.

Среди американских бредовых проектов развязывания космотермоядерной войны выдвигалось и предложение использовать малые планеты в качестве астероидных бомб! Конкретный «проект» такого рода предложил К. Коул, сотрудник компании «Дженерал электрик», автор монографии об астероидах. В пояс астероидов посылается космический корабль с группой космонавтов на борту. Они «причаливают» к астероиду, скажем, диаметром 52 км и массой 500 млн. *t* и затем, используя двигатели корабля, направляют этот астероид в намеченный район земного шара. Можно подсчитать, что взрыв такого астероида при ударе о Землю равноценен одновременному взрыву миллиардов водородных бомб среднего калибра. В 1966 г. проект Коула обсуждался в Пентагоне\*). Комментарии к такого рода «проектам», разумеется, не требуются.

Наши планы иные. Мы осваиваем космос не для захватнических, агрессивных, человеконенавистнических целей, а ради новых резервов пространства, вещества, энергии, ради превращения человечества в космическую цивилизацию.

---

\*) Г. Х о з и н, Милитаристы в космосе, Воениздат, 1967, стр. 95.



## СОДЕРЖАНИЕ

АСТЕРОИДЫ В ПОВЕСТКЕ ДНЯ.	3
НЕМНОГО ИСТОРИИ.	7
МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МАЛЫХ ПЛАНЕТ	17
ДВИЖЕНИЕ И ОРБИТЫ АСТЕРОИДОВ.	25
ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ АСТЕРОИДЫ	31
ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МАЛЫХ ПЛАНЕТ	41
МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ.	51
АСТЕРОИДЫ В ЛАБОРАТОРИИ.	66
ЗАГАДКИ ТЕКТИТОВ.	80
БЫЛА ЛИ ПЛАНЕТА ФАЭТОН?	86
АСТЕРОИДЫ И КОСМОНАВТИКА.	101

---

Цена 19 коп.

АД

## ПОПУЛЯРНЫЕ ЛЕКЦИИ ПО АСТРОНОМИИ

- Вып. 1. **П. П. Паренаго.** Астрономические обсерватории (Как изучают небо), Гостехиздат, 1953.
- Вып. 2. **Ф. Ю. Зигель.** Кометы. Изд. 2-е, Гостехиздат, 1955.
- Вып. 3. **Б. Ю. Левин.** Происхождение Земли и планет. Изд. 4-е, дополн., Издательство «Наука», 1964.
- Вып. 4. **В. В. Федынский.** Метеоры, Гостехиздат, 1956.
- Вып. 5. **П. П. Паренаго.** В мире звезд, Гостехиздат, 1956.
- Вып. 6. **В. Н. Комаров.** Движения звезд, Гостехиздат, 1957.
- Вып. 7. **К. А. Куликов.** Астрономия на службе народного хозяйства, Гостехиздат, 1957.
- Вып. 8. **Е. Л. Кринов.** Метеориты, Физматгиз, 1958.
- Вып. 9. **Э. В. Кононович.** Солнечная корона, Физматгиз, 1958.
- Вып. 10. **И. А. Паршин.** Луна, Физматгиз, 1960.
- Вып. 11. **С. Б. Пикельнер.** Солнце, Физматгиз, 1961.
- Вып. 12. **Н. Н. Сытинская.** Планета Марс, Физматгиз, 1962.
- Вып. 13. **В. Г. Тейфель.** Планеты-гиганты, Издательство «Наука», 1964.
- Вып. 14. **Е. А. Гребеников, Ю. А. Рябов.** Что такое небесная механика, Издательство «Наука», 1966.
- Вып. 15. **Ю. И. Витинский.** Солнечная активность, Издательство «Наука», 1969.
- Вып. 16. **Ф. Ю. Зигель.** Малые планеты, Издательство «Наука», 1969.