

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

Н. С. АСТАПОВИЧ и В. В. ФЕДЫНСКИЙ

М Е Т Е О Р Ы



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

52
241

Депозитарий

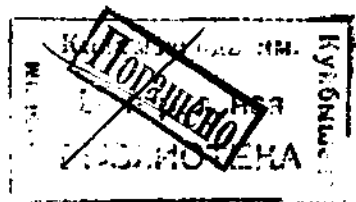
АКАДЕМИЯ НАУК СЮЗА ССР

52
A-91

И. С. АСТАПОВИЧ и В. В. ФЕДЫНСКИЙ

МЕТЕОРЫ

Прог. 1934



РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1940 ЛЕНИНГРАД

1968 г.

20812 11429188

524
976

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ
Под общей редакцией акад. С. И. ВАВИЛОВА

Ответственный редактор проф. С. В. Орлов

Ведущий редактор В. М. Турбин.

Технический редактор А. П. Дронов.

Корректор Л. Г. Афанасьева.

Сделано в набор 3/X 1938 г. Подписано к печати 11/II 1939 г. Формат 60×92¹/₈. Объем 8 п. л. и 3 вкл. В 1 п. л. 48 000 печ. зн. Тираж 5000 экз. Уполн. Главлита № А-728. АНИ № 484. Заказ № 862. Уч.-авт. л. 8.8. Цена 3 руб. Переплет 1 руб.

Сматрицировано в 1-й Образцовой типографии Огиза РСФСР треста «Полиграфкнига».
Москва, Валовая, 28.

Отпечатано с матриц на 3-й фабрике книги «Красный пролетарий» треста «Полиграфкнига».
Москва, Краснопролетарская, 16.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Наша книга содержит общедоступное изложение современных взглядов на природу и значение метеорной материи, находящейся во Вселенной в распыленном состоянии.

Светящаяся материя Вселенной, образующая гигантские разреженные туманности или организованная в сравнительно плотные газовые сгустки звезд, составляет только одно звено круговорота материи. Помимо нее огромные облака холодной космической метеорной пыли повсюду разбросаны в межзвездном пространстве. Отдельные рои метеорных тел странствуют в глубинах Вселенной, осуществляя перенос и обмен вещества в пространстве. Таково второе звено круговорота. Нельзя представить себе современной теории развития небесных тел без учета этого второго звена. Метеорная материя, т. е. космическое вещество, находящееся в распыленном состоянии, играет важную роль в строении и развитии Вселенной.

При своем движении в пространстве отдельные метеорные тела, группы и рои метеорных тел и, наконец, целые облака космической пыли встречаются с более крупными небесными телами, в том числе и с Землей. Тончайший слой молекул различных металлов, оторванных от метеорных тел при их столкновении с атмосферой Земли, плавает на высоте выше 100 км над Землей, участвуя в слабом свечении ночного неба. Мельчайшие космические пылинки оседают до высоты 80 км над Землей, образуя здесь светящиеся ночные облака. Более крупная космическая пыль и отдельные осколки (метеориты) падают на поверхность Земли, и мы имеем возможность произвести подробный химический анализ кусков, пришедших из далеких областей Вселенной. Метеорная материя вносит космические, внеземные частицы в состав атмосферы, т. е. воздушной оболочки Земли и в состав земной коры.

Метеорная материя, в виде метеоритов и космической пыли, дает нам возможность непосредственно изучать химическое строение тел внеземного происхождения.

Результаты подобного изучения блестяще подтверждают то единство материальной основы Вселенной, существование которого является одним из главных положений диалектического материалистического мировоззрения.

При проникновении метеорных тел в верхние слои земной атмосферы, на высотах от 150 до 20 км над уровнем моря, возникает целый ряд явлений: вспыхивают и быстро пролетают метеоры («падающие звезды») различной яркости, возникают следы из светящихся частичек воздуха и метеорного тела, наблюдаются звуковые явления и т. д. При этом имеет место глубокое взаимодействие метеоров с земной атмосферой. Явления при полете метеоров указывают на физическое состояние (давление, плотность, температуру) и химический состав соответствующей области верхней атмосферы. Метеоры являются своего рода пробными телами, позволяющими судить о строении недоступных пока человеку верхних слоев атмосферы.

В настоящее время идет борьба за освоение стратосферы до высот 15—16 км, и имеются отдельные попытки подняться до 20—30 км. Пройдет некоторое время и человечество постарается овладеть и более значительными высотами. Но и теперь для решения некоторых практических вопросов, нужно знать хотя бы приблизительно строение атмосферы в зоне выше 30 км. При изучении верхней атмосферы метеоры оказывают большую помощь.

Метеорная материя дает при проникновении в земную атмосферу целую серию метеорных явлений, которые представляют собой средство изучения верхней стратосферы.

Метеорная материя играет исключительную роль при изучении физики и химии Вселенной, а также физики земной атмосферы. Изучение этой материи может быть предметом астрономии, геофизики, минералогии, химии.

В этой книжке авторы пытались показать природу и роль метеорных тел Вселенной.

Большая помощь при составлении настоящего очерка была оказана нам со стороны проф. С. В. Орлова, который дал ряд ценных указаний, касающихся научного содержания книжки. Много стараний к улучшению изложения предмета и оформлению книги было проявлено со стороны редактора издательства В. М. Турбина. Упомянутым лицам авторы приносят свою искреннюю благодарность.

Москва, Октябрь 1938 г.

ВВЕДЕНИЕ

Падающие звезды, болиды, метеориты

Недавно в одну из тихих августовских ночей нам пришлось быть в группе пассажиров, ожидавших автобус. Дело было на далекой окраине нашего Союза, в одной из национальных республик. Прекрасная южная ночь раскинулась над проезжей дорогой, где на открытом воздухе ожидала машину наша разношерстная группа.

Нагретая дневным зноем земля дышала сухими запахами, чернели силуэты деревьев, и, наперебой с дробным стуком двигателя маленькой оросительной водопомпы в соседнем колхозе, трещали цикады. Разговоры на двух или трех языках возникали то на одну, то на другую тему.

Пассажиры невольно поглядывали на звездное небо. Без сомнения, это черное небо с тысячами звезд и с тускло серебристой полосой Млечного Пути через весь небосвод было из всего окружающего наиболее прекрасным, хотя и очень привычным, зрелищем. Внезапно слабый отблеск, словно от далекой молнии, лег на чернеющие листья пижирного дерева, и все увидели, как в вышине, через крестообразное созвездие Лебедя, пролетела яркая, белая падающая звезда. Полет, быстрый и бесшумный, длился немногим более секунды. Разбрасывая по сторонам крохотные красные искорки, падающая звезда погасла столь же неожиданно, как и вспыхнула. Лишь позади нее постепенно тускнела серебристая полоска следа, отметившая путь ее полета. Старик-колхозник, два юных пионера и дорожный техник воскликнули одновременно на трех языках: «Падающая звезда». И действительно, внешне явление походило на звезду, почему-то сорвавшуюся и стремительно упавшую со звездного неба. «Смотри, смотри, — продолжал один из пионеров, — как сильно мерцает та звезда. Наверно она тоже скоро сорвется». При этом он показывал своему товарищу на блестящую Вегу, великолепное далекое белое светило, одно из солнц-звезд нашей Вселенной. Словно отвечая на вопрос-восклицание, пролетела еще одна падающая звезда, через несколько минут — третья. Был август месяц, когда падающих звезд особенно много. «Откуда же они вылетают, — ведь звезды остались все на месте?» — недоуменно продолжал спрашивать смуглый мальчик в красном галстуке. И так как никто, кроме нас, не мог ответить на его вопрос, то пришлось вкратце объяснить ему, а заодно и всем

собравшимся в кружок, что такое падающие звезды, где они пролетают, откуда берутся, какое место занимают во Вселенной и как много интересных вещей можно узнать при их изучении.

Время нашей беседы было очень ограничено, так как вдали за поворотом шоссе уже показывались два огненных глаза автомобиля.

Однако вопросов было много, потому что предмет, о котором мы беседовали, был одновременно и интересен, и незнаком широким массам.

Эта книга стремится ответить в связной и достаточно подробной форме на те же вопросы, что и описанная выше придорожная беседа. Среди небесных явлений падающие звезды и так называемые падающие с неба камни (или метеориты) кажутся чем-то незначительным. Но эти явления происходят на небольшом расстоянии от нас и мы получаем возможность изучать Вселенную, держа в руках кусочек составляющей ее материи в виде выпавших метеоритов или наблюдая их полет в нашей атмосфере в виде падающих звезд. Эта близость делает познание и изучение падающих звезд и метеоритов важной отраслью науки о небе — астрономии. Кроме того, как мы увидим дальше, раздробленные мелкие метеориты являются такой же распространенной и важной формой существования материи в окружающей нас Вселенной, как и гигантские звезды, туманности или планеты. Целая отрасль науки — метеорная астрономия с метеоритикой (учение о выпавших на Землю метеоритах) — плодотворно и быстро развивается, особенно в последние годы. Наша книга должна дать представление о задачах, путях и достигнутых результатах в этой области.

Явление, которое видели пассажиры у дороги, было названо ими по первому впечатлению «падающей звездой» — казалось «звезда упала». В науке «падающая звезда» носит название метеора (фиг. 1). Впрочем, все народы — англичане, французы, немцы, итальянцы — называют метеоры «падающими звездами». Название это по существу неправильно, как мы увидим дальше, но оно широко распространено, так как близко передает первое, внешнее впечатление. Падающие звезды видел, конечно, каждый, кто сколько-нибудь обращал внимание на ночное звездное небо, вдали от яркого искусственного освещения, пыли и дыма больших городов.

Так же как и у настоящих звезд, яркость метеоров чрезвычайно различна. Иногда падающая звезда бывает настолько яркой, что дает ясно заметные тени от предметов, сильно освещая местность. Чаще метеоры по яркости вполне похожи на обычные звезды. Если всматриваться тщательно и подолгу в темное небо, то можно увидеть быстрые и почти незаметные из-за слабости своего света падающие звезды — не ярче самых слабых звезд, видимых невооруженным глазом.

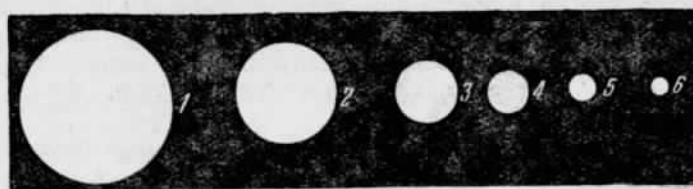
Полезно вспомнить, как оценивается яркость обычных звезд. Еще древнегреческий астроном Гиппарх разделил звезды, види-

мые простым глазом, по их яркости на шесть классов, на так называемые звездные величины. Наиболее яркие звезды были обозначены Гиппархом, как звезды 1-й величины, затем следовали звез-



Фиг. 1. Полет яркого метеора.

ды 2-й, 3-й, 4-й, 5-й и 6-й величин (фиг. 2). Точные измерения силы света звезд, сделанные в XIX веке, показали, что каждая звездная величина ярче следующей в 2.5 раза. Так, звезда 1-й величины ярче звезды 2-й величины в 2.5 раза, звезда 4-й величины ярче



Фиг. 2. Относительная яркость звезд.

звезды 6-й величины в $2.5 \times 2.5 = 6.25$ раза, и т. д. Кроме того, оказалось, что некоторые звезды, а также планеты, светящиеся отраженным светом Солнца, имеют яркость сильнее условно названной 1-й величины, так что были введены обозначения 0 (нулевой величины), -1 (минус первой), -2 (минус второй) и т. д. Чтобы дать некоторое понятие о шкале звездных величин, скажем, что Луна в полнолуние имеет яркость -12-й величины, планета Венера, известная в просторечии как «вечерняя» или «утренняя звезда», -4-й величины в эпоху своего наибольшего блеска; самая яркая звезда неба — Сирius, видимая в наших широтах зимой низко



Фиг. 4. Путь телескопического метеора в поле зрения трубы в районе Плеяд 16/IV 1936 г.

на юге, -1.5-й величины; белая звезда Вега, поздним летом видимая над головой, 0-й величины; звезды Большой Медведицы 2-й величины; самые слабые звезды, видимые невооруженным глазом на небе, имеют яркость 6-й величины.

Падающими звездами или метеорами в собственном смысле этого слова называются такие метеоры, яркость которых не превосходит яркости Венеры. Следовательно, падающие звезды, видимые простым глазом, могут иметь яркость, различающуюся в пределах около 10 звездных величин. Это соответствует тому, что наиболее яркие падающие звезды ярче самых слабых, видимых невооруженным глазом, более чем в 2.5^{10} или приблизительно в 10 000 раз. Такая огромная разница в яркости зависит не только от разницы в расстояниях до метеоров, вследствие чего далекие падающие звезды кажутся слабее, но и от различия в их размерах. На фиг. 3 (в конце книги) приведена фотография обычной падающей звезды, из которой видно, что по яркости она действительно вполне похожа на большинство звезд.¹ В бинокль или телескоп можно видеть звезды и метеоры слабее предельной 6-й величины, различаемой простым глазом, т. е. соответствующие яркости 7-й, 8-й, 9-й и т. д. звездных величин.

Метеоры, слабее 6-й звездной величины, видимые лишь при помощи биноклей или телескопов, называются телескопиче-

¹ Звезды на этой фотографии, вследствие суточного вращения неба, вышли дугами (камера была неподвижна).

скими падающими звездами, или телескопическими метеорами. На фиг. 4 показано, как бывает виден телескопический метеор. В настоящее время известны телескопические метеоры 14-й и 15-й звездных величин, но, вероятно, это не предел. Итак, существуют крошечные падающие звезды, яркость которых лежит далеко за пределами досягаемости невооруженного глаза.

С другой стороны, не часто, но и не слишком редко, метеоры бывают чрезвычайно блестящими, давая поистине грандиозное явление полета «огненных шаров», или болидов. Так называются очень яркие метеоры, превосходящие по яркости Венеру, и часто сопровождающиеся звуками. Небольшой процент боли-

дов обладает настолько большой яркостью, что может наблюдаться среди белого дня, при полном блеске Солнца. Такие болиды получили у англичан название дневных болидов (фиг. 5). Для того чтобы болид можно было увидеть днем, нужно чтобы его яркость была не менее минус 9-й величины. Не следует забывать, что огромное множество метеоров, несомненно пролетающих в дневное время, остается незамеченным в блеске голубого неба и солнечного сияния. Приведем описание полета характерного болида, сделанное очевидцем, т. Успенским, в неопубликованном письме в редакцию одного из научно-популярных журналов.

«Это было часа в 4 или 5 вечера 9 сентября 1918 г., накануне занятия Самары (теперь Куйбышев) войсками Красной армии. День очень теплый и тихий. Небо ясное и безоблачное. На западе раздавались редкие и глухие артиллерийские выстрелы, по железнодорожным путям станции Самара двигались небольшими группами санитары, несшие на носилках раненых. Солнце склонилось к западу, ярко освещая ландшафт. Смотри на восток, я вдруг заметил на высоте, примерно, 20—30° от горизонта ослепительно белое пятно, которое быстро и бесшумно резало воздух, продвигаясь как будто бы параллельно земной поверхности в направлении на запад, оставляя за собой красивый и довольно широкий след яркого зеленовато-желтого цвета. Ядро (пятно), пройдя некоторое расстояние, исчезло, но хвост, длиной градусов



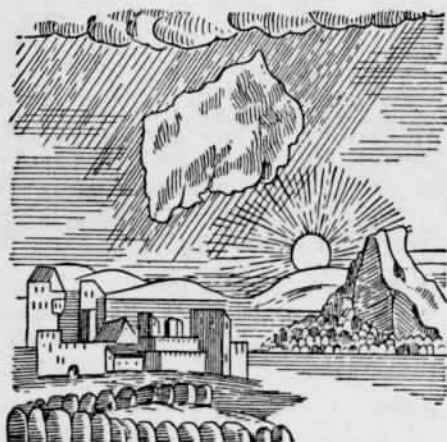
Фиг. 5. Полет болида 18/X 1916 г. в 11 ч. 52 м. дня над Уссурийским краем. Из него выпал железный метеорит „Богуславка“, весом в 256 кг

в 15—20, оставался отчетливо видимым несколько секунд. Вначале я принял появившееся пятно за снаряд или ракету, но отсутствии какого бы то ни было шума и вид пятна заставили предположить, что это был яркий болид».

Действительно, это — описание болида, появление которого предшествовало выпадению Саратов-Донгузского метеорита 1918 года.

Вот еще описание болида, но на этот раз сопровождаемого звуками:

«В ночь с 22 на 23 апреля 1929 г. я с двумя товарищами отправился на охоту. Зилаир (населенный пункт в Башкирии) утонул во мраке, тускло освещенный мутным ликом Луны. В сосновом лесу царил тишина. Вдруг всю окрестность осветило ярким светом, как будто бы зажглась огромная электрическая лампочка. Мы в это время были на довольно высоком скалистом бугре. Ошеломленные, мы остановились. При этом свете хмурые сосны стали зелеными, был замечен



Фиг. 6. Камень, падающий с неба (гравюра XVI в.).

каждый камень, каждый ручеек, бегущий по склону. Как будто огромный прожектор широкой струей своего света прорезал тьму. На север от Зилаира по небесному своду промчался зеленовато-огненный, ослепительно светящийся шар, оставляя светящийся угасающий след и рассыпая массу искр. Затем все исчезло, и снова мрак окутал окрестности. Часы показывали 15 минут первого.

Через $1\frac{1}{2}$ —2 минуты раздался как бы отрывистый удар грома с отголоском

треска, одновременно совпавший с небольшим содроганием земли. Звук этот можно сравнить с отдаленным орудийным «выстрелом». Из второго описания видно, что полет огненного шара (22—23 апреля 1929 г.) сопровождался звуковыми явлениями. Действительно, почти всегда через несколько минут вслед за появлением ярких метеоров, превосходящих по яркости Венеру, а иногда и Луну, слышен звук, похожий на громовой удар с последующими раскатами, напоминающими ружейную или пулеметную стрельбу, езду по булыжной мостовой и т. п.

Эти звуки появляются в результате воздушных волн — попеременных сжатий и расширений воздуха — перед летящим метеорным

телом, а также вследствие захлопывания воздухом пустот позади него. Иногда в местностях, над которыми происходит задержка, разрыв и угасание болида, выпадают один или множество каменных или железных осколков. Такие выпадения не раз бывали описаны уже в старинных летописях (фиг. 6).

В наше время падения стали регистрироваться гораздо чаще. Приведем описание падения метеорита.

«20 апреля 1930 г. жители селения Старое Борискино (Поволжье) около 1 часа дня по местному времени случайно заметили летевший по небу круглообразный, немного меньше луны «огонек», летевший на высоте градусов двадцати над горизонтом. За огнем тянулась как бы «огненная веревочка». Полет болида продолжался секунд пять, и после его исчезновения на том месте, где он исчез, образовалось облачко дыма, постепенно сгущавшееся и видимое в продолжение пяти минут. Вскоре после исчезновения облачка в западной стороне раздался сильный удар, наподобие оружейного выстрела. Следом за ним послышался гул, а секунды через три после удара раздался второй, затем третий, и всего было слышно около десяти ударов, следовавших один после другого секунды через три. Удары сначала усиливались, а потом стали постепенно слабее; они как бы перемещались с западной стороны на восток, последний удар был явственно слышен из того места, где исчез «огонек» и облачко дыма. Гул последнего удара продолжался секунд пять и утих постепенно. Секунд через 25—30 после того, как утих гул, они снова услышали звук сначала очень тихий, похожий на ветер, а потом становившийся все громче и громче; при этом он был как бы с дребезжанием (неровный) и напоминал звук от падения ирапнели. Этот звук продолжался в течение 20—25 секунд, и, наконец, словно что-то «ухнуло» — упало, раздался звук, который можно было изобразить, как «ууух». Содрогения или дрожания земли очевидцы при этом не заметили, но явственно почувствовали, что что-то упало недалеко от них на огород; они подумали, что это упала бомба. Вместе с подбежавшими к ним взрослыми и детьми, всего человек пятьдесят, они цепью пошли на огород, ища упавшую «бомбу». В двенадцати метрах от двора они заметили темное, с полметра толщиной, округлое пятно. Так как перед этим дождей уже давно не было, то паханная на огороде черноземная почва сверху подсохла и посерела, и на этом сером фоне темное пятно взрыхленной влажной земли выделялось очень отчетливо. Углубления на месте пятна не было; оно было вровень с общей поверхностью. Один из свидетелей подошел вместе со всеми остальными к этому месту и стал рукой разрывать землю; земля была рыхлая. На глубине сантиметров в 10—12 он почувствовал какой-то твердый предмет. Он попробовал было вынуть (выковырнуть пальцем) этот твердый предмет, но земля была плотная, и предмет не поддавался. Только после того как свидетели дали кол, он, воткнув его в землю, вытащил этот предмет. Все бывшие здесь заметили, что это был камень, а не бомба и не

осколок от снаряда; это был метеорит. Он был величиною, как определяют свидетели, «с овечью голову» и напоминал последнюю своей продолговатой формой. Метеорит из земли был вынут «теплым»; его «можно было свободно держать в руках»; ¹ с момента же падения прошло не больше 20 минут. Никто из бывших при раскопке метеорита и опрошенных свидетелей не заметил воле метеорита ничего опаленного или обожженного.

Метеорит со всех сторон был оплавлен и покрыт черной корой. Трещин на метеорите никто не заметил; когда его вынули из земли, он был чистый и земля к нему не пристала. От метеорита слышался дымный запах». ²

Чаще можно встретиться с более краткими описаниями падения метеоритов, как, например, приводимое ниже.

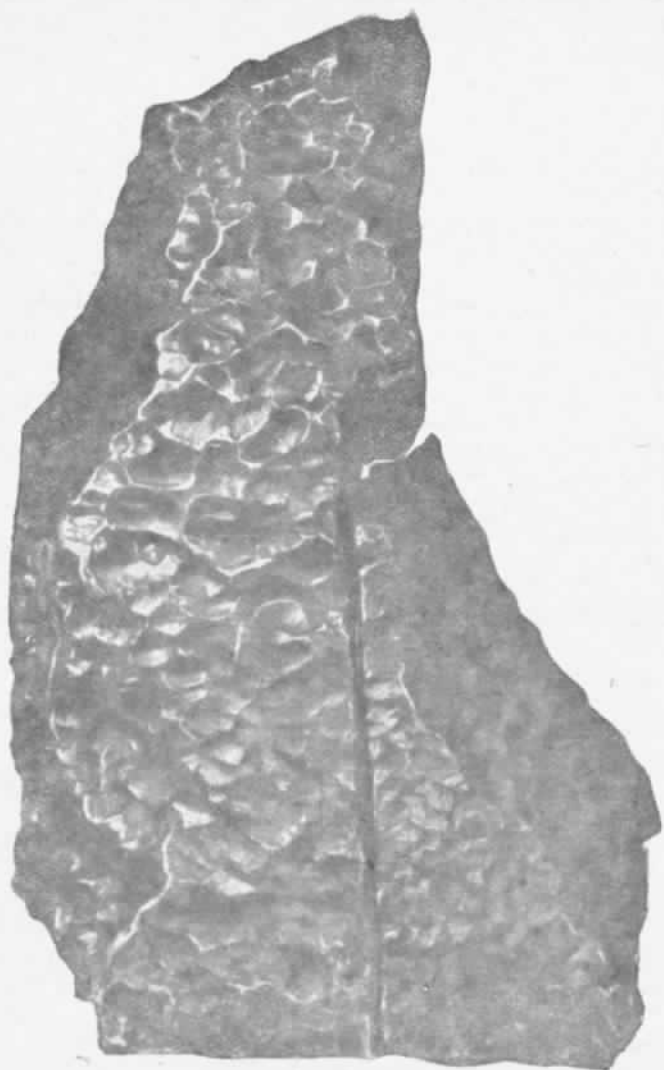
«11 января 1938 г. в Оренбургской области в Калининском районе близ селения Лаврентьевка один колхозник во время охоты, часа в три дня, услышал свист быстро падающего тела. Он заметил что-то упавшее стремительно в снег в нескольких метрах от него. Подбежав, он разгреб снег и увидел каменный метеорит, весь покрытый черной корой». Метеорит оказался в 1050 г весом. Охотник получил большую премию от Института Геологических Наук Академии Наук СССР (Москва, Старомонетный, 35), где метеорит ныне находится в общей коллекции.

Твердые массы космического происхождения, выпадающие на землю обычно в сопровождении очень ярких метеоров или болидов, называются метеоритами (фиг. 7). С природой метеоритов мы познакомимся ниже; пока ограничимся указанием на то, что величина и форма их бывают весьма различны, а по составу различают метеориты железные и каменные.

Из сделанного очень краткого обзора видно, что метеорные явления имеют очень широкие пределы: от едва уловимого в сильный инструмент телескопического метеора до ослепительно яркого болида, сопровождающегося громовыми раскатами и дающего выпадение метеоритов на Землю. Если внимательно продумать характер метеорных явлений, то станет ясно даже из этого краткого обзора, что они имеют место не в отдаленных космических пространствах, а в пределах нашей земной атмосферы. И в самом деле, падающие звезды или болиды, видимые в одной точке земного шара, не видны в других его точках, удаленных на сотни километров. Следовательно, метеорные явления близки к земной поверхности. Звук передается лишь в такой газовой среде, какой является атмосфера

¹ Полет метеорита в атмосфере в виде болида длится так недолго (несколько секунд), что сам метеорит не успевает прогреться насквозь; мало того, при его дальнейшем падении, которое длится несколько десятков и даже сотен секунд в очень холодных областях стратосферы, он успевает даже охладиться с поверхности, и потому, как правило, метеорит на землю падает холодным и, вопреки распространенному мнению, никогда не может явиться причиной пожаров или вообще ожогов.

² Доклады Академии Наук, 1931, Серия А, № 10, стр. 262—266.



Фиг. 7. Железный метеорит „Богуславка“, выпавший 18 октября 1916 г. на Дальнем Востоке. В воздухе разбился на две части весом в 199 и 57 кг.

нашей Земли. В безвоздушном межпланетном пространстве господствует вечное безмолвие, так как там отсутствует среда, передающая звук. Таким образом, метеорные явления происходят в земной атмосфере. Отдельные осколки, выпадающие на Землю, должны прорезать всю толщу воздуха вплоть до самой поверхности Земли.

С другой стороны, атмосферная оболочка Земли содержит лишь газы воздуха да водяные пары, которые иногда сгущаются и выпадают в виде осадков — дождя, града, снега. Следовательно, метеориты, выпадающие иногда на землю, должны проникать в атмосферу извне, из космического межпланетного или межзвездного пространства, из Вселенной. Для того чтобы вызвать появление более слабых падающих звезд и телескопических метеоров, ничем по существу не отличающихся, кроме своей яркости, от больших болидов, также нужно вторичное падение каких-то космических тел в нашу атмосферу.

Метеорные явления — от телескопических метеоров до наиболее ярких болидов, сопровождающихся звуками и выпадением метеоритов, — происходят в пределах земной атмосферы и вызываются вторичным в ней падением в нее небольших тел извне, из космического пространства. В настоящее время эти небольшие тела в науке начинают обозначать словом «метеорное тело». Метеорное тело есть предмет, а метеор — явление.

Несмотря на кажущуюся простоту и очевидность такого положения, природа метеорных явлений еще сто лет назад оставалась неразгаданной. Интересно сделать небольшое историческое отступление и проследить тот путь, по которому человеческая мысль пришла к высказанному выводу.

Историческое развитие взглядов на метеоры

Народы, стоявшие на низкой, первобытной, ступени материального и духовного развития, объясняли метеорные явления так же примитивно, как и все явления природы. Эти взгляды нашли свое отражение в народных повериях. Несколько десятилетий назад наши крестьяне еще верили, что звезды падают, когда человек умирает: душа каждого человека имеет на небе свою звезду, срывающуюся вниз в момент его смерти. Интересно, что похожий взгляд на падающие звезды можно было найти у чернокожих островитян Тихого океана. Воинственные кочевники-арабы объясняли явление метеоров тем, что ангелы, живущие на небе, вступают в борьбу с демонами и мечут в них огненные стрелы — «падающие звезды». Это народное объяснение вошло между прочим в знаменитые восточные сказки Шехерезады. Литовские крестьяне, занимающиеся приращением льна, создали сказку о волшебнице, живущей на небе и ткающей золотую пряжу — по одной нити на каждого рождающегося и живущего человека. Со смертью человека нить обрывается, и падение огненного ее обрывка с неба и есть «падающая звезда». Так, среди множества народных сказаний, объяснявших все непонятные явления природы с точки зрения аналогий с повседневной обстановкой и хозяйственной деятельностью человека, появилось некоторое количество народных легенд и поверий о метеорных явлениях. Большой ужас вызывали падения метео-

рытов на Землю — «небесных камней» или «камней, падающих с неба», как их повсюду называли. В античной Элладе (Греции) их считали священными осколками небесной тверди. Эскимосы, живущие в Гренландии, из поколения в поколение передавали сказание о большом камне, выпавшем с неба, — громадном метеорите, покопившемся на берегу залива Дisko. Метеоритное железо, имеющееся в железных метеоритах почти в чистом виде, сыграло большую роль в истории материальной культуры человека. Еще задолго до изобретения выплавки железа из руды человек пользовался ковким метеоритным железом для изготовления оружия и примитивных орудий. Так было в первый период существования античной эллинской культуры, о которой повествует нам эпос древних греков, у индейцев Нового Света вплоть до завоевания его европейцами-пришельцами, у эскимосов, еще в XIX веке изготавливавших себе ножи из метеоритного железа.

С возникновением больших общественных формаций — крупных государств, вроде рабовладельческой Римской империи или военно-феодального Арабского халифата, — господствующие религии этих держав, наряду с другими средствами воздействия на психику народных масс, немедленно использовали и развили народные сказания и поверья о метеорах, создав на их основе культ метеорных явлений. Так, римский император Гелиогабал воздвиг для одного из крупных метеоритов специальный храм в Риме и с большим торжеством водворил туда «священный» камень. Знаменитый камень Кааба в Мекке, почитаемый в течение ряда веков правоверными мусульманами, также является метеоритом. Храм для метеорита был воздвигнут и в Японии. Выпавший в XV веке в Эльзасе метеорит был помещен по приказанию местного князя в алтарь Энгельгеймского собора. Арабская легенда об ангелах, сражающихся с демонами, как объяснение падающих звезд, была использована Кораном, «священной» книгой мусульманской религии. В еврейской библии есть рассказ о том, как господь побивает неверное племя азекеян каменным дождем — метеоритами. На севере России православные служители культа выстроили на месте падения одного из метеоритов церковь. В результате религиям удалось возбудить страх перед метеорными явлениями и укреплять таким образом с помощью небесных явлений церковный дурман в сознании масс. Всего лет 15 тому назад кулаки и церковники одной из глухих русских деревень во время обильного падения метеоров, пришедшегося на тогдашнюю предпасхальную неделю, устроили специальный крестный ход, чтобы прекратить это «бедствие». В октябре 1933 г., во время большого метеорного дождя, когда падающие звезды насчитывались сотнями и тысячами, негры французских колоний в Африке вообразили, что наступил конец света, и местные жрецы немедленно устроили соответствующую церемонию, с использованием больших боевых барабанов, чтобы отогнать злых духов.

Первые попытки научного объяснения метеорных явлений мы находим у древнегреческих философов. Некоторые из них считали метеориты обломками небесной тверди, другие, возражая, полагали, что падение камней с неба невозможно. Что касается падающих звезд, то Аристотель их считал испарениями, которые поднимаются от земли и воспламеняются с приближением к огненной сфере неба. Дальше этих примитивных объяснений дело не шло в течение ряда веков. Помимо общего застоя в развитии человеческой культуры в эпоху феодального средневековья, выработку научного объяснения метеорных явлений также тормозило отсутствие стимула к их изучению. Если знание звездного неба, положения звезд, законов движения Луны, Солнца, планет по небу было необходимо человеку для календаря, исчисления времени, вождения торговых караванов в пустыне и кораблей в море и для определения географического положения места на Земле, то падающие звезды долгое время казались случайным явлением, изучение которого считалось лишенным всякого серьезного интереса. Даже тогда, когда после эпохи Возрождения астрономия и физика сделали колоссальные успехи, научные понятия о метеорных явлениях продолжали оставаться на уровне представлений Аристотеля. Так продолжалось до начала XIX столетия, когда человеческая мысль двинулась с этой точки сразу по двум направлениям. В ноябре 1799 г. знаменитый германский путешественник Гумбольдт, находясь в Южной Америке, стал первым из ученых, которому посчастливилось видеть и описать обильный метеорный дождь, когда тысячи падающих звезд бороздили небо во всех направлениях. Туземцы рассказывали ему, что такой же дождь был и в 1766 г., на основании чего Гумбольдт впервые заподозрил периодичность появления метеоров. Обильные метеоры в годы, близкие к 1799-му, обратило на себя внимание и в Европе, и тогда-то впервые были определены высоты падающих звезд и сделана даже попытка использовать наблюдения этого явления для определения долгот. Внимание науки было, таким образом, самой природой впервые привлечено к явлению падающих звезд, к которому ученые до тех пор относились равнодушно.

С другой стороны, к началу XIX века накопились неопровержимые доказательства того, что «с неба» действительно могут падать камни. Как ни странно, это обстоятельство, хорошо известное в древности и нашедшее свое отражение также в средневековых летописях, отрицалось в более позднее время. Дело в том, что среди передовых в свое время французских материалистов XVII и XVIII вв., ожесточенно боровшихся с религиозным, церковным мифовоззрением, существовало, в противовес церковному культу метеорных явлений, мнение о том, что падение камней с неба есть вообще ложная выдумка невежд и знахарей. Парижская Академия Наук даже приняла по поводу выпадения в 1784 г. метеорного каменного дождя специальное постановление, в котором сожалела о невежестве многочисленных свидетелей, подписавших акт о падении

каменей с неба. Однако накопившиеся факты метеоритных явлений и находки метеоритов (подобные знаменитой находке Палласом в Сибири в конце XVIII века большого железного метеорита) заставили пересмотреть такое отрицание, возникшее в пылу ожесточенной полемики науки и церкви. Уже физик Хладни выпустил в 1794 г. работу, в которой он определенным образом не только доказывал возможность падения метеоритов на Землю из межпланетного пространства, но и приходил к выводу, что болиды и падающие звезды также имеют космическое происхождение. Понадобилось, однако, еще 60 лет, пока этот вывод Хладни сделался общепринятым. Главную роль в этом сыграли измерения высот метеоров над землей, а также открытие перспективного явления радиации во время ноябрьского метеорного дождя 1833 г. Радиация определенно указывает на то, что метеорные явления имеют место в атмосфере. Все это вместе со старым, но еще неопровергнутым, мнением Аристотеля заставляло большинство ученых объяснять само происхождение метеоров атмосферными причинами. Некоторые, как, например, Кувье-Гравье, пытались даже по падающим звездам предсказывать погоду. Впрочем, это было естественно в начале XIX века, когда, отчасти под влиянием хозяйственных потребностей нового капиталистического хозяйства Западной Европы и Америки, возникла и получила быстрое развитие наука об атмосферных явлениях — метеорология. Тем временем появление обильных звездных дождей 1799 и 1833 гг. заставило ученых (Араго, Бю, Губерт Ньютон) пересмотреть средневековые хроники и летописи; в них было найдено много сведений, говоривших о периодичности метеорных дождей. Много записей нашлось и в древнекитайских летописях. Все это, вместе с накопившимся с начала XIX века материалом наблюдений, позволило французу Леверье, немцу Оппольцеру, англичанину Адаму и итальянцу Скиапарелли почти одновременно и независимо друг от друга впервые вычислить, на основании предположения о космическом происхождении явления, пути периодических метеорных потоков вокруг Солнца. Скиапарелли, кроме того, доказал совпадение путей этих потоков с путями блестящих «хвостатых звезд» — комет, о которых уже давно было известно, что они являются членами нашей Солнечной системы. Большой метеорный дождь в ноябре 1866 г., предсказанный астрономами и тщательно изучавшийся многочисленными наблюдателями, окончательно подтвердил космическое происхождение метеорных явлений. Шестидесятые годы прошлого века следует считать началом нового раздела науки о небе — метеорной астрономии. Параллельно, хотя и другими путями, в тесной связи с минералогией, развивалось учение о «небесных камнях» — метеоритах. Особое значение приобрело изучение метеоритов с точки зрения химического состава космических тел. Эти осколки, падающие на Землю из далеких глубин пространства, принесли нам неопровержимые факты о единстве материи, из которой создана вся Вселенная, включая

и нашу Землю. По степени распада в метеоритах радиоактивных элементов в последнее время успешно пытаются определить возраст этих метеорных тел, а вместе с тем и возраст тех областей Вселенной, откуда они пришли.

К концу XIX века область метеорной астрономии была расширена: было открыто, что многие очень быстрые метеоры безусловно не являются членами нашей Солнечной системы, а попадают в нее из межзвездного пространства. Их можно было бы назвать галактическими метеорами, т. е. принадлежащими к той же звездной системе Млечного Пути, что и наше Солнце, в противоположность солнечным метеорам, принадлежащим к нашей планетной системе. Метеорная материя была открыта в нашей Солнечной системе в виде пылевых колец Сатурна и туманной массы «зодиакального света» и даже, на чудовищных расстояниях звездной Вселенной, в огромных пылевых темных туманностях, заслоняющих от нас свет более далеких звезд и светлых туманностей. Мало того, на фотографиях далеких спиральных звездных систем, подобных нашему звездному миру Млечного Пути, можно видеть темные полосы на ребрах этих туманностей. Вероятно, это не что иное, как внегалактические темные скопления метеорной пыли.

Кроме того, исследование земной атмосферы распространялось на все более высокие области газовой оболочки Земли; здесь выяснилось, что процесс распыления метеорной материи в воздушной броне нашей планеты представляет выдающийся интерес для науки. В совсем недавнее время возник еще один важный раздел учения о метеорах, изучающий физические явления при полете метеорных тел в атмосфере. Этот раздел можно было бы назвать метеорной физикой.

Так всесторонне и довольно бурно развились за несколько последних десятилетий научные взгляды на метеорные явления.

Благодаря такому развитию, в настоящее время можно говорить об особом разделе науки, посвященном метеорным явлениям. Этот раздел объединяет учение о метеоритах, метеорную астрономию и физику проникновения метеоров в атмосферу Земли. Как всякий отдел науки, учение о метеорных явлениях, будучи вполне самостоятельным, в то же время тесно соприкасается с рядом других разделов науки и техники. Область метеоритики (учение о метеоритах) связана с минералогией, петрографией, геохимией. Метеорная астрономия близко стоит к предметам теоретической, кометной и звездной астрономии. Метеорная физика затрагивает вопросы геофизики, атомной физики и механики движения тел в газовой среде. Здесь мы перечислили только главнейшие связи учения о метеорах с другими областями науки. Книга наша построена так, что каждая ее глава посвящена одной из основных проблем науки о метеорах и метеоритах.

В первой главе мы рассматриваем результаты исследований метеоров в атмосфере Земли; эта глава в значительной степени относится к метеорной физике и геофизике.

Во второй главе дано изложение исследований метеоритов, т. е. метеорного вещества, выпавшего на поверхность Земли и попавшего в руки человека. Здесь мы занимаемся вопросами метеоритики.

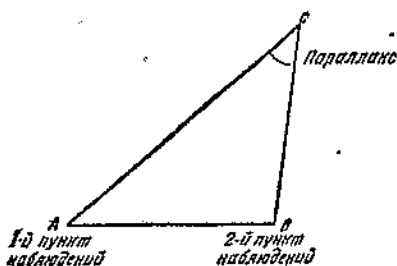
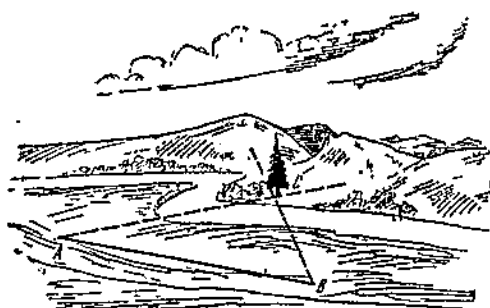
В третьей главе, посвященной вопросам метеорной астрономии, рассматриваются формы существования метеорной материи во Вселенной, а также ее происхождение, развитие и движение. Повсюду мы старались не только подвести краткий итог результатам, достигнутым до настоящего времени современной наукой, но и обрисовать перед читателем задачи дальнейших исследований.

I. МЕТЕОРЫ В ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

Определение высот метеоров

Пролетела падающая звезда, прочертив свой огненный путь среди звезд. Как узнать, на каком расстоянии произошло это явление? Как определить высоту ее над Землей? Непосредственно измерить эту высоту, понятно, нельзя. Приходится прибегать к способу,

известному из элементарной геометрии. Этот способ определения расстояния до недоступных предметов легко понять из следующего примера. Пусть, например, пешеход идет вдоль берега реки и видит на другом берегу ель, расстояние до которой его интересует. Он может узнать это расстояние, сделав определение направления на дерево из двух точек, A и B , своего пути, т. е. измерив углы CAB и ABC (фиг. 8). Дерево должно на местности лежать одновременно на обеих прямых AC и BC , т. е. в точке их пересечения. Зная расстояние AB , можно построить соответствующий треугольник в уменьшенном масштабе

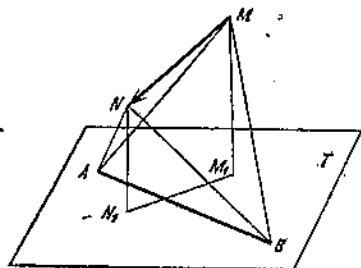


Фиг. 8. Определение расстояния до недоступного предмета.

Ввиду даны обозначения терминов, принятых для отдельных элементов параллактического треугольника AOB ,

и измерить искомые расстояния AC и BC . Эти же величины могут быть просто вычислены на основании элементарных теорем прямоугольной тригонометрии, что хорошо должно быть известно многим из наших читателей.

Точки A и B , из которых производится «засечка» направленный на удаленный предмет, называются п у н к т а м и н а б л ю д е н и й. Известное расстояние AB между пунктами наблюдений носит название б а з и с а. Угол ACB , при удаленном предмете C , или, что одно и то же, угол, под которым виден базис из точки C , называется п а р а л л а к т и ч е с к и м у г л о м. Интересно, что при рассматривании предметов обоими глазами роль пунктов наблюдений выполняют правый и левый глаза, роль базиса — расстояние между ними, а параллактический угол в большинстве случаев будет очень мал, поскольку он соответствует



Фиг. 9. Определение высот метеоров:

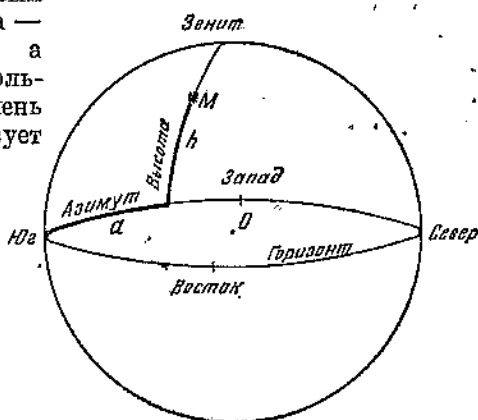
AB — пункты наблюдений на поверхности Земли; MN — путь метеора в пространстве.

углу между лучами зрения из правого и левого глаза на предмет.

Аналогично, методом «засечки» из двух удаленных точек, определяется и расстояние до падающих звезд.

Если взять на поверхности земли T (фиг. 9) пункты наблюдений на концах базиса AB , то, сделав «засечки» направленный на точки начала и конца пути метеора (M и N), можно определить построенным как расстояния AM , BM , AN , BN , так и высоты M и N над поверхностью Земли T , так как положения точек начала и конца пути теперь известны.

Этот способ был впервые применен для определения высот падающих звезд 11 сентября 1798 г. в Геттингене двумя немецкими студентами Брандесом и Бенценбергом. Пути метеоров они занесли на звездную карту, откуда уже можно было получить видимые положения начала и конца их пути на небе. Положение точек на небесной сфере определяется так же, как географическое положение точек на земном шаре, при помощи сферических координат. Сферическими координатами в географии служат широта и долгота. В астрономии для опре-



Фиг. 10. Географические и небесные сферические координаты.

Положение точки на земном шаре определяется ее широтой, или расстоянием от экватора, и долготой, или расстоянием от начального меридиана. Положение точки M на небе определяется по отношению к горизонту места наблюдений O , ее высотой (h) и азимуту (a) (в астрономии считается от точки юга через запад).

деления положения светил на небесной сфере употребляются различные системы координат. Для определения высот метеоров удобнее всего система, приведенная на фиг. 10, дающая угловую высоту светила над горизонтом, и азимут, т. е. угловое расстояние его горизонтальной проекции от точки юга. Угловые высоты и азимуты светил выражаются в угловых мерах, т. е. в дуговых градусах, минутах и секундах.

Положение созвездий и определенных звезд на небе хорошо известно для каждой точки на земном шаре в любой момент. Значит, если на звездную карту будет нанесен путь метеора и при этом известен момент его полета, а также широта и долготы пункта наблюдений, то можно определить высоту и азимут начала и конца пути метеора. Нанесение путей метеоров на звездную карту является



Фиг. 11. Нанесение пути метеора на звездную карту.

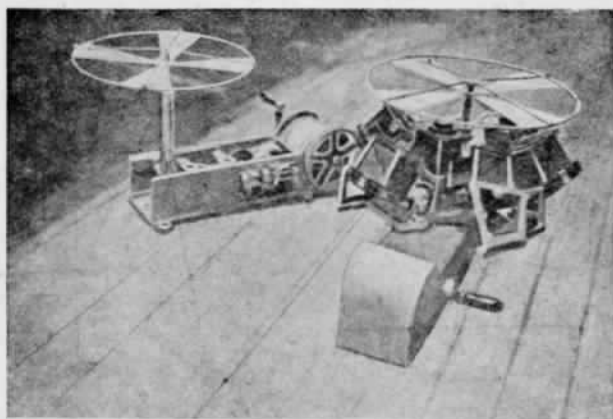
Наблюдатель заметил, что метеор вспыхнул на половине расстояния между звездами *a* и *b*, пошел параллельно линии, соединяющей звезды *c* и *d*, и т. д., и так зарисовал его путь на звездную карту.

сравнительно простым делом и требует лишь внимательности и некоторого предварительного знакомства со звездным небом. Оно доступно каждому и им занимаются многие советские и иностранные любители астрономии (фиг. 11).

Впрочем, нанесение метеоров на звездную карту так же неточно, как и просто. Ошибки в угловой мере при нанесении начала и конца пути обычно не меньше $2-4^\circ$, а в отдельных случаях доходят до колоссальной величины в $10-15^\circ$. Поэтому понятно, что для сколько-нибудь точного определения расстояния до метеоров, исчисляемого десятками и сотнями километров, приходится брать базис не менее чем в 40 км. Практика показывает, что наиболее подходящей величиной для базиса будет расстояние между пунктами наблюдений в 40—100 км, причем высоты метеоров получаются с точностью до 3—5 км. При слишком большом удалении наблюдатели перестают видеть одни и те же метеоры.

Гораздо более точные результаты определения расстояний до

метеоров дает фотографический метод. Для фотографирования метеоров употребляются небольшие, но светосильные и охватывающие значительный участок неба, объективы и наиболее чувствительные пластинки. К сожалению, из-за большой скорости полета лишь самые яркие метеоры, не слабее 1-й величины, могут выйти на фотопластинке даже при самых благоприятных условиях. Это сильно ограничивает возможное применение фотографии. Так как заранее неизвестно, где может пролететь метеор, то фотокамеры выставляются на различные участки неба и объективы открываются на полчаса или даже на 1—2 часа. При этом камера

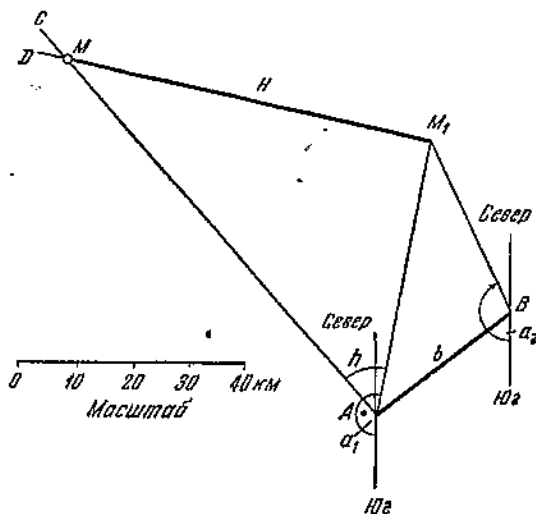


Фиг. 12. Метеорный патруль, построенный в 1938 г. для Сталинабадской астрономической обсерватории. На раме патруля укреплено 7 светосильных фотокамер типа „Турист“.

может следить за суточным движением по небу светил, вызванным вращением Земли вокруг оси, при помощи особого часового механизма, но проще оставлять ее неподвижной. Фиг. 12 изображает группу камер («патруль»), применяемую для фотографирования метеоров. Фиг. 13 (в конце книги) дает снимок метеора, полученный одной из камер, изображенных на фиг. 12. При неподвижной камере звезды выходят на пластинке дугами, вследствие суточного вращения неба, что, впрочем, несколько не мешает делу. Пластины, на которых получено изображение метеора, можно измерить при помощи точных измерительных приборов. Поэтому базис около 1 км уже достаточен, чтобы обеспечить знание высот отдельных точек метеора с точностью до нескольких десятков метров.

Изложим порядок применения геометрического способа к определению высот метеоров. Пусть из пунктов наблюдений A и B определены каким-либо образом (например, нанесением на звездную карту) азимуты a_1 , a_2 и угловая высота h какой-либо точки пути метеора M , видимой из A . Будем считать поверхность Земли плоскостью, что вполне возможно для базисов метеор-

ных наблюдений, которые обычно меньше 100 км^1 . Начертив направление стран света, построим базис AB в определенном масштабе (фиг. 14). Отложим азимуты направлений на точку M . Пересечение этих направлений AM_1 и BM_1 определит положение точки M_1 , находящейся на поверхности Земли, как раз под точкой M . Иначе говоря, M было бы над головой наблюдателя (в зените), если бы наблюдатель расположился в точке M_1 . Дальнейшее построение следовало бы вести в вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости чертежа, однако мы его поведем для удобства на том же



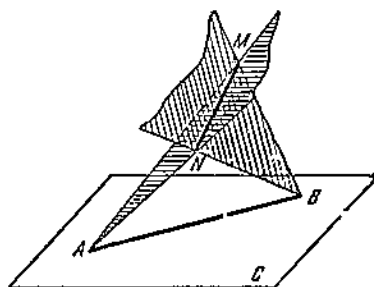
Фиг. 14. Определение высоты метеора построением:

AB — базис; a_1, a_2 — азимуты направлений на M ; h — угловая высота точки M ; MM_1 — H — линейная высота точки M над землей по наблюдениям из точки A . По угловой высоте, замеченной из точки B , можно повторить определение этой же величины (MM_1).

листе бумаги. Именно отложим при A угол $M_1AC = h$ (угловую высоту точки M , рассматриваемой из A). Если мы теперь восстановим перпендикуляр DM_1 к прямой AM_1 , то пересечение DM_1 с AC даст как раз отрезок M_1M , равный в масштабе нашего чертежа линейной высоте данной точки метеора над Землей. Полное представление о только что описанном начертательном способе, предложенном Брандесом, можно получить перегнув чертеж фиг. 14 по прямой AM_1 так, чтобы прямая MM_1 была вертикальна при горизонтальном положении треугольника ABM_1 . Это построение вполне точно, если оно относится к действительной точке M на пути метеора, которая строго одновременно наблюдалась из обоих пунктов наблюдений. Такими общими точками для обоих наблюдателей обычно считают видимые начало и конец пути, замеченные из каждого

¹ В случае надобности легко впоследствии ввести поправку за шарообразность Земли.

пункта. Однако предположение это неверно. Один наблюдатель случайно может заметить метеор на долю секунды раньше, чем другой. Начало, так же как и конец пути, будет относиться у разных наблюдателей к разным точкам пути. То же получается и на фотографических изображениях вследствие того, что метеор на разных пунктах фотографирования будет иметь разную яркость и даст различные отрезки пути на пластинках. Геометрическое построение чертежа на фиг. 14 будет неточно и может дать большие ошибки. Поэтому в приведенное выше элементарное построение вводится уточнение, которое сводится к следующему (фиг. 15). Прежде всего определяется положение всего пути метеора (MN) в пространстве. Этот путь, который можно почти всегда считать прямолинейным, одновременно содержится в плоскости AMN , проходящей через первую точку наблюдений, и в плоскости BMN , проходящей через вторую точку наблюдений. Положение плоскостей AMN и BMN известно из наблюдений, прямая MN является пересечением этих двух плоскостей. Определив таким путем положение всего пути метеора в пространстве, можно применить к любой его точке построение чертежа на фиг. 14. Это важное



Фиг. 15. Определение положения пути метеора в пространстве.

Прямая MN изображает полет метеора и определяется пересечением двух плоскостей AMN и BMN .

уточнение, на необходимость которого указали около ста лет назад астрономы Ольберс и Бессель, особенно необходимо при высокоточных фотографических определениях высот метеоров.

Из всего изложенного видно, что наблюдения метеоров, сделанные из двух точек земной поверхности, позволяют определить их линейную высоту приблизительно (наблюдения невооруженным глазом) или с большой точностью (при помощи фотографии).

Следует указать также на существование способов одностороннего определения высот метеоров. Наблюдая видимый путь метеора из одного пункта, мы получаем возможность составить два уравнения, содержащие три неизвестных: высоты точек возгорания и потухания и длину метеора. Для нахождения из этих двух уравнений трех неизвестных без помощи данных наблюдений из другого пункта можно воспользоваться статистически известными соотношениями между какими-либо двумя неизвестными, например длиной пути и высотами конечных точек метеора, или определить длину пути, зная скорость метеоров данного потока и продолжительность явления, или еще как-нибудь иначе. Таким образом, возможно получить третье соотношение и найти значения высоты и длины по наблюдениям из одного пункта. Ясно, что, с одной стороны, такие высоты имеют

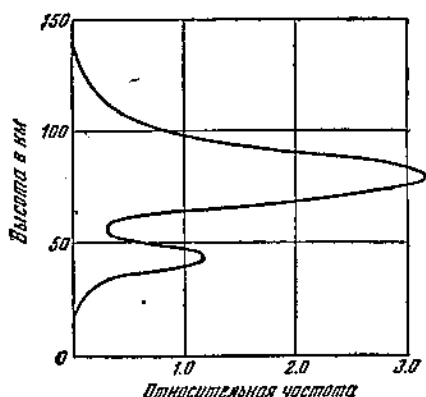
только статистическое значение, будучи верны лишь в среднем; с другой стороны, применение односторонних методов по самому существу своему опирается на данные обычного геометрического способа.

Высоты и скорости метеоров

Прошло более 130 лет со времени первых определений высот метеоров, но, несмотря на это, наблюдений накоплено до сих пор немного — всего около четырех тысяч. Интересно, что ранние наблюдения высот метеоров (в начале XIX века) велись в целях использования их для практических нужд, а именно для определения разности долгот на земной поверхности. Вспышка метеора, отождествленного путем нанесения на карту из двух пунктов одновременно, служила как бы сигналом, по которому сличались точные часы двух удаленных наблюдателей. На этот способ впервые указал еще арабский астроном Эль-Фаргани в XV веке. Однако он результатов на практике не дал, несмотря на многократные попытки его применения. Помимо того, что такой метод сверки часов и определения разности долгот оказался очень грубым, приобретение проволочного телеграфа, вскоре получившего применение в этих работах, заставило совсем забыть о подобном использовании метеорных явлений. Во второй половине XIX века, когда было установлено космическое происхождение метеорных явлений, главное внимание ученых было устремлено на определение путей метеоров в межпланетном пространстве, а материал по высотам и скоростям метеоров продолжал накапливаться до последнего времени медленно, так что для целей всестороннего изучения процессов проникновения метеоров в атмосферу Земли он является и сейчас недостаточным. Главное место занимают в этом материале работы, принадлежащие Вейсу, Губерту Ньютону, Гейсу, Деннингу, А. Гершелю, Ниссю, Гофмейстеру, Оливье и др., которые обработали наблюдения путей метеоров одновременно из двух или более пунктов, сделанные любителями астрономии в Англии, Германии и Америке. Обработанный материал очень неравномерно распределен относительно метеоров равной яркости и времени наблюдений; подавляющее большинство наблюдений сделано над яркими метеорами и болидами, появлявшимися вечером в летние, осенние или весенние месяцы, когда в Западной Европе и Северной Америке стоит теплая погода и небо часто бывает ясное.

Главные выводы из сводок, которые можно сделать на основании существующих каталогов метеорных высот, следующие. Наблюдаемые высоты возгорания метеоров не превосходят 160—180 км. По Деннингу, лишь пятая часть всех метеоров имеет высоты более 180 км. Наличие таких высот метеоров следует отнести за счет влияния случайных ошибок наблюдений. Наиболее высоко возгораются яркие метеоры, имеющие большую скорость относительно Земли, т. е. движущиеся «в лоб», навстречу движению нашей

планеты по ее пути вокруг Солнца. Быть может, так же высоко загораются и слабые метеоры, обладающие такими же большими скоростями, однако уточнить этот вопрос мешает то, что слабые очень высокие метеоры попросту не будут видны невооруженным глазом. Нижние границы высот возгорания равны приблизительно 90 км. Они принадлежат самым медленным метеорам, «догоняющим Землю». По Деннингу, высота точки возгорания меньше 90 км наблюдалась только для 3% метеоров. Подавляющая часть (более $\frac{3}{4}$) метеоров вспыхивает на высотах между 180 и 90 км, причем высоты возгораний особенно часты в интервале от 100 до 140 км. Потухания метеоров выше 150 км практически никогда не наблюдаются. Очень много метеоров (около 70%, по Деннингу) угасает на высоте около 80—



Фиг. 16. Распределение высот потухания метеоров по английским наблюдениям. Заметно резкое уменьшение числа потухания около высоты в 55 км.

85 км. Позже мы увидим, что на этой высоте атмосфера имеет особый слой, характеризующийся между прочим быстрым повышением плотности газа, вследствие чего большинство метеоров здесь разрушается. Обычные метеоры находят свой конец у этой невидимой воздушной преграды. Более яркие, а следовательно, и более массивные метеоры пробивают эту «броню», и большинство из них, проскочив благополучно интервал высот от 80 до 40 км, разрушается на высоте 30—40 км (фиг. 16). Наконец, метеориты, выпадающие на Землю, задерживаются обычно на высоте около 22 км, откуда под действием силы тяжести они несколько минут падают вниз. Высоты потухания метеоров

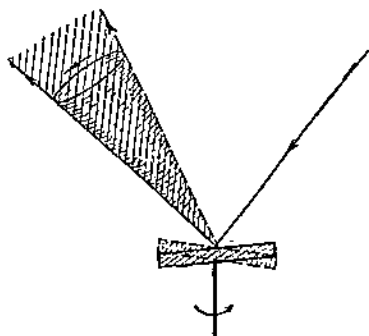
для разных классов метеорных тел можно представить такой табличкой.

Таблица 1

Класс метеоров	Высота потухания (в км)
Метеориты	22
Болиды со звуками . .	31
+ без звуков	60
Метеоры 1—5 звездной величины	80
Метеоры телескопически, меньше 6 звездной величины	84

Более точных данных о высотах метеоров следует ждать от фотографических определений, однако, пока недостаточная чувствительность пластинок ограничивает метеорную фотографию лишь яркими объектами; кроме того, число снимков еще пока ничтожно. Точные высоты метеоров, полученные

по фотографиям, не превосходят 100 км; следует поэтому думать, что из-за грубых ошибок, свойственных невооруженному глазу, визуальнo получаемые значения высот, вероятно, слишком велики и их следует уменьшить.



Фиг. 17. Вращающееся зеркало для определения скорости метеоров.

Зеркало быстро вращается на оси, к которой оно не совсем перпендикулярно; благодаря этому луч света, падающий на зеркало, описывает (заштрихованный на рисунке) конус.

Скорость движения метеоров от 10 до 200 км в секунду при наиболее часто встречающихся скоростях от 50 до 80 км в 1 сек. Цифра в 200 км в секунду, в тысячу раз превосходящая рекордную скорость современных самолетов, была получена для слабых и очень быстрых метеоров в Аризоне во время недавней американской метеорной экспедиции. Эта экспедиция для определения видимой скорости движения и продолжительности полета пользовалась специальным вращающимся зеркалом (фиг. 17). Если взять плоское зеркало, быстро вращаемое мотором вокруг оси, к которой оно не совсем перпендикулярно, и рассматривать в него небо, то, благодаря тому, что отраженный луч звезды будет двигаться по конической поверхности, будет казаться, что звезды описывают эллипсы. При полете метеора в рассматриваемой области неба прямолинейное движение метеора будет складываться с эллиптическим движением отраженного луча, и наблюдателю будет казаться, что метеор описывает волнообразную или петлеобразную кривую, в зависимости от скорости его движения. Уже форма этой кривой будет указывать на скорость движения метеора (фиг. 18). Кроме того, если известно количество оборотов зеркала во-

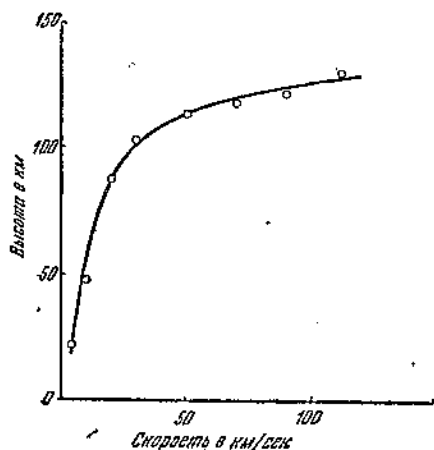
Еще более грубым ошибкам подвержены определения скорости метеоров, которые почти все сделаны путем оценки на глаз продолжительности полета метеора в долях секунды и последующего деления наблюдаемой длины в километрах на продолжительность полета в секундах. Длина наблюдаемого пути метеоров обычно составляет 30—100 км, продолжительность полета отмечается от 0.1 до 1—2 секунд. Отсюда видно, что скорость метеоров по отношению к Земле должна выражаться числом в несколько десятков километров в секунду. Действительно, наблюдения дают



Фиг. 18. Полуинструментальный способ определения скорости метеоров.

Вверху вид в зеркало метеора, летящего 0.2 сек., — быстрого движения (ниже, внизу) — летящего 0.5 сек., — медленного. Ось зеркала делает 10 оборотов в секунду.

круг оси в одну секунду, то не трудно определить продолжительность полета метеора, так как каждая полная волна или петля на видимом пути соответствует по времени одному обороту зеркала. Такой способ является все же только полуинструментальным, так как и форма пути и число витков определяются на глаз. При помощи фотографии возможно вполне точно определить скорость движения метеора, периодически закрывая объектив фотокамеры несколько раз в секунду и тем самым прерывая изображение метеора на фотографической пластинке (см. фиг. 37). Эти фотографические определения до сих пор были полезнее при изучении торможения метеоров в атмосфере, чем для нахождения абсолют-



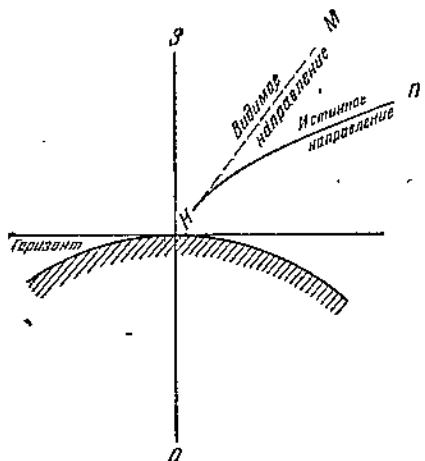
Фиг. 19. Зависимость высоты возгорания метеоров от их скорости.

ной величины их скорости.

Оба метода определения скорости метеоров (вращающееся зеркало и фотография) имеют

большое преимущество перед простой оценкой продолжительности полета «на глаз». Значения скорости, полученные старым способом «на глаз», обычно преувеличены, что объясняется двойными ошибками определения высот и длин, а также продолжительности полета.

Между скоростью и высотой метеоров существует определенное соотношение, выражающееся в том, что чем быстрее движется метеор, тем выше он возгорается. Это соотношение подтверждается как на отдельных ярких болидах, так и на обычных метеорах, принадлежащих к отдельным их ролям в межпланетном пространстве, так называемым метеорным потокам. Эта зависимость показана на фиг. 19. Дальше мы дадим объяснение этого интересного факта. В связи со скоростью движения



Фиг. 20. Зенитное притяжение.

Метеор описывает гиперболу относительно центра Земли (O), причем его направление отклоняется к зениту (Z) места наблюдения (H). Угол между первоначальным и отклоненным направлениям называется зенитным притяжением; M — видимое направление; N — истинное направление.

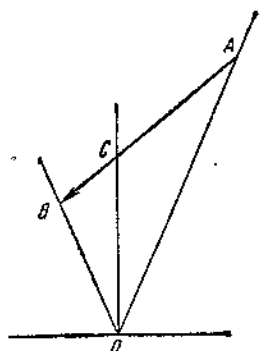
метеоров в земной атмосфере следует упомянуть о форме его пути (траектории). Метеорные тела, описывающие вокруг Солнца под действием его притяжения свой путь по огромным эллипсам или гиперболам, можно считать движущимися в атмосфере прямолинейно, так как размеры орбиты (пути) метеорного тела вокруг Солнца следует измерять сотнями миллионов и миллиардами километров, а тот небольшой отрезок пути, в котором метеор наблюдается нами в земной атмосфере, измеряется всего десятками километров. Прямолинейность этого отрезка несколько нарушается влиянием притяжения Земли. Еще задолго до вступления в пределы земной атмосферы, метеорное тело подвергается действию притяжения Земли и начинает описывать относительно центра Земли гиперболу с очень слабой кривизной. Кривизну отрезка пути, который метеор пролетает в земной атмосфере, заметить нельзя, однако метеор отклоняется от своего первоначального направления. Наблюдателю на Земле кажется, что направление полета метеора уклоняется к зениту; угол отклонения был назван итальянским астрономом Скиапарелли *зенитным притяжением* (фиг. 20). Если метеор летит по прямой *ЗНО* из зенита места наблюдений к центру Земли, то понятно, что влияние земного притяжения лишь ускорит его движение, но не повлияет на форму траектории. С другой стороны, ясно, что для горизонтально летящих метеоров искривление пути будет наибольшим. Следовательно, зенитное притяжение тем больше, чем меньше угловое возвышение пути метеора над горизонтом места наблюдения. Кроме того, зенитное притяжение зависит от скорости метеора: чем больше она относительно Земли, тем меньше величина зенитного притяжения. Зенитное притяжение может доходить для медленных и горизонтально летящих метеоров до $15-20^\circ$, однако обычно оно около 1° . Кривизна отрезка пути метеора в земной атмосфере может увеличиться и вследствие сопротивления воздуха, однако это увеличение очень мало. Практически упомянутый отрезок следует считать прямолинейным, что подтверждается недавними американскими и советскими исследованиями длинных метеорных фотографий.

Таким образом, вследствие большой скорости движения метеоров, путь их в земной атмосфере является прямолинейным, и лишь первоначальное направление полета слегка изменено притяжением Земли (*зенитное притяжение*).

Метеоры — явление в земной атмосфере

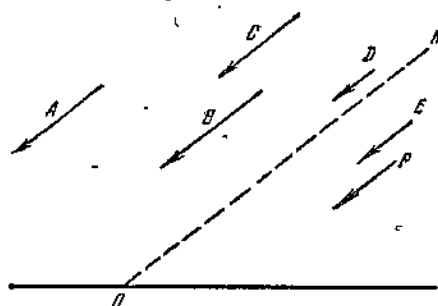
Из всего того, что нам стало известно о высотах метеоров, мы можем заключить, что это явление происходит в пределах воздушной оболочки нашей Земли — в атмосфере. Действительно, как было указано выше, высоты метеоров достигают наибольшей величины в 180 км; данные же сумерек и северных сияний показывают, что атмосфера продолжается до высоты значительно

большей. Обладая громадной космической скоростью относительно Земли, от 10 до 200 км в секунду, метеоры в немногие секунды или даже в их доли прорезают огромную толщу воздуха. Только в это время они и наблюдаются нами. Метеорные тела, порождающие явления падающих звезд, невидимы до своего вступления в земную атмосферу. Метеорная материя находится в пространстве в виде темных и холодных тел размером от нескольких миллимикрон до нескольких метров. Эти тела не видны даже при освещении их Солнцем, как, например, видны более крупные по своим размерам планеты или Луна. Свечение метеора начинается в тот момент, когда эти метеорные тела вторгаются в верхние слои нашей воздушной оболочки. Свечение это, а вместе с тем кратковременная жизнь падающей звезды, обрывается там же, на больших высотах над землей. Все явление представляет процесс взаимодействия воздуха атмосферы и вторгающегося в этот воздух с огромной скоростью твердого космического осколка. Быстрое и интенсивное взаимодействие протекает в такой тесной связи, что совершенно необходимо знать свойства воздушной среды, чтобы постигнуть характер и природу всего явления. Поэтому нам придется познакомиться с основными свойствами этой воздушной среды и строением земной атмосферы в ее главных чертах.



Фиг. 21. Перспективное искажение метеорных явлений.

Неравные отрезки пути падающей звезды AO и OB кажутся наблюдателю в O равными друг другу, так как углы AOO и BOO равны между собой. Хотя скорость полета метеора и замедлилась к концу (отрезок OB метеор пролетает за 0,3 сек., в то время как отрезок $AC = 2 OB$ им был пройден за 0,6 сек.), наблюдателю кажется, что падающая звезда ускорила к концу свой полет.

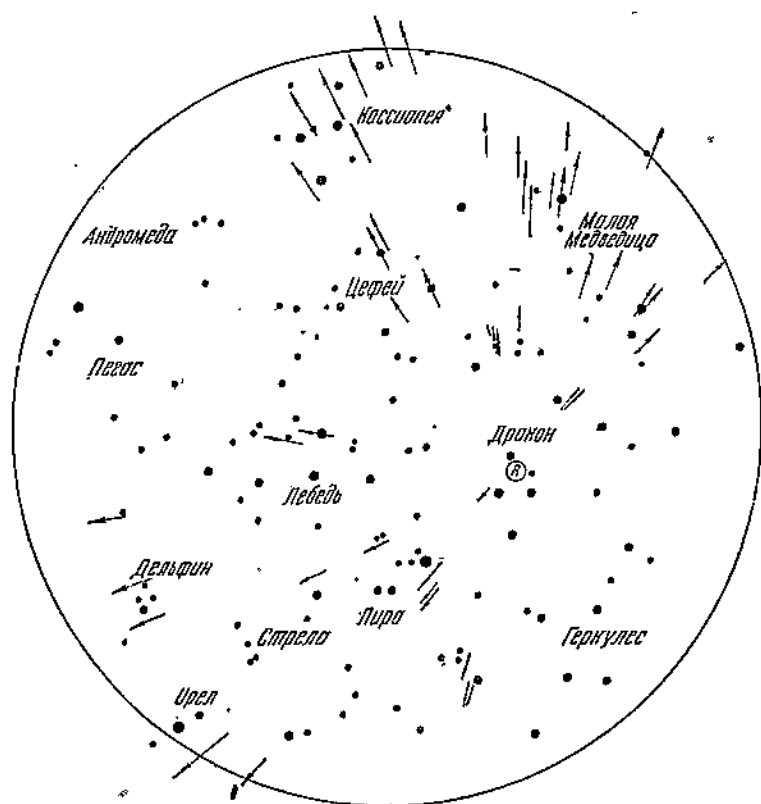


Фиг. 22. Радиация метеорного роя.

Метеоры $A \rightarrow B$ принадлежат к одному рою, движущимся в пространстве по взаимно параллельным путям и кажутся выходящими из одной точки неба — радианта (R). Радиант лежит в обратном направлении движения всего роя (OB).

разыгрываются вблизи наблюдателя, в земной атмосфере, а не в далеких глубинах пространства, как другие небесные явления. Благодаря своей близости к наблюдателю, метеорные явления, видимые наблюдателем с Земли, подчинены заметному действию перспективы. Пример, приведенный на фиг. 21, наглядно показывает, как изменяются видимые размеры отрезков пути и кажущаяся скорость па-

дающей звезды, вследствие действия перспективы на разных расстояниях от глаза наблюдателя. Кроме того, и видимая яркость метеора во второй половине пути будет в приведенном случае казаться больше, чем она была в первой половине полета. Особенно интересно влияние перспективы в случае вступления



Фиг. 23. Карта звездного дождя Драконида 9/X 1933 г. по наблюдениям в Сталинабадской обсерватории. Радиант (R) отмечен кружком.

в пределы земной атмосферы целой группы метеоров, движущихся в пространстве по параллельным между собою путям (фиг. 22). В этом случае они, вследствие кажущегося перспективного схождения путей, как бы вылетают из одной точки неба, называемой *радиантом* (фиг. 23). Наличие радианта у группы метеоров показывает, что до вступления своего в земную атмосферу они двигались в межпланетном пространстве целым роем, по взаимно параллельным путям.

Атмосфера Земли

Метеоры вспыхивают и угасают в верхних слоях воздуха. Что же такое воздух? Какие свойства имеет эта среда, в которой происходит явление падающих звезд? Воздух представляет собою, как известно, смесь нескольких газов с примесью большего или меньшего количества водяного пара и пыли. У земной поверхности 79% количества воздуха по объему составляет азот, а 21% — кислород. В ничтожных количествах находится углекислота, аргон и следы других газов.

Основным свойством всякого газа является отсутствие действия сил взаимного притяжения между отдельными его частицами — молекулами. В то время как в твердых и жидких телах связь эта достаточно сильна, чтобы не позволить телу самопроизвольно увеличиться в объеме, всякий объем газа, предоставленный самому себе, стремится расшириться во все стороны до неограниченных пределов. Причина стремления к такому рассеянию заключается в том, что газ представляет собой хаотическое скопление отдельных молекул, движущихся с большими скоростями в различных направлениях и непрерывно сталкивающихся между собою. Так, молекулы кислорода при обычной комнатной температуре в 15° движутся со средней скоростью 430 м в 1 сек., причем число молекулярных столкновений в ничтожном объеме в 1 мм^3 (объем булавочной головки) достигает поистине огромной цифры в $4 \cdot 10^{23}$, т. е. 40 000 000 000 000 000 000 000. В результате хаотического движения в самых разнообразных направлениях отдельные молекулы миллиардами вылетают за пределы первоначального газового объема и производят тем самым его увеличение.

Газы атмосферы также стремятся рассеяться во все стороны, покидая Землю, и лишь сила тяжести препятствует этому. Зону запрета, создаваемую силой тяжести, могут покинуть лишь отдельные, исключительно быстрые газовые молекулы; поэтому Земля теряет только ничтожную часть газов своей атмосферы. Сила тяжести, являющаяся суммарным действием силы притяжения Земли и центробежной силы инерции, вызванной суточным вращением земного шара, убывает от полюса к экватору. Теоретические подсчеты показывают, что атмосфера может удалиться от полюсов на величину не более 28 000 км, а у экватора на 42 000 км, образуя вокруг Земли фигуру, называемую сферондом. Этот теоретический подсчет показывает границы, дальше которых земная атмосфера уже не может простираться. На самом деле по наблюдениям эта граница гораздо ниже, не выше 2000 км над поверхностью Земли.

Как распределяются газы в сферондальной оболочке земной атмосферы? С первого взгляда может показаться, что вследствие разделяющего действия земной тяжести наиболее тяжелые газы будут преимущественно сосредоточены внизу, а легкие — наверху.

Нижне всего должна была бы простираться кислородная атмосфера (молекулярный вес 32), а выше всего — водородная атмосфера (молекулярный вес 2).

Если бы это было так, то атмосфера, непрерывно убывая по своей плотности снизу вверх, меняла бы постепенно свой состав и на больших высотах могла бы состоять уже из чистого водорода. Но этого в действительности нет. Теоретически мыслимая атмосфера, с преобладанием тяжелых газов внизу, а легких — наверху и с непрерывным убыванием плотности, была бы возможна, если бы отсутствовал важнейший фактор, приносящий непрерывно новую энергию в земную атмосферу, а именно — солнечное излучение. Мало того что солнечное излучение вызывает мощные воздушные течения, охватывающие всю атмосферу нашей планеты и перемешивающие ее газы на разных уровнях, — своеобразное действие этого излучения проявляется на определенных высотных уровнях. Мы имеем в виду «ионизирующее» действие ультрафиолетовых, коротковолновых лучей Солнца на молекулы отдельных газов воздуха. Как известно, в обычном нейтральном состоянии, в отсутствии высоких температур, газ состоит из множества отдельных молекул, каждая из которых состоит из атомов данного газа. В атоме, который не подвергся разрушению, имеется положительно заряженное массивное ядро и отрицательные электроны, обращающиеся на определенных расстояниях вокруг ядра. В нейтральном атоме заряды ядра и электронов взаимно уравновешены. Под влиянием энергии ультрафиолетовых лучей происходит процесс раздробления молекул на отдельные атомы и отрыв от последних электронов (отрицательно заряженных частиц), благодаря чему атом, до того нейтральный, получает положительный заряд. Этот процесс называется «ионизацией» газа. В атмосфере ионизация сосредоточена в двух слоях: на высотах около 200—240 и около 80—110 км. Кроме того, под влиянием солнечных лучей на высоте около 30 км идет сложный процесс образования озоновой зоны из кислорода, т. е. образования неустойчивых молекул, состоящих из трех атомов кислорода (вместо обычной комбинации этих атомов по два в нормальном кислороде) с последующим непрерывным распадом образующегося озона. При современном состоянии наших знаний трудно сказать, что является причиной такого своеобразного проявления действия солнечного излучения. Несомненно лишь одно, что слоистость атмосферы непрерывно поддерживается при помощи энергии солнечных лучей.

Следовательно, при изучении атмосферы упрощенные предположения или выводы неуместны. На разных высотах газы могут иметь совершенно различный химический или, точнее, молекулярный состав, разную температуру и плотность. При всей сложности строения газовой оболочки нашей Земли, она все же подчиняется основным газовым законам. Эти законы, носящие название законов Бойля-Мариотта и Гей-Люссака, известны из элементарной физики и связывают между собой плотность, давление и темпера-

туру газа. Плотность в свою очередь по закону Авогадро связана с молекулярным (химическим) составом воздуха.

Таким образом, задача изучения атмосферы несколько облегчена тем, что из четырех неизвестных величин (давление, плотность, температура и молекулярный вес) достаточно узнать из опыта или наблюдения какие-либо две, чтобы по газовым законам отыскать две другие.

Остается сделать еще одно общее заключение. По мере удаления от земной поверхности плотность газовой атмосферы непрерывно убывает, так что количество молекул на единицу объема становится все меньше и меньше. Громадное количество молекул в единице объема при нормальных условиях вблизи земной поверхности позволяет говорить о сплошной газовой среде; при очень большом разрежении воздуха на больших высотах целесообразнее рассматривать газ, как скопление отдельных частичек. Такая точка зрения пригодится нам при изучении проникновения метеоров в верхние слои атмосферы.

Строение атмосферы

Ближайшие к нам нижние слои атмосферы изучены непосредственно при помощи подъемов человека на летательных аппаратах и при помощи саморегистрирующих приборов, поднимаемых шарами-зондами. Наибольшая высота была достигнута человеком в герметически закупоренных гондолах больших аэростатов — на стратостатах, честь первого применения которых принадлежит Пикару в 1930 г. Высота в 22 км была завоевана 30 января 1935 г. одновременно погибшими советскими стратонавтами (Федосеевко, Усыкин, Васенко) и повторена недавно американским стратонавтом Стивенсом на гигантском стратостате «Эксплорер II». Еще выше поднимались шары-зонды с самопишущими приборами, которые опускаются затем на парашютах или передают автоматически по радио показания приборов. Рекордная высота подъема шара-зонда была в 1937 г. достигнута в СССР и составляет 36 км.

Химический состав воздуха до высот, которых достигли стратостаты и с которых брали его пробы, оказался в точности таким же, как и на уровне моря. Зато физические свойства атмосферы по мере подъема испытывают большие изменения. На высоте в несколько сот метров над землей исследователь может встретить наиболее низкие облака, типа слоистых и дождевых (фиг. 24). В жаркий летний день на высоте около километра он найдет основания кучевых и грозовых облаков, уходящих своими вершинами до высоты в 4—5 км. С каждым метром подъема температура и давление будут убывать, так что у вершин грозовых туч, на высоте в 5 км, даже летом будет холод около -10° и давление понизится до 400 мм. Выше исследователь может обнаружить мутную пелену высокослоистых облаков (5—6 км), перисто-кучевых (7—8 км), перисто-слоистых (7—10 км) и, наконец, на высоте

около 10—12 км он оставит ниже себя наиболее высокие перистые облака, похожие с земли на нежные кружева на голубом фоне неба. Здесь температура достигает -50° , а давление 150 мм. Такое давление слишком мало для того, чтобы человек мог перенести его. Уже с высоты в 7—8 км приходится прибегать к искусственному кислородному дыханию, а выше — изолировать организм от разреженного воздуха. Дальнейший подъем совершается в атмосфере, свободной от облачных масс и восходящих воздушных токов. Прекращение падения столбика в термометре дает знать исследователю, что он покинул нижние области атмосферы и проник в ее верхние слои. Лишь давление будет убывать попрежнему.

Нижняя область атмосферы особенно интенсивно подвергается влиянию солнечных лучей из-за близости к земной поверхности,

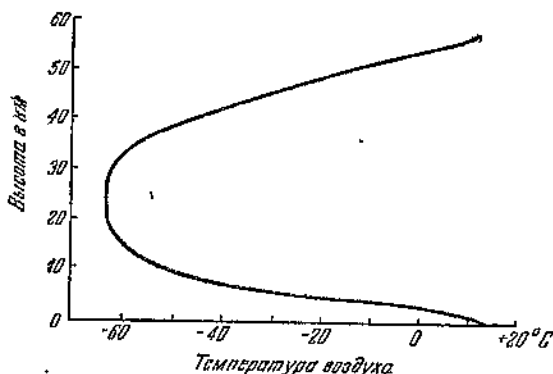


Фиг. 24. Облачное море в процессе таяния.

которая сильно нагревается лучистой теплотой Солнца. Водяные пары, насыщающие нижние слои атмосферы, обладают способностью хорошо проводить тепло. Совместное действие близости земной поверхности и содержания водяного пара в воздухе создает мощный приток тепла из почвы в атмосферу. Нагретые воздушные массы становятся легче и поднимаются вверх, образуя могучие восходящие токи, особенно заметные в жаркий летний день. Эти токи достигают наибольшей силы над особенно интенсивно нагретыми участками почвы, что хорошо известно тем, кому случалось пролетать на самолете, например над вспаханými полями, где

черная почва сильно подвергается нагреву. Подымающиеся нагретые и опускающиеся взамен их холодные массы воздуха создают сильное перемешивание атмосферы, или конвекцию, сопровождающуюся теплообменом. Образование облаков в результате перенасыщения воздушных масс водяным паром при падении температуры этих масс и неправильные и сильные горизонтальные воздушные течения (ветры) являются следствием такой конвекции.

Нижняя область атмосферы, получающая большой приток тепла от земной поверхности, нагретой солнечными лучами, в которой происходит сильное перемешивание воздуха, получила в начале XX века, по предложению Тейссеран-де-Бора, название **т р о п о с ф е р ы**. Тропосфера простирается в умеренных широтах до высоты 10—12 км летом и 9—10 км зимой, так как нагревание, идущее от земной поверхности, зимой меньше, чем летом. Точно так же в экваториальных областях Земли граница тропосферы лежит выше (до 15—16 км), чем в умеренных и полярных поясах. Наиболее характерным внешним признаком тропосферы является убывание температуры по мере подъема. Падение температуры составляет



Фиг. 25. Падение температуры в тропосфере и верхняя инверсия в стратосфере.

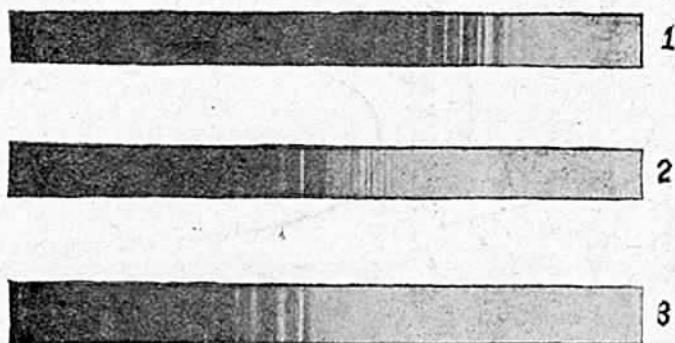
в среднем 0.6—0.8 градуса на каждые 100 м подъема (фиг. 25); оно вызывается опять-таки наличием вертикальных воздушных течений, при которых поднимающаяся вверх масса воздуха тратит свою внутреннюю тепловую энергию на подъем против силы тяжести и на расширение при более низких давлениях, причем запасы тепла в этой массе уже не пополняются. Отсюда происходит непрерывное охлаждение воздуха наверху и создается падение температуры по направлению снизу вверх.

Выше тропосферы начинается область, называемая **с т р а т о с ф е р о й**. Стратосфера имеет на известном довольно большом протяжении постоянную температуру, и в ней совершенно отсутствуют облака и осадки. Температура стратосферы равна температуре тропосферы на границе обеих областей. Отсюда следует, между прочим, парадоксальное на первый взгляд следствие: летом стратосфера холоднее, чем зимой, и в тропиках она холоднее, чем в полярных странах. Действительно, температура стратосферы в полярных странах зимой равна от -45° до -50° , а в тропическом поясе летом около -90° .

Это легко объяснить, если вспомнить, что благодаря большей интенсивности солнечного излучения, тропосфера имеет более высокую границу в жаркие летние дни или в тропических странах, а охлаждение снизу вверх идет непрерывно до самой этой границы.

Стратосфера изучена непосредственными методами лишь до незначительной высоты в 30—35 км. Между тем отдельные полярные сияния — явления, совершающиеся в нашей атмосфере, — были зарегистрированы на высоте 700 и даже 1000 км. На основании каких же данных можно судить о строении остающейся части атмосферы, по протяжению своему значительно большей, чем до сих пор изученная зона?

Такие данные мы получаем на основании наблюдений над прохождением в верхних слоях атмосферы звука, света, электромагнитных волн радиостанций и на основании ряда явлений, которые



Фиг. 26. Ультрафиолетовая часть солнечного спектра (негативное изображение), отрезанная со стороны коротких волн (справа) поглощением озона.

Чем ниже Солнце над горизонтом, тем большую толщю озона проходит его лучи и тем сильнее поглощение. 1—3—последовательные снимки спектра Солнца при его опускании и горизонту.

там наблюдаются: полярных сияний, светящихся ночных облаков и т. д. Важнейшие данные о строении атмосферы доставляет прежде всего свет, идущий от Солнца, звезд и других небесных светил. Свет этот, как хорошо известно, может быть разложен при помощи призмы или дифракционной решетки в спектр, так что в полученной разноцветной ленте лучи разной длины световой волны, соответствующие различным цветам радуги, будут расположены от красного через желтый, зеленый и голубой до фиолетового. Фиолетовые лучи соответствуют более коротким световым волнам, с длиной около 0.00004 см или 4000 ангстрем;¹ еще более

¹ 1 ангстрем = 0.000 000 01 см.

коротковолновые лучи могут быть сняты при помощи фотографической пластинки, как ультрафиолетовая часть спектра.

И вот, в то время как у земных источников света, например, в спектре вольтовой дуги в лаборатории, можно проследить, правда, с большими предосторожностями (в пустоте, со специальным прибором) ультрафиолетовую часть спектра чрезвычайно далеко, в спектре Солнца и звезд эта ультрафиолетовая часть укорочена, начиная с длины волны 2900 ангстрем. Широкие и очень интенсивные линии поглощения, укорачивающие спектр в этой области, принадлежат озо^ну (фиг. 26), т. е. уже упомянутому газу, состоящему из трехатомных молекул кислорода. Специальные исследования показали, что озон образуется под действием солнечных лучей на дневной стороне нашей планеты и распределен на высоте около 20—30 км. Если бы этот газ можно было сосредоточить на этой высоте в чистом виде, то он образовал бы ничтожный слой в 3 мм. Однако, в виду колоссальной способности озона поглощать, а при своем распаде — отдавать солнечную энергию, роль даже такого малого его количества очень велика. Образовавшийся за день озон по ночам непрерывно распадается, причем его распад вызывает некоторое очень слабое свечение; вследствие этого ясное небо, даже в темную безлунную полночь, никогда не кажется нам совершенно черным.

Итак на высоте около 30 км однообразие стратосферы нарушается наличием в ней слоя озона. Интересно отметить, что на этой же высоте наблюдались отдельные облачка, так называемые «перламутровые», возможно состоящие из ледяных кристаллов. Выше мы найдем еще несколько характерных слоев в атмосфере. Температура стратосферы по мере подъема на 45—50 км начинает повышаться. Это явление было обнаружено впервые из наблюдений метеоров, о чем речь будет позже, и подтверждено результатами изучения звуковых волн от взрывов, проходящих через верхнюю стратосферу. Повышение температуры в верхних слоях атмосферы носит название верхней температуры.

Четыре явления — граница сумерек, отражение радиоволн от электрически заряженного слоя Хивисайда-Кеннелли, наличие ночных светящихся пылевых облаков и образование следов у метеоров — приурочены к высоте 80—85 км над Землей. Это говорит о существовании особого слоя атмосферы на этой высоте. К двум последним из перечисленных явлений мы вернемся позже подробнее. Сейчас отметим только, что светящиеся пылевые облака и метеорные следы указывают на наличие не только горизонтальных воздушных течений — ветров, но, помимо того, иногда и вертикальных токов на этой большой высоте.

Радиоволны и наблюдения над изменением магнитного поля Земли позволяют установить, что, кроме электрически заряженного слоя Хивисайда-Кеннелли на высоте в 80 км и выше, существует

еще такой же отчетливый слой на высоте в 190—240 км (слой Элиаса-Эппльтона). Явление сумерек после захода Солнца также подтверждает слоистость атмосферы на таких больших высотах. Наконец, полярные сияния (фиг. 27) дают нам сведения о наиболее далеких областях атмосферы, граничащих уже с межпланетным пространством. Полярные сияния, по современным взглядам,

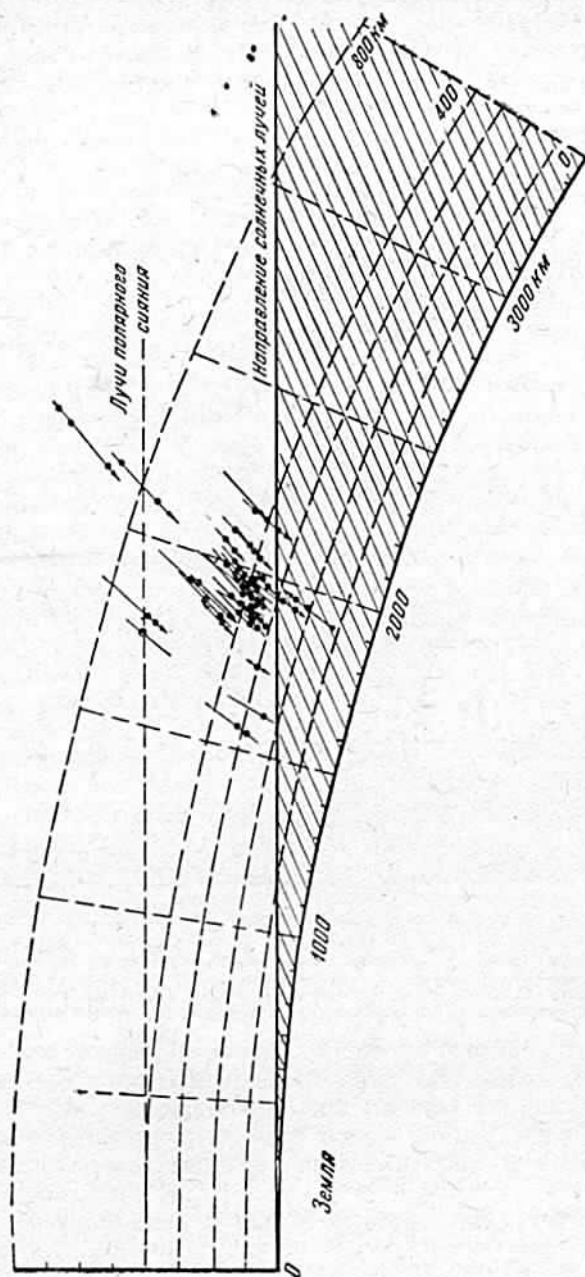


Фиг. 27. Полярное сияние 9/III 1926 г. в Лондоне.

вызываются электрически заряженными материальными частицами — корпускулами, которые Солнце излучает во все стороны неравномерными потоками, в зависимости от интенсивности своей деятельности. Эти корпускулы-заряды попадают вблизи Земли в магнитное поле нашей планеты. Под влиянием Земли, действующей как колоссальный магнит, они устремляются в полярные области, где расположены магнитные полюса Земли. Бомбардировка корпускулами нашей атмосферы заставляет светиться ее газы так, как светится разреженный газ в трубке под влиянием электрического

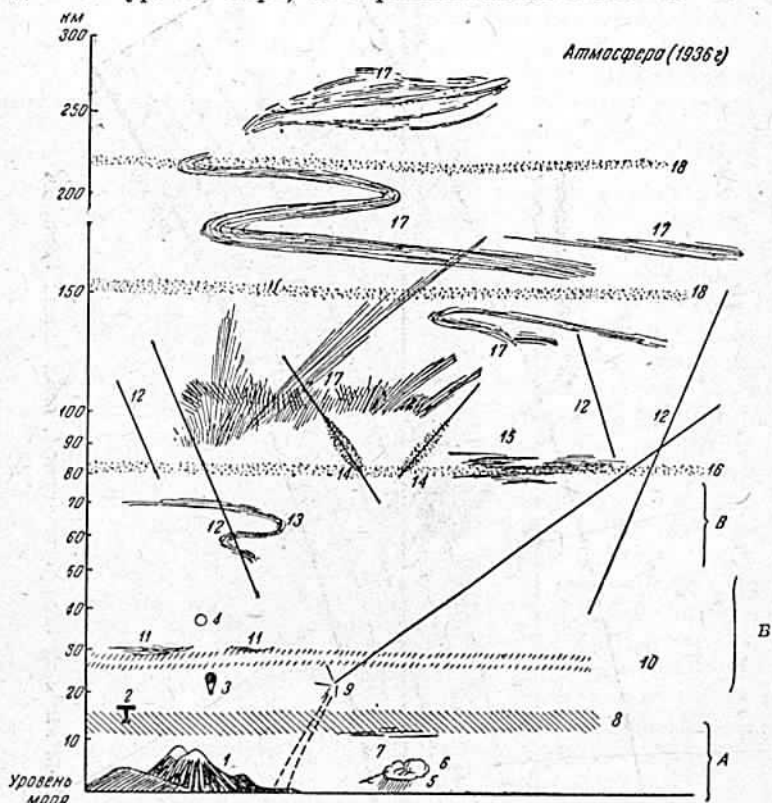
разряда. В результате мы видим лучи, дуги или бесформенные пятна полярного сияния. Полярные сияния никогда не наблюдались ниже слоя в 80 км, о котором шла речь в предыдущих строках. Максимальная частота полярных сияний приходится на высоту в 102—105 км, а их отдельные лучи, освещенные Солнцем, наблюдались на высоте в 700 и даже в 1000 км (фиг. 28). Норвежский ученый Стёрмер полагает, что постоянная граница атмосферы лежит на высоте в 400—500 км, а ненормально высокие полярные сияния, которые им наблюдались, имеют место в местном «вздутии» атмосферной оболочки, газы которой могут отталкиваться под влиянием электростатического или иного действия солнечных лучей. Таким путем практически устанавливается верхняя граница атмосферы, которая, повидимому, едва ли подымается выше 1000 км над Землю.

Очень важные данные были получены при изучении спектров полярных сияний. Дело в том, что спектр электрического разряда



Фиг. 28. Лучи высоких полярных сияний, освещенных Солнцем.

в каком-либо разреженном газе дает ряд светлых линий, характерных для данного газа. Пока свечение полярных сияний дало указание на наличие кислорода и азота (т. е. тех же газов, какие мы находим на уровне моря) на огромной высоте около 100 км.



Фиг. 29. Схема строения атмосферы (вертикальный масштаб переменный): 1 — Эверест; 2 — высотные самолеты; 3 — стратостаты; 4 — шары-зонды; 5 — осадки; 6 — грозовые облака; 7 — перистые облака; 8 — переменная высота границы тропосферы и стратосферы; 9 — точка вадерки метеоритов; 10 — слой озона; 11 — высокие облака; 12 — метеоры; 13 — пылевые следы; 14 — газовые следы; 15 — ночные светящиеся облака; 16 — слой Хивисайда; 17 — полярные сияния; 18 — ионизированные слои. А — тропосфера; В — стратосфера; В — область верхней ионосферы.

Таковы в кратких чертах современные далеко недостаточные сведения о строении атмосферы, приведенные в наглядном виде на фиг. 29. Дальше мы увидим, как метеорные явления и их взаимодействие с воздушной средой позволяют расширить наши знания о далеких и малоизвестных областях земной атмосферы.

Проникновение метеоров в атмосферу

Твердое метеорное тело, движущееся в разреженном газе с огромной скоростью от 10 до 200 км в 1 сек., — вот что вызывает явление метеора в пределах земной атмосферы. Эта космическая

скорость очень велика — достаточно сравнить ее с начальной скоростью винтовочной пули (около 1 км в 1 сек.). Понятно, что вторжение твердого тела в газ с такой большой космической скоростью сопровождается целым рядом явлений. Кинетическая энергия метеорного тела, пропорциональная ее массе и квадрату скорости,¹ обращается в тепловое и световое излучение, идет на раздробление («диссоциацию») молекул метеорного тела и воздуха, отрыв от атомов этих молекул отрицательных частичек — электронов («ионизацию») и т. д. Рассмотрим процесс в его последовательности, хотя бы и схематически. Твердое метеорное тело можно представить себе как скопление молекул различных веществ, например железа, никеля или кальция, прочно связанных между собою и образующих нечто вроде решетки. Так как метеорное тело движется с большой скоростью сквозь газ, то отдельные молекулы газа непрерывно ударяются об эту решетку, бомбардируют ее. Дело не измывается, если мы представим себе метеорное тело, находящимся в струе газа, несущегося на него с космической скоростью. Вторжение метеора в атмосферу можно рассматривать как непрерывную бомбардировку покоящейся решетки газовыми молекулами, несущимися с огромной скоростью. Когда метеорная частица начинает вступать в очень разреженные верхние слои атмосферы, удары газовых молекул о молекулы решетки еще очень редки. По мере того как частица проникает все глубже в воздушный океан, плотность атмосферы возрастает, столкновения молекул газа и метеора следуют все чаще и, наконец, непрерывный ливень ударов обрушивается на лобовую («фронтальную») часть тела метеора.

Действие каждого такого удара приносит целый ряд последствий, так как благодаря скорости бомбардирующих молекул энергия каждого столкновения достаточно велика. Прежде всего, удары разрушают «жесткие связи» решетки, отрывают одну за другой молекулы метеора в его передней части. В результате в лобовой области твердого тела метеорной частицы нарастает беспорядочное скопление молекул без всякой взаимной связи — происходит **вырывание молекул из метеорного тела**. Не остаются без повреждений и сами молекулы, огромная часть которых распадается на атомы, ибо энергия столкновений разрушает внутримолекулярные связи. Известный процент метеорных молекул и атомов теряет свои внешние электроны, и они **ионизируются**. Наконец, часть электронов энергией столкновения отбрасывается со своих обычных уровней на более далекие расстояния от ядра, оставаясь, однако, в сфере его притяжения; под влиянием этого притяжения они в последующие моменты возвращаются на свои «вакантные» места, освобождая полученную при этом энергию в виде излучения; следовательно, при этом атом на-

¹ Кинетическая энергия равна $\frac{mv^2}{2}$, где m — масса, v — скорость относительно Земли.

чинает п л у ч а т ь. Излучение это имеет определенные длины волн; его можно сравнить с аккордом из отдельных музыкальных звуков, оно характерно только для атома данного вещества. Оно непохоже на тепловое излучение при нагревании, когда тело испускает лучи решительно всех длин волн. Под влиянием описанных процессов метеор начинает разрушаться и светиться. Когда молекулярная бомбардировка, все время усиливаясь по мере опускания метеорной частицы в земную атмосферу, достигает известного предела, мы с Земли замечаем, что метеор «вспыхнул», т. е. начал светиться достаточно интенсивно. Высота того атмосферного слоя, который уже достаточно плотен, чтобы вызвать видимое свечение метеора, очевидно, не превосходит 180 км (см. гл. «Высоты и скорости метеоров»).

Молекулярная бомбардировка, конечно, не остается без последствий и для ударяющих молекул воздуха. Прежде всего происходит их р а с п а д н а а т о м ы, а затем, точно так же возможна и ч а с т и ч н а я и о н и з а ц и я атомов. Однако до видимого свечения газов воздуха, по видимому, дело не доходит, так как две причины препятствуют этому.

Во-первых, энергия удара сначала ионизирует тот атом, т. е. отрывает электроны у того атома, который менее устойчив. Газы воздуха — азот, кислород и т. д. — оказываются гораздо более устойчивыми в этом отношении, чем элементы, составляющие метеорное тело: железо, никель, щелочные металлы (кальций, натрий) и т. д.

Во-вторых, если даже последующим ударом и удастся ионизировать некоторую долю атомов газов воздуха, то их будет слишком мало и они будут рассеяны в слишком большом объеме пространства, чтобы создать такую поверхностную яркость, которая могла бы быть видима с Земли.

По мере вторжения метеора в более плотные слои атмосферы, более плотный газ начинает взаимодействовать с метеорным тельцем так, как цельная среда с цельным движущимся в ней твердым телом. Явления, вытекающие из отдельных молекулярных столкновений, продолжают, но к ним присоединяются еще качественно новые, зависящие от действия сплошной газовой среды вокруг метеорного тела. Отдельных молекул становится слишком много и их количество порождает новое качество: перед метеором образуется «шапка» из раскаленного сжатого воздуха и оторванных от метеорной частицы молекул. Поток и завихрения воздуха начинают увлекать вещество с боков метеорного тела, ускоряя разрушение последнего. Ко все усиливающемуся лобовому сопротивлению присоединяется всасывающее действие пустоты, образующейся позади метеора в результате его быстрого движения. Отсюда происходит резкое усиление т о р м о ж е н и я д в и ж е н и я — метеор начинает заметно замедлять свой полет. Это торможение достигает, наконец, такой силы, что на высоте около 22 км почти все метеоры теряют свою космическую скорость. Те частицы, которые долетели до этой т о ч к и з а д е р ж к и не разрушив-

пись, дальше начинают падать под влиянием силы тяжести, подобно бомбам, брошенным с аэроплана, и выпадают в виде метеоритов на поверхность Земли. Большинство же метеоров исчезает, разрушаясь целиком, гораздо выше точки задержки. Лишь очень немногие, чрезвычайно массивные и крепкие метеорные тела проходят атмосферную оболочку, не теряя до конца космической скорости; падения таких метеоритов особенно эффектные.

Во второй стадии полета метеора в нижних областях атмосферы беспорядочные столкновения молекул воздуха и метеора значительно усиливаются. В изобилии отрывающиеся от метеорного тела частицы образуют пылевые следы позади движущегося метеора.

Наконец, движение метеорного тела порождает попеременные сжатия и расширения воздуха, т. е. звуковые волны, а также захлопывание пустоты позади движущегося метеорного тела. Движение метеора, таким образом, может сопровождаться звуками.

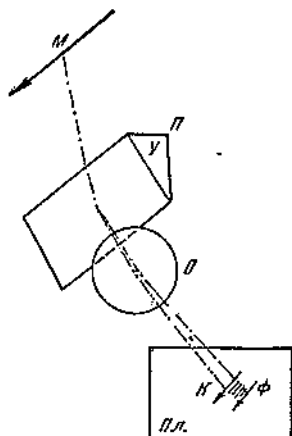
Такова общая картина проникновения метеорных тел в атмосферу Земли. В результате мы наблюдаем то, что называем метеорами.

Свечение метеоров

Излучение метеора внешне, по цветовому впечатлению, похоже на излучение звезд. Действительно, среди метеоров встречаются очень часто цвета, чрезвычайно похожие на цвета звезд — белый, желтый, красноватый. Но с другой стороны, попадают метеоры, явно окрашенные в интенсивные оттенки — зеленоватый, фиолетовый, которых мы совершенно не видим у звезд. Долгое время характер лучеиспускания метеоров оставался неясным, — до тех пор, пока к их изучению не был применен спектральный анализ. Наблюдения спектров невооруженным глазом через призму, предпринятые еще в 1863 г. разными астрономами, определенного результата не дали из-за мимолетности явления и происходящей отсюда невозможности определить вспыхивающие светлые линии спектра. Однако наблюдатели успевали разглядеть, что спектр метеора представляет собой именно собрание отдельных светлых линий. Это полностью согласуется с тем представлением о характере метеорного излучения, которое мы описали в предыдущей главе. Новая страница в исследовании спектров метеоров была открыта применением фотографии для получения снимков спектров, или, как их называют, спектрограмм. Первые фотографические метеорные спектры были изучены 30—40 лет назад московским астрономом Блайко, который получил три спектра из пяти, имевшихся до 20-х годов XX века, и американцем Пиккерингом. Метод получения метеорных спектрограмм чрезвычайно прост и не требует сложной аппаратуры. Представим себе призму, ориентированную своим преломляющим ребром приблизительно вдоль полета метеора (фиг. 30); это можно сделать заранее, основываясь с некоторой долей вероятности на том, что в определенные даты

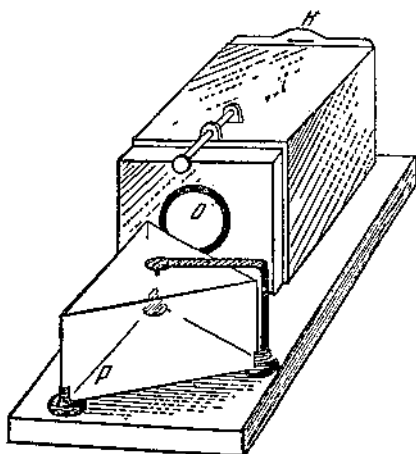
метеоры бывают особенно обильны из отдельных хорошо известных радиантов. Допустим, что пролетевший метеор излучал свет двумя спектральными линиями: одной в красной части спектра, другой в фиолетовой. Тогда призма расщепит изображение метеора на два: красное и фиолетовое, отклонив оба к своему основанию, причем фиолетовое изображение будет отклонено в более сильной степени. Если позади призмы поставить объектив фотоаппарата, то на фотографической пластинке можно собрать лучи обоих изображений и, таким образом, запечатлеть спектрограмму метеорного излучения.

Призму с преломляющим углом от 20 до 60° помещают перед обычным светосильным фотографическим аппаратом (фиг. 31) и затем направляют полученную камеру с объективной призмой на небо. Значительные успехи в получении спектрограмм метеоров были достигнуты за последние 5 лет в Соединенных Штатах коопе-



Фиг. 30. Получение метеорного спектра.

М — метеор; У — преломляющий угол призмы; О — светосильный объектив; Пл — фотографическая пластинка; К — Ф — красный и фиолетовый концы спектра.



Фиг. 31. Камера с объективной призмой для фотографирования метеоров

О этой камерой был получен спектр метеора 12/VIII 1934 г. (фиг. 33). К — масса; Р — призма, О — объектив камеры.

рацией американских любителей астрономии под руководством Миллмана. До сих пор получено около 45 спектров метеоров.

Все без исключения спектры представляются состоящими из отдельных светлых линий (фиг. 32). Возможно, что там, где можно разглядеть участки непрерывного спектра, при большой разрешающей силе спектрографа можно было бы найти целую серию слабых и тесно слитых между собою линий. Отсюда следует заключить, что молекулярные столкновения, возбуждающие атомы метеорного тела и заставляющие их излучать отдельные светлые линии, играют главную роль в свечении метеоров. Вторая общая черта, свойственная также всем полученным спектрам метеоров,—

это обилие линий в ультрафиолетовой, невидимой для глаза, части спектра. Ультрафиолетовые лучи, как известно, имеют более короткую длину волны, чем обычные световые лучи; при этом они способны оказывать сильное ионизирующее действие на окружающие атомы. Таким образом, изобилие активных ультрафиолетовых лучей в излучении метеоров может приводить к тому, что помимо непосредственной ионизации атомными столкновениями, появляется еще «вторичная» ионизация ультрафиолетовым излучением, наблюдаемая, главным образом, на молекулах и атомах воздуха. Спектр метеора не вспыхивает весь сразу. Прежде появляются наиболее легко возбудимые линии — кальция, магния, калия, железа. В момент наибольшего усиления бомбардировки газовыми молекулами метеорного тела наступает катастрофическое испарение его основной массы, отмечаемое вспышкой яркости метеора: ранее появившиеся спектральные линии значительно усиливаются; кроме того, появляется целый ряд новых линий; число их доходит до полусотни в наиболее хороших (из полученных до сих пор) спектрограммах. Спектр метеора на некоторое время вспыхивает во всем блеске. Вслед за вспышкой метеор пролетает еще некоторое расстояние со значительно ослабленной яркостью и внезапно потускневшими линиями, а затем, испарившись, исчезает почти сразу. Вся эта картина может быть прослежена на фиг. 33 (в конце книги), представляющей увеличение спектра, полученного в 1934 г. под Москвой коллективом наблюдателей Московского Астрономо-геодезического общества. Две наиболее яркие, близкие между собою линии в середине спектра принадлежат ионизированному кальцию. По обе стороны от этой двойной линии наблюдаются серии спектральных линий, принадлежащие различным элементам, в том числе железу, магнию, алюминию, возможно также никелю. Выше мы уже говорили, что при излучении отдельные спектральные линии вполне точно длинами волн характеризуют те элементы, которым принадлежат излучающие атомы. Поэтому изучение на спектрограмме метеора длин волн излучений и сопоставление их с каталогом известных спектральных линий дает возможность определить химический состав метеорного тела. Миллман составил сводку элементов, найденных



Фиг. 32. Спектр яркого метеора, полученный в США; видны следы спектров звезд. Наиболее яркий след справа вверху принадлежит Полярной Звезде.

тускневшими линиями, а затем, испарившись, исчезает почти сразу. Вся эта картина может быть прослежена на фиг. 33 (в конце книги), представляющей увеличение спектра, полученного в 1934 г. под Москвой коллективом наблюдателей Московского Астрономо-геодезического общества. Две наиболее яркие, близкие между собою линии в середине спектра принадлежат ионизированному кальцию. По обе стороны от этой двойной линии наблюдаются серии спектральных линий, принадлежащие различным элементам, в том числе железу, магнию, алюминию, возможно также никелю. Выше мы уже говорили, что при излучении отдельные спектральные линии вполне точно длинами волн характеризуют те элементы, которым принадлежат излучающие атомы. Поэтому изучение на спектрограмме метеора длин волн излучений и сопоставление их с каталогом известных спектральных линий дает возможность определить химический состав метеорного тела. Миллман составил сводку элементов, найденных

В метеорных спектрах. Были обнаружены: железо, никель, кальций, магний, марганец, хром и алюминий; вероятно, присутствуют также натрий и кремний.

Из этой сводки можно сделать чрезвычайно любопытное и важное заключение: метеорные тела не только содержат хорошо известные на Земле элементы, но содержат их в таком сочетании, которое близко к сочетанию химических элементов в глубинных частях земной коры и в центральных областях Земли. Позже мы вернемся к этому изумительному и интересному факту, подтверждающему общность происхождения Земли и космических тел.

Температура метеора определяется по интенсивности отдельных спектральных линий, например железа. Интенсивность некоторых линий (например в синей части спектра) при повышении температуры излучающего тела возрастает гораздо быстрее, чем других. Выбрав одну линию, с быстро возрастающей интенсивностью по мере увеличения температуры, и другую, сила излучения которой меняется меньше, можно за меру температуры взять отношение интенсивности первой ко второй. Чем больше будет это отношение, тем выше температура излучающего тела. Зависимость эту можно определить лабораторным опытом, так что температура может быть найдена, если известно отношение интенсивности двух избранных спектральных линий. Подобным способом Миллманом была определена температура ярких метеоров; эта температура сравнительно не высока — она равна 2000—3000°. Богатство ультрафиолетового и фиолетово-голубого — вообще коротковолнового — излучения создается при этом исключительно атомными столкновениями. Если бы было одно только температурное свечение, т. е. свечение, вызванное беспорядочным тепловым движением атомов и молекул метеора, мы видели бы очень слабые темнокрасные метеоры. Но так как преобладающее излучение принадлежит отдельным спектральным линиям, большинство из которых имеет короткую длину волны, то наиболее часты белые, желтоватые и даже голубоватые метеоры. Вследствие сравнительно низкой температуры метеоров и, в связи с этим, малой интенсивности теплового излучения можно считать, что цвет метеоров определяется набором излучающих спектральных линий.

Остается рассмотреть еще один интересный вопрос, связанный со свечением метеоров. Внимательный наблюдатель может заметить, что медленные метеоры часто бывают темножелтого или красного цвета; наоборот, быстрые метеоры чаще имеют желтовато-белый, белый или голубоватый цвет. Эта зависимость подтверждается многочисленными наблюдениями. Более быстрые метеоры — белее, т. е. у них больше число и интенсивность коротковолновых спектральных линий в голубой и фиолетовой части спектра. Это явление, повидимому, зависит от того, что быстрые метеоры обладают большим запасом энергии и способны возбудить коротковолновые

линии, «распаведить» которые медленные метеоры с их сравнительно небольшой энергией движения не в состоянии.

Размеры и масса метеоров

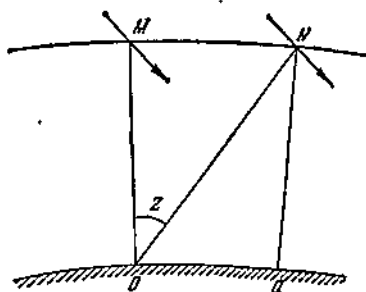
После того как характер свечения метеоров более или менее выяснен, можно приступить к оценке их размеров и массы. Основным видимым показателем для оценки размеров метеора является его яркость. Следует уточнить понятие о яркости метеора.

До сих пор яркостью метеора мы называли его видимую яркость. Чтобы можно было сравнивать между собой оценки яркости, относящиеся к различным метеорам, необходимо их привести к одному и тому же расстоянию от глаза.

Для метеоров, высоты которых определены, это делается чрезвычайно просто. Приведение видимой яркости к одному и тому же расстоянию производится на основании хорошо известного закона, а именно: освещенность от светящейся точки убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от нее, т. е. при удалении в 2, 3, 4 и т. д. раза освещенность убывает в $2^2=4$, $3^2=9$, $4^2=16$ раз и т. д.

Так как метеор вполне можно считать за движущуюся точку, то приведенное правило может быть использовано в нашем случае.

Когда же высоты отдельных, индивидуальных метеоров неизвестны, можно использовать то обстоятельство, что метеоры одинаковой яркости имеют в среднем одинаковую высоту (гл. «Высоты и скорости метеоров»). Пусть метеор M пролетел в зените наблюдателя O , а метеор N на угловом расстоянии z от зенита (фиг. 34). Можно считать, что высоты этих метеоров, близких по яркости, одинаковы, хотя и неизвестны ($MO=MQ$). Тогда, зная угол z в треугольнике MON и считая, что вершины его M и N находятся на одинаковой высоте над землей, можно вычислить отношение расстояний MO и NO до глаза наблюдателя, необходимое для приведения яркости метеора M к зениту. Кроме того, в величину яркости вносится еще поправка на поглощение света в воздухе, толщина которого вдоль лучей MO и NO неодинакова. Яркость метеора, отнесенная к зениту и к среднему расстоянию до метеора в 100 км, называется зенитной яркостью метеора или «абсолютной звездной



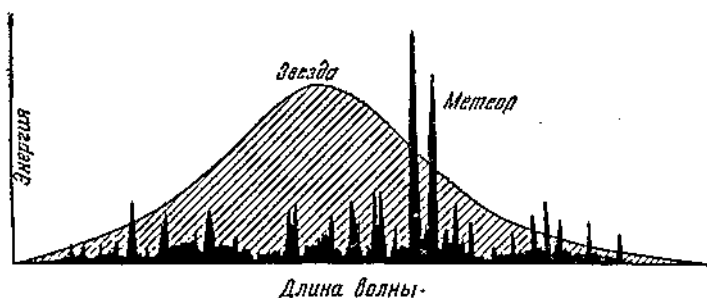
Фиг. 34. Сравнение яркости метеоров.

O — наблюдатель; M , N метеоры. В треугольнике MON можно вычислить отношение его сторон $r = \frac{NO}{MO}$. Так как освещенность обратно пропорциональна расстоянию, то для сравнения метеора N , пролетевшего в зените точки O , с метеором M , пролетевшим в зените точки O видимую яркость первого надо умножить на r^2 .

величиной» его. Ясно, что абсолютная звездная величина метеора характеризует общее количество его излучения, независимо от расстояния. Можно перевести яркость метеоров в физические единицы. «Сила света» метеоров выражается в международных свечах. По Астаповичу, метеор 2-й величины на расстоянии 100 км имеет силу света в 3360 международных свечей.

Выше мы сказали, что абсолютная яркость зависит только от количества света, получаемого метеором. Это количество при всех прочих равных условиях тем больше, чем больше излучающая поверхность метеора, т. е. чем больше его размеры. Более яркие метеоры имеют большие размеры.

Попытаемся определить эти размеры. Количество света, излучаемое 1 см² какого-либо тела, нагретого до определенной темпе-



Фиг. 35. Отношение излучения звезды и метеора.

Кривые показывают распределение энергии в зависимости от длины волны в спектрах звезды (штриховкой) и метеора (сплошным). При одинаковых видимых (угловых) размерах метеор будет иметь силу света во столько раз слабее силы света звезды, во сколько раз заштрихованная площадь под кривой спектра метеора меньше соответствующей площади для звезды.

ратуры, хорошо известно из лабораторных опытов.¹ Наоборот, если бы мы определили количество света, исходящее от источника неизвестных размеров, но вполне определенной температуры, мы смогли бы установить его излучающую площадь. Поясним это примером. Известно, что каждый квадратный сантиметр железа, нагретого до 1800°, излучает свет в количестве около 1 международной свечи. Если теперь мы видим кусок железа, нагретый до той же температуры в 1800° и дающий количество света, как 50 международных свечей, то мы в праве заключить, что излучающая поверхность светящегося железа равна 50 см². Такое определение размеров светящегося тела с известной температурой по его яркости применяется в астрономии для установления размеров звезд, недоступных по своей ничтожной видимой величине непосредственному измерению. Однако такая оценка вполне применима лишь к телам, в спектре которых мы находим благодаря тепловому излучению свет всех длин волн, т. е. к телам, имеющим непрерывный

¹ Например, 1 мм² вольтовой дуги дает 200 международных свечей.

спектр. Метеоры же, как мы видели, имеют спектр линейчатый, состоящий из отдельных световых линий.

Теория позволяет очень грубо, с небольшой степенью точности, определить отношение силы света звезд с непрерывным спектром к силе света метеоров, имеющих линейчатый спектр (фиг. 35). Такая попытка была сделана эстонским астрономом Эппком. Отсюда появилась возможность определить по яркости метеора его видимые размеры, а затем, зная расстояние до падающей звезды, и ее истинные размеры.

Размеры метеоров быстро убывают вместе с уменьшением их абсолютной яркости. Так из наблюдений метеоров в ноябре 1934 г. были получены следующие данные. Метеоры со средней яркостью около -0.5 звездной величины имели диаметр около 25 мм, с яркостью около $+2.5$ звездной величины — 6—7 мм.

Таким образом, мы видим, что светящаяся оболочка метеоров средней яркости имеет поперечник не менее нескольких миллиметров или десятков миллиметров. Отсюда легко перейти к оценке массы, т. е. количества вещества в метеорном теле. Для простоты мы можем предположить, что метеор имеет форму шара, заполненного железом, кальцием и другими элементами с известным удельным весом. Тогда мы получим массу, выражаемую граммами и долями грамма. Масса, определяемая по излучению метеора, является пределом, максимальной величиной для истинной массы. В действительности твердая метеорная частица окутана постепенно разрежающейся оболочкой атомов метеора, вырванных ударами молекул газов воздуха. Эта-то оболочка и светится, создавая впечатление сплошного светлого раскаленного тела метеора. Масса метеорных тел для обычных падающих звезд очень невелика и исчисляется д о л я м и г р а м м а.

Торможение метеоров

Сопротивление метеора движению, оказываемое воздушной средой, вызывает потерю скорости этого движения. По мере проникновения в более глубокие и более плотные слои атмосферы начальная скорость метеоров заметно убывает. Изучение закона торможения метеоров атмосферой имеет большое значение для получения данных о плотности воздуха на тех больших высотах (от 20 до 150 км), где происходит полет метеоров. Естественно, что чем плотнее среда, тем больше ее замедляющее действие на движущуюся частицу, тем более потеря скорости частицы на данном участке высот. Прежде всего следует отметить, что закон сопротивления газовой среды, в данном случае воздуха, при тех огромных скоростях, которыми обладают метеоры, еще совершенно не изучен. Нечто похожее на движение метеора в атмосфере можно найти в области военной техники. Подобно тому, как метеор прорезает воздух, так и снаряд, выпущенный из огнестрельного орудия, описывает путь (траекторию) в воздушной среде, оказывающей сопротивление. При

этом сопротивление воздуха сказывается на форме траектории, дальности действия орудия и т. д. Естественно, что внешняя баллистика, т. е. наука о движении артиллерийского снаряда в воздухе после вылета из орудия, уже давно интересовалась законом сопротивления воздуха телам, движущимся с большой быстротой. Баллистические опыты устанавливают, что сопротивление воздуха растет гораздо быстрее, чем возрастает скорость движения снаряда, и что оно зависит от формы последнего. Приблизительно, сопротивление воздуха здесь пропорционально квадрату скорости движения снаряда, на что указал еще в свое время Ньютон. Но данные о сопротивлении воздуха движению снарядов относятся в баллистике к скоростям не выше километра в секунду. Движение метеоров совершается с гораздо большей скоростью, как указывалось, — от 10 до 200 км в 1 сек. Однако обе упомянутые скорости (снарядов и метеоров) обладают тем общим свойством, что они больше скорости звука, которая равна 0.3 км в 1 сек., так что их в одинаковой степени можно считать сверхзвуковыми. Это означает, что как снаряд, так и метеор, обгоняют в своем движении образуемые ими продольные сжатия и расширения воздуха, т. е. звуковые волны. Характер сопротивления воздуха поэтому должен иметь много общего для обеих упомянутых категорий движущихся в атмосфере тел. Отсюда мы видим, что сопротивление атмосферы движению метеоров может быть пропорционально какой-либо степени его скорости, быть может, квадрату скорости.

Германский астроном Гофмейстер изучал движение ярких болидов на разных отрезках их пути. Он пришел к убеждению, что сопротивление воздуха, выражающееся в торможении метеоров, действует пропорционально восьмой степени их скорости, т. е. растет в колоссальной мере с увеличением скорости движения. Выводы Гофмейстера основаны на наблюдениях высоты и скорости движения метеоров простым глазом, при помощи нанесения путей метеоров на звездную карту из двух или нескольких пунктов. В начале этой главы мы обращали внимание читателя на большие неточности при таких определениях, поэтому выводы на их основании довольно шатки. Известный германский исследователь атмосферы Вегенер пользовался для определения процента потери скорости статистическим путем; он сравнивал потерю скорости медленных болидов, догоняющих Землю в ее движении, и быстрых — встречных. Он установил, что при этом болиды теряют от 10 до 75% (в среднем 24%) своей первоначальной скорости, с которой они вступают в пределы земной атмосферы.

Статистический способ несколько сглаживает неточности и ошибки, имеющиеся в отдельных наблюдениях, однако наилучшим способом для определения потери скорости является фотография.

Если перед объективом камеры, фотографирующей метеоры, поставить неподвижно закрывающий этот объектив затвор, то след метеора на пластинке получится прерванным на несколько частей. Проще всего устроить диск с двумя или более непрозрачными сек-

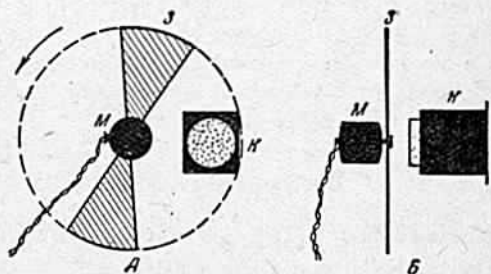
торами, вращающийся при помощи мотора на оси, параллельной оптической оси камеры.

Такое устройство было впервые применено в конце прошлого века Элькиным в Соединенных Штатах и Штернбергом в Москве. Американские астрономы прозвали этот аппаратик «ветряной мельничкой» (фиг. 36). Скорость вращения, сообщаемого обычно син-

хронным электромотором, такова, что в течение секунды путь метеора прерывается от 15 до 25 раз. Скорость вращения мотора достаточно постоянна, чтобы считать, что каждый отрезок пути метеора, который вышел на снимке, относится к строго одинаковому промежутку времени. Достаточно получить второй снимок для фотографического определения высоты такого метеора, чтобы знать высоту концов каждого отрезка и его истинную длину в километрах. Так как каждый отрезок пути относится к одной и той же единице времени, то относительное уменьшение скорости, или процентное торможение, метеора может быть отсюда прямо найдено. Для метеора, снимок которого приведен на фиг. 37 (в конце книги), торможение доходит до 39.7 км/сек.^2 , т. е. скорость каждую секунду уменьшалась на 39.7 км (при начальной скорости в 56 км в секунду).

Величина торможения, таким образом, колоссально велика. Достаточно вспомнить, что ускорение силы тяжести на поверхности Земли равно 9.8 м в секунду или круглым счетом 0.01 км/сек.^2 , т. е. скорость каждую секунду увеличивается на 0.01 км . Отсюда видно, что сила сопротивления воздуха может превосходить силу тяжести почти в 4000 раз. Не надо забывать, что эта цифра относится к высоте в 40 км , где воздух еще довольно сильно разрежен.

Нет ничего удивительного в том, что если метеорное тело достаточно велико, чтобы выдержать непрерывное разрушение при вторжении в атмосферу, то оно в подавляющем большинстве случаев теряет всю свою космическую скорость на высоте в $20-25 \text{ км}$. В области задержки метеорное тело, потеряв свою начальную скорость, получает новое ускорение вследствие притяжения Земли. Повинуясь силе тяжести, метеорит падает на Землю, подобно свободно оброненному камню; сопротивление плотного воздуха в нижних слоях атмосферы заставляет его лететь с постоянной скоростью не более чем 200 м в секунду.



Фиг. 36. „Мельничка“ перед фотокамерой для определения скорости и торможения метеоров:

К — камера; М — мотор; З — затвор. А — вид спереди, Б — вид сбоку.

В заключение надо отметить, что законы торможения метеоров в верхней атмосфере должны представлять интерес и для современной баллистики. Новая сверхдальняя артиллерия, начало которой было положено германским обстрелом Парижа в 1918 г. из пушек «Колоссаль», пользуется снарядами, траектории которых проходят на тех же высотах, на которых совершается торможение метеоров. Расчет траекторий ее снарядов был также сделан на основе данных о движении метеоров. Характер же сопротивления воздуха в обоих случаях, относящихся к сверхзвуковым скоростям, должен, примерно, быть один и тот же.

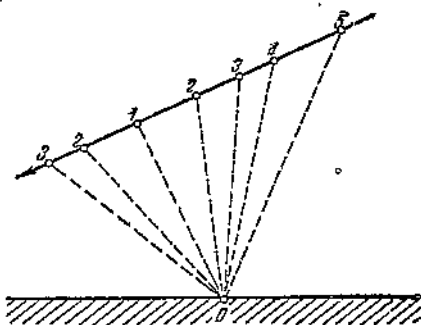
Звуковые явления при полете метеоров

Наиболее яркие метеоры, проникающие более глубоко в атмосферу, часто сопровождаются звуками. Как известно, звук может зарождаться и распространяться лишь в достаточно плотной материальной среде, являясь продольными колебательными движениями частиц этой среды. Межпланетное пространство, наполненное невообразимо распыленной материей, безмолвно. Самые крупные катастрофы, например взрывы газовых извержений на Солнце, совершаются в абсолютной тишине, так как в межпланетном пространстве не имеется среды, частицы которой могли бы притти в продольноколебательное движение и вызвать появление звука. Точно так же полет метеоров в верхних, наиболее разреженных, слоях земной атмосферы, где метеор скорее можно рассматривать претерпевающим столкновения с отдельными молекулами воздуха, чем с непрерывной сплошной его средой, не влечет за собой никаких звуковых явлений. Английский астроном Деннинг изучил высоту тех ярких болидов, при полете которых были зарегистрированы звуковые явления. Оказалось, что все они наблюдались ниже 55 км. Этот результат был подтвержден и другими исследователями. Отсюда следует, что атмосфера выше 60 км над уровнем моря еще слишком разрежена для возникновения в ней звуковых колебаний. С высоты 80 км могла бы дойти до поверхности земли только 1/300 000 часть энергии звука.

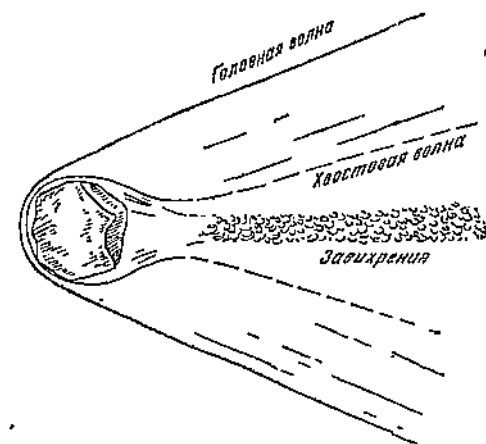
Скорость звука равна при нормальных условиях на уровне моря 0.3 км в 1 сек., в то время как скорость движения полета метеоров в атмосфере колеблется от 10 до 200 км в 1 сек. Следовательно, мы имеем дело с источником звука, движущимся быстрее, чем вызываемые им звуковые волны. Метеоры, чаще всего болиды, вызывающие звуковые явления, носят название *детонирующих*. Очень часто детонирующие болиды сопровождают выпадения метеоритов на земную поверхность, так как метеорные тела, порождающие звук, обладают солидной массой, зачастую достаточной для того, чтобы проникнуть атмосферу. Звук, вызываемые детонирующими метеорами, имеют характер грохота или гула, резких громоподобных ударов с последующими раскатами,

часто сравниваемым с барабанной дробью, треском гради по железной крыше, отдаленной ружейной перестрелкой и т. п.

Все эти звуки обычно слышны через некоторое время после пролета метеора, так как необходимо известное время, обычно порядка нескольких десятков секунд, пока звук достигнет уха наблюдателя, в то время как световые эффекты воспринимаются, благодаря огромной скорости распространения света, почти мгновенно. Такое запаздывание вполне аналогично хорошо известному запаздыванию грома после электрического разряда молнии, однако оно гораздо больше в случае детонирующих метеоров, так как высота метеорных явлений значительно превосходит высоту грозовых. Первые звуки доносятся до слуха наблюдателя от ближайших точек пути полета метеора (фиг. 38), а затем и от других, более удаленных частей этого пути, так что



Фиг. 38. Слышимость звука детонирующих метеоров: звук последовательно доходит от различных частей пути метеора, в зависимости от их удаленности от наблюдателя.



Фиг. 39. Воздушные волны при полете метеорного тела.

ских снарядов, винтовочных пуль и т. д. Своеобразие этих волн заключается в том, что вызывающий их источник движется быстрее, чем порождаемый им звук. Поэтому волны Маха в пространстве образуют конус, на подобие тех волн, которые судно порождает в воде,

весь процесс звуковых явлений, сопровождающих полет метеора, растягивается на несколько десятков секунд, создавая раскаты и повторения одних и тех же звуков. Основная серия звуков при полете метеоров вызывается коническими волнами, возникающими благодаря периодическому сжатию воздуха перед головной частью метеорной частицы. Такие волны, названные в честь открывшего их австрийского физика волнами Маха, наблюдаются и даже фотографируются при полете обычных артиллерий-

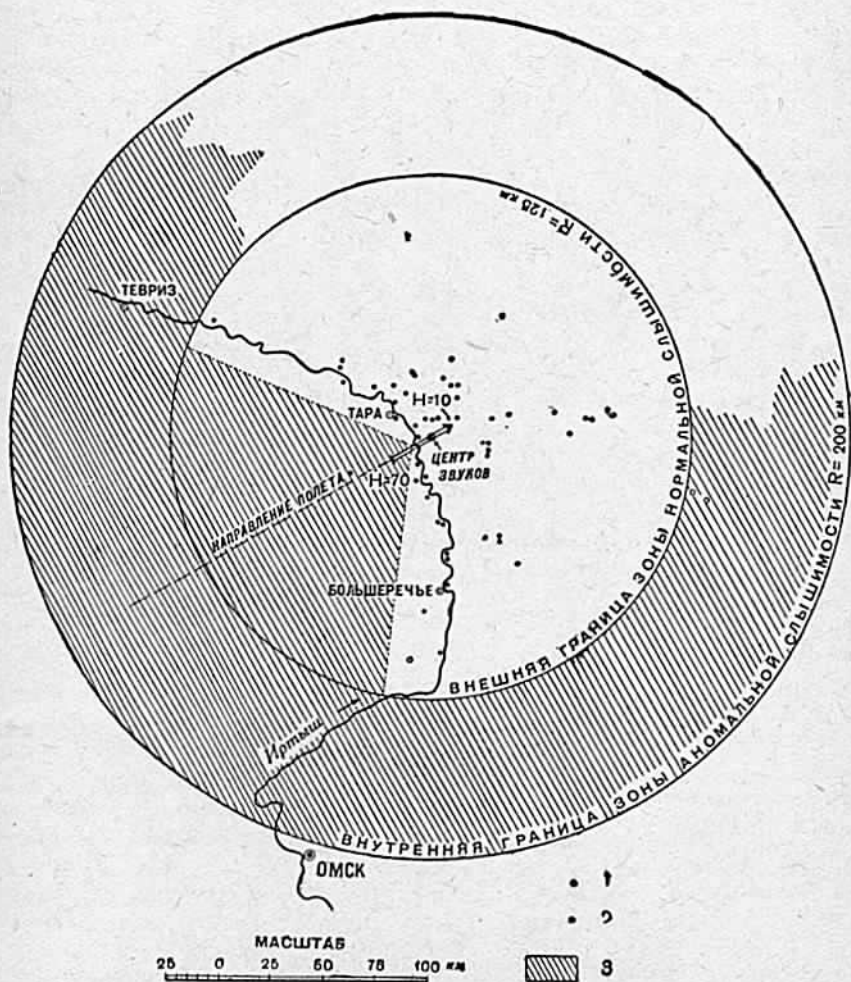
борозды ее своим носом. Легко видеть, что угол раствора таких волн при вершине образуемого ими конуса тем острее, чем большую скорость имеет судно (тело). Второй источник возникновения звуков при полете метеоров заключается в образовании пустоты позади метеорного тела вследствие огромной скорости его продвижения в воздушной среде (фиг. 39). Захлопывание воздухом такой пустоты воспринимается как отдельный звук, а возникающие завихрения, как и при полете снарядов, вызывают свист; колебания (вибрации) метеорного тела порождают «стрекотанье», «жужжанье» и тому подобные звуки. Так как захлопывание пустоты позади метеора повторяется во время его полета непрерывно, то удары последовательно доносятся из различных точек пути метеора и создают впечатление громовых раскатов (фиг. 39а).

Особняком стоят загадочные звуки, наблюдаемые иногда одновременно со вспышкой метеора. Самая возможность появления таких звуков оспаривалась некоторыми учеными, так как действительно, при малой скорости распространения звуковых волн, трудно удовлетворительно объяснить одновременное с полетом метеора появление звука. Однако, по видимому, свист или шипение действительно наблюдались иногда в тот же момент, что и свет от некоторых ярких метеоров. Трудно приписать такому звуку другой характер, кроме электрического воздействия метеора на воздух, непосредственно окружающий наблюдателя. Впрочем окончательно вопрос о происхождении этих звуков еще не решен.

Разрушение метеорных частиц, их следы

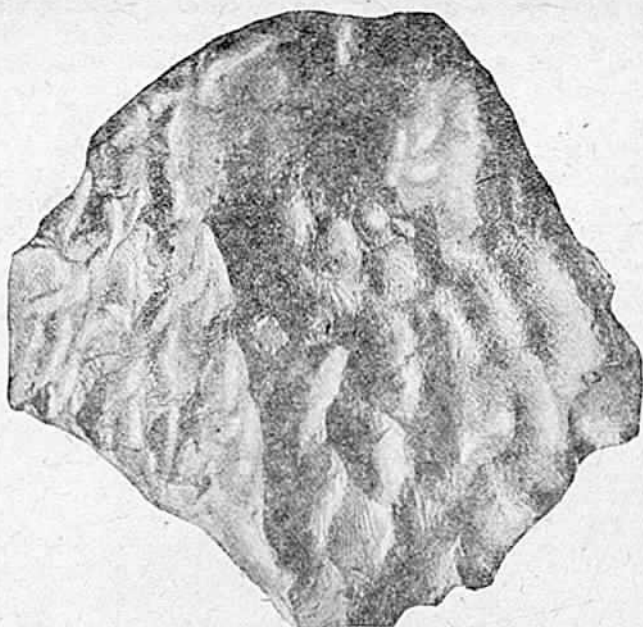
Выше мы указывали, что сила сопротивления воздуха даже на больших высотах, несмотря на весьма значительное разрежение газовой среды, очень велика для космических скоростей, которыми обладают метеоры. Эта сила превосходит в сотни и тысячи раз земную силу тяжести. Поэтому нет ничего удивительного в том разрушительном действии, которое оказывает на метеор его движение в земной атмосфере. Струя воздуха при огромной скорости движения метеора режет и шлифует поверхность метеорной частицы, подобно твердому телу. Даже при гораздо меньшей скорости движения винтовочная пуля, пролетающая вблизи поверхности стальной брони, оставляет на ней борозду, не касаясь ее. Эта борозда есть следствие режущего действия воздуха, увлекаемого пулей в своем движении.

Точно так же воздух сверлит и бороздит поверхность метеорного тела, проникающего в пределы земной атмосферы. Метеорные тела, которые достаточно велики, чтобы выдержать сокрушительное действие атмосферы, выпадают на землю в виде метеоритов, но несут на своей поверхности следы этой работы воздуха. Поверхность метеоритов покрыта впадинами в виде лунок, имеет часто борозды, идущие от лобовой к тыльной части метеорита и указывающие его ориентировку в полете (фиг. 40). Кроме того, вся



Фиг. 39а. Распределение слышимости звуков на поверхности Земли при полете метеорита Хмелевка 1 марта 1929 года.

H — высоты начальной (70 км) и конечной (10 км) точек пути метеорита. 1 — пункты, где были зарегистрированы звуковые явления; 2 — пункты, где звук отмечен не был. Заштрихованное пространство (3) показывает мертвую зону (отсутствие звуков), расположенную в тылу и на периферии звуковой волны. В Омске (за пределами мертвой зоны) звуки опять слышны вследствие преломления звуковых лучей в более высоких слоях стратосферы (в области верхней инверсии).

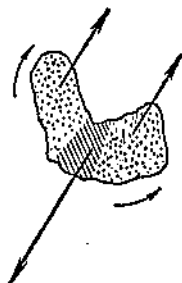
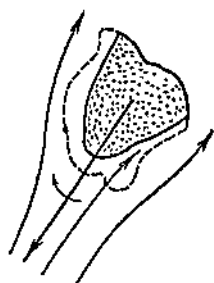


Фиг. 40. Внешний вид каменного метеорита.
(Из коллекции проф. Нинингера, США.)



Фиг. 41 Метеорит «Мамра», сынявший в Казахстане
15/V 1927 г.
(Из коллекции Академии Наук СССР.)

форма метеоритов иногда указывает на обтачивающее действие воздушного сопротивления. На фиг. 41 показан метеорит, напоминающий классическую форму головки артиллерийского снаряда, т. е. наилучше-обтекаемую воздухом. Происхождение подобного рода формы пояснено на фиг. 42. Такое правильное обтачивание наблюдается все же редко; для того, чтобы оно получилось, нужно, чтобы метеорит при полете вращался вокруг своей оси, приблизительно совпадающей с направлением его полета, или, что совсем маловероятно, не имел бы никакого вращательного движения. Вращение в других направлениях является причиной того, что у целого ряда выпавших метеоритов можно наблюдать самые причудливые формы. Все эти формы имеют одну общую особенность — воздух стремится сгладить выступы и углы, так что



Фиг. 42. „Обтачивание“ крупного метеорного тела воздухом; пунктиром показан первоначальный объем частицы.

Фиг. 44. Дробление метеорита в воздухе; зона раскола заштрихована.

Фиг. 43. Опрокидывающее и вращательное действие воздуха.

Сила инерции движения приложена к центру тяжести A метеорного тела, сила сопротивления воздуха — в точке B , положение которой не совпадает с центром тяжести. Направлению вынужденного поворота тела показано стрелками.

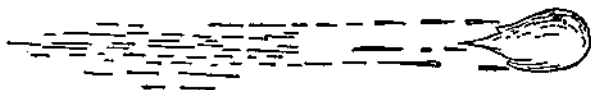
метеорит обычно несколько напоминает тело, как бы вылепленное из пластичного материала (например глины).

Сопротивление воздуха само по себе служит дополнительным источником вращательного движения метеорных тел. На метеорное тело в каждый данный момент действуют две силы. Сила инерции движения стремится увлечь тело по направлению его полета, причем она приложена к центру тяжести метеорного тела. Точка же приложения результирующей силы воздушного сопротивления может и не совпадать с центром тяжести, так как она определяется исключительно формой метеорного тела. Ясно, что получающаяся пара сил стремится опрокинуть метеорное тело, придавая ему дополнительное вращение (фиг. 43). Форма выпадающих на землю метеоритов в результате такого действия воздушного сопротивления, выражающегося в опрокидывании, сверлении и обтачивании метеорного тела, очевидно должна подвергаться сильным изменениям. И если форма очень крупных метеоритов еще указывает на первоначальную форму метеорного тела,

то для маленьких метеоритов она определяется почти исключительно разрушительной работой воздуха.

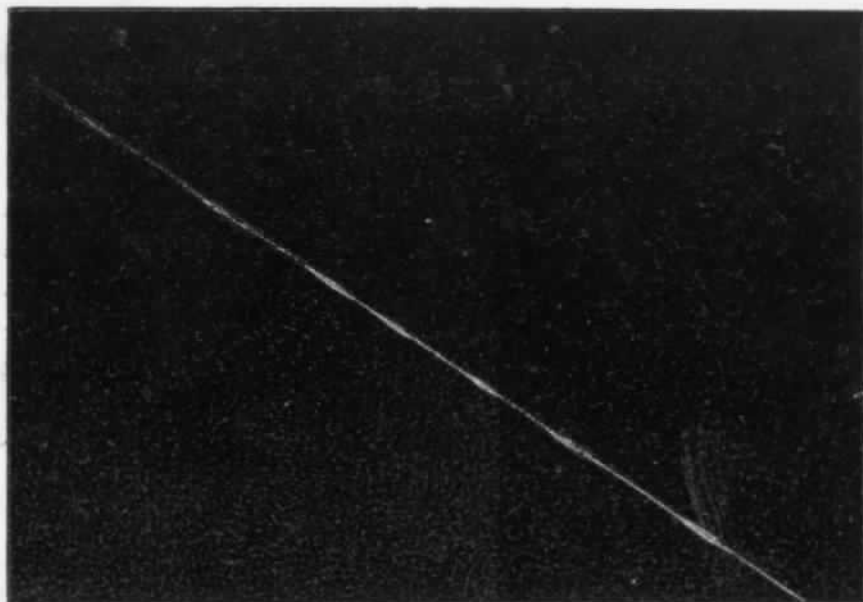
До сих пор мы говорили о действии воздушного сопротивления на форму метеорного тела в целом. Следующим проявлением разрушительной работы этого сопротивления можно считать **раскалывание и дробление** метеорных тел на крупные части, которые проходят при наличии двух условий. Во-первых, метеорное тело должно быть достаточно велико по своим размерам, чтобы разрывающее усилие имело большую величину. Во-вторых, метеорное тело должно иметь достаточно асимметричную форму или такие направления, по которым это тело благодаря своему внутреннему строению может легко быть расколото. Тогда силы сопротивления, действующие на отдельные составные элементы метеорита, будут стремиться повернуть их в различных направлениях. Следствием такого действия будет раскалывание метеорного тела, причем зона раскола пройдет по наименее прочным областям метеорита (фиг. 44).

Вплотную к раскалыванию метеорных тел припыкает их **распыление** на мельчайшие пылинки, способные плавать



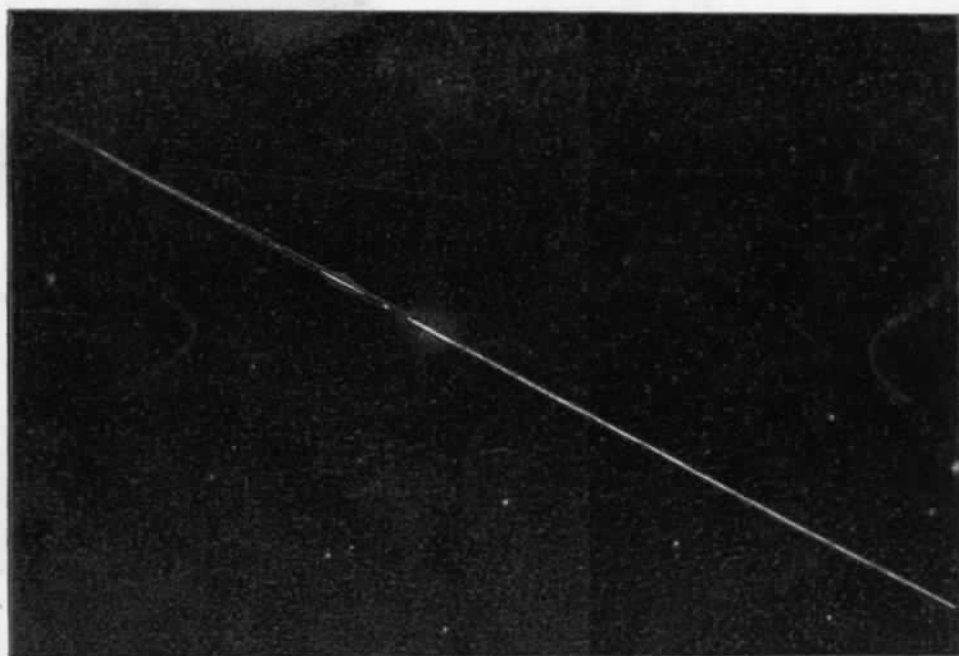
Фиг. 45. Болид 1/IX 1925 г. (УССР); видны частицы, оторвавшиеся от ядра метеорного тела и образующие искрящийся хвост болида.

в атмосфере во взвешенном состоянии и подолгу не осаждаются на земную поверхность. Распыление метеорной частицы идет очень интенсивно во время полета, в результате чего вдоль пути при полете метеора часто наблюдается как бы ряд мелких брызг или искорок, быстро угасающих (фиг. 45). Наибольшей интенсивности распыление метеорной частицы достигает во время заключительной части полета. Здесь сопротивление воздуха все время возрастает, благодаря увеличению плотности атмосферы, и количество оторванных атомов, молекул и отдельных частичек от метеорного тела начинает также возрастать с огромной скоростью. Так как отрыв атомов означает превращение метеорного тела в газ, то все растущая быстрота этого процесса приводит к внезапным пульсациям яркости и взрывам (фиг. 46), соответствующим резкому, внезапному увеличению количества законлиющегося газа. Такие взрывы проявляются не только как вспышка метеора, т. е. внезапное увеличение его яркости, но приводят иногда даже к изменению направления его полета, как это хорошо видно на некоторых фотографиях. Распыление метеора происходит во время вспышки столь интенсивно, что по окончании ее взрывного действия яркость его обычно бывает уже сильно ослабленной и метеор часто вскоре



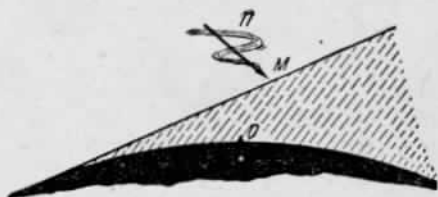
Фиг. 46. Вспышки и взрывы при полете метеора; видны почти правильные колебания яркости.

Из фотографий Гарвардской обсерватории, США).



Фиг. 47. Вспышки и взрывы при полете метеора; заметно распыление метеора (отделение слабых частиц в середине пути).
(Из фотографий Гарвардской обсерватории США).

совершенно исчезает (фиг. 47). Развеванный в облачко раскаленных пылинок метеор некоторое время продолжает еще существовать, пока воздушные течения и перемешивание атмосферного газа не разнесут постепенно оседающую пыль на большое расстояние. Каждая пылинка имеет вначале высокую температуру, вероятно, того же порядка, что и метеор, т. е. от 2 до 3 тысяч градусов, но охлаждение ее идет очень быстро, так как размеры пылинки малы, а движение пылинки относительно атмосферы очень скоро останавливается, благодаря тормозящему действию атмосферы, так что нового притока тепла пылинки уже не получает, и за время, исчисляемое малыми долями секунды, облачко пыли должно охладиться. Поэтому пылевые следы, являющиеся следствием распыления тела метеорной частицы, наблюдаются лишь в том случае, если они освещены Луной или Солнцем (фиг. 48). Высота пылевых следов колеблется от 20 до 80 км над поверхностью



Фиг. 48. Освещение ночного пылевого следа Солнцем.

О—наблюдатель; М—метеор, П—пылевой след. В пункте, где расположен наблюдатель, Солнце опустилось под горизонт и наступила ночь.



Фиг. 49. Пылевой след болида.

А—изменение его положения и формы (1—5) по наблюдениям простым глазом А. Л. Слободянского в г. Таре (Зап. Сибирь) 21/I 1924 г.; Б—фотографический снимок следа Алашанского болида, сделанный через 15 мин. после его полета 12/XII 1905 г.

Земли. Дневные пылевые следы, не обладающие собственным свечением, часто наблюдались при полете ярких болидов, оканчивавшемся выпадением метеоритов на Землю. Такие дневные пылевые следы на светлом небе имеют вид черного дыма, остающегося позади пролетевшего болида; они отмечались еще в древних летописях, как «черные хвосты у огненных змеев» или «драконов» (фиг. 49).

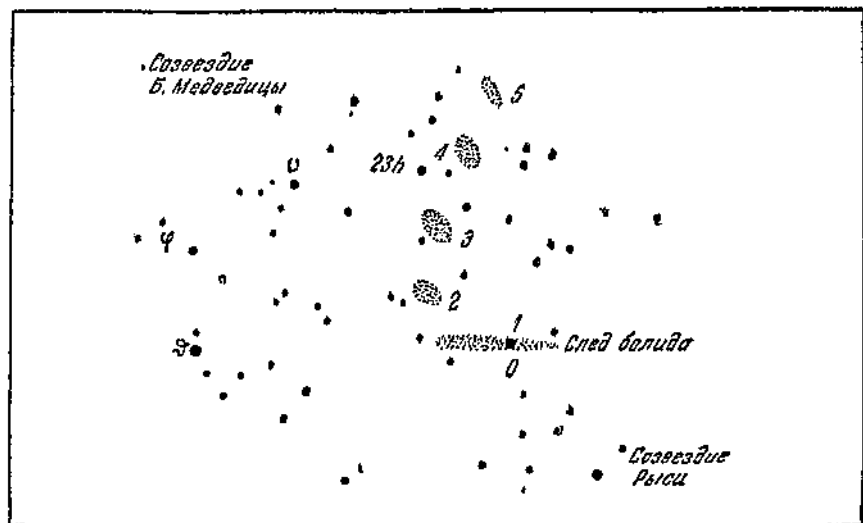
Продолжительность видимости ночных, освещенных лучами Солнца, скрывшегося под горизонтом, и дневных («дымных») следов зависит от количества материи, подвергнувшейся распылению, и бывает очень большой — до 5—6 часов, т. е. следы бывают видны до того момента, когда воздушные течения разобьют и равнесут пылинки уже на очень большое протяжение. Объем, заполняемый пылевым следом, следует исчислять кубическими километрами, так как распыление, взрывы и ветры, имеющиеся и на больших высотах, способствуют сильному рассеянию материала.

Газовые следы

Кроме пылевых следов, получившихся в результате тончайшего распыления метеорного тела, у ярких, и притом быстрых, метеоров наблюдаются также ночные светящиеся следы серебристого оттенка. Появление этих следов, по исследованиям Трубриджа (Канада), приурочено к высоте выше 80 км над уровнем моря, причем научные условия видимости их указывает на то, что такие следы образуются и в областях атмосферы, погруженных в ночную темноту, куда не попадают высокие лучи Солнца. Следовательно, такие следы являются самосветящимися. Какова же природа этих высоких самосветящихся следов? Уже Трубридж около 30 лет назад сравнил их свечение с фосфоресценцией разреженного газа в лабораторных условиях. Действительно, если стеклянную трубку, содержащую какой-либо разреженный газ, подвергнуть действию яркого освещения, то после удаления источника света можно заметить в темноте постепенно меркнувшее свечение газа — его фосфоресценцию. Явление это происходит от того, что энергия световых лучей, падающих на газ, вызывает возбуждение его атомов, отрыв от них электронов или скачкообразное удаление их от ядра атома. Если бы газ был достаточно плотным, то такие оторванные электроны после очень кратковременного пробега вновь попадали бы в плен к оголенным атомам. Излучение, которое сопровождает такой захват и скачкообразное приближение электронов к атомным ядрам, имело бы место только во время освещения газа посторонним источником света. Однако в разреженном газе время свободного пробега атомов и электронов от одного до другого столкновения увеличивается настолько, что процесс обратного приближения электронов к атомным ядрам и свечения газа растягивается на длительное время, зависящее от плотности и температуры газовой среды. Таким образом, после удаления источника света газ продолжает фосфоресцировать, причем сила этой фосфоресцен-

ции все время убывает, пока, наконец, свечение газа не прекращается. Во все время свечения газа, значительный процент его атомов остается ионизированным; с исчезновением ионизации заканчивается и самосвечение разреженного газа.

В верхних слоях атмосферы при полете метеоров происходит совершенно аналогичное явление. Выше мы видели, что благодаря взаимным атомным столкновениям частиц газа и метеорного тела, метеор испускает целый аккорд световых колебаний, причем излучение его до образования «шпалки», т. е. до высоты в 80 км, имеет преимущественно короткую длину волны. Коротковолновое же, особенно не видимое для глаза, ультрафиолетовое излучение, в изо-



Фиг. 50. Смещение газового следа (1—5) метеора в течение 48 мин. Наблюдался в Николаеве 20/VIII 1925 г.

были обнаруживаемое в метеорных спектрах, способно ионизировать атомы газов воздуха, отрывая и удаляя отрицательные электроны от ионизируемых атомов. Интенсивная ионизация разреженного воздуха приводит к последующему его свечению. Так как ионизация идет вдоль пути полета метеора, то образующийся ионизационный след имеет форму узкого цилиндра, ось которого совпадает с направлением полета метеора. Вследствие перемешивания и «расползания» («диффузии») воздуха этот цилиндр постепенно расширяется, одновременно непрерывно ослабевая по мере уменьшения количества ионов в атмосфере. Так же, как и пылевые, ионизационные следы подвергаются действию воздушных течений. Однако вследствие того, что зона образования этих следов имеет гораздо более узкие пределы высоты, чем зона образования пылевых следов, разбивающее действие воздушных течений на ионизационных

следах сказывается не так сильно, как на пылевых. По большей части весь ионизационный след, слабей и располагаясь, одновременно относится воздушным течением, перемещаясь среди звезд. Хотя продолжительность видимости ионизационных следов и меньше чем пылевых, но все же она достаточна (до 1 часа), чтобы отчетливо обнаружить наличие ветров на высоте в 80 км и выше.

Начальная интенсивность, а следовательно, и продолжительность свечения ионизационных следов зависят от силы и характера излучения самого метеора. Чем ярче метеор и чем более коротковолновое излучение он создает, тем больше эта начальная интенсивность и продолжительность видимости следа. Так как излучение обладает тем более короткой длиной волны, чем быстрее метеор (стр. 48), то вполне понятно наличие ионизационных следов, главным образом, у ярких и быстрых метеоров.

Метеорная ионизация и радиоприем

Факт появления метеорных ионизированных следов именно на высотах в 80—110 км следует сопоставить с существованием здесь особого слоя атмосферы, богатого содержанием ионов и потому действующего на прохождение электромагнитных радиоволн в верхних областях земной атмосферы. Наличие такого ионизированного слоя Хивисайда-Кеннелли хорошо устанавливается при излучении пути радиолучей в атмосфере, так как ионизированный слой отражает эти лучи. Если посылаемая в эфир волна определенной длины отражается и воспринимается обратно, то это означает, что ионы расположены друг от друга ближе, чем на величину длины данной волны. Уменьшая длину волны радиолуча, можно наблюдать, начиная с некоторого момента, исчезновение отражений. Это означает, что достигнута критическая длина волны радиолуча, при которой он ускользает между ионами в мировое пространство, не давая отражения. Таким образом, по длине радиоволн, отраженных слоем Хивисайда-Кеннелли, можно судить о плотности распределения в нем ионов. Всякая перемена в состоянии слоя Хивисайда-Кеннелли может быть отмечена при помощи регистрации условий радиоприема каких-либо радиостанций. Естественно предположить, что ионизация, производимая метеорами в слое Хивисайда-Кеннелли, может быть уловлена таким же образом. Действительно, недавно было установлено, что увеличение количества метеоров или появление отдельных ярких болидов, сразу увеличивая число свободных ионов на небольшом участке слоя Хивисайда-Кеннелли, изменяет его электропроводимость. В силе радиоприема, регистрируемой точными электромерительными приборами, можно отметить колебания, связанные с появлением отдельных метеоров, особенно сильно ионизирующих атмосферу. Великолепный пример такой регистрации дает запись силы радиоприема передачи станции Кепингс-вустергаузен, полученная в Слуцке (близ Ленинграда) во время

большого метеорного дождя 9 октября 1933 г., когда количество метеоров исчислялось тысячами. Совершенно отчетливо на записи видно, что время наибольших возмущений силы радиоприема совпадает с моментом максимальной интенсивности метеорного потока.

Новозеландский исследователь метеоров Мак-Интош сообщает, что при полете одного болида в радиоприемнике слышались особые звуки, связанные с метеорной ионизацией. В Калькутте физик Бхар изучал при помощи радиоволн состояние атмосферы 12—16 ноября в 1936 г.; в дни максимума Леонид 14—15 числа в 2—3 часа ночи он обнаруживал сильную ионизацию на высоте 100—150 км. Подобные же радиопомехи нашел и Штекль в Германии.

Светящиеся ночные облака. Метеорный натрий в атмосфере

В восьмидесятых годах прошлого века астрономы Цераский в Москве и Иессе в Берлине, во время своих регулярных ночных наблюдений, заметили необычные облака, излучавшие серебристое свечение и имевшие чрезвычайно тонкую волокнистую структуру.



Фиг. 51. Ночные светящиеся облака.

Сфотографировано в 1930 г. под Ленинградом (любительская фотография).

Естественно сейчас же возникло предположение о большой высоте этих облаков, так как обычные облака, не поднимающиеся выше 12 км над поверхностью земли, не могли бы освещаться лучами уже глубоко опустившегося под горизонт Солнца. Для того чтобы такое освещение имело место, нужно было допустить, что эти облака (названные *ночными светящимися* или *серебристыми*) (фиг. 51) имеют высоту в несколько десятков километров. Действительно, при первых же измерениях, сделанных Иессе, эта высота оказалась около 80—85 км.

Незадолго перед открытием ночных светящихся облаков происходило знаменитое извержение вулкана Кракатоа в Зондском архипелаге, отличавшееся огромной разрушительной силой. Тро-

послефара в результате этого извержения была сильно засорена мельчайшим вулканическим пеплом и парами; поэтому в течение нескольких месяцев после извержения сумерки на всем земном шаре отличались необычной интенсивностью и богатством красочных оттенков. Появление вновь открытых облаков также было приписано действию взрыва Кракатоа, забросившего водяные пары на огромную высоту. Такое объяснение, несмотря на всю его поверхностность, продержалось почти до наших дней; его можно найти почти во всех учебных пособиях по геофизике. Между тем, из года в год то там, то здесь наблюдались ночные светящиеся облака. Их образование приписывалось действию вулканических извержений вообще, однако изучением их занимались мало. Этому способствовало то обстоятельство, что для того чтобы атмосфера на высоте 80 км была длительное время освещена Солнцем, требуются условия северных светлых летних ночей. В связи с этим в северном полушарии в умеренных широтах от 50 до 65° серебристые облака наблюдаются преимущественно в июне-июле. В более южных широтах Солнце слишком низко опускается ночью под горизонт; в полярных странах, наоборот, в это время оно не заходит совсем. Отсюда получилось заключение о редкости явления серебристых облаков. Опыт систематических наблюдений за последние годы показывает обратное. При внимательном осмотре неба над северной частью горизонта в летние ночи светящиеся ночные облака можно найти совсем нередко. На фоне сегмента светлой зари волокна обычных облаков кажутся темными в противоположность серебристым облакам, которые освещаются, попадая в сегмент. Здесь они сияют очень красивым голубовато-белым светом, который некоторые наблюдатели характеризуют как «жемчужный» или «серебристый», в то время как облака тропосферы становятся светлыми только по выходе из фона зари, на темном небе.

В 1933—1934 гг. норвежский исследователь Стёрмер получил длинную серию фотографических определений высоты ночных светящихся облаков, которая оказалась удивительно постоянной и равной приблизительно 82 км: ни выше, ни ниже серебристые облака не наблюдались. По этой высоте можно отнести серебристые облака как раз к тому слою атмосферы, где имеется пониженный слой Хивисайда и где наблюдаются понижающие следы метеоров. Существование ночных светящихся облаков еще раз подчеркивает особенности этого слоя. Стёрмер, на основании своих исследований, присоединяется к мнению о космической природе ночных светящихся облаков, высказанному некоторыми учеными, в том числе Л. А. Куликом из Академии Наук СССР. Последний обратил внимание на то, что особенно интенсивные серебристые облака наблюдались в 1908 г. после падения гигантского метеорита в Центральной Сибири, и высказался за их метеорное происхождение. В настоящее время кажется наиболее правдоподобным предположение

Стёрмера о том, что серебристые облака появляются в результате встречи Земли с тучами мельчайших космических частиц, которые по размерам стоят на ряду с наиболее мелкими телескопическими метеорами. Благодаря небольшой массе пылинки движение этих облаков космической пыли заканчивается на высоте в 80 км, т. е. там, где значительно возрастает плотность атмосферы; пылевое облако «повисает» на этой высоте¹. Вопрос о природе свечения, испускаемого серебристыми облаками, неясен. Быть может, это свет Солнца, рассеянный мельчайшими пылинками, так как жемчужно-голубоватый оттенок облаков говорит о преобладании коротковолнового излучения, характерного для солнечного света, рассеянного очень мелкими пылинками. Но возможно, что сюда присоединяется излучение, имеющее источником ионизацию молекул облачных масс с последующим возвратом электронов на прежние места и испусканием коротковолнового излучения, дающего линейчатый спектр. Эта ионизация может быть вызвана ультрафиолетовым излучением Солнца, которое на больших высотах беспрепятственно достигает пылевых облаков, не задерживаемое слоем озона, расположенным ниже (фиг. 52). Это соображение подтверждается некоторыми наблюдениями, устанавливающими, что ночные светящиеся облака видимы лишь в том случае, когда солнечные лучи, освещающие их, проходят поверх слоя озона. К сожалению, до сих пор не удалось снять спектр серебристых облаков из-за слабости явления.



Фиг. 52. Свечение серебристых облаков.

Солнечные лучи освещают облака, не погружаясь в слой озона, и поэтому сохраняют ультрафиолетовое излучение.

Однако серебристые облака не являются предельным случаем распыления метеорной материи в атмосфере.

Французские геофизики Кабани, Дюфей и Гови в 1938 г. открыли, что линия натрия, постоянно присутствующая в спектре ночного и сумеречного неба на высоте 130 км, вызывается не чем иным, как молекулами, оторванными от метеоров, проникающих в атмосферу. Можно полагать, что линия кальция в атмосферном свечении того же происхождения. Эти авторы предполагают, что в спектре ночного неба можно найти аналогичные линии алюминия.

¹ По предположению И. С. Астаповича (1938), серебристые облака являются скоплениями космических пылинок, заряженных электрическим действием космических лучей; в силу этого они собираются у магнитных полюсов Земли и отсюда стратосферными ветрами разносятся на более низкие широты, уклоняясь при этом к западу вследствие вращения Земли.

Метеорные явления и строение высших слоев атмосферы

Из всего, что было сказано о метеорных явлениях в пределах земной атмосферы, можно заключить, что роль ее, как среды, в этих явлениях весьма велика. Изучая процессы, сопровождающие проникновение метеоров в воздушную среду, можно сделать заключение о строении атмосферы.

Главные моменты, по которым возможно исследование верхних слоев атмосферы на основании изучения метеорных явлений, будут последовательно изложены в настоящем разделе.

Проникновение метеоров в наиболее высокие слои атмосферы представляет собой процесс отдельных атомных столкновений. Пока метеор находится в верхних слоях атмосферы, на первый план выдвигается влияние отдельных атомных столкновений. Затем метеорное тело движется в более низких областях атмосферы как в сплошной сопротивляющейся среде. Вопросами теории этих столкновений, имеющих основное значение на больших высотах, занимались в последние годы Спарроу, Марис, Эрик, Астапович и другие, и в результате их работ была установлена основная схема процесса, приведенная нами на стр. 42—45. Из этой схемы можно извлечь выводы, касающиеся строения атмосферы. Известно, что быстрые метеоры имеют точку возгорания выше, чем медленные (стр. 29). Из трактовки метеорных явлений, как совокупности отдельных столкновений, вытекает простое объяснение этого факта. Действительно, удар при каждом столкновении развивает энергию, пропорциональную квадрату скорости движения метеора, поскольку медленно движущиеся молекулы атмосферного газа можно считать неподвижными. Так как энергия каждого удара при всех прочих равных условиях больше у быстрого метеора, то для того, чтобы вызвать достаточно сильное свечение метеора, соответствующее моменту его видимой вспышки, при большей космической скорости метеора количество ударов потребуется меньшее. Легко сообразить, что количество молекул атмосферы, а также их масса, т. е. плотность и молекулярный (химический) состав атмосферы, входят в те уравнения, которыми здесь можно математически охарактеризовать физический процесс.

Следовательно, изучение высот возгораний и скорости метеоров может дать некоторые сведения о природе наиболее верхних слоев атмосферы, примерно от 90 до 160 км. К сожалению, приходится пока ограничиваться лишь этим утверждением или сослаться на предварительные подсчеты, например, на те, которые были сделаны К. П. Станюковичем, так как фактический материал недостаточно точен, а методика исследования еще не разработана.

Распределение по высоте точек потухания метеоров было изучено в работе английских геофизиков Линдемана и Добсона (1923 г.). Это была первая тщательная работа, посвященная изучению взаимодействия метеора с атмосферной средой. Линдеман

и Добсон рассматривали взаимодействие в целом, считая, что метеор сжимает перед собою воздух так быстро, что развивающееся при этом сжатии тепло не успевает расходоваться в окрестностях, и поэтому процесс является адиабатическим, т. е. происходящим без отдачи тепла окружающей среде. Сопоставляя теоретические подсчеты с полученными высотами возгорания и потухания метеоров, по данным известного английского наблюдателя метеоров Дениннга, авторы сумели объяснить на основании своей теории особенности распределения точек потухания метеоров по высоте. Потухания чаще всего приходится на высоту 70—80 км, а затем после большого интервала вновь часто попадают ниже 40—50 км. Линдеман и Добсон пришли к заключению, что в интервале высот, который метеоры, не успевшие разрушиться на большой высоте, пролетают беспрепятственно, воздух нагрет до 30° ¹. В нагретом воздухе процесс разрушения метеорного тела замедляется, и метеор, «уцелевая» в этом интервале, кончает свое существование лишь по вступлении в более холодные и плотные слои стратосферы, расположенные ниже. Таким образом, метеоры позволили открыть существование так называемой верхней температурной инверсии, вскоре подтвержденное на основании данных о распространении звуковых лучей от искусственных взрывов на высотах 40—50 км. Данные о возгорании метеоров привели Линдемана и Добсона к мало определенным выводам. Это собственно и понятно, так как уравнения адиабатического сжатия газа более или менее соответствуют процессам метеорных явлений лишь в более низких и плотных слоях атмосферы, к которым преимущественно и относятся данные высот потухания.

Торможение метеоров, изучаемое точными методами, является следующим моментом, по которому возможно исследование верхней атмосферы. Потеря начальной скорости, определяемая по методу «ветряной мельницы» или иным образом, позволяет судить о плотности и молекулярном составе тормозящей газовой среды. Торможение, повидимому, уменьшается в области высот верхней температурной инверсии, подтверждая ее наличие, как это показали недавние исследования К. П. Станюковича и В. В. Федынского.

Относительно состава и температуры атмосфер, которые определяются косвенным образом, на основании высот возгорания и потухания и торможения метеоров, следует сказать, что при полных значениях этих неизвестных мы собственно располагаем лишь одним уравнением, указывающим, например, на плотность среды. Последняя зависит от обоих неизвестных: чем тяжелее молекулы газа и чем ниже его температура, тем больше плотность газовой среды. Таким образом, мы сталкиваемся с неопределенностью.

¹ По позднейшим вычислениям Уиппла даже 110° .

С одинаковой степенью вероятности мы можем, например, предположить наличие в области верхней пинверсии и кислородно-азотной и водородной атмосферы и получить в первом случае более высокую, а во втором более низкую температуру этой пинверсии. То же самое относится к составу и температуре атмосферы, определяемым и другими косвенными методами, например акустическим. Отсюда понятно обилие различных гипотез, предлагавшихся за последнюю четверть века для состава верхней атмосферы; в них фигурировали, помимо кислорода и азота, легкие газы — водород и гелий и даже гипотетический «геокороний», предположенный Вегенером.¹ Лишь сопоставление этих гипотез с данными других исследований (например о спектрах полярных сияний, стр. 40) несколько приблизило наши представления к истине.

Таким образом метеоры являются независимым методом изучения верхних слоев земной атмосферы (стратосферы), причем данные могут быть получены разнообразными путями.

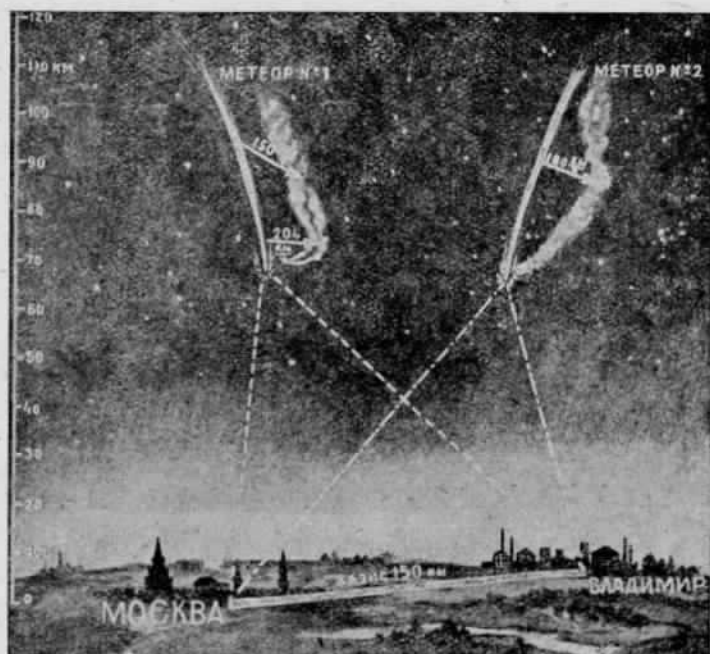
Данные о торможении метеоров могут иметь и самостоятельное значение. Независимо от какой-либо гипотезы о строении атмосферы эти данные прямо позволяют вычислить силу сопротивления воздушной среды при данной скорости. Как только удастся накопить наблюдательный материал, количество которого сейчас еще недостаточно, можно будет, во-первых, узнать сопротивление воздуха на данной высоте при некоторой определенной скорости, а во-вторых, установить закон зависимости сопротивления от скорости, пригодный, очевидно, для всех сверхзвуковых скоростей.

Ионизационные следы интересны специально для изучения ограниченного, но весьма замечательного слоя атмосферы на высоте в 80—120 км. Еще Трубридж около 30 лет назад указывал, что скорость распространения ионизационных следов связана с давлением и температурой газовой среды. На основании лабораторных опытов, известных в его время, Трубридж даже приводил эти величины на высотах появления ионизационных следов. Полученные им правдоподобные данные все же требуют исправлений на основании огромных успехов, сделанных экспериментальной физикой за истекшее время в этом направлении. Получение спектра ионизационного следа, который определенно установил бы состав светящегося газа, относится к области неразрешенных еще задач, стоящих перед исследователями метеоров.

Перемещение газовых ионизационных следов и серебристых облаков на высоте их появления изучалось Кальке, Мальцовым, Стёрмером, Оливье и другими. Они прямо указывают на наличие воздушных течений на высотах более 80 км. На фиг. 53 можно ви-

¹ Основанием к гипотезе Вегенера послужило открытие в зеленой части спектра сияний и ночного неба линии, которая впоследствии оказалась принадлежащей кислороду.

деть обычное при этом смещение ионизационного следа, наблюдаемого продолжительное время. Среди этих течений преобладают стратосферные ветры восточного направления, что объяснялось отставанием высших слоев атмосферы от твердого тела Земли при суточном вращении последней вокруг оси. Однако встречаются ветры всех направлений — это указывает на горизонтальные течения в атмосфере на этих высотах вообще; имеются наблю-



Фиг. 53. Схематическое изображение скорости и направления воздушных течений в стратосфере над Московской областью в ночь с 11 на 12 августа 1937 г. по наблюдениям двух ионизационных следов ярких метеоров. По И. С. Астаповичу и В. В. Федынскому.

дения, указывающие, по Оливье, даже на наличие значительных вертикальных перемещений в этих слоях. Гофмейстер нашел, что пролетевший над Средней Европой громадный болид 23 июля 1936 г. настолько нагрел воздух при полете, что он с минуту светился красноватым светом и как более легкий поднимался вверх. Когда свечение погасло, остался обычный газовый метеорный след, наблюдавшийся очень долго («стойкий»).

Перемещение пылевых слоев, относящихся к меньшим высотам, чем ионизационные следы и ночные светящиеся облака, дают аналогичный материал. Следует отметить, что пока только лишь

метеорные явления дают возможность изучать воздушные течения («стратосферные ветры») в верхней атмосфере, недоступной ни шарам-пилотам, ни другим методам.

Атмосфера Земли под влиянием притяжения Солнца и Луны, подобно океану, знает свои приливы и отливы. Эти приливы и отливы отмечаются магнитными приборами, вследствие наличия намагнированных, т. е. токопроводящих, слоев в верхней атмосфере, колебания высоты которых в магнитном поле Земли создают механизм электромагнитного взаимодействия. Солнечные лучи пропускают отдельные вздутия атмосферы, известные по очень высоким полярным сияниям, в лучах которых отталкивательные силы Солнца гонят частицы газа против силы земного притяжения. Наконец, общий тепловой режим, создаваемый сменой времен года, заставляет летом всю атмосферу как бы расширяться, а зимой сжиматься на данном полушарии Земли. Все эти изменения должны находить свое отражение на метеорных явлениях — на высотах загораний и потуханий метеоров, высотах ионизационных следов, величинах торможения и т. д.

И действительно, работы Аризонской метеорной экспедиции (США, 1931—1933) показали суточную и годичную вариацию метеорных высот, с амплитудой 3—4 км.

До сих пор неизвестны результаты работы метеорной группы в последней большой американской антарктической экспедиции Берда (1933—1934 гг.), которая была первой попыткой изучения метеоров на разных широтах (в полярных и умеренных странах) и круглосуточного их фотографирования в условиях полярной ночи. Нет, однако, сомнений в том, что подобные попытки должны привести к результатам большого научного значения.

Из приведенного краткого обзора можно сделать вывод, что изучение метеорных явлений с определенной точки зрения является средством исследования верхних слоев земной атмосферы.

2. МЕТЕОРИТЫ

Что такое метеориты?

Метеоритами мы называем твердые тела, выпавшие на Землю из космического пространства. Метеориты в основном бывают железными и каменными. Падение метеоритов принадлежит к числу самых замечательных явлений природы; благодаря метеоритам мы в состоянии непосредственно изучать вещество космоса и вывести ряд очень важных заключений для исследования Вселенной и истории ее развития (эволюции).

Падение метеоритов

В первой части уже упоминалось, что падающее в земную атмосферу метеорное тело в том случае, если оно достаточно велико, может не распылиться целиком: его стремительное движение

вследствие сопротивления воздуха уменьшается и доходит до нескольких сот метров в секунду. Уменьшив скорость до 3—4 км в 1 сек., такое тело перестает светиться и разрушаться, а его дальнейшее движение уже напоминает движение артиллерийских снарядов. Для метеоритов среднего размера (несколько килограмм) потеря космической скорости, как указывалось, происходит на высоте в среднем около 22 км; дальнейшее движение определяется в основном уже силой притяжения Земли и переходит в падение. Благодаря тому, что плотность воздуха возрастает по мере приближения к поверхности Земли, скорость падения метеорита продолжает понемногу уменьшаться; если бы не существовало сопротивления воздуха, то, наоборот, скорость падения возрастала бы. В действительности же перед падающим метеоритом образуется воздушное уплотнение («шапка» сжатого газа), которое препятствует увеличению скорости. Из наблюдений над падением авиабомб было найдено, что величина скорости падения зависит от формы и от массы падающего тела; например, авиабомбы весом в 8 и 160 кг, брошенные с достаточной высоты, достигают поверхности Земли со скоростью в 150 и 270 м в 1 сек., пуля весом в 10 г получает скорость в 40 м в 1 сек., а дробинки — всего несколько метров в секунду — с такой же скоростью падают, например, обычные градины. Эта скорость устанавливается очень быстро, уже через 6—10 сек. после начала падения, и поэтому безразлично, где оно начинается; конечная скорость падения на поверхность земли будет одна и та же, брошено ли тело с высоты в 2, в 20 или в 200 км. Так как обычные метеориты имеют форму неправильную, то при той же массе, что и авиабомбы, они должны иметь скорость падения еще меньшую, так как авиабомбам приходится специальная, «хорошо обтекаемая», форма. По глубине ямы, которую образует метеорит при своем падении на Землю, можно вычислить силу удара его о почву и отсюда определить скорость его падения; это и было сделано для нескольких метеоритов, и оказалось, что эта скорость составляла несколько десятков метров в секунду и ни одна не превосходила 200 м в 1 сек.

Для больших метеоритов соответствующая конечная скорость падений будет больше; вообще приблизительно ее можно представить следующей табличкой (табл. 2):

Таблица 2

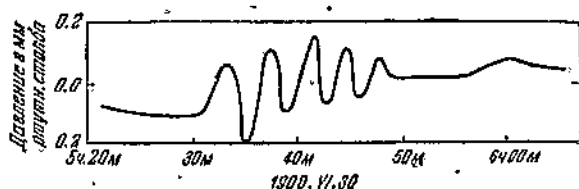
Скорость падения метеоритов

Масса / 0.1 г	1 г	10 г	100 г	1 кг	10 кг	100 кг	1 т	10 т	
Скорость									
в м в сек .	25	86	52	76	110	160	230	330	480

Отсюда видно, что даже метеориты весом в десятки тонн удерживаются воздухом настолько, что их космическая скорость теряется в атмосфере. Этот факт подтвержден наблюдениями. Американский астроном Мультон сделал специальные расчеты

и нашел, что только метеориты выше сотни тонн весом могут достигнуть поверхности Земли с космической скоростью. Что же тогда произойдет? Ведь уже при скорости в 1250 м в 1 сек. обычная свинцовая пуля, как было видно на опытах, произведенных в США, обладает таким количеством энергии движения, что при внезапной остановке (например удар о стальную броню) эта энергия переходит, согласно законам физики, в теплоту, достаточную для того, чтобы пуля частично испарилась. Расчеты показывают, что при скорости в 4 км в 1 сек. такая пуля целиком обратилась бы в пар, т. е. произошел бы как бы ее взрыв, энергия которого равна взрыву равной массы нитроглицерина. При больших скоростях, разумеется, энергия будет еще больше; с увеличением скорости в 2, 3, 4 раза и т. д.; энергия возрастет в $2^2 = 4$, $3^2 = 9$, $4^2 = 16$ раз и т. д.

Что произошло бы, если бы метеорит массой в несколько сот или тысяч тонн встретился с Землей? Он прошел бы через ее



Фиг. 54. Запись воздушных волн, образовавшихся вследствие взрыва при падении Сибирского метеорита 30/VI 1908 г.

По записи микробарографа Слуцкой обсерватории (около Ленинграда).

атмосферу, потеряв лишь часть своей скорости, составляющей обычно 50—60 км в 1 сек., и затем врезался бы в почву. Так как при этом он почти сразу должен был бы затормозиться, то энергия его движения перешла бы в энергию движения его молекул и атомов—метеорит и, вероятно, часть земных пород обратилась бы в газообразное состояние. Мы знаем, что взрывчатые вещества в этих случаях образуют воронкообразные углубления; диаметр такой воронки при взрыве например 5 тонн вещества составляет 20 м. Значит, метеорит, падающий на земную поверхность с космической скоростью, должен произвести взрыв (фиг. 54) и образовать воронкообразные углубления. При этом почти вся его основная масса, вероятно, обратилась бы в газообразное состояние.

Имело ли место когда-нибудь падение на Землю с космической скоростью таких больших метеоритов, что они влекли бы за собой образование таких воронок? Исследования последних лет позволяют ответить на этот вопрос утвердительно. Эти воронки получили название метеоритных кратеров.

Метеоритные кратеры

Первый кратер,¹ у которого было заподозрено метеорное происхождение еще в 1891 г., находится в Северной Америке, в штате Аризона, в местности Коконино, около Каньона Дьявола (фиг. 55 и 56). Он имеет диаметр около 1200 м и глубину около 175 м; в его окрестностях было найдено более 20 т обломков железных метеоритов; обломки скал весом до 4000 т разбросаны вокруг на расстоянии до 10 км; часть земных пород раздроблена в мельчайший



Фиг. 55. Аризонский метеоритный кратер (поперечник — 1170 м).

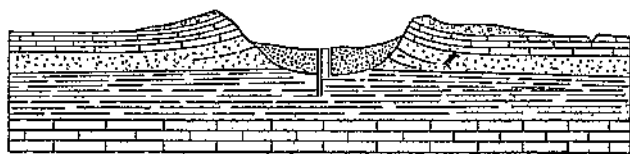
Темные точки на бортах кратера — деревья; светлая полоса справа — шоссе (фотография с самолета.)

порошок («горная мука»), другая часть подверглась действию очень высокой температуры, так как частично расплавилась. У местных индейцев племени Навахо сохранилась легенда, что в далекие времена один из богов сошел с неба на их землю в огненной колеснице. На краю этого кратера успела вырасти сосна, возраст которой определяется в 700 лет; значит падение было еще раньше, но не более чем 6000 лет назад, как показывает возраст геологических наносов на дне кратера. Несколько раз пробовали производить бурение этого кратера, полагая, что метеорит, образовав-

¹ Кратером называется воронкообразное углубление в почве.

ший этот кратер, ушел глубоко в землю. На глубине в 188 м оказалась неповрежденная взрывом порода; но до конца кратер исследован не был. В 1927 г. делались новые попытки исследовать его, но бур сломался, а подземные воды заставили прекратить работы по проведению шахты, уже стоившие 293 000 долларов.

В 1931 г. в Центральной Австралии, в местности Хэнбери, исследователь Альдерман нашел на площади в $1\frac{1}{4}$ кв. км замечательную группу из тринадцати метеоритных кратеров. Здесь он собрал более 800 отдельных кусков железных метеоритов. Глубина кратеров от 4 до 8 м, ширина — от 3 до 24 м. Внутренние склоны кратеров состоят из распыленной горной породы, раздробленных кусков песчаника, кварцита и сланца. Последующие исследователи нашли еще несколько сот обломков метеоритов; эти обломки чрезвычайно интересно переломаны и искривлены, как бы разорваны. Исследование их строения под микроскопом показало, что они были нагреты выше 850° и даже размягчены, подобно железу в кузнечном горне. Вокруг самых больших крате-



Фиг. 56. Географическое строение Аризонского кратера.

ров был найден оплавленный песок в виде остеклованных масс и даже застывшие стеклянные нити и капли, выброшенные на расстоянии до $1\frac{1}{2}$ км.

В 1932 г. была найдена еще одна замечательная группа метеоритных кратеров в местности Руб-аль-Хали, в песчаной пустыне Вабар в Аравии. Нашел ее исследователь Пильби, который разыскивал легендарный город Вабар, по преданию уничтоженный «небесным огнем». «Стены» города оказались бортами метеоритных кратеров. Кругом были найдены метеориты, наибольший из которых весил 11 кг. Кроме этих найденных кратеров, имеются вероятно и другие, но они засыпаны песком. Вокруг кратеров, имеющих диаметры от 40 до 100 м, местность засыпана застывшими стекловидными массами, словно брызгами или каплями, которые местами окрашены примесью железа и никеля, входящих в состав метеоритов. Здесь группа гигантских метеоритов с большой скоростью врезалась в чистый песок пустыни.

Еще одну группу составляют аргентинские кратеры. Метеориты весом в десятки тонн были известны в этой местности, носящей название Кампо-дель-Чьело («Звездное поле»); еще в 1576 г. здесь была найдена группа круглых впадин, простирающихся на 160 км по провинции Санта-Фе; наибольшая из впадин имеет поперечник в 65—78 м. В 1926 г. геолог Нагера нашел в одной из

них оплавленные стеклянные куски и окисленное (заржавевшее) метеорное железо.

В 1927 г. в Техасе, в районе Эктор Каунти, в 14 км от тexasской Одессы был найден еще один кратер, диаметром 162 м. Здесь куски метеоритов перемешаны с обломками известняка и песчаника.

Кроме этих кратеров, заподозрено метеоритное происхождение еще нескольких других, например, огромной впадины Ашанти, в районе Босумтви, на Золотом Берегу в Западной Африке; ее диаметр составляет 10,4 км. Еще больше кратер Нгоро-Нгоро в Центральной Африке (19 км), но его метеоритное происхождение тоже не доказано. Некоторые последователи приписывают падению метеоритов кратеры на острове Эзель (Эстония), известные уже свыше ста лет, числом шесть, наибольший из которых заполнен водой и имеет вид озера диаметром в 90—110 м. Здесь земля возделывается с незапамятных времен, и сейчас метеоритов вокруг кратеров не имеется. В эзельском метеоритном кратере летом 1937 г. горный инженер Рейнвальд произвел раскопки; 6 человек разрывали борта кратера 15 дней. Было найдено 100 г никельсодержащего железа метеоритного происхождения.

Американские геологи Бун и Альбриттон высказали предположение (1936 г.), что так называемые кристувулканические образования на земле в ряде случаев могут быть метеоритными кратерами. Кранц (1937 г.) предполагает то же самое в отношении впадины Штейнхеймер и Нердлингер-Рис (в Германии).

Метеоритные кратеры были образованы в различные время метеоритами самых разнообразных размеров и выпадавшими с различными скоростями. Температуры и давления при этом достигали, вероятно, чудовищных размеров, превосходивших все то, что было достигнуто при земных взрывах. Набольшие взрывы были искусственно произведены в 1935—1936 гг. в СССР для нужд горных работ; при этом взрывалось за раз до 1800 т аммонита и других веществ; образовывавшиеся воронки имели в ширину до 100 м и в длину больше 1 км. Массы метеоритов, образовавших арабийские и австралийские кратеры, должны определяться также тысячами тонн; арizonский кратер был образован гораздо большим метеоритом, может быть, в сотни тысяч или более тонн. Судя по окислению железа и другим косвенным признакам, возраст этих всех кратеров порядка нескольких тысяч лет. В наше время имело место только одно подобное падение — 30 июня 1908 г.

Сибирский метеорит 30 июня 1908 г.

В этот день, при ясной и тихой погоде, стоявшей на большом протяжении Центральной Сибири, около 7 час. утра по местному времени где-то над Минусинским краем коснулся земной атмосферы огромный метеорит, один из тех, которые падают на землю раз в несколько столетий. Он стремительно несся на северо-северо-восток, все более и более приближаясь к поверхности Земли.

Когда он перелетал линию Великого Сибирского железнодорожного пути, его наблюдали пассажиры из окон вагона; он казался совсем бывающим — настолько велика была его яркость, несмотря на свет Солнца. Метеорит был бело-голубого цвета и оставлял за собой светлую полосу следа, шириной около 3 км. Он летел под малым углом к горизонту со скоростью в несколько десятков километров в секунду и, пролетев путь в атмосфере не менее 500 км, благодаря большой массе сохранил свою космическую скорость и врезался в почву района рек Хушмы, правого притока Средней (или Подкаменной) Тунгуски, впадающей в Енисей. Эта местность представляет собой гористую территорию, местами заболоченную, поросшую таежным лесом. Ближайший населенный пункт был по прямой линии в 60 км (посёлок Вановара на Тунгуске); несколько тунгусских стойбищ находилось вдвое ближе. Что же произошло при падении этого метеорита?

Через несколько кратких мгновений после того, как метеорит ударился о почву, значительная доля его вещества и вещества почвы обратилась в газообразное состояние; силой взрыва эти продукты взрыва были выброшены фонтаном вертикально вверх и были видны даже на расстоянии в 450 км в г. Киренске на Лене. Отсюда можно рассчитать, что высота этой огненной струи должна была быть более 20 км, если учесть кривизну Земли. Область на поверхности Земли, охваченная взрывом, имела диаметр в 20—30 км; здесь все деревья подверглись действию такой высокой температуры, что за короткое мгновение на них исчезли все ветки и остались одни стволы, обожженные на глубину до 1—2 см. Как всегда бывает при всяком взрыве, в воздухе возникла так называемая «ударная» волна, которая распространилась от точки взрыва во все стороны со скоростью, в несколько раз превышающей скорость звука. Здесь действие этой волны было так велико, что ее напором были повалены деревья на расстоянии в несколько десятков километров во все стороны; даже на большом расстоянии уцелели только те деревья, которые были защищены горами. Туземные шалаши («чуумы») были сорваны, эвенки (тунгусы) Иван Потапович, Акулина Мачакутырь, Василий Охтен, далее Чекарен, Чучанча и Налета с семействами сильно пострадали от ударов. Даже в Вановаре, за 60 км, взрывная волна произвела равные разрушения. Здесь казалось, что полнеба на миг было охвачено огнем; несмотря на яркое Солнце, эта вспышка взрыва была видна в ряде селений на Тунгуске (Кежма, Чадобец, Тетера) и даже на Лене, на золотых приисках, за сотни километров. Обычно взрывные волны постепенно переходят в звуковые; то же имело место и здесь, причем сила звука была так велика, что его слышали за 700 км от места падения; в более близких местах дрожали стекла и различные предметы в домах. Эта звуковая волна была отмечена всеми самописными приборами — барографами на метеорологических станциях Сибири, и уже много лет спустя ее нашли на барограммах Ленинграда, Слуцка, Загреба (Югославия), Копенгагена (Дания),

Потсдама и Берлина (Германия), Вашингтона (США) и других городов; оказалось, что воздушная волна один раз обошла кругом весь земной шар, при своем прохождении отмечена в Батавии и вторично через 30 часов — в Потсдаме. Подобное явление было только в 1883 г. при взрыве Кракатоа — большого вулкана на Зондских островах.

Кроме воздушных волн, взрыв от падения этого метеорита вызвал еще волны в земной коре, так называемые сейсмические; они были зарегистрированы приборами для записи землетрясений (сейсмографами), находившимися в Иркутске, Ташкенте, Тбилиси (Тифлисе) и даже в Иене, в Германии. Скорость распространения и воздушных, и сейсмических волн известна (первых — 319, вторых — 3000 м в 1 сек.), и поэтому можно было на основании записей приборов определить точно момент падения; по Гриничскому времени это было в 0 час. 16 мин. 30 июня 1908 г. Если бы это падение произошло на несколько лет раньше, до изобретения точных барографов и сейсмографов, то множество интересных деталей этого падения, обнаруженных в самые последние годы в СССР и за рубежом, оказались бы утраченными для науки. Если бы метеорит упал всего на 4 часа 48 мин. раньше, то в очаге его взрыва пришлось бы тогдашний Петербург, и неизвестно, что бы от него осталось.

Л. А. Кулик из Метеоритного отдела Института геологических наук Академии Наук СССР положил в 1927—1930 гг. много труда на исследование места падения метеорита. На месте падения было найдено множество интересных вещей. Оказалось, например, что торф, занимавший большую площадь, давлением воздуха был собран в гигантские складки высотой в несколько метров; подпочвенные водоносные слои вскрыты; большие куски торфяных масс были перенесены с места на место; в одном месте в торфах, на глубине в 1 м, была найдена шишка с несозревшими зернами возраста конца июня, попавшая туда при катастрофе. Недалеко от места падения был найден старый тунгусский горн и лабаз (склад), совсем разрушенные. В глинах были найдены мельчайшие остроугольные обломки измельченных взрывом горных пород. К сожалению, с момента падения прошло так много времени, что место падения сильно заболотилось, вырос новый лесок, и сейчас очень трудно восстановить первоначальную картину падения или найти хотя бы следы метеорита. Однако важность дальнейших исследований этого падения дважды подчеркивалась на международных астрономических конгрессах, и перед советской наукой стоит задача довести разрешение проблемы Сибирского метеорита до конца.

В 1937—1938 гг. Академия Наук, при поддержке Главного Управления Северного морского пути в лице академика О. Ю. Шмидта, удачно провела новую экспедицию на место падения Тунгусского метеорита под руководством Л. А. Кулика. Аэрофотосъемка места падения была полностью закончена. При расшифровке ее обнаружилось два центра взрывов.

Число и величина метеоритов

Падения гигантских метеоритов, подобных вышеописанным, очень редки. Обычно падают метеориты весом в несколько килограмм; несомненно, происходит падение и более мелких метеоритов, но их труднее найти. Истинное число метеоритов, выпадающих на земную поверхность в течение года, должно исчисляться десятками тысяч; но так как три четверти Земли покрыто водой морей и океанов, а значительная часть суши занята малонаселенными местностями, то только падения метеоритов в более обжитых и культурных районах делаются достоянием науки. До настоящего времени (1938 г.) известно около 1210 различных метеоритов, из них более половины наблюдалось при падении, а остальные были найдены на земле уже спустя несколько времени после их падения; через сколько именно — точно установить, конечно, нельзя. Ежегодно поступают сведения о 4—5 новых метеоритах; десятки тысяч остальных погибают для науки.

Наибольшими метеоритами, упавшими на Землю, являлись те, которые образовали метеоритные кратеры, в первую очередь Аризонский метеорит. За историческое время, если не считать Сибирского метеорита, не известно ни одного падения метеорита с массой более тонны; все большие метеориты, известные в настоящее время, принадлежат к находкам. По своему составу метеоритные находки разделяются на железные, каменные и железо-каменные; последний класс является переходным. Находки в основном относятся к железным метеоритам, во-первых, потому, что их легче найти и отличить от земных пород, чем каменные; во-вторых, потому, что они лучше сохраняются и не так быстро разрушаются (выветриваются), а в-третьих, потому, что их размеры больше: при движении в атмосфере давление воздуха так велико, что часто разрушает метеорит; железные метеориты более крепки, а каменные разрушаются в куек, и потому среди них нет ни одного целого метеорита хотя бы в тонну весом. Надо отметить, что вообще разрушительное (взрывное) действие энергии, освобождающейся при ударе о Землю, способствует весьма энергичному распылению метеоритной массы. А так как очень массивные метеоритные тела проходят атмосферу, не потеряв начальной космической скорости, то большие метеориты должны быть большой редкостью.

Таблица 3 дает список наиболее известных железных метеоритов мира. Названия метеоритам даются по месту их падения.

Кроме того, известно около десятка других метеоритов с массой более тонны. Из них метеорит Казас-Грандес (2 т) был найден завернутым в полотно, как священный предмет, среди развалин древнего города коренных обитателей Америки в штате Чигуагуа. Известны еще другие случаи нахождения метеоритов при археологических раскопках среди оберегавшихся предметов домашней утвари.

Наибольшие известные метеориты, упавшие на Землю

№ п/п	Где найден метеорит	Вес в тоннах	Год от- крытия	Где находится в дан- ное время
1	Гоба, Ю.-З. Африка . .	60	1920	На месте падения
2	Кэп-Йорк, Гренландия .	33.1	1815	В Нью-Йорке
3	Бакубито, Мексика . .	24.5	1863	На месте падения
4	Вилламетт, Орегон . . .	14.2	1902	В Нью-Йорке
5	Чупадерос (I), Мексика .	14.1	1581	В г. Мексико
6	Мбози, Танганьика . . .	12	1930	На месте падения
7	Эль-Морито, Мексика . .	10.1	1600	В г. Мексико
8	Чупадерос (II) *	6.77	1581	«
9	Бендего, Бразилия . . .	5.36	1784	В Рио-де-Жанейро
10	Кранбурн, Австралия . .	3.50	1854	В Лондоне
11	Кэп-Йорк, Гренландия .	3.40	1913	В Копенгагене

Из каменных метеоритов наибольшим является метеорит Парагульд; он выпал в штате Арканзас (США) 17 февраля 1930 г. и весит 338 кг; другой метеорит, Лонг Айленд, тоже из Америки, весит 564 кг, но он разбился при падении.



Фиг. 52. Метеорит Хмелевка, выпавший 1/III 1929 г. в Тарском округе (Зап. Сибирь), на столе у нашедшего его в 1936 г. проф. П. И. Драверт.

В Союзе ССР находится 90 различных метеоритов. Они собраны в Институте геологических наук Академии Наук. Наибольший из них носит название «Палласово железо» по имени академика П. С. Палласа, догадавшегося в 1772 г. об его косми-

ческой природе и перевезшего его из-под Красноярска в Академию Наук. Этот метеорит был найден кузнецом казаком Медведевым «на самом верху горы, сосною и пихтою обросшей», еще в 1743 г., а местные татары «почитали оной за спавшую с неба святость» по описанию самого Палласа. Его первоначальный вес был 700 кг, теперешний — 514 кг, так как части его были посланы в различные заграничные музеи. В 1937 г. вблизи Минска был найден в земле метеорит типа палласита, массой в 188 кг. Это второй по величине метеорит в СССР после Сибирского Палласова железца. Наибольший каменный метеорит в СССР, упавший в сентябре 1918 г., находится в Саратове; его общая масса 221 кг, главный осколок весит 130 кг. При падении его осколки рассеялись на протяжении 120 км.

Имеются указания, что во французской колонии в Африке, в пустыне Адрар, лежит в земле громадный метеорит в несколько метров ширины, до 40 м высоты и около 100 м длины; осколок, поднятый около него, был последован в 1924 г. и оказался метеоритом; главную же массу потом не смогли больше отыскать. Далее, в верховьях Желтой реки в Китае будто бы также имеется метеорит, высотой до 15 м; монголы называют его «Северная скала» и считают даром богов.

Самый маленький из метеоритов весит 0.06 г.; он выпал среди множества других 1 января 1869 г. в Швеции, близ Гессле, на лед. Еще мельче те пылинки, которые иногда осаждаются после полета больших метеоров; например, в 1920 г. в Минусинском крае после полета болида снег был как бы покрыт сажей на много квадратных километров. При падении другого метеорита 26 декабря 1933 г. в Ивановской области эту пыль удалось собрать и исследовать; она оказалась того же состава, что и выпавший метеорит, получивший имя «Первомайский» по названию того колхоза, на землю которого он упал.

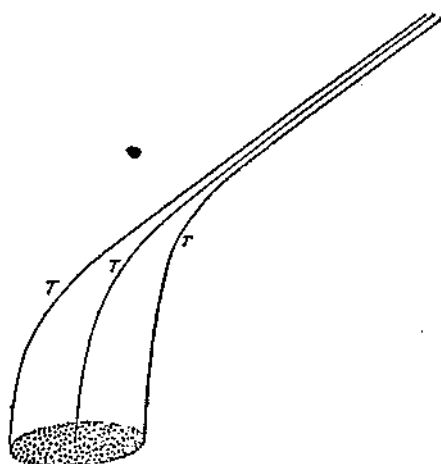
Метеоритные группы и дожди

Выше указывалось, что вследствие сопротивления воздуха метеориты раскаляются при полете в атмосфере. Это дробление иногда можно наблюдать простым глазом при полете метеоров; получается двойной, тройной или сложный метеор; некоторые из них даже сфотографированы. Кроме того, в пределы земной атмосферы сами метеоритные тела могут проникать роem. Поэтому не приходится удивляться, что часто на Землю выпадает не один метеорит, а несколько одновременно; иногда их число составляет сотни и тысячи. В таком случае мы имеем «метеоритный дождь». При проникновении роя метеоритов в атмосферу более мелкие из них раньше теряют свою космическую скорость от сопротивления воздуха, чем более крупные, и потому при падении на землю оказывается, что самые крупные метеориты лежат впереди, а более мелкие — позади. Общая площадь падения имеет значи-

тическую форму и называется «эллипсом рассеяния» (фиг. 58).

Упоминания о метеоритных дождях встречаются в самой глубокой древности: в Библии, в китайских летописях; затем в средневековых хрониках и анналах и т. д. Мы приводим сведения о некоторых метеоритных дождях нашего времени в таблице 4.

Из ныне найденных осколков, выпавших во время метеоритных дождей далекого прошлого, над которыми велись наблюдения, следует отметить группу из нескольких десятков железокремневых метеоритов («палластов») в районе селений Брагин-Круки-Кудовка на р. Припяти; потом мексиканские метеориты Коагуила около города Санта-Роза, рассеявшиеся на протяжении 150—300 км. Об аргентинской группе мы уже упоминали в разделе о кратерах. Замечательный дождь из 51 метеорита, общим весом более 15 т, был найден в юго-западной Африке близ Бефани, в Грет-Намакваленде; другая группа крупных метеоритов (наибольший — 3½ т) находится у Кранбурна, в Виктории (Австралия). Громадные мексиканские метеориты составляют также одну группу, которая, возможно, выпала более миллиона лет назад (в третичном периоде геологической истории Земли). В 1164 г. выпало несколько метеоритов, составляющих ныне саксоно-богемскую группу.



Фиг. 58. Образование эллипса рассеяния при выпадении роя метеоритов.

(TT — траектории полета отдельных кусков.)

Метеоритные дожди

Таблица 4

№ п/п	Место падения	Дата	Число кусков
1	Пултуск, Польша	30/I 1868	100 000
2	Хольбрук, Аризона (США)	19/VII 1912	14 000
3	Моч, Трансильвания (Румыния)	3/II 1882	3 000
4	Эгль, Франция	26/IV 1803	3 000
5	Княгиня, Чехословакия	9/VI 1866	1 000
6	Гессле, Швеция	1/I 1869	500
7	Саратов, СССР	6/IX 1918	200
8	Хомстад, Айова (США)	12/II 1875	100
9	Первомайский, СССР	26/XII 1933	100

Особые случаи падения и находок метеоритов

Метеорит Гоба, наибольший из всех известных в настоящее время, имеет размеры $2.5 \times 2.5 \times 2$ м, так что на нем могут поместиться 10—12 человек; он ушел слегка в землю своей нижней частью, так как космическую скорость потерял еще в атмосфере. С большим трудом после двух дней работы в 1930 г. от него удалось отделить ножовками кусок в $2\frac{1}{2}$ кг для анализа. Он содержит 84% железа и 16% никеля. Вторым после него является метеорит Кэп-Йорк (фиг. 59).

Эльбогенский метеорит, тоже состоящий из железа, долгое время висел в здании городского управления в богемском городе

Эльбогене. Среди населения он получил название «проклятый бурграф» (т. е. градоуправитель), так как, звоня в него, созывали крепостных на работу.

Метеориты Стаунтон из штата Вирджиния (США) были найдены в виде пяти отдельных глыб; один из них, до того как было выяснено его метеоритное происхождение, сначала попал в кладку каменной ограды, затем употреблялся как накопальня, потом был использован при постройке стены.



Фиг. 59. Перевозка железного метеорита «Кэп-Йорк» (Гренландия) по улицам г. Нью-Йорка.

Этот метеорит весит 33.1 т и после южноафриканского Гоба (вес 60 т) является наибольшим в мире.

Падения метеоритов были отмечены в глубокой древности, за 2500—3000 лет до нас. Например, в одной китайской летописи сохранилось упоминание о том, что в 644 г. до нашей эры в провинции Сонг выпало 5 камней. В 462 г. до нашей эры в Малой Азии, у реки Эгос, упал метеорит «черного цвета и величиной с повозку». Несколько столетий спустя его видел знаменитый естествоиспытатель Плиний. Тот же Плиний сообщил о падении в 79 г. нашей эры ноздреватого железного метеорита вблизи Неаполя, в теперешней Италии. В 649 г. там же, в Италии, было записано выпадение метеоритов в виде «каменного дождя».

В 897 г. выпали метеориты около селения Куфы, принадлежавшего владениям арабского халифата; они были пересланы в тогдашний научный центр — Багдад. Около 1009 г. в персидской провинции Хорасан упал железный метеорит; местный сул-

тан хотел сделать себе саблю из него, но этот метеорит не поддавался ковке: метеоритное железо куеться только в холодном состоянии, а в нагретом оно хрупко.

В 1290 г. 25 июня (дата была установлена Д. О. Святским по надписи на одной из старинных икон б. Успенского монастыря в Москве) близ Великого Устюга, в Северо-Двинском крае, среди ясного дня появилось темное облако, сопровождаемое громовыми ударами. По старинному описанию, «грому убо многу и страшну бывшу зело над градом Устюгом, яко же не слышатъ, что друг со другом глаголатъ; яко небо и земля от того страшного труса непрестанно колебатица и трясотися». В соседнем лесу выпало такое множество метеоритов, что «многим и бесчеловечным каменнем поломиле лес и дебри озы древеся по корени избивша, а иные вполы положивша».

Второе падение метеоритов в России описано 19 мая 1424 г. в Никоновской летописи, под годом 6929 по тогдашнему церковному летоисчислению «от сотворения мира». В летописи сказано: «В Великом Новгороде в полунощи бысть трус велик в воздухе, ввиде туча с полудни темна, страшна зело, с громом страшным... и бысть дождь мног и град велик, и камене являшеся пво облака: спадшее на землю... и едва люди в себе приидоша от страха оного».

В 1492 г. 7 ноября около г. Энзсгейма (в районе Верхнего Рейна, в теперешней Германии) выпал метеорит, который сохранился до нашего времени. По поводу его падения средневековый поэт Севастьян Брант написал даже стихотворение. Сам же метеорит приковали на цепи к стене местной церкви, чтобы он не улетел обратно в небо. На нем была сделана замечательная латинская надпись: «Об этом камне многие знают много, каждый что-нибудь, но никто не знает достаточно».

В китайских источниках описывается, что в 241 г. до нашей эры, в последний год правления тирана Чжи Коанг-ти (того самого, по приказу которого были сожжены все книги в его владениях) на землю упала звезда, превратившаяся в камень. Камень, вероятно, имел пестрые составные части, похожие на пероглифы, и местное население распространило слух, будто бы это была надпись, возвещающая смерть Чжи Коанг-ти и распадение его царства. Узнав об этом, тиран велел камень раздробить и умертвил всех жителей этой местности.

17 апреля 1621 г. в Индии, близ Лагоры, упал железный метеорит весом около $1\frac{1}{4}$ кг. Правитель Индии, великий могол Иган Гир сделал из него две сабли, нож и пилу, о чем поместил собственное описание в трудах Лондонского научного общества.

29 ноября 1662 г. произошло еще одно падение метеорита в России; по описанию, сначала «звезда велика, долга скоро выпала», потом «земля тряслась и хоромы тряслись и многие люди от ужаста на землю падаш. А скотина всякая в кучу металась и главы на небо поднимш и брычат, коя как умеет. И потом каме-

ние падало с великою яростию великое и малое». Эти камни были посланы в Кириллов-Белозерский монастырь и замурованы в паперти. Ныне их найти не удалось.

В 1775 или 1776 г. в Воляни, близ Овруча, выпало несколько метеоритов; один из них тоже был прирешен в церкви и пропал, когда она обрушилась. Вообще из метеоритов, упавших до 1800 г., в настоящее время сохранилось только девятнадцать.

Метеорит Моч в Румынии выпал 3 февраля 1882 г. в виде дождя из 3000 кусков. При полете он казался ослепительно белым и оставлял за собой след. Полет индийского метеорита Хайрпур в 1877 г. наблюдался в виде роя метеоров. Метеориты Гессле в Швеции упали 1 января 1869 г. на тонкий лед около одного рыбака, некоторые из них при этом сами разбились, а лед остался цел. Метеорит Уорентон 3 января 1877 г. ударился о дерево и сам разбился. Метеорит Хомстед, упавший 12 февраля 1875 г. в штате Айова (США), при полете казался почти таким же ярким, как Солнце; от мощных сотрясений воздуха здания колебались, трещали, мебель в них сдвигалась. При падении Кашинского метеорита (СССР) 27 февраля 1918 г. воздушной волной на расстоянии 15 км от места падения были повреждены крыши и трубы строений и ветви деревьев. Вообще же несчастные случаи при падении метеоритов редки. В священной книге магометан — Коране и в книге Иисуса Навина упоминаются случаи убийства людей «небесными камнями». Естествоиспытатель Плиний, живший в I веке нашей эры, приводит несколько таких случаев; древний город Кассандрия в Малой Азии после падения одного метеорита стал называться Пессина, что по-гречески значит «сгоревшая». В европейских хрониках сообщается, что метеориты, выпавшие в 1304 и в 1379 гг., «причинили много вреда»; у китайцев есть даже упоминание о разрушении 10 деревень в 610 г. По другому сообщению в августе 1020 г. каменный дождь в Африке убил много людей. Около 1650 г. в Южном Океане на корабль упал круглый метеорит, весом более 3 кг, которым были, судя по рассказам, убиты 2 человека. Другое падение метеорита на корабль, находившийся около Оркадских островов, произошло в 1675 г. Около 1660 г. один метеорит будто бы убил францисканского монаха монастыря Санта Мариа делла Паче, близ Милана, в Италии; этот камень, очень маленький, сначала сохраняли в разных коллекциях, а потом потеряли.

Многие из этих сведений преувеличены и все они мало достоверны. Достоверно установлено только то, что в 1836 г. в Бразилии при падении метеоритов Макао были побиты овцы, а в 1914 г. египетский метеорит Нахла убил собаку. По некоторым сведениям при падении елбурского метеорита в 1908 г. погибло много оленей.

Не раз метеориты падали на жилища. В XIII веке один из метеоритов упал на башню монастыря в г. Вюрцбурге в Баварии и разрушил ее. Другой метеорит в 1562 г. упал на ветряную мельницу в Германии; третий влетел в окно одного дома в г. Дортрехте,

в южной Голландии и, проломив пол, вошел в землю. Один метеорит, по сообщению проф. П. Л. Драверт, в 1684 г. пробил купол церкви в Тобольске (Западная Сибирь) и упал на паперть, где произвел опустошение; этот случай долго замалчивался представителями церкви. С тех пор имели место еще 22 подобных случая. В одном из них метеорит Браунау (Богемия), весом в 17 кг, 14 июля 1847 г. пробил крышу дома и упал рядом с кроватью, где спали трое ребят, не причинив им вреда. При падении алтайского метеорита «Телеутское Озеро» в 1904 г. один камень влетел в открытую дверь барака лесорубов. Метеорит Нэтли в Англии в 1921 г. упал в курятник. Еще один метеорит упал прачке в корыто, а другой, совсем маленький, весом в несколько грамм, упавший в 1927 г., запутался при падении в складках платья одной японской девочки. В ряде случаев мелкие метеориты просто скатывались с крыши, не пробивая их.

На дорогах было найдено не менее 15 различных метеоритов. Так как общая площадь, занимаемая зданиями и дорогами, по сравнению с поверхностью всей Земли ничтожна, то отсюда можно заключить, что в действительности на Землю падает метеоритов гораздо больше, чем это может показаться. Из расчетов же видно, что это число должно составлять десятки тысяч в год. Отсюда ясно, какое множество метеоритов теряется; в среднем расстояние от наблюдателя до найденного им при падении метеорита составляет 125 м; это расстояние тем больше, чем больше упавший метеорит; мелкие метеориты оказываются незамеченными. Если бы люди равномерно расселились по поверхности Земного шара, то на квадратный километр пришлось бы 4 человека, и только тогда были бы отмечены все падения крупных метеоритов массой в десятки килограмм, а большинство мелких все же оставалось бы незамеченными.

Распределение падений метеоритов

Рассмотрение китайских летописей показывает, что в течение больших промежутков времени в данном месте земной поверхности падения метеоритов происходят равномерно. Чем гуще населена страна и чем выше культурный уровень населения, тем больше в ней наблюдается падений метеоритов. Из 634 метеоритов на Европу приходится 256, на США — 177, что составляет $\frac{2}{3}$ всего числа метеоритов, тогда как по площади Европа и США занимают только $\frac{1}{8}$ часть суши. В Азиатской части СССР распределение мест падений и находок тянется по обжитой культурной полосе вдоль линии Великого Сибирского железнодорожного пути и быстро падает к северу, где плотность населения уменьшается.

По времени падения метеориты располагаются следующим образом. Начиная с эпохи научного изучения метеоритов, т. е. с 1800 г., в среднем каждое десятилетие становятся известными 40—45 новых упавших метеоритов. За последние десять лет это

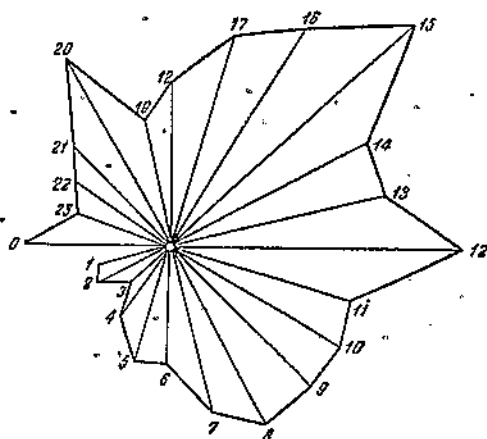
число больше, в силу увеличения интереса к метеорным явлениям вообще.

В течение года падения метеоритов распределяются так:

Таблица 5

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Всего
Число метеоритов	23	24	22	32	44	45	23	36	30	24	24	21	350

Летний максимум происходит, как теперь доказано, от более светлого времени года и оттого, что в связи с полевыми работами население больше времени проводит на открытом воздухе. Пони-



Фиг. 60. Распределение падения метеоритов в течение суток: цифры — часы местного времени.

По данным проф. П. Н. Чирвинского.

жение в поле, напротив, объясняется периподом дождей в Индии, откуда до сих пор поступала значительная часть сведений о падениях, благодаря хорошо организованному сбору их. Для того чтобы метеорит имел больше шансов достигнуть Земли, не распылившись в воздухе, его скорость должна быть минимальной, т. е. метеориты должны не встречать, а догонять Землю при ее движении вокруг Солнца; их радианты должны быть около «антиапекса», т. е. около той точки, откуда движется Земля. Эта точка находится выше всего над горизонтом около 6 час. вечера. С другой стороны, чтобы найти упавший метеорит, нужно, чтобы было светло, т. е. чтобы был день; светлее всего днем тогда, когда солнце выше всего над горизонтом, т. е. около 12 час. дня. Поэтому мы должны ожидать, что наибольшее число зарегистрированных падений метеоритов придется на промежуток между 12 и 18 час. дня. И действительно, максимум падает на интервал между 15 и 16 час. дня (38 падений), тогда как в остальные часы число падений составляет около 20 в час, а в ночное время — от 0 до 10 (фиг. 60). Таким образом, отмечаемые падения метеоритов показывают влияние условий наблюдения и распорядка человеческой жизни, а не их космическое распределение, и потому неудивительно, что никакой видимой связи между статистикой падений метеоритов и числом появления метеоров нет.

Что касается метеоро в, то наибольшее количество их наблюдается на том полушарии земного шара, которое обращено вперед

по движению Земли, так как Земля здесь встречает метеоры. На противоположном полушарии в основном видны метеоры, догоняющие Землю, и их число потому меньше. Это значит, что чем выше «апекс» (т. е. та точка, куда направлено движение Земли) подымается над горизонтом, тем мы больше будем видеть метеоров. В среднем оказывается, что апекс восходит около 12 час. ночи и выше всего над горизонтом находится около 6 час. утра, и потому общее число метеоров к утру возрастает («суточная вариация»). Кроме того, оказывается, что в северном полушарии осенью апекс находится над горизонтом выше, а весной ниже, чем летом или зимой, и потому в течение года максимум метеоров падает на осень, а минимум — на весну («годовая вариация»). Впрочем, к осеннему максимуму присоединится еще действие многих больших метеорных потоков, о которых подробнее будет рассказано дальше.

Открытие суточной и годичной вариации метеоров явилось одним из доказательств их внеземного происхождения.

Влияние метеорного вещества на Землю

Теперь у нас может возникнуть естественный вопрос: как велико количество метеорного вещества, осаждающегося на Землю, и может ли это вызвать какие-либо последствия для Земли.

Количество вещества, приносимое метеорами на Землю, можно определить только приблизительно; оказывается, что в среднем метеориты дают в год не менее 1500 т, большие метеоры (болиды) от 100 до 1000 т, обычные метеоры — столько же, телескопические метеоры и прочая космическая пыль, осаждающаяся на Землю, дают в год, вероятно, не менее нескольких десятков тонн. В общем это составляет около 3500 т в год или за миллион лет около 7 т на квадратный метр, т. е. слой в 2 микрона толщины, стало быть величину совсем ничтожную. Высчитано, что из-за этого земные сутки укоротятся на 0.001 сек. за 1 миллион лет. Общее количество тепла, которое выделяют метеоры в земной атмосфере за год, составит столько, сколько Земля получает от Солнца за 0.01 сек. Теоретически, из-за постепенного увеличения массы Луны, Земля и Солнца от падения метеоритов должно измениться время обращения Луны вокруг Земли и Земли вокруг Солнца, но практически это изменение ничтожно, около одной миллиардной доли секунды в год.

Эти расчеты сделаны в предположении, что метеорная активность в течение этих многих лет остается постоянной. Поэтому мы в праве себя спросить: какие доказательства существуют, что, например, в прошедшие геологические времена метеориты падали так же часто, как и теперь. Разберем этот вопрос подробнее.

Метеоритная активность в прошлом

Если метеориты в прошлом падали так же часто, как и теперь, то казалось бы, что должно существовать много ископаемых метеоритов. В действительности это не так, ибо метеориты сравнительно быстро разрушаются; поэтому, например, в добытой соли или каменном угле их не попалось ни одного, тогда как в одной Англии их должно было быть пятьсот. Что метеориты падали несколько тысяч лет назад, подтверждают метеоритные кратеры и другие находки метеоритов. Недавно сделано открытие, что распределение падений метеоритов в Северной Америке находится в зависимости от положения ледникового покрова, который частично покрывал американский континент во время последнего ледникового периода — несколько десятков тысяч лет назад. Это же подтверждают гигантские метеориты Гренландии, упавшие на льды, которые ныне стали. Еще о более давнем времени свидетельствуют метеориты, найденные при археологических раскопках древних стоянок первобытного человека. Кроме того, несколько метеоритов было найдено под различными наносами на глубине от 1 до 10 м, что может определять их возраст во много тысячелетий. Особенно замечательна находка одного метеорита на глубине 6 м; над ним находились останки ныне вымершего животного — мегатерия, жившего в геологическую эпоху плейстоцена, в самом начале четвертичного периода, т. е. 500 000 или 1 000 000 лет назад. Американские геологи Альбриттон и Бун заподозрили указания на следы древних падений метеоритов в горных породах. Кроме того, известны еще особые стеклянные метеориты, которые носят название *тектитов*; их возраст еще больше — несколько миллионов лет. За счет разрушившихся метеоритов, по мнению академика А. Е. Ферсмана, земная кора должна обогатиться содержанием тех веществ, которые в метеоритах преобладают, и действительно, например, они обнаруживаются в так называемых шунгитах — очень старых углях, которые могли ими обогатиться в течение своего длительного существования.

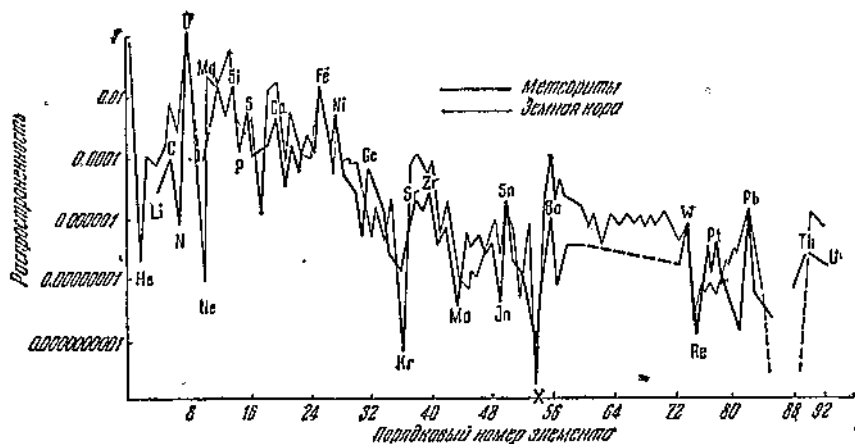
Состав и строение метеоритов

Что же представляют собою метеориты, эти драгоценнейшие космические тела, единственные осязаемые представители небесных тел? Эти вопросы интересовали ученых настолько сильно, что ныне метеориты изучены лучше, чем многие земные породы.

Только что выпавший метеорит обычно со всех сторон покрыт темной, часто совсем черной, матовой или блестящей «корой». Эта кора, толщиной в несколько десятых долей миллиметра, образовалась на метеорите при его «огненном» движении в атмосфере; она представляет собой расплавленные и окисленные части метеорита. Если метеорит раскололся, то на изломе он чаще всего бывает серым, имеет вид, состав и свойства камня, и потому также

метеориты называются каменными; они составляют более 80% всех падающих метеоритов. Гораздо реже падают железные метеориты; они дают 4—5%; снаружи они покрыты магнитной окисью, т. е. окисью железа. Если метеорит долго лежал на земле, то кора его выветривается, буреет, и мало-по-малу метеорит разрушается. Железные метеориты по сравнению с каменными сохраняются дольше. Железо-каменные метеориты (хондриты), составляющие переходную группу, дают 10—15% всех падений. Особо стоят уже упомянутые стеклянные метеориты (тектиты), природа которых не вполне выяснена.

Вследствие неравномерного и неоднородного внутреннего строения, метеоритов разрушительное действие воздуха при полете в атмосфере оказывается неодинаковым для различных частей



Фиг. 61. Распространенность химических элементов в метеоритах и земной коре.

поверхности, и потому в менее прочных местах на ней образуются ложбинки или ямки, называемые регмаглиптами. Силой сопротивления воздуха все острые части метеорита сглажены, углы и грани закруглены, и часто можно указать, какой стороной метеорит двигался вперед: на ней он сильнее окислился, а расплавленная кора стекала на заднюю, «тыльную», часть. Такие метеориты называются ориентированными. Если метеорит раскололся в воздухе, то на месте разлома начинает образовываться новая кора, так называемая вторичная.

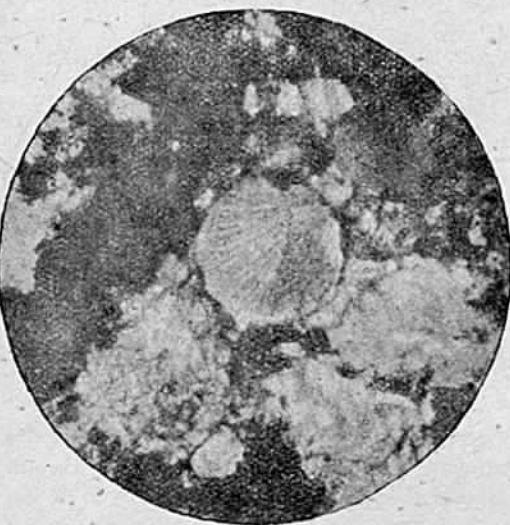
По химическому составу метеоритов оказывается, что, во-первых, они не содержат ни одного такого элемента, которого не было бы на Земле, и, во-вторых, что их средний состав близко подходит к среднему составу нашей планеты, Земли (фиг. 61), в целом, а также к составу Солнца. Это есть первое указание на единство материи во Вселенной.

Каменные метеориты по весу состоят на 36% из кислорода, 25% железа, 18% кремния, 14% магния, 1,8% серы, 1,5% алюминия, 1,3% никеля и кобальта, 1,3% кальция; элементы натрия, марганец, хром, калий и фосфор составляют от 0,7 до 1%. Железные метеориты в среднем по весу содержат 91% железа, 8% никеля, 0,7% кобальта, 0,2% и менее фосфора, серы, углерода, меди и хрома. Если учесть то, что каменные метеориты падают чаще железных, то оказывается, что по весу железо, кислород, кремний и магний составят 92,4%, никель, сера, алюминий и кальций дают еще 6,3%, а все остальные 84 элемента периодической системы Менделеева всего 1,3%. Между прочим, метеориты содержат около 0,0004% золота; радия в них около 0,000000000001%, в двадцать раз меньше, чем в земной коре. Часто метеориты заключают в себе различные газы. Химические элементы в метеоритах и их поведение в различных условиях являются предметом изучения геохимии, блестяще представленной в СССР, благодаря работам академиков В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана.

Большой интерес представляет спектроскопический анализ метеоритов в лабораторных условиях.

Минералы метеоритов

Основную часть метеоритов составляют уже известные на Земле минералы, т. е. соединения элементов; главные из них: никелистое железо, оливин, пироксен, плагиоклаз, полевой шпат и маскелинит. Некоторые минералы метеоритов оказались неизвестными на земле и были названы по именам ученых: Шрейберса



Фиг. 62. Строение каменного метеорита под микроскопом; в середине — хондра в разрезе.

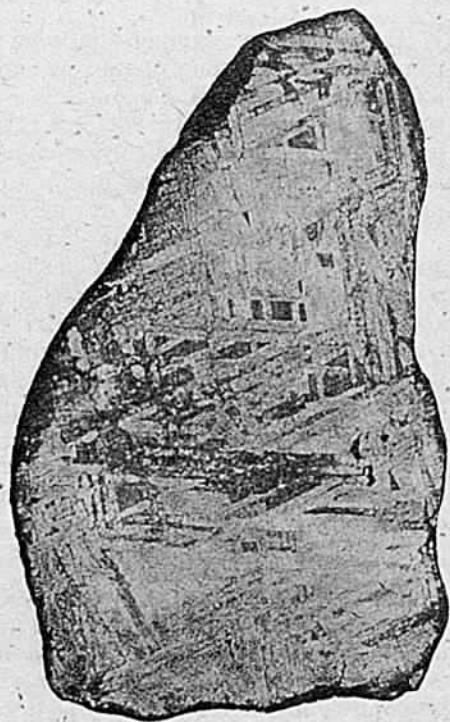
(шрейберит), Добра (добрэлит), Муассана (муассанит) и др. Множества важнейших на земле минералов нет в метеоритах (например слюды, ортоклаза, даже воды). В метеоритах встречаются микроскопические алмазы; замечательным является нахождение иногда в редких «углистых» метеоритах до 4% угля, похожего на гумус (перегной).

Горные породы, представляющие собой комплексы минералов, изучаются петрологией. Свойства минералов сами по себе менее

интересны; главным образом, закономерности их сочетаний дают ключ к раскрытию происхождения и образования метеоритов. Оказалось, что в метеоритах отсутствуют осадочные горные породы и породы органического происхождения, вроде, например каменного угля или мела; строение метеоритов указывает, что они застыли очень быстро, причем не на поверхности больших небесных тел, а где-то отдельно в космическом пространстве, потому что при этом на них почти не действовала сила тяготения; в некоторых случаях при этом происходило проникновение одних масс метеорита в другие. Некоторые метеориты несут следы повторного нагревания и перекристаллизации, другие где-то пропитались газообразными углеводородами и т. д. Далее оказалось, что по составу железные, железо-каменные и каменные метеориты в действительности составляют один непрерывный ряд и могут иметь общее происхождение из одной первичной массы.

Большинство каменных метеоритов содержит множество мелких шариков, напоминающих застывшие капельки и называемых «хондрами» (фиг. 62); такие метеориты носят название «хондриты», а не имеющие шариков — «ахондриты».

Железные метеориты имеют кристаллическое строение, особенно хорошо заметное, если полированную поверхность протравить слабой соляной или азотной кислотой; при этом появляются фигуры, присущие только метеоритному железу и не встречающиеся в железе земного происхождения. По имени открывшего их в 1808 г. ученого Алоиза фон-Видманштеттера они называются «видманштеттеровыми фигурами» (фиг. 63), а метеориты, которым свойственны эти фигуры, — «октаэдритами». Если в железном метеорите менее 6% никеля, то таких кристаллических фигур не получается; тогда появляются тонкие светлые «неймановы линии»; по их кристаллической структуре метеориты получают название



Фиг. 63. Полированная и протравленная поверхность железного метеорита из пустыни Вабар в Аравии; видны видманштеттеровы фигуры.

«тексаэдриты». Если же, напротив, в железном метеорите очень много никеля, то тогда получаются мелкие беспорядочные кристаллы, и метеорит носит название «атаксит».

Метеориты в настоящее время разделяются на 76 классов; в основу их классификации были положены работы ученых Розе, Чермака, Брeвинны, по имени которых она называется. Эта классификация принята также для собрания метеоритов Академии Наук СССР.

Происхождение метеоритов

Современные астрономические и геологические данные указывают, что источников происхождения метеоритов несколько. Часть из них может принадлежать планетной системе, другая часть идет к нам из звездной Вселенной. На основании изучения распада радиоактивных веществ в метеоритах удалось определить приблизительно время, которое прошло с момента отвердевания метеоритов;¹ оно оказалось от нескольких десятков миллионов до 3,4 миллиарда лет, т. е. приблизительно не более того, сколько астрономия насчитывает для возраста Солнечной системы. Астрономические вычисления показывают, что метеориты могут приходить к нам из самых различных областей звездной Вселенной. Некоторые метеориты являются как бы обломками более крупных небесных тел. Петрологическое изучение метеоритов показывает, что в их образовании основную роль могла играть какая-то катастрофа, какая именно — мы еще не знаем. Необходимо тщательное исследование каждого упавшего метеорита; в сборе этих «небесных подарков» могут и должны принять участие самые широкие слои населения.

Как узнать упавший метеорит?

Обычно на 20 метеоритов 18—19 бывают каменными; снаружи они как бы закованы, покрыты черной (матовой либо блестящей) корой, а внутри обычно пепельно-серого цвета, иногда с круглыми вернышками («хондрами») и металлическими блестками. Железные метеориты покрыты черной окалиной. На поверхности метеоритов видны ямки, впадины («регмаглисты»). Метеориты уходят в почву неглубоко, сантиметров на 10—20, в зависимости от веса. Долго лежавший в земле метеорит разрушается: железный ржавеет, окисляется, делается бурым, а каменный выветривается, и потом его становится трудно отличить от земных камней, поэтому железные метеориты найти гораздо легче. Особенно следует обращать внимание на камни с куски железа, извлекаемые из почвы при обработке земли, рытье канав и ям и т. д.

Все сведения о больших метеорах и о выпавших метеоритах следует направлять в Академию Наук по адресу: Москва 17, Старо-

¹ Это делается так называемым гелевым методом: измеряется количество гелия, выделившегося в метеорите из радиоактивных веществ; зная скорость выделения, можно узнать время, прошедшее от момента затвердевания метеорита.

монетный 35, Комиссия по метеоритам, Ин-т геологических наук Академии Наук СССР. Письма и посылки можно направлять бесплатно. Копии сообщений нужно отсылать в Центральное Метеорное Бюро (Москва 22, Нововаганьковский 5, Астрономический институт им. Штернберга).

3. МЕТЕОРНАЯ МАТЕРИЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Метеорные потоки в Солнечной системе

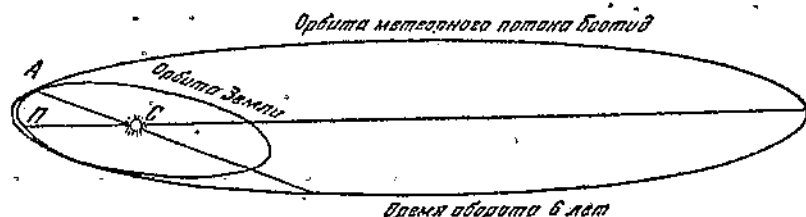
Мы уже знаем, что радианты наблюдаются потому, что в земную атмосферу входит по параллельным путям несколько метеорных тел. Подобные метеоры образуют «метеорный рой». Метеорные рои могут состоять из различного числа тел — двух-трех десятков, сотен, тысяч, миллионов, миллиардов... Они образуют «метеорные потоки», сквозь которые Земля проходит в течение нескольких дней. Эти метеорные потоки движутся, согласно законам небесной механики, по самостоятельным орбитам вокруг Солнца. Метеорные тела распределяются по всей орбите потока, хотя и неравномерно. В Солнечной системе число метеорных потоков очень велико и должно считаться тысячами. Малая часть этих потоков проходит вблизи земной орбиты, и иногда Земля, при своем годовом движении вокруг Солнца, может встретиться с таким потоком. Тогда в определенной области неба появляются метеоры, имеющие общий радиант. Так как Земля через год приходит в ту же точку своей орбиты, то встреча с потоком будет происходить ежегодно в одну и ту же дату, в течение, например, целого столетия; такие метеорные потоки называются «периодическими». Кроме них, в Солнечной системе движется множество метеорных тел, больших и малых, в различных других направлениях, в общем довольно беспорядочно. Когда они попадают в пределы земной атмосферы, то дают метеоры, называемые «спорадическими», не принадлежащие к известным потокам. Они составляют более половины всего замечаемого числа метеоров.

Метеорные потоки в Солнечной системе разделяются на две большие группы. Одну из них составляют те потоки, движение которых вокруг Солнца происходит по замкнутой орбите, т. е. поток, все время обращаясь вокруг Солнца, остается в пределах Солнечной системы. Большинство из исследованных потоков при этом движется по вытянутым путям, называемым «эллиптическими орбитами»; такие потоки приближаются к Солнцу, проходят ближайшую к нему точку, называемую «перигелием», потом начинают удаляться, затем опять приближаются и т. д. (фиг. 64).

Время одного оборота потока вокруг Солнца составляет обычно от нескольких лет до нескольких сот лет. Метеорные тела таких потоков являются полноправными членами Солнечной системы. Но есть другие метеорные потоки. Они приходят к нам из далеких глубин звездной Вселенной, откуда-то из Млечного Пути. Они приближаются к Солнцу, проходят свой перигелий, отблещают

Солнце и вновь уходят из Солнечной системы куда-то опять в пределы Млечного Пути и, может быть, иногда даже дальше. Их пути незамкнутые, по форме представляют кривую — гиперболу и называются «гиперболическими орбитами». В настоящее время достоверно не известно, каких потоков больше — с эллиптическими или гиперболическими орбитами.

В течение нескольких последних лет проф. К. Гофмейстер из Зоннеберга провел несколько экспедиций в южные широты, наблюдая метеоры под тропиками в Атлантическом океане с парохода, в Караибском море, и, наконец, в юго-западной Африке, в Виндхуке. Изучая частоту метеоров, встречаемых Землею в различные часы ночи, он нашел, что осенью Земля встречает два больших потока из созвездий Тельца и Скорпиона, и поэтому к осени число метеоров возрастает как в северном, так и в южном



Фиг. 64. Орбиты земли и метеорного потока.

О — Солнце, П — Перигелий метеорной орбиты, А — точка встречи потока с Землей.

полушариях. Оказалось, что оба эти потока приходят к нам из звездной Вселенной и, пройдя Солнечную систему, опять уходят в космическое пространство. Сравнивая эти наблюдения с данными середины XIX века, Гофмейстер нашел, что тогда было больше метеоров, пришедших из Солнечной системы, чем теперь, и приписывал это наличию в то время большого числа комет, породивших их, тогда как теперь больших комет почти нет.¹

В таблице 6 (стр. 97) дан список главнейших метеорных потоков, которые Земля встречает в настоящее время в течение года на своем пути вокруг Солнца. Названия потокам даны по латинскому имени тех созвездий, где лежит их радиант. В таблице (стр. 98) приведено время открытия и периоды обращения крупных метеорных потоков.

К в а д р а н т и д ы. Свое название этот поток получил по имени созвездия «Стенной Квадрант». В 1839 году путешественник Браве их отметил во время тяжелого перехода в экспедиции на Северный полюс. Первыми радиант Квадрантиды определили бельгийский астроном Кетеле и американский фермер-самоучка Стиллимен Мастерман, впоследствии сотрудник Морской обсерватории

¹ Probleme der kosmischen Physik, Bd. 17, Die Meteore, S. 154 + VIII, 1937, Leipzig.

Большие метеорные потоки

Таблица 6

№ п/п	Название потока	Время видимости	День максимума	В каком созвездии находится радиант	Описание метеоров
1	Квадрантиды	27/XII—7/I	3/I	Дракон Геркулес	Длинные, жел- товатые
2	Лириды . .	45—26/IV	21/IV	Лира	Быстрые, бе- лые; со следа- ми
3	Гамма-Аква- риды	28/IV—12/V	4/V	Водолей	Быстрые, бе- лые; со следа- ми
4	Боотиды . .	48/VI—8/VII	28—30/VI	Волопас	Слабые, мед- ленные, корот- кие
5	Скорпиониды	Весь июнь	—	Скорпион	Длинные
6	Дельта-Аква- риды	22/VII—9/VIII	28—29/VII	Водолей	Желтые
7	Каприкорни- ды	30/VII—1/VIII	31/VII(?)	Козерог	Желтоватые
8	Камеллепар- диды	40—15/VIII	12/VIII(?)	Жираф	Быстрые, бело- ватые; со сле- дами
9	Персеиды . .	16/VII—22/VIII	11—12/VIII	Персей	Быстрые, бе- лые, яркие; со следами
10	Цигииды . .	15—25/VIII	20/VIII(?)	Лебедь	Желто-белые
11	Кассиопеиды	4—15/VIII	—	Кассиопея	Белые, быст- рые
12	Цефеиды . .	16—24/VIII	20/VIII(?)	Цефей	—
13	Дракониды .	8—12/X	9/X	Дракон	Медленные, слабые, крас- новатые
14	Тауриды . .	14—20/X	17—18/X	Телец	—
15	♦	4—20/XI	13/XI(?)	♦	—
16	Ориониды . .	14—26/X	21—22/X	Орион	Быстрые, бе- лые, яркие; со следами
17	Ариетиды . .	18—27/X	23—30/XI(?)	Овен	Желто-белые
18	Леониды . .	40—48/XI	16/XI	Лев	Очень быстрые, бело-голубые и зеленоватые
19	Андромедиды	15—27/XI	17/XI	Андромеда	Медленные, красноватые
20	Геминиды .	4—17/XII	12—13/XII	Близнецы	Белые

Время открытия и периоды обращения крупных метеорных потоков

№ п/п	Название потока	Когда и где впервые наблюдался	Кто, когда и где установил наличие потока	Скорость метеоров относительно Земли в км/сек	Период обращения вокруг Солнца, лет
1	Квадрантиды	1835 в Швейцарии	Кетеле, Бельгия, 1839	46	14,6
2	Лириды . .	687 до нашей эры в Китае	Бенценберг (Германия) и Геррик (США), 1803	48	29,7
3	Гамма-Аквариды . . .	1848 в Германии	Гейс (Германия)	69	76
4	Боттиды . .	1916 в Англии	Деннинг (Англия)	19	6,0
5	Дельта-Аквариды . . .	714 (?) в Китае	Тепман (Англия)	Неизвестны	
6	Персенды . .	830 в Китае	Локе (США) 1834 и Кетеле (Бельгия), 1836	61	108 (?)
7	Дракониды .	1885 в Англии	Деннинг (Англия), 1926	23	6,5
8	Тауриды . .	1869 в Европе	Тепман (Англия), 1869	Неизвестны	
9	Орioniды . .	1839 в США	Шмидт (Греция) и А. Гершель (Англия), 1863	66	76
10	Леониды . .	1768 - до нашей эры в Китае	Ольмстед (США), 1833	73	33,8
11	Андромедиды .	524 в Китае	Вейсс (Австрия) и Арре (Франция) 1867	20	6,7
12	Геминиды . .	1862 в Европе	Грег (Англия), 1862	47	29,1 (?)

в Вашингтоне. В России они впервые наблюдались Ефимовым в Томске в 1904 г., а в СССР ныне наблюдаются почти ежегодно.

Л и р и д ы. Обильные метеоры около 22 апреля отметил французский физик Араго еще в 1835 г. Затем, в китайских и европейских хрониках были найдены старинные наблюдения, сделанные в 687 и 15 гг. до начала нашего летоисчисления, потом в 538, 582, 590, 763, 1093—1096, 1122—1123 и в другие годы. Первое китайское наблюдение в 687 г. до нашей эры записано так: «в середине ночи звезды падали дождем»; второе, в 15 г. — «после полуночи звезды падали, как дождь — они погасали, не достигая Земли». В 1096 г. «звезды летали, как пух, уносимый ветром, и это продолжалось от первых петухов до утренней зарю». Предпоследний раз дождь Лирид был отмечен 20 апреля 1803 г. в США: «все небо казалось в огне от обильных метеоров».

для ярких метеоров» по описанию того времени (о дожде сохранились сведения более чем в полусотне газет). Особенно хорошо его наблюдали в г. Ричмонде, где случился пожар, и народ был на улице. В том же 1803 г. Бенценберг определил радиант потока. 21 апреля 1922 г. звездный дождь повторился; по украинским наблюдениям метеоры, казалось, «хлестали небо», каждые 1—2 сек. падало по метеору, которые в массе были короткие и неяркие. Следующий максимум, вероятно, придется на 21 апреля 1952 г. Ныне поток ослабел. Из наблюдений, произведенных в СССР, следует, что более крупные метеоры сосредоточены к середине потока, а метеорное вещество распределено в нем очень неравномерно, — «то густо, то пусто»; расстояние одного метеора от другого составляет несколько сот и тысяч километров. Ежегодно в земную атмосферу влетает не менее 100 миллионов метеоров этого потока.

Г а м м а - А к в а р и д ы. Это — самый крупный поток южного неба. В Европе его радиант впервые был определен Гейсом в 1848 г. Никакой другой поток не дает в наших широтах столько длинных ярких метеоров. В 1868 г. было заподозрено, а в 1912—1914 гг. окончательно доказано (независимо Гофмейстером в Германии, Оливье в США и Свободой в Праге, Чехия), что этот поток связан с кометой Галлея, приближавшейся к Солнцу в 1910 г. Этот поток так широк, что встречает вторично Землю в октябре и тогда вызывает появление Орионид. Старинные появления метеоров в 842 и 1158 гг., может быть, также относятся к Гамма-Акваридам.

Б о о т и д ы являются новым метеорным потоком, открытым в 1916 г. английским любителем-астрономом Деннингом, который сразу указал на его связь с короткопериодической кометой, носящей имена астрономов Понса и Вилнеке; первый открыл ее в 1819 г., а второй — через 7 полных оборотов ее вокруг Солнца в 1858 г. Поэтому даже метеорный поток называют (неправильно) Понс-Вилнекидами. Под влиянием притяжения Юпитера орбита кометы постепенно видоизменялась и перемещалась так, что к 1916 г. подошла близко к орбите Земли, и этот поток сделался наблюдаемым. Советский астроном Шафн вычислил движение потока наперед и предсказал его появление в 1921—1922 гг., что в точности подтвердилось наблюдениями. Особенно хорошо поток наблюдался в СССР в 1927 г.; в 1933 г. он уже был значительно слабее. Скорость Боотид — 19 км в 1 сек. — наименьшая из скоростей всех потоков, а потому вполне возможно, что железный метеорит Нэтлс, упавший 2 июля 1921 г. в Ланкашире, в Англии, принадлежит этому потоку, как указывает направление пробитой им дыры.

Д е л ь т а - А к в а р и д ы. В китайской энциклопедии Ма-Туан-лина имеются указания на метеоры в июле 714 и мае 784 гг., которые могут быть Акваридами; несовпадение этих дат с теперешними происходит из-за того, что от притяжений планет положение орбиты потока изменяется, как, например, мы видели для Боотид. По наблюдениям в Новой Зеландии в 1926—1933 гг. можно заключить, что этот поток сам по себе очень богат. Ныне

не известна ни одна комета, связанная с этим потоком, через который Земля проходит в течение по крайней мере 20 дней. Судя по наблюдаемой скорости метеоров (30 км в 1 сек.) поток, вероятно, принадлежит к группе эллиптических.

Персеиды — самый замечательный поток на всем небе. Даже в старых календарях день 10 августа назывался «метеородес», а народное поверье называло метеоры в этот день «огненными слезами св. Лаврентия», сожженного в IV веке римлянами. Этот поток наблюдался китайцами в 830, 833, 835, 841, 924, 926 и 933 гг., а в европейских летописях записан в 1029, 1243 и 1451 гг. Поток Персеид открывали 4 раза: впервые на него указал в 1762 г. Мушенбрёк, потом в 1775 г. Вильям Гамильтон, но об этом тоже забыли; в 1827 г. о нем вновь упомянул Форстер; наконец, в четвертый раз его открыл сто лет назад французский физик Араго, собравший в 1836 г. наблюдения над ним, хотя уже в 1834 г. американский профессор Локе открыл его радиант; это открытие он описал в местной газете города Цинциннати так: «я был удивлен открытием, что большинство этих метеоров имеет такое видимое движение, как если бы оно принадлежало телам, движущимся по прямым линиям параллельно друг другу. При нанесении путей на глобус «радирующие точки», или «полюса», были найдены близ звезды Алголя в созвездии Персея». Окончательно положение радианта Персеид было выяснено Кетеле в 1836 г. Это был тогда второй известный радиант после радианта Леонид 1833 г. С 1840 г. поток наблюдается ежегодно. В 1838 г. Богуславский вычислил первую метеорную орбиту — это были Персеиды. Впервые связь с кометой была доказана (Скнапарелли) для этого же потока. Ширина его доходит до 110 миллионов километров; это — «великий поток», как назвал его Денинг. Метеоры Персеид появляются как бы группами, «пачками». Специальные наблюдения астронома Эшпа в Ташкенте в 1920 и 1921 гг. показали, что оба года строение потока было равное, но характер распыленности метеорного вещества в потоке оставался одинаковым, т. е. процентное отношение крупных, средних и мелких частиц не менялось, в то же время отличаясь от этого распределения в других метеорах. 10—12 августа Персеиды составляют 70% всего числа метеоров, наблюдаемых невооруженным глазом на небе, и эта цифра почти не испытывает колебаний, хотя за историческое время общая яркость потока медленно, но заметно уменьшается. В Персеидах наблюдались телескопические метеоры 9—10-й величины и болиды, яркостью с Луну; таким образом, метеорные частицы в этом потоке могут друг от друга отличаться по величине в сотни миллионов раз. Фотографии спектров показали, что Персеиды, как и Леониды с Геминидами, принадлежат к каменным метеоритным частицам.

Дракониды представляют собой новый метеорный поток, который, как и Боттиды, сделался видимым потому, что из-за влияния планет орбита кометы Джакобини-Циннера подошла

ближе к орбите Земли. Эта комета была открыта в 1900 г. и наблюдалась в 1913 и 1926 гг.; после первого появления в 1926 г., наблюдавшегося в Англии Деннингом, поток вернулся через $6\frac{1}{2}$ лет и дал 9 октября 1933 г. звездный дождь, наблюдавшийся в СССР и Западной Европе, где минутное число метеоров доходило до 1000. Иногда проносились 20—30 метеоров одновременно. Метеоры были неяркие, медленные и красноватые. Звездный дождь был заснят фотографически в Потсдамской и Гамбургской обсерваториях, затем в Бельгии и во Франции (фиг. 65), причем на некоторых фотопластинках (небывалый случай) вышло до $2\frac{1}{2}$ де-



Фиг. 65. Звездный дождь Драконида 9/X 1933 г. в созвездии Лиры

Яркая звезда — Вега. Фотография получена во французской обсерватории в Жювизи, около Парижа

сятков метеоров, разумеется самых ярких. Все они дали точное положение радианта, полностью совпавшее с теоретическим, вычисленным по кометной орбите. Во время дождя Драконида туземцы французской колонии Судана, в Африке, устроили барабанный бой, чтобы «устрашить злого духа, срывающего звезды с неба». В Португалии народ забился в церкви, полагая, что рушится небо. Сообщение о звездном дожде из Европы тотчас по кабелю передали в Америку, где еще не зашло Солнце; там подготовились к наблюдениям, но с наступлением темноты оказалось, что звездный дождь уже прошел. Он нарушил электрическое состояние верхних слоев земной атмосферы: в Слуцкой обсерватории под Ленинградом электрическими приборами были зарегистрированы помехи в радиоприеме. В пространстве метеорный рой, вызвавший дождь, имел размеры в несколько десятков тысяч километров в длину и в ширину и массу в несколько

сот тонн, из которой на Землю попало всего несколько процентов.

Таурид — гиперболический метеорный поток; это было доказано работами астрономов Нисселя, Гофмейстера, Кнопфа. Орлова С. В. Он одновременно является потоком обычных метеоров и болидов. Другой такой поток — июньские Скорпиониды.

Орпиды представляют собою вторичную встречу Гамма-Акварид с Землей в той точке земной орбиты, где Земля бывает в конце октября.

Леониды — это древнейший по наблюдениям метеорный поток. Так, например, он отмечен 3700 лет назад китайцами (в 1768 г. до нашей эры) и затем в 902 г. арабами, указывавшими на «бесчисленное множество метеоров». Каждое его появление (он появляется три раза в столетие) в наше время сопровождается резким увеличением числа научных работ по метеорам. По случаю необычайного падения звезд в Японии в 967 г., 1002 г., 1035 г. и 1037 г. императоры объявляли преступникам амнистию. Болиды, пролетавшие в эти дни, японским суеверием отождествлялись с полетом небесного духа «Тенту», изображавшегося с длинным носом и крыльями. При появлении потока в 1202 г., по описанию того времени, звезды до рассвета летали, «как рассеянная саранча», «народ скорбел» и т. д. В 1366 г. в Португалии «на небе было видно такое движение звезд, какого люди прежде никогда не видели», «небо и воздух казались в пламени, и даже земля как бы готова была вспыхнуть»; то же было отмечено в Праге. Леониды 931 и 934 гг. были отмечены и в Китае, и в Европе. В 1202 г. в Лаврентьевской летописи описано новое появление Леонид: «в 5 час. ночи потече небо все», «течение звездное бысть на небеси, отторгаху бо ся звезды на землю». В 1533 г. описывается, как «многие звезды падоша с небеси на землю», а в Москве «видела мнози людие: звезды по небеси протягахуся яко же верви, летаху с востока на зимний запад», и действительно, созвездие Льва восходит на востоке. В другой летописи описано «видение» пономаря Тарасия с церковного верха святого Спаса в Новгороде Великом: «множество ангел, стреляющих огненными стрелами, яко дождь сильный из тучи». Леониды давали большие звездные дожди в 1766, 1799, 1831—1833 и 1866 гг. В 1899 и 1933 гг. их орбита из-за влияния планет немного отошла от земной и потому дождей не было. В 1832 г. Леониды наблюдались также на Урале и на Украине; курский самоучка-астроном Семенов заподозрил уже тогда связь комет и метеоров; записав в дневник «уж не Бялова-ли комета причиною сего явления». В 1799 г. в Мексике «явление было великим и устрашающим». В 1833 г. «слова были недостаточны для описания», яркие метеоры были еще видны после восхода Солнца, спящие в домах просыпались от ярких вспышек метеоров, «зрелище было поистине страшное», как писал владелец одной плантации в Южной Каролине; негры-невольники до того пере-

пугались, что еще 70 лет спустя в их памяти сохранился этот «день страшного суда». В России Леониды отметил тогда учитель Дмитрюков в Курске: иногда одновременно вылетала пачка метеоров, попеременно с крупными болидами, освещавшими даже внутренние помещения зданий. Тогда же следы множества метеоров слились в одну массу, отчего все небо пришло в состояние свечения. Это же повторилось в 1866 г. К наблюдениям 1899 г. подготовились все обсерватории. Венская Академия Наук послала специальную экспедицию в Индию, наблюдать метеоры. По причине облачной погоды в Париже, Страсбурге и Петербурге было выпущено для наблюдений 5 аэростатов. В 1933 г. в Чехословакии и в 1935 г. в Соединенных Штатах Америки для этой цели были применены самолеты. Приведем появления потока Леонид, записанные в старинных летописях Европы и Дальнего Востока, а также новые появления этого потока:

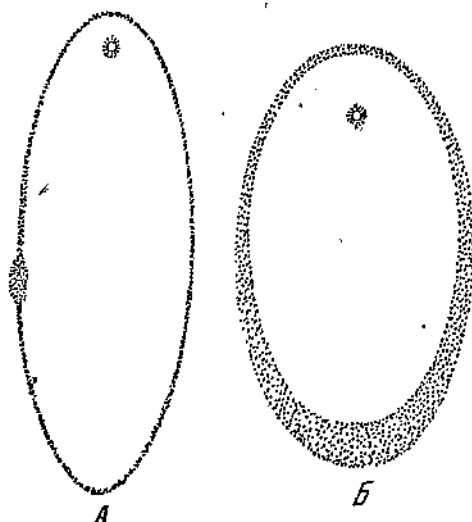
902 X 23 — Испания	1466 X 31 — Япония
931 X 20 — Китай	1532 XI 3 — Япония (Корея)
X 21 — Китай	1533 XI 4 — Япония, Корея, Китай,
931—934 — Италия	Россия
934 X 18 — Манчжурия	1566 XI 5 — Япония (Корея)
934 X 19 — Китай	1602 XI 6 — Китай
967 X 20 — Япония	1666 XI 8 — Китай
1002 X 20 — Япония	1698 Швейцария
X 18 — Китай	1766 XI 12 — Южная Америка
X 21 — Япония	1799 XI 12 — Европа и США
1035 X 20 — Япония	1832 XI 12 — » »
1032 X 20 — »	1833 XI 12 — США
1101 — Европа	1866 XI 12 — Англия
1202 — Египет, Россия	1867 XI 12 — Европа и США
1237 X 26 — Япония	1868 XI 12 — » »
1238 X 25 — »	1898 XI 12 — » »
1366 — Австрия	1901 XI 16 — » »

Андромеды далл наглядное доказательство того, что метеорный поток образуется распадающейся кометой. Впервые достоверно они наблюдались петербургским академиком Крафтом 25 ноября старого стиля 1741 г.; он считал их причиной суровой зимы этого года, когда на Неве был построен «ледяной дом». Его современник Мухенбрёк, напротив, считал, что метеоры связаны с летней жарой, способствующей их образованию и воспламенению. Одна комета, открытая впервые французским астрономом Монтанем в 1772 г., а потом в 1826 г. (через несколько обращений) австрийцем Биэлой (немецкое произношение чешской фамилии Белый) и французом Гамбаром, распалась в 1846 г. и почваля после 1852 г., а 27 ноября 1872 и 26 ноября 1885 г. при пересечении Землею ее орбиты наблюдались большие звездные дожди. Художник и любитель астрономии А. М. Васнецов, наблюдавший звездный дождь в 1885 г., рассказывал, что метеоры как бы лениво появлялись, через полсекунды или более достигали максимума яркости и погасали, иногда оставляя тусклый, бледный след.

Геминиды, после Персеид, Гамма-Акварид и Орионид, в настоящее время стоят на четвертом месте по своему изобилию. Они, вероятно, имеют эллиптическую орбиту, хотя данных для окончательного решения вопроса недостаточно. В 1937 г. были их максимум, что подтверждает период в 14,6 года.

Возраст метеорных потоков

Метеорные потоки в Солнечной системе весьма различны. Одни из них очень богаты, содержат много метеорных тел, орбиты их расположены так, что на них почти не сказывается влияние планет, и эти потоки, существующие многие тысячи лет,



Фиг. 66. Эволюция метеорных потоков.

А — молодой поток; В — старый.

еще долго будут наблюдаться с Земли. Другие потоки — маленькие, они образовались, можно сказать, на глазах астрономов в результате распада какой-нибудь кометы, и уже через несколько обращений вокруг Солнца их метеорное вещество рассеивается настолько, что поток перестает и уже более не виден. Под влиянием притяжения планет метеорные частицы этих потоков переходят в группу спорадических. Таким образом, потоки, которые мы наблюдаем сейчас, находятся на самых разных стадиях эволюции (фиг. 66). Леониды, Лириды, Гамма-Аквариды и Ориониды находятся на ранней стадии развития. На поздней стадии эволюции находятся Персеиды и Андромедиды; их основательно потрепали возмущения планет; у них пути метеоров перестали быть параллельными, и потому радиант уже получается не точкой, а целой большой площадкой в десятки квадратных градусов. В целом для всей массы потоков приходится считать, что их эволюция прошла довольно далеко. Так как потоки не могли существовать все то время, что существует Солнечная система (около 3 миллиардов лет), то они должны были откуда-то пополняться. Но откуда?

Связь комет и метеорных потоков

Ответ на предыдущий вопрос дают наблюдения. Оказалось, как только что указывалось, что орбиты некоторых метеорных потоков совпадают с орбитами комет. Отсюда можно заключить,

что они имеют общее происхождение. Наблюдения показывают, что кометы не представляют собою монолитных тел, вроде планет, а состоят из скоплений какой-то материи, которая под влиянием Солнца способна выделяться из кометы, комета как бы разлагается. Следовательно, комета не могла образоваться из потока, а наоборот, она сама превращается в этот метеорный поток. И действительно, наблюдения над кометой Биалы, которая распалась в 1846 г. на две части, а затем совсем исчезла, подтвердили это. Когда Земля проходила в 1872 и 1885 гг. через ту область пространства, где должна была проходить также и комета Биалы, оба раза наблюдались необыкновенные звездные дожди. Так возник поток Андромедид. В настоящее время подозревается связь нескольких десятков потоков и комет; твердо установлена связь восьми потоков с указанными в таблице 7 кометами:

Таблица 8

Поток	Комета	Поток	Комета
Лириды . .	1861 I	Боттиды .	1927 VII
Гамма-Аквариды .	4910 II	Дракониды .	4900 III
Ориониды .	4910 II	Леониды .	1866 I
Персеиды .	1862 III	Андромедиды . . .	1852 II

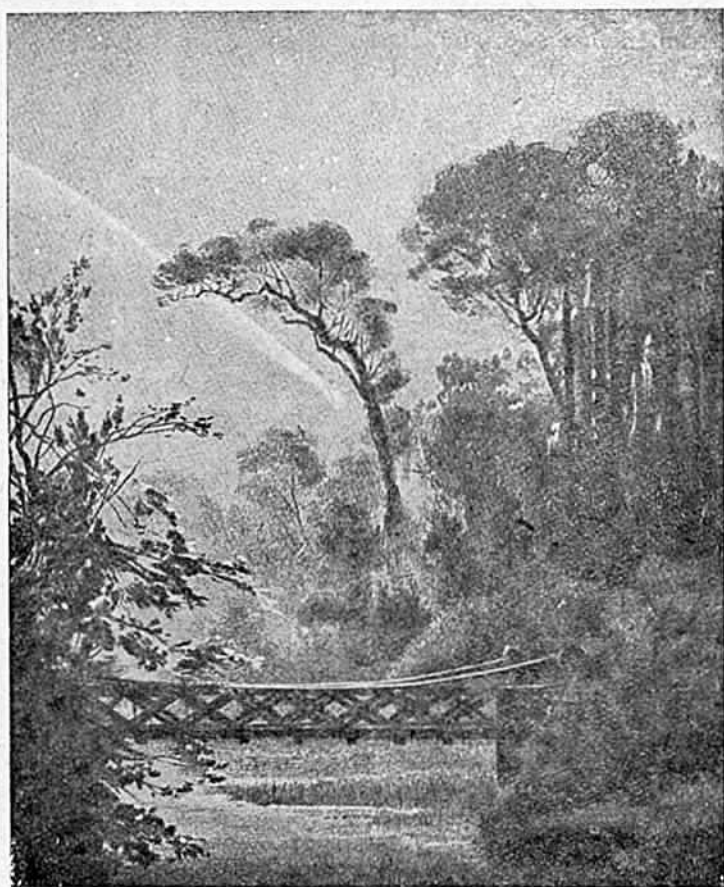
Римская цифра в обозначении года кометы указывает номер кометы, которая прошла перигелий в данном году.

По мнению С. В. Орлова, выделение метеорного потока из недр кометы может объясняться встречей кометы со спорадическими крупными метеорными телами, не принадлежащими к нашей системе. Так столкновение комет с метеорными телами звездной Вселенной порождает «дочерние» потоки комет, принадлежащие к нашей Солнечной системе.

Кометы и их распадаение

Кометы представляют собою чрезвычайно интересные небесные тела (фиг. 67). Их физическое устройство очень сложно и во многих частях еще не разгадано. Вдали от Солнца комета представляет туманную шарообразную массу. По мере приближения к Солнцу из нее начинают выделяться струи («излияния»), направленные к Солнцу, которые затем загнутся назад и образуют «оболочку» кометы. Более плотная часть кометы называется ядром; ядро с оболочкой составляют «голову» кометы. При дальнейшем приближении к Солнцу излияния отходят еще дальше от головы и образуют легкий «хвост» кометы. Иногда оболочек и хвостов бывает несколько. Хвосты направлены в сторону от Солнца, потому что на частицы, из которых они состоят, действует давле-

ние солнечных лучей и отбрасывает их. Действие это заметно сказывается на очень маленьких частицах, для более крупных оно незначительно, и тогда хвосты, состоящие из таких частиц, могут быть направлены к Солнцу и называются аномальными. Ког-

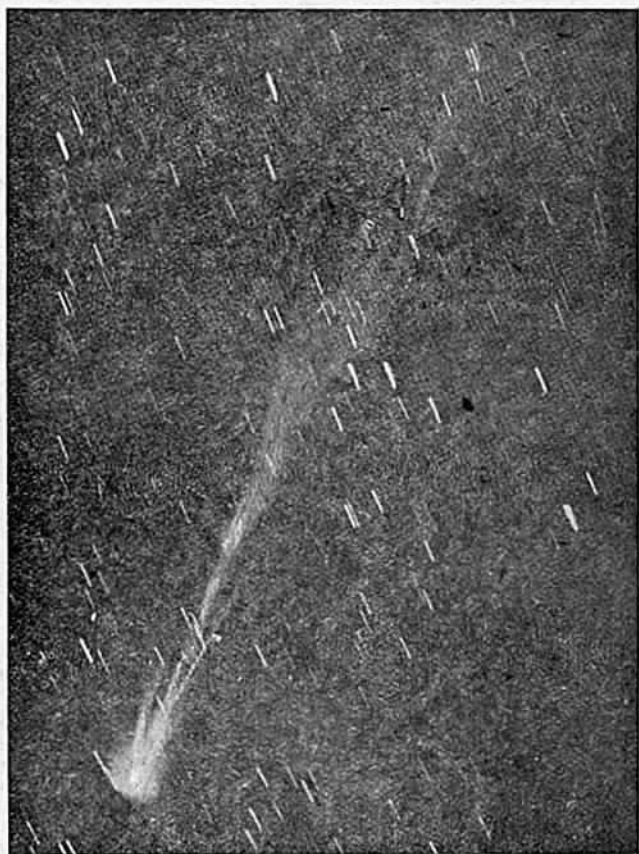


Фиг. 67. Вид большой кометы.

да комета удаляется от Солнца, то явления идут в обратном порядке, а на больших расстояниях от Солнца комета принимает прежний вид.

В зависимости от размеров кометных частиц на них по-разному будет сказываться действие давления солнечных лучей, и потому форма хвоста получается различной (фиг. 68). Измеряя форму хвоста, можно математически определить величину давления солнечных лучей на частицы, составляющие этот хвост, а сравнивая с опытными данными, полученными в лабораторных усло-

виях на Земле, — определить размеры этих частиц. Благодаря работам акад. Ф. А. Бредихина и проф. С. В. Орлова было установлено, что хвосты делятся на пять типов. Два из них составляют газовые хвосты, на которых отталкивательная сила солнечных лучей сказывается особенно сильно и превышает ньюто-



Фиг. 68. Фотография кометы.

Звезды вышли в виде черточек, так как инструмент следил за кометой.

новскую силу притяжения в десятки и сотни раз (даже до 4000). Эти хвосты прямые и состоят из окиси углерода и из азота. Остальные три типа хвостов — пылевые; размеры пылинок колеблются в пределах от 0.2 до 1 микрона и более, давление света превышает силу притяжения в 2.5 раза и меньше; эти хвосты искривлены тем больше, чем крупнее пылинки. Величина этих более крупных телец соответствует как раз размерам телескопических и обычных метеоров. Итальянский ученый Скиапарелли

предполагал, что выделение метеорных телец из кометы происходит под влиянием притяжения Солнца; тогда одна комета даст один метеорный поток. Акад. Ф. А. Бредихин принял во внимание непараллельность отдельных роев в потоках и сложность последних и считал, что выделение метеорных телец из одной кометы происходило под влиянием взрывов в этой комете. Теперь мы знаем, что многие метеорные потоки могут существовать независимо от комет.

Размеры комет иногда очень велики; бывали кометы с хвостами длиной более сотни миллионов километров; голова большой кометы 1811 г. имела поперечник более 1 миллиона километров. Сами же ядра комет ничтожны, и у двух комет, носящих имена астрономов Швассмана-Вахмана и Понса-Виппекке, они оказались не более 400 метров диаметром. Поэтому неудивительно, что, несмотря на большие размеры, кометы ничтожны по своей массе, которая, вероятно, составляет для самой большой кометы (1811 г.) не более одной миллиардной (10^{-9}) массы Земли, а для комет Морхауза (1908 III) и Галлея (1910 I) — не более одной биллионной (10^{-12}), как нашел в 1937 г. проф. С. В. Орлов. У некоторых комет было замечено вращение ядра.

Исследование яркости комет показывает, что с течением времени она постепенно ослабевает, вероятно, из-за того, что вещество комет рассеивается. Для короткопериодических комет, обращающихся вокруг Солнца в небольшие промежутки времени, порядка 10 лет, оказывается, что очень заметное распадение наблюдается уже всего за несколько сот лет. Продолжительность жизни комет, имеющих большие периоды обращения (долгопериодических), исчисляется, вероятно, тысячами и десятками тысяч лет. Орбиты комет — эллиптические; гиперболических орбит повидимому нет, и потому в настоящее время считается, что кометы принадлежат к Солнечной системе.

Эволюция комет и связь с астероидами

Что же делается с кометой с течением времени? Мы уже видели, что комета мало-по-малу разлагается, выделяя частицы, размеры которых такие, как размеры метеорных тел. Кроме того, указывалось, что когда тельца, входящие в состав кометы, попадают в земную атмосферу, то они дают метеоры, а если их много, то даже звездные дожди. Но ведь, с другой стороны, у комет есть ядра, как упоминалось, хотя бы в 400 м диаметром, в которых притом сосредоточена главная масса кометы. Что же делается с этим ядром?

Предположим, что действительно в Солнечной системе окажется старая комета, потерявшая свою газовую и метеорно-пылевую оболочку. От нее осталось только одно ядро, от которого, пожалуй, отнимать больше нечего. Оказывается, что по течении больших промежутков времени, главным образом, под

влиянием притяжения планет, вытянутая эллиптическая орбита ядра кометы становится менее вытянутой, приближаясь к круговой. Тогда такие ядра комет будут обращаться вокруг Солнца, как маленькие планетки. Остается их поискать. Есть ли они в Солнечной системе? Оказывается, что между орбитами Марса и Юпитера действительно имеется множество таких планет; они так и называются «малые планеты» или «астероиды». Их в настоящее время известно более $1\frac{1}{2}$ тысяч и ежегодно открывается несколько десятков новых. Размеры наибольшего астероида — несколько сот километров, наименьшего — менее километра. Все вместе они составили бы шар радиусом в 670 км, по массе в 1000 раз меньший, чем Земля.

По физическим свойствам астероиды чрезвычайно интересны. Во-первых, изучая их цвет и количество света, упавшего на них и отраженного, стало возможно сравнить их с веществами, находящимися на Земле. Оказалось, что они напоминают каменные породы. Во-вторых, удалось подметить, что множество астероидов обнаруживают правильные колебания яркости; эти колебания имеют период в несколько часов и указывают на то, что астероид как бы вращается и вдобавок, вероятно, имеет неправильную форму. Таким образом, можно думать, что астероиды представляют собою как бы каменные глыбы или очень большие метеориты неправильной формы. Из спектральных наблюдений над метеоритами потоков Персеид и Леонид установлено, что эти метеоры вызывались каменными метеоритными частицами; стало быть и кометы, выделившие их — комета 1862 III и 1866 I — тоже могут быть каменными. Таким образом, действительно астероиды могут быть ядрами выродившихся комет. Однако, это еще только научное предположение (гипотеза), выдвинутое в недавнее время, которое нельзя считать окончательным. Имеется и противоположная точка зрения, утверждающая, что, наоборот, кометы образовались путем распада (взрыва) астероидов при их столкновениях с крупными метеорными телами, которые проникают в солнечную систему из звездной вселенной. Будущие исследования покажут, где заключается истина; одно несомненно: астероиды и кометы — это два рода тел Вселенной, близкие друг к другу по своему характеру и эволюционно между собою связанные. Характер этой связи предстоит еще выяснить окончательно в будущем.

Рассеянная метеорная материя в Солнечной системе

В Солнечной системе наблюдаются некоторые явления, которые можно объяснить, предположив, что их вызывают массы метеорных частичек. К таким явлениям относятся: зодиакальный свет и противостояние, кольца Сатурна, внешние части солнечной короны и другие явления.

Зодиакальный свет. Вблизи Солнца на эклиптике наблюдается область рассеянного сияния, называемого зоди-

акальным светом (фиг. 69). В наших широтах он лучше всего наблюдается весной вечером, после захода Солнца, и осенью утром — до его восхода. Зодиакальный свет тогда представляется в виде молочно-белого нежного сияния в форме конуса или полуэллипса. Он хорошо заметен еще в $30-40^\circ$ от Солнца. Впервые зодиакальный свет был отмечен в IV веке, затем о нем забыли или просто не интересовались им, и в 1683 г. его снова открыли французские астрономы. Потом его стали наблюдать постоянно. В 1901 г. в Америке получили его первую фотографию, а в 1909 г. — фотографию его спектра. Было найдено, что по своему характеру зодиакальный свет — отраженный солнечный, и что его отражать могут лишь твердые частички вроде метеорных, но не газ. Приходится допустить, что Солнце окружено как бы чечевице-



Фиг. 69. Зодиакальный свет.

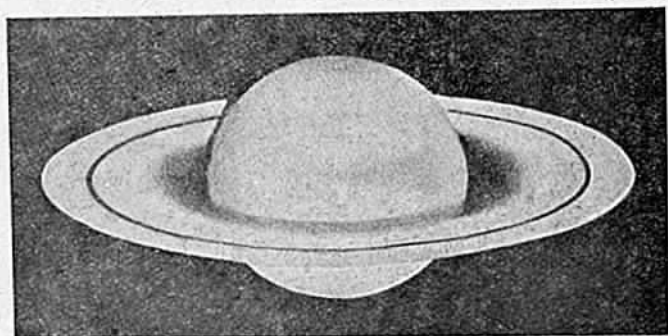
образным скоплением метеорных пылинок, расположенных в плоскости движения планет. Плотность этой рассеянной метеорной материи ничтожна: на основании измерения количества отраженного света она оказывается менее трех десятибillionных грамма на 1 куб. см (т. е. $3 \cdot 10^{-13}$ г/см³).

Одно время считали, что зодиакальный свет может вызывать торможение движения планет и комет, действуя как сопротивляющаяся

среда. Действительно, перигелий орбиты планеты Меркурия обнаруживает странное смещение, которое нельзя было объяснить законами небесной механики, а в движении кометы Энке вблизи ее перигелия были замечены неправильности такого порядка, как будто бы что-то задерживало движение этой кометы. В результате многих интересных работ, однако, было найдено, что плотность зодиакального света настолько ничтожна, что не в состоянии иметь заметного влияния на движение планет и комет. Движение же перигелия Меркурия было объяснено теорией относительности знаменитого ученого Эйнштейна (который вынужден был ныне эмигрировать из фашистской Германии в Америку), а неправильности в движении кометы Энке, очевидно, происходят от каких-то других причин.

Противосияние. В очень прозрачные и темные ночи можно видеть, что вечерний и утренний конусы зодиакального света соединяются между собой бледной, узкой и туманной полосой, идущей по эклиптике («зодиакальная полоса»). Она показывает, что зодиакальный свет простирается за орбиту Земли. В точке, которая находится прямо против Солнца, находится как бы более широкое овальное уплотнение, размером до $10^\circ \times 20^\circ$; оно и носит название «противосияния». Впервые его заметил и описал в 1803 г. естествоиспытатель Гумбольдт, когда он ехал морем к западным берегам Мексики. Для объяснения его можно предположить, что со стороны Земли, обратной от Солнца, находится в пространстве скопление метеорных частиц; достаточно, чтобы частицы диаметром в 1 мм находились в 8 км одна от другой.

Некоторые наблюдения показывают, что, может быть, вокруг Луны имеется своего рода «пылевая атмосфера» из очень мелких



Фиг. 70. Планета Сатурн.

метеорных частиц, потому что иногда во время лунных затмений тень от Земли была видна не только на Луне, но и на некотором расстоянии от нее.

Кольца Сатурна. 8 марта 1658 г. ученый Гюйгенс открыл в свой новый телескоп, что планета Сатурн (фиг. 70), которая больше Земли в 700 раз и отстоит от Солнца почти в 10 раз дальше, чем Земля (следовательно, на расстоянии в $1\frac{1}{2}$ миллиарда километров), окружена «кольцом тонким, плоским, нигде к нему не прикасающимся». Около 1675 г. французский астроном Кассини нашел, что оно двойное, а его сын, тоже астроном, в 1705 г. писал: «это кольцо может состоять из целой тучи маленьких спутников». Наружный диаметр кольца составляет громадную цифру в 280 000 км, внутренний — 180 000 км; кроме того, в 1850 г. было открыто более тусклое третье кольцо, еще более близкое к планете. Толщина колец ничтожна по сравнению с их шириной, всего несколько десятков километров, и масса их в целом вероятно не больше, чем масса нашей Луны. Таким

образом, вещество колец должно быть очень рассеяно. В 1848 г. математически было доказано, что кольца Сатурна не могут быть жидкими, иначе они превратились бы в рои спутников. Кольца не могут быть также сплошь твердыми, так как распались бы от притяжения самого Сатурна и его спутников, которых у него известно десять. Эти кольца не могут также состоять из газа, который быстро рассеялся бы. В 1857 г. англичанин, знаменитый физик, Максвелл доказал, что кольцо может быть в том только случае «устойчивым» (т. е. сохраняться долгое время), если оно будет состоять из множества отдельных спутников, вроде метеорных частиц. Теорией кольца Сатурна также занималась русская женщина-математик Софья Васильевна Ковалевская.

Теоретические последования того, что кольца Сатурна должны состоять из метеорных тел, были подтверждены следующими наблюдениями.

1) Оказалось, что спутники Сатурна и звезды просвечивают сквозь кольцо, когда они проходят позади него. 2) Спектроскопические наблюдения указывают на то, что наружные части кольца обращаются медленнее, чем внутренние, причем скорость обращения такая, какую должны были бы иметь отдельные спутники, если бы они здесь находились; на наружном крае кольца эта скорость составляет $16\frac{1}{2}$ км в 1 сек., а на внутреннем — $20\frac{1}{2}$ км в 1 сек. Одно из таких наблюдений, подтверждающих теорию, было сделано академиком Белопольским в Пулковской обсерватории уже 35 лет назад. 3) Измерения яркости кольца Сатурна (подобные измерения называются «фотометрическими») показывают, что эта яркость меняется так, что в некоторых случаях ее можно объяснить только тем, что частицы кольца закрывают, как бы заслоняют друг друга; кроме того, оказалось, что когда Сатурн становится прямо против Солнца, яркость кольца возрастает на 35%, потому что каждая такая частица заслоняет свою собственную тень (которая падает на другие частицы) и этим самым увеличивает общую яркость кольца. Стоит только наблюдателю отклониться немного в сторону от прямой линии Солнце — Сатурн, как тень выступает и кольцо становится менее ярким. Эти наблюдения дают возможность заключить, что только $\frac{1}{10}$ часть кольца занята метеорными частицами. Изучение характера отраженного света, что недавно было сделано акад. Шайном в обсерватории в Симеизе, в Крыму, показывает, что размеры частиц очень малы и в основной массе их можно считать пылинками. В итоге же, вероятно в кольце имеются частицы всевозможных размеров.

Луна и метеориты

Из астрономических наблюдений хорошо известно, что на поверхности Луны в очень большом количестве встречаются круглые образования, получившие названия лунных кратеров. Их число измеряется десятками тысяч; наибольшие из них, например, кратер Клавпус, имеют размеры более 200 км. Дно лунных

кратеров, вообще очень плоских, тарелкообразных по форме, лежит ниже окружающей местности, и иногда посредине его находится конусообразное возвышение, называемое центральной горкой. Иногда эта горка, дно кратера и внутренние и наружные склоны его вала покрыты более мелкими кратерами. Сами кратеры расположены, как попало, среди горных и равнинных мест-



Фиг. 71. Лучи лунных кратеров.

ностей (последние называются «лунными морями», хотя на Луне нет воды, как нет и воздуха). Несколько десятков кратеров имеют загадочные «лучи», в виде светлых полос, особенно хорошо видимых в полнолуние, расходящихся во все стороны от кратера. Некоторые лучи тянутся на сотни и даже тысячи километров по прямолинейному направлению (фиг. 71). Работы последних

лет в Америке со стодюймовым отражательным телескопом (рефлектором) показали, что эти лучи в действительности представляют собой легкие насыпи, возможно какого-то порошкообразного вещества, высотой не более 7—8 м. Это вещество упало сверху на поверхность Луны и потому без препятствий стелется по горным и прочим областям. Подобные лучи образуются вокруг воронок, вызванных на поверхности земли искусственными взрывами; фотографии их, сделанные с воздуха при аэрофотосъемке, очень напоминают фотографии расходящихся лучей лунных кратеров. Таким образом, несомненно, что лучи представляют собою распыленное вещество, выброшенное из кратеров. Какая могла быть этому причина? Очевидно — взрыв, который произошел в кратере или на его месте при его образовании. Причиной таких взрывов могут быть вулканические явления, а также, как мы уже знаем, метеоритные падения. На Луне последние особенно были бы заметными, так как там нет атмосферы, и метеориты ударяются о ее поверхность с космической скоростью, отчего ее поверхность со времен затвердевания должна была покрываться кратерообразными углублениями, начиная от микроскопических и кончая, вероятно, такими же большими, которые наблюдаются теперь в виде лунных кратеров.

В настоящее время нельзя считать окончательным ни вулканическое, ни метеоритное объяснение лунных кратеров. Во всяком случае метеоритная гипотеза образования 50—60 кратеров с лучами сейчас вызывает меньше возражений, чем какая-либо другая. Если изучать эти кратеры, как это делал французский астроном Бослер, то окажется, что они образовывались сравнительно очень редко падавшими метеоритами. Известно, что форма кратера не зависит от угла падения метеорита, а получается всегда круглой. Изучение отражательных способностей лунной поверхности и других ее характерных черт показало, что больше всего вещество лунной поверхности напоминает стеклянные метеориты (дектиты), о которых упоминалось, что они, вероятно, образовались при падении кратерообразующих метеоритов, так как их несколько раз находили в виде остеклованных масс вокруг метеоритных кратеров. Если за время существования Луны (около двух миллиардов лет) метеоритные тела падали на нее так же часто, как сейчас на Землю, то каждый квадратный километр лунной поверхности уже подвергался бы в среднем одному удару такого тела, а число гигантских метеоритов, которые могли бы образовывать кратеры с лунными лучами, было бы примерно действительно равно числу имеющихся на Луне подобных кратеров.

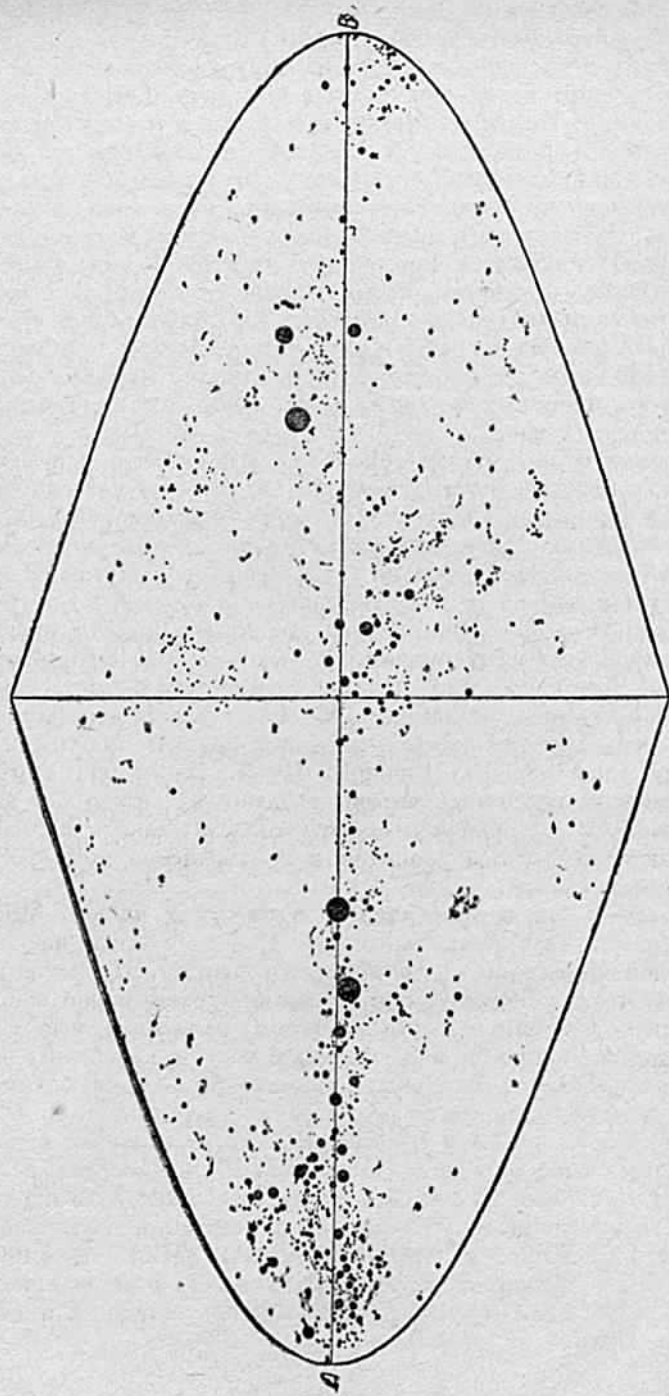
Метеорное вещество в звездной Вселенной

Где кончаются пределы Солнечной системы и начинается область других звездных миров? Оказывается, что расстояния наиболее удаленных точек кометных орбит («афелиев») составляют

до 100 000 расстояний Земли от Солнца (это расстояние принимается за «астрономическую единицу».) Влияние соседних с Солнцем звезд не сказывается заметно на малых расстояниях, но становится заметным, когда они достигают десятков тысяч астрономических единиц. На расстояниях в несколько сот тысяч астрономических единиц находятся ближайшие к нам звезды. Если бы какая-нибудь комета или метеорная частица проникла к нам в Солнечную систему от ближайшей звезды, то на это ей пришлось бы затратить не менее 10 миллионов лет. Если в междוזвездном пространстве находится метеорное вещество в виде равномерно распределенной массы метеорных частиц, то вблизи Солнца, из-за его притяжения плотность этого вещества должна быть в 4—5 раз больше. В Солнечной системе одна такая частица приходится на каждые 1800 куб. км пространства, а на одну кубическую астрономическую единицу приходится не менее 10 тысяч миллиардов (10^{10}) метеорных частиц.

Изучение скоростей метеоров показывает, что часть метеорных тел, дающих обычные метеоры, некоторые телескопические метеоры и болиды, принадлежит Солнечной системе. Другая часть, дающая заметную долю обычных метеоров и большую часть болидов и метеоритов, движется по гиперболическим путям со средней скоростью в 60 км в 1 сек. на расстоянии от Солнца в 1 астрономическую единицу. Телескопические метеоры обладают еще большими скоростями и в среднем распадаются на 3 группы: одну со скоростью меньше 40 км, вторую — в 80—85 км и третью с колоссальной скоростью около 140—145 км в 1 сек. Некоторые думают, что метеоры этой последней группы проникли даже из-за пределов нашего Млечного Пути. Благодаря тому, что орбиты многих метеорных частиц незамкнуты, ежегодно из Солнечной системы из пределов орбиты только планеты Юпитера по гиперболическим путям уносится в пространство 10^{10} — 10^{11} тонн метеорного вещества.

Само межзвездное пространство в пределах нашего Млечного Пути, к которому принадлежит наше Солнце в числе нескольких миллиардов других звезд, не является пустым. Наблюдения показывают, что, во-первых, оно заполнено равномерно газовыми частицами — атомами кальция и натрия; во-вторых, в нем местами находятся скопления масс пылевых частиц, вероятно, метеорного строения. Эти «пылевые туманности» бывают светлыми, если их освещает свет близких от них звезд, или темными, если таких звезд поблизости нет. Эти темные туманности особенно отчетливо выступают на фоне Млечного Пути (фиг. 72) и частично, а иногда и полностью, заслоняют лежащие за ними звезды; если же темная туманность менее плотна, то свет звезд, проходя через нее, претерпевает изменение, и звезды получают легкую красноватую окраску. Замечательно то обстоятельство, что наибольшее число темных туманностей группируется вблизи основной плоскости Млечного Пути.



Фиг. 72. Распространение темных туманностей в Млечном Пути.

Диаграмма представляет проекцию небесной сферы на плоскость. Млечный Путь располагается вдоль прямой AB. Черными кружками и точками нанесены темные туманности соответственно их размерам.

Некоторые ученые думают, что недалеко от Солнечной системы, по направлению к созвездию Змееносца, находится край одной из темных туманностей, простирающейся на некоторое расстояние дальше. Может быть, телескопические метеоры и даже часть обычных метеоров как-нибудь связаны с этой туманностью. Здесь мы подходим к одному из важнейших вопросов мироздания и видим, что роль, казалось бы, ничтожных метеорных пылинок становится заметной и значительной. Оказывается, что метеорная материя, повидимому, имеет всеобщее распространение во Вселен-



Фиг. 73. Темная метеорная материя вблизи центральной части Большой туманности Андромеды, находящейся от нас на расстоянии полумиллиона световых лет

ной; так, например, ее присутствие обнаруживается не только в нашем Млечном Пути, как упоминалось, но также в других млечных путях, называемых галактиками (фиг. 73), особенно, если эти галактики наблюдаются сбоку; тогда видно, как темная материя словно опоясывает такую галактику наподобие того, как это уже было отмечено для нашей галактики — Млечного Пути. Число галактик, из которых каждая состоит из сотен тысяч миллионов звезд, само исчисляется десятками миллионов, и расстояние до них измеряется такими протяженностями, которые свет проходит в миллионы и десятки миллионов лет, хотя за каждую секунду он пробегает триста тысяч километров.

Работы последних лет, произведенные коллективом ученых, дали много ценных сведений для познания природы метеорного вещества, для выяснения вопросов его происхождения, его движения в Солнечной системе и, в частности, для изучения тех явлений, которые возникают при его проникновении в атмосферу Земли. Проблема метеорного вещества ныне уже не может рассматриваться обособленно — она целиком включается в великую цепь исследований окружающего нас внешнего мира и кладет свой кирпич в общий фундамент познания Вселенной.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ИНСТРУКЦИЯ К ПЕРВОНАЧАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ МЕТЕОРОВ

Изучение звездного неба

Перед тем как приступить к наблюдениям метеоров, нужно непременно познакомиться с главнейшими фигурами созвездий и научиться ориентироваться на звездном небе. Для первоначального знакомства очень удобна подвижная карта звездного неба, которая по определенной дате и часу устанавливается так, что дает вид неба для этого момента.

Прежде всего необходимо познакомиться с созвездиями вблизи северного неба, которые видны в любое время года и ночи. Всем известна Большая Медведица и Полярная звезда. Исходя от них, не трудно найти созвездие Кассиопеи, Цефея, Дракона. В зависимости от времени года на вечернем небе мы найдем и другие созвездия. Зимой — это блестящие созвездия Ориона, Близнецов, Тельца, Большого и Малого Пса и др.; весной — Лев, Дева, Волосас; летом — Лебедь, Лира, Геркулес, Скорпион; осенью — Орел, Персей, Андромеда. Здесь речь идет о созвездиях, видимых по вечерам. Надо научиться безошибочно находить главные отличительные фигуры созвездий, например, трапецию Головы Дракона, параллелограмм Лыры, крест Лебедя, фигуру гигантского бумажного змея Волосаса и т. д.

Следующим этапом изучения звездного неба будет знакомство с созвездиями по звездному атласу, например, малому атласу проф. А. А. Михайлова или проф. К. Д. Покровского. Надо научиться правильно выбирать карты для соответствующего участка неба, верно ориентировать их по отношению к небу в данный момент и т. д. Легко ориентироваться в картах атласа, привыкнуть к масштабу карт — является обязательным условием для будущего последователя метеоров. Известны случаи, когда плохое знание звездных карт и неумение ориентироваться на небе сводили на-нет все старания усердных, но неаккуратных наблюдателей.

Затем следует научиться распознавать яркость звезд по их звездным величинам, из которых каждая в 2.5 раза ярче следую-

щей, более слабой величины. Это легко сделать, смотря на условные обозначения яркости звезд на картах звездных атласов. Кроме того, полезна следующая табличка:

Яркости некоторых небесных светил в звездных величинах

Луна в полнолуние	—12	ав.	вел.
Луна в I или III четв.	—9	»	»
Венера	—3—4	»	»
Юпитер	—2.5	»	»
Сатурн	—1.5	»	»
Капелла, Вега, Арктур	0	»	»
Альдебаран, Спика	1	»	»
α Большой Медведицы	2	»	»
Полярная звезда	2.5	»	»
γ Персея	3	»	»
ε Персея	4	»	»

Звезды на пределе зрения нормальной остроты в безлунную ночь близ зенита имеют яркость 6-й величины.

Различная видимая окраска звезд является хорошо известным фактором; тем не менее оценить цвет звезд простым глазом очень трудно. Надо попробовать тренировать глаз на распознавании цветовых оттенков звезд. Для оценки цветов астроном **Остгоф** предложил цифровую шкалу, названную его именем. Приводим значения основных баллов шкалы **Остгофа**: 0 — белый; 4 — желтый; 7 — оранжевый, 10 — красный. Промежуточные баллы обозначают смешанные цвета, например балл 6 словами можно описать как «желто-оранжевый» и т. п. Приводим цвет некоторых ярких звезд по **Остгофу**:

Цвета некоторых звезд в шкале Остгофа

Сатурн	1 балл
α Льва	2 балла
Процион	3 »
Полярная	4 »
α В. Медведицы	5 баллов
Альдебаран	6 »
Бетельгейзе	7 »
Антарес	7 »

Различать цвета звезд удается невооруженным глазом обычно до звезд 3-й величины; дальше необходимо применение инструментов.

Уже во время подготовительного ознакомления с небом, которое может занять несколько вечеров, наблюдатель, без сомнения, заметит метеоры. К их наблюдениям он сможет перейти уже подготовленным,

Наблюдательный пункт

Как оборудовать место для наблюдений? Этот простой вопрос тревожит начинающих наблюдателей. Наблюдательный пункт должен быть расположен в месте, защищенном от лунного и искусственного света; с него должна хорошо быть видна избранная область неба. Таким требованием удовлетворяет какой-нибудь темный угол сада или двора, чердак, крыша и т. п. Наблюдатель располагается лицом к избранной области неба, лежа или полусидя, с откинутой головой. Скамья, кресло, кушетка — все может быть приспособлено для этой цели. Освещение, необходимое для записи, не должно слепить глаза. Можно пользоваться карманным электрическим фонариком, прикрыв его стеклом желтой или светлорозовой бумагой, или устроить потайной фонарь со свечой или керосиновой лампой. В последнем случае удобно воспользоваться чрезвычайно широко распространенным фонарем типа «Летучая мышь», не гаснущим от ветра; фонарь можно поместить в картонный футляр, чтобы защитить глаза от прямого света.

Фонарь удобно поставить на столик или табуретку, находящиеся рядом с наблюдателем. На освещенном, видном месте располагаются часы, выверенные с точностью до 1 мин. Часы годятся любые, не слишком плохие, лучше карманные, но можно употреблять и будильник, и даже ходики. Однако обязательно следует выверять правильность показаний часов в день наблюдений по радио. Проверка часов по радио передается мощной станцией им. Коминтерна в Москве ежедневно в 12 и 18 (8 вечера) часов по московскому времени из Московского астрономического института им. П. К. Штернберга. Широкое распространение радио по всей стране позволяет довольно легко производить теперь проверку показаний часов до 1 мин.

Рядом с часами должны лежать звездные карты и журнал наблюдений. Их следует прикрепить кнопками к листу фанеры, чтобы можно было легко брать их в руки, класть на колени и т. п.

Вот и все нехитрое оборудование пункта для наблюдений метеоров. Его в дальнейшем можно рекомендовать дополнить фотографической камерой для получения снимков метеоров и светосильным биноклем для наблюдения светящихся следов, которые остаются после полета ярких метеоров.

Два слова об одежде наблюдателя. Она должна быть достаточно теплой по сезону, потому что в неподвижном положении очень легко озябнуть, а всякие неудобства и помехи сильно ухудшают качество наблюдений.

Определение радиантов и физических свойств метеоров

В пространстве метеорные тела движутся обычно целыми группами и роями. Когда такой метеорный рой встречается с Землей, наблюдателю кажется, вследствие перспективы, что метеоры,

(в действительности движущиеся по параллельным путям) как бы вылетают из одного небольшого участка неба — радпанта. Положение радпанта среди звезд определяет путь метеорного роя в пространстве. Поэтому важно прежде всего определить радпант, т. е. точку пересечения продолженных назад (против направления полета) путей метеоров. Для этого все метеоры должны заноситься на звездные карты.

В зависимости от величины и скорости частиц, вторгающихся в земную атмосферу, метеоры будут иметь различную яркость, окраску, оставлять следы и т. п., иначе говоря, иметь различные видимые физические свойства. Наблюдения физических свойств, характеризующих размеры и кинетическую энергию метеорных частиц, являются второй составной частью первоначальных наблюдений.

Для производства этих наблюдений необходимо выбрать соответствующий метеорный поток или интересный участок неба. Главные метеорные потоки, наблюдаемые у нас, следующие:

№	Название	Время наиболее интенсивного действия	Р а д п а н т		
			α	δ	близ звезды
1	Квадрантиды . .	1—4 января	231°	+52°	γ Дракона
2	Лириды	16—23 апреля	272	+33	α Лирь
3	γ Акварида . .	1—5 мая	335	— 1	γ Водолея
4	δ Акварида . .	20—31 июля	338	—12	δ Водолея
5	Персеиды . . .	1—20 августа	46	+56	γ Персея
6	Дракониды . . .	7—10 октября	268	+60	ξ Дракона
7	Ориониды . . .	16—23 »	90	+14	α Ориона
8	Леониды	10—18 ноября	151	+22	γ Льва
9	Геминиды . . .	5—15 декабря	112	+33	α Близнецов

См. также в табл. 6 (стр. 97).

Наиболее интересными участками неба для систематического изучения от ночи к ночи являются Северная Полярная область неба к северу от круга склонения +50°; для наблюдателей, живущих на широтах от 45° и южнее, — экваториальная зона неба, а именно: участок, находящийся в данное время вблизи меридиана.

Наблюдения в избранной области неба обычно начинаются в определенное время, заносимое в журнал наблюдений. Наблюдатель, обращенный лицом к этой области неба, спокойно и медленно, стараясь избежать какого бы то ни было напряжения, «блуждает» по небу глазами, ожидая полета метеора. Как только метеор пролетел, необходимо самым внимательным и тщательным образом заметить его путь между звездами. Следует рассуждать примерно так: «Метеор вспыхнул на середине прямой, соединяющей звезды δ и α Андромеды. Откуда его полет шел под углом в 30° вниз от этой прямой. Над звездой β Пегаса, находясь от нее на расстоянии 5°, метеор угас».

Для лучшего запоминания пути рекомендуется применять тонкую линейку или карандаш, которые можно держать на вытянутой руке, располагая ее вдоль линии полета метеора. На основании таких соображений путь метеора заносится на карту тонкой карандашной чертой в виде стрелки. Около точки потухания ставится текущий номер. Момент полета записывается с точностью до 1 мин. в журнал наблюдений. Так как невозможно одновременно заносить метеор на карту и замечать время по часам, то можно, зная время, нужное для занесения пути на карту (обычно 1—1.5, редко 2 мин.), вычитать его из показания часов, взглянув на них после зарисовки пути.

Физические свойства записываются в том же журнале. Яркость оценивается с точностью до 0.5 зв. вел. сравнением со звездами в области наблюдений. Цвет ярких метеоров записывается по шкале Остгофа (см. выше). Особо внимательно следует отнестись к определению продолжительности полета, которую начинающие наблюдатели обычно переоценивают. Для правильной оценки продолжительности времени полета необходимо выработать в себе правильное чувство меры времени — секунды. Можно говорить скороговоркой перед часами с секундной стрелкой: «раз-два-три-четыре-пять», что займет около 1 секунды. Можно бросать с различной высоты небольшие тяжелые шарики или кусочки и наблюдать время их падения, зная, что приблизительно путь, пройденный падающим телом, составляет:

За 0.1 сек.	около 5 см
» 0.2 »	» 20 »
» 0.3 »	» 45 »
» 0.5 »	» 1.25 м
» 1.0 »	» 5 »

Очень важно отмечать наличие светящихся следов, которые остаются после полета ярких и быстрых метеоров. Если след был видим, то необходимо отметить его границы вдоль пути метеора на звездной карте и записать продолжительность его видимости. Чрезвычайно интересно проследить за следом в светосильный бинокль и зарисовать его последовательные положения среди звезд в течение всего его свечения. Таким способом возможно установить наличие воздушных токов в высоких, недоступных нам, областях стратосферы.

Образец журнала наблюдений приводится ниже. Графа «Координаты начала и конца путей метеоров» заполняется позже, после производства соответствующих измерений на звездных картах. Если для наблюдений употреблялись так называемые гномонические карты, на которых для нахождения радианта достаточно продолжить назад пути метеоров, то эта графа может оставаться незаполненной.

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОВ

Наблюдатель
 Место наблюдений
 Координаты { Широта
 Долгота от Гринича
 Высота над уровнем моря
 Дата Время (какого пояса)
 Поправка часов
 Область наблюдений Метеорный поток
 Состояние неба (ясно, Луна, туман, проходящие облака)
 Состояние наблюдателя (усталое, бодрое и т. д.)
 Начало наблюдений Перерывы от до
 Конец наблюдений Примечания

№	Время полета		Яркость	Цвет	Продолж. полета	Продолж. видности следа; примечания.	Координаты метеора			
	час.	мин.					начало		конец	
							α_1	δ_1	α_2	δ_2

Подпись наблюдателя

Определение высот метеоров

Значительно большую ценность имеют наблюдения метеоров не на одного, а на двух или более пунктов (корреспондирующие наблюдения), при помощи которых можно определить высоты метеоров, общих для этих наблюдателей. Наблюдения на каждом пункте ничем не отличаются от описанных выше. Необходимо лишь правильно расположить наблюдателей и условиться об общем времени наблюдений. Линия, на концах которой располагаются пункты наблюдений, называется базисом. Базис должен иметь длину не менее 40 и не более 150 км. Направление базиса должно быть по возможности перпендикулярно к направлению на избранную область наблюдений неба.

Высот метеоров до сих пор определено еще мало; их опубликовано в мировой научной печати около 4000, поэтому каждое новое данное является ценным вкладом в науку. О более сложных визуальных наблюдениях в этой инструкции говорить не будем.

Фотографирование метеоров

Успехи советской точной индустрии доставили в руки многих тысяч любителей прекрасные светосильные объективы: 1:4.5 (Ортагов) и 1:8.5 (Индустар), которые могут быть превосходно

ЖУРНАЛ ФОТОГРАФИРОВАНИЯ МЕТЕОРОВ

Наблюдатель
 Место наблюдения
 Координаты { Широта
 Долгота от Гринича
 Высота над уровнем моря
 Объектив, тип светосила
 Пластины, размер чувствительность
 Время (какого пояса?) Точная (до 1 сек.) поправка часов
 Область фотографирования

№ пласт.	Дата	Начало	Конец	П е р е р ы в ы						Примечание
		экспозиции		от	до	от	до	от	до	

использованы для попытки фотографировать метеоры. Эта последняя работа хотя и является нетрудной, но требует большого терпения и выдержки. До сих пор во всем мире получено лишь несколько сотен метеорных фотографий. Каждая из них представляет большую научную ценность, а одновременный снимок метеора двумя камерами, расположенными на концах базиса для определения высот метеоров, будет являться очень серьезным достижением.

Для фотографирования метеоров необходимы пластинки самой высшей чувствительности, какие только может раздобыть наблюдатель. Перед фотографированием необходимо тщательно сфокусировать аппарат. Для этого аппарат направляется на яркую звезду, и в нескольких положениях кремальеры (или объективного кольца) делается несколько выдержек по 10—20 сек. Вследствие суточного движения неба звезда оставит на пластинке ряд черточек. Из них самая тонкая будет соответствовать правильной фокусировке аппарата на бесконечность. Установленный по фокусу аппарат неподвижно направляется на область радиканта. Экспозиция может продолжаться от 30 мин. до 2 час. в зависимости от помех — Луны и искусственного света, — которые могут завуалировать пластинку. Для того чтобы снимок можно было измерить, надо точно (до 1 сек. по хорошим выверенным часам) записать время начала и конца экспозиции, а кроме того, время от времени закрывать объектив (например через каждые 20 мин. на 30—40 сек.), также тщательно записывая время перерывов. Образующиеся на суточных дугах звездных изображений перерывы послужат опорными точками для измерения снимков. Но, кроме того, совершенно необходимо знать точный момент полета

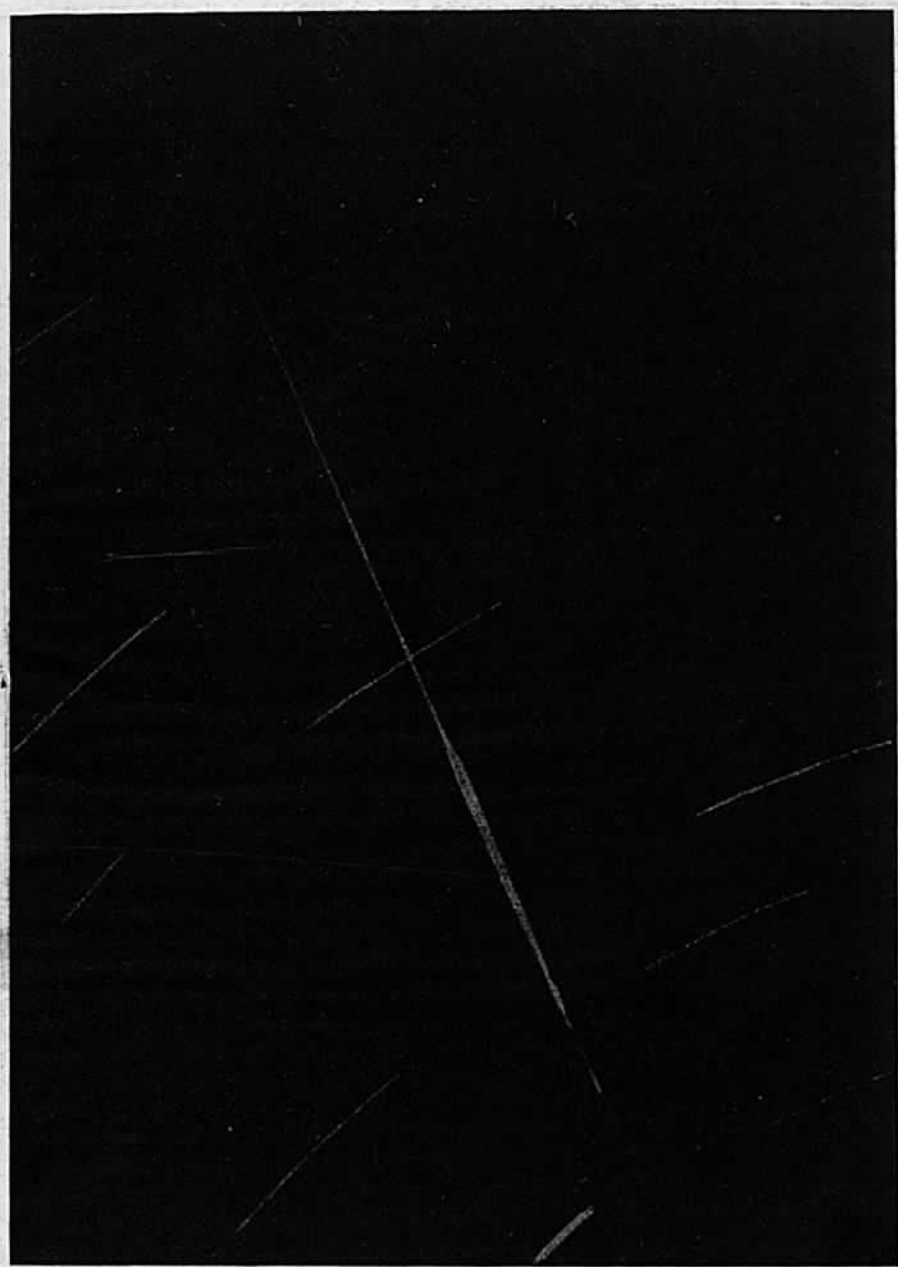
метеора, который выйдет на пластинке. Поэтому удобно фотоаппарат ставить рядом с наблюдателем, работающим по программе обычных визуальных наблюдений. Однако необходимо делать в этом случае исключение для очень ярких метеоров (ярче 1-й величины), которые могут выйти на пластинке, и особенное внимание обратить на запись точного (до 1 сек.) момента их полета, отодвинув производство прочих наблюдений на второй план.

Образец журнала метеорных фотографий приведен выше.

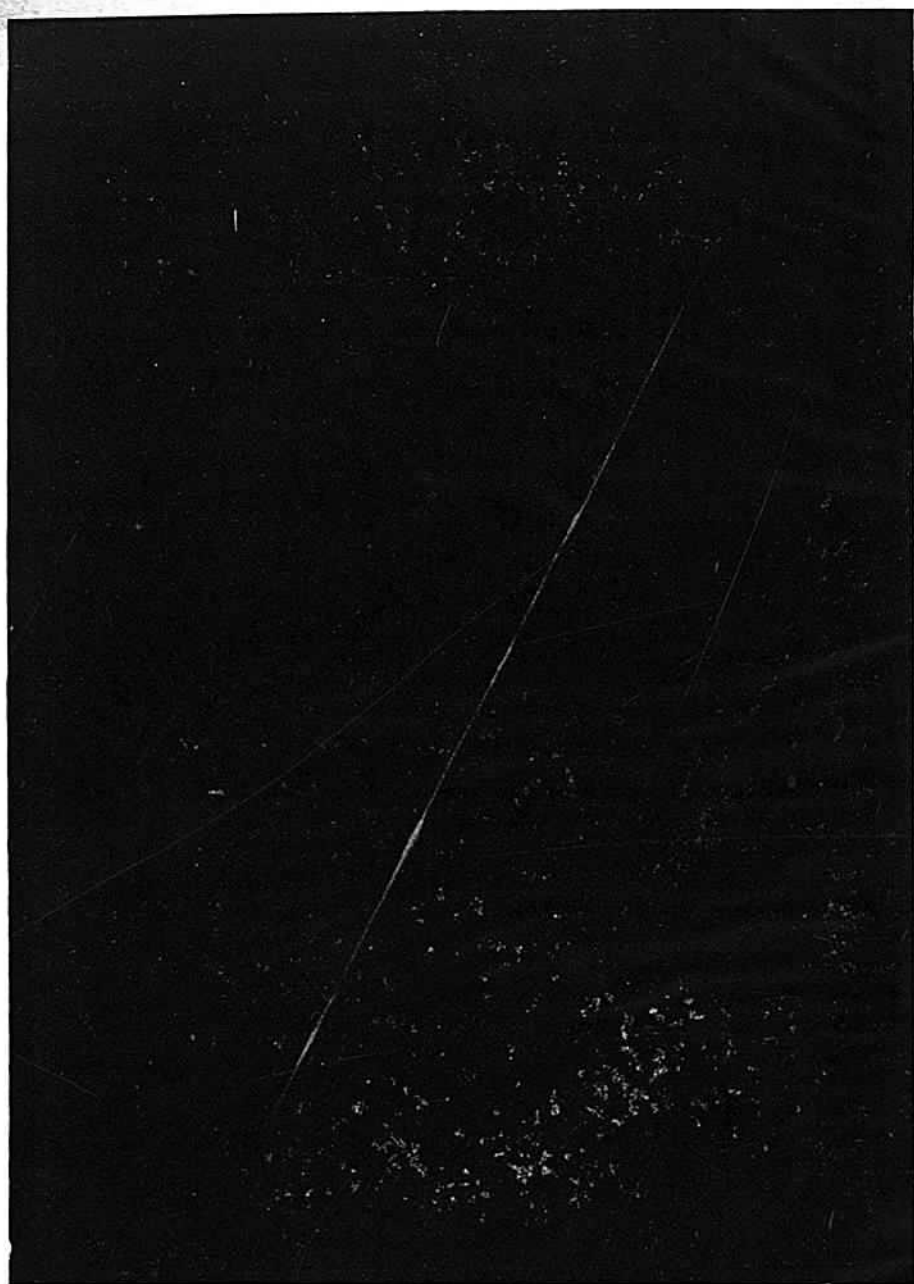
Обработка наблюдений

В первоначальной инструкции мы не можем хоть сколько-нибудь осветить этого вопроса. Необходимо твердо запомнить, что всякое наблюдение необходимо обработать, а результаты опубликовать, чтобы оно не пропало бесследно, а явилось вкладом в материалы науки.

Обработка и опубликование наблюдений не по силам начинающим любителям на первых порах. Поэтому необходимо все без исключения материалы направлять в подлинниках в Центральное Метеорное Бюро. В отдельных случаях, когда любитель имеет по своей квалификации возможность обработать наблюдения сам, программу этой обработки лучше всего согласовать во избежание параллелизма, так как обработки одних и тех же метеорных потоков, произведенные по всему Союзу, делаются сразу. Фотопластинки требуют особо тщательной обработки, а поэтому их, в хорошей упаковке надо присылать непременно в оригиналах.



Фиг. 3. Фотография метеора (11/VIII 1937 г.). Получена экспедицией
Московского Астрономо-геодезического общества в Симеизе.
Метеоры



Фиг. 13. Фотография метеора 8/VIII 1937 г. Получена экспедицией Московского
Астрономо-геодезического общества в Симеизе.

Метеоры



Фиг. 33. Спектр яркого метеора 12/VIII 1934 г. со вспышкой, полученный Коллективом наблюдателей Московского Астрономо-геодезического общества. Двойная яркая линия принадлежит кальцию, большинство остальных — железу

Метеоры



Фиг. 37. Фотография яркого метеора 14/VIII 1932 г. со взрывом.

Получен Коллективом наблюдателей Московского астрономо-геодезического общества под Москвой, при помощи «вращающейся мельнички», установленной перед камерой.

Метеоры

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
Падающие звезды, болиды, метеориты	5
Историческое развитие взглядов на метеоры	14
1. Метеоры в земной атмосфере	20
Определение высот метеоров	20
Высоты и скорости метеоров	26
Метеоры — явление в земной атмосфере	30
Атмосфера Земли	33
Строение атмосферы	35
Проникновение метеоров в атмосферу	42
Свечение метеоров	45
Размеры и масса метеоров	49
Торможение метеоров	51
Звуковые явления при полете метеоров	54
Разрушение метеорных частиц, пылевые следы	56
Газовые следы	62
Метеорная ионизация и радиоприем	64
Светящиеся ночные облака. Метеорный натрий в атмосфере	65
Метеорные явления и строение высших слоев атмосферы	68
2. Метеориты	72
Что такое метеориты?	72
Падение метеоритов	72
Метеоритные кратеры	75
Сибирский метеорит 30 июня 1908 г.	77
Число и величина метеоритов	80
Метеоритные группы и дожди	82
Особые случаи падения и находок метеоритов	84
Распределение падений метеоритов	87
Влияние метеорного вещества на Землю	89
Метеоритная активность в прошлом	90
Состав и строение метеоритов	90
Минералы метеоритов	92
Происхождение метеоритов	94
Как узнать упавший метеорит?	94
3. Метеорная материя во Вселенной	95
Метеорные потоки в Солнечной системе	95
Возраст метеорных потоков	104
Связь комет и метеорных потоков	104
Кометы и их распадение	105
Эволюция комет и связь с астероидами	108

Рассеянная метеорная материя в Солнечной системе	109
Луна и метеориты	112
Метеорное вещество в звездной Вселенной	114
<i>Приложение</i>	119
Инструкция к первоначальным наблюдениям метеоров	119
Изучение звездного неба	119
Наблюдательный пункт	121
Определение радиантов и физических свойств метеоров	121
Определение высот метеоров	124
Фотографирование метеоров	124
Обработка наблюдений	126

Введение, глава 1-я и Инструкция (стр. 5—72 и 119—126) написаны
В. В. Федькинским; главы 2-я и 3-я (стр. 72—118) — И. С. Астаповичем.

20812

Цена 4 руб.
K-609

11429188

RLST



0000000645559

1940