

МЕТЕОРЫ

Авторы: О. И. Белькович



Фотография метеора (Институт астрономии РАН).

МЕТЕОРЫ (от греч. μετέωρος – небесный), свечение в атмосфере Земли, вызванное вторжением в неё твёрдых метеорных тел (*метеороидов*). Взаимодействуя с атмосферой, метеорное тело теряет свою начальную массу, образуя т. н. метеорный след – полосу ионизованного газа и пыли вдоль траектории метеорного тела. М. выглядят как звездообразные объекты (внезапно возникающие, быстро движущиеся и угасающие), поэтому долгое время М. называли падающими звёздами. Светимость ярких М. может превышать светимость наиболее ярких

планет; такие М. называют *болидами*. При вторжении в земную атмосферу компактной группы метеорных тел, движущихся по общей орбите, наблюдается *метеорный поток*.

Наука о М. включает в себя метеорную астрономию, физич. теорию метеоров, метеорную геофизику, а также разделы, изучающие методы наблюдения М., метеорную радиосвязь и метеорную опасность.

Историческая справка

М. известны человечеству с глубокой древности, что отражено в легендах и мифах мн. народов. Первые документальные сведения о М. найдены в егип. папирусе, написанном за 2 тыс. лет до н. э. Записи о наблюдениях М. неоднократно встречаются

в старинных кит. рукописях начиная с 1768 до н. э. В др.-рус. летописях наиболее ранние записи о М. относятся к 1091, 1110, 1144 и 1215.

В 1798 впервые были определены высоты 22 М. по одновременным наблюдениям из двух пунктов, удалённых друг от друга на 14 км. Во время метеорного дождя 1832–33 гг. наблюдателями было замечено, что видимые пути М. исходят из одной точки небесной сферы, названной радиантом метеорного потока. На основании этого сделано заключение: траектории всех метеорных тел потока, вызвавшего метеорный дождь, параллельны, т. е. эти тела в космич. пространстве движутся по близким орбитам. В 19 в. была открыта связь метеорных потоков с кометами, вычислены орбиты ряда метеорных потоков, составлены каталоги большого числа радиантов метеорных потоков.

В 1885 чеш. астроном Л. Вейнек получил первую фотографию М. В 1893 амер. астроном Х. Элкин применил вращающийся затвор (обтюратор) для определения угловой скорости М. при фотографич. наблюдениях. В 1904 С. Н. Блажко получил первые фотографии спектров М. Фотографич. наблюдения М. приняли массовый характер в 1930–40-х гг. Базисные наблюдения М. (проводимые 2–3 фотокамерами, оборудованными обтюраторами и направленными в одну область небесной сферы) позволили определить траектории и скорости метеорных тел в пространстве и, следовательно, их орбиты.

В 1929–31 обнаружено влияние метеорной ионизации на распространение радиоволн, в 1942–44 проведены первые радиолокац. наблюдения метеоров.

Метеорная астрономия

Задачей этой области астрономии является изучение происхождения и эволюции метеорных тел, а также их распределения в межпланетном пространстве.

Метеорные тела могут возникать в ходе следующих процессов. При приближении к Солнцу кометы в её ядре происходит сублимация льда и высвобождение твёрдых частиц. Эти частицы продолжают движение по той же орбите, что и ядро кометы, образуя метеорный рой. Кроме того, метеороиды могут образовываться при столкновении астероидов друг с другом, а также при выбивании частиц из

поверхности твёрдых планет со слабой атмосферой (Меркурий, Марс) или спутников планет. Масса выбитых осколков, как правило, в 1000 раз больше, чем масса метеороида.

Ср. время жизни метеороида – ок. 10^5 лет. Частицы массой менее 10^{-16} кг «выметаются» из Солнечной системы под давлением солнечного излучения – для таких частиц сила давления света превышает силу притяжения Солнца. Тела с большей массой тормозятся в результате [Пойнтинга – Робертсона эффекта](#), метеороид по эллиптич. спирали приближается к Солнцу, где полностью сублимируется.

Распределение метеорных тел в межпланетном пространстве слабо изучено. Это объясняется тем, что наземные средства наблюдения регистрируют только те метеороиды, которые пересекают орбиту Земли (т. е. малую долю всего комплекса метеорных тел). КА могут регистрировать метеороиды вне орбиты Земли, но лишь в плоскости эклиптики, где, как правило, лежат орбиты КА.

Методы наблюдения метеоров.

При наблюдении М. применяются разл. методы, как визуальные, так и инструментальные (фотографические, оптические, радиолокационные и др.). С развитием инструментальных методов исследования М. визуальные наблюдения отошли на второй план. Однако на рубеже 20–21 вв. благодаря особым способам обработки визуальных наблюдений астрономам удалось довести их точность до уровня точности инструментальных методов. Это, в частности, позволило, используя старые данные (в т. ч. систематич. наблюдения Ф. А. [Бредихина](#)), проследить эволюцию метеорных роёв Персеиды и Леониды на интервале 120 лет.

В оптич. методах наблюдения применяют телескопы для усиления чувствительности аппаратуры и увеличения её разрешающей способности. В совр. оптич. методах в качестве светоприёмника используют ПЗС-матрицы, что позволяет регистрировать более слабые М. Если при фотографич. наблюдениях минимальная регистрируемая звёздная величина М. составляла, как правило, +3, то при совр. оптич. методах она достигает +4 ÷ +5.

Отражение радиоволн от ионизованных метеорных следов позволяет проводить радионаблюдения М. В отличие от визуальных и оптич. наблюдений, радионаблюдения могут проводиться круглосуточно, что совершенно необходимо для изучения метеороидов, орбиты которых пересекают орбиту Земли. Радионаблюдения М. подразделяются на радиолокационные и ракурсные (рассеяние вперёд). В первом случае антенны передатчика и приёмника расположены в одном и том же пункте (приборы могут иметь даже общую антенну). Импульсные радиосигналы посылаются в определённый участок небесной сферы, отражаются от метеорных следов и через приёмную антенну поступают в радиоприёмник. Затем сигнал поступает на аппаратуру регистрации, где фиксируются расстояние до метеорного следа, зависимость амплитуды сигнала от времени, длительность сигнала, скорость метеорного тела, углы прихода сигнала и, при базисных наблюдениях, вектор скорости метеороида. При рассеянии вперёд передатчик и приёмник удалены друг от друга на расстояние более 80–100 км, т. е. находятся вне пределов прямой видимости. В этом случае к точке приёма не поступает прямое излучение передатчика (т. к. используется метровый диапазон радиоволн), но приёмником могут быть зафиксированы сигналы, отражённые от метеорных следов.

Для изучения распределения метеороидов в межпланетном пространстве плотность их потока исследуется с помощью аппаратуры, установленной на космич. зондах. Для этих целей используются два типа устройств – пробойные датчики и оптич. системы с ПЗС-матрицами. КА позволяют также определить химич. состав мельчайших метеорных тел. Это удалось сделать, напр., в 1986, когда КА «Вега-1», «Вега-2» (СССР) и «Джотто» (Европейское космич. агентство) прошли через пылевой хвост кометы Галлея. В 2006 космич. зонд «Стардаст» (США) доставил на Землю образцы пылевых частиц кометы Вильда 2.

Физическая теория метеоров

Эта теория описывает физич. процессы, сопровождающие вхождение метеорного тела в атмосферу Земли: свечение и ионизацию атмосферы, отражение радиоволн от метеорного следа.

Метеорные тела, движущиеся по эллиптич. орбитам вокруг Солнца, входят в атмосферу Земли со скоростями 11–72 км/с. Характер их взаимодействия с атмосферой зависит от массы метеорного тела и его плотности. Если размеры метеорного тела намного меньше длины свободного пробега молекул верхней атмосферы, взаимодействие осуществляется в результате ударов отд. молекул о поверхность метеорного тела. Налетающие молекулы передают метеорному телу свой импульс и кинетич. энергию, что приводит к торможению, нагреванию и распылению метеорного тела. Интенсивное испарение (сублимация) метеорного тела начинается, когда темп-ра его поверхности достигает примерно 2000 °С. Дополнит. потеря вещества метеорного тела (т. н. абляция) может происходить в результате разл. видов дробления – отделения от метеорного тела более мелких твёрдых частиц или капелек. Метеорные тела с массами менее 10^{-12} кг тормозятся на высоте 110–130 км, не успев нагреться до темп-ры начала интенсивного испарения; их кинетич. энергия расходуется гл. обр. на тепловое излучение с поверхности метеорного тела. Потеряв часть своей начальной массы вследствие распыления, такие частицы оседают на поверхность Земли в виде микрометеоритов. Метеорные тела с массами больше 10^{-12} кг проникают в более плотные слои атмосферы, где роль потерь энергии на тепловое излучение с их поверхности сравнительно невелика. Метеорные тела с массами 10^{-12} – 10^{-2} кг, порождающие М. от +20 до –4 звёздной величины, практически полностью теряют свою начальную массу до того, как они успевают затормозиться в атмосфере. При движении в атмосфере более крупных метеорных тел (вызывающих яркие болиды) образуется ударная волна, которая приводит к уменьшению теплопередачи и, следовательно, к уменьшению потерь массы. Остатки таких метеорных тел могут выпадать на поверхность Земли в виде метеоритов.

Высоты М. зависят от начальной скорости метеорных тел и их плотности. По ср. плотности

ρ метеорные тела можно разделить на две группы: плотные [

$\rho = (1-5) \cdot 10^3$ кг/м³] и рыхлые [

$\rho = (0,2-1) \cdot 10^3$ кг/м³]. Высоты максимумов абляции (и, следовательно, максимума

блеска метеора и максимума ионизации метеорного следа) метеороидов 1-й группы

тем больше, чем больше их скорость, меньше начальная масса и плотность.

Метеороиды 2-й группы с массами менее 10^{-4} кг при нагревании распадаются на более мелкие частицы приблизительно одинаковой массы. Эти частицы в дальнейшем процессе абляции испаряются в атмосфере Земли на одинаковой высоте вне зависимости от начальной массы метеороида. Более крупные метеороиды не успевают полностью разрушиться, и высоты максимума свечения и ионизации у них уменьшаются с увеличением начальной массы.

Атомы, потерянные метеорным телом в атмосфере, в начальный момент имеют ту же скорость, что и метеорное тело, т. е. много больше ср. скорости молекул окружающего очень холодного воздуха. После ряда столкновений этих атомов с молекулами воздуха скорости частиц выравниваются (примерно через 10^{-3} с). В процессе столкновений происходит возбуждение нейтральных атомов (возвращение которых в осн. состояние сопровождается свечением), а также ионизация атомов метеорного тела. В результате возникает светящийся ионизованный метеорный след, свободные электроны которого способны когерентно отражать радиоволны. При высокой концентрации электронов метеорный след отражает радиоволны как металлич. цилиндр. В результате диффузии ионизованный метеорный след разрушается. Все метеорные следы располагаются в диапазоне высот 80–140 км.

Метеорная радиосвязь

Радиоволны метрового диапазона могут быть приняты антенной, находящейся только в пределах прямой видимости передающей антенны. В 1950-х гг. появилась идея использовать отражение радиоволн от ионизованных метеорных следов для передачи информации в УКВ-диапазоне на расстояние до 2200 км. Идея заключалась в следующем: в двух конечных пунктах радиотрассы приёмные и передающие антенны направляются в один участок неба над серединой трассы, и оба передатчика работают постоянно на излучение радиоволн (без передачи информации) в эту область. При появлении М., удовлетворяющего условиям зеркальности отражения радиоволн, приёмники начинают принимать сигналы удалённого передатчика. В этот момент включается система передачи полезной информации. Время передачи ограничивается временем существования ионизованного метеорного следа – от долей

секунды до нескольких секунд. Т. о., для передачи информации можно использовать не более нескольких процентов общего времени, а ср. скорость передачи (в пересчёте на единицу времени) составляет всего 10–15 байт/с. С появлением новых скоростных средств радиосвязи метеорная радиосвязь потеряла свою актуальность и используется лишь для привязки шкал двух разнесённых в пространстве стандартов времени (с точностью до 1 нс), а также для спецсвязи.

Метеорная геофизика.

Диапазон высот 80–110 км, в котором наблюдаются М., труднодоступен: для ИСЗ здесь слишком высока плотность воздуха (что приводит к сильному торможению и падению спутника), а ракетные зонды могут подниматься на эти высоты лишь на очень короткое время. Поэтому М. предоставляют уникальную возможность исследовать свойства атмосферы на этих высотах. Так, радионаблюдения за движениями метеорных следов позволили выявить здесь суточные и сезонные вариации ветров, а также определить характеристики турбулентных движений атмосферы.

Метеорная опасность

Метеорные частицы представляют некоторую опасность для КА: они могут повредить внешнюю аппаратуру, пробить борт орбитальной станции, обитаемого КА или скафандр космонавта, вышедшего в открытый космос. Из-за высокой скорости метеорного тела такие повреждения могут возникнуть даже при столкновении с метеороидом небольшой массы (10^{-5} – 10^{-7} кг). Поэтому все государства, принимающие участие в исследованиях космич. пространства, при проектировании КА производят расчёт их надёжности в условиях бомбардировки метеорными частицами.

Литература

Лит.: Кащеев Б. Л., Лебединец В. Н., Лагутин М. Ф. Метеорные явления в атмосфере Земли. М., 1967; Белькович О. И. Статистическая теория радиолокации метеоров. Казань, 1971; Бронштэн В. А. Физика метеорных явлений. М., 1981; он же. Метеоры, метеориты, метеороиды. М., 1987; ГОСТ 25645.112–84. Вещество метеорное. Термины, определения и буквенные обозначения. М., 1984; Волощук Ю. И., Кащеев Б. Л.,

Кручиненко В. Г. Метеоры и метеорное вещество. К., 1989.