

P. Кейдл

Твердые частицы в атмосфере и в космосе

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 52
ББК 22.6
Р11

P11 **Р. Кейдл**

Твердые частицы в атмосфере и в космосе / Р. Кейдл – М.: Книга по Требованию, 2013. – 284 с.

ISBN 978-5-458-27377-0

Автор поставил перед собой задачу – с единой точки зрения рассмотреть роль мелкодисперсного твёрдого вещества в земной атмосфере и космическом пространстве. Твёрдые частицы играют большую роль в процессе формирования осадков, загрязнении атмосферы пылью и радиоактивными выпадениями; не менее велика их роль и в проблемах безопасности космических полётов. Доп. информация: Книга представит большой интерес для читателей самых различных специальностей: астрономов, геофизиков, метеорологов, физиков, инженерно-технических работников различного профиля, военных специалистов.

ISBN 978-5-458-27377-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Одной из составляющих атмосферы и космического пространства является пыль. Содержание ее на разных высотах зависит от многих факторов. Если в нижней атмосфере содержание пыли определяется в основном процессами различных выбросов и общего перемешивания атмосферы, то в верхней атмосфере Земли содержание пыли определяется исключительно процессами прихода (захвата) и торможения метеорного вещества. Таким образом, уже сейчас достаточно хорошо установлено, что природа пылевой составляющей атмосферы Земли на различных высотах различна.

В настоящее время изучению пылевой составляющей атмосферы и космического пространства уделяется большое внимание. Этому вопросу посвящено большое количество работ исследователей различных специальностей: астрофизиков, оптиков, химиков, биологов, метеорологов, медиков и т. д.

Большой интерес к вопросу изучения пылевой составляющей привел к развитию нескольких, порой дополняющих друг друга методов исследования. Хотя проблема очень далека от завершения, тем не менее некоторые характеристики пылевой составляющей атмосферы Земли уже известны и вызывают серьезную тревогу. Это относится прежде всего к пылевой составляющей нижней атмосферы и приземного слоя, т. е. к той части атмосферы, в которой проходит деятельность человека. В этой связи очень важны высказывания академика И. Петрянова о необходимости эффективной борьбы за чистоту атмосферы («Правда» от 3 июня 1968 г.).

Дело в том, что рассеяние в атмосфере вредных примесей и процесс перемешивания нижних загрязненных и высотных чистых слоев воздуха протекают слишком медленно. В результате промышленные центры и индустриальные города накрыты гигантским колпаком воздуха, отравленного газами и аэрозолями, толщиной в сотни и тысячи метров. Во многих больших промышленных районах уже теперь трудно дышать.

Известно, что загрязнение воздуха над крупными городами ведет к изменению климатических условий, ускоряет разрушение металлоконструкций, зданий, одежды, создает помехи авиации, влияет на урожайность сельскохозяйственных культур и т. д.

Можно с достаточной уверенностью сказать, что на земном шаре практически нет незагрязненных мест. Поэтому изучение пылевой составляющей атмосферы и борьба за чистый воздух уже в настоящее время представляют задачу огромной важности, имеющую мировое значение.

Не менее важно изучение пылевой составляющей верхней атмосферы и космического пространства. Последние вопросы связаны с решением многих задач физики верхней атмосферы и космического пространства.

В этой связи следует указать, что изучение пылевой составляющей верхней атмосферы окажет существенную помощь в решении вопросов космогонии солнечной системы и космических полетов.

Имеющиеся в настоящее время данные о пылевой составляющей зодиакального облака, межзвездной среды и вообще космического пространства, полученные на основании решения обратной задачи рассеяния света и другими косвенными методами астрономии и астрофизики, достаточно скучны. Многие вопросы решены неоднозначно, или по крайней мере существует несколько точек зрения. Решение может быть получено только в результате прямых экспериментов. Прямые измерения пылевой составляющей космического пространства практически только начаты и получены первые сведения. Это касается прежде всего пылевой составляющей у поверхности Луны. Можно не сомневаться, что в недалеком будущем начнутся исследования межзвездной пыли.

Таким образом, книга известного американского исследователя Р. Кейдла посвящена важному разделу науки о пылевой составляющей атмосфер Земли и планет, межпланетной среды и Галактики.

Книга отражает современное состояние наших знаний практически по всем затронутым вопросам. Несомненно, изложение в одной книге такого обширного материала привело к некоторой конспективности, поэтому многие разделы книги могут быть восприняты главным образом как справочный материал, снабженный библиографией. Следует также отметить, что в книге практически отсутствуют результаты советских исследований.

Можно не сомневаться, что книга Р. Кейдла «Твердые частицы в атмосфере и космосе» будет полезна широкому кругу специалистов.

А. Микров

ПРЕДИСЛОВИЕ

Начало этой книге практически было положено в 1949 г., когда меня пригласили принять участие в изучении химического состава смога в Лос-Анджелесе, штат Калифорния. С тех пор мне неоднократно представлялась возможность выполнить ряд теоретических и прикладных исследований по мелким частицам, особенно по взвешенным в воздухе. Это заставило меня и моих сотрудников заняться такими делами, как полеты через пылевые облака, образовавшиеся при подземных взрывах тротила, участие в ядерных испытаниях, разработка и применение высокоскоростной аппаратуры для микрофотографии *in situ* ледяных частиц аляскинских ледяных туманов и сбор проб вулканических выбросов. Вдобавок мы выполнили множество лабораторных экспериментов. На основании моего опыта у меня создалось впечатление, что исследование мелких частиц — в такой же мере искусство, как и наука, и что методика, применяемая в одной области, например при изучении смога, может быть использована также в весьма отдаленных областях, таких, как исследование пыли в далеких галактиках. Кроме того, на меня произвело сильное впечатление многообразие способов, которыми частицы аэрозоля, возникающие из одного источника, влияют на частицы из другого источника, находящиеся в том же самом аэрозоле. Одним из примеров такого влияния является действие ядер сублимации, добавляемых в переохлажденное облако; другой пример — агломерация частиц, возникающих при высотных ядерных взрывах, с частицами естественного аэрозоля.

Из-за того что многие искусственные частицы по размерам и составу подобны частицам естественных аэрозолей и взаимодействуют с ними, большая часть книги посвящена частицам искусственного происхождения. Взвешенные в воздухе искусственные частицы все больше и больше вредят нашему здоровью и попросту мешают жить.

Эта книга, как и предыдущая моя книга под названием «Размеры частиц — теория и приложения ее в промышленности», по своему характеру является промежуточной между введением в вопрос и исчерпывающим трактатом. Она написана специально для тех ученых и инженеров, которые не являются специалистами по мелким частицам, или для тех, кто специализировался только в каком-либо одном вопросе этой проблемы и хочет узнать больше о природе частиц во Вселенной в целом. Я не пытался дать исчерпывающий обзор литературы, и ссылки на оригинальные работы даны лишь как примеры вследствие их особой важности или исторического интереса. Кроме того, даны многочисленные ссылки на обзоры и монографии, в которых вопросы, затронутые в книге, рассматриваются более подробно. Это позволит читателю, интересующемуся каким-либо частным вопросом, получить более детальную информацию, чем та, которую можно было изложить здесь.

Мир наводнен книгами, и новую книгу следует писать только тогда, когда есть надежда, что она удовлетворит какие-либо потребности. Целью этой книги было собрать в одном томе информацию о мелких частицах во Вселенной. Эта информация в основном рассеяна по обширной литературе, охватывающей такие дисциплины, как астрономия, загрязнение воздуха, физика облаков, метеорология, радиоактивные выпадения и космические исследования. Я полагаю, что такая книга будет полезна уже хотя бы вследствие исключительного разнообразия природы частиц, попадающих в определенную часть Вселенной. Например, частицы в нашей атмосфере возникают как при работе заводов, так и из лопающихся пузырьков в океанах или при распаде комет. Если мы хотим понять природу частиц в земной атмосфере, будет полезно рассмотреть более подробно все эти источники. Другой пример — это пыль на лунной поверхности, которая, вероятно, частич-

но состоит из собственно лунного вещества, а частично — из микрометеорных тел, постоянно падающих дождем на поверхность Луны.

Я признателен за помощь в подготовке этой книги целиком ряду лиц, в том числе всем предоставившим иллюстративный материал. Я хочу особо поблагодарить д-ра У. О. Робертса, директора Национального центра атмосферных исследований, вдохновившего меня на написание этой книги, и д-ра Э. Р. Аллена, д-ра Э. А. Мартелла и П. Сирса, просмотревших отдельные ее части.

P. D. Кейдл

*Боулдер, штат Колорадо
апрель 1966*

Г л а в а I

В В Е Д Е Н И Е

Мелкие частицы в атмосфере и в космосе представляют интерес по крайней мере по трем причинам. Во-первых, многие типы таких частиц имеют огромное практическое значение. Примером тому трагедия пылевых бурь на Великих равнинах США в 30-х годах. Другой пример — защита, которой должен быть снабжен космический корабль, чтобы свести к минимуму вероятность пробивания его поверхности микрометеорным телом. Во-вторых, знание природы и поведения частиц во Вселенной позволяет судить о других свойствах Вселенной. Например, отдельные типы частиц в нашей атмосфере, такие, как радиоактивные выпадения, пыльца и некоторые бактерии, служат индикаторами движений воздушных масс и говорят нам многое о динамике атмосферы. В-третьих, частицы как геологические и космические явления интересны сами по себе. Например, межпланетные частицы, по-видимому, ответственны за зодиакальный свет, и существование их поднимает многочисленные вопросы об их природе и происхождении.

В этой книге мы будем рассматривать все три перечисленных аспекта, но не все виды частиц. Необходимо ограничить диапазон размеров рассматриваемых частиц. Довольно произвольно мы ограничили этот диапазон размерами от $0,05$ до 10^4 мк (от $5 \cdot 10^{-6}$ до 1 см). Нижний предел немного перекрывается с коллоидным диапазоном, а верхний — с диапазоном, в котором возможны прямые измерения отдельных частиц без увеличения. Выбранный диапазон включает те частицы в нижней атмосфере, которые сохраняются во взвешенном состоянии в течение долгого времени, и более крупные частицы, такие, как дождевые капли, градины и большая часть метеорных тел.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ

Термины «частица» и «размер частицы» часто употребляются в очень неясном значении и требуют четкого определения. Неопределенность термина «частица» обычно возникает из-за необходимости различать агрегаты частиц и составляющие их «первичные» частицы. Термин «размер частицы» часто употребляется в очень неопределенном смысле даже для сферических частиц: он может означать либо радиус, либо диаметр.

Чтобы избежать этой двусмыслинности, были разработаны многочисленные определения размера частиц. Размер можно определить либо как статистическую характеристику, основанную на измерениях каждой из большого числа частиц в порошке или суспензии, либо исходя из какого-либо свойства суспензии, связанного с размером частиц. Измерения с применением оптической или электронной микроскопии и просеивания основаны на определениях первого типа, тогда как измерения рассеяния света, широко применяемые в атмосферных и астрономических исследованиях, основаны на определениях второго типа.

Статистическое определение диаметра, получившее широкое распространение, было предложено Мартином [1]. Он определяет размер как расстояние между противоположными сторонами частицы, измеряемое вдоль линии, делящей площадь проекции пополам. Необходимо усвоиться о направлении, вдоль которого проводятся измерения. Например, когда размеры определяются при помощи микроскопа, удобно пользоваться направлением, параллельным нижнему краю поля зрения. Очевидно, что результат измерения отдельной неправильной частицы зависит от ее ориентации, но путем измерения большого числа частиц можно получить статистически значимую величину.

Другое очень полезное определение размера — это диаметр круга, площадь которого равна площади проекции частицы. Для сравнения площадей существуют специальные окулярные микрометры (сетки) [2—4]; некоторые типы их имеются в продаже.

Для некоторых целей полезно определить и дать название отдельным интервалам размеров частиц. В системе, общепринятой для взвешенных в атмосфере частиц, они