

ВВЕДЕНИЕ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКУЮ ТЕХНИКУ

Учебное пособие в двух томах

*Под общей редакцией заведующего базовой кафедрой
управления и информационных технологий в космических системах
ГБОУ ВО МО «Технологический университет» профессора,
заслуженного деятеля науки Российской Федерации Г. Г. Вокина*

ТОМ 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. КОСМОДРОМЫ. НАЗЕМНЫЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАКЕТАМИ И КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ. РАКЕТЫ

2-е издание

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 629.76/.78
ББК 39.6
В24

А в т о р ы :

*А. П. Аверьянов, Л. Г. Азаренко, Г. Г. Вокин, Н. А. Кащеев,
Л. А. Мачнева, В. С. Чаплинский*

Р е ц е н з е н т ы :

доктор технических наук, профессор
В. А. Чобанян (ВА РВСН имени Петра Великого);
кандидат технических наук, доцент *А. А. Роганов* (РГУТиС)

В24 **Введение в ракетно-космическую технику** : учебное пособие
в двух томах. Том 1. Общие сведения. Космодромы. Наземные средства
контроля и управления ракетами и космическими аппаратами. Ракеты /
[А. П. Аверьянов и др.] ; под общ. ред. Г. Г. Вокина. – 2-е изд. – Москва ;
Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 380 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0682-6
ISBN 978-5-9729-0683-3 (Т. 1)

Даны теоретические и прикладные сведения из информатики, радиотехники, электроники и автоматики по всем основным разделам ракетно-космической науки и техники. Глубокое понимание вопросов, освещаемых настоящим изданием, необходимо для лиц, готовящихся стать хорошими специалистами в области разработки и использования космических систем различного назначения, в том числе систем связи, навигации, телевидения и мониторинга.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 24.00.00 «Авиационная и ракетно-космическая техника», 25.00.00 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной и ракетно-космической техники» и смежным с ними. Книга может быть полезной широкому кругу читателей, интересующихся ракетной техникой и космонавтикой.

УДК 629.76/.78
ББК 39.6

ISBN 978-5-9729-0682-6 © Издательство «Инфра-Инженерия», 2021
ISBN 978-5-9729-0683-3 (Т. 1) © Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

Ракетно-космическая наука и техника по своему содержанию являются, как известно, научно-техническими областями знаний синтетического характера. Их предметные области, связанные, в первую очередь, с осуществлением полетов в околоземном космическом пространстве и к небесным телам Солнечной системы, опираются на результаты и достижения целого ряда фундаментальных и прикладных наук. К этим наукам, в первую очередь, надо отнести механику, физику, радиоэлектронику, электротехнику, автоматику, астрономию, химию, теплотехнику, физику твердого тела, сопротивление материалов и т.д.

Для студентов, готовящихся стать специалистами в области создания космических систем научного, оборонного или социально-экономического назначения, в основе которых лежит широкое использование упомянутых выше областей науки и техники, а также смежных с ними научно-технических дисциплин, необходимо иметь четкие представления как об условиях работы космических средств целевого назначения, так и о требованиях к их характеристикам со стороны объектов-носителей этих средств – ракет и космических аппаратов – по самым разным аспектам. Эти сведения студенты получают, как правило, при чтении курсов вводного характера, содержание которых носит, как правило, усеченный характер и их до сих пор нельзя считать устоявшимся. На практике же при выполнении конкретных разработок студенты, аспиранты или молодые специалисты сталкиваются с очень широким кругом смежных вопросов, соприкасающихся с предметной областью ракетно-космической техники, которые при чтении учебных курсов по специальности не рассматриваются. Опыт чтения учебных курсов и подготовки специалистов в области космических систем различного назначения привел к выводу о целесообразности подготовки специального учебно-справочного пособия, в котором бы в краткой и доступной форме излагались ключевые сведения, прежде всего, прикладного характера из всех основных и смежных разделов ракетно-космической науки и техники, в чем, как правило, нуждаются будущие специалисты космического профиля как в учебной, так в практической работе. В связи с этим возникла настоятельная необходимость в подготовке соответствующего учебного пособия.

Данное учебное пособие подготовлено силами сотрудников базовой кафедры «Управление и информационные технологии в космических системах» МГОТУ, функционирующей при НИИ космических систем. При подготовке издания учтен опыт чтения вводных и специальных курсов для студентов и аспирантов, а также опыт руководства дипломным проектированием и практическими занятиями. При отборе тематических материалов для данного пособия широко использовались хорошо апробированные и отработанные информационные источники отечественных и зарубежных научно-технических изданий и периодической печати.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АА	- абонентская аппаратура
ААР	- абонентская аппаратура ретрансляции
АМ	- амплитудная модуляция
АМС	- автоматическая межпланетная станция
АС	- антенная система
АСУ	- автоматизированная система управления
АТ	- азотный тетраоксид
АФУ	- антенно-фидерное устройство
БА	- бортовая аппаратура
ББ	- боевой блок
БКУ	- бортовой комплекс управления
БЦ	- баллистический центр
БЦВМ	- бортовая цифровая вычислительная машина
БШВ	- бортовая шкала времени
ВВХ	- вероятностно-временные характеристики
ВК	- вычислительный комплекс
ВОГ	- волоконно-оптический гироскоп
ВТО	- высокоточное оружие
ВЧ	- высокочастотный
ВЭО	- высокоэллиптическая орбита
ГДЛ	- газодинамическая лаборатория
ГИ	- гироскоп
ГИРД	- группа изучения реактивного движения
ГЛОНАСС	- глобальная навигационная спутниковая система
ГОСТ	- государственный стандарт
ГПО	- герметичный приборный отсек
ГСО	- геостационарная орбита
ГСП	- гиросtabilизированная платформа
ГТИ	- генератор тактовых импульсов
ГЦ	- главный центр
ГЦИУ	- Главный центр испытаний и управления
ГЧ	- генератор частоты
ДЗЗ	- дистанционное зондирование Земли
ДМ	- дециметровый
ДН	- двойное назначение
ДНГ	- динамически настраиваемый гироскоп
ДУ	- двигательная установка
ДУ РБ	- двигательная установка разгонного блока
ЕКА	- Европейское космическое агентство
ЕЦП	- единый цифровой поток
ЖРД	- жидкостной ракетный двигатель
ЗИП	- запасные инструменты и приборы
ЗС	- земная станция

ЗУ	- запоминающее устройство
ИБД	- информация банков данных
ИБК	- информационно-вычислительный комплекс
ИИ	- ионизирующее излучение
ИКК	- измерительный комплекс космодрома
ИОК	- информация обобщенного контроля
ИСЗ	- искусственный спутник Земли
ИТНП	- измерение текущих навигационных параметров
ИТО	- информационно-телеметрическое обеспечение
ИТП	- информационно-телеметрические параметры
ИЦН	- информация целевого назначения
КА	- космический аппарат
КАЦ	- координационно-аналитический центр
КБ	- конструкторское бюро
КБТМ	- конструкторское бюро транспортного машиностроения
КВ	- короткие волны
КВБ	- кислородно-водородный блок
КВЦ	- координационно-вычислительный центр
КВЧ	- крайне высокие частоты
КГЧ	- космическая головная часть
КИ	- космическая информация
КИК	- командно-измерительный комплекс
КИМ	- кодово-импульсная модуляция
КИП	- командно-измерительный пункт
КИС	- командно-измерительная система
ККП	- комплекс командных приборов
КНС	- космическая навигационная система
КОС	- квантово-оптическая система
КОСПАС	- космическая система поиска аварийных судов и самолетов
КП	- командный пункт
КПА	- контрольно-проверочная аппаратура
КПИ	- командно-программная информация
КПО	- командно-программное обеспечение
КРК	- космический ракетный комплекс
КРТ	- компоненты ракетного топлива
КС	- космическая система
КСР	- космическая система ретрансляции
ЛИ	- летные испытания
МБР	- межконтинентальная баллистическая ракета
МГХ	- массогабаритные характеристики
МИК	- монтажно-испытательный корпус
МКА	- малый космический аппарат
МКС	- Международная космическая станция

МКСР	- многофункциональная космическая система ретрансляции
ММ	- миллиметровый
МПУ ПИ	- мобильный пункт управления и передачи информации
МТКК	- многоразовый транспортный космический корабль
МТКС	- многоразовая транспортная космическая система
МШВ	- местная шкала времени
НАКУ	- наземный автоматизированный комплекс управления
НАП	- навигационная аппаратура потребителя
НАСА	- национальное агентство по авиации и исследованию космического пространства, США
НБО	- навигационно-баллистическое обеспечение
НДМГ	- несимметричный диметилгидразин
НИИ	- научно-исследовательский институт
НИР	- научно-исследовательская работа
НКА	- навигационный космический аппарат
НКУ	- наземный комплекс управления
НПО	- научно-производственное объединение
НС	- навигационный спутник
НС	- наземная станция
НЧ	- низкочастотный
ОВЧ	- очень высокие частоты
ОГ	- орбитальная группировка
ОКБ	- особое конструкторское бюро
ОКИК	- отдельный командно-измерительный комплекс
ОКР	- опытно-конструкторская работа
ПАВ	- поверхностные акустические волны
ПВК	- пространственно-временные координаты
ПМЗ	- помехозащищенность
ПН	- подвижный наземный; полезная нагрузка
ППИ	- пункт приема информации
ПППИ	- пункт приема и передачи информации
ПРД	- передатчик
ПРМ	- приемник
ПСП	- псевдослучайная последовательность
ПТР	- программный токораспределитель
ПУ	- пусковая установка
ПЭ	- пункт эксплуатации
РБ	- разгонный блок
РДТТ	- ракетный двигатель твердого топлива
РК	- разовая команда
РКК	- ракетно-космический комплекс
РКН	- ракета космического назначения
РКТ	- ракетно-космическая техника
РЛ	- радиолиния

РЛС	- радиолокационная станция
РН	- ракета-носитель
Роскосмос	- Российское космическое агентство
РСУ	- радиотехническое средство управления;
РТМС	- радиометрическая система
РТР	- ретранслятор
РЭА	- радиоэлектронная аппаратура
РЭП	- радиоэлектронное подавление
СА-81	- стандартная атмосфера
СВЧ	- сверхвысокая частота
СЕВ	- система единого времени
СК	- стартовый комплекс
СКС	- сборочно-командное судно
СМ	- сантиметровой
СП	- серийное производство
СПГ	- сферический поплавковый гироскоп
СП	- спутник-ретранслятор
СРНС	- спутниковая радионавигационная система
ССПД	- система связи и передачи данных
ССС	- спутниковая система связи
СТИ	- станция траекторных измерений
СТК	- система телеметрического контроля
СУ	- система управления
СЭНН	- социально-экономическое и научное назначение
ТАСС	- телеграфное агентство Советского Союза
ТВ	- телевизионный
ТВИ	- телевизионная информация
ТК	- технический комплекс
ТЛФ	- телефонный
ТМИ	- телеметрическая информация
ТМП	- телеметрируемые параметры
ТТЗ	- тактико-техническое задание
ТТТ	- тактико-технические требования
ТТХ	- тактико-технические характеристики
УВК	- управляющий вычислительный комплекс
УВЧ	- ультравысокие частоты
УКВ	- ультракороткие волны
УПЧ	- усилитель промежуточной частоты
ФАПЧ	- фазовая автоподстройка частоты
ФКА	- Федеральное космическое агентство
ФМ	- фазовая модуляция
ЦРС	- центр ретрансляции сигналов
ЦУ	- центр управления
ЦУП	- центр управления полетом
ЦУРС	- центр управления ретрансляцией и связью

ЦКБЭМ	- Центральное конструкторское бюро экспериментального машиностроения
ЧМ	- частотная модуляция
ЧЭ	- чувствительный элемент
ШПС	- шумоподобный сигнал
ШШС	- широкополосный шумоподобный сигнал
ЭВМ	- электронная вычислительная машина
ЭИИМ	- эффективная изотропно излучаемая мощность
ЭМИ	- электромагнитный импульс
ЭМС	- электромагнитная совместимость
ЭПАС	- экспериментальный полёт «Апполон»- «Союз»
ЭСГ	- электростатический гироскоп
ЭТХ	- эксплуатационно-технические характеристики

ВВЕДЕНИЕ

XX век для человечества оказался самым продуктивным в области развития науки и техники за всю историю существования человеческой цивилизации. Получили существенное развитие не только традиционные науки фундаментального характера, но и возникли новые научные области, научные направления и новые виды техники. Особый прогресс характерен для прикладных исследований и разработок, в результате которых появились неизвестные до XX века такие виды техники, как атомная техника, радиоэлектроника, автоматика, вычислительная техника, биотехнология, авиационная техника, ракетно-космическая техника. При этом следует особо подчеркнуть, что при создании ракетно-космической техники человечество пережило качественную грань в своем развитии. Показательно, что ракетно-космическая техника, как никакой другой вид техники, впитала результаты многих наук и технических достижений. Человек вывел в космос рукотворные аппараты, в том числе и пилотируемые, стал изучать прямыми наблюдениями околоземное пространство, а также Луну, Марс, Венеру и другие небесные тела. В результате симбиоза атомной и ракетной техники создано ракетно-ядерное оружие, которое обеспечило не только безопасность нашей страны, но и удержало многие страны от военных столкновений большого масштаба. Более того, на основе ракетной техники созданы космические системы как оборонного, так и социально-экономического назначения. Эти системы по назначению и используемому научно-техническому арсеналу очень разнообразны, поскольку для своего создания требуют применения результатов целого ряда наук и технических достижений. В связи с этим возникают серьезные трудности в подготовке высококвалифицированных специалистов как в вузах, так и в аспирантурах. Традиционные учебные курсы, читаемые по специальности, как правило, очень слабо взаимосвязаны, в то время как при создании космических систем требуется достаточно широкая эрудиция и необходимо использование системного подхода.

Как для проведения исследований и разработок, так и для эксплуатации космических систем совершенно недостаточно знания отдельных предметных научных областей, например, радиоэлектроники, автоматики или вычислительной техники. Как правило, надо хорошо ориентироваться в вопросах баллистики ракет и космических аппаратов, знать условия работы аппаратуры в космосе или на поверхности небесного тела, учитывать свойства атмосферы Земли, понимать вопросы управления космическими аппаратами, а также владеть методами накопления, хранения и обработки больших массивов информации и т. д. и т. п.

Очевидно, что для подготовки специалистов с требуемыми квалификационными характеристиками, необходимыми для выполнения практических работ в области создания и использования космических систем, надо иметь, как минимум, соответствующие учебные пособия, ориентированные не столько на подготовку узких специалистов по отдельным разделам ракетно-космической науки и техники (такие учебные пособия в профильных вузах

имеются), сколько на подготовку студентов и аспирантов смежных специальностей, производственная работа которых тесно связана с предметной областью ракетно-космической техники. Цель подготовки настоящего учебного пособия состоит в устранении в некоторой степени этого пробела в учебной литературе.

Материалы подготовленного учебного пособия сгруппированы в 2 тома, при этом по условиям издания каждый из томов выпускается в виде отдельной книги. Для ориентировки и удобства пользования в каждом томе помещены предисловие и введение, относящиеся ко всему учебному пособию.

В томе 1 – Общие сведения. Космодромы. Наземные средства контроля и управления ракетами и космическими аппаратами. Ракеты – приведены общие сведения о Солнечной системе, даны классификация и общая характеристика объектов ракетно-космической техники, приведены основные сведения о космодромах и наземных средствах внешнетраекторных измерений, телеметрии, связи и управления ракетами и космическими аппаратами. Приведены краткие исторические сведения о создании ракет, изложены принципы построения ракет и ракет-носителей, приведены сведения по основам баллистики ракет и устройству их двигательных установок, описаны принципы построения систем управления и вспомогательных систем, а также дано описание этапов испытаний и эксплуатации ракетно-космических систем.

В томе 2 – Космические аппараты и их системы. Проектирование и перспективы развития ракетно-космических систем – представлены элементы космической баллистики, описаны пилотируемые и непилотируемые космические аппараты и созданные на их основе системы научного, оборонного и социально-экономического назначения. Отражены этапы и методы системного проектирования ракетно-космических объектов и их систем с учетом вопросов экономической эффективности использования средств ракетно-космической техники, а также с учетом вопросов экологии. В заключение кратко освещаются тенденции развития основных объектов ракетно-космической техники как наземного, так и орбитального сегментов.

ГЛАВА 1. ЗЕМЛЯ И КОСМОС

1.1. Общие астрономические сведения

Определение Вселенной. Вселенная – мир в целом, бесконечный во времени и пространстве и безгранично разнообразный по формам, которые принимает материя в процессе развития. Вселенная существует объективно, независимо от сознания человека. Признание объективности существования мира, материальности всей Вселенной характеризует всякое подлинно научное исследование. Явления, происходящие во Вселенной, развиваются в пространстве и во времени. Пространство и время бесконечны, они не существуют в отрыве от материи [1.1, 1.2., 1.3].

Вселенная содержит бесчисленное множество небесных тел, на многих из них имеются все необходимые условия для возникновения и развития жизни. Планета Земля – лишь одно из тел, входящих в безграничную Вселенную.

Космическое пространство. На практике под космическим пространством часто понимают не Вселенную в целом, а пространство, простирающееся за пределами земной атмосферы.

В космическом пространстве выделяют отдельные области, характеризующиеся различными свойствами: околоземное космическое пространство, межпланетное пространство, межзвездное пространство и т. д. Наряду с этими терминами используются не вполне определенные понятия «ближний» и «дальний» или «открытый» космос, характеризующие высоту полета по отношению к Земле.

Строение Вселенной. Материя во Вселенной распределена неравномерно. Большая ее часть сосредоточена в сравнительно плотных космических телах. Промежутки между ними заполнены сильно разреженной материей. Расстояния между космическими телами обычно чрезвычайно велики по сравнению с их собственными размерами, космические тела группируются в системы.

Метагалактика – совокупность звездных систем (галактик). Наша Галактика – одна из систем, входящих в метагалактику.

Галактика – сложная система звезд, газа и пыли разного возраста, происхождения и состава.

Часть звезд и газа и почти вся пыль сосредоточены в плоскости, наблюдаемой на небе в виде Млечного Пути. Существует сферическая составляющая Галактики из значительного числа звезд, окружающих ядро. Радиус Галактики примерно 14000 парсек (определение парсек смотри в абзаце астрономические единицы). Число звезд в Галактике оценивается числом 10^{11} , общая масса превосходит массу Солнца в 10^{11} раз. Солнце находится на расстоянии 10^5 парсек от центра Галактики.

Звезды, входящие в состав Галактики, часто образуют кратные системы от двойных и тройных до звездных скоплений. Особенностью структуры Галактики являются спиральные ветви, характерные для спиральных галактик.

Среди звезд открыты квазары и пульсары. Квазары обладают гантелевидной структурой. Существует гипотеза, что квазары – ядра зарождающихся галактик. Пульсары – нейтронные звезды, вращающиеся с периодом от 0,03 до 3,7 с, излучающие огромное для их небольших размеров (около 10 км) количество энергии как в радиодиапазоне, так и в рентгеновском и оптическом диапазонах в виде коротких (0,01 с) импульсов, повторяющихся с правильной периодичностью, определяемой вращением.

Астрономические единицы. В теоретической астрономии для измерения расстояний применяются следующие единицы:

1) *астрономическая единица длины* (а. е. д.) – среднее расстояние Земли от Солнца, равное 149,6 млн. км;

2) *парсек* – расстояние, соответствующее годовому параллаксу звезды в 1" (1 парсек = 206265 а. е. д. = 3,26 св. года = $30,8 \cdot 10^{12}$ км);

3) *световой год* – расстояние, проходимое световым лучом в течение 1 года; 1 световой год равен $9,4 \cdot 10^{12}$ км.

Год – единица времени, определяемая периодом обращения Земли вокруг Солнца, соответствующим промежутку времени, в течение которого Солнце видимым образом завершает полный круг по небесной сфере.

Звездный (сидерический) год – время полного оборота Солнца по небесной сфере относительно одной и той же звезды, соответствующее 365,25636 средних солнечных суток. Тропический год – время между двумя последовательными прохождением центра Солнца через точку весеннего равноденствия, соответствующее 365,2422 средних солнечных суток.

Межзвездные органические молекулы. В межзвездном пространстве были обнаружены по характерным спектрам собственного радиоизлучения на определенных частотах органические молекулы. В 1969 г. при исследовании межзвездных радиоспектров были открыты линии муравьиного альдегида. Вслед за формальдегидом в галактическом пространстве обнаружили цианацетилен, древесный спирт, муравьиную кислоту, формалид, уксусный альдегид, ацетонитрил, метанимин и многие другие молекулы. Облака органических молекул в объеме галактики, прежде всего, встречаются там, где концентрация вещества в газопылевом облаке уже достаточно высока. Большая часть молекул (8 из 26 известных) была обнаружена в созвездии Стрельца, вблизи галактического центра, а также в Большой туманности Ориона и др. В сжимающемся облаке созвездия Стрельца насчитывают 10^8 частиц в 1 см^3 . Вероятность столкновений между атомами и радикалами в таком облаке достаточно высока, что может вызвать образование сложных молекул.

Наличие органических молекул в межзвездном пространстве и в районе облаков позволяет выдвинуть новые гипотезы происхождения жизни во Вселенной.

1.2. Солнечная система

Солнечная система состоит из Солнца и обращающихся вокруг него девяти больших планет со спутниками, десятков тысяч малых планет, комет и мелких метеоритных тел. Все большие и малые планеты движутся вокруг Солнца в одном направлении против хода часовой стрелки (для наблюдателя, смотрящего со стороны северного полюса эклиптики). Эклиптика – большой круг небесной сферы, по которому совершается видимое годовое движение Солнца (плоскость движения центра масс Земли относительно центра Солнца). Плоскость эклиптики наклонена к плоскости земного экватора примерно на $23^{\circ}27'$. Орбиты больших планет по форме близки к окружности и мало наклонены друг к другу. Элементы планетных орбит приведены в табл. 1.1.

Притяжение звезд не влияет заметным образом на орбиты планет, так как радиус Солнечной системы примерно в 7000 раз меньше расстояния до ближайшей звезды. Гравитационное взаимодействие планет порождает лишь небольшие возмущения их эллиптического движения.

Таблица 1.1

Элементы планетных орбит

Планета	Среднее расстояние от Солнца (большая полуось орбиты)		Эксцентриситет орбиты	Наклон плоскости орбиты к эклиптике	Сидерический период обращения планеты вокруг Солнца, год	Средняя скорость движения планеты по орбите, км/с
	а. е. д.	млн. км				
Меркурий	0,3871	57,9	0,2056	$7^{\circ}00'14''$	0,241	47,84
Венера	0,7233	108,1	0,0068	$3^{\circ}23'39''$	0,615	35,01
Земля	1,0000	149,6	0,0167	$0^{\circ}00'00''$	1,000	29,76
Марс	1,5237	227,8	0,0934	$1^{\circ}51'00''$	1,881	24,11
Юпитер	5,2028	777,8	0,0484	$1^{\circ}18'20''$	11,862	13,05
Сатурн	9,5388	1426,1	0,0557	$2^{\circ}29'24''$	29,458	9,64
Уран	19,1910	2869,1	0,0472	$0^{\circ}46'23''$	84,015	6,78
Нептун	30,0707	4495,6	0,0086	$1^{\circ}46'26''$	164,788	5,47
Плутон	39,5560	5947,0	0,2530	$17^{\circ}08'38''$	247,697	4,74

1.2.1. Краткая характеристика Солнца, больших планет и Луны

Солнце – газообразное раскаленное небесное тело шарообразной формы, ближайшая к Земле звезда. В Солнце сосредоточено 99,866% массы солнечной системы. Масса Солнца составляет $1,985 \cdot 10^{33}$ г, средняя плотность – $1,41 \text{ г/см}^3$. Расстояние от Солнца до Земли в течение года изменяется от 147 до 152 млн. км и в среднем равно 149,60 млн. км. Вращение Солнца совершается в плоскости, наклоненной на $7^\circ 15'$ к плоскости земной орбиты. На экваторе период обращения Солнца составляет 25,38 средних солнечных суток, а для полярных областей около 35 суток.

Фотосфера – нижний слой солнечной атмосферы, из которого исходит почти все видимое излучение Солнца, дающее непрерывный спектр. Температура достигает $5700 \text{ }^\circ\text{K}$, временами наблюдаются пятна размерами до 200 000 км и более. Среднее число наблюдаемых в году пятен и средняя площадь, занимаемая ими, изменяются с периодом около 11 лет (с колебаниями от 7,5 до 16 лет). Температура пятен около $4500 \text{ }^\circ\text{K}$ и ниже.

Хромосфера Солнца простирается над обращающим слоем до высоты 14000 км. В хромосфере обнаружены хромосферные протуберанцы, угловые размеры которых составляют около $3'' \times 10''$. Развитие таких выбросов протекает в течение 4...5 мин.

Самые внешние слои атмосферы Солнца, простирающиеся на высоту нескольких радиусов Солнца, называются *солнечной короной*. Наиболее яркие корональные линии приходятся на длины волн 0,3388; 0,5303; 0,6375 и 1,0798 мкм. Корона является мощным источником ультрафиолетового излучения.

На краю диска Солнца наблюдаются *протуберанцы* – образования из светящихся газов. Средняя высота протуберанцев 30000-50000 км, температура 5000-10000 К.

Планеты. Планеты делятся на две группы: планеты земной группы – Земля, Венера, Марс и планеты-гиганты – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Значительную часть их массы составляет водород H_2 , метан CH_4 и аммиак NH_3 . Геометрические и механические характеристики планет и Луны приведены в табл.1.2.

Таблица 1.2

Геометрические и механические характеристики планет и Луны

Планета	Диаметр (экваториальный)		Угловой диаметр (экваториальный), планеты	Сжатие планеты	Объем планеты, объем Земли =1	Масса планеты, масса Земли =1	Средняя плотность планеты		Ускорение свободного падения на поверхности, m/c ²	Скорость убегания*, км/с	Гравитационный параметр, км ³ /с ²	Круговая скорость, км/с
	км	Диаметр Земли=1					г/см ³	Средняя плотность Земли=1				
Меркурий	4840	0,38	4,7-12,9	0	0,055	0,054	5,48	0,99	3,46	4,17	$2,165 \cdot 10^4$	2,94
Венера	12400	0,97	9,9-65,2	0	0,92	0,815	4,86	0,88	8,43	10,78	$3,242 \cdot 10^5$	7,23
Земля	12756	1,00	-	1:298,3	1,00	1,00	5,52	1,00	9,81	11,19	$3,986 \cdot 10^5$	7,91
Марс	6800	0,53	3,5-25,5	1:192	0,15	0,107	3,92	0,71	4,02	5,09	$4,291 \cdot 10^4$	3,60
Юпитер	143640	11,26	30,5- 50,1	1:16	1344,8	318,35	1,31	0,24	27,67	60,19	$1,265 \cdot 10^8$	42,55
Сатурн	120500	9,4	14,7- 20,7	1:10	766,6	95,3	0,68	0,12	12,74	36,28	$3,788 \cdot 10^7$	25,66
Уран	53400	4,2	3,4-4,3	1:18	73,5	14,58	0,09	0,20	9,58	21,32	$5,794 \cdot 10^6$	15,07
Нептун	49600	3,9	2,2-2,4	1:40	59,2	17,26	1,61	0,29	11,22	23,43	$6,860 \cdot 10^6$	16,57
Плутон	13000	<1	0,19- 0,24	?	<1	0,83	>5,0?	0,9?	3,94	10,51	$3,312 \cdot 10^5$	7,43
Луна	3476	0,272	29,40'- 33,67'	1:2500	0,02	0,012	3,33	0,60	1,62	2,33	$4,890 \cdot 10^3$	1,68

Примечание. * Скорость убегания (критическая скорость) – вторая космическая скорость.

1.2.2. Малые планеты (астероиды)

Астероиды – малые планеты, обращающиеся вокруг Солнца главным образом между орбитами Марса и Юпитера. Период обращения вокруг Солнца для большинства астероидов составляет 5...6 лет. Средний наклон орбит астероидов к плоскости эклиптики равен $9,7^\circ$. Всего открыто более 6000 астероидов. Крупных астероидов значительно меньше, чем небольших табл. 1.4 Диаметр открытых астероидов может составлять менее 1 км и доходить до 770 км. Из-за малой яркости астероидов они не видны невооруженным глазом.

Т а б л и ц а 1.3

Число астероидов в зависимости от их диаметра

Диаметр, км	Число астероидов	Диаметр, км	Число астероидов	Диаметр, км	Число астероидов
1-40	668*	81-120	210	200-240	18
		121-160	85		
41-80	539	161-200	30	>241	15

Примечание. * По расчетам С. В. Орлова, число астероидов диаметром до 1 км должно составлять $250 \cdot 10^6$.

1.2.3. Кометы

В Солнечную систему входит около 10^{11} комет. Ежегодно наблюдается до десятка комет, из них 6-7 новых. В зависимости от периода обращения вокруг Солнца кометы делятся на две группы:

- короткопериодические (период 7 лет);
- долгопериодические (период 10^6 лет).

В перигелии некоторые кометы приближаются к Солнцу на расстояние 500000 км и движутся со скоростью около 500 км/с. В афелии их расстояние от Солнца может достигать 200000 а. е. д. или $8 \cdot 10^{13}$ км, при этом скорость комет уменьшится до 1 км/с.

Комета обладает твердым ядром, окруженным массой газа – *комой*, которая состоит из молекул и атомов, выделяющихся из ядра и образующих внешнюю оболочку, а также (под давлением солнечного ветра) хвост кометы. Ядро средней кометы представляет собой шар радиусом до 1 км, содержащий около $4 \cdot 10^{15}$ г вещества (либо в виде глыб метеорного вещества, либо в виде кусков льда из воды, аммиака, метана и т. п. с вмержшими в них частицами метеорного вещества). Общая масса кометы достигает 10^{17} г, что примерно в $60 \cdot 10^9$ раз меньше массы Земли. В среднем комета за одно прохождение через перигелий теряет путем испарения около 1/200 своей массы.

Ежегодно около пяти комет проникают в сферу радиусом 1 а. е. д. вокруг Солнца и, следовательно, имеет возможность столкнуться с Землей. Однако такое событие может произойти лишь 1 раз в 200 млн. лет.

1.2.4. Метеоры

Метеоры делятся на два класса: *метеорные потоки (рои)* и *спорадические метеоры*, не принадлежащие к метеорным потокам.

Орбиты и параметры движения некоторых метеорных роев Солнечной системы известны. Встреча с ними может прогнозироваться. Со спорадическими метеорами встречи случайны.

Метеорное вещество в космическом пространстве представляет собой множество твердых тел от нескольких десятков километров до нескольких десятых долей микрометра в поперечнике.

Максимальная скорость метеора на его почти параболической орбите на расстоянии 1 а. е. д. от Солнца составляет 42 км/с. Если движение метеора обратное, он летит навстречу Земле (орбитальная скорость её примерно 30 км/с) с относительной скоростью 72 км/с. Метеор, имеющий прямое движение, догоняет Землю с относительной скоростью ~ 12 км/с. При таких скоростях входа в атмосферу Земли метеоры в большинстве случаев полностью распыляются, прежде чем достигнут её поверхности.

Метеоры, которые падают на Землю, называют *метеоритами*. Ежегодно на Землю падает около 2000 метеоритов общей массой примерно 200 т. Среднее число падений метеоритов в 1 сек на 1 м^2 поверхности Земли возрастает с уменьшением массы метеоритов.

Метеорные тела бывают каменные и железные. Плотность каменных метеоритов составляет $0,5\text{-}3 \text{ г/см}^3$, железных $0,5\text{-}7,8 \text{ г/см}^3$. Число метеоритных тел тем больше, чем меньше их масса примерно обратно пропорционально массе в квадрате.

На расстоянии 100-300 км над поверхностью Земли имеется область с повышенной плотностью метеорной пыли. Примерно каждые 10 сек на 1 м^2 поверхности Земли приходится одно падение частиц с массой больше 10^{-8} г, на расстояниях $10^3\text{-}10^6$ км плотность потока значительно уменьшается.

1.3. Основные астрофизические сведения о Солнце

1.3.1. Лучистая энергия Солнца. Световое давление

Сила света Солнца составляет около $3 \cdot 10^{27}$ кд (1 свеча=1,005 кандела). Количество тепла, приносимого солнечными лучами за 1 мин на площадку в 1 см^2 , поставленную вне земной атмосферы на расстоянии 1 а. е. д. от Солнца перпендикулярно к падающим лучам (*солнечная постоянная*), примерно равно $0,13 \text{ Вт/см}^2$. Величина спектральной солнечной постоянной H_λ зависит от длины волны [1.3].

В области коротких волн излучение Солнца простирается во время вспышек примерно до 10^{-5} мкм. При этом за пределами земной атмосферы на расстоянии 1 а. е. д. от Солнца плотность потока солнечной энергии может быть определена по формуле:

$$\Phi_{\odot} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H_{\lambda} d\lambda,$$

где: H_{λ} – спектральная солнечная постоянная.

Солнечные лучи создают световое давление. Вблизи земли оно составляет 4,3 - 4,5 мкПа. В общем случае давление света (в Па) равно

$$P_{св} = 4,4 \cdot 10^{-6} r_e^{-2},$$

где r_e - расстояние до Солнца, а. е. д.

1.3.2. Радиоизлучение Солнца

Различают три компоненты радиоизлучения Солнца:

- радиоизлучение спокойного Солнца - обычное тепловое излучение ионизированной атмосферы Солнца;
- медленно изменяющееся радиоизлучение - связано с появлением на Солнце долгоживущих активных областей;
- спорадическая компонента радиоизлучения Солнца - относительно быстро меняющееся повышение интенсивности, носящее характер всплесков.

Излучение Солнца в диапазоне радиоволн от 4 мм до 10 м характеризуется средней яркостной температурой, плотностью излучения и относительным эффективным радиусом [1.3].

1.3.3. Корпускулярное излучение Солнца

Солнце постоянно выбрасывает потоки заряженных частиц или корпускул, представляющих собой ионы, протоны и электроны. Эти потоки называются солнечным ветром. В спокойные дни скорость солнечного ветра достигает 500 км/с, плотность 10^2 см^{-3} . Во время солнечных вспышек скорость частиц больше 1600 км/с (отдельные частицы летят со скоростью, которая всего в несколько раз меньше скорости света). Такие потоки деформируют магнитосферу и радиационные зоны Земли, вызывая магнитные бури, полярные сияния, нарушение радиосвязи.

1.4. Планета Земля

Земля – третья планета от Солнца. Она движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится Солнце. Период обращения Земли вокруг Солнца – год, который равен 365,25636 средних солнечных суток. Масса всей Земли равна $5,98 \cdot 10^{24}$ кг. Момент инерции Земли относительно оси вращения составляет $81,04 \cdot 10^{43}$ г/см². Угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси равна $7,292115 \cdot 10^{-5}$ с⁻¹. Продолжительность суток удлиняется на 0,0014 сек в столетие вследствие замедления вращения Земли.

Некоторые данные о земной поверхности и океанах приведены в табл. 1.4 и 1.5.

Основные данные земных материков и океанов. Наиболее мощное влияние на земные процессы оказывает излучение Солнца. На весь земной шар падает $1,7 \cdot 10^{24}$ эрг/с ($5,4 \cdot 10^{31}$ эрг/год) лучистой энергии Солнца, что соответствует мощности $1,7 \cdot 10^{14}$ кВт. Около 55% этой энергии поглощается атмосферой и почвой, остальная ее часть отражается в мировое пространство.

Корпускулярное и ультрафиолетовое излучение Солнца существенно влияет на состояние земной атмосферы, на распространение радиоволн и на геомагнитные явления.

Т а б л и ц а 1.4

Основные данные земных материков

Материк	Площадь (включая острова), млн. км ²	Высота над уровнем моря, м		Население, млн. чел.	
		средняя	наибольшая	1973 г.	2005 г.
Европа	10,523	300	5642	660	725
Азия	43,475	950	8848	2250	3917
Африка	30,132	650	5895	375	888
Северная Америка	24,228	700	6193	337	332
Южная Америка	17,757	600	6960	207	558
Австралия и Океания	8,971	400	5029	21	33
Антарктида	13,975	2000	6000	13	
Всего:	149,061			3863	6454

Т а б л и ц а 1.5

Основные данные океанов

Океан	Площадь, млн. км ²	Наибольшая глубина, м
Тихий	179,679	11022
Атлантический	92,544	8425
Индийский	73,265	7450
Северный Ледовитый	13,919	5449
Всего:	359,407	

1.4.1. Форма и размеры Земли. Сила тяжести

Земля имеет форму геоида – фигуры, которую имел бы в океане средний уровень воды (при отсутствии волн, приливов и течений), а на материках – уровень воды в воображаемых узких каналах, сообщающихся с океаном. Фигура геоида зависит от внутреннего строения Земли и имеет неправильную и сложную форму, но она довольно близка к земному эллипсоиду (сфероиду). Средняя величина отступления геоида от наиболее удачно выбранного эллипсоида не превосходит ± 50 м, а максимальная 100 м. Наиболее обоснованные размеры эллипсоида вычислены в СССР проф. Ф. Н. Красовским, табл. 1.6.

Параметры эллипсоида Красовского

Наименование, ед. измерения	Обозначение	Величина
Большая полуось (радиус экватора), км	a	6378,245000
Малая полуось (0,5 полярной оси), км	b	6356,863019
Сжатие [(a-b)/a]	c	1:298,3
Средний радиус (радиус равновеликого шара), км	R	6371
Длина окружности меридиана, км	L	40008,550
Площадь поверхности, км ²	S	5,10·10 ⁸
Объем, км ³	V	1,083·10 ¹²
Эксцентриситет ($\sqrt{1-(b/a)^2}$)	e	0,081813

Для эллипсоида Красовского, составленного из однородных слоев, нормальное ускорение свободного падения на его поверхности равно:

$$\begin{aligned} &\text{на экваторе } (\varphi' = 0) \quad g_0^{(э)} = 978,049 \text{ см/с}^2; \\ &\text{на полюсе } (\varphi' = 90^\circ) \quad g_0^{(п)} = 983,235 \text{ см/с}^2, \end{aligned}$$

где: φ' – географическая (астрономическая) широта.

На высоте h над данной точкой Земли ускорение равно:

$$g_h = g_0 [r/(r+h)]^2,$$

где: r – расстояние от данной точки земного сфероида до его центра.

1.4.2. Атмосфера Земли

Атмосфера Земли – газообразная оболочка земного шара. Ее масса равна $5,27 \cdot 10^{21}$ г, т. е. составляет менее одной миллионной массы земного шара. В атмосфере различаются несколько слоев. Нижний слой толщиной 10-12 км над умеренными широтами и 16-18 км над тропиками называется тропосферой. Слой атмосферы выше 70-80 км называют ионосферой, а выше 500-1000 км – экзосферой или слоем рассеивания. Экзосфера постепенно переходит в околоземное космическое пространство.

Состав сухого воздуха до высоты 80-100 км остается практически неизменным. Его средний молекулярный вес равен 28,966. Основную часть массы атмосферы (99,99%) составляют газы: азот (75,51%), кислород (23,15%), аргон (1,28%) и углекислый газ (0,046%). Меньше тысячной части процента встречаются неон, гелий, криптон, ксенон, водород, озон.

В атмосфере содержится водяной пар. Упругость водяного пара (парциальное давление) e_0 измеряется в миллибарах (1 мбар = 0,75008 мм рт. ст. = 100 Па).

Абсолютная влажность воздуха a_{00} – количество граммов водяного пара в 1 м³ воздуха. Приблизительно $a_{00} = 216,7 e_0/T$, где T – температура воздуха, °K.

Образующиеся в атмосфере облака различают по высоте нижней кромки. Облака верхнего яруса (выше 6 км) – перистые, перисто-кучевые, перисто-слоистые – состоят из ледяных кристалликов; перламутровые облака

образуются на высотах 22-30 км; серебристые – на высотах 75-92 км. Облака среднего яруса (от 2 до 6 км) – высококучевые, высокослоистые. Облака нижнего яруса (ниже 2 км) – слоисто-кучевые, слоистые, слоисто-дождевые. Облака вертикального развития – кучевые, кучево-дождевые.

Зависимость температуры и плотности стандартной атмосферы от высоты над поверхностью Земли приведена на рис. 1.1 и 1.2.

На высоте 300 км плотность составляет $2,14 \cdot 10^{-10} \text{ кг/м}^3$.

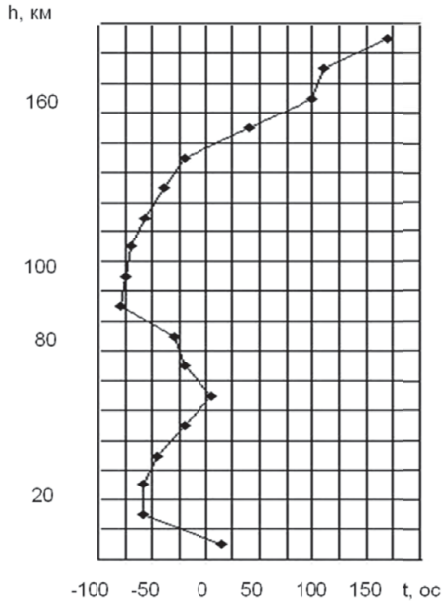


Рис. 1.1. Зависимость температуры стандартной атмосферы от высоты полета

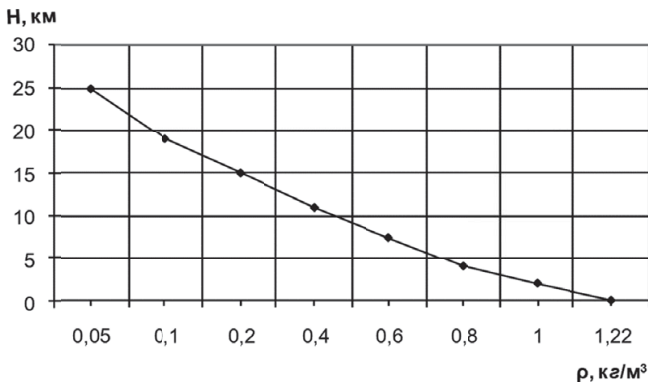


Рис. 1.2. Зависимость плотности стандартной атмосферы от высоты

1.4.3. Магнитное поле Земли

Земля – слабый постоянный магнит, ось которого не совпадает с осью вращения планеты и имеет наклон около 11° . Магнитные полюсы, экватор и широты не совпадают с географическими.

Магнитное поле Земли с грубым приближением может быть представлено в виде магнитного диполя. Большое количество аномалий значительно усложняет реальное геомагнитное поле, особенно на поверхности Земли. Однако на движение заряженных частиц в магнитном поле Земли эти особенности решающего влияния не оказывают.

С некоторых расстояний от поверхности Земли магнитное поле начинает испытывать воздействие межпланетной среды, особенно корпускулярных потоков Солнца – солнечного ветра. С дневной стороны происходит поджатие геомагнитного поля, а с ночной – его растяжение (рис. 1.3). Поле локализуется в определенном пространстве – магнитосфере Земли. В результате взаимодействия с магнитосферой Земли частицы солнечного ветра (300–800 км/с) на расстоянии 12–15 радиусов Земли образуют ударную волну.

Магнитное поле подвержено медленным вековым вариациям. Изменение солнечной активности вызывает быстрые изменения магнитного поля – магнитные бури.

С ночной стороны Земли открыт так называемый магнитный хвост, диаметр которого около $40R_e$ (40 радиусов Земли). Структура хвоста хорошо изучена на расстояниях лишь до орбиты Луны (~60 радиусов Земли).

1.4.4. Радиационные пояса Земли

Радиационные пояса Земли – области пространства, заполненные заряженными частицами, захваченными магнитным полем Земли (геомагнитная ловушка). Условное разделение радиационных поясов на внутренний $L < 3R_e$ и внешний $3R_e \leq L \leq 7R_e$ является очень четким для электронов и протонов больших энергий (электроны > 100 кэВ и протоны > 30 МэВ). Протоны с энергией > 30 МэВ существуют только во внутреннем радиационном поясе.

Радиация, захваченная в области внутреннего радиационного пояса, почти не подвержена временным изменениям. Радиация в области внешнего пояса испытывает разнообразные и значительные временные вариации по интенсивности и по распределению в пространстве.

Радиационные пояса занимают внутренние области магнитосферы (рис. 1.3). За пределами зоны устойчивого захвата существует зона неустойчивого захвата, где захваченная радиация может существовать непродолжительное время. Кроме того, существует область магнитосферы, через которую возможны вторжения частиц солнечного ветра непосредственно из межпланетного пространства. Электроны и протоны занимают всю область, где силовые линии геомагнитного поля замкнуты, т. е. от нескольких сот километров над поверхностью Земли до границы магнитосферы.

Неравномерное распределение радиации в различных географических районах при постоянной высоте связано со структурой реального геомагнитного поля. В районах с аномально слабой напряженностью геомагнитного поля по сравнению с дипольным полем частицы радиационных поясов опускаются наиболее низко к поверхности Земли (например, абсолютный минимум напряженности геомагнитного поля в гигантской отрицательной Южно-Атлантической аномалии в районе бразильского побережья). Здесь протоны внутреннего радиационного пояса могут быть обнаружены на высоте 200-300 км.

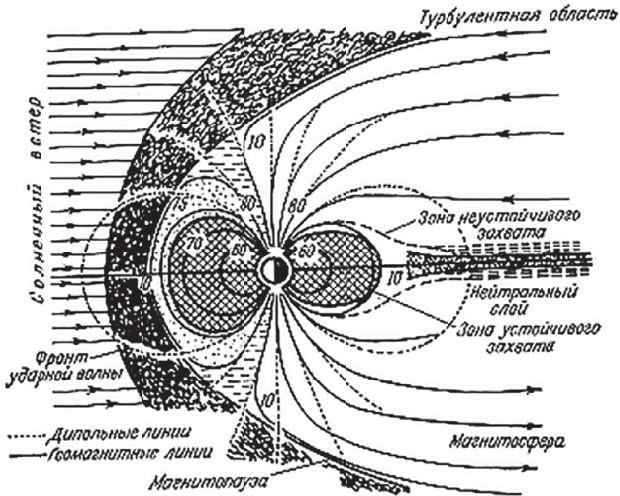


Рис. 1.3. Меридиальный разрез магнитосферы Земли.

Двойной штриховкой даны области существования захваченной радиации.
Расстояния выражены в радиусах Земли

Радиационные пояса условно делят на протонные и электронные. Минимум электронов с энергией 150 кэВ и 1 МэВ расположен на удалении $3R_E$ и совпадает с границей протонов, энергия которых >30 МэВ. На начальной стадии исследования именно по этому минимуму радиационные пояса и были разделены на внутренний и внешний.

Протоны с энергией >110 МэВ располагаются ближе к Земле, чем протоны с энергией >30 МэВ. Наиболее изучен пояс протонов малых энергий (~ 1 МэВ). Характерна высокая стабильность этого пояса.

Потоки электронов внешнего радиационного пояса (100-500 кэВ) имеют максимум на удалении $(4,5-5) R_E$. На удалении $(6-7) R_E$ они убывают. Положение максимума внешнего радиационного пояса хорошо коррелирует с возмущенностью магнитного поля Земли. В начале магнитной бури пояс, как правило, резко перемещается к центру Земли, потоки частиц данной энергии в нем уменьшаются. После окончания магнитной бури пояс возвращается на

прежнее место. Иногда происходит только сжатие радиационного пояса без изменения числа частиц в нем. Большую часть времени пояс находится на удалении (4-5) R_e .

1.5. Ближний и дальний космос

Под космосом понимают космическое пространство со всеми его объектами. Космос включает околоземное, межпланетное, межзвездное и межгалактическое пространство со всеми его объектами.

1.5.1. Луна. Физические характеристики

Луна является спутником Земли. Она всегда обращена к Земле одной стороной, так как сидерический период вращения Луны вокруг оси равен сидерическому периоду обращения ее вокруг Земли. Из-за неравномерного движения Луны по орбите вследствие притяжения Солнца и ближайших планет Солнечной системы, а также приливно-отливных сил взаимодействия с Землей и наклона лунной орбиты к эклиптике с Земли можно наблюдать примерно 59% лунной поверхности. В табл. 1.7 приведены основные физические характеристики Луны.

1.5.2. Поверхность Луны

В зависимости от взаимного положения Луны, Земли и Солнца видны различные освещенные части лунного диска, которые получили название фаз Луны. Основных фаз Луны четыре: новолуние (к Земле обращена неосвещенная часть Луны), первая четверть, полнолуние и последняя четверть.

Области на поверхности Луны, которые выглядят более темными, получили название морей, светлые области именуются материками. В телескоп отчетливо видны большие кольцевые гористые образования – цирки, а также многочисленные крупные кратеры. Самые большие цирки имеют диаметр около 200 км. Поверхность лунных материков покрыта горными вершинами, достигающими высоты 7-8 км. Лунные моря имеют сравнительно гладкую поверхность, местами покрытую складками, бороздами и трещинами. Кроме перечисленных образований на Луне наблюдаются плоскогорья, долины, хребты, сбросы, каменные гряды и холмообразные объекты.

По фотографиям лунной поверхности и панорамам установлено, что преобладающей топографической особенностью лунной поверхности являются многочисленные кратеры. На 100 км^2 поверхности насчитывается более 82500 кратеров диаметром 2-16 м. Число их тем больше, чем меньше размеры. Относительная глубина кратеров, т. е. отношение глубины кратера к его диаметру, колеблется в пределах 0,13-0,22. Большинство кратеров диаметром менее 250-300 м имеют относительно гладкие брустверы, наклон которых достигает 40° .

Физические характеристики Луны

Наименование	Размерность	Значение
Средний угловой диаметр	"/"	31'05"
Синодический период обращения (интервал времени между двумя последовательными новолуниями)	сут:час:мин:сек	29:12:44:03
Скорость движения по орбите	км/с	1
Период вращения вокруг оси	Сут	27,32166
Объем	см ³	2·10 ²⁵
Масса	Г	7,35·10 ²⁵ (1/81,5 массы Земли)
Средняя плотность	г/см ³	3,34
Площадь	км ²	3,8·10 ⁷
Нормальное ускорение свободного падения у поверхности	см/с ²	162
Первая космическая скорость	км/с	1,68
Вторая космическая скорость	км/с	2,36
Максимальная дневная температура поверхности на экваторе	°К	373,6
Минимальная ночная температура	°К	119,7
Освещенность, создаваемая Луной на границе земной атмосферы в фазе полнолуния	Лк	0,32
Альбедо	%	7,3

В местах высадки на Луну американских космонавтов и советских самоходных аппаратов «Луноход» установлено, что поверхностный слой грунта рыхлый, но достаточно прочный. Ноги космонавтов и колеса «Лунохода-1» углублялись до 5 см, опоры лунного корабля «Аполлон-11» углубились тоже до 5 см, однако глубина воронки, образовавшейся в лунном грунте под действием газовой струи двигателя при посадке, составила 30 см. В лунной пыли обнаружены мелкие стекловидные шарики диаметром в десятые доли миллиметра темно-коричневого, желтого и желтовато-коричневого цвета. Некоторые кусочки стекловидного вещества, общее содержание которого в лунной пыли составляет 25-30%, имеют каплеобразную форму.

Химический анализ образцов грунта, доставленных с Луны, показывает, что кристаллические породы поверхности лунных морей одного базальтового типа, но несколько отличающиеся по содержанию некоторых химических элементов. Их состав приближается к составу примитивных базальтов Земли. В состав горных пород Луны входят окислы кремния, титана, алюминия, железа, магния, натрия и других элементов.

Средняя плотность вещества верхнего покрова Луны колеблется в пределах 0,8-1,8 г/см³ для толщины слоя, не превышающего 50 см. При этом более плотные участки грунта не всегда соответствуют материковым районам, что может быть объяснено наличием выходов скальных пород на поверхность некоторых морских районов Луны либо залеганием этих пород на

глубине менее 1 м. Качественная оценка данных радиолокационных измерений в сантиметровом и метровом диапазонах указывает на рост плотности вещества с глубиной (при увеличении глубины от 30 см до 5 м плотность возрастает примерно в 1,5 раза).

Лабораторные исследования лунного грунта, доставленного из Моря Изобилия автоматической станцией «Луна-16», позволили получить представление о его механических свойствах. Образец лунного грунта в основном состоит из мелких минеральных частиц размером 0,08-0,1 мм самой разнообразной формы. Частицы грунта легко слипаются между собой; на поверхности грунта остаются четкие отпечатки. Плотность грунта, доставленного КА «Луна-16», составляет 1,1-1,8 г/см³.

Возраст лунных пород, доставленных американскими космонавтами из районов Моря Спокойствия и Океана Бурь и советской автоматической станцией «Луна-16» из района Моря Изобилия, оценивается в 3,3-3,7 млрд. лет. Один образец породы, доставленный КА «Аполлон-12», имеет возраст 4,6 млрд. лет, что соответствует возрасту Солнечной системы.

С помощью гамма-спектрометра, установленного на КА «Луна-10», были получены данные о радиоактивности лунных пород. Эти данные свидетельствуют о том, что большая часть -излучения лунных пород относится к наведенной радиоактивности, возникшей в результате взаимодействия космических лучей с лунным веществом. По уровню естественной радиоактивности, обусловленной наличием урана, тория и калия-40, лунные породы соответствуют базальтовым породам Земли.

Измерения с помощью КА «Луна-10» позволили выявить слабое, однородное и регулярное магнитное поле, которое может быть собственным полем Луны, межпланетным полем солнечного происхождения и хвостом магнитосферы Земли.

Магнитометр, установленный космонавтами в Океане Бурь, обнаружил магнитное поле в 1000 раз слабее земного.

Можно полагать плотность атмосферы Луны не более $4 \cdot 10^{-5}$ молекул в 1 см³, что соответствует давлению у поверхности не более $15 \cdot 10^{-13}$ мм рт. ст. (плотность атмосферы Земли на уровне моря около $25 \cdot 10^{18}$ молекул в 1 см³).

Под воздействием космического и солнечного излучений атомы лунной атмосферы должны образовывать лунную ионосферу. На орбите искусственного спутника луны «Луна-10» зарегистрированы потоки ионов малых энергий (не менее 30 частиц в 1 см³). Возможно, Луна имеет пояс захваченной радиации, в котором уровень интенсивности частиц в сто тысяч раз меньше, чем в радиационных зонах Земли.

1.5.3. Марс

Марс – четвертая планета по отношению к Солнцу. В небе она видна невооружённым глазом. При наблюдении имеет красный оттенок, что связано с богатым окислами железа составом поверхности почвы.

Изучением Марса занимается специальная наука – ареография (от греч. – Марс). Исследования Марса с помощью космических аппаратов начались в ноябре 1962 г. с запуска советской автоматической межпланетной станции (АМС) «Марс-1». С АМС «Марс-2» на поверхность Марса опустилась капсула, доставившая на планету вымпел с изображением Герба Советского Союза. 2 декабря 1971 г. на поверхность Марса впервые осуществил мягкую посадку спускаемый аппарат, отделившийся от АМС «Марс-3». Орбитальные аппараты станций «Марс-2» и «Марс-3» были выведены на различные околопланетные орбиты вокруг Марса.

Во время противостояний (через каждые 687 земных суток) Марс, Земля и Солнце находятся на одной прямой. Раз в 15-17 лет наступают великие противостояния. При самых благоприятных из них дистанция Земля – Марс сокращается до $56 \cdot 10^6$ км.

Диаметр Марса равен 6800 км, его масса составляет 0,1069 массы Земли. Период вращения Марса вокруг оси (марсианские сутки) составляет 24 ч 37 мин 22,62 с. Марсианский год (период обращения вокруг Солнца) длится 687 земных суток (или 689 марсианских).

Марс очень горист. Преобладают кольцевые горы, морфологически весьма схожие с лунными цирками и кратерами. Крупных кратеров меньше, чем мелких. Поперечники крупных кратеров Марса достигают 500 км. Наряду с этим встречаются огромные ровные пустыни без единого кратера. Например, почти круглая пустыня Хеллос поперечником 1600 км окаймлена двойным валом. Перепады высот на Марсе достигают в экваториальной зоне 14-15 км при средней крутизне склонов 3° . Уровень некоторых материков Марса лежит на 3-3,5 км ниже уровня морей.

Атмосферное давление у поверхности Марса такое же, как на высоте 30-35 км от поверхности Земли. Основа атмосферы Марса – 90% углекислого газа. Температура его замерзания минус 79°C .

Содержание азота, водорода, водяного пара и других газов в атмосфере Марса незначительно. Измерения содержания водяного пара, выполненные на советских станциях «Марс-2» и «Марс-3», показали, что влаги в атмосфере Марса в сотни тысяч раз меньше, чем в земной атмосфере.

Атомарный кислород и водород наблюдаются в верхней атмосфере Марса (до высот 700-1000 км кислород, до 10000-20000 км водород).

В атмосфере Марса нет, как в атмосфере Земли, защитного слоя из озона, поглощающего ультрафиолетовое излучение Солнца с длиной волны менее 0,3 мкм, губительного для животного и растительного мира земного типа. Зафиксировано сильное отражение от поверхности планеты в районе южной полярной шапки солнечной ультрафиолетовой радиации с длиной волны меньше 0,29 мкм.

В центре южной полярной шапки замерзена температура минус 158°C . Полагают, что эта шапка состоит из замерзшей углекислоты – «сухого льда». По-видимому, полярные шапки Марса включают в себя не только углекислоту, но и «водяной» лед и снег. На краях южной полярной шапки толщина слоя белого вещества измеряется многими метрами.

На снимках Марса, сделанных с расстояния $1,5 \cdot 10^6$ км, марсианские каналы видны так же, как и при лучших наблюдениях с Земли. На снимках с 3500-4000 км на месте широкого и темного канала Агатоделон оказался изогнутый горный кряж длиной 1200 км и шириной 150 км, испещренный кратерами. Сезонные изменения яркости морей и каналов полярных шапок – твердо установленный факт. Волна потемнения в период таяния полярной шапки распространяется от полюса к экватору до умеренных широт противоположного полушария.

Температура самой поверхности Марса меняется в очень широких пределах в зависимости от сезона, времени суток и широты. Суточные колебания температуры достигают $80-100^\circ$.

В области перигетрия (ближайшая к Солнцу точка орбиты Марса) с помощью инфракрасного радиометра, установленного на КА типа «Марс», получены данные о температуре поверхности Марса. На участках, где проводились измерения, температура не превышала -15° С. На ночной стороне Марса обнаружена точка, температура которой на $20-25^\circ$ выше температуры окружающей поверхности. Природа этого явления пока неизвестна. Значительные изменения температуры должны приводить к большим перепадам давления и возникновению сильных ветров. По существующим оценкам скорость ветра может достигать $60-80$ м/с, а на отдельных участках из-за особенностей марсианского рельефа до 150 м/с. Мощные ветры вызывают на поверхности Марса длительные пылевые бури. Верхняя граница пылевых облаков находится на $6-8$ км выше среднего уровня поверхности Марса.

Космические корабли обнаружили собственное магнитное поле планеты, которое в несколько сот раз слабее земного.

Определены границы ионосферы Марса. Ее нижняя граница лежит на высоте $80-110$ км. С увеличением высоты электронная концентрация резко возрастает, а затем плавно уменьшается.

Последние измерения подтверждают, что температура у терминатора (границы дня и ночи) составляет минус $80-90^\circ$ С. Отмечено, что некоторые участки поверхности теплее окружающих районов на $10-15^\circ$. Максимальные зарегистрированные дневные температуры в средних широтах южного полушария достигают минус $15-20^\circ$ С.

Проект пилотируемой экспедиции на Марс. В 1971 году советский космический аппарат «Марс-3» совершил первую «мягкую» посадку на поверхность Марса. Впоследствии многие аппараты совершали такие посадки.

Между полетом и посадкой на поверхность планеты автоматического аппарата и пилотируемого корабля имеется значительная разница и возникает ряд проблем [1.7].

Проблема 1. Во-первых, существенно возрастает общий масштаб всей задачи. Масса корабля для полета человека на Марс больше автоматического аппарата почти в 100 раз. Простым увеличением массы топлива и мощности ракетных блоков задачу не решить, так как слишком большой становится начальная масса комплекса перед стартом к Марсу с околоземной орбиты.

Эта величина достигает порядка 1500 тонн и все части этого комплекса надо вывести на околоземную орбиту с помощью ракет-носителей и состыковать.

Во-вторых, проблематично добиться высокой надежности такого ракетного сооружения. Мощные ракеты-носители, выводящие грузы с Земли на околоземные орбиты, широко эксплуатируются, и принципиально возможно собрать межпланетный корабль на околоземной орбите, который сможет стартовать к Марсу. Но добиться высокой надежности в процессе летной отработки, например, соизмеримой с надежностью ракеты «Союз», которой сегодня доверят жизнь космонавтов, представляется сложнейшей задачей.

Есть еще одна особенность межпланетных разгонных ракетных блоков. Многоступенчатый разгонный блок для полета корабля по межпланетной траектории должна собираться и испытываться не на Земле, а на околоземной орбите. Для того, чтобы надежность такого блока, хотя бы приблизилась к надежности современных ракет-носителей, необходимо провести большое количество испытательных пусков.

Проблема 2. На орбитальных станциях экипаж уже работал в течение длительного времени. Космонавт В.В. Поляков провел на станции «Мир» около 1,5 лет. Но полет на Марс будет составлять не 1,5 года, а около 2,5 лет. И для обеспечения такого полета еще нужно провести дополнительные исследования и решить ряд медицинских проблем до того, как экипаж стартует к Марсу.

Проблема 3. Модули орбитальных станций для длительной работы экипажа в условиях космического пространства уже работают на околоземной орбите. Именно они и являются прообразами корабля, в котором экипаж будет работать при полете на межпланетной траектории. Но при работе на модулях орбитальных станций всегда существует возможность доставки на борт необходимых средств системы жизнеобеспечения, приборов и агрегатов различных систем при возможных отказах каких-либо элементов. В случае полета к Марсу необходим большой запас резервных блоков.

Проблема 4. Полеты орбитальных станций проходят на высотах ниже радиационных поясов Земли, и магнитосфера Земли является хорошей защитой экипажа от галактического космического излучения и ионизирующей радиации Солнца при солнечных вспышках. При полете по межпланетной траектории такой защиты уже не будет и на межпланетном корабле, в котором работает экипаж, необходимо создавать специальную защиту от космического излучения и солнечных вспышек, что само по себе является серьезной проблемой.

Проблема 5. Посадка экипажа на поверхность Марса, в принципе, также может проводиться по сценариям, используемым автоматическими аппаратами. Но вес комплекса для посадки экипажа почти на порядок больше, чем вес посадочных автоматических аппаратов. Поэтому здесь также нужны другие технические решения. Например, использование парашютов для спуска больших масс становится проблематичным из-за огромных куполов этих парашютов, ненадежности их раскрытия и разреженности атмосферы.