


# УСПЕХИ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО  
ФИЗИКА  
и  
ХИМИЯ

28

  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
**ЗНАНИЕ**  
1959

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО  
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

---

# УСПЕХИ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

*Сборник*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

---

Москва

1959

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

<i>В. В. Солодовников.</i> О научных проблемах комплексной автоматизации	3
<i>Г. И. Покровский.</i> Физические явления при полетах на большой высоте . . . . .	14
<i>Б. С. Данилин.</i> Исследования, расширяющие знания о вселенной .	22

---

Авторы  
Владимир Викторович Солодовников  
Георгий Иосифович Покровский  
Борис Степанович Данилин

Редактор И. Б. Файнбойм  
Техн. редактор Е. В. Савченко  
Корректоры Н. Н. Огородникова  
и Н. М. Краснопольская

---

А10565. Подписано к печати 23/ХІІ 1959 г. Тираж 40.000 экз. Изд. № 161.  
Бумага 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub> — 1,0 бум. л. = 2,0 печ. л. Уч.-изд. 1,83 л. Заказ 2414..

---

Типография изд-ва «Знание», Новая пл. д. 3/4.

---

*Профессор В. В. СОЛОДОВНИКОВ*

## **О НАУЧНЫХ ПРОБЛЕМАХ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ**

**К**омплексная механизация и автоматизация производственных процессов — основное средство технического прогресса, без которого немыслимы высокие темпы дальнейшего роста производительности труда, снижения себестоимости и улучшения качества продукции.

Механизация и автоматизация производственных процессов имеет не только экономическое, но и огромное социальное значение, отвечая насущным интересам трудящихся, играя важнейшую роль в решении исторической задачи Советского Союза — догнать и перегнать наиболее развитые капиталистические страны по производству продукции на душу населения.

Эти вопросы были рассмотрены июньским Пленумом ЦК КПСС, принявшим постановление о конкретных мероприятиях по выполнению решений XXI съезда партии о внедрении комплексной механизации в промышленности и строительстве, автоматизации производства, введении поточных линий, замене устаревшего оборудования, штампов и инструментов в целях дальнейшего расширения промышленного производства и строительства, повышения качества выпускаемой продукции и снижения ее себестоимости, а также стоимости строительства.

Решениями XXI съезда КПСС намечен переход от автоматизации отдельных агрегатов и установок к комплексной автоматизации, к созданию полностью автоматизированных цехов, технологических процессов и предприятий.

Рассмотрим коротко проблемы, возникающие в связи с этим в области точных и технических наук.

В производственных процессах имеют место «потoki» сырья, полуфабрикатов, деталей и т. д. от входов к выходам. Для осуществления этих «вещественных потоков» необходимо производить операции выгрузки, транспортировки, переработ-

ки, упаковки, погрузки и т. д., которые могут быть выполнены ручным трудом, мускульной силой человека.

Замена ручного труда механизмами называется механизацией.

Наряду с «вещественными потоками» в производственном процессе имеют место информационные потоки. Эти потоки информации необходимы для управления производственными процессами.

В результате наблюдений, измерений, анализа и т. д. получается некоторая первичная информация о ходе производственного процесса. Эта информация тем или иным способом передается на соответствующие пункты управления, например, к мастеру, на диспетчерский пункт цеха, завода, в заводоуправление и т. д.

Здесь информация перерабатывается и используется для принятия решений о том, как следует воздействовать на производственный процесс, чтобы заставить его протекать требуемым образом. Эти решения в виде сигналов управления передаются от пунктов управления к операторам или исполнительным механизмам.

Таким образом, всякий процесс управления требует: получения, передачи, преобразования и использования информации для осуществления целенаправленных действий.

Переложение функций управления с человека на автоматические устройства называется автоматизацией.

Из сказанного ясно, что механизация и автоматизация взаимно связаны и взаимно дополняют друг друга, но имеют дело с двумя сторонами производственного процесса.

Чем более сложные функции управления производственным процессом выполняются без участия человека, тем выше степень его автоматизации.

Сравнительно простые функции управления связаны с задачами автоматического контроля и регулирования, когда требуется лишь получать необходимую информацию о тех или иных величинах, например, размерах обрабатываемой детали, и отрабатывать решения, принятые оператором. Эти решения могут, например, касаться вопросов о том, при каких значениях следует изменять те или иные величины, например, температуру нагревательной печи, частоту электрической сети, напряжение на зажимах электрического генератора и т. д.

Большинство современных машин, агрегатов, не говоря уже об участках производства — и тем более о цехах или целых заводах, — представляет собой очень сложные системы, характеризующиеся большим числом взаимозависимых величин. Поэтому управление ими обычно не может быть сведено к тем сравнительно простым функциям, о которых говорилось выше. Другими словами, управление ими может осуществляться ав-

томатически лишь частично. При этом выполнение наиболее сложных функций управления, связанных с согласованием работы отдельных автоматических устройств, с изменением их уставок, обрабатываемых программ и т. д., остается за человеком — оператором. Этот этап развития автоматизации, называемый частичной, уже не представляет собой сейчас сколько-нибудь существенной научной проблемы, поскольку принципы построения и методы расчета автоматических регуляторов и следящих систем, служащих для выполнения сравнительно простых функций управления, достаточно хорошо изучены и излагаются в теории автоматического регулирования, представляющей собой одну из важнейших научных основ частичной автоматизации.

Однако на современном этапе развития техники частичная автоматизация оказывается уже недостаточной, не способной обеспечить желаемый ход производственного процесса, требующую организацию производства и дальнейший технический прогресс.

Недаром в докладе товарища Н. С. Хрущева на XXI съезде КПСС указывается, что «следует переходить от автоматизации отдельных агрегатов, установок к комплексной автоматизации, к созданию полностью автоматизированных цехов, технологических процессов и предприятий».

Почему оказывается необходимым переходить к следующему этапу автоматизации, а именно к комплексной автоматизации?

Это объясняется все возрастающей трудностью управления производственными процессами вследствие их усложнения, интенсификации, быстрого протекания во времени. Количество информации, которое необходимо переработать человеку в единицу времени, оказывается столь большим, что человеку становится трудно управлять им же созданными машинами и процессами вследствие ограниченных физиологических способностей своего организма: ограниченного объема памяти, наличия запаздывания в его реакции на изменяющуюся окружающую обстановку и т. д. Разрешение указанной трудности путем простого увеличения количества обслуживающего персонала невозможно.

Вследствие всей совокупности указанных причин на современном уровне развития техники необходим переход от частичной автоматизации к комплексной автоматизации, при которой на средства автоматизации возлагаются не только простые, но и сложные функции управления.

При управлении производственным процессом человек стремится обеспечить наивыгоднейшие условия его протекания, или наивысшую технико-экономическую эффективность, характеризующую, например, наивысшую производительность

труда или наименьшую себестоимость продукции, совместимые с принятой технологией и имеющимся в распоряжении оборудованием.

При комплексной автоматизации эта задача должна осуществляться автоматически.

Из сказанного ясно, что экономика лежит в основе комплексной автоматизации, органически связана с ней и диктует принципы ее технического решения. Можно также сказать, что комплексная автоматизация — это автоматическое управление производственным процессом, обеспечивающее его максимально возможную при данных условиях технико-экономическую эффективность. Сам термин «комплексная автоматизация» объясняется тем, что экономические соображения заставляют рассматривать всю совокупность машин и оборудования как единый взаимосвязанный комплекс.

В соответствии с основными видами информационных процессов все существующие технические средства автоматизации можно подразделить на четыре основных класса: средства для получения информации (чувствительные элементы, датчики и т. д.); средства для передачи информации (устройства телемеханики); средства для обработки и преобразования информации (вычислительные машины); средства для использования информации (следящие системы, автоматические регуляторы).

С точки зрения средств автоматизации основным различием комплексно автоматизированных от частично автоматизированных процессов и объектов является прежде всего высокий уровень развития технических средств для обработки и преобразования информации — необходимость применения управляющих вычислительных машин.

Вычислительные машины используются и при частично автоматизированных процессах. Но в этом случае они служат для обработки информации не «в темпе» с процессом, не входят непосредственно в систему управления и оставляют окончательное принятие решений за оператором.

При частичной автоматизации наибольшую сложность представляло создание теории автоматического регулирования, т. е. теории динамических систем с обратной связью, обладающих свойством сохранять требуемую функциональную связь между некоторыми описывающими ее поведение величинами при помощи сравнения функций от этих величин и использования получающихся при этом сигналов для управления источниками энергии. Основные вопросы этой теории — устойчивость, качество, динамическая точность, автоколебания, синтез. Специфическим для нее является понятие обратной связи.

Научные задачи комплексной автоматизации выходят далеко за рамки автоматического регулирования и требуют для

своего решения создания более сложной дисциплины — теории автоматического управления. Последнюю можно рассматривать как раздел общей теории управления, называемой кибернетикой.

Кибернетика устанавливает общие принципы и законы, согласно которым осуществляются целеустремленные процессы управления на основе процессов получения, передачи, преобразования и использования информации.

Кибернетику можно подразделить на аналитическую и техническую.

Если основной задачей аналитической кибернетики является анализ информационных процессов в любых объектах с целью их алгоритмизации, то основной задачей технической кибернетики является синтез информационных машин, способных реализовать эти алгоритмы.

Теория автоматического управления представляет собой раздел кибернетики, в котором в качестве управляемых объектов рассматриваются объекты неживой природы, и в частности производственные процессы.

Необходимо подчеркнуть значение методов математической статистики для построения теории автоматического управления. Действительно, для анализа таких сложных систем, какими являются комплексно-автоматизированные производства, состоящие из очень большого числа взаимодействующих друг с другом элементов, нельзя ставить себе задачу описывать протекающие процессы во всех деталях.

Кроме того, следует иметь в виду, что в самой основе данного выше определения термина «комплексная автоматизация» лежит понятие информации, информационных процессов, вероятностная, статистическая сущность которых общеизвестна.

Аналогия, существующая между информационными процессами в системах связи и в системах комплексной автоматизации, показывает, что методы математической статистики, получившие широкое применение в теории связи, имеют такие же широкие перспективы и в теории автоматического управления.

Необходимость использования в этой теории статистических методов ясна также из того, что отклонения характеристик сырья от некоторых средних значений, многие возмущающие воздействия, а также качество готовой продукции часто могут задаваться и анализироваться лишь статистически.

Наконец, важность статистических методов для решения задач комплексной автоматизации вытекает из того, что управляющие машины должны имитировать сложные функции человеческого организма, которые, как показывают исследования, могут моделироваться и воспроизводиться на основе мо-



делей устройств, базирующихся на статистических принципах.

Предмет теории автоматического управления состоит в разработке алгоритмов управления и рациональных методов, позволяющих объединить автоматизируемые объекты и разнородные средства автоматизации в единую гармонически действующую систему, осуществляющую поставленную перед ней цель управления.

Под алгоритмом управления понимается совокупность математических и логических операций, согласно которым необходимо осуществлять переработку информации о производственном процессе для того, чтобы управление им обеспечило максимальные или минимальные (экстремальные) или допустимые значения показателей технико-экономической эффективности, совместимые с имеющимися связями и ограничениями, вытекающими из технологии процесса и требований к готовой продукции.

Первая трудность, стоящая на пути определения алгоритма управления, заключается в том, чтобы вывести уравнения связей, т. е. дать математическое описание процесса.

Обычно вследствие сложности производственных процессов это очень трудная задача. Так, в настоящее время еще невозможно описать при помощи дифференциальных уравнений процессы, присходящие в доменной или мартеновской печах.

Перспективный путь разрешения этой задачи состоит в разработке экспериментальных методов определения динамических характеристик управляемых объектов.

Трудность встречается и при выводе уравнений для показателей технико-экономической эффективности. Нужно подчеркнуть, что этот вопрос изучен еще менее, чем математическое описание самих производственных процессов. Здесь в основном до сего времени полагались на опыт, квалификацию, интуицию людей, осуществляющих управление процессом.

Еще одна трудность заключается в получении уравнений, определяющих алгоритм управления и обеспечивающих экстремум показателей технико-экономической эффективности, совместимый с уравнениями связей и техническими условиями.

Для преодоления всех этих трудностей необходимо привлечение в теорию автоматического управления нового математического аппарата, в частности теории решающих функций, теории игр, математической логики, теории конечных автоматов и т. д.

Постановка задачи, которой занимается теория решающих функций, если иметь в виду вопросы управления, заключается в следующем.

В результате экспериментирования, т. е. наблюдения за процессом в течение некоторого времени, мы получаем исходную, априорную информацию. Совокупность возможных решений определяется динамикой системы и имеющимися ограничениями. Функция риска, служащая для сравнения выбираемых решений, связана с критерием технико-экономической эффективности.

Задача заключается в том, чтобы определить при этих условиях решающую функцию в виде алгоритма управления.

Управление производственным процессом может рассматриваться и как обобщенная задача фильтрации. В теории связи под фильтрацией понимается отделение полезного сигнала от помех. В случае управляемого производственного процесса полезным сигналом надо считать требуемые значения величин, определяющих качество готовой продукции, а помехами — все возмущающие факторы, стремящиеся отклонить эти величины от требуемых значений.

При такой аналогии определение алгоритма управления можно рассматривать, как задачу нахождения оптимального фильтра, наилучшим образом отделяющего полезный сигнал от помехи.

Большой интерес представляет применение к решению задач управления методов исследования операций и теории игр.

В общей форме метод исследования операций может быть определен, как научный метод, позволяющий на основании ограниченной информации о каком-либо процессе получать количественные основания для принятия решений по управлению им.

Одной из важнейших математических основ метода исследования операций является теория игр.

Для оценки результатов игры в рассмотрение вводится некоторая числовая функция, которая называется функцией выигрыша данного игрока.

Особый интерес представляют парные игры с нулевой суммой, в которых сумма выигрышей обоих участников равна нулю, т. е. в которых один из участников может выиграть только за счет второго. Если  $F$  есть функция выигрыша первого игрока, то, очевидно, что он стремится обеспечить максимум функции  $F$ , а второй игрок стремится, наоборот, свести ее к минимуму.

В случае применения теории игр к решению задач автоматического управления в качестве первого игрока можно рассматривать систему автоматического управления, а в качестве второго — изменения в окружающей обстановке, на которые она должна реагировать. При каждом новом положении система управления ищет среди всех своих возможных реакций или «ходов» тот ход, который обеспечивает максимум некоторой функции выигрыша.

Однако здесь необходимо учесть одно обстоятельство. В то время как экспериментатор хочет минимизировать риск, едва ли можно сказать, что природа стремится сделать его максимальным, как это имеет место в парной игре с нулевой суммой. Поэтому теория игр применима к задачам автоматического управления без оговорок лишь в том случае, если система автоматического управления взаимодействует с окружающей обстановкой, стремящейся затруднить управление, что имеет место, например, при работе систем автоматического управления движущимися объектами в условиях организованных помех и т. д. Если же система управления имеет дело с «нейтральной» природой, то решение, получаемое методами теории игр, можно рассматривать, как решение, соответствующее наиболее неблагоприятным для системы управления условиям работы.

Комплексная автоматизация требует высокого уровня развития всех основных классов средств автоматизации. Особого внимания заслуживает проблема развития технических средств для получения информации, т. е. проблема датчиков, без которых невозможна не только комплексная, но и частичная автоматизация. Если при частичной автоматизации наблюдение за ходом производственного процесса часто осуществляется человеком, использующим собственную интуицию и опыт, то при комплексной автоматизации необходимы объективные методы получения информации и притом в виде, удобном для ее последующей передачи и переработки.

Для решения проблемы датчиков необходимо использовать последние достижения физики. Сейчас во многих случаях, например в доменном, мартеновском и других производствах, основным препятствием для автоматизации служит именно отсутствие необходимых датчиков.

Другой важной проблемой является использование вычислительных машин для управления производственными процессами. В настоящее время вычислительная техника широко используется для расчетов и инженерных исследований. Но ее применение для автоматического управления находится лишь в начальной стадии развития. Необходима разработка совершенно новых принципов построения таких управляющих машин, которые должны удовлетворять особенно высоким требованиям прежде всего в отношении надежности их работы в производственных условиях. Если «сбои» в работе вычислительных машин очень нежелательны и связаны с непроизводительной затратой времени и сил, то «сбои» в работе управляющих машин являются недопустимыми, так как они могут привести к аварии и нарушению нормального хода всего производственного процесса.

Кроме того, если учесть, что управляющая машина должна быть связана с многочисленными другими средствами ав-

томатизации в виде датчиков, средств для передачи информации, исполнительных механизмов и т. д. и образовывать вместе с ними единую взаимосвязанную систему, то легко понять, что проблема надежности является одной из основных в комплексной автоматизации.

Управляющие машины, в зависимости от реализуемых ими алгоритмов управления, можно подразделить на четыре основных класса: аналитические (если реализуемый ими алгоритм управления может быть определен в виде однозначной последовательности известных математических и логических операций), статистические (если реализуемый алгоритм позволяет по предыдущим состояниям определять вероятные последующие состояния), поисковые (если реализуемый алгоритм управления позволяет определить по предыдущим состояниям последующие состояния в результате процесса поиска, осуществляемого исходя из конечной цели управления), комбинированные (если для определения последующих состояний по предыдущим используются по крайней мере два из перечисленных выше принципов алгоритмизации).

К аналитическим управляющим машинам относятся, например, цифровые машины с жесткой программой, применяемые для управления станками. К ним же по существу можно отнести, в качестве их наиболее элементарной формы, корректирующие устройства обычных систем автоматического регулирования, обеспечивающие оптимальный режим регулирования лишь при определенных типовых условиях. Сюда же относится большинство вычислительных (счетно-решающих) приборов управления движущимися объектами, также обеспечивающих оптимальный режим управления по существу лишь при строго определенных условиях.

Если аналитические управляющие машины действуют в условиях полной определенности, а статистические — в условиях определенности статистической, то поисковые управляющие машины действуют в условиях полной неопределенности.

В этом случае функция распределения вероятностей для состояний управляемого объекта не известна. В условиях полной неопределенности выбор решения может производиться, например, на основе минимаксного критерия, согласно которому для каждого решения отыскивается наихудшее состояние, а затем выбирается то решение, для которого наихудшее состояние является наилучшим по сравнению с остальными. Задача индивидуального выбора решения при управлении в условиях неопределенности может рассматриваться, как игра одного участника против нейтральной природы.

Как аналитические, так и статистические управляющие машины могут быть самонастраивающимися, т. е. стремящимися поддерживать приближение к экстремуму выбранных показателей технико-экономической эффективности при изменя-

ющихся условиях работы системы автоматического управления.

Таким образом, самонастраивающиеся системы обладают способностью изменять свои внутренние динамические свойства так, чтобы оставаться вблизи оптимального режима.

В управляющих машинах для выработки управляющих воздействий требуется осуществлять в системе управления передачу и преобразование определенного количества информации в единицу времени. При этом естественно, что чем больше это удельное количество информации, тем более сложной должна быть система управления. Поэтому информационный статистический или поисковый подход следует применять к выбору решения, соответствующего оптимальному процессу управления, не из всей возможной совокупности решений, соответствующих всем возможным характеристикам сырья и всем возможным возмущающим воздействиям, а лишь из той совокупности решений, которые соответствуют возможным отклонениям от выбранного аналитического решения.

Комбинированная управляющая вычислительная машина будет функционировать следующим образом. На основании имеющейся априорной информации она будет давать первое аналитическое приближение к оптимальным условиям управления. В ходе реальной эксплуатации системы, по мере поступления в нее дополнительной информации, она будет корректировать первое приближение, непрерывно подстраиваясь к действительным условиям работы, в результате поиска оптимальных режимов в окрестности оптимального режима, полученного в качестве первого приближения.

Такая машина будет обладать свойством улучшать или совершенствовать процесс в определенном, заданном ей смысле на основании анализа своих действий и «накопления опыта» на значительном интервале времени, осуществляя приближение к точному удовлетворению условий экстремума показателей технико-экономической эффективности.

Такого рода управляющие машины логично назвать самообучающимися, или самосовершенствующимися.

В этих машинах, как мы видим, поиск оптимального режима и переход из одного оптимального режима в другой осуществляются не только в зависимости от событий, непосредственно предшествовавших и вызвавших необходимость этого перехода, но и в зависимости от событий, которые имели место в более отдаленном прошлом.

Отсюда, вообще говоря, следует, что самообучающиеся системы должны обладать более долговременной и более объемной памятью, чем просто самонастраивающиеся системы.

Рассмотренные нами вопросы создания алгоритмов управления и принципов их технической реализации при помощи

управляющих вычислительных машин находятся в начальной стадии разработки. Ввиду исключительной сложности данных вопросов на их решении необходимо сосредоточить объединенные усилия ученых самых различных специальностей — математиков, техников, физиков, экономистов и т. д.

Решение научных проблем комплексной автоматизации — необходимое условие технического прогресса в социалистическом обществе, вступившем в период развернутого строительства коммунизма.

---

---

*Профессор Г. И. ПОКРОВСКИЙ*

### **ФИЗИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ПОЛЕТАХ НА БОЛЬШОЙ ВЫСОТЕ**

Если в ясный, безоблачный день посмотреть вверх, в массу голубого воздуха, рассеивающего солнечный свет, то невольно кажется, что в этой однородной массе не может существовать каких-либо барьеров или преград стремительным полетам различных летательных аппаратов, если только они снабжены достаточно мощными двигателями и достаточным запасом энергии. На самом деле это не совсем так. Полеты на разных высотах протекают весьма различно. Рассмотрим различные принципы, на которых может быть основан полет. При всяком полете необходимо прежде всего обеспечить преодоление силы тяжести. Преодолеть силу тяжести возможно в принципе четырьмя способами. Возможен еще и пятый, который мы рассмотрим дальше, но он пока не имеет практического значения.

Один из самых простых способов полета основан на законе Архимеда. Если тонкую оболочку заполнить газом существенно более легким, чем окружающий воздух, то эта оболочка будет обладать подъемной силой, которая может достигнуть значительной величины (рис. 1).

Аэростаты (воздушные шары), основанные на этом принципе, применяются уже в течение двух столетий. Поэтому сложилось мнение, что аэростаты давно уже себя исчерпали и дальнейшее развитие техники должно идти иным путем.

Такое мнение, однако, неправильно. В области воздушных шаров имеются возможности, которые в полной мере стали выясняться только в последние годы.

Толчок в этом направлении был дан развитием химии, создавшей новые синтетические материалы с замечательными свойствами.

В частности, в настоящее время научились вырабатывать очень прочные, гибкие и легкие пленки, непроницаемые для

газов. Эти пленки пригодны для изготовления огромных шаров. Такие шары, заполненные легкими газами — водородом и гелием, могут подниматься на чрезвычайно большую высоту.

Подъем на такую большую высоту на незначительное время в принципе доступен самолетам и во много раз превзойден ракетами. Однако длительный полет на этой высоте, продолжающийся много суток, возможен только с помощью аэростатов. Достигнут ли здесь предел?

На этот вопрос необходимо ответить отрицательно. Безусловно, возможен подъем на существенно более значительную высоту. Все зависит от того, насколько большой аэростат можно построить и насколько легкой будет оболочка.

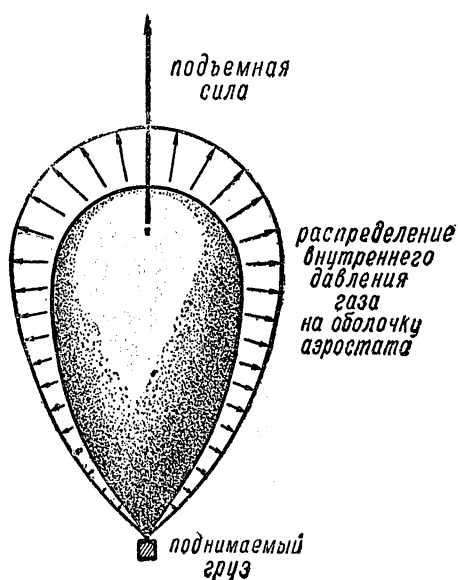


Рис. 1. Схема сил, действующих на высотный аэростат.

Аэростат, изготовленный из пленки толщиной в одну десятую миллиметра с прочностью на разрыв равной  $6000 \text{ кг/см}^2$ , сможет подняться на высоту более 70—80 км, то есть почти выйти в космическое пространство.

Шары такого рода могут быть теоретически сделаны очень крупными. Расчеты показывают, что радиус шара прямо пропорционален прочности материала его оболочки. Когда оболочка сделана из очень тонкой пленки, радиус шара может составить несколько километров. Такие шары, даже когда



они не будут нести на себе никакой аппаратуры, могут рассматриваться как приборы, очень полезные для науки и техники (метеорологические шары — зонды для изучения ветра).



Перейдем теперь к другому виду полета на значительной высоте, к полету, когда вес летательного аппарата уравновешивается подъемной силой, создаваемой взаимодействием аппарата и воздуха при достаточно быстром движении. Такой вид полета характерен для самолетов, планеров и птиц (рис. 2).

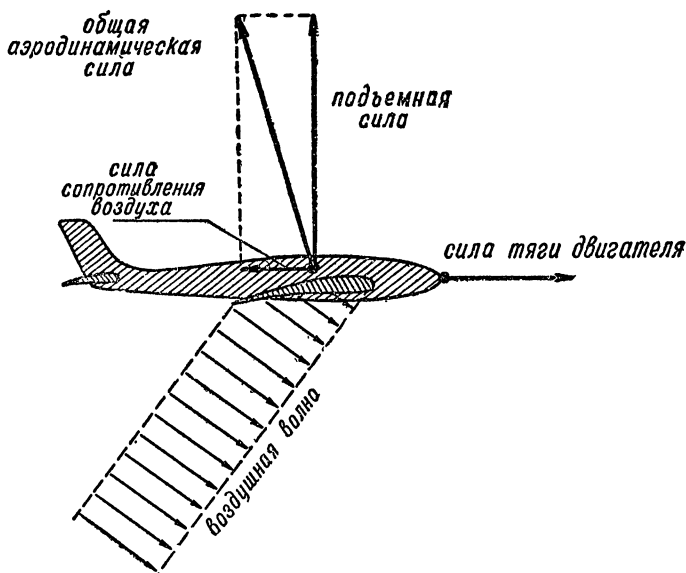


Рис. 2. Силы, действующие на самолет (летающий со скоростью, превышающей скорость звука).

В этом случае подъемная сила пропорциональна плотности воздуха и примерно пропорциональна квадрату скорости полета.

Когда скорость полета близка к скорости звука в воздухе (около трети километра в секунду), получаются некоторые особенности и отклонения от указанного закона. Однако в общем эти отклонения незначительны и могут нами не учитываться.

Плотность атмосферного воздуха уменьшается с увеличением высоты. Можно считать, что плотность воздуха умень-

шается примерно вдвое при подъеме на каждые 5 км. Чтобы подъемная сила не изменялась, необходимо, при прочих неизменных условиях, увеличивать скорость так, чтобы величина скорости в квадрате возрастала бы вдвое при подъеме на каждые 5 км. Расчет показывает, что при таких условиях скорость должна увеличиваться вдвое на каждые 10 км.

Полезная мощность двигателя самолета, называемая также тяговой мощностью, равняется произведению силы тяги на скорость. Обычно сила тяги находится в постоянном соотношении с подъемной силой. Если при полете на различных высотах подъемная сила остается постоянной, то и сила тяги также не должна изменяться. Поэтому тяговая мощность двигателя самолета будет расти пропорционально скорости полета.

Можно сделать вывод, что полезная мощность двигателя самолета должна возрастать вдвое на каждые 10 км подъема. Это справедливо также для вертолетов (рис. 3).

Очевидно, что мощность двигателя имеет свои пределы. Поэтому подъем самолета не может быть осуществлен выше определенного предела, и этот предел в большинстве случаев лежит существенно ниже предельной высоты полета высотных аэростатов.

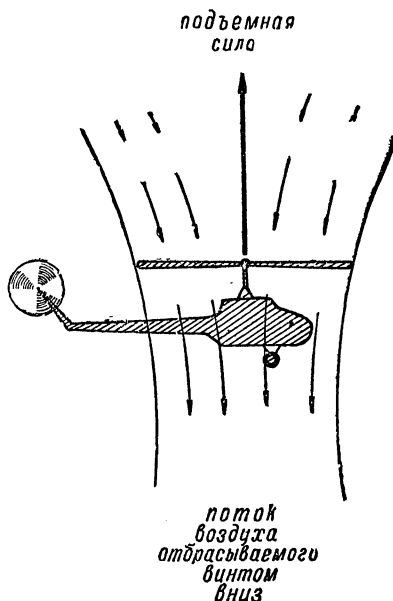


Рис. 3. Сила, действующая на вертолет (при вертикальном подъеме).

\* \* \*

Предел роста мощности двигателей — это не единственная причина, ограничивающая рост высоты полета самолетов. Существует еще одна причина, сильно затрудняющая длительные полеты самолетов на больших высотах. Дело заключается в том, что при увеличении скорости полета в результате трения происходит существенное усиление нагревания воздуха и самолета.

Степень нагревания пропорциональна плотности воздуха и скорости полета в кубе.

Если скорость полета увеличивается вдвое при увеличении высоты полета на каждые 10 км, а плотность воздуха уменьшается вдвое при увеличении высоты на каждые 5 км, то расчет показывает, что степень нагревания должна возрасти вдвое при подъеме на каждые 10 км.

В результате этого нагревание при полетах на высоте более 40—50 км должно стать столь значительным, что потребуются сложные устройства для охлаждения самолета или же длительный полет станет вообще невозможным.

Воздух, прорезаемый воздушным кораблем, нагревается и нагревает обшивку самолета. Степень такого нагревания зависит от количества кинетической энергии, приносимой потоком воздуха к единице поверхности самолета за единицу времени. Эта величина пропорциональна плотности воздуха и кубу скорости его движения.

Если поток кинетической энергии воздуха у поверхности Земли принять равным единице и считать, что скорость самолета растет с высотой, то на высоте в 26 км возможный верхний предел нагрева самолета будет в 100 раз больше, чем у поверхности Земли, на высоте в 33 км — в 400 раз больше, на высоте около 40 км — даже в 760 раз больше, чем у Земли. На высоте примерно в 40 км достигается максимум, после чего идет быстрое снижение, и на высоте в 90 км эффект примерно такой же, как у поверхности Земли.

Конкретные значения температур на разных высотах назвать трудно — они зависят от материала и характера тех или иных способов охлаждения, от формы нагреваемой детали и т. д.

Можно отметить, например, что в настоящее время достигнуты условия, при которых  $\rho v^3 / \rho_0 v_0^3$  достигает величин порядка 40. Здесь  $\rho$  — плотность воздуха на высоте полета;  $\rho_0$  — плотность воздуха у поверхности Земли;  $v$  и  $v_0$  — соответствующие скорости полета. Это имеет место, например, при полетах американского самолета-снаряда «Навахо» при скоростях 3600—4800 км/час на высотах 25—30 км. Можно полагать, что недопустимые для длительного полета условия возникают примерно при  $\rho v^3 / \rho_0 v_0^3 > 100$ . Бесспорно одно — явления прогрева от трения о воздух очень значительны на высотах в пределах примерно от 30 до 60 км. Кстати, следует отметить, что именно на таких высотах сгорает большинство метеоров, хотя условия их прогрева несколько отличаются от рассмотренных здесь условий.

Таким образом, можно считать, что тепловые явления, сопровождающие высотный и скоростной полет, делят прилегающее к земному шару пространство на три различные зоны:

1. Нижняя зона высотой в 20—30 км — область применения обычных видов авиации и воздухоплавания, использую-

щих динамическую или статическую опору летательного корабля на воздух атмосферы.

2. Средняя зона высотой примерно от 30 до 60 км менее пригодна для полетов. При динамической опоре на воздух летящее тело очень сильно разогревается.

3. Верхняя зона располагается выше 90—100 км. В этой зоне возможен без особого разогревания полет, при котором сила тяжести компенсируется рассмотренной выше центробежной (космической) силой.

Из сказанного следует, что существуют две резко различные области полетов — нижняя, которую можно назвать областью авиации, и верхняя, которую можно назвать областью космических полетов, или космонавтики.

Можно поставить вопрос: при каких же условиях (например; при какой дальности полета) обычный самолет затрачивает столько же энергии на движение, сколько нужно для полета космического корабля? Приведенный нами расчет, основанный на имеющихся в настоящее время предположениях, дает следующий результат: при обычных условиях полета перспективный скоростной самолет со скоростью порядка 3000 км/час при дальности полета порядка 15 000 км может быть заменен ракетой, которая будет при таких условиях обладать примерно такой же транспортной способностью, как и этот самолет.

Отсюда следует, что в принципе полет в космическом пространстве, на высоте в несколько сот километров над поверхностью Земли, может рассматриваться, как целесообразный вид скоростного транспорта между центрами, удаленными друг от друга на несколько тысяч километров. Можно предполагать, что будет перспективным использование такого вида транспорта на трассах Европа—Китай, Европа—Индия, Европа—Америка, Америка—Китай, Китай—Индия.

\* \*  
\*

Есть еще ряд способов полета, отличающихся от рассмотренных выше.

Так, еще в 1881 году Кибальчич предложил летательный аппарат, основанный на том, что сила тяжести уравновешивается силой тяги реактивного двигателя, поставленного вертикально. Опытные экземпляры таких самолетов описаны в настоящее время в советской и иностранной печати. Их называют калеоптерами (рис. 4).

Такие летательные аппараты невыгодны в энергетическом отношении. Расход топлива у них во много раз превосходит

расход топлива самолетами, и поэтому калеоптеры не могут совершать длительных полетов.

Однако калеоптеры могут быть снабжены жидкостными реактивными двигателями, наподобие ракет. При таких условиях они становятся независимыми от окружающей атмосферы, и это обеспечивает им возможность подниматься на любую высоту и проходить свободно через слой воздуха на высоте 50—100 км, в котором полет самолетов и ракет чрезвычайно затруднен.

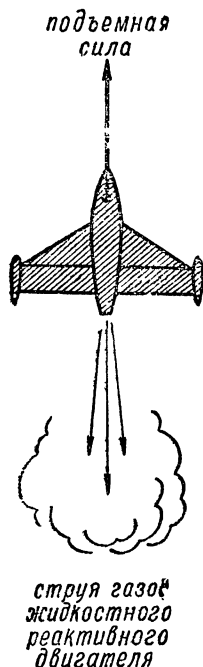


Рис. 4. Самолет, взлетающий вертикально под действием жидкостного реактивного двигателя.

Известная идея Циолковского о торможении ракеты, возвращающейся на Землю из космоса при помощи реактивного двигателя, струя газов которого выбрасывается вперед, в сторону движения ракеты, по существу является: не чем иным, как предложением преобразовать космический корабль в калеоптер, садящийся на землю вертикально, причем вес его компенсируется силой тяги реактивного двигателя.

\* \* \*

Есть еще одна, пока весьма фантастическая, возможность полета, основанная на использовании электрического поля Земли. Как известно, в земной атмосфере и выше, в космическом пространстве, окружающем Землю, имеется довольно сильное электрическое поле. Поэтому если зарядить летательный аппарат весьма большим электрическим зарядом, то он будет настолько сильно отталкиваться от Земли, что станет невесомым и сможет при помощи того или иного двигателя перемещаться в горизонтальном направлении (рис. 5).

Пока задача такого рода практически неразрешима, потому что летательный аппарат надо было бы зарядить до столь высокого электрического потенциала, что заряды стали бы стекать с него в окружающее пространство. В результате этого заряд тела уменьшился бы и электрическая сила не смогла бы больше компенсировать вес летательного аппарата.

\* \*  
\*

Мы рассмотрели здесь простейшие физические проблемы, связанные с современным быстрым развитием авиационной и ракетной техники. Эти проблемы следует рассматривать

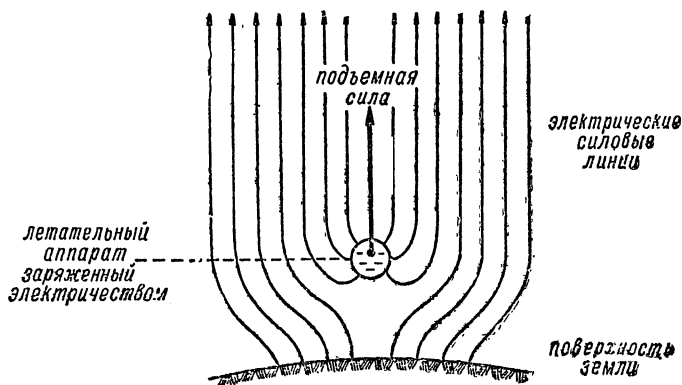


Рис. 5. Схема, поясняющая принципиальную возможность получить подъемную силу за счет электрического поля Земли.

только как пример, поясняющий, какое многообразие различных сил природы может и должен подчинить себе человек, чтобы в ближайшее время стать подлинным властелином пространства, окружающего Землю.

---

---

*Кандидат технических наук Б. С. ДАНИЛИН*

### **ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСШИРЯЮЩИЕ ЗНАНИЯ О ВСЕЛЕННОЙ**

**Б**олее восьми тысяч оборотов сделала вокруг нашей планеты космическая лаборатория — третий советский искусственный спутник Земли. Установленные на поверхности спутника кремниевые батареи в течение всей его жизни преобразуют лучистую энергию Солнца в электроэнергию, необходимую для питания передатчика, непрерывно посылающего на Землю радиосигналы. Безотказная работа целого комплекса разнообразнейших приборов позволила накопить ценнейшую информацию о верхних слоях атмосферы, в которых происходит полет спутника.

Длительная работа радиоаппаратуры свидетельствует о том, что за все время полета спутник ни разу не встретился с крупным метеором, который мог бы нарушить герметичность спутника и разрушить расположенные на его поверхности кремниевые батареи. Установленные на спутнике пьезодатчики регистрировали в среднем всего лишь один удар микрометеора за 100 секунд. Это соответствует плотности метеорного вещества менее чем одна десятиллиардная доля грамма в секунду на квадратный метр поверхности. Таким образом, спутники установили, что метеорная материя в космосе находится в чрезвычайно раздробленном состоянии и большинство метеоров является не сплошными каменными или металлическими частицами, а рыхлыми образованиями, скорее всего напоминающими хлопья копотн или снега. Сгорающая в верхних слоях атмосферы, они оставляют в ней продукты своего сгорания, которые долгое время находятся во взвешенном состоянии, постепенно оседая на поверхность Земли. Ученые подсчитали, что каждые сутки на поверхность Земли выпадает в среднем около 1000 т микрометеорной пыли.

Более крупные метеорные тела встречаются в космосе довольно редко. По подсчетам, в кубе, ребро которого равно 1000 км, содержится всего лишь одна частица с массой в 1 г.

Для того чтобы космический корабль встретился с этой частицей, потребуется около полутора лет. Это показывает, что «метеорная опасность», которая сравнительно недавно выдвигалась как одно из серьезнейших препятствий будущих межпланетных полетов, не столь уж велика.

Большой интерес для будущих межпланетных полетов представляют сведения об энергии и интенсивности космических лучей. Для установления надежной дальней радиосвязи исключительную ценность представляют данные о степени ионизации земной атмосферы. Для успешного осуществления взлета или посадки межпланетных кораблей нужны точные сведения о плотности, температуре и газовом составе атмосферы на больших высотах.

Совсем еще недавно, к началу Международного геофизического года земная атмосфера была достаточно хорошо изучена с помощью ракетного зондирования только до высоты 100 км. Данных непосредственных измерений параметров верхней атмосферы (на больших высотах) в то время было очень мало. Поэтому не удивительно, что представления о свойствах верхней атмосферы носили крайне противоречивый характер. Достаточно сказать, что значения плотности на высотах 400—500 км, по представлению различных ученых, отличались почти в тысячу раз, а расхождения в значении температуры достигали 3000°. Некоторые ученые считали, что на высотах более 100 км имеет место непрерывный рост температуры, и делали самые различные предположения о причинах этого явления. Однако наиболее распространенным было мнение, что верхняя атмосфера сильно разрежена и, начиная с высоты 300 км, имеет постоянную температуру.

Много неясного было в вопросе о газовом составе верхней атмосферы. Высказывалось, например, предположение о том, что в результате воздействия силы земного тяготения наиболее тяжелые газы (кислород, азот, аргон) сосредоточиваются в основном в приземных слоях атмосферы, заменяясь на больших высотах более легкими газами. Не было точных сведений о том, какова степень ионизации верхней атмосферы, как она изменяется с высотой и какова природа ионов.

Запуск в космическое пространство искусственных спутников Земли впервые позволил определить основные свойства верхней атмосферы в интервале высот от 200 до 1000 км.

После запуска первых двух советских спутников сразу стало ясно, что плотность атмосферы на больших высотах значительно больше тех величин, которые можно было предполагать на основании ранних ракетных исследований. Хотя на этих спутниках не было установлено специальной аппаратуры, предназначенной для измерения плотности атмосферы, однако торможение спутников в результате соударения с молекулами и атомами газа (приводящее к сокращению орбиты и



уменьшению периода обращения) позволило рассчитать плотность атмосферы в районе перигея (наиболее низкой точки орбиты). Оказалось, что на высоте 225 км плотность составляет  $3 \cdot 10^{-13}$  г/см<sup>3</sup>. Анализ торможения американских спутников «Эксплорер» и «Авангард» показал, что плотность на высотах 186, 368 и 656 км составляет соответственно  $6,7 \cdot 10^{-13}$ ,  $1,5 \cdot 10^{-14}$  и  $3,5 \cdot 10^{-16}$  г/см<sup>3</sup>.

Полученные значения хорошо согласуются с величиной плотности, рассчитанной по скорости расплывания облака атомарного натрия, выпущенного при одном из пусков геофизической ракеты на высоте 430 км. Однако все эти способы позволяют определить плотность атмосферы только в какой-либо одной точке.

Исключительный интерес представляют результаты непосредственного измерения плотности с помощью манометров, установленных на третьем советском искусственном спутнике Земли. Для измерения ничтожных плотностей газовой среды, составляющих стомиллионные и миллиардные доли плотности воздуха на уровне моря, использовались специальные вакуумные манометры, в которых производилась ионизация исследуемого газа с последующим измерением величины ионного тока.

Манометры были установлены на наружной поверхности спутника и автоматически вскрыты после того, как он вышел на орбиту. С этого момента величина давления в рабочей полости манометра непрерывно регистрировалась и передавалась на Землю с помощью радиотелеметрической системы. Следует иметь в виду, что давление в рабочей полости манометра изменяется не только с изменением давления в свободной атмосфере, но зависит также от скорости движения спутника, его ориентации в пространстве, состава и температуры газа в атмосфере и в манометре. Поскольку спутник мчится с колоссальной скоростью (8 км/сек), меняя все время угол «атаки» и медленно вращаясь вокруг своей продольной оси, давление в манометре все время меняется. Все зависит от того, как расположено заборное отверстие манометра относительно потока газа. Если поток газа направлен в манометр, то количество молекул, попадающих в его рабочую полость, резко возрастет. Если же заборное отверстие окажется на тыльной стороне спутника, то в рабочую полость манометра может залететь незначительное количество молекул.

Для определения давления и количества частиц в свободной атмосфере, состояние которой не нарушено полетом спутника, нужно в каждый момент времени точно знать ориентацию спутника в пространстве.

Большой и разнообразный комплекс измерительной аппаратуры, который мог быть установлен благодаря громадному весу и размеру третьего искусственного спутника Земли, поз-

волил создать такие условия, когда показания одних приборов помогали произвести обработку показаний расположенной по соседству аппаратуры. Так, например, установленный на спутнике магнитометр, помимо своего прямого назначения — измерения геомагнитного поля, с помощью двух специальных датчиков фиксировал положение осей спутника относительно магнитного поля Земли. Обработка показаний этих датчиков позволяет достаточно точно определить, как ориентированы заборные отверстия манометров, радиочастотного масс-спектрометра и других приборов относительно потока газа и тем самым внести соответствующие поправки в значения давления, плотности, числа положительных ионов и других параметров верхней атмосферы.

Для того чтобы вокруг спутника не смогла создаться собственная «атмосфера» за счет выделения газов, захваченных из нижних слоев атмосферы и пробившихся изнутри спутника, к его герметичности предъявлялись очень жесткие требования, а поверхность изготовлялась из материалов, обладающих самым ничтожным газовыделением.

Результаты измерения показывают, что после нескольких оборотов спутника газоотделение с его поверхности практически прекратилось и показания манометров стали отображать значения плотности в свободной незагрязненной атмосфере. При этом удалось не только непосредственно измерить изменение плотности с высотой, но и выяснить, как она изменяется в различных широтах в различное время суток.

Большим достоинством манометрических измерений является то, что они позволяют определить высоту однородной атмосферы<sup>1</sup>. Это определение довольно трудно сделать по наблюдению торможения искусственных спутников Земли. В результате измерений было установлено, что толщина слоя однородной атмосферы увеличивается с высотой. Это показывает, что на больших высотах плотность значительно медленнее убывает с высотой, чем на более малых высотах.

Кроме того, отсюда можно сделать вывод, что на больших высотах, например на высоте 500 км, температура среды достигает 1500—2000°.

Причины столь сильного разогрева верхней атмосферы пока неясны. Еще до запуска спутников высказывались предположения о возможных причинах разогрева (разогрев атмосферы очень горячим межпланетным газом, являющимся продолжением солнечной короны; повышение температуры в результате циркуляции электропроводящего воздуха в магнитном поле Земли и т. д.).

Полеты спутников и космической ракеты показали, что

---

<sup>1</sup> Высотой однородной атмосферы на данном уровне называется частное от деления массы столба атмосферы с основанием в 1 см<sup>2</sup> над этим уровнем на плотность у основания этого столба.

вокруг Земли на расстоянии до 50 тыс. км имеется большое количество электронов. Они очень долго блуждают, будучи «заперты» в своеобразную ловушку, созданную магнитным полем Земли. Возможно, что эти электронные потоки и вызывают разогрев верхней атмосферы.

Если температура воздуха на больших высотах достигает нескольких тысяч градусов, то невольно возникает вопрос, почему же не расплавляется наружная оболочка спутника? Дело в том, что эта температура характеризует только кинетическую энергию молекул и совершенно не означает, что заброшенное на эту высоту тело (будь то ракета, спутник или космический корабль) будет воспринимать столь высокую температуру. Вследствие чрезвычайно малой плотности среды и больших длин свободного пробега молекул температура тела будет определяться в основном лучистой энергией, которую оно поглощает от Солнца, Земли и нижних слоев атмосферы. Например, расположенные на поверхности спутника кремниевые батареи в зависимости от того, находятся ли они в земной тени или на Солнце, меняют свою температуру всего лишь в пределах от 16 до 30°.

Является ли температурный режим атмосферы постоянным? Еще до запуска спутников высказывалось предположение, что атмосфера расширяется при нагревании днем и сжимается при охлаждении ночью и в ней имеет место широтный эффект. Проведенные в период Международного геофизического года (МГГ) запуски высотных ракет (в том числе в полярных районах) и экспериментальные исследования с помощью спутников впервые позволили установить закономерности этих явлений. Было обнаружено, что дневные летние значения плотности на высоте 200 км больше ночных зимних почти в 20 раз и что плотность атмосферы в полярных районах примерно в 5 раз больше, чем вблизи экватора.

Наблюдения же за торможением спутника в результате его соударения с молекулами и атомами, находящимися в верхней атмосфере газов, показали, что плотность и температура атмосферы подвержены сильным колебаниям. В самом деле, если бы атмосфера обладала неизменными свойствами, то в результате торможения от витка к витку наблюдалось бы уменьшение периода обращения спутника, двигаясь по спирали, он бы постепенно снижался, входя в более плотные слои атмосферы. Однако было замечено, что временами спутник почти переставал снижаться. Так, например, если в первые дни его существования уменьшение периода обращения составляло 0,97 секунды в день, то после 450 оборотов только 0,59 секунды в день. Это говорит о том, что атмосфера в этот период сжималась и ее верхние слои становились более разреженными, вследствие чего и уменьшалось торможение спутника. Сопоставление измерений в торможении спутника с сол-

нечной деятельностью показывает, что существует прямая связь между состоянием верхних слоев атмосферы и интенсивностью вспышек на Солнце. Атмосфера непрерывно «дышит» под давлением происходящих на Солнце процессов.

Ученым давно уже было известно, что на больших высотах часть молекул и атомов, составляющих атмосферу газов, находится в ионизированном состоянии. Однако совсем еще недавно общепризнанной была точка зрения о слитом характере ионосферных образований. Последние ракетные исследования и в особенности подъем советской геофизической ракеты в феврале 1958 года на рекордную высоту — 473 км не подтвердили существования отдельных, сильно ионизированных слоев, а показали, что, начиная с высоты 60—70 км и вплоть до максимально достигнутой ракетой высоты, простирается сплошной массив ионизированного газа. Число электронов в 1 см<sup>3</sup> этого массива, которое не может сильно отличаться от числа ионов в 1 см<sup>3</sup>, достигало 2 млн. единиц на высоте 290 км и снижалось до 1 млн. на высоте 475 км. Специальные ионные ловушки, установленные на спутнике, вновь подтвердили значения концентрации ионов, соответствующие указанным высотам, причем даже на высоте 800 км было обнаружено 160 тыс. ионов в 1 см<sup>3</sup>. Такая значительная концентрация ионов на столь большой высоте, а также большая концентрация нейтральных частиц (до 1 млн. на высоте 700 км) существенно отодвигают верхнюю границу воздушной оболочки Земли. Если еще совсем недавно ученые считали, что область атмосферы, где плотность частиц становится равной плотности межпланетного газа, лежит на высоте около 1000 км, то сейчас можно сказать, что она находится на высоте 3 тыс. км.

Состав присутствующих в атмосфере ионов изучался с помощью радиочастотного масс-спектрометра. Оказалось, что на высотах 230—900 км основными ионами являются ионы атомарного кислорода и в небольшом количестве присутствуют ионы азота.

Первые сведения о составе нейтральных частиц, в том числе атомов и молекул легких газов, получены при высотном пуске баллистической геофизической ракеты в июле 1959 года. Эти сведения имеют исключительно важное значение для определения газового состава верхних слоев. Как известно, если бы в атмосфере не было постоянного перемешивания, то наиболее тяжелые газы — кислород и азот — находились бы в приземных слоях, а самые легкие газы — гелий и водород — составляли бы верхнюю часть атмосферы. Но вертикальные воздушные течения, достигающие очень большой высоты, производят непрерывное перемешивание атмосферы. Обработка полученных данных позволит сделать выводы, какое влияние

оказывают эти течения на состояние атмосферы и какого доля легких газов в общем балансе верхних слоев атмосферы.

Молекулы газов, составляющих земную атмосферу, находятся в состоянии беспорядочного теплового движения, средняя скорость которого возрастает с повышением температуры. В нижних слоях атмосферы молекулы испытывают многочисленные столкновения с другими молекулами, вследствие чего не могут покинуть пределы земной атмосферы.

Однако по мере уменьшения плотности воздуха с высотой одновременно уменьшается вероятность столкновения молекул. При значительных температурах, начиная с некоторого уровня, называемого уровнем диссипации, скорости молекул могут достигать величины порядка 12 км/сек, вследствие чего молекулы начинают покидать атмосферу, уходя в межпланетное пространство, по параболической траектории, фокус которой находится в центре Земли.

Чем легче газ, тем быстрее он покидает пределы земной атмосферы. На высотах порядка 300 км, где температура достигает 1000°К, наиболее легкий газ — водород ускользает из земной атмосферы в течение нескольких лет. Для ускользания гелия при этих условиях требуются миллионы лет, но и этот промежуток времени невелик по сравнению с возрастом Земли, который исчисляется миллиардами лет.

Вследствие этого в атмосфере содержится сравнительно мало гелия, несмотря на то, что он непрерывно выделяется радиоактивными элементами земной коры.

Более тяжелые газы (например, неон) ускользают значительно медленнее. Что касается заряженных частиц (ионов), то они удерживаются не только полем земного тяготения, но также и магнитным полем Земли и для их ускользания из атмосферы требуются значительно большие скорости.

Внешняя форма воздушной оболочки Земли не шарообразная, а вытянута с ночной стороны Земли наподобие кометного хвоста. Длина этого хвоста достигает 100 000 км, а его свечение указывает на то, что он состоит из кислорода и азота, как и вся остальная атмосфера Земли. Причиной возникновения этого газового хвоста не может являться ускользание газов, так как последнее должно быть направлено во все стороны одинаково, а он образуется, по-видимому, в результате давления солнечных лучей на частицы самых верхних слоев земной атмосферы.

Что касается межпланетного газа, то наши представления о нем также существенно изменились. Если несколько лет назад считали, что плотность межпланетного газа ничтожна и концентрация частиц в нем не превышает нескольких единиц в кубическом сантиметре, то в последнее время возникла другая точка зрения, по которой межпланетный газ является

значительно более плотной средой с концентрацией до 1000 частиц в кубическом сантиметре.

Эта точка зрения вытекает как из наблюдения за свечением «газового хвоста» Земли, так и из характера распространения так называемых «свистящих атмосфериков» — низкочастотных электромагнитных колебаний, вызываемых электрическими разрядами в атмосфере. Распространение этих электромагнитных колебаний указывает на то, что межпланетный газ сильно ионизирован и в каждом кубическом сантиметре его содержится около 1000 электронов.

Однако ионизация межпланетного газа может быть вызвана не только свободными электронами, но и межпланетной пылью. Кроме того, ряд ученых высказывает мнение, что в межпланетном пространстве нет сплошной газовой среды, а имеют место только отдельные корпускулярные потоки сильно ионизированного газа, состоящего из электронов и протонов (ядер водорода), которые выбрасываются с поверхности Солнца и движутся с колоссальной скоростью, достигающей несколько тысяч километров в секунду.

Первая попытка непосредственного экспериментального изучения газовой компоненты межпланетного вещества в области, лежащей между Землей и Луной, была предпринята с помощью аппаратуры, установленной на первой советской космической ракете.

Для обнаружения положительно заряженных частиц (протонов) использовались четыре трехэлектродные ловушки, сетчатые оболочки которых имели различный потенциал относительно корпуса контейнера с измерительной аппаратурой.

Помимо изучения свойств воздушной оболочки Земли и газовой компоненты межпланетного вещества с помощью спутников и космической ракеты были впервые получены совершенно новые данные об интенсивности и составе космических лучей и определена степень вредности космического излучения на различных расстояниях от Земли, которая имеет большое практическое значение для успешной организации будущих межпланетных полетов.

Оказалось, что наиболее опасная с точки зрения воздействия на живой организм зона излучений находится на расстоянии нескольких радиусов Земли. Здесь степень вредности излучения в сотни раз больше, чем в межпланетном пространстве, причем отмечено и присутствие рентгеновских лучей, возникающих при бомбардировке электронами корпуса контейнера с научной аппаратурой. Энергия этих излучений сравнительно невелика; с помощью специальных защитных покрытий имеется реальная возможность защититься от их вредного действия. На расстоянии больше девяти радиусов Земли интенсивность космических лучей настолько мала (через  $1 \text{ см}^2$  пролетает всего лишь две частицы в секунду), что

при спокойном состоянии Солнца нет оснований для возникновения лучевой болезни у тех живых существ, которые будут находиться в межпланетном корабле. Опасность может возникнуть только в том случае, когда на Солнце происходят взрывные процессы, в результате которых солнечная система заполняется смертоносным излучением. Однако это явление чрезвычайно редкое. В остальное время путь для будущих межпланетных путешествий открыт.

Все эти новые сведения о верхней атмосфере и космическом пространстве коренным образом изменили представления о недоступных ранее областях вселенной.

Большой комплекс разнообразной и сложной аппаратуры, которой был оснащен спутник, помог не только исследовать многие явления, происходящие в верхних слоях атмосферы и прилегающем к ней космическом пространстве, но и лучше изучить саму нашу планету.

Долго ли еще просуществует спутник? По-видимому, нет. Несмотря на то, что движение спутника происходит в чрезвычайно разреженных слоях атмосферы, где сила сопротивления даже в наиболее низкой части орбиты не превосходит  $2 \text{ г}$  на  $1 \text{ м}^2$  поперечного сечения, все же соударения спутника с молекулами и атомами газа вызывают его торможение, приводящее к сокращению орбиты и уменьшению периода обращения. Хотя уменьшение периода обращения измеряется долями секунды, тем не менее, если первоначально он составлял 106 минут, то после 5 тыс. оборотов уменьшился до 99,5 минуты. За это же время высота апогея уменьшилась с 1880 до 1275 км. Уменьшение высоты перигея происходит значительно медленнее, вследствие чего с течением времени орбита спутника постепенно приближается к круговой.

Минимальная высота, на которой еще возможен полет спутника, — 160—150 км. На более низких высотах, где плотность воздуха имеет уже значительную величину, полет спутника практически невозможен. Обладая громадной скоростью, в результате столкновения с молекулами газа он быстро разогревается и сгорает.

Пролетая над различными районами земного шара, спутник дает возможность проследить в течение большого отрезка времени, как меняются свойства атмосферы с высотой, с одновременным изменением географической широты и долготы, но вместе с тем не позволяет получить данные о вертикальном разрезе атмосферы в какой-либо точке.

Кратковременный вертикальный разрез атмосферы получается при запуске ракеты. Поскольку скорость ракет, используемых для геофизических исследований, значительно ниже, то с их помощью можно вести измерения на любых высотах.

Первый вертикальный запуск ракеты на высоту 110 км с научной аппаратурой весом 120 кг был проведен в СССР в

1949 году. А уже в феврале 1958 года одноступенчатая геофизическая ракета забросила на высоту 473 км научную аппаратуру весом в 1,5 т.

Еще больший комплект научной аппаратуры весом 2,2 т был поднят в верхние слои атмосферы в июле 1959 года.

Помимо крупных геофизических ракет широкое применение для исследования атмосферы находят также малые метеорологические ракеты, предназначенные для подъема ограниченного числа приборов на сравнительно небольшую высоту— 50—80 км. Запуск ракет производится в самых различных районах: в средних широтах Европейской части Советского Союза, на Земле Франца-Иосифа, около поселка Мирный в Антарктиде и наконец с борта дизельэлектрохода «Обь».

Исследования верхней атмосферы с помощью ракет и спутников отнюдь не исчерпывают вклад советских ученых в большой комплекс работ по изучению нашей планеты.

В раскаленных песках пустынь, в бескрайних просторах морей и океанов, на горных вершинах, в безбрежных ледяных просторах Арктики и Антарктиды, в жару и стужу ведут свою непрерывную работу тысячи советских ученых. Исследуется ледяной покров Земли, выясняется его влияние на изменение климата и целый ряд других геофизических и геологических процессов. Бороздит волны Индийского и Атлантического океанов единственное в мире советское немагнитное судно «Заря». Оно уже обнаружило в Атлантике неизвестные ранее магнитные аномалии и выявило большие неточности существующих магнитных карт. Силами десятков советских судов ведутся небывалые по своим размерам океанологические исследования.

Исследования приземных слоев воздуха позволили обнаружить очень важные для авиации струйные течения воздуха на высотах 10—12 км не только в районе экватора, как предполагалось ранее, но и в умеренных широтах и даже за полярным кругом. Стратосферные исследования позволили выяснить характер и область распространения полярных циклонов и летних антициклонов на обоих полушариях Земли.

Все эти исследования существенно расширили, а во многом даже изменили существовавшие ранее представления о нашей планете, ее воздушной оболочке и прилегающему к ней космическому пространству. Практическое значение этих исследований трудно переоценить. Прогноз погоды и перспективы изменения климата, осуществление надежной радиосвязи, разведка полезных ископаемых, освоение водных и воздушных просторов, а в недалеком будущем и космических полетов— вот далеко не полный перечень тех практических вопросов, которые могут быть решены в результате проведения всего этого громадного комплекса работ.

---



**В 1959 ГОДУ ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ» ВЫПУСТИЛО  
СЛЕДУЮЩИЕ БРОШЮРЫ ПО ВОПРОСАМ ФИЗИКИ, ХИМИИ,  
ГЕОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ:**

**Серия IX**

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1. З. А. Роговин                     | Роль полимеров в народном хозяйстве                |
| 2. В. Е. Немчинов                    | О перспективах развития экономики Восточной Сибири |
| 3. В. Л. Грановский                  | Вещество в состоянии плазмы                        |
| 4. К. А. Андрианов                   | Синтетические полимеры в электроэнергетике         |
| 5. Б. А. Арбузов                     | Фосфорорганические соединения                      |
| 6. М. Г. Крошкин                     | Спутник Солнца                                     |
| 7. В. В. Невский                     | Александр Гумбольдт                                |
| 8. И. М. Франк                       | Излучение Вавилова — Черенкова.                    |
| 9. Н. В. Михайлов                    | Полимерные химические волокна                      |
| 10. Д. А. Франк-Каменецкий           | Образование химических элементов в недрах звезд    |
| 11. Н. А. Фигуровский                | Беликий русский ученый Д. И. Менделеев             |
| 12. К. К. Марков                     | Кругосветное плавание в Южном полушарии            |
| 13. М. Б. Нейман                     | Радиоактивные изотопы и их применение              |
| 14. А. И. Берг                       | П. С. Попов, радиоэлектроника и прогресс           |
| 15. И. О. Брод                       | Нефть и газ в народном хозяйстве                   |
| 16. С. Д. Батищев-Тарасов            | Большой Тургай                                     |
| 17. А. А. Берлин                     | Сверхлегкие и конструкционные пластмассы           |
| 18. Б. Г. Кузнецов                   | Альберт Эйнштейн                                   |
| 19. К. К. Гюль                       | Проблема Каспия                                    |
| 20. Е. К. Федоров                    | Физические методы воздействия на погоду.           |
| 21.                                  | Советские ученые на шестом континенте              |
| 22. В. И. Орлов,<br>В. Н. Тростников | Синхрофазотрон на 10 миллиардов электронов-вольт   |
| 23. Ю. И. Продан                     | Время и календарь                                  |
| 24. Н. В. Заварицкий                 | Сверхнизкие температуры                            |
| 25. А. К. Красин                     | Атомные электростанции                             |
| 26. В. И. Гольданский                | В мире элементарных частиц                         |
| 27. Л. Б. Бернштейн                  | Покорение энергии прилива                          |
| 28.                                  | Успехи современной физики                          |

## ТОВАРИЩИ ПОДПИСЧИКИ

### на брошюры-лекции по вопросам физики и химии!

Подписывайтесь на брошюры-лекции издательства «Знание» на 1960 год.

Брошюры-лекции выпускаются в помощь лекторам, пропагандистам и агитаторам. Они адресуются также слушателям университетов марксизма-ленинизма, народных университетов и университетов культуры. Брошюры-лекции окажут помощь всем тем, кто, работая на заводе, стройке, в колхозе, совхозе, РТС, в школе или учреждении, занимается самообразованием.

Серия брошюр-лекций по вопросам физики и химии (девятая) посвящена отдельным проблемам и достижениям физики, химии, геологии и географии и практическому применению этих достижений в народном хозяйстве, а также основным проблемам, разработанным во время Международного геофизического года:

24 брошюры, подписная цена на год — 18 руб., на полгода — 9 руб.

Всего в 1960 году издательством «Знание» будет выпущено 12 серий брошюр-лекций, в том числе 2 новые серии:

Педагогическая (одиннадцатая) серия по вопросам воспитания подрастающих поколений и осуществления закона «Об укреплении связи школы с жизнью и о дальнейшем развитии системы народного образования в СССР». Серия рассчитана на родителей, учителей и дошкольных работников, 24 брошюры, подписная цена на год — 14 р. 40 к., на полгода — 7 р. 20 к.

«Библиотечка сельского лектора» (двенадцатая серия) будет включать брошюры-лекции по важнейшим темам лекционной пропаганды на селе — общественно-политическим, сельскохозяйственным, естественнонаучным, научно-атеистическим, литературным и др.; 24 брошюры, подписная цена на год — 15 р. 60 к., на полгода — 7 р. 80 к.

Средний объем брошюр всех серий — 2,5 печатных листа.

В связи с увеличением объема брошюр девятой серии соответственно увеличивается цена брошюры с 60 коп. до 75 коп.

Подписка принимается с 1 октября 1959 года городскими и районными отделениями «Союзпечать», конторами, отделениями и агентствами связи, почтальонами, а также общественными уполномоченными по подписке на фабриках, заводах, в совхозах и колхозах, в учреждениях и учебных заведениях.

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»**  
Всесоюзного общества по распространению  
политических и научных знаний