

МАРК КОЛУН СОЛНЦЕ И ЧЕЛОВЕЧЕСТВО



МАРК КОЛУН

СОЛНЦЕ И ЧЕЛОВЕЧЕСТВО



SPECVLI VSTORII

vera ac primigenia
forma
ELLIPSIS

PARABOLA

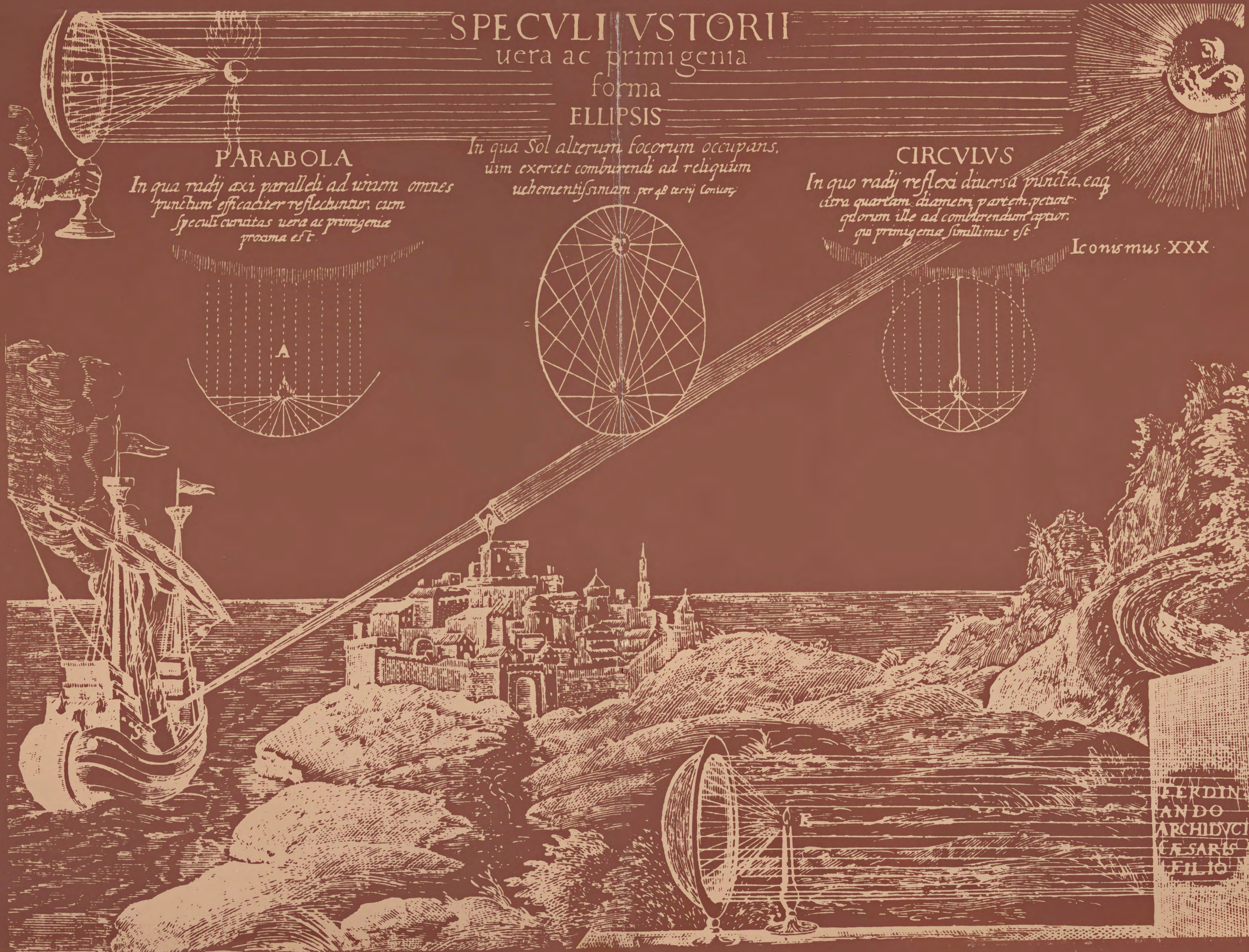
*In qua radij axi paralleli ad unam omnes
punctum efficaciter reflectuntur, cum
speculi curvitas vera ac primigenia
proxima est.*

*In qua Sol alterum focorum occupans,
vim exercet comburendi ad reliquum
vehementissimam per qd certij Contingit.*

CIRCVLVS

*In quo radij reflexi diuersa puncta, eaq;
citra quartam diametri partem petunt,
qdorun ille ad comburendum aptior,
qua primigenia similimus est.*

Iconismus XXX.



Моей милой дочери Наташе,
так любившей Солнце.



МАРК КОЛТУН

СОЛНЦЕ
И
ЧЕЛОВЕЧЕСТВО

МОСКВА «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА» 1981

526 ББК 22.652
К61

НАУЧНО-ХУДОЖЕСТВЕННАЯ
ЛИТЕРАТУРА

К $\frac{70803-214}{М101(03)81}$ 444-81

© Издательство «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА», 1981 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОТ ПОКЛОНЕНИЯ — К ИССЛЕДОВАНИЮ

7

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОБЫЧНАЯ, ЖЕЛТАЯ, СРАВНИТЕЛЬНО ХОЛОДНАЯ ЗВЕЗДА

29

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ОТ СВЕТА — ЖИЗНЬ И... ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

49

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

В КОСМОСЕ И НА ЗЕМЛЕ

67

ГЛАВА ПЯТАЯ

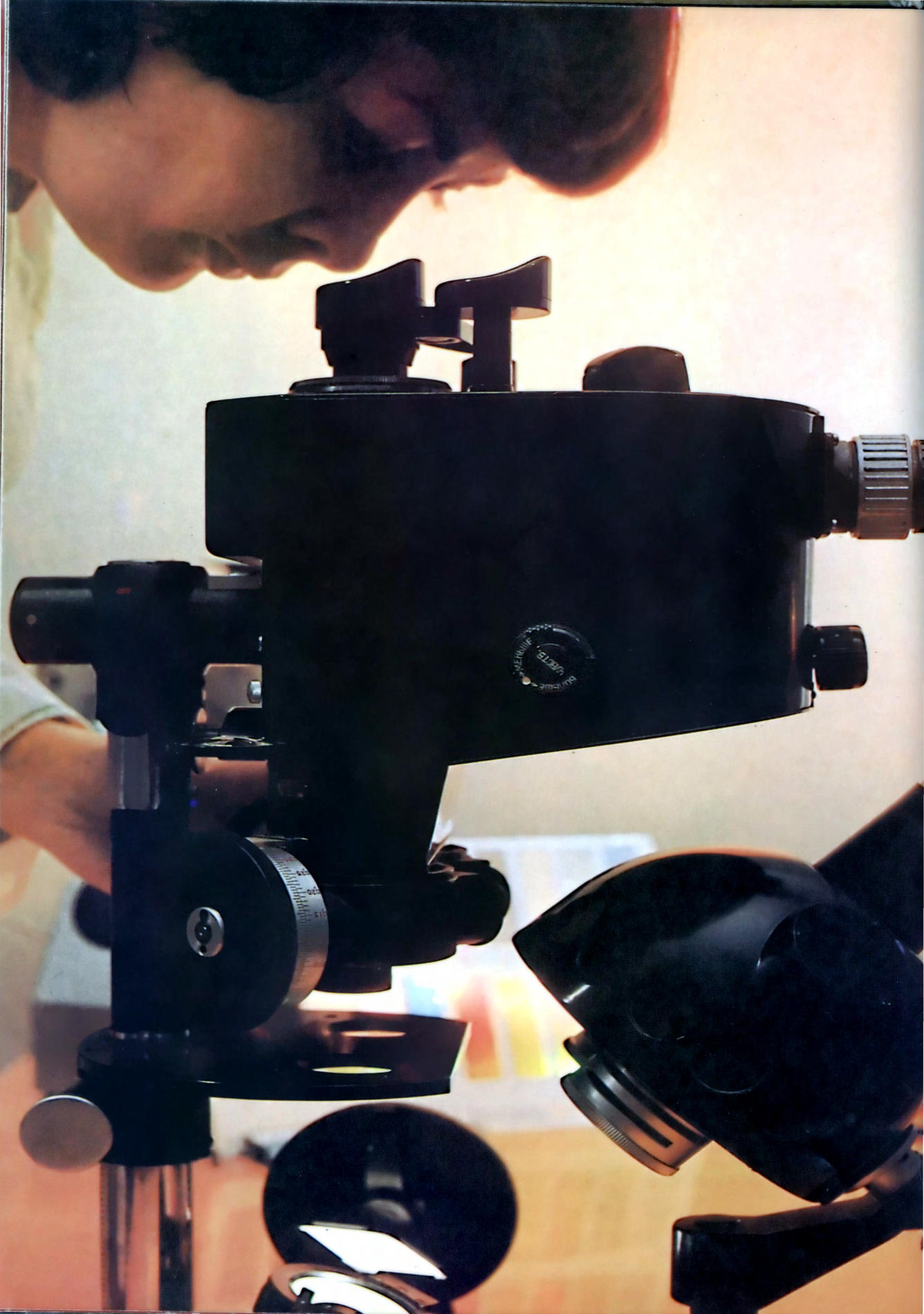
СОЛНЕЧНЫЕ ДОМА И БАШНИ

95

ГЛАВА ШЕСТАЯ

НОВЫЕ «ПРОФЕССИИ» СОЛНЦА

113



ГЛАВА I

ОТ ПОКЛОНЕНИЯ — К ИССЛЕДОВАНИЮ

Я достиг Солнца, следуя
за его лучами.

Л. Н. Толстой

Наша Земля — большой космический корабль, летящий в черных, бесконечных просторах космоса. Земля давно бы стала такой же холодной и безжизненной, как окружающее ее пространство, если бы верный благодетель — Солнце не посылало нам тепло своих лучей. Замечательный английский поэт Джордж Байрон однажды представил себе трагическую картину:

Погасло Солнце яркое, и звезды
Без света, без путей в пространстве вечном
Блуждали, и замерзшая Земля
Кружилась слепо в темноте безлунной.
...Пустынею безлюдной стал весь мир,
Лишенный света, зелени и жизни...

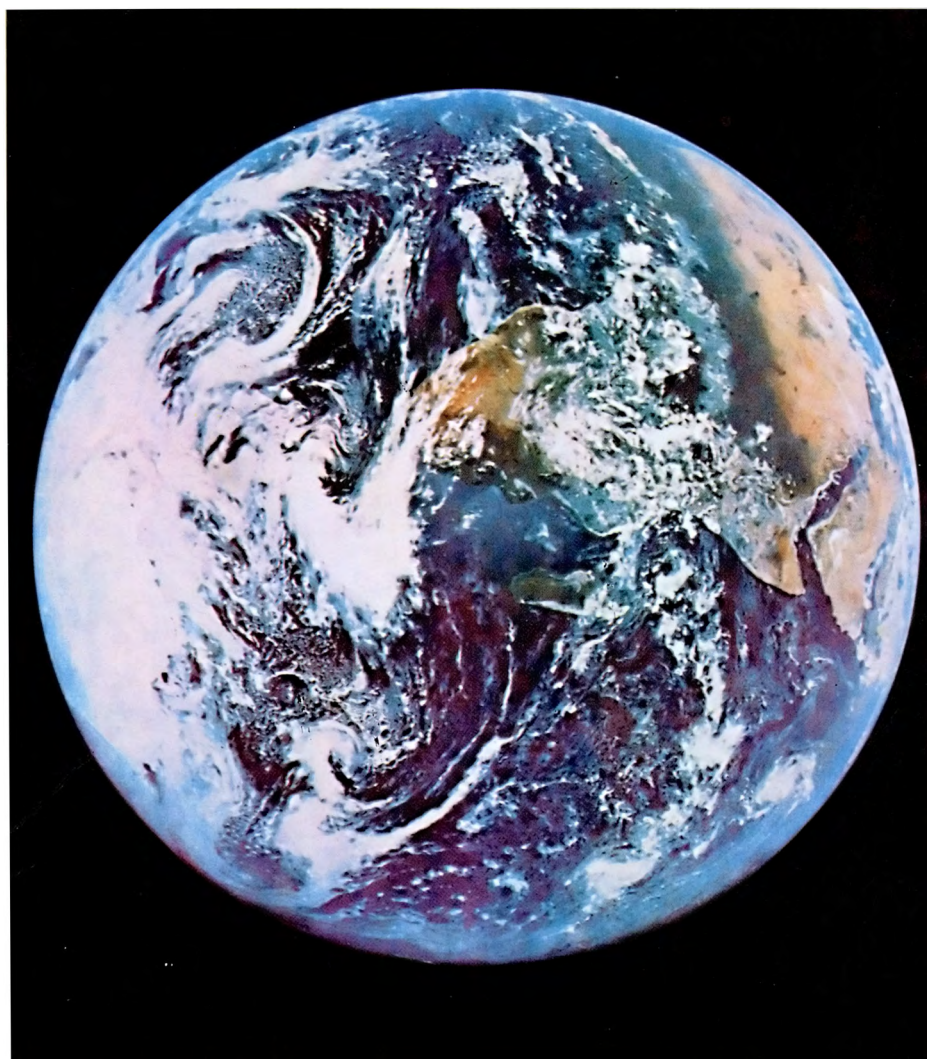
Известный английский ученый Джон Тиндаль, ученик Фарадея, еще в прошлом веке остроумными опытами доказал, что Земле помогает согреваться воздушная атмосфера. Она, как теплое одеяло, укутывает Землю, не выпуская наружу ее тепловое излучение. Но атмосфера сама по себе не смогла бы спасти Землю, если бы не Солнце. Ежесекундно Солнце посылает к границам земной атмосферы такой могучий поток энергии, который не позволяет Земле остыть вопреки всем потерям тепла в окру-

жающее пространство. Этот поток исчисляется цифрой 4×10^{16} калорий в секунду, что во много раз превышает количество тепла, которое человечество могло бы получить от всех разведанных на сегодня запасов минерального топлива. Но следует учесть, что Земле достается лишь одна двухмиллиардная часть энергии, излучаемой Солнцем во все стороны. И даже при этом на каждый квадратный метр атмосферы Земли на границе с космосом падает 1360 ватт (Вт) солнечной энергии! Атмосфера задерживает часть солнечной энергии, но тем не менее в странах, расположенных у экватора, лучи, освещающие квадратный метр поверхности, несут с собой в летний день более тысячи ватт энергии.

От пустынь Африки, от вечного лета стран, находящихся близко к экватору Земли, резко отличаются районы Южного и Северного полюсов, всегда покрытых льдами и снегом. Холодные полярные «шапки» освещаются солнечными лучами под большим углом к их поверхности — Солнце здесь никогда не стоит прямо над головой. Всего в два, а то и в три раза меньше солнечного тепла получают

Почитатели Солнца в древности всегда устремляли свои взгляды к небу. В наши дни ученые-«солнцепоклонники» не только наблюдают за Солнцем, но и с помощью сложных устройств внимательно изучают разнообразные проявления деятельности Солнца на Земле. Приборы, измеряющие отражение от поверхности тел, созданных природой и человеком, помогают установить количество света, поглощаемого зелеными листьями в разное время года, измерить потемнение кожи под влиянием ультрафиолета и оценить степень выгорания ярких красок и тканей при длительном облучении солнечным светом (фото слева).

Земля — шар,
и это
нагляднее всего
видно на фото-
графиях,
полученных с борта
космических
аппаратов.
Земля и океан
в районе экватора
всегда хорошо
освещены Солнцем.
Меньше тепла
получают от Солнца
области Земли,
расположенные
ближе к полюсам.



полярные районы Земли по сравнению с другими, но этого оказывается достаточно, чтобы там вечно лежали снега. Не только своим теплом обязана Земля Солнцу. Создание атмосферы, возникновение жизни не могло бы произойти без Солнца. И это люди понимали еще в глубокой древности.

Первопричина жизни

На одной из древнейших каменных плит изображено Солнце, окруженное лучами. На конце каждого из лучей — человеческие ладони, обращенные к людям.

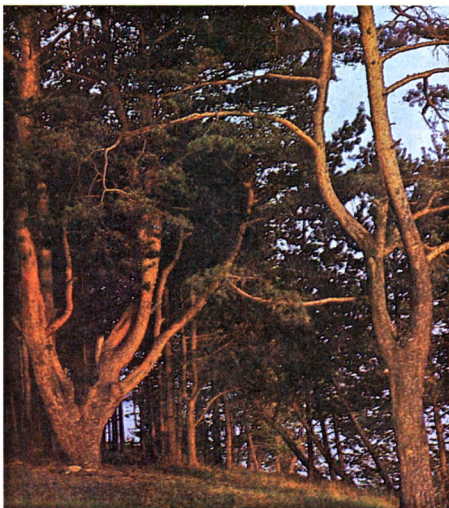
Прекрасно светишь ты на небосводе,
Ты, Атон живой и живший изначально.
Лучи твои обнимают землю
И все, что ты создал для них,—

написано в древнеегипетском гимне, созданном в период расцвета религиозного поклонения Солнцу. Родоначальником новой религии, возникшей в начале XIV века до нашей эры, был фараон Аменхотеп IV. Фараон даже изменил свое имя на Эхнатон — угодный Атону, солнечному диску.

«Солнечная» религия просуществовала сравнительно недолго. После смерти Эхнатона жрецы вернули народу его прежних богов.



Как отличается
природа
в районах
земного шара,
получающих
от Солнца
разное количество
тепла!
Веселая зелень
лесов
в средних широтах,
где находят
себе кров
и пропитание
миллионы птиц,
насекомых,
зверьков,—
и бескрайние
пустыни
южных областей
Земли
с немногочисленными
обитателями.



Но отношение к Солнцу определялось не одной лишь религией. В сохранившихся памятниках культуры древних египтян отчетливо проступает их понимание значения Солнца в материальной жизни человечества.

Восходишь — все оживает.
Заходишь — и все умирает.
Ты жизни мерило и первопричина ее,—

читаем мы в одном из гимнов Солнцу, написанном в Древнем Египте. Первопричина жизни... Трудно подыскать более современное и точное определение Солнца! Солнце было в древности не просто

предметом поклонения. Люди внимательно изучали поведение Солнца в разные времена года и ясно понимали, что смена времен года и урожай на полях зависят от Солнца.

В том же гимне Солнцу есть такие строки:

Лучами твоими любое взлелеяно поле.
Восходишь — и всходят побеги во славу тебе.

Одновременно с внимательным, хотя, конечно, чисто умозрительным изучением Солнца люди древнего мира пробовали применять солнечные лучи для получения тепловой энергии. И это им часто



Восход Солнца...
Будто по волшебству
с появлением Солнца
преображается,
оживает и расцветает
все вокруг.

В древнем Вавилоне,
как показано
на старинной
гравюре,
Солнцу поклонялись,
как божеству.



удавалось. Без опыта и практических знаний, накопленных талантливыми и зачастую неизвестными нам изобретателями Древнего Египта, Греции, Рима, не могла быть в наши дни создана наука о полезном использовании и преобразовании солнечного излучения в другие формы энергии.

Поющая статуя

Существуют предания о том, что в Древнем Египте в XV веке до нашей эры существовала статуя фараона Аменхотепа III, издававшая при восходе Солнца «звуки, подобные цитре» — старинному музыкальному инструменту. Одна из гробниц вызвала не меньшее удивление — на ней сидела каменная птица, которая при освещении солнечными лучами пела «человеческим голосом». Божественное происхождение этих чудес древнего мира не подвергалось сомнению в течение нескольких тысячелетий.

В XVII веке нашей эры немецкий натуралист А. Кирхер нашел,

вероятно, наиболее близкое к истине физическое объяснение «вокальных способностей» каменных скульптур. При нагревании солнечными лучами воздух, находившийся в порах внутри камней, расширялся и с музыкальными звуками выходил через тонкие отверстия в скульптурах.

Этим же эффектом Кирхер объяснял действие солнечного фонтана известного изобретателя древности Герона Александрийского. Нагретый солнечными лучами, воздух поднимался по трубке, опущенной в сосуд с водой, вытеснял ее, и вода, к восхищению зрителей, была фонтанчиком. Устройство было удивительно простым — воду поднимали не механический насос или двигатель, а бестелесные, бесплотные солнечные лучи!

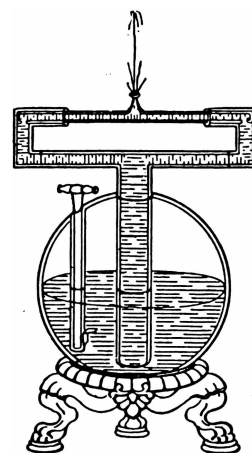
Вплоть до нашего времени ведутся научные споры вокруг легенды о сожжении в III веке до нашей эры римского флота, осаждавшего греческий город Сиракузы, с помощью солнечных лучей. Авторство в изобретении «солнеч-



ного оружия» легенда приписывает Архимеду. Много раз проводились эксперименты, ставившие целью опытным путем проверить древнюю легенду. Один из по-

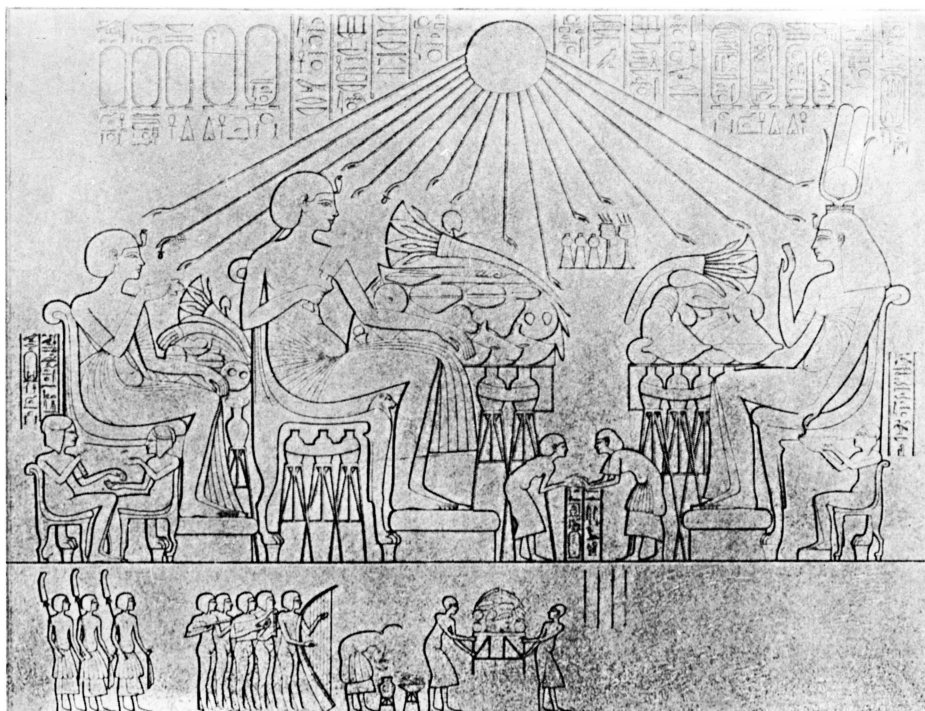
следних был выполнен в 1973 году группой греческих физиков под руководством Ионнаса Саккаса. С отполированными медными щитами в руках они вышли в ясный день на берег моря и по команде Саккаса одновременно направили солнечные зайчики от своих щитов на макет древнеримского корабля. Через несколько мгновений корабль вспыхнул ярким пламенем. Легенда получила у физиков XX века «вотум доверия»... Древнегреческие воины могли сжечь римский флот, если у них были в достаточном количестве медные щиты. Чтобы уничтожить макет римского судна, Саккасу пришлось обратиться к помощи семидесяти сотрудников, у каждого из которых был в руках щит размером $1 \times 1,5$ м. Только собрав солнечную энергию с площади около 100 м^2 , можно поджечь небольшой деревянный корабль. Вполне возможно, что защитники Сиракуз не испытывали недостатка в медных щитах. К тому же в качестве

Поклонение Солнцу в последней четверти XX века: молодые люди, сидящие на траве, слушают во время празднования Дня Солнца в Вашингтоне игру музыкантов, электроинструменты которых подключены к установленным рядом с ними солнечным батареям.



Солнечный фонтан Герона Александрийского, знаменитого изобретателя древности.

На древнеегипетской каменной плите Солнце протягивает людям ладони своих лучей.



«солнечного оружия» могли быть использованы любые предметы, например отполированные до блеска медные тазы и кастрюли...

Украшение рода человеческого

В средние века исследователи во многих странах мира успешно увеличивали силу солнечных лучей, используя зеркала и стеклянные линзы. В конце XVII века вызвали сенсацию опыты итальянских ученых Аверани и Тарджиони. Им удалось даже сжечь алмазы, поместив их в фокусе большой стеклянной линзы, выставленной на Солнце.

У солнечных лучей обнаруживаются все новые свойства, но

природа солнечного излучения остается для ученых тайной. На вопрос, что такое солнечный свет, не найдено ответа... Даже великие мыслители Возрождения Галилео Галилей и Леонардо да Винчи, пропуская солнечные лучи через призму и наблюдая радугу из цветных полос, образуемую призмой, считали, что цветные лучи заключены, видимо, внутри призмы.

Тайну превращения белого солнечного света в цветную радугу раскрыл Исаак Ньютон.

Английский поэт XVIII века Александр Поп кратко выразил роль Ньютона в оптике, сочинив двустишие:

Был этот мир глубокой тьмой окутан.
Да будет свет. И вот явился Ньютон.

Рукопись Ньютона,
освещенная радугой
из основных цветов,
составляющих,
как впервые доказал
этот великий ученый,
солнечный свет.



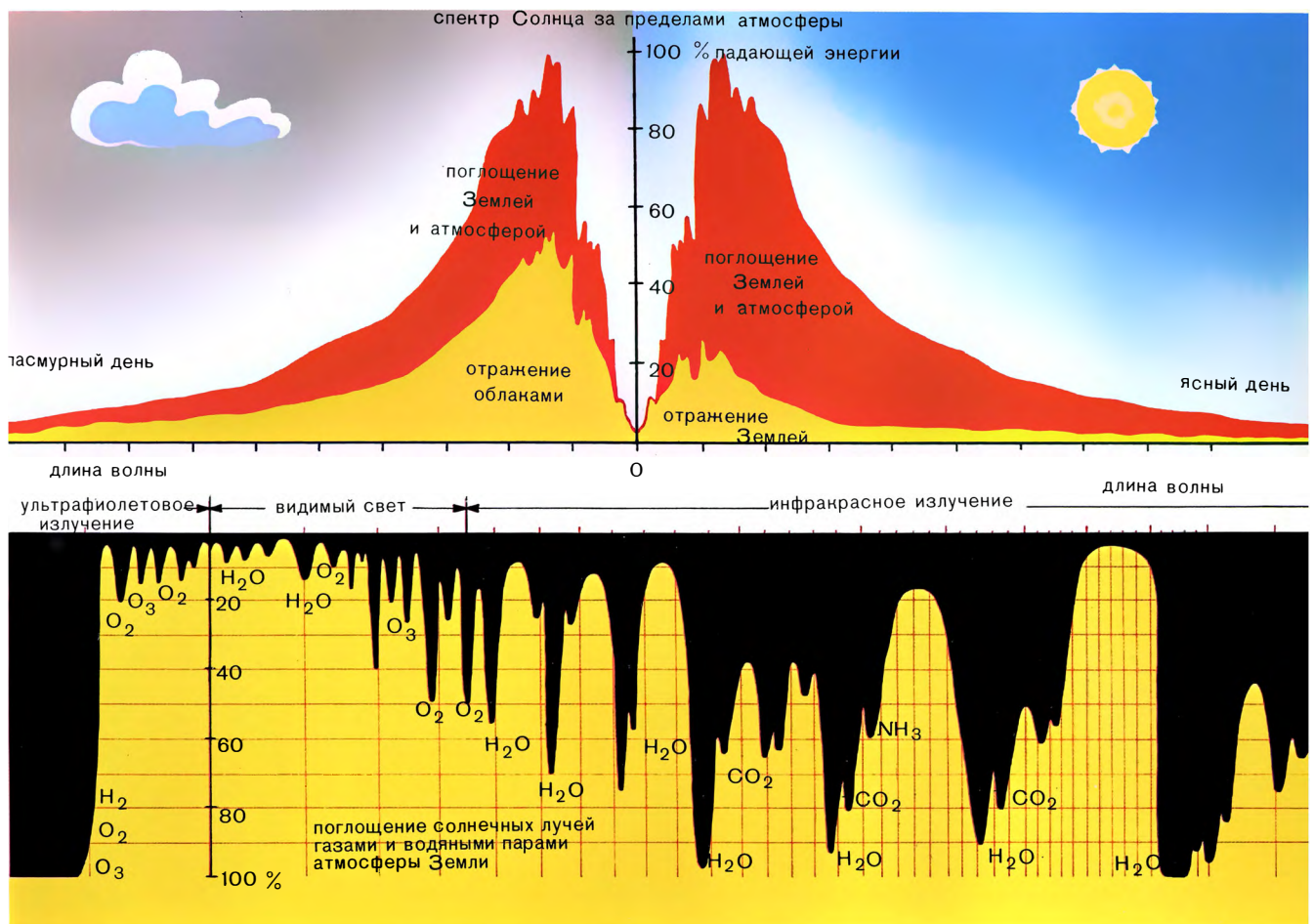
Получив после прохождения света через призму семь основных цветов — фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный, — Ньютон поставил на пути разноцветной полосы вторую призму. За второй призмой он увидел пучок белого света. Солнечный луч возник вновь! Затем Ньютон поставил вторую призму на пути каждого из цветов. Отдельные цветные полосы не изменили своей окраски.

Эти опыты позволили Ньютону сделать важные выводы: цвета содержатся в самом солнечном свете, а не в призме; солнечный свет является смесью семи основных цветов.

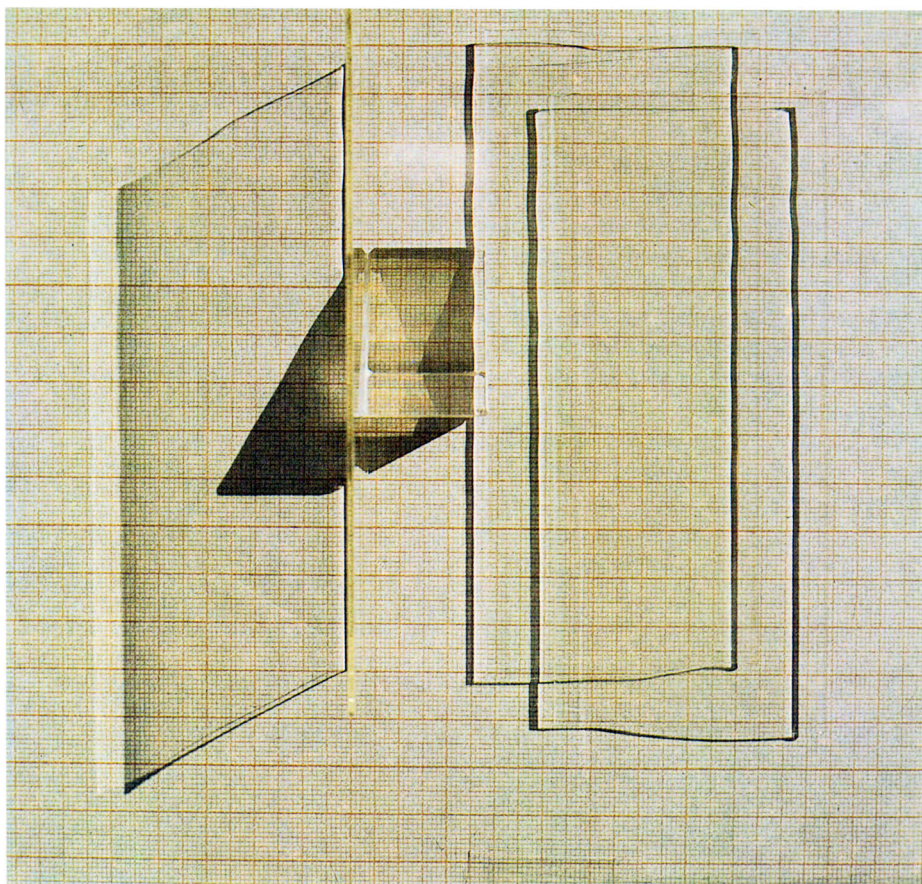
Однажды Ньютон заметил, что



Оптические приборы, постоянно следящие за Солнцем, дают много сведений о солнечном спектре и состоянии воздушной атмосферы Земли, о количестве солнечных лучей, поглощаемых водяными парами и различными газами, о прозрачности атмосферы в широком диапазоне длин волн — от ультрафиолетовых до инфракрасных.



Из стекла
в наши дни
получают
длинные нити,
плетут волокна
и сетки,
ткут стеклоткани,
вытягивают
стеклоленты.
А из тонких
и легких
стеклолент затем
делают стекла
для микроскопов
и оптические
защитные покрытия
для солнечных
элементов
и батарей.



в воздушном пузыре, случайно оставшемся в слое оптического клея, соединявшего две призмы, лучи света взаимодействуют между собой.

Ньютон правильно объяснил обнаруженное им явление интерференции лучей: толщина воздушного пузыря соизмерима с длиной волны световых лучей — расстоянием между двумя ближайшими всплесками или впадинами световой волны. В некоторых местах лучи гасили друг друга, образуя черные полосы и пятна, а в других взаимно усиливались.

Понимая, что из этих опытов можно определить длину волны света, Ньютон решил создать условия, в которых интерференцию можно изучать не только качественно, но и количественно.

Для этой цели Ньютон использовал очень остроумное и простое оптическое устройство, положив на плоскую стеклянную пластинку выпуклую линзу. Внешняя выпуклая поверхность линзы при этом была обращена к пластинке. Между пластинкой и линзой образовался зазор клиновидной формы с переменной от центра к краям линзы толщиной воздушного промежутка.

Направив на зазор пучок белого солнечного света, Ньютон мог наблюдать чередование черных и белых полос, происходившее благодаря интерференции. Все основные солнечные цвета, после прохождения призмы попадавшие в воздушный клин, также позволяли увидеть чередование полос определенного цвета с черными



полосами. Для каждого из цветов яркая картина интерференции наблюдалась в разных местах воздушного клина. По расположению интерференционных полос Ньютон смог рассчитать длину волны всех цветов солнечного спектра, определив основную физическую причину отличия цветов друг от друга.

Измерения Ньютона с большой точностью совпали с современными данными. Фиолетовые лучи, например, имеют длину волны около 0,4 микрона (микрон — тысячная доля миллиметра), зеленые — 0,55 микрона, красные — около 0,75 микрона.

Эти опыты Ньютона не означают, что он воспринимал свет только как волну, как колебание; Ньютон считал, что у света много свойств, говорящих о том, что это не колебание, а поток частиц, корпускул.

В этом двойственном подходе к свету Ньютон тоже удивительно современен. Физики XX века пришли к выводу, что свет может

Для прозрачных крыш, теплиц, оранжерей и солнечных домов используют стекло. Даже при многолетнем воздействии ультрафиолета Солнца в самых суровых климатических условиях стекло сохраняет свою прозрачность.



проявить себя и как волна, и как поток частиц...

Надпись на могиле Ньютона со-держит слова: «Пусть смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого». Эти слова выразительно показы-вают степень восхищения великим ученым его современниками и по-томками.

За краем радуги

После открытий Ньютона изобре-татели разных стран с еще боль-шим, чем ранее, интересом стали относиться к проблеме улавлива-ния солнечных лучей.

Многие приходили к мысли, что с помощью солнечного излучения можно нагреть любое тело до вы-сокой температуры, если не только сконцентрировать солнечные лучи, но и уменьшить потери тепла от нагреваемого тела в окружающую среду.

В середине XVIII века швей-царский натуралист О. Б. Соссюр одним из первых понял, как за-держать тепло в нагретом теле и в то же время пропустить к нему солнечные лучи. Необходимо со всех сторон окружить тело стек-лом.

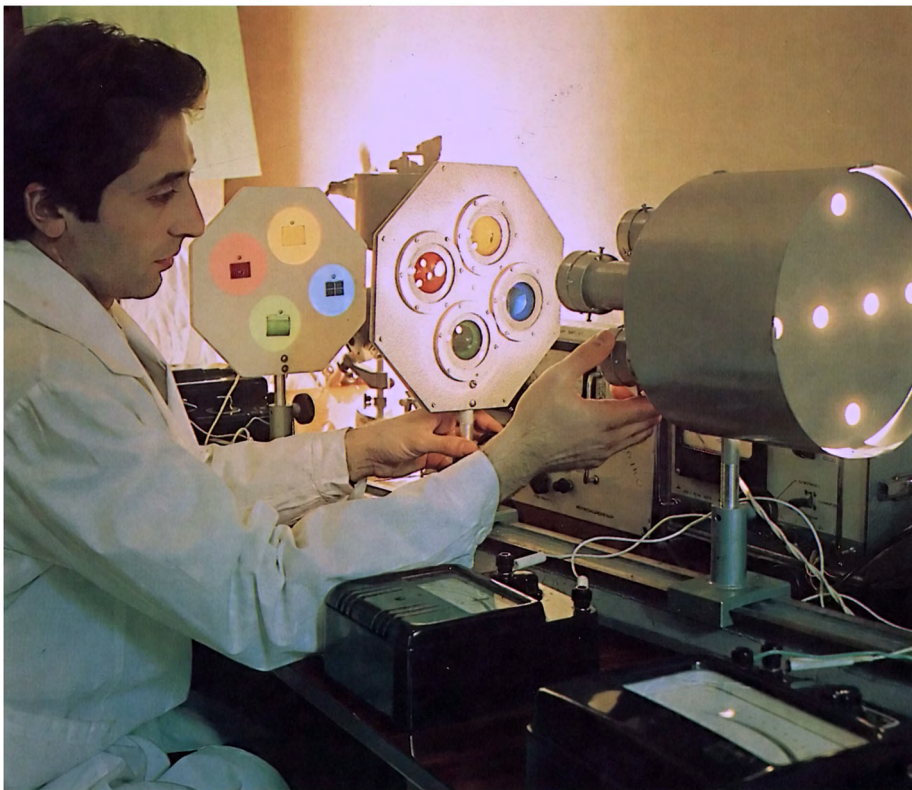
Пять стеклянных полукубов та-ких размеров, что они входили один в другой с большими зазо-рами между стенками, заполнен-ными воздухом, Соссюр установил на зачерненной подставке, не про-водящей тепло. Между сосуда-ми были установлены термометры. Когда солнечные лучи падали пер-пендикулярно на зачерненную пластинку, ее температура подни-малась до $+110^{\circ}\text{C}$. И это проис-ходило без концентрации солнеч-ных лучей! Конечно, стекло огра-ждало зачерненную пластинку от охлаждения ветром, воздушными потоками. Но даже если бы зачер-ненная пластинка была со всех

сторон защищена от ветра метал-лическими стенками, то ее все рав-но не удалось бы нагреть до темпе-ратуры $+110^{\circ}\text{C}$. Стекло обладало еще каким-то таинственным свой-ством, увеличивавшим нагрев пла-стинки. Свойством, неизвестным Соссюру и его современникам...

Лишь к концу XIX века удалось разгадать секрет теплых овощных парников и цветочных оранжерей, в которых благодаря стеклу могло круглый год царить одно время года — лето... Хотя впервые завеса тайны была приоткрыта в 1800 и 1801 годах, когда в двух статьях, помещенных в журнале «Труды Королевского общества по фило-софии», английский ученый Виль-ям Гершель сообщил об открытии им в спектре Солнца невидимых лучей.

Гершель, используя радугу из семи основных цветов, получен-ную на столе с помощью призмы, хотел несколькими термометрами измерить энергию, которую несут с собой лучи разного цвета. Он по-местил термометры так, чтобы они освещались отдельно каждой из цветных полос спектра, и, вероят-но для сравнения, поставил один термометр за краем спектра, в тем-ноту. Этот термометр нагрелся сильнее других. Очевидно, в соста-ве солнечного спектра были невидимые глазом лучи, отклоняемые призмой в пространство, располо-женное за красными лучами. Но-вые лучи получили название сверх-красных, инфракрасных лучей.

Вскоре были найдены в спектре Солнца еще одни невидимые лу-чи — ультрафиолетовые, которые отклонялись призмой сильнее, чем фиолетовые лучи. Этих лучей, правда, в составе солнечного из-лучения оказалось немного, и с помощью термометра их было трудно обнаружить. Потребова-лось создать чувствительные де-текторы невидимых излучений.

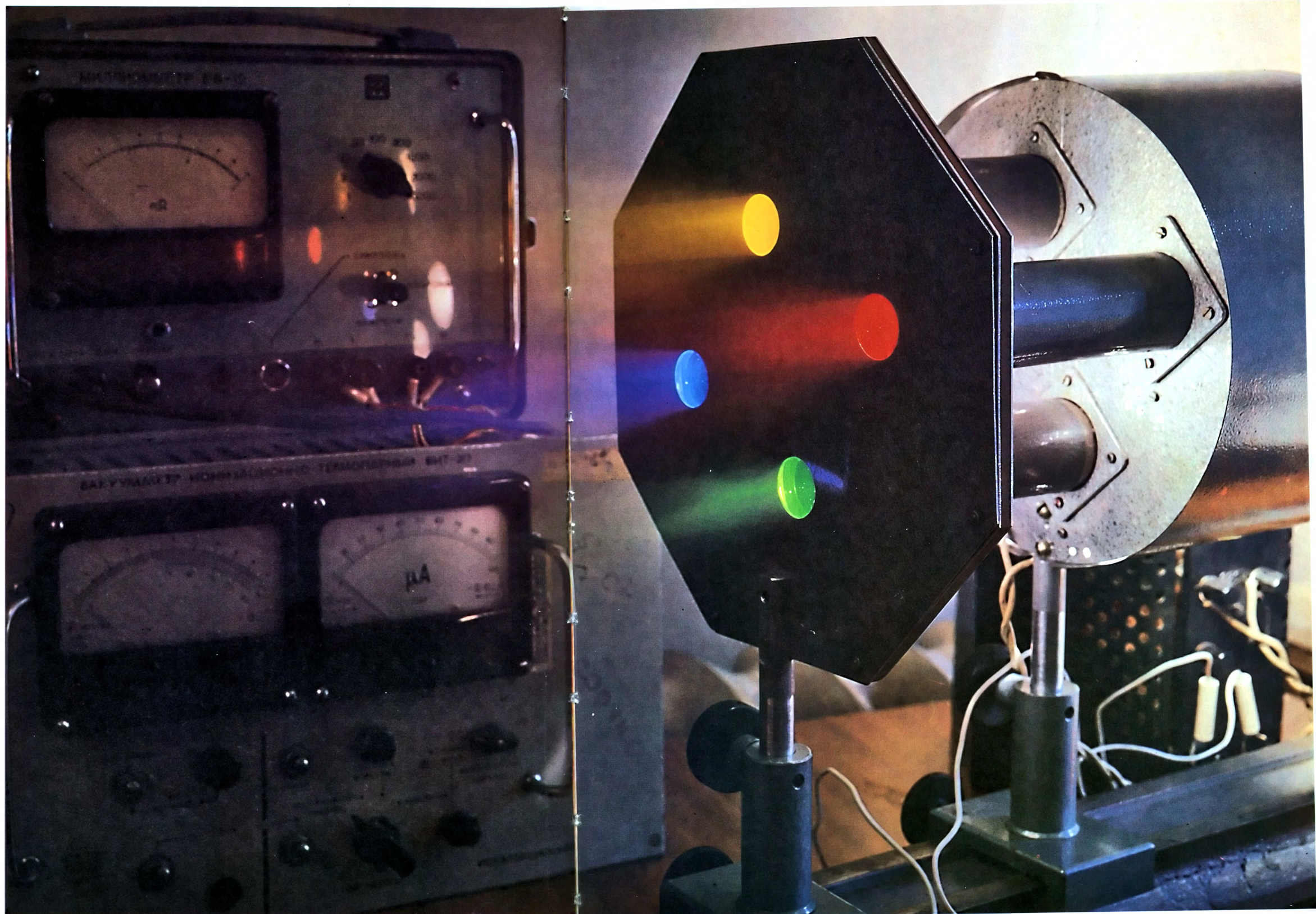


В лабораторных условиях удастся точно воспроизводить не только весь солнечный спектр, но и отдельные его области, получить солнечные лучи видимые и невидимые.



Процессы, протекающие на любой поверхности под влиянием различных лучей солнечного спектра, регистрируются с помощью скоростной фотокамеры.

Из потока яркого
белого света,
посылаемого
настольным
имитатором Солнца,
выделены
необходимые
исследователям
четыре
спектральные
области,
четыре цвета.
Оптические фильтры,
стоящие
на пути каждого
из этих лучей,
могут быть заменены
на другие,
и перед нашими
глазами возникнет
не менее красочная
картина,
образованная
иными цветами
солнечного спектра.



Только после этого удалось установить длину волны новых лучей и узнать оптические свойства стекла в невидимых глазом областях спектра.

Умные приборы

Блестящий шарик термометра — не самая, конечно, «гостеприимная» площадка для приема падающих солнечных лучей. Слишком много лучей отражается им во все стороны. Разнообразные чернobarхатистые поверхности перепробовали исследователи, пока не пришли к выводу, что лучше всего изготовить приемник солнечных лучей в виде металлического конуса с зачерненными стенками. Попадающие внутрь лучи многократно отражаются от его стенок, и им

Там, где много солнечных дней, например в Туркмении, невидимые лучи можно получить непосредственно от Солнца, отрезав путь видимым лучам с помощью инфракрасных фильтров и пропустив в точку фокуса только невидимые лучи.



уже не удастся вырваться наружу. Приемный конус поглощает 98—99% падающих лучей!

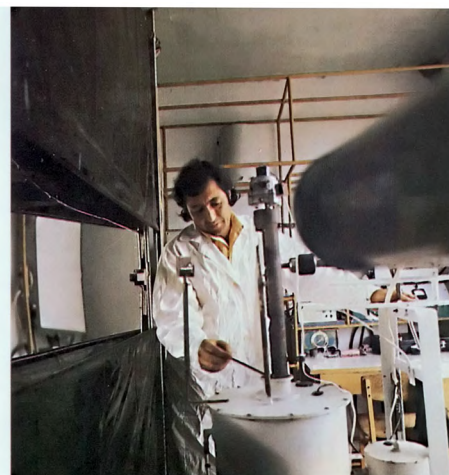
Приемник солнечных лучей, выполненный в форме конуса, окружили кольцами медных трубочек, по которым стали пропускать воду. Вода — наиболее теплоемкое вещество на Земле, и каждый литр воды способен поглотить больше тепла, чем литр любого другого вещества.

Зная количество пропущенной

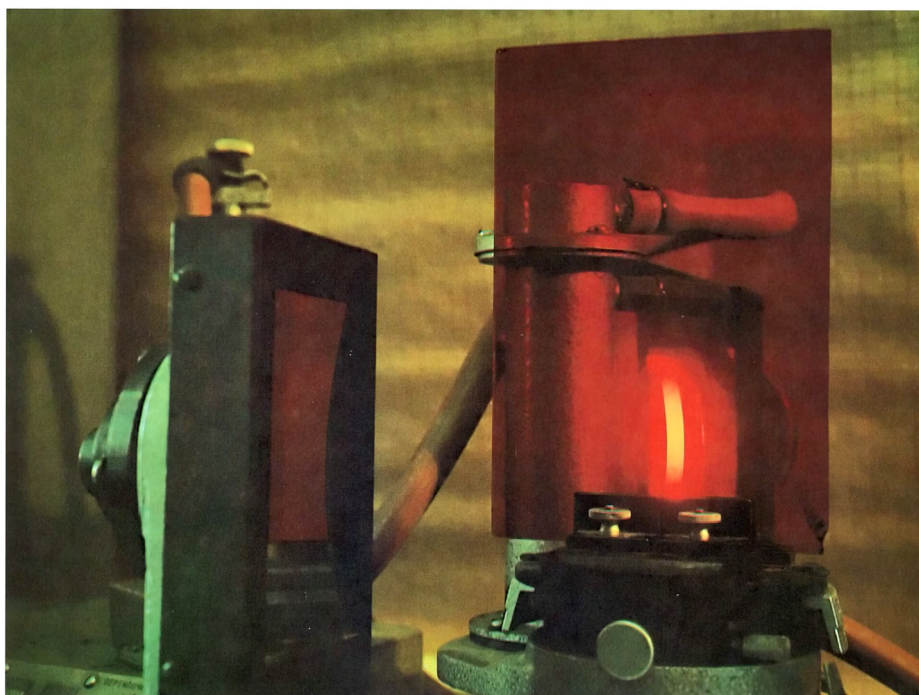
по трубкам воды, измерив температуру нагретой воды, легко узнать количество энергии, которое несут с собой солнечные лучи. Такие водяные калориметры широко используются в современной технике точных измерений, но их громоздкость постоянно вызвала желание исследователей создать более миниатюрные измерительные приборы.

Очень простыми и удобными оказались термопары и термометры сопротивления.

Термопары представляют собой две спаянные в одном месте проволоки из разных материалов, как металлических, например сплавов алюминия и хрома, так и полупроводниковых (особенно часто — из сложных соединений висмута, теллура, селена). Когда место



спая нагревается солнечными лучами, то в каждой из проволочек возникает движение электронов от места спая к холодному концу проволоочки. Количество возникших свободных электронов и их подвижность зависят от материала проволоочки. К холодному концу одной из них будет подходить в единицу времени больше электронов, чем к холодному концу другой. Если холодные концы термопары соединить с прибором,



Воссоздать в лаборатории красный или невидимый свет Солнца позволяют раскаленные электрическим током стержни из огнеупорной керамики. Многократно отразившись в зеркалах, пройдя кварцевые призмы и фильтры, лучи попадают на исследуемый образец.

измеряющим напряжение, то он зарегистрирует, что между ними возникла значительная разность потенциалов.

Еще проще устроены термометры сопротивления. Через тонкую проволочку пропускается ток от маленькой батарейки для карманного фонарика. Когда проволочка или припаянная к ней зачерненная металлическая пластинка освещается лучами солнца и нагревается, то сопротивление проволоки изменяется. Если проволока из металла, то при увеличении температуры ее сопротивление возрастает и ток, проходящий через нее, уменьшается, что легко заметить с помощью чувствительного прибора — гальванометра или микроамперметра.

Казалось бы, дальше все просто: следует выставить прибор на солнце и точно измерить величину солнечной радиации. Однако в этом случае к чувствительной поверхности прибора будут приходить лучи не только непосредственно от Солнца, но и солнечные лучи,

отраженные от облаков, рассеянные атмосферной пылью, частицами воды.

Если же необходимо измерить величину только прямого солнечного излучения (исходящего прямо от Солнца), надо окружить прибор длинной трубкой с зачерненными стенками. В этом случае на чувствительный датчик прибора будет падать излучение, исходящее только от самого диска Солнца.

В начале XX века, в 1913 году, в Смитсоновском институте в США были проведены с помощью описанных нами устройств измерения интенсивности солнечной радиации. Поток солнечного излучения, отнесенный к единице воображаемой площадки в 1 см^2 , находящейся на верхней границе земной атмосферы, получил название солнечной постоянной. Было определено, что солнечная постоянная равна $1,94 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$. Эти измерения оказались настолько точными, что их отличие от значений солнечной постоянной, получен-

ных при полете в 1969 году американских межпланетных космических станций «Маринер VI» и «Маринер VII», составило всего 0,5%. Солнечная постоянная по прямым космическим измерениям оказалась равной $1,95 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$.

Решая многие научные и практические задачи, важно знать не только общую энергию солнечного излучения, но и его спектральный состав. Для этой цели солнечное излучение предварительно раскладывается в спектр с помощью дифракционных решеток или призм, сильно преломляющих солнечные лучи. Затем измеряется энергия, которую несут с собой лучи каждого цвета.

После открытия в спектре Солнца невидимых лучей для проведения спектральных измерений было необходимо найти материалы для призм, которые обладали бы прозрачностью для невидимых лучей. К счастью, выяснилось, что очень чистое кварцевое стекло, состоя-

щее почти полностью из двуокиси кремния, прозрачно для большей части инфракрасных лучей Солнца. Прозрачно кварцевое стекло и для основного количества ультрафиолетовых лучей Солнца.

Солнце, разложенное по клеточкам

Прибор, позволяющий получить спектральное распределение энергии излучения по длинам волн, носит название монохроматора, или спектрометра. Монохроматоры и чувствительные приемники излучения, установленные высоко в горах, где чистая сухая атмосфера, позволили измерить спектральное распределение энергии Солнца, близкое к тому, которое падает на воздушную оболочку Земли.

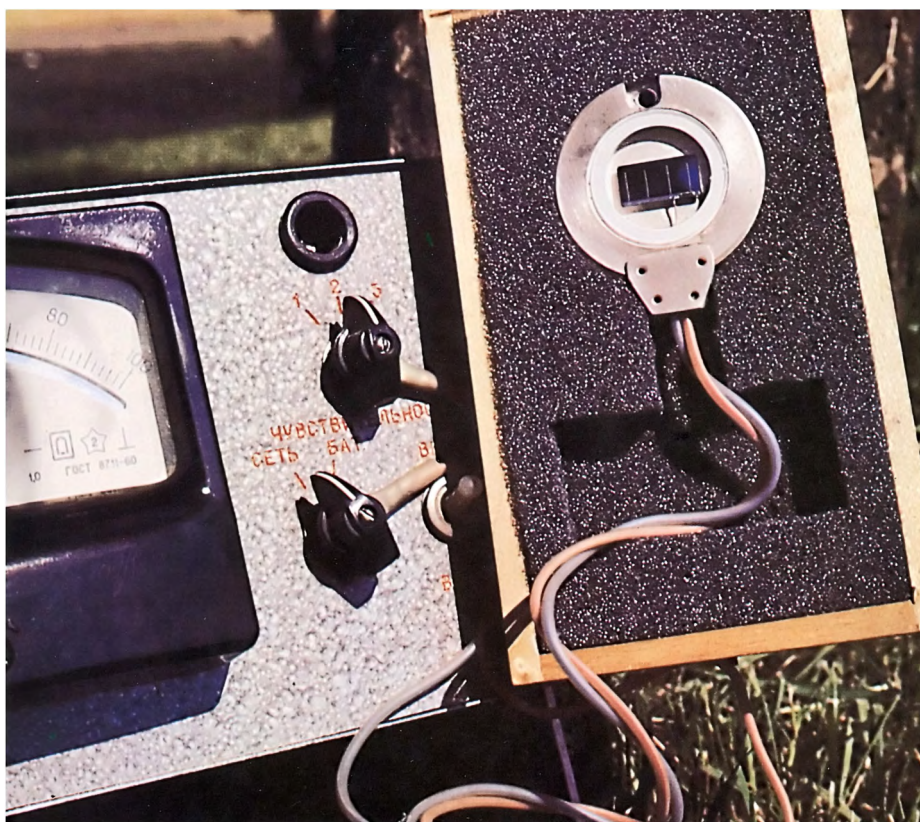
В последние годы бурного развития атмосферных и космических исследований большие монохроматоры стали устанавливать на высотных шарах-зондах и на спутниках Земли. Это дало возможность уточнить результаты измерений, проведенных высоко в горах.

Основная часть — 98% — энергии внеатмосферного солнечного излучения лежит в области спектра от 0,2 до 3,0 микрона. Эта область состоит из трех больших участков: ультрафиолетового, несущего с собой 9% всей энергии солнечного излучения (от длины волны 0,4 микрона и меньше); видимого глазом света — 44% всей энергии (область спектра от 0,4 до 0,75 микрона); инфракрасной части солнечного света — 47% всей энергии (область длин волн более 0,75 микрона).

Проходя через атмосферу, солнечный свет изменяется по спектральному составу и по интенсивности. Озон, пары воды, кислород, углекислый газ, частицы пыли и тумана поглощают приходящее к Земле солнечное излучение.

Утром огромный
плоский отражатель
выезжает
из укрытия
на яркий
солнечный свет.
Пора за работу!





На одной из международных выставок демонстрировались уличные «часы», единственная стрелка которых показывала не время, а уровень солнечной радиации. Показания таких часов зависят от количества электроэнергии, вырабатываемой



Сравнительно плавное распределение энергии излучения внеатмосферного Солнца в зависимости от длины волны превращается после прохождения атмосферы в неровную, с острыми зубцами и впадинами, кривую. Особенно неравномерной будет эта кривая, если атмосфера во время измерений была влажной и запыленной, а Солнце стояло низко над горизонтом, что заставило солнечные лучи проделать длинный путь в атмосфере, прежде чем попасть в измерительный прибор.

Хорошо заметны полосы поглощения солнечного излучения на графике, где черным отмечена энергия поглощения различными составляющими атмосферы.

Обычно эти графики рисуют на особой бумаге в мелкую клеточку.

Это позволяет быстро и наглядно (по числу клеточек, занятых черным пиком поглощения) оце-

нить энергию тех солнечных лучей, которые не достигли земной поверхности «по милости», например, тумана и пыли...

Прозрачное, но черное стекло

Основная часть инфракрасного излучения Солнца лежит в области длин волн 0,75—3,0 микрона.



под действием солнечного света небольшим фотоэлементом (вверху слева) или термоэлектрическим пиранометром (внизу). Черно-белая, похожая на шахматную доску, приемная поверхность пиранометра, защищенная стеклом, выполняет важную роль: между горячими черными и холодными белыми клеточками возникает необходимая для работы прибора разность температур. Спрятанные внутри прибора миниатюрные термоэлементы преобразуют тепло Солнца в электрические сигналы.

Прозрачная стеклянная крыша и стены пропускают в теплицу солнечный свет и не выпускают невидимое тепловое излучение Земли и растений. Внутри опытной солнечной теплицы установлены приборы, измеряющие влажность, температуру, состав и количество солнечных лучей, прошедших сквозь стекло.



Если тело нагрето всего лишь до комнатной температуры, то его инфракрасное излучение лежит в интервале длин волн от 3 до 30 микрон с максимумом при 10 микронах. Если тело нагрето сильнее, то спектр излучаемых им инфракрасных лучей сдвигается в область более коротких длин волн. Интенсивность излучения при этом значительно возрастает. Если, например, абсолютная температура тела увеличивается в 2 раза, то количество излучаемой тепловой энергии возрастает в 16 раз.

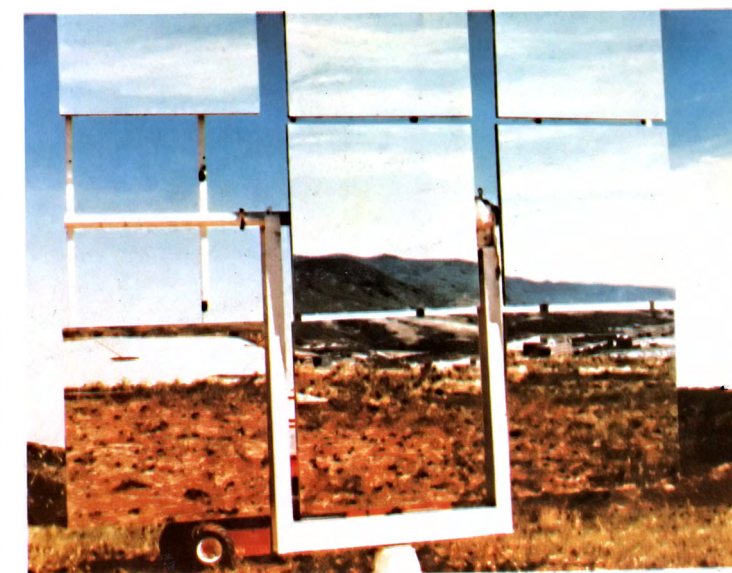
Разгоряченный человек излучает в инфракрасной области спектра от 700 до 800 ватт тепловой мощности. Плавное изменение величины этого излучения при колебаниях температуры помогает человеку легче переносить арктический холод и тропическую жару... При охлаждении — задержать часть излучения, при нагреве — увеличить излучаемый поток тепла.

После этих удивительных открытий ученые смогли, наконец, объяснить опыты Соссюра, улавливавшего солнечные лучи с по-

мощью пластинки, огражденной пятью стеклянными полукубами, вставленными друг в друга. Нагретая зачерненная пластинка испускает длинноволновые инфракрасные лучи. Стекло непрозрачно по отношению к этим инфракрасным лучам. Оно поглощает их, не давая им вырваться наружу, и снова возвращает невидимые лучи зачерненной пластинке. Стекло не только мешает ветру охладить пластинку. Оно нарушает теплообмен излучением между пластинкой и окружающей средой, не позволяет

Концентраторы этой солнечной установки выполнены из полос посеребренного зеркального стекла, прекрасно отражающего солнечный свет.

Внизу — плоский отражатель для солнечных электростанций.



Однако есть у Солнца и слабое инфракрасное излучение, составляющее всего 1—1,5% от всей энергии Солнца, длина волны которого простирается вплоть до 10—15 микрон. Излучение с такой длиной волны поглощается любым стеклом, даже кварцевым.

Чтобы изучить слабое длинноволновое инфракрасное излучение, ученым пришлось создать призмы не из стекла, а из полупроводников — кремния, германия или из больших, специально выращенных кристаллов поваренной соли, фторида лития, бромистого калия. Эти материалы оказались прозрачными для слабого инфракрасного излучения.

За этим, казалось бы, не слишком значительным техническим достижением (всего лишь усовершенствование техники измерений) последовало открытие первостепенной важности. Приборы показали, что все тела в окружающем нас мире (и в том числе мы сами) испускают инфракрасные лучи. Источником этого излучения является колебание и вращение молекул нагретого тела — их энергия переходит в излучение. Интенсивность и спектральный состав этого инфракрасного излучения зависят от температуры тела и оптических свойств его поверхности.

Если с помощью отражателей собрать вместе солнечные лучи, падающие на поверхность Земли площадью в десять—пятнадцать квадратных метров, то энергии сфокусированного излучения с избытком хватит для работы любой тепловой машины, превращающей солнечное тепло в электроэнергию (фото справа).

пластинке охлаждаться, «высвечивая» невидимыми лучами накопленное тепло. Вот почему так тепло растениям в парниках и оранжереях в солнечные, но холодные дни, когда температура воздуха на улице еще совсем зимняя...

Стекло оказалось незаменимым материалом для солнечных установок. Даже в самых современных конструкциях, эффективно поглощающих и бережно сохраняющих солнечное излучение, конструкторы не обходятся без стекла.

Солнечный глаз

Растительный и животный мир на нашей планете возник, развился и приспособился к существованию в окружающем мире, где одним из основных внешних воздействий является солнечный свет. Глаз человека — один из многих примеров этого процесса отбора и приспособления. Воспринимать солнечные лучи, окраску и форму предметов, цвет неба и облаков и, наконец, читать книги мы можем

благодаря тому, что природа наградила нас счастливой способностью видеть. Механизм человеческого зрения, однако, оказалось значительно труднее разгадать, чем состав солнечного света. Поэты часто сравнивают глаз и Солнце — вспомним хотя бы прекрасные строки Гете:

Будь не солнечен наш глаз,
Кто бы солнцем любовался?

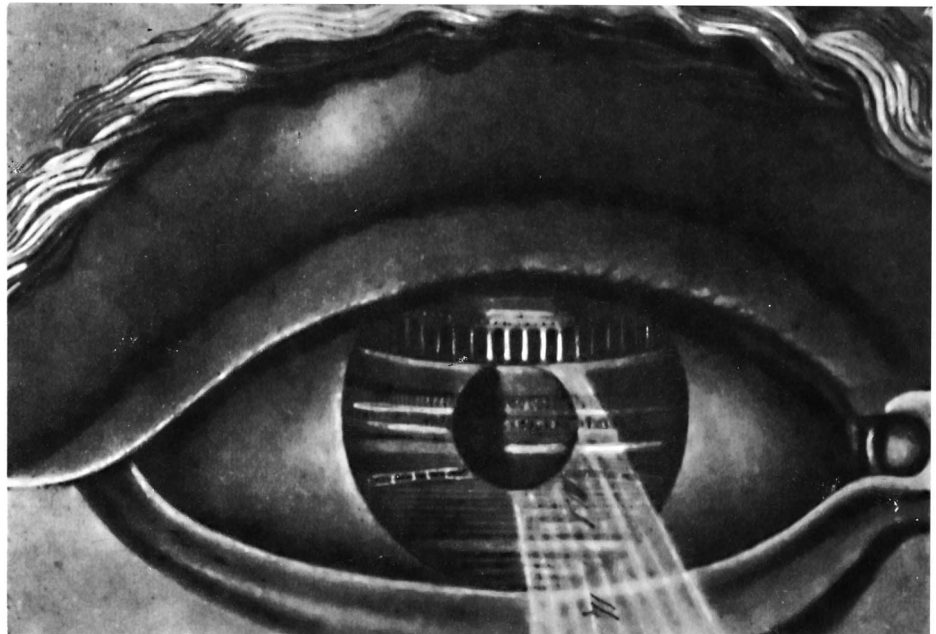
Но в научном смысле эти два удивительных создания природы совершенно не похожи друг на друга...

В последней четверти XX века ученые все еще не могут до конца разобраться в процессах, происходящих в человеческом глазу, однако понять основные черты явления удалось...

Конечно, ученые далеко ушли от представлений древнегреческого философа Эпикура о зрении, который считал, что каждый предмет испускает во все стороны тонкие слепки, попадающие в наши глаза.

Если сравнивать наш глаз с созданиями современной техники,

Художники часто изображают глаз как символ света и Солнца, как волшебное всевидящее око, благодаря которому для нас существуют краски и предметы окружающего мира. Архитектор Леду в XVIII веке даже поместил внутрь символического глаза выполненный им проект театра в Безансоне.



то, вероятно, больше всего он похож на приемную трубку телевизионной камеры. Через зрачок — отверстие в радужной оболочке глаза — солнечный свет попадает на хрусталик — прозрачную природную линзу. Диаметр зрачка плавно изменяется в зависимости от освещенности. Зрачок играет для глаза такую же роль, как диафрагма в кино- и фотоаппаратах. Благодаря вовремя происходящим изменениям зрачка наш глаз без труда воспринимает ярчайший солнечный свет и столь малую освещенность, как мерцание светлячков в ночном саду. Освещенность при этом отличается более чем в миллиард раз. Плавно изменяется и кривизна хрусталика, позволяя получать резкое изображение предметов, находящихся от нас на разных расстояниях. Свет, попавший в человеческий глаз, воспринимают расположенные в его глубине, на сетчатке, микрофотоэлементы, получившие название колбочек и палочек. Электрические сигналы от них идут в мозг. Если бы микрофотоэлементов в нашем глазу было немного, то зрительное впечатление от окружающего мира напоминало бы мозаику. Но природа позаботилась и об этом: палочек, отвечающих за черно-белое и сумеречное зрение, в каждом человеческом глазу около 130 миллионов; колбочек, благодаря которым мы воспринимаем мир в красках, около 7 миллионов!

Но может возникнуть закономерный вопрос: почему из всего обширного спектра солнечных лучей глаз воспринимает лишь видимые лучи с длиной волны от 0,4 до 0,75 микрона, причем чувствительнее всего реагирует зрение на зеленые лучи с длиной волны 0,55—0,56 микрона? Почему глаз человека не видит ультрафиолетовые и инфракрасные лучи?

Видимо, это наиболее оправдано с биологической точки зрения. Ультрафиолетовые лучи, обладающие способностью разрывать связи в химических молекулах, могли бы разрушить вещество глаза. Инфракрасные лучи испускаются не только Солнцем, но и всеми немного нагретыми телами, и в наших глазах произошло бы недопустимое смешение двух изображений: одного, создаваемого отраженными от предметов неви-



димыми лучами Солнца, и другого, получаемого благодаря инфракрасным лучам, испускаемым самими телами.

Человеческий глаз лучше всего приспособлен к восприятию отраженных от всего окружающего видимых солнечных лучей — их вполне достаточно для объемного, яркого и полного впечатления о мире. Исследования показали, что спектральная чувствительность глаза и спектральный состав солнечных лучей (не прямых, а отраженных от других тел, особенно от травы и деревьев) практически совпадают.

Справедливо сказал Гете: «Глаз обязан своим бытием свету...» И не только глаз...

«Приемная телевизионная камера», созданная природой за миллионы лет до изобретения телевидения, — глаз человека.



ГЛАВА II

ОБЫЧНАЯ, ЖЕЛТАЯ, СРАВНИТЕЛЬНО ХОЛОДНАЯ ЗВЕЗДА

Мы знаем, что вещество представляет собой огромные запасы энергии и что энергия представляет собой вещество.

А. Эйнштейн

Вероятно, сначала было облако межзвездного газа и пыли. Частицы притягивались друг к другу и скоро образовали плотный и непрозрачный газовый шар. Силы тяготения все больше сжимали шар, давление и температура внутри него повышались, шар начал светиться. И продолжал сжиматься, пока не началась термоядерная реакция — превращение ядер водорода в ядра гелия с выделением энергии в виде излучения и тепла. Температура и светимость шара резко возросли. Давление внутри шара уравнило силы тяготения, он перестал изменяться в размерах. Газовый шар стал звездой под названием Солнце.

Таково наиболее распространенное в современной науке представление об образовании Солнца.

Почти 5 миллиардов лет в недрах Солнца происходят термоядерные реакции, приводящие к освобождению огромного количества энергии. Температура поверхности Солнца около 6 тысяч градусов Цельсия, а в его глубине она достигает 15—20 миллионов градусов. Ежесекундно 600 миллионов тонн водорода в глубине Солнца превращаются в гелий,

однако масса Солнца столь велика, что за миллиарды лет Солнце «похудело» лишь на доли процента. Масса Солнца составляет $2 \cdot 10^{27}$ тонн, что более чем в 330 тысяч раз больше массы Земли!

Но гораздо труднее представить себе, что при всех поражающих воображение размерах и свойствах Солнце не является уникальным, единственным в своем роде созданием природы.

Гори, гори, моя звезда

Сияние Солнца кажется нам ослепительным еще и потому, что оно расположено по отношению к Земле значительно ближе всех других звезд. От Земли до Солнца «всего лишь» 149,6 миллиона километров, в то время как ближайшая звезда — альфа Центавра находится почти в 30 тысяч раз дальше от нас. Свет проходит путь от Солнца до Земли за 8 минут, а от альфы Центавра до Земли — за 4,3 года.

Расстояния между звездами в нашей Вселенной так велики, что за одну из единиц измерения длины астрономы выбрали световой год — путь, который луч света

Одинаково ли
лучи Солнца
отражаются
всеми участками
этого большого
солнечного зеркала?
Только тщательные
оптические
исследования
позволяют
получить ответ
на этот вопрос
(фото слева).

Обсерватория
в индийском городе
Джайпуре.
Построена
в первой половине
XVIII века.
Ученые разных
стран мира создавали
большие и точные
оптические
и математические
инструменты.
Начиналась
эпоха великих
астрономических
открытий.
Человечество
окончательно
расставалось
с приятной,
но неверной мыслью
о том, что Земля
находится в центре
мироздания.

проходит за год непрерывного «бега» по безмолвным просторам космоса.

Сравнивать звезды между собой значительно легче, если мысленно расположить их на одинаковом расстоянии от Земли, например на расстоянии в 32,6 световых года. Солнце будет на таком удалении казаться нам слабо светящейся желтоватой звездой. Даже в нашей Галактике найдется множество звезд, которые на таком же расстоянии будут сиять ярким белым светом. Они излучают в сто, тысячу и в некоторых случаях в миллионы раз большую энергию, чем наше Солнце.

Цвет звезды позволяет оценить температуру ее поверхности. Мы ведь хорошо знаем, что вольфрамовая нить в лампе накаливания, нагреваясь, изменяет свой цвет:

превращается из красной в желтую и затем ослепительно белую.

Среди других звезд наше Солнце по своему цвету, размерам, температуре и массе занимает скромное среднее место. Есть много горячих белых звезд с температурой поверхности 15—20 тысяч градусов — значительно выше, чем у Солнца. Много во Вселенной и красных «холодных» звезд с температурой поверхности «всего» 3—4 тысячи градусов. Во Вселенной есть звезды-гиганты, занимающие такое же пространство, какое заключено, например, внутри орбиты Земли или Марса. Одна из звезд-гигантов — альфа Скорпиона (Антарес). Неудивительно, что для астрономов Солнце — сравнительно холодная желтая звезда, средняя по размерам и массе, типичная для нашей Галактики. Звезда, примечательная лишь тем, что мы обязаны ей жизнью...

Многовековые наблюдения за Солнцем и открытия физики XX века позволили ученым предсказать возможное будущее Солнца. Еще примерно 6 миллиардов лет Солнце будет спокойно посылать нам неизменное количество энергии. В центре Солнца постепенно уменьшится содержание водорода и гелия, термоядерная реакция начнет затухать. Равновесие между силами тяготения, сжимающими звезду, и внутренним давлением, рождаемым термоядерными силами, нарушится. Ядро звезды начнет сжиматься, сравнительно холодные верхние слои будут удаляться от ядра. Размеры Солнца возрастут, и температура его внешних слоев уменьшится. Примерно через 8 миллиардов лет наше Солнце превратится в красный гигант. Затем внешние слои начнут удаляться от звезды и, возможно, превратятся в планетарную туманность, в центре которой будет сиять очень неболь-



шая, но горячая плотная звезда. Звезда на такой заключительной стадии развития получила у астрономов название «белого карлика». «Белый карлик» постепенно будет остывать, превращаясь в холодный «красный карлик». Когда Солнце станет красным гигантом, его размеры будут захватывать все окосолнечное пространство, включая орбиту Меркурия, а возможно, и Земли. Предупрежденное учеными, человечество к тому времени, вероятно, успеет перебраться на другие планеты, под ласковые лучи иной звезды, более молодого солнца, которому еще не захочется менять свой лик...

Беспокойная жизнь Солнца

Представление о спокойном, «уравновешенном» Солнце, возникающее благодаря неизменности его светового излучения, конечно, является далеким от действительности. Достаточно посмотреть даже в небольшой телескоп (конечно, сквозь фильтры, ослабляющие яркость излучения), чтобы увидеть, что поверхность Солнца находится в постоянном движении. Вероятно, наиболее неожиданным при таком наблюдении оказывается мозаичная структура поверхности Солнца. В телескоп ясно видно, что вся солнечная поверхность состоит из отдельных мелких зерен, разделенных темными промежутками, и выглядит из-за этого как бы покрытой сплошной сеткой. Зерна получили название гранул, а все явление — грануляции. Линейные размеры гранул колеблются от 700 до 2000 километров. Гранулы находятся все время в движении — одни гранулы пропадают, а на их месте и рядом возникают новые. Жизнь одной гранулы весьма непродолжительна — не более 3—5 минут. Как предполагают ученые, воз-

никновение гранул связано с тепловыми перемещениями газов в верхних слоях Солнца. Горячий газ в центре гранулы поднимается наверх, а затем, немного охладившись, стекает по ее краям вниз. Удалось измерить разницу в температуре между светлым центром гранулы и ее более темными внешними областями, которая оказалась равной 200—300°C. Появление гранул — еще одно свидетельство того, что температура внутренних областей Солнца намного выше температуры внешних, что и приводит к активному движению раскаленных газов.

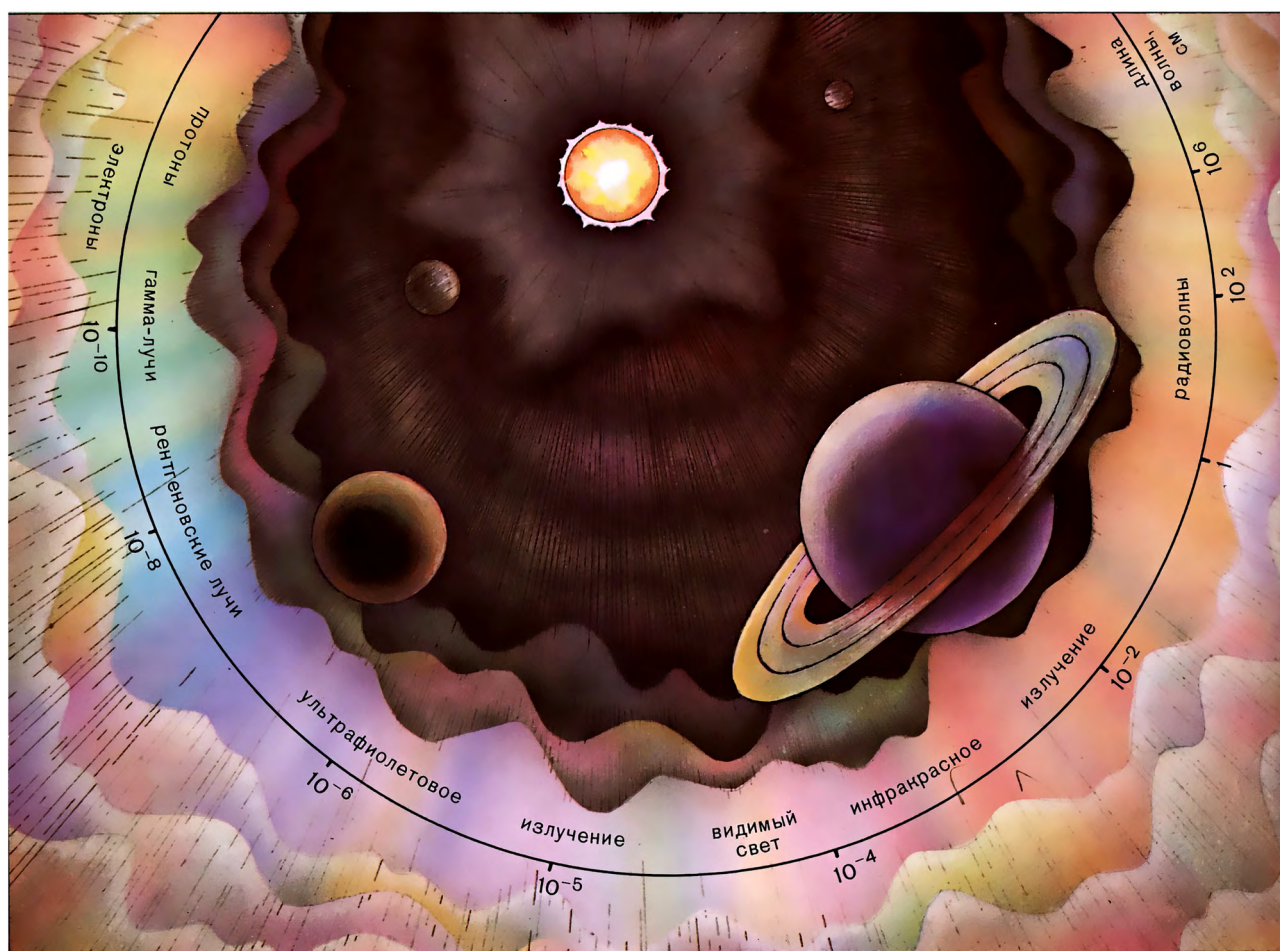
Более заметны на поверхности Солнца не гранулы, а давно известные образования, получившие название солнечных пятен.

Всем нам хорошо знакома поговорка: «Даже на Солнце есть пятна», которую обычно со вздохом произносят, когда хотят сказать, что если у такого совершенного творения природы есть изъяны, то что же говорить о таких несовершенных созданиях, как человек...

•Как показали измерения, температура поверхности Солнца в области солнечных пятен составляет около 4500°C, более чем на 1000°C ниже, чем температура ярких областей Солнца. Хотя температура 4500°C значительно превышает, например, температуру раскаленной нити лампы накаливания, но из-за контраста с окружающими областями Солнца пятна нам кажутся очень темными.

•Протяженность солнечных пятен, как правило, составляет от 1000 до 100 000 километров, хотя иногда появляются и еще большие пятна.

В 1858 году на солнечном диске наблюдалось появление пятна в 230 000 км — в 18 раз больше диаметра Земли! Пятна имеют разнообразную форму и, как правило, возникают большими группами. Если группа пятен или отдельные



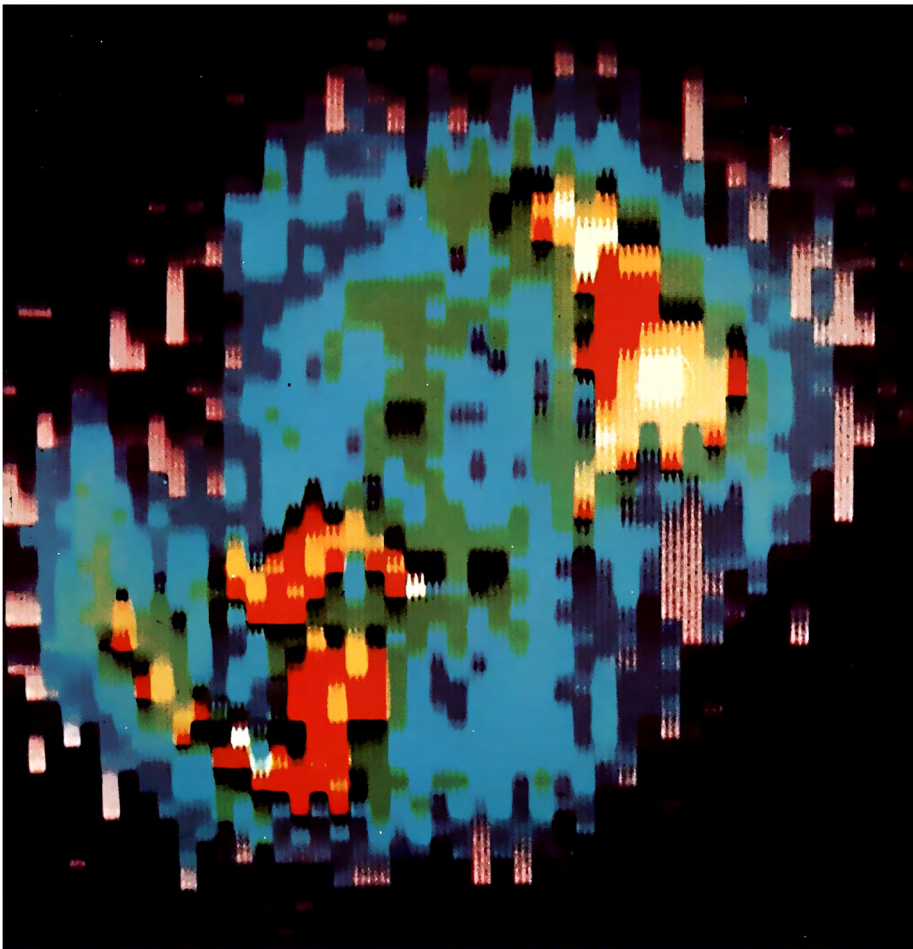
На планеты Солнечной системы от Солнца и его короны льется мощный поток электромагнитных излучений с различной длиной волны.

пятна занимают площадь более 40 000 км², то их можно легко видеть невооруженным глазом, конечно, через закопченное стекло.

Исследования последних десятилетий показали, что в области солнечных пятен наблюдаются сильные магнитные поля. Напряженность общего магнитного поля Солнца не превышает нескольких эрстед. А в области пятен она возрастает до нескольких тысяч эрстед. Ученые предполагают, что магнитное поле отделяет, будто стенками сосуда, область пятна от окружающих областей Солнца. При этом перемешивание газов затруднено, теплообмен ухудшается и внутри пятна становится значительно холоднее, чем вне его.

Исследователям удалось заметить интересную особенность: если группа пятен имеет два главных пятна, то их магнитные поля имеют противоположную направленность. Вполне возможно, что магнитное поле образует гибкий магнит с двумя полюсами — магнитную трубку; изогнута трубка в глубине Солнца, и два больших пятна, которые мы видим, представляют собой выходящие на поверхность два противоположных конца трубки.

Пятна появляются, вместе с Солнцем вращаются вокруг оси, перемещаются по поверхности Солнца, в основном по направлению к экватору, постепенно исчезают. Продолжительность жизни



Эта красивая мозаика создана не вдохновением художника, а сложными современными приборами. Американский исследовательский спутник Земли сфотографировал одну из активных областей солнечного диска в ультрафиолетовых лучах и передал изображение на Землю, а затем электронно-вычислительная машина помогла воспроизвести на экране телевизора полученную картину в привычных для нашего глаза видимых цветах. Белым цветом машина обозначила наиболее горячие участки Солнца, а желтым, красным, зеленым и синим цветом — менее горячие.

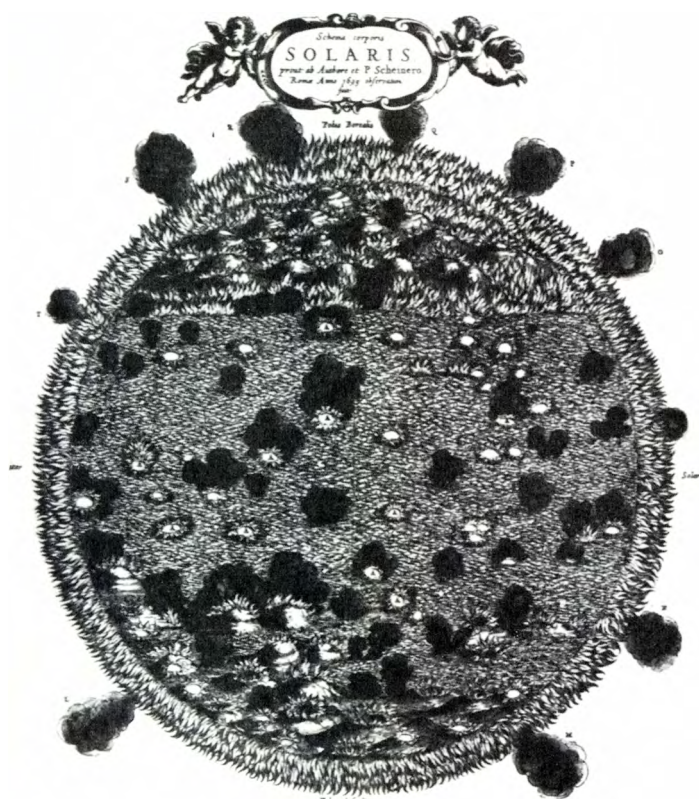
пятен обычно составляет от нескольких часов до нескольких месяцев.

За пятнами на Солнце астрономы наблюдают очень давно. В китайских летописях, например, сохранилась запись о наблюдениях за солнечными пятнами еще в 28 году до нашей эры. Последние двести лет эти наблюдения велись особенно тщательно. Удалось обнаружить интересную закономерность: среднее годовое число пятен и площадь, ими занятая, изменяются с периодом в 11 лет. В течение этих 11 лет количество пятен меняется очень хаотично. Бывают месяцы, когда пятен почти нет, но в другие месяцы их «высыпает» более сотни. И тем

не менее обработка данных наблюдений более чем за 200 лет показала, что каждые 11 лет среднее число пятен, например, возрастает более чем в 2 раза (иногда в 3—4 раза) по сравнению с их числом в спокойные, «обычные» годы жизни Солнца. Причина удивительного постоянства Солнца даже в проявлениях активности — в регулярной смене периодов «покоя» и «бури» — остается пока непонятной...

«Всех румяней и белее»

Волшебное зеркальце в сказке А. С. Пушкина «О мертвой царевне и семи богатырях» обладало редкой особенностью: «Свойство



Сохранились изображения Солнца с пятнами, которые еще в глубокой древности были замечены на его поверхности. Размеры пятен часто превышают диаметр Земли, и поэтому их можно наблюдать невооруженным глазом, лишь защитив глаза закопченным стеклом. Исследования ученых нашего времени позволили детально разобраться в строении пятен, похожих на кратеры вулканов, изучить их движение по диску Солнца, определить размеры и форму образований на поверхности Солнца, напоминающих зерна или гранулы.

зеркальце имело: говорить оно умело». Достаточно было царице посмотреться в зеркальце и задать ему один вечный вопрос: «Я ль на свете всех милее?» — как следовал приятный ее сердцу ответ: «Ты, царица, всех милее, всех румяней и белее».

Несмотря на все великолепие Солнца, большие и совершенные зеркала, выполненные с ювелирной точностью, не позволили исследователям рассмотреть облик Солнца во всех деталях. Красота Солнца слишком ослепительна...

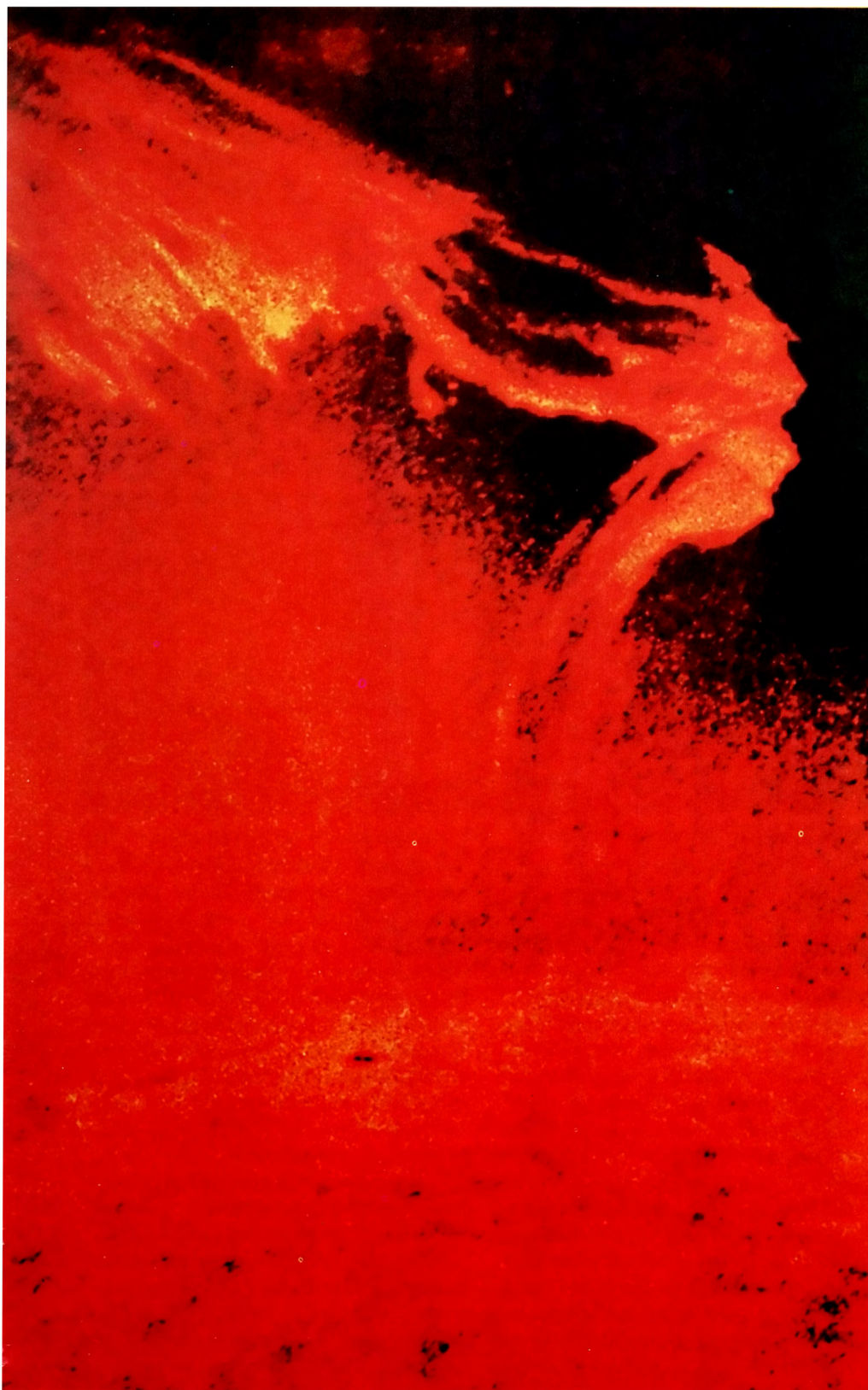
Астрономы всегда видят вокруг Солнца ореол — сияющий нимб. На самом деле такого нимба вокруг Солнца нет — его изображение появляется в оптических зеркалах из-за рассеяния ярких солнечных лучей частицами пыли и влаги в атмосфере Земли. Из-за этого мы видим не точное, а слегка размытое изображение Солнца.

Чтобы лучше понять строение Солнца, оказалось необходимым не увеличивать размер зеркал и телескопов, а сделать, казалось бы, совершенно противоположное: закрыть Солнце черным экраном. Солнечное излучение, отраженное атмосферной пылью, не будет тогда мешать вести наблюдения за околосолнечным пространством.

В самой природе есть явление, созданное словно специально для этой цели: полное затмение Солнца. Когда естественный спутник Земли — Луна — в своем космическом движении пересекает воображаемую прямую, соединяющую центры Земли и Солнца, ослепительное сияние Солнца оказывается спрятанным за черный диск Луны. Взгляду ученых открываются тогда внешние, наиболее красивые и интересные для исследования области Солнца.

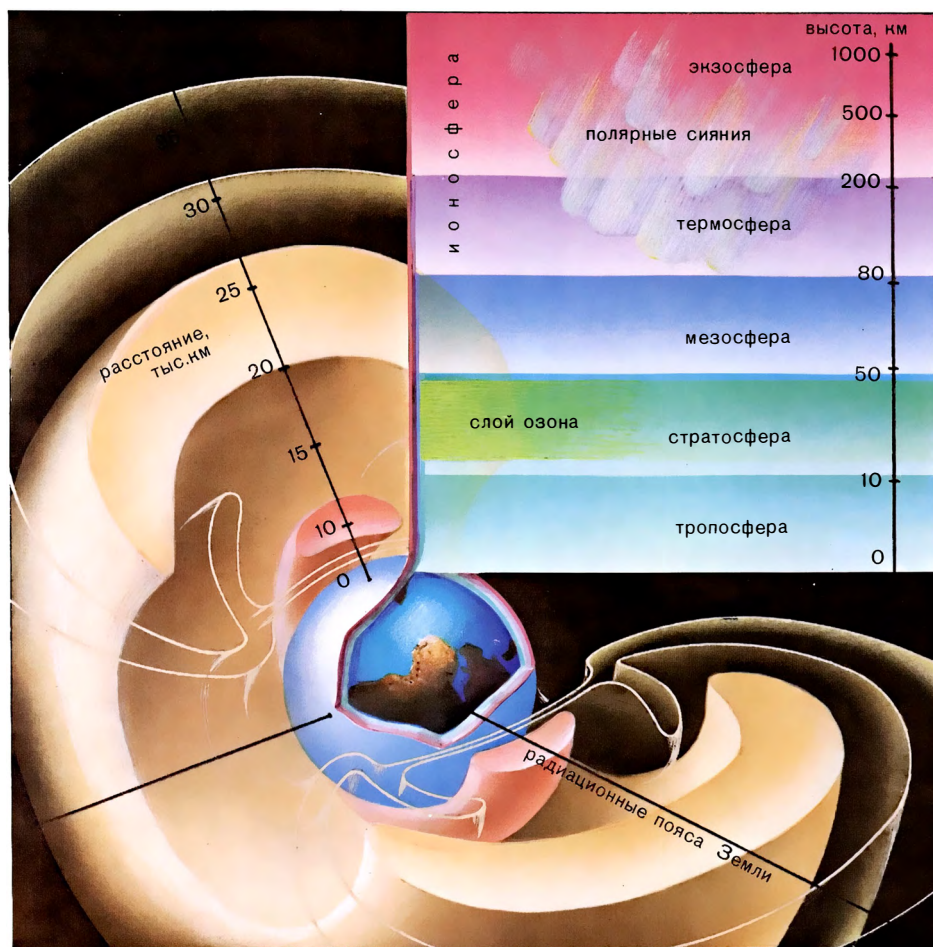
Вокруг черного диска Луны на





Протуберанцы — гигантские выбросы раскаленных газов и солнечной плазмы, движение которых направлено вдоль силовых линий магнитного поля Солнца.

Первые космические аппараты обнаружили над атмосферой Земли обширные радиационные пояса, состоящие в основном из свободных электронов и протонов, испускаемых Солнцем и захваченных магнитным полем Земли. Форма радиационных поясов повторяет форму силовых линий магнитного поля Земли, за исключением районов вблизи полюсов, где электроны и протоны выпадают в атмосферу Земли, вызывая свечение неба — полярное сияние.



фоне потемневшего неба виден тонкий сияющий круг розового цвета. Этот внешний слой атмосферы Солнца получил название «хромосфера», что по-гречески означает: «цветная сфера». Хромосфера тянется от видимого края солнечного диска до высоты 10—14 тысяч километров. Нижние слои хромосферы разогреты теплым белым светом верхних слоев поверхности Солнца — фотосферы Солнца.

Излучение фотосферы и ударные волны, возникающие в верхних слоях Солнца, нагревают хромосферу до температур около 5000°C . При этом происходит ионизация — отрыв электронов от водорода и гелия, из которых со-

стоит вся атмосфера Солнца и в том числе хромосфера. Очень часто электроны не улетают совсем от атомов водорода и гелия, а лишь возбуждаются, поднимаются на более высокую орбиту и затем быстро переходят в исходное положение. Энергия, которую при возбуждении получил электрон в момент его «возвращения» на родную орбиту, освобождается в виде светового излучения. При одном из таких «возвращений» — в случае перехода электрона с третьего на второй уровень в атоме водорода — возникает красное свечение, которое и окрашивает разреженную хромосферу в красивый розовый цвет.

Хромосфера довольно резко пе-

реходит в блестящее бледно-серебристое сияние, простирающееся иногда на несколько радиусов Солнца от края Луны, затеняющей диск Солнца. Это сияние — солнечная корона. Она занимает огромную площадь — ведь радиус Солнца составляет 700 тысяч километров!

За краем Луны видны тонкие, иногда ярко-розовые выступы очень сложной формы, по виду и цвету похожие на языки пламени. Это солнечные протуберанцы, громадные облака раскаленного газа, вырывающиеся из верхних слоев Солнца. Протуберанцы состоят из ионизированного водорода и паров металлов и часто простираются по диску Солнца на длину до 200 тысяч километров, имеют толщину около 6 тысяч километров и могут подниматься над диском Солнца на высоту до 40 тысяч километров.

Медленно меняя форму, протуберанцы «висят» в околосолнечном пространстве иногда даже несколько месяцев.

Ни с чем не сравнимая картина открывается перед внимательными наблюдателями полного затмения Солнца. Поистине нет создания в природе «румяней и белее» Солнца...

Но солнечные затмения бывают довольно редко. Поэтому пришлось изобрести устройства, позволяющие «создавать» искусственное солнечное затмение. Телескоп оборудовали черным диском, имитирующим Луну. Выполнили телескоп из особых сортов стекла, совершенно лишенных каких-либо микропузырьков — ведь маленький пузырек газа в стекле телескопа может так сильно рассеивать излучение Солнца, что его свечение будет сравнимо с яркостью самой солнечной короны! Во время наблюдений диск осторожно «наплывает» на Солн-

це, и в приборы попадает свет только от самой короны Солнца.

Искусственное затмение может, в отличие от настоящего, длиться сколь угодно долго... Исследования привели ученых к выводу, что в основном нарядный вид короны определяется ее способностью мягко рассеивать свет Солнца. В нижних слоях короны солнечный свет отражается свободно движущимися электронами, в самых верхних слоях короны электронам помогают рассеивать свет и мельчайшие частички метеорной пыли. Кстати, очень разреженная метеорная пыль заполняет все пространство между короной Солнца и Землей, и явление таинственного зодиакального света также объясняется рассеянием солнечного света частицами межпланетного метеоритного вещества.

Советский ученый В. Г. Фесенков в результате тонких и тщательных наблюдений установил, что чем ярче светят внешние области солнечной короны, тем заметнее и зодиакальный свет. Это важное доказательство одинаковой физической природы обоих явлений природы.

Долгое время для астрономов оставались загадочными наблюдавшиеся ими в короне Солнца (кроме рассеянного солнечного света) яркие линии излучения каких-то химических элементов. Причем эти линии не совпадали с излучением какого-либо известного «земного» химического элемента...

Некоторые ученые уже начали склоняться к мысли, что обнаружен новый химический элемент — «короний», когда шведский физик Эдлен сумел объяснить природу непонятого излучения. Пропущенная очень сильную электрическую искру через пары тяжелых металлов, Эдлен добился высокой

Солнечный телескоп
Крымской
астрофизической
обсерватории.
Башня
солнечного телескопа
взметнулась вверх
не только для того,
чтобы на несколько
десятков метров
приблизиться
к Солнцу.
В ней размещена
длиннофокусная
оптическая система,
позволяющая получить
четкое изображение
всего диска Солнца.
В вертикальной башне
теплый воздух
равномерно
поднимается вверх
вдоль направления
солнечных лучей,
что повышает
точность
оптических измерений
и улучшает качество
фотографий
по сравнению
с горизонтально
расположенными
телескопами.



степени их ионизации. Ему удалось, например, «сорвать» с атомов железа 9 и даже 10 электронов. Всего в атоме железа вращается 26 электронов, и в обычных химических реакциях даже при повышенных температурах железо отдает или принимает не более 3—4 электронов.

Исследуя излучение ионизированных паров металлов, Эдлен обнаружил, что их спектр совпал с некоторыми таинственными линиями в свечении солнечной короны.

Перед учеными немедленно возник следующий вопрос: что могло привести атомы тяжелых и трудно ионизирующихся химических элементов в такое состояние в короне Солнца? Очень большие электромагнитные поля и электрические разряды в короне не наблюдаются, вещество находится там в сильно разреженном состоянии, и большие токи просто не могут возникнуть.

Ответ на этот сложный вопрос

оказался не менее неожиданным, чем сама разгадка несуществующего элемента «корония»! Оказалось, что разреженный газ средних и верхних слоев короны Солнца нагрет до температуры около 1 миллиона градусов. При столь высокой температуре с электронных оболочек даже таких больших атомов, как железо и никель, срывается не менее половины электронов...

Плотность газа в короне очень мала: пришлось бы написать число с шестнадцатью нулями после запятой, чтобы обозначить, во сколько раз его плотность меньше, чем плотность вещества Земли или самого Солнца. Напомним, что средняя плотность кубического сантиметра материала, из которого состоит наша Земля, — 5,6 грамма, а плотность вещества, из которого состоит Солнце, — 1,4 грамма. Из-за малой плотности вещества короны мы не видим бушующего ослепительного пламени на небе, которое связывается в нашем воображении с такой огромной температурой, как 1 миллион градусов Цельсия. Но измерения скоростей, с которыми двигаются отдельные электроны, подтвердили теоретические выводы: электроны перемещаются так быстро, как они и должны двигаться при температуре в 1 миллион градусов...

Что же могло нагреть солнечную корону до столь больших температур? Предполагают, что в результате неупорядоченных, но огромных и мощных движений масс раскаленных газов в верхних слоях Солнца возникают могучие ударные волны, «бомбардирующие» корону Солнца. Энергия ударных волн почти полностью поглощается в солнечной короне, разогревая ее.

Разреженному веществу короны не приходится тратить слишком



много энергии на световое или тепловое излучение, что также очень способствует повышению температуры. Мы хорошо знаем из повседневного опыта, что чем больше тепла удерживает тело, тем выше его температура. Шуба греет нас зимой не потому, что сообщает нам лишнее тепло, — она лишь помогает нам сохранить тепло, «производимое» самим человеческим телом...



Голос Солнца

Солнце, как мы убедились, с трудом расстается со своими тайнами. Но внимание астрономов к самым, казалось бы, незначительным явлениям в поведении Солнца было вознаграждено. Однажды им удалось даже обнаружить на Солнце неизвестное химическое вещество.

Электроны в атомах отдельных веществ могут быть, как известно, переведены в возбужденное состояние — для этого следует, например, их нагреть или пропустить через них электрический ток. Возвращаясь в исходное «спокойное» состояние, атомы излучают свет определенной длины волны, строго соответствующей энергии перехода из возбужденного состояния в обычное. Если с помощью призмы изучать спектр излучения раскаленных паров металлов, то он будет не сплошным, как у Солнца или у лампы накаливания, а линейчатым, состоящим из отдельных ярких полос.

Зеркала-отражатели, направляющие солнечное излучение к регистрирующим и измерительным приборам Крымского телескопа (вверху слева).

Оптическая аппаратура внутри главной башни (вверху справа).

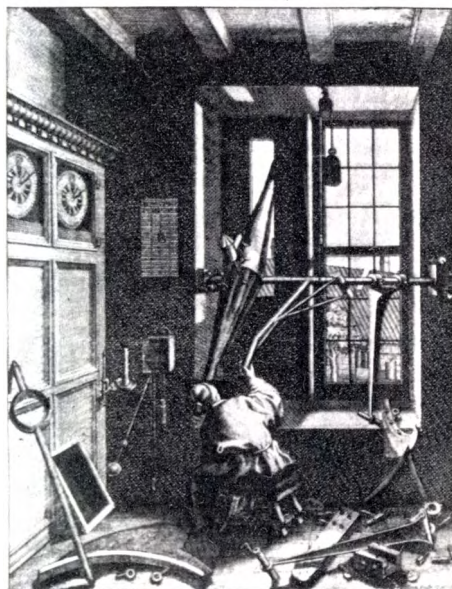
Электронно-вычислительная машина М-6000, без которой было бы невозможно быстро обрабатывать результаты астрономических наблюдений.

Для атомов каждого вещества характерны свои электронные переходы, и по положению полос на спектральной шкале, по длине волны ярких линий излучения можно с большой точностью определить химическую природу излучающих атомов. Этот метод анализа вещества получил название спектрального анализа, и его большим достоинством является не только высокая чувствительность, но и способность определять состав веществ, находящихся от нас на очень большом расстоянии. Для спектрального анализа не нужно иметь само вещество — достаточно лишь, чтобы свет, излучаемый им, попадал в спектральный прибор.

Спектральный анализ стал незаменимым помощником астрономов. Не выходя из стен обсерватории, можно определить, из каких химических элементов состоит атмосфера далеких звезд...

Французский астроном Жюль Жансен наблюдал солнечное затмение 1868 года в Индии. С помощью спектроскопа, наведенного на край солнечного диска, он успел увидеть и зарисовать

Старинные обсерватории имели хотя и громоздкие, но простые и достаточно точные даже по современным представлениям инструменты. Многие измерения, выполненные астрономами древних и средних веков, почти совпали с данными электронных приборов.



Диаметр антенны радиотелескопа, установленного под Симеизом в Крыму, 22 метра! С его помощью ученые постоянно следят за радиоизлучением Солнца. Интенсивность радиосигналов, идущих от Солнца, как правило, резко возрастает в период солнечных вспышек. Эти измерения дополняют сведения о солнечной активности, получаемые с помощью оптического солнечного телескопа.



В прошлые века умение ученого изготовить прибор или инструмент ценилось не меньше, чем теоретические знания. На снимке телескоп, изготовленный Ньютоном.

полосы излучения элементов, находящихся в хромосфере и короне Солнца. Три линии — красная, зелено-голубая и синяя, — характерные для светящегося водорода, соседствовали рядом с линиями паров металлов. Совсем рядом с ярко-желтой линией натрия Жансен заметил еще одну желтую линию. На следующий день Жансен снял спектр излучения околосолнечного пространства, закрыв спектроскоп от ярких лучей самого солнечного диска с помощью черной заслонки-экрана. Лишняя желтая линия появилась вновь.

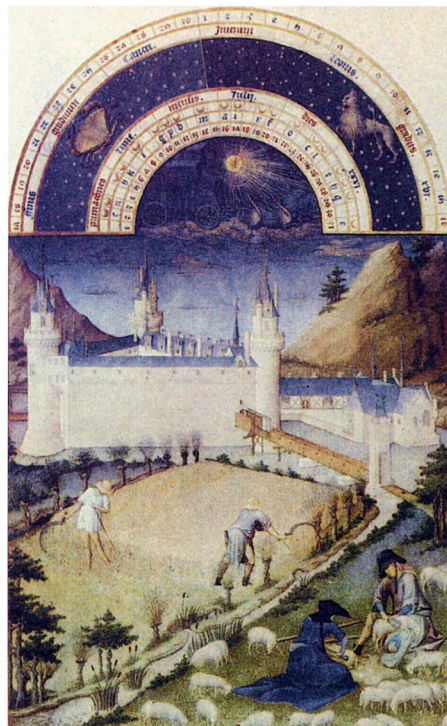
Не менее внимательным наблюдателем, чем Жансен, оказался английский астроном Норман Локьер, изучавший явления, происходившие во время затмения 1868 года, у себя на родине и также заметивший в спектре Солнца еще одну желтую линию рядом с линией натрия. Вероятно, она принадлежала какому-то другому химическому элементу, не натрию... Поиски его, однако, не увенчались

успехом — ни один из «земных» элементов, известных в то время, не излучал такой желтой линии. Пришлось назвать неизвестный химический элемент гелием, то есть солнечным, и решить, что он обитает только на Солнце...

Лишь через 27 лет, в 1895 году, лондонский профессор химии Вильям Рэмзей, нагрев один из минералов, выделил из него неизвестное газообразное вещество. У Рэмзея возникло подозрение, что полученный им газ — гелий, давно разыскиваемый на Земле. Кварцевую трубочку с гелием и впаянными в нее двумя платиновыми проволочками — электродами Рэмзей послал одному из лучших спектроскопистов своего времени — Вильяму Круксу. Видимо, боясь, что его мнение может повлиять на ход спектрального анализа, Рэмзей сказал Круксу, что в трубочке какой-то совершенно новый газ — криптон.

Крукс приложил к платиновым электродам напряжение — в

Французский календарь XV века. Показана связь времен года с высотой Солнца на небосводе. Хлеб рождается, когда заботливо ухоженные человеком поля согреты солнечным теплом.





Восходящее Солнце,
поднявшись
над горизонтом,
способно
напоить Землю
дождем,
испарив воду
рек и морей,
подняв ветер
и собрав облака.
Но оно может
и иссушить Землю...

Что готовит
грядущий день этой
потрескавшейся
от жажды Земле?
Человечеству
под силу вызывать
искусственные дожди
и, может быть,
пора уже надеяться
не только на Солнце
и милости природы?

трубочке возник электрический разряд. Стоявший рядом спектроскоп регистрировал яркие линии, излучаемые неизвестным газом. Измерив положение линий на спектральной шкале, Крукс немедленно дал Рэмзею лаконичную и выразительную городскую телеграмму: «Криптон — это гелий. Приезжайте — увидите. Крукс».

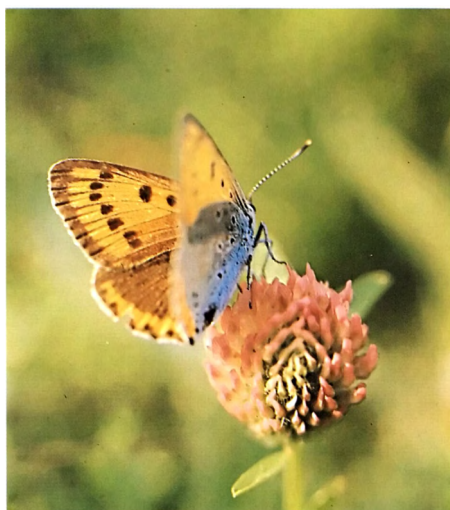
На Земле гелия, как и водорода, значительно меньше, чем на Солнце, но сейчас его в больших количествах получают во многих странах мира. Гелий необходим современной технике. Без него, например, невозможно получить температуры, близкие к абсолютному нулю, которые так нужны при исследовании явления сверхпроводимости, при создании сверхпроводящих электрогенераторов, трансформаторов и кабелей.

Исследование спектра Солнца

принесло астрономам много неожиданных открытий. Английский астроном Волластон в начале прошлого века повторял опыты Ньютона, разлагавшего спектр Солнца с помощью призмы на составляющие цвета. Оптические приборы, которыми пользовался Волластон, позволяли значительно подробнее исследовать солнечный спектр, и ему удалось заметить особенности в излучении Солнца, ускользнувшие от внимания Ньютона. На фоне непрерывного спектра Солнца, на фоне плавных переходов одних цветовых полос в другие, Волластон заметил тонкие черные линии. Волластон был убежден, что черные линии не случайность, не ошибка эксперимента, но объяснить их возникновение не мог. Физические явления, вызывающие появление в сплошном спектре Солнца резких черных



Прекрасен лес,
когда и растения,
и бабочки,
и сочные плоды
Земли освещены
солнечным
светом.



«провалов», исследовал немецкий оптик Фраунгофер. Он тщательно и подробно классифицировал линии, и с тех пор черные полосы в спектре Солнца получили название линий Фраунгофера...

Но лишь совсем недавно удалось понять оптические явления, приводящие к возникновению линий Фраунгофера. Оказалось, что спектральное положение черных линий полностью соответствует ярким светлым полосам излучения элементов, находящихся в околосолнечном пространстве. Очевидно, среди возбужденных излучающих атомов достаточно много и невозбужденных. Эти атомы активно поглощают из спектра Солнца те лучи, которые позволяют их электронам перейти с нижних, «спокойных» орбит на верхние, «возбужденные». Тем самым эти атомы извлекают из спектра Солнца лучи со строго определенными длинами волн, и к нам приходит свет Солнца, обедненный этими лучами. На фоне сплошного спектра Солнца мы видим в этих местах узкие «черные окна» — линии Фраунгофера.

В середине XX века астрономы получили возможность «слушать» Солнце. Было обнаружено радиоизлучение Солнца. Оптическое излучение Солнца доходит до нас далеко не полностью — атмосфера Земли поглощает 15—20% солнечных лучей даже в видимой области спектра, полностью «срекает» ультрафиолетовые лучи с длиной волны короче 0,29 микрона и инфракрасные с длиной волны больше 3 микрон (за исключением небольшого «окна» в области спектра от 7,5 до 12 микрон). А вот радиоизлучение Солнца в очень широком диапазоне длин волн — от 1 см до 12 м — совершенно беспрепятственно проходит сквозь атмосферу. Радиоволны доносят



Как при взгляде
на этот
осенний лист
не вспомнить
строки
А. С. Пушкина:
«Уж небо осенью
дышало,
Уж реже солнышко
блистало,
Короче становился
день,
Лесов таинственная
сень
С печальным шумом
обнажалась...»

до нас «голос» Солнца в любую погоду. •

Ученые обнаружили, что при спокойном состоянии Солнце посылает к Земле преимущественно радиоволны с короткой длиной волны — около 1 см.

Начало бурных процессов на Солнце, например появление больших пятен и протуберанцев, сопровождается резким увеличением интенсивности радиоизлучения с длиной волны больше 1 м. Солнце будто предупреждает Землю о возможных «неприятностях».

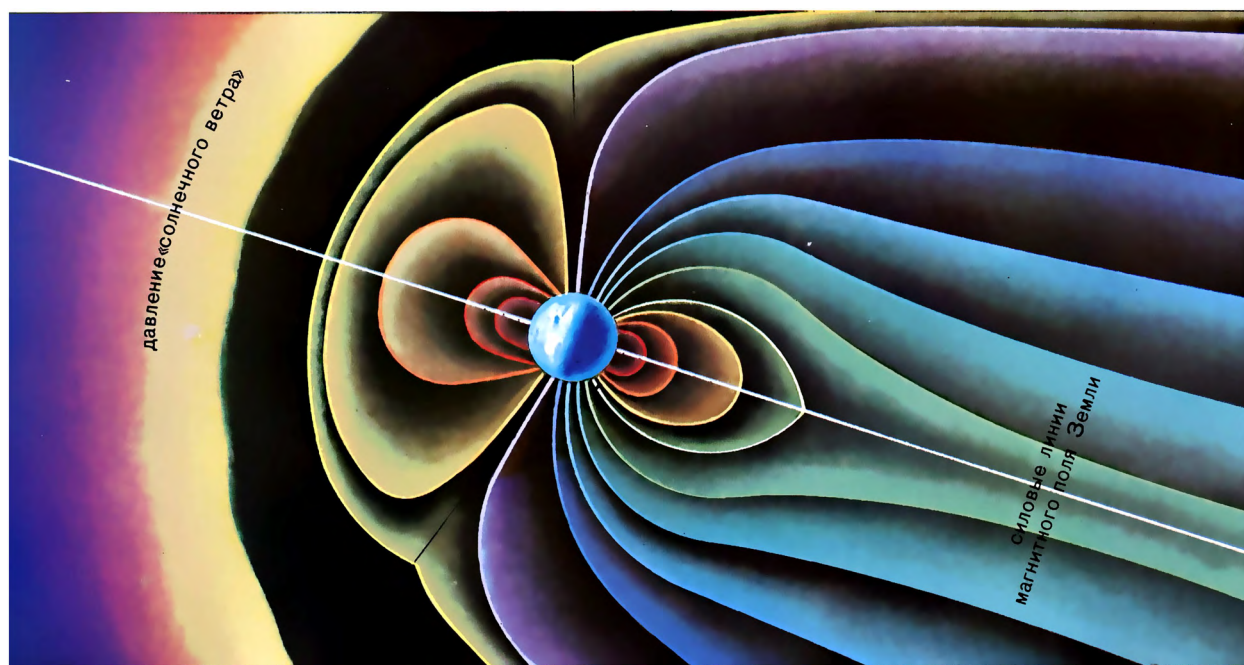
Способность астрономов заранее узнавать о «смене настроения» Солнца выявилась как нельзя кстати. Физики, биологи и врачи установили, что не только атмосфера Земли, но и человеческий

организм чутко отзывается на изменения в жизни Солнца.

Незримые нити

В спектре Солнца ученые обнаружили значительно больше невидимых инфракрасных лучей, чем видимых. Вскоре инфракрасная часть излучения Солнца была подробно изучена. Но когда ученые перешли к изучению других невидимых лучей, ультрафиолетовых, возникло неожиданное препятствие.

Спектр Солнца, снимаемый спектральными приборами на Земле, плавно уменьшался в сторону коротких длин волн (от фиолетовых волн с длиной волны 0,4 микрона) и затем около 0,3 микрона



Постоянный поток протонов и электронов, летящий от Солнца, получил образное название «солнечного ветра». Давление солнечного ветра изменяет распределение частиц в радиационных поясах Земли, искривляет магнитные силовые линии: на дневной, освещаемой Солнцем стороне Земли магнитные линии сжимаются, на темной стороне — распрямляются, образуя длинный хвост. Такие изменения резко усиливаются во время солнечных вспышек и влияют даже на ионосферу Земли. А это приводит, в частности, к нарушениям радиосвязи на коротких волнах.

вдруг резко обрывался. Возникло предположение, что атмосфера Земли скрывает от исследователей часть спектра Солнца. Спектральные приборы установили на ракеты и стали запускать их на разную высоту над Землей. До высоты 34 км спектр Солнца был практически таким же, как на Земле, а выше 34 км в спектре появились долгожданные ультрафиолетовые лучи с длинами волн короче 0,3 микрона.

Этих лучей сравнительно немного в солнечном спектре, но отдельные порции этих лучей — фотоны — несут с собой большую энергию, вполне достаточную, чтобы разрушить молекулы многих природных соединений, составляющих, например, основу земных растений. Цветущая зелень превратилась бы в черную, обугленную... Нас может утешить при мысли о такой печальной возможности лишь одно: человеческие глаза не смогли бы увидеть черные растения — они были бы повреждены «внеземным» ультрафиолетом Солнца.

Вскоре удалось найти и защитника Земли от ультрафиолета. Им оказался слой озона, содержащийся в стратосфере, главным образом на высотах 20—30 км. Он образовался благодаря тому, что кислород в верхних слоях атмосферы ионизируется ультрафиолетовыми лучами Солнца. Так солнечные лучи защитили Землю от самих себя!

Еще одно полезное для человечества дело совершают ультрафиолетовые лучи: под их энергичным «натиском» в самых верхних слоях атмосферы происходит ионизация кислорода и азота, расщепление их на электроны и ионы. Свободные электроны и ионы образуют вокруг Земли несколько проводящих слоев. Эти проводящие слои, получившие название ионосферы, обладают способностью отражать короткие радиоволны. Многократно отталкиваясь от ионосферы и от Земли, короткие радиоволны способны путешествовать на очень большие расстояния. Благодаря ионосфере стала возможна радиосвязь между людьми,

расположенными в самых удаленных точках земного шара...

К сожалению, солнечные лучи не всегда бывают так предусмотрительно «вежливы» по отношению к Земле и ее обитателям.

Советский ученый профессор А. Л. Чижевский сумел обнаружить зависимость между активностью Солнца и здоровьем людей. Количество сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонических кризов, нервных расстройств резко возрастает в период бурных явлений на Солнце — вспышек. Распространенность некоторых заболеваний зависит и от числа солнечных пятен, которые подчиняются 11-летнему циклу и кратковременным, месячным колебаниям внутри 11-летнего цикла. С колебаниями солнечной активности оказались связанными и такие важные для медицины свойства человеческого организма, как содержание сахара в крови у людей, количество в ней лейкоцитов, солей калия и кальция, электрический потенциал кожи у людей. Инфекционные заболевания, такие, как холера и чума, активизировались в прошлом веке в годы, совпадающие с максимумами солнечной активности. Только прививки против этих болезней, начатые во многих странах в XX веке, сделали зависимость их распространения от активности Солнца значительно менее заметной.

Многие явления в животном и растительном мире Земли следуют за проявлениями активности Солнца. Даже толщина годовых колец на срезах деревьев, как выяснилось, меняется в соответствии с 11-летней периодичностью.

Развитие космонавтики, запуск космических аппаратов позволили проследить многие другие пути воздействия Солнца на Землю и околоземное пространство.

От Солнца к Земле постоянно

летит поток протонов, получивший название «солнечного ветра». Измерения, проведенные с помощью спутников, позволили обнаружить, что «солнечный ветер» постоянно вносит изменения в распределение ядерных частиц, вращающихся вокруг Земли.

Благодаря «солнечному ветру» радиационная обстановка на дневной, обращенной к Солнцу стороне Земли, резко отличается от ночной, погруженной в тень.

Вспышки на Солнце еще сильнее и неожиданнее влияют на жизнь Земли. Вспышки сопровождаются мощными потоками радиоволн, ультрафиолетового и рентгеновского излучения, протонов, огромных облаков солнечных газов. Так всего через шесть часов после ослепительной вспышки на Солнце 12 ноября 1960 года гигантское облако солнечного водород (16 миллионов км в диаметре) столкнулось с Землей. Легчайший газ — водород вызвал на Земле множество осложнений: на протяжении многих часов не действовала радиосвязь, пилоты перестали слышать сигналы с аэродромов и не могли передать сообщений о себе, стрелки компасов метались по циферблатам, полярные сияния стали видны не только на севере, но и в средних широтах... Конечно, Солнце редко так бурно вмешивается в жизнь Земли, но людям все же следует быть начеку. Во многих странах в последние годы были созданы станции постоянного наблюдения за поведением Солнца. Заранее предупредить о грозящей беде необходимо не только жителей Земли, но и космонавтов — ведь такие посланцы Солнца, как электроны и протоны с энергией в сотни миллионов эВ (электронвольт), могут проникнуть сквозь скафандр космонавта, вышедшего в открытый космос.



ГЛАВА III

ОТ СВЕТА — ЖИЗНЬ И... ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Он малый атом
ногтем расщепил
И стрелы солнца
взвесил на ладони.

Максимилиан Волошин

• Возникновение жизни на Земле началось с объединения отдельных атомов в молекулы, с перехода от маленьких молекул к большому, состоящим из многих десятков, сотен и тысяч атомов. Среди них — простейшие органические молекулы, содержащие атомы углерода и водорода. •

Когда астрономы находят с помощью сложных спектральных приборов в атмосфере других планет хотя бы следы органических молекул, становится ясно: на этой планете идут процессы, очень похожие на те, которые происходили на Земле миллиарды лет назад.

• Ученые тщательно исследовали строение и свойства молекул, из которых состоят растительные и живые организмы, и с удивлением обнаружили, что одним из самых «свирепых» врагов органических молекул является кислород. Тот самый кислород, окружающий все живое на земле, которому мы привыкли радоваться...

• Любая органическая молекула при длительном воздействии кислорода разлагается на углекислый газ и воду, причем при этой реакции выделяется много энергии в виде тепла. Как же смогли выжить

органические вещества в такой удушливой для них атмосфере? • Ведь молекулы кислорода всегда готовы разъединиться на два очень активных кислородных атома, которые буквально бомбардируют органические молекулы, быстро вырывая из их рядов отдельные атомы — углерод, водород, азот, фосфор, железо, марганец, и вступают с ними в реакции с образованием простых неорганических соединений. Тепло этих реакций передается атмосфере, атмосфера излучает свое тепло в холодный открытый космос, окружающий Землю. Земля остывает, и жизнь на ней замирает... •

Стрелы, несущие жизнь

Древние египтяне совершенно справедливо называли Солнце «первопричиной жизни», хотя им были неведомы волнения ученых, исследующих химические реакции органических молекул.

• Оказалось, что свет, спасительный солнечный свет, позволяет осуществить обратную химическую реакцию — соединить воду и углекислый газ, превратив их в молекулы органических соединений.)

Восходит и заходит
Солнце...
Без Солнца
не могла бы
возникнуть
жизнь на Земле,
не взметнулись бы
высоко кроны деревьев.
Прекрасны памятники
архитектуры
и искусства в лучах
восходящего Солнца!
(Фото слева.)

Разнообразные
климатические
условия на Земле
тоже созданы
Солнцем
(фото справа).

и кислорода.) Без энергии солнечного света такая реакция не могла бы произойти.

Свет Солнца не только не дает остыть Земле, не только согревает ее. Солнечные лучи-стрелы оживили Землю. Находясь от Земли на огромном расстоянии, Солнце посылает на нашу планету достаточно много энергии, чтобы из неорганических атомов и молекул могли получиться органические молекулы, из простейших молекул образовались сложные молекулы живых организмов, и на Земле постепенно возник растительный и животный мир.

Разнообразные растения, удивительные виды животных обязаны своим появлением на Земле солнечным лучам. Благодаря Солнцу на Земле существуют прихотливые формы жизни. «Безумствует Солнце, всегда молодое», — справедливо писал Бальмонт. Два противоположных процесса — разложение и создание органических веществ — мирно и полезно для человечества уживаются в природе. С помощью кислорода, поглощаемого при дыхании, органические молекулы, попадающие в организм человека с пищей, расщепляются на простые, хорошо усваиваемые вещества. Одновременно клетки снабжаются всей необходимой для жизни энергией. (Точно такой же процесс происходит с органическими веществами и вне человеческого организма.) Ученые подсчитали, что на Земле ежедневно около миллиарда тонн различных органических веществ разлагаются, превращаясь навозе в углекислый газ и воду. Если бы Солнце не установило на Земле равновесие жизненно важных химических реакций, то через двадцать лет все органические вещества исчезли бы с лица Земли... С помощью растений и водорослей Солнце снова превращает

углекислый газ и воду в органические вещества и кислород.

• Огромны по своим масштабам процессы, происходящие на нашей планете под влиянием солнечного света. (От энергии солнечных лучей, попадающих на верхнюю границу атмосферы Земли, остается только 40% после того, как они преодолеют толщу атмосферы.) Но и эта энергия не менее чем в десять раз превышает ту, которая содержится во всех разведанных запасах минерального подземного топлива. (Под действием солнечного света, «застывшего» в атмосфере, происходят те грандиозные природные явления, которые мы наблюдаем на Земле: движение огромных воздушных масс, нагрев и охлаждение гигантских количеств воды в атмосфере.)

• Падающая на поверхность суши и океанов солнечная энергия вызывает интенсивное испарение влаги, служит причиной образования облаков, периодического изменения погоды и смены времен года. (Под влиянием тепла солнечных лучей возникают смерчи и ураганы, льют дожди и происходят медленные, но неумолимые процессы выветривания и разрушения горных пород.) Как несоизмеримы эти процессы и невероятно большая энергия, необходимая для их осуществления, с энергией каждого из обитателей нашей планеты!

Когда я думаю об этом, мне всегда почему-то вспоминаются горы Памира, среди которых человек, вероятно, особенно полно ощущает грандиозность природы. • Бескрайние, выжженные Солнцем каменистые плато, глубокие каньоны рек и озер, окрашенные по прихоти глинистых осадочных и причудливых микроорганизмов в самые разнообразные цвета — от красного до зеленого, величественные снежные пики, заслоняющие небо... • Мы стояли на краю поло-

гого берега реки, и мой товарищ решил спуститься к воде. Когда он дошел до цели и обернулся, мне хотелось взять бинокль, чтобы разглядеть его. Огромные размеры окружающего нас мира, исполинская энергия Солнца, которая была затрачена на образование гигантских гор и долин, почти физически воспринимались нами...

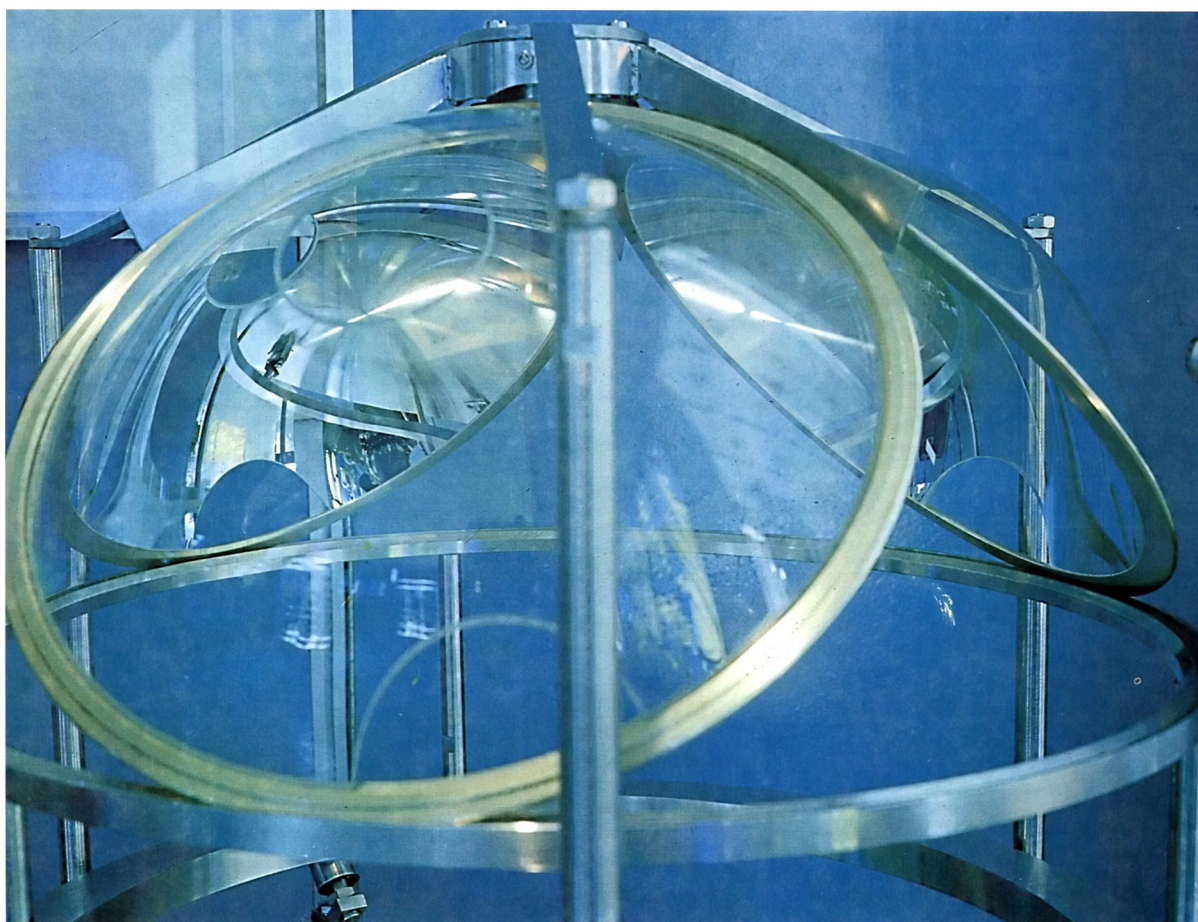
Кладовые Солнца

Зеленый покров Земли существует не только для того, чтобы радовать наш глаз. Растения выполняют благородную обязанность создания газа жизни — кислорода и получения органической пищи. «Выдыхают» кислород и водоросли океана. Растениям земли и океана для жизни и работы нужны не только солнечный свет и углекислый газ. Им необходимы еще минеральные соли, различные питательные вещества, обильное и бесперебойное поступление воды.

(Сложный и долгий путь проходит свет в растениях, прежде чем в них образуются кислород и органические вещества. Ученые подсчитали, что даже самым буйно растущим тропическим растениям удастся полезно использовать только 1,5% солнечного света. В среднем же для всей поверхности Земли эта цифра не превышает 0,1%.) И тем не менее общее количество уловленной растениями солнечной энергии в несколько раз превосходит энергетические потребности человечества. (При этом не следует забывать, что человечество тратит сейчас на свои нужды тоже солнечную энергию, превратившую растения миллионы лет назад в нефть, уголь и газ. Как говорил Климент Аркадьевич Тимирязев, тратит «консерв солнечных лучей».)

Органических веществ, производимых сельскохозяйственными





На стеклянные формы
нанесены
оптические
покрытия,
превращающие
спектр вольфрамовых
ламп в спектр
Солнца.
Такие лампы
используются
в экспериментах
по ускоренному
выращиванию
растений,
любящих
солнечный свет.

растениями, человечеству было бы вполне достаточно для получения продуктов питания. Для отопления всех домов на Земле в течение многих сотен лет хватило бы минерального топлива в подземных кладовых Земли. Солнце и природа Земли обеспечили человека всем необходимым для жизни. Непредусмотренным оказалось лишь одно — бурное развитие промышленности. Для электростанций, средств транспорта, работы фабрик и заводов «консервированной» энергии Солнца оказалось мало. Промышленные предприятия тратят столько энергии, что через одно-два столетия подземного топлива почти не останется.

Окружающая человека среда начинает получать все больше лиш-

него «незапланированного» природой тепла. Чем больше добывается и сжигается минерального топлива, тем сильнее нагревается атмосфера Земли, тем быстрее мы приближаемся к тому пределу, когда может наступить необратимое изменение климата, произойти опасное нарушение равновесия различных процессов в природе, в той природе, к которой так привык и приспособился человек.

При сжигании топлива образуется углекислый газ, поглощающий невидимые инфракрасные лучи, испускаемые Землей. Чем больше углекислого газа в атмосфере Земли, тем труднее Земле «сбросить» лишнее тепло, тем выше становится средняя температура Земли. Ученые, правда,

считают, что частицы дыма, которые образуются при сжигании топлива, немного задержат горячие солнечные лучи на пути к Земле и это замедлит потепление климата, вызванное накоплением в атмосфере углекислого газа.¹ Космонавты хорошо видят, пролетая над городами, большие темные облака «промышленного» тумана. И хотя мы теперь знаем, что туман, оказывается, бывает и полезным, лучше, если воздух над нами будет всегда чистым и прозрачным.

Здоровье человечества зависит не только от изобретения новых лекарств. В недалеком будущем необходимо решительно отказаться от традиционных путей получения энергии, от привычных котельных, тепловых электростанций и двигателей внутреннего сгорания. И если не будут созданы источники энергии, не загрязняющие атмосферу, людям придется забыть об автомашинах и перебраться на велосипеды...

**Вернем природе то,
что мы у нее взяли**

Взоры ученых вновь обратились к Солнцу и... к энергии атома. Атомные электростанции все успешнее соперничают с тепловыми, работающими на угле, нефти и газе. Однако и в атомной энергетике расходуется топливо, добываемое на Земле (хотя и особое — атомное), расходуется необратимо. Солнечная же энергия возобновляется каждую секунду. Используя солнечный свет, мы не изменяем теплового баланса Земли.

Может быть, необходимо просто ускорить процессы, происходящие на Земле под влиянием Солнца, помочь Солнцу снабжать человечество энергией? Например, выращивать леса на больших свободных пространствах Земли для того, чтобы восполнить убыль топ-

лива в подземных кладовых? Эта идея подкупает простотой, но ведь дерево тоже, как уголь, нужно сначала сжечь, прежде чем получить энергию... Вероятно, идеальным было бы превращение одного чистого вида энергии — солнечного излучения — сразу в другой чистый вид энергии — в электроэнергию. Без всяких промежуточных стадий, без выделения тепла



В иллюстрациях к «Путешествиям Гулливера» Джонатана Свифта ученый, пытавшийся запереть солнечный свет в герметичные банки, всегда изображался как рассеянный чудака, все попытки которого обречены на неудачу.

Исследователям наших дней все же удалось поймать неуловимый солнечный свет, создать концентраторы, собирающие солнечные лучи вместе. В этой вакуумной камере на стеклянные формы для концентраторов наносят тонкие отражающие пленки алюминия или серебра.





Недалеко то время,
когда огромные поля
из кремниевых
солнечных элементов
придут на смену
современным
тепловым
электростанциям.
Песок, состоящий
в основном
из кремнезема,—
незаменимый
материал
для извлечения
кремния.

и дыма... Но возможно ли это? Тысячи исследователей пытались преобразовать солнечные лучи в другие формы энергии и всегда сначала превращали излучение Солнца в тепло. И только затем — в механическую энергию, в движение воды или воздуха. Вспомним фонтан Герона Александрийского или поющую статую фараона у древних египтян.

В середине XIX века солнечную энергию удалось превратить в химическую. Была изобретена фотография. Впервые человечеству удалось «остановить мгновение». Луч света, попадая на пластинку, покрытую слоем желатина с распределенными в нем бесцветными солями металлов, вызывал разложение солей. Бромистое серебро, например, распадалось на бром и серебро. Желатин темнел, и тем сильнее, чем ярче был падающий свет.

Однако попытки получить электроэнергию из солнечного света

долго оставались безуспешными...

Вы помните, как Гулливер, герой великого английского сатирика Джонатана Свифта, встретился на континенте Бальнибарби с ученым из Великой Академии прожектеров? Ученый был тощим, измазанным в саже человеком, который в течение восьми лет настойчиво, но безуспешно разрабатывал проект извлечения солнечных лучей из огурцов и консервирования их в герметичных банках для согревания воздуха в холодные месяцы.

Это были времена, когда к идеям преобразования солнечной энергии относились как к фантастическим и неосуществимым. Редкие опыты увлеченных энтузиастов считались образцовым примером бесплодных занятий...

Однако даже поэту с богатой фантазией и любовью к науке М. Волошину, написавшему в начале нашего века строки, стоящие



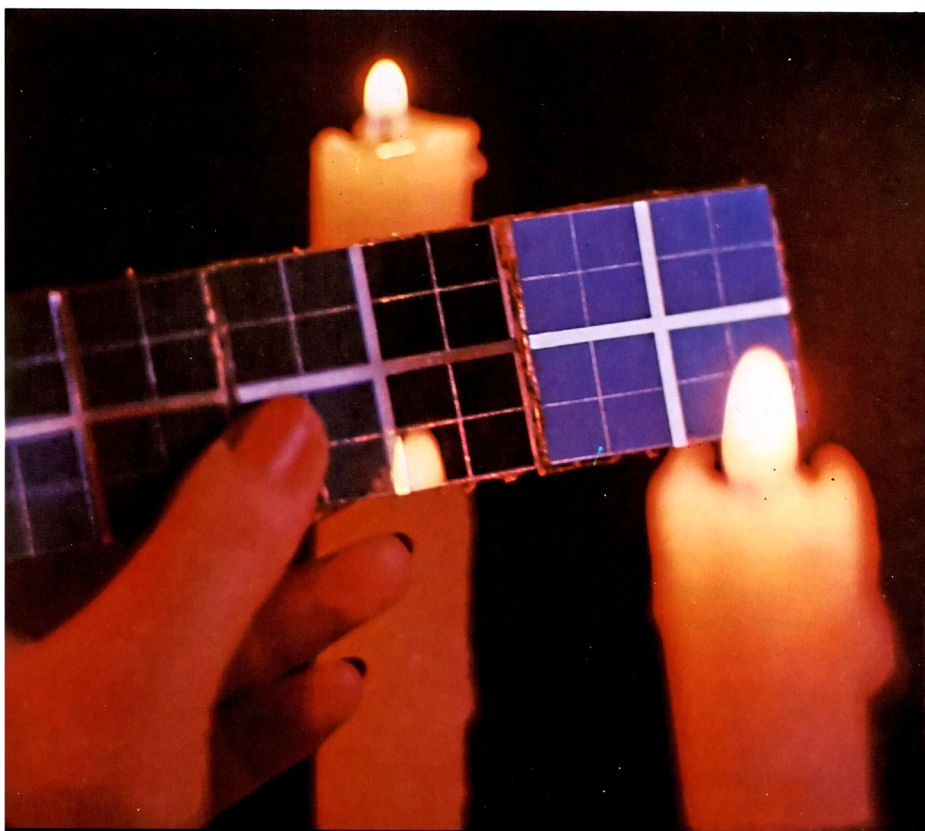
в эпиграфе к этой главе, было бы трудно представить себе, что вскоре человек сможет не только взвесить солнечный свет и измерить его давление, но и изобрести устройство, мгновенно превращающее солнечный свет в электроэнергию.

Устройство, благодаря которому к словам «полезное использование энергии Солнца» во всех странах возникло серьезное и внимательное отношение...

Лучше один раз увидеть...

Мы стоим в затемненной лаборатории. Поднимаем штору окна. На маленькую синеватую пластинку кремния падает луч солнечного света.

Прибор, с которым пластинка соединена тончайшими проводами, сразу показывает: от пластинки пошел ток.



Солнечные элементы могут превратить в электричество и лучи заходящего Солнца, и свет свечей. Такой слабый свет дает совсем немного электроэнергии, но ее хватит, например, чтобы автоматически включить лампочки на новогодней елке...

Электрофизические измерения свойств чистых полупроводниковых кристаллов, помещаемых в магнитное поле в обеспыленной атмосфере или в вакууме, помогли обнаружить в них положительные и отрицательные заряды. На основе полупроводников сейчас изготавливают самые разнообразные электронные устройства — диоды, триоды, солнечные элементы.

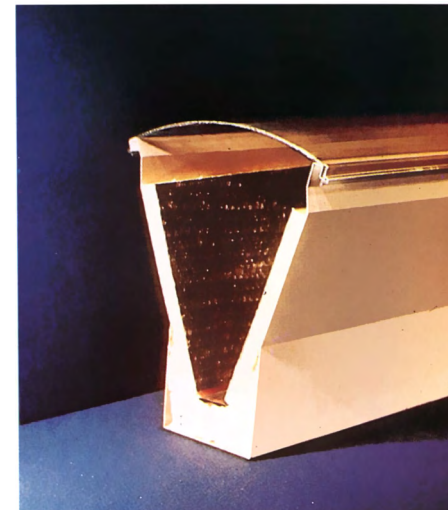
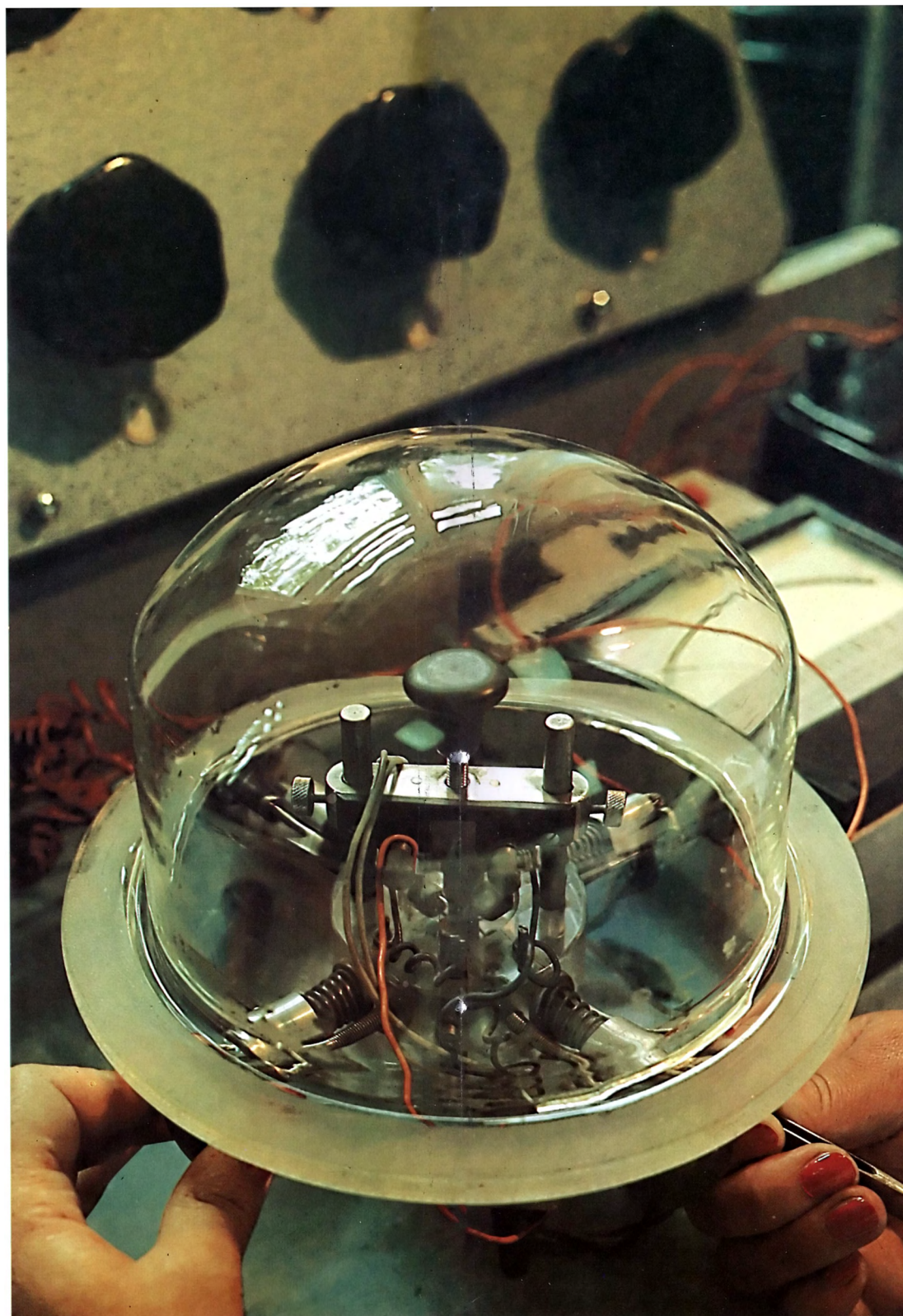
На наших глазах бестелесный, невесомый свет стал материально ощутимым, он превратился в движение электрических зарядов. Это движение, как мы знаем, можно преобразовать в любую другую форму энергии — под действием электрического тока звучат радиоприемники и двигаются электропоезда.

Чудо-пластинка получила название солнечного элемента. От 10 до 20% энергии света превращают в электричество современные солнечные элементы в земных условиях. И самое главное — при преобразовании света в электроэнергию с пластинкой не происходит никаких химических превращений, масса и состав пластинки остаются неизменными, а на место ушедших из нее электронов тут же встают их «близнецы» из безбрежного океана свободных электронов металлических проводников, с которыми соединен солнечный элемент. Вечный элемент!

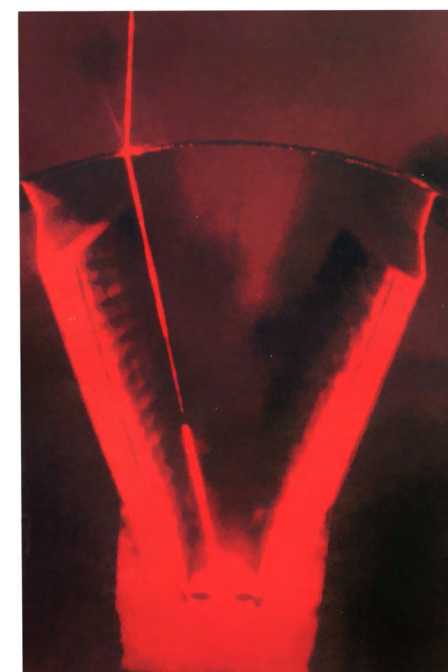
В яркий солнечный день на каждый квадратный метр поверхности Земли падает солнечная энергия мощностью около одного киловатта. Если этот квадратный метр покрыть пластинками солнечных элементов, то с него можно собрать электроэнергию мощностью от 100 до 200 ватт. Квадратный километр пустыни, отведенный под солнечные элементы, может «произвести на свет» от 100 до 200 тысяч киловатт электроэнергии.

Человечество получило новый могучий источник электроэнергии — простой, бесшумный, занимающий очень мало места, не загрязняющий окружающую среду.

Путь к созданию солнечных элементов был, конечно, не легким. Первые шаги этого пути были сделаны в первой половине прошлого века.



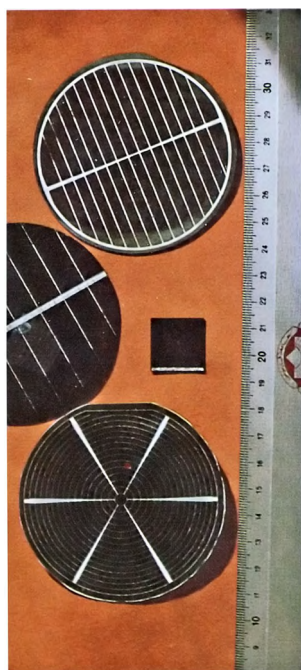
Отражатели особой формы позволяют равномерно освещать неподвижные солнечные элементы или трубы-теплоприемники с протекающей водой даже при заметном изменении положения Солнца на небе. Верхняя фотография сделана при освещении белым светом, нижняя — в красных лучах рубинового лазера.



Всегда полезно вспомнить о прошлом

В 1839 году французский исследователь Беккерель заметил, что некоторые электрохимические батарейки начинают вырабатывать электрический ток только после того, как жидкость между металлическими электродами — электролит — освещается светом.

В 1873 году американец Смит



Самые
разные формы
имеют
контактные полосы
на верхней
поверхности
солнечных
элементов.

обратил внимание, что ток, пропускаемый через пластинку селена, резко усиливается, если пластинку вынести из темноты на свет. Его соотечественники Адамс и Дей в 1876 году увидели, что пластинка селена при освещении светом начинает сама служить источником электрического тока. В 1877 году немецкий ученый Генрих Герц сделал интересное наблюдение: искровой разряд между двумя металлическими электродами начинается при более низком напряжении, если электроды освещаются ультрафиолетовыми лучами. Русский профессор Столетов в 1888 году обнаружил, что если две металлические пластинки, соединенные с противоположными полюсами электрохимической батареи, поместить в стеклянную колбу, из которой откачан воздух, и направить на одну из пластинок яркий луч света, то лишенное воздуха пустое пространство начинает проводить электрический ток!

Мельчайшие носители электрического заряда — электроны — в те годы еще не были открыты, и тела, переносящие в пустоте электрические заряды от одной пластинки к другой, Столетов осторожно называл «нечто»...

В начале XX века возникновение электрического тока под действием света удалось обнаружить еще в нескольких (кроме селена) твердых веществах: в пластинках меди, покрытых слоем окислов, в сернистых соединениях серебра, свинца, таллия. Ученые разных стран стали исследовать, какой свет вызывает появление наибольшего электрического тока внутри вещества или даже заставляет электроны покидать пределы твердого тела.

Чувствительность к свету у пленок селена оказалась очень похожей на свойства человеческого

глаза: зеленый свет вызывал самое активное действие, фиолетовый и красный — самое слабое.

На основе фоточувствительных пленок селена был создан прибор — фотоэкспонетр. Этот маленький прибор до сих пор верно служит фотографа и кинооператорам, позволяя очень точно определять освещенность на улице и в помещении, хотя у него очень маленький коэффициент полезного действия, всего десятые доли процента.

Вероятно, преобразователь солнечного излучения в электрическую энергию с высоким коэффициентом полезного действия никогда бы не удалось создать, если бы в 30—40-х годах XX века ученые не получили в лаборатории очень чистые кристаллы веществ, объединенных названием «полупроводники».

В глубь магического кристалла

По способности проводить электрический ток полупроводники занимают промежуточное положение между хорошими проводниками, например металлами, и плохими проводниками — изоляторами, такими, как стекло.

Роль полупроводников в современной технике определили, однако, другие, более важные и скрытые от глаза свойства.

Как хорошо, что исследователям удалось обнаружить и объяснить эти свойства!

Можно подумать, что строки Дж. Байрона в «Дон-Жуане»:

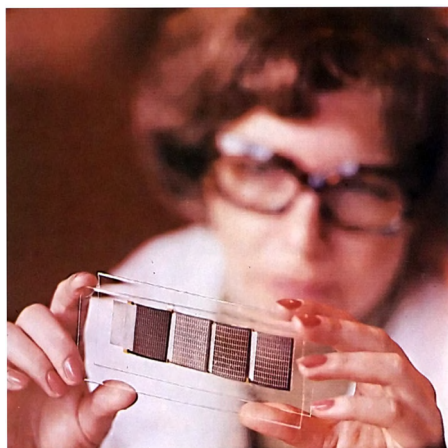
И благо тем, кто знает благодать
Незримые явления наблюдать, —

написаны с мыслью о будущих достижениях физики полупроводников...

Электронное строение атомов металлов таково, что их внешние электроны, определяющие способ-

ность вещества к установлению химических связей, имеют возможность даже при комнатной температуре вырваться из атомов и стать членами семейства свободных электронов, которые беспрепятственно перемещаются в любом металле.

У полупроводников и изоляторов — иное строение. Внешние электроны их атомов могут при обычных условиях находиться только вблизи своих атомов на строго определенных орбитах. Для того чтобы стать свободными, электроны должны получить извне дополнительное количество энергии. Иными словами, им нужно сначала преодолеть энергетический барьер, перескочить некую запрещенную зону, ширина которой измеряется в эВ.



Особенности внутренней структуры определяют свойства и поведение металлов, полупроводников и изоляторов.

Величина энергетического барьера у изоляторов оказывается столь велика, что большинство внешних воздействий — нагрев, освещение — не могут помочь электронам изолятора преодолеть запрещенную зону. Изолятор остается почти во всех случаях плохим проводником электрического тока.

Полупроводники имеют меньшую, чем у изоляторов, величину запрещенной зоны и поэтому обладают свойствами хамелеонов — изменяют свое энергетическое состояние в зависимости от внешних условий. Эта особенность полупроводников особенно ярко проявляется в их взаимоотношениях со светом.

Мельчайшие порции солнечного света — фотоны — обладают разным количеством энергии в зависимости от того, к какой части спектра они относятся.

Один из физиков однажды предложил оригинальное «военно-охотничье» сравнение для различных видов излучений. Представим себе, писал он, что красные солнечные лучи — это мелкая дробь, тогда фиолетовые лучи — крупная дробь, ультрафиолетовые лучи — ружейные пули, лучи Рентгена — пушечные ядра, гамма-лучи — снаряды крупных орудий.

Если энергия фотонов света, освещающего полупроводник, будет меньше значения ширины запрещенной зоны, то свойства полупроводника останутся такими же, как в темноте, — он, как изолятор, почти не будет проводить электрический ток.

Но мы недаром сравнили полупроводники с хамелеонами.

Когда на поверхность того же самого полупроводника, который

Солнечные элементы могут быть изготовлены не только из монокристаллических слитков кремния (видны на заднем плане верхнего снимка), но и из порошка или кристаллов сульфида кадмия. Солнечные элементы из сульфида кадмия, правда, немного ухудшаются при работе во влажной атмосфере, и их лучше помещать между двумя слоями стекла (фото внизу).



Поликристаллический кремний, состоящий из хаотически расположенных монокристалликов, значительно дешевле больших кремниевых слитков — монокристаллов. Ученые пробуют сейчас создать дешевые солнечные элементы из этого материала.

только что столь безучастно и равнодушно относился к освещению, попадут фотоны света, обладающие большей энергией, чем значение ширины запрещенной зоны, произойдет внезапная перемена в поведении полупроводника.

Такие фотоны сообщат валентным электронам достаточно энергии, чтобы они могли «перескочить» запрещенную зону и пополнить собой число свободных электронов. У полупроводника окажется почти так же много свободных электронов, как у металла.

Полупроводник начнет проводить электрический ток.

Энергия запрещенной зоны такого, например, полупроводника, как кремний, составляет $1,1 \text{ эВ}$. Даже красные лучи, которые мы только что сравнивали с мелкой дробью, имеют большую энергию: $1,65\text{—}1,7 \text{ эВ}$.

Все фотоны солнечного света с энергией больше $1,1 \text{ эВ}$, освещая кремний, вызовут появление в нем новых свободных электронов. В цель можно попасть из ружья,

заряженного как мелкой, так и крупной дробью...

Фотонов с энергией больше $1,1 \text{ эВ}$ в солнечном спектре много — их общая энергия составляет 74% от всей энергии солнечного света за пределами земной атмосферы.

Это обстоятельство было одной из самых важных причин, определивших, почему кремний выбрали для создания солнечных элементов.

Очевидное, но непонятное

Рождение в полупроводнике свободных электронов под действием солнечного света является, как говорят при доказательстве математических теорем, условием необходимым, но не достаточным.

Генераторы электроэнергии должны иметь два электрода — положительный и отрицательный. В солнечном элементе, превращающем солнечный свет в электроэнергию, есть не только отрицательный, но и положительный электрод. Однако откуда могли появиться в нем положительные заряды — ведь вокруг атома вращаются только отрицательно заряженные электроны?

Физики долго не верили, что в полупроводниках существуют положительные заряды, пока неопровержимые опыты не убедили их в этом.

Вот один из опытов.

Через металлическую или полупроводниковую пластинку, помещенную между полюсами магнита, пропускается электрический ток. Частицы, несущие заряд, должны отклоняться в магнитном поле. Если в пластинке есть свободные отрицательные заряды — электроны, то они будут притягиваться положительным полюсом магнита. На стороне пластинки, обращенной к положительному по-

люсу магнита, начнет появляться избыток отрицательных зарядов.

Впервые этот опыт осуществил американский физик Э. Холл. Помещая в магнитное поле золотые пластинки, он наблюдал избыток зарядов у положительного полюса магнита.

Когда физики, изучавшие свойства полупроводников, стали повторять опыт Холла, но не с металлическими, а полупроводниковыми пластинками, то результаты измерений показались им сначала чрезвычайно странными...

Вверх по лестнице, ведущей вниз

В одних полупроводниковых пластинках заряды собирались у положительного полюса магнита, в других — у отрицательного.

У отрицательного полюса магнита в соответствии с законом Кулона (разноименные заряды притягиваются, одноименные — отталкиваются) могли накапливаться лишь неведомые положительные заряды.

Физикам было очень трудно понять, откуда в полупроводнике могли появиться положительные заряды, ведь, кроме электрона, никаких свободных путешествующих по кристаллу заряженных материальных частиц быть не могло.

Начались трудные, мучительные поиски истины...

Наконец несколько ученых в разных странах мира почти одновременно находят верное объяснение: положительно заряжена не частица, а «пустое место», которое оставляет после своего ухода электрон.

До того как свет «оторвал» электроны от родных атомов, они были электронейтральны — положительные заряды уравнивались отрицательными электронами. Электрон ушел в семейство

свободных электронов — равновесие вблизи ядра атома нарушилось. Место, на котором он находился, стало заряженным положительно от избытка положительного заряда вокруг него.

Все познается в сравнении

Представим себе кинотеатр, заполненный зрителями. Зритель первого ряда выходит из зала, и на его место садится сидящий сзади. Затем следует целая цепочка перемещений — зритель третьего ряда занимает место во втором ряду, зритель четвертого ряда — в третьем, пятого — в четвертом и так далее.

Можно следить за перемещением зрителей, но если сеанс начался и все происходит в темноте, то легче заметить, что пустое место тоже движется, но в противоположном направлении — от первого ряда к последнему.

Нечто похожее происходит и в полупроводниковом кристалле, когда под действием света электрон «перепрыгнул» запрещенную зону и оказался в зоне проводимости, а его положительно заряженное пустое место стало тоже двигаться по кристаллу.

Носители положительного заряда в полупроводниках получили образное название: «дырки».

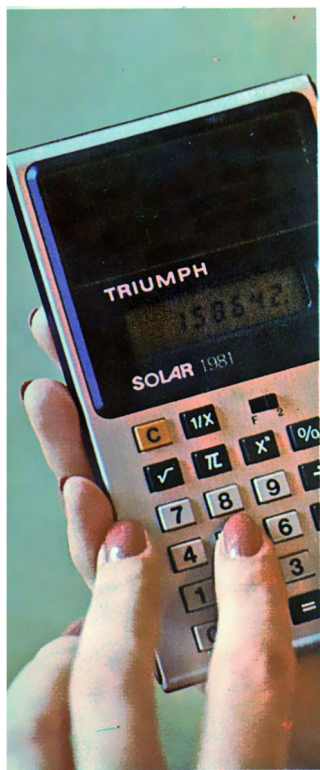
Их существование в полупроводниковых кристаллах и слоях доказано огромным числом опытов. Редко кто теперь вспоминает, что «дырки» обязаны своим появлением в природе и в физике удивительным свойствам полупроводников, особенностям их внутренней структуры.

Внешне — одинаковые, внутренне — разные

Очень интересны закономерности, которые удалось установить после

Справа —
солнечный
термоэлектрический
генератор.
Он дешевле
солнечной батареи,
но коэффициент
полезного действия
его пока в два-три
раза меньше.

В Японии,
как и во многих
других странах мира,
выпускаются
калькуляторы
с расположенной
на внешней панели
маленькой
солнечной батареей
из кремниевых
фотоэлементов.



того, как ученые поняли причину появления положительного заряда в кристалле. Например, были обнаружены, а затем и получены в лаборатории не только полупроводники, в которых движение «дырок» происходит одновременно с движением электронов, но и полупроводники с электронной или только с дырочной проводимостью.

Еще одна загадка, нашедшая свое простое объяснение. Загрязнение кристалла даже небольшим количеством примесей резко изменяет его электрические свойства. Внешний вид кристаллов при этом остается прежним: например, кремний того или иного типа проводимости всегда имеет вид серого кристалла с синеватым отблеском.

Полупроводники изменили существовавшее ранее представление о чистоте материалов. Трудно себе представить, но для получения отрицательной или положительной проводимости достаточно, чтобы в кристалле появился один атом примеси на сто тысяч атомов самого полупроводникового вещества.

В 30-е годы нашего столетия ученых, исследовавших свойства полупроводников, очень удивляло, что одно и то же вещество в одних опытах обнаруживало свойства металла, а в других — полупроводника.

Загадку вскоре удалось объяснить: в опытах использовали кристаллы вещества с разным содержанием примесей. Если в кристалле кремния, например, один атом такой примеси, как мышьяк, приходится на тысячу атомов кремния, то свойства такого кристалла во многом начинают напоминать свойства металла.

Чтобы получить кремний с отрицательной проводимостью, в него обычно вводят фосфор или сурьму, для образования кремния с по-

ложительной проводимостью — бор или алюминий.

В наше время физические явления, происходящие в полупроводниках, описаны и объяснены учеными. В лабораториях получают разнообразные полупроводниковые кристаллы. Но для понимания процессов взаимодействия светового излучения и твердого вещества потребовалось более ста лет.

К 50-м годам нашего столетия, казалось бы, было готово все для изобретения солнечного элемента.

Но он не появлялся...

Свет и кристалл находят друг друга

При освещении солнечным светом в полупроводнике возникают отрицательные и положительные заряды, но они находятся так близко друг от друга, что тут же вновь соединяются и исчезают.

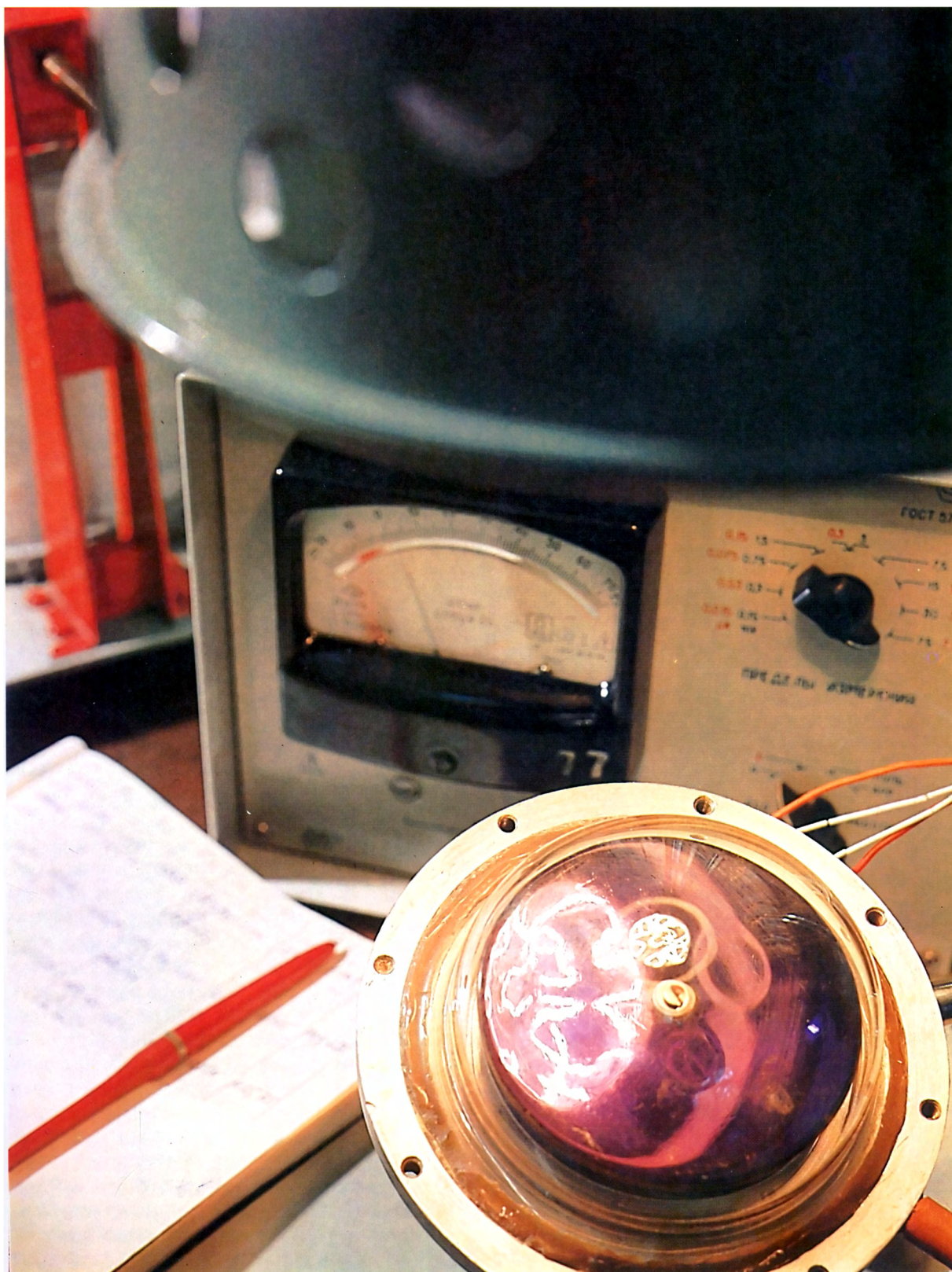
Для создания генератора электроэнергии заряды нужно «развести по разным углам» — каждый заряд к своему полюсу-электроду.

Как же это сделать, если заряды очень маленькие и не только рождаются на свет, но и исчезают почти мгновенно?

Ученые решили использовать для разделения зарядов во времени и пространстве электрическое поле, которое для этой цели необходимо ввести внутрь кристалла.

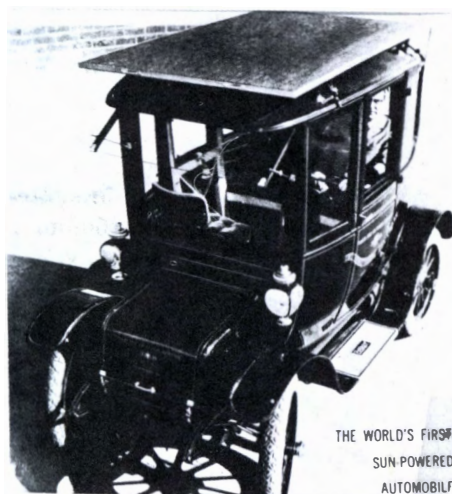
Расчеты показали, что электрическое поле должно образовываться на границе двух полупроводников с положительной и отрицательной проводимостью. Попробовали даже механически соединить друг с другом две пластинки кремния с проводимостью разного типа.

Пластинки прижимали друг к другу, но загрязнения и механические нарушения на поверхности каждой из них мешали им соединиться в единое целое. Сильное





Ученые оценили
достоинства
солнечных элементов
и батарей
как источников
электроэнергии
для всего, что
летает и движется.
Солнечные батареи,
освоив орбиты Земли
и Луны,
отправились
еще дальше —
к Марсу и Венере.
Наверху — советская
автоматическая
станция
серии «Венера».
Ниже —
опытный образец
электромобиля
с солнечной батареей
на крыше,
получивший
гордое название
«Солнечный король».
Когда
солнечные батареи
станут дешевле,
на улицах
наших городов,
возможно,
появятся автомобили
с голубой мозаикой
солнечных элементов
на крыше.



электрическое поле не удавалось получить...

Вполне естественно — ведь еще Вольтер предупреждал: «Всякое новое желание есть начало... новой скорби».

Однако, несмотря на огорчения, вызванные неудачей, ученые продолжали стремиться к цели.

Исследователям было ясно: получить границу слоев с разным типом проводимости необходимо внутри полупроводника.

В кристалл, предварительно насыщенный атомами бора, стали вводить атомы фосфора. Верхний

слой кристалла благодаря атомам фосфора превратился в полупроводник с отрицательной проводимостью, нижний остался полупроводником с положительной проводимостью. Граница областей полупроводника с положительной и отрицательной проводимостью, получившая название $p-n$ — перехода, оказалась внутри самого кристалла.

Слово $p-n$ — переход образовано начальными буквами двух английских слов: *positive* — положительный, *negative* — отрицательный. Если такой кристалл освещался, то электроны и «дырки», рожденные светом, успевали благодаря электрическому полю $p-n$ — перехода разделиться: «дырки» притягивались в нижнюю область кристалла, обладающую положительной проводимостью, а электроны — в верхний слой кристалла, имеющий отрицательную проводимость. К каждой из противоположных частей кристалла подводились металлические электроды, по которым носители заряда попадали во внешнюю электрическую цепь.

Долгожданные события

В мае 1954 года появилась небольшая научная статья сотрудников исследовательской фирмы «Белл», в которой сообщалось о разработке кремниевого солнечного элемента с коэффициентом преобразования солнечной энергии, равным 6%!

$P-n$ — переход был создан авторами этого открытия путем термической диффузии бора при высокой температуре в кремний с примесью фосфора, и располагался он на расстоянии 2,5 микрона от поверхности кристаллических пластинок.

Напомним, что толщина человеческого волоса составляет около 50 микрон.

Солнечный свет поглощается в основном в верхних слоях кремния, и благодаря р-п — переходу, расположенному близко к поверхности, почти все электроны и «дырки», освобожденные светом, разделяются в пространстве и попадают во внешнюю цепь.

Для электронов, рожденных светом, «шлагбаум» р-п — перехода был открыт в одну сторону, для «дырок» — в другую. Удивительная особенность полупроводниковых приборов и... некоторых жизненных обстоятельств.

Однажды летом, когда моей дочери было, кажется, десять лет, я решил показать ей красивый лес под Москвой, знакомый мне с детства. Лес я быстро нашел, но дорогу назад забыл. Мы заблудились. И вот тогда я услышал от своей спутницы: «Папа, я раньше не понимала, что такое полупроводник, а сейчас понимаю. Полупроводники — это мы. Мы с тобой сейчас наполовину проводники: знаем дорогу вперед и не знаем назад...»

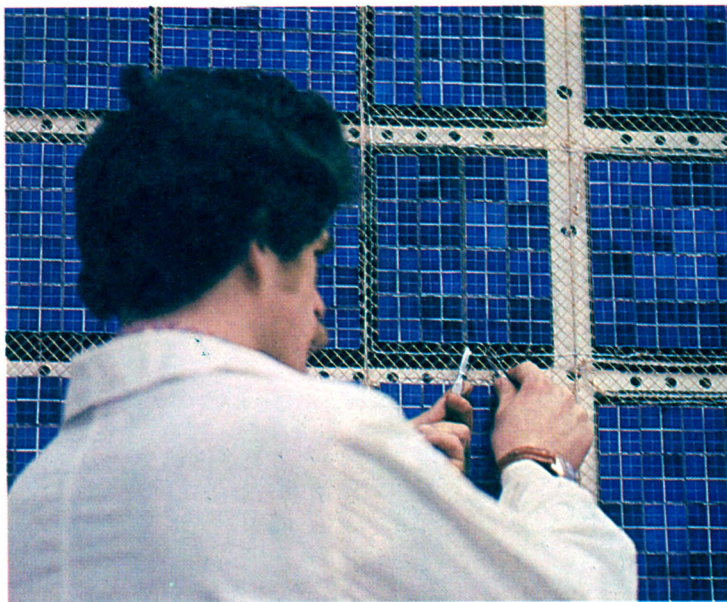
Солнечным элементам стали искать самое необходимое и полезное применение.

Фирма «Белл» изготовила из солнечных элементов солнечную батарею для энергопитания линий связи в отдаленных районах и приступила к ее испытаниям.

Интерес к солнечным элементам возник во многих странах мира.

Советские исследователи Н. С. Лидоренко, А. П. Ландсман и В. С. Вавилов выбрали для экспериментов кремний с примесью бора и вводили в него фосфор. Полученные ими солнечные элементы отличались высоким коэффициентом полезного действия и стойкостью к воздействию космической радиации.

В мае 1958 года на орбиту вокруг Земли вышел 3-й советский



искусственный спутник. Радиопередатчики спутника получали электроэнергию от разработанных в СССР радиационно стойких солнечных элементов из кремния. Передатчик работал бесперебойно в течение двух лет.

Стало ясно, что использование солнечных элементов в космосе, где солнечное излучение является единственным постоянным источником энергии, на много лет станет их основной «профессией»...

Если сейчас, после описания солнечного элемента, созданного в наши дни, вернуться к истории и вспомнить первые неуверенные и трудные шаги ученых на пути прямого преобразования света в электричество, нам многое покажется странным. Человеческому мышлению это свойственно.

Еще Блез Паскаль заметил: «Только кончая задуманное сочинение, мы уясняем себе, с чего нам следовало начинать».

И все же, вероятно, полезно иногда оглянуться на пройденный путь, чтобы лучше оценить значительность всего сделанного...

Тщательно проверяют солнечные батареи, прежде чем отправить их в далекое путешествие. Около горячей планеты очень жарко. Поэтому солнечные батареи станций «Венера-9» и «Венера-10» были сделаны из кремниевых солнечных элементов, которые пропускают большую часть инфракрасного излучения Солнца и Венеры.



ГЛАВА IV

В КОСМОСЕ И НА ЗЕМЛЕ

Я утверждаю, что сила есть нечто духовное, незримое,— духовное потому, что в ней жизнь бестелесная; незримое потому, что тело, в котором рождается сила, не меняет ни веса, ни вида.

Леонардо да Винчи

Представьте, что мы находимся на космической станции и наблюдаем в иллюминатор запуск другого космического корабля с космонавтами на борту.

Красивы все моменты запуска — огненная вспышка под двигателями, неторопливый, немного замедленный старт, будто ракета в последнюю минуту задумалась, стоит ли ей взлетать...

Подъем, плавный поворот, выход на орбиту, и, наконец, космический корабль простирает в обе стороны свои большие голубые крылья — солнечные батареи... Точно такие крылья у космической станции, на которую нас перенесло воображение. Корабль кажется нам в эти мгновения живым существом. Он и впрямь «оживает» — начинают работать научные приборы, космонавты сообщают на Землю первые сведения о своем самочувствии.

Голубые крылья корабля поворачиваются к Солнцу и ловят его лучи; в них рождается незримая сила — электрический ток, хотя при этом их вес и вид остается прежним.

Большие солнечные батареи, составленные из сотен тысяч сол-

нечных элементов, оказались незаменимыми помощниками исследователей космоса.

Батарея площадью 100 квадратных метров позволяет получить больше 10 киловатт электроэнергии.

Эту энергию используют приборы космических аппаратов. Она идет также на заряд электрохимических аккумуляторов, возобновляя запас их электроэнергии, частично растроченной во время полета аппарата в тени Земли. Солнечные батареи, лишённые в тени Земли лучей Солнца, не могут генерировать электроэнергию, и вся аппаратура корабля или станции на теневых частях орбиты работает от аккумуляторов.

Голубой цвет солнечных батарей не был обманом зрения.

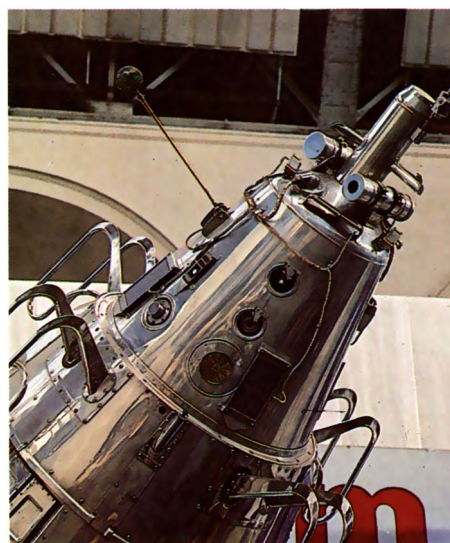
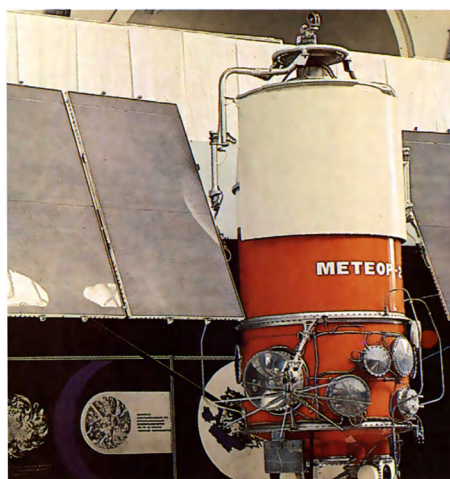
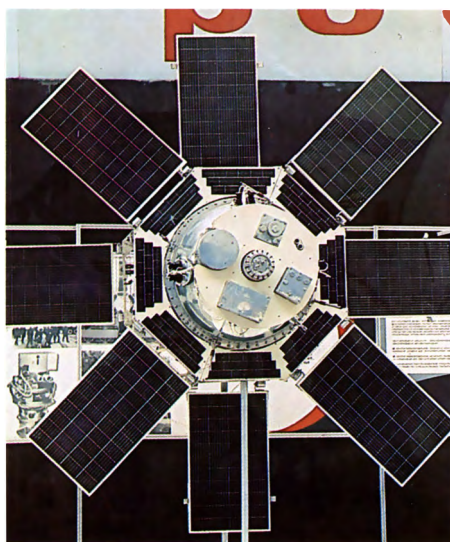
Серые кристаллические пластинки кремния превратились в голубые благодаря особым пленкам на их поверхности, получившим название «просветляющих».

Серые пластинки кремния отражают от 30 до 40% всей падающей энергии солнечных лучей; после нанесения «просветляющих» пленок зеленые, желтые и красные лучи спектра Солнца

Испаряя алюминий в вакуумной камере, на поверхности любого металла, стекла или полимерной пленки, можно получить зеркальный слой, хорошо отражающий солнечный свет (фото слева).

Большинство космических аппаратов получают энергию от солнечных батарей, в том числе исследовательские спутники серии «Космос» и метеорологические спутники «Метеор».

Внизу — 3-й советский искусственный спутник, на котором солнечные батареи впервые вышли на орбиту вокруг Земли.



начинают полностью проходить в глубь солнечных элементов.

По-прежнему отражаются лишь голубые лучи, несущие с собой сравнительно немного энергии, и солнечные элементы с «просветленной» поверхностью приобретают цвет весеннего неба.

Такие панели солнечных батарей кажутся хрупкими и беззащитными. Создается впечатление, что их легко сломать или повредить, ведь толщина панелей составляет всего 1—2 мм.

На самом же деле современные космические солнечные батареи прекрасно подготовлены к длительной работе в космосе, надежно защищены от всех возможных неожиданностей...

Вопреки всем невзгодам космоса

Одна из самых больших трудностей поджидала солнечные батареи... в тени Земли.

Солнечные лучи, заслоненные Землей, не попадают на этих участках орбиты на поверхность батареи, и космический аппарат на время лишается живительного «солнечного» электричества.

В тени Земли крылья солнечных батарей начинают охлаждаться. Вокруг холодный черный космос, охотно и безвозвратно поглощающий все тепло, излучаемое батареями.

Хорошо еще, что не так далеко, на расстоянии всего лишь 200—300 километров, находится теплая Земля. Невидимое инфракрасное излучение Земли немного подогревает солнечные батареи низко летящих спутников, не позволяя им остыть меньше, чем до -70°C .

Если же спутник пролетает значительно выше над Землей, то солнечные батареи могут охладиться до -120°C или еще ниже, до -140°C .



Представить себе это глубокое охлаждение помогает сравнение с земными условиями: мы знаем, как холодно становится на улице, когда мороз достигает даже такой скромной по космическим масштабам цифры, как -40°C .

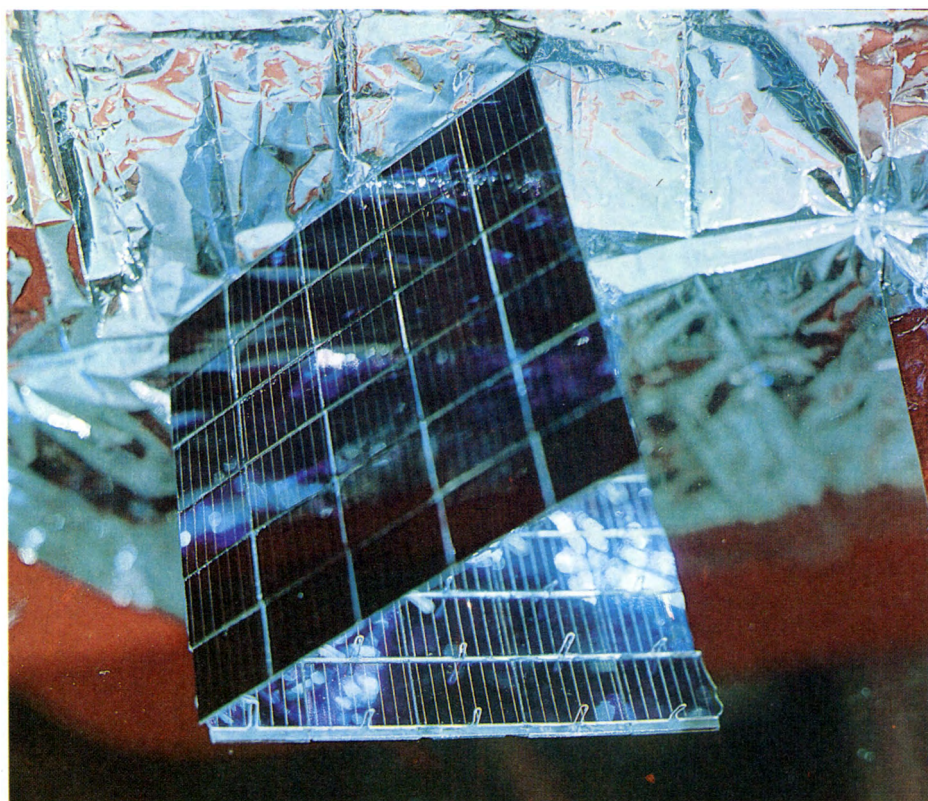
Охлаждаясь, солнечные батареи покрываются сетью трещин, распадаются, их способность пре-

вращать солнечный свет значительно уменьшается.

У разных слоев, образующих солнечные батареи, — оптических покрытий, самого полупроводникового материала, металлической панели, к которой приклеены солнечные элементы, токосъемных контактов — разная способность к сжатию и прочность при

На Выставке достижений народного хозяйства СССР в Москве можно увидеть космические аппараты новейших конструкций, рассмотреть их антенны, датчики ориентации, солнечные батареи, научную аппаратуру.

Оригинальная советская солнечная батарея с двухсторонней чувствительностью для низколетящих спутников Земли превращает в электроэнергию и прямой свет Солнца, и солнечное излучение, отраженное от облаков. Группа солнечных элементов батареи опирается на зеркало, в которое видно, что задняя поверхность двухсторонних солнечных элементов выглядит точно так же, как передняя.



уменьшении температуры. Самый хрупкий из всех — слой полупроводника — не выдерживает переломов и растрескивается...

Опытные конструкции солнечных батарей теряли после каждого пролета в тени Земли 10—20% электрической мощности. А ведь для большинства спутников неизбежно попадание в тень Земли почти на каждом витке.

Трудности, как известно, обостряют ум ученых.

Американские ученые, создавшие первые космические спутники связи, такие, как «Телестар», решили использовать в конструкции солнечных батарей только те материалы, которые сжимаются при понижении температуры совершенно одинаково с полупроводниковыми пластинами кремния.

Эти материалы оказались очень редкими и дорогими: прозрачный искусственный сапфир, платина и

особая керамика. Казалось, что столь разнородные вещества нельзя соединить вместе...

И тем не менее это удалось: небольшие группы из солнечных элементов были помещены в коробочки, дно которых было сделано из керамики, стенки из платины, а прозрачная крыша, через которую проникал свет, из сапфира. Солнечные элементы прикреплялись ко дну коробочки тонкими серебряными пружинками. Из этих батарей можно было бы изготовить много драгоценных украшений!

В отличие от ювелирных украшений солнечные батареи «Телестара» были не только дорогими и красивыми, но и полезными: они позволяли искусственному спутнику Земли перекинуть телевизионный мост через Атлантический океан наперекор всем трудностям, поджидавшим спутники в космическом пространстве.

Солнечные батареи в драгоценной оправе спокойно переносили любой холод. И не только холод...

Сапфировые окна поглощали большинство энергичных свободных частиц радиационных поясов Земли — электронов и протонов.

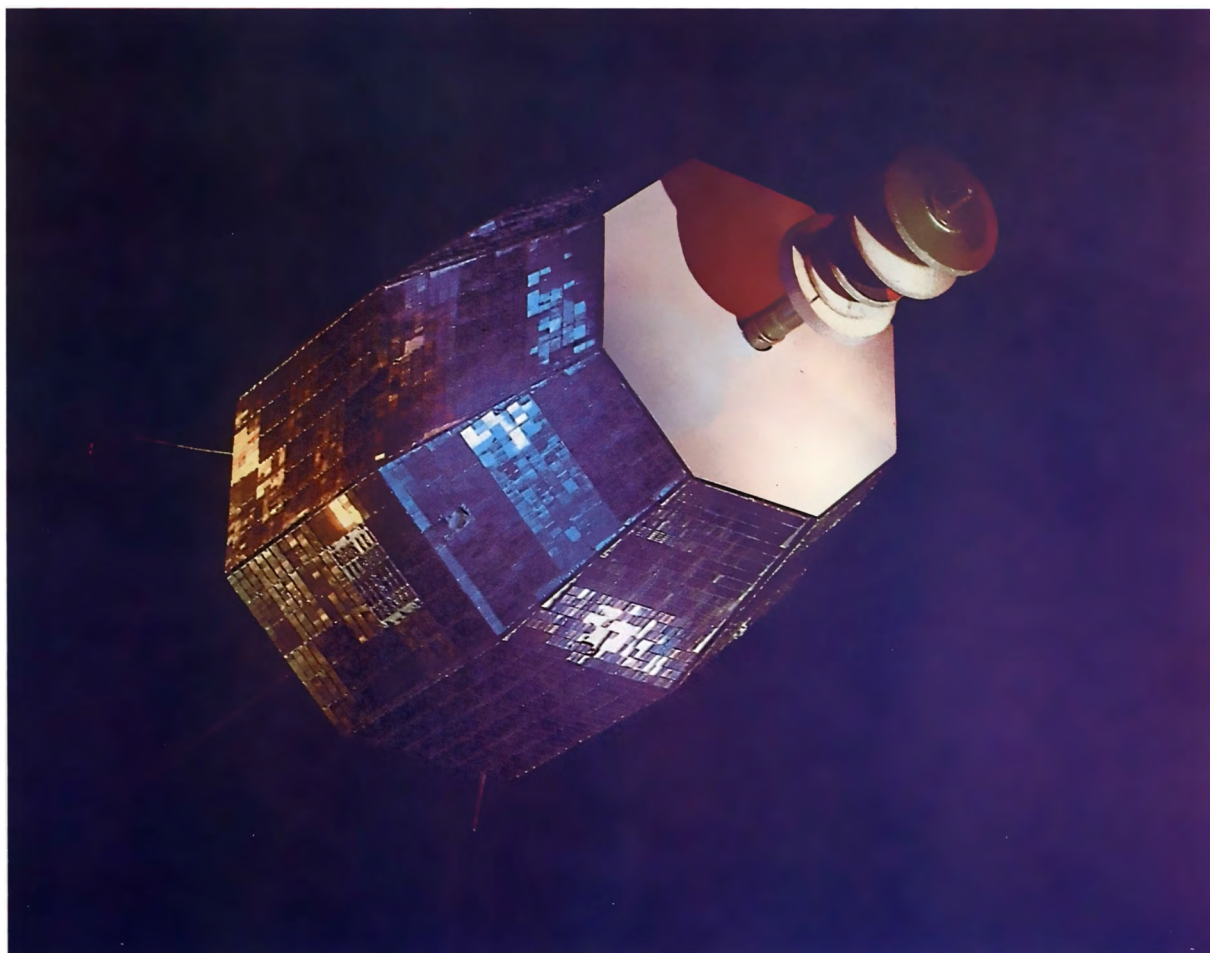
Электроны и протоны, попадая в солнечный элемент, «выбивают» атомы кремния из их привычных положений в узлах кристаллической решетки. Возникают так называемые «каскадные смещения» десятков и сотен атомов. Электрические заряды, рождаемые светом внутри солнечного элемента, попадают в области кристалла, в которых много смещенных атомов, застревают в них и не поступают во внешнюю электрическую цепь.

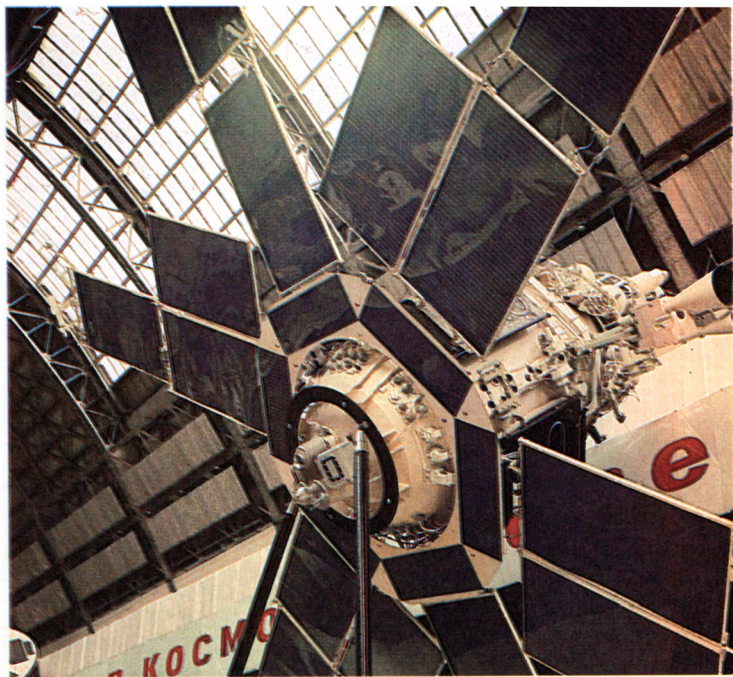
Если бы не защита сапфира, то радиация околоземного космического пространства вывела бы из строя батареи спутника «Телестар» примерно через месяц...

Интересный способ спасения солнечных элементов от невзгод космоса предложили советские исследователи. Они решили сделать солнечный элемент похожим на слоеный пирог, в котором твердые слои разделены мягкими.

К кремниевым пластинкам сверху с помощью эластичного, прозрачного полимерного слоя приклеили тонкие и хрупкие защитные пленки стекла. Сам солнечный элемент соединили с несущими панелями — крыльями космического аппарата тоже полимерным клеем.

Американский спутник телевизионной связи серии «Рилей» с солнечными батареями, расположенными на корпусе спутника.





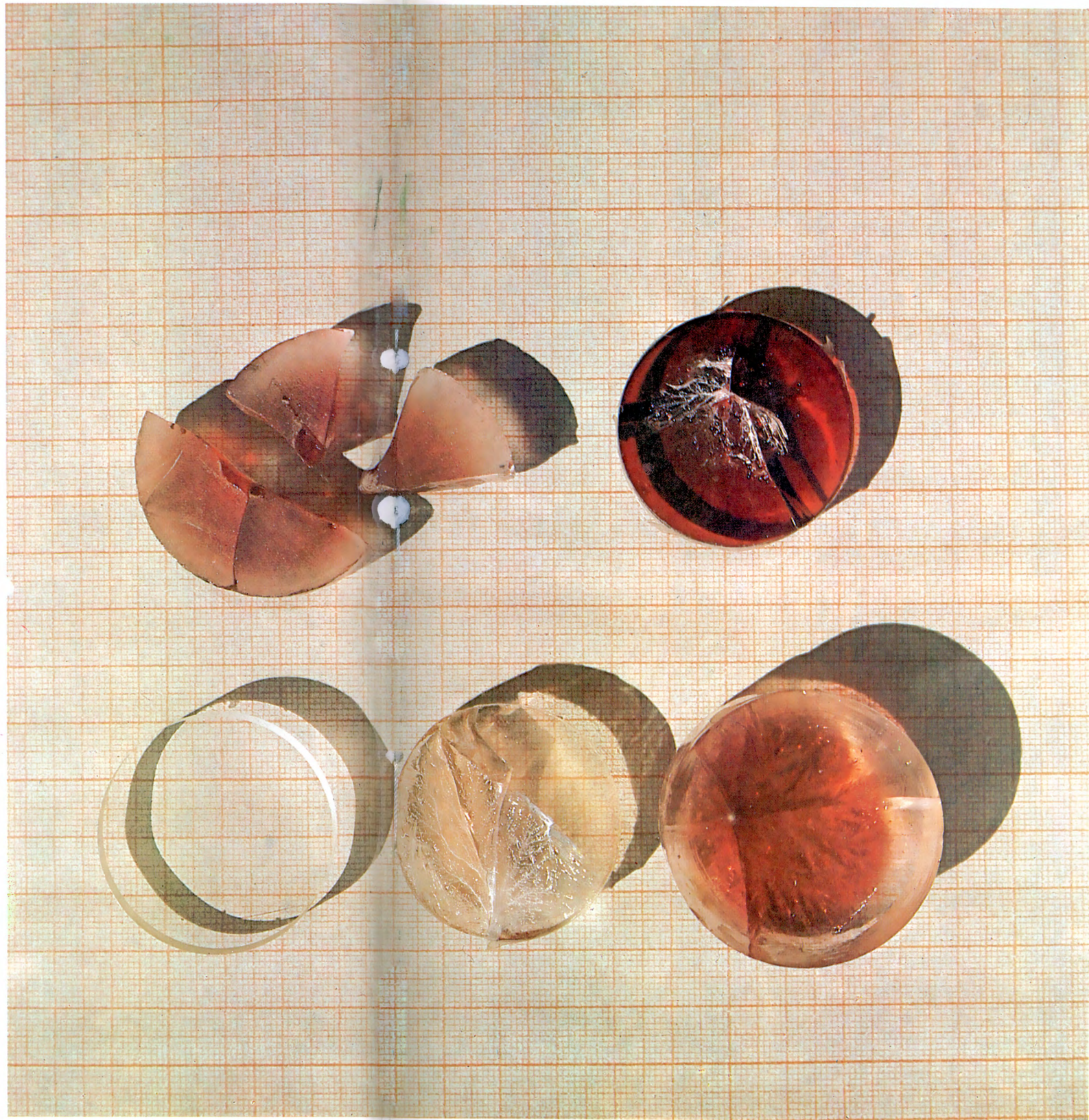
Советский спутник связи «Молния» два раза в сутки пересекает радиационные пояса и периодически заходит в тень Земли, охлаждаясь до очень низких температур. Его солнечная батарея благодаря особой конструкции и радиационно-защитным покрытиям прекрасно выдерживает суровые испытания. Автор этой книги участвовал в создании солнечных батарей, сохраняющих неизменными свои характеристики как на орбитах Земли, так и на пути к далеким планетам.

Три твердых, жестких слоя — стекло, полупроводник, металл — разделены двумя мягкими полимерными прослойками, сохраняющими эластичность даже при очень низких температурах.

Конечно, верхний слой полимера и защитное стекло должны быть не только очень прозрачными, но и стойкими к воздействию космической радиации — ведь им приходится, спасая солнечный элемент, поглощать львиную долю электронов и протонов радиационных поясов Земли.

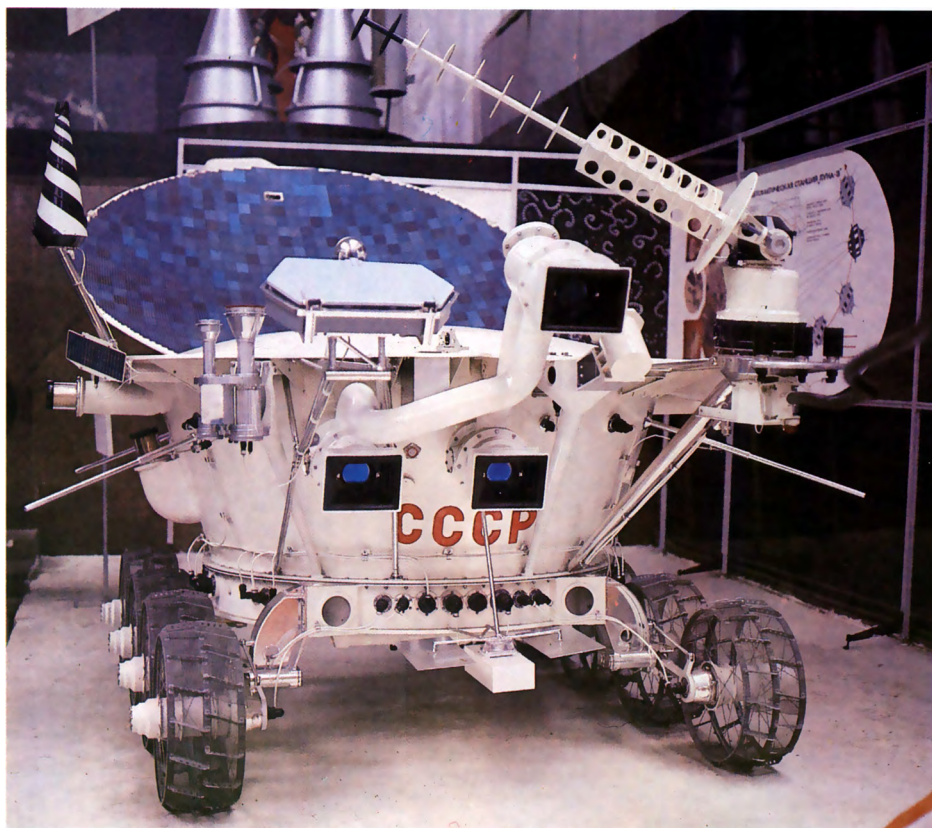
Сделать это было очень трудно. Обычное оконное стекло, через 10—15 суток пребывания на поверхности советского спутника Земли «Электрон», пересекавшего по восемь раз в сутки радиационные пояса Земли, из прозрачного становилось темно-коричневым.

Ленинградские ученые выяснили, что добавки окислов церия помогают стеклу выстоять против радиации. Прозрачность стекла с добавками окислов церия практически не изменяется в поясах



Эти стекла разного химического состава еще несколько минут назад были в камере ускорителя. Там через их поверхность прошел такой же поток электронов, какой падает на солнечные батареи спутника связи «Молния» за несколько месяцев работы на орбите. Только одно, наиболее радиационно-стойкое стекло, как хорошо видно на фотографии, не окрасилось и не растрескалось. Оно осталось таким же прозрачным, как до облучения.

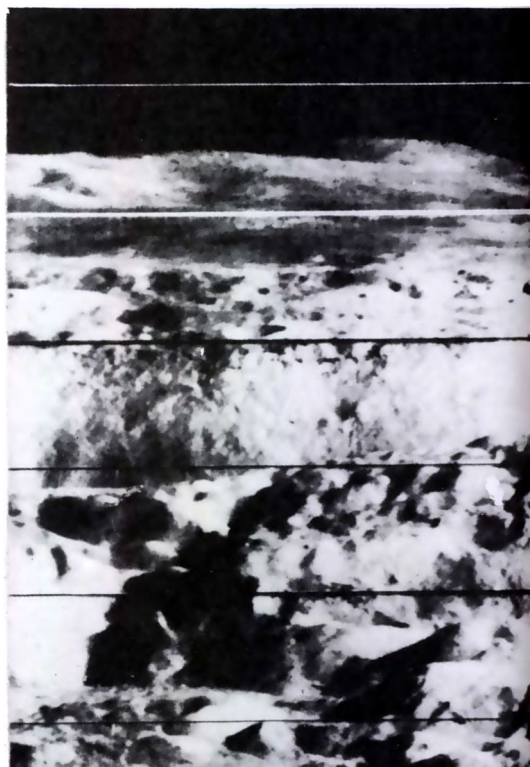
Космический
исследователь —
советский
автоматический
аппарат «Луноход»
с раскрытой верхней
панелью — крышкой,
где расположена
голубая мозаика
солнечной батареи.



радиации. Прозрачные полимеры, молекулы которых состоят в основном из кремния и кислорода, тоже не темнеют под действием космических электронов и протонов.

Во время лабораторных исследований обнаружилось, что солнечные элементы, которые не выдержали глубокого холода, изменялись и по цвету — из голубых становились бело-серыми. Голубая просветляющая пленка вместе со стеклом отслаивалась от элемента. Помню, как мы волновались за судьбу термостойких многослойных элементов, несмотря на все успешные проверки этой работы в лаборатории.

Попросили космонавтов, летавших на станции «Союз» посмотреть на крылья солнечных батарей сразу после выхода из тени Земли. «Ослепительно голубые», — при-



шел от них успокаивающий ответ.

Эксперименты, проведенные на советских спутниках связи «Молния», показали, что многослойные солнечные элементы прекрасно работают вопреки многомесячной бомбардировке электронами и протонами и частому охлаждению в тени Земли.

Теперь можно не беспокоиться за судьбу солнечных батарей спутников Земли. Главные противники — холод и радиация — побеждены...

В просторы Вселенной

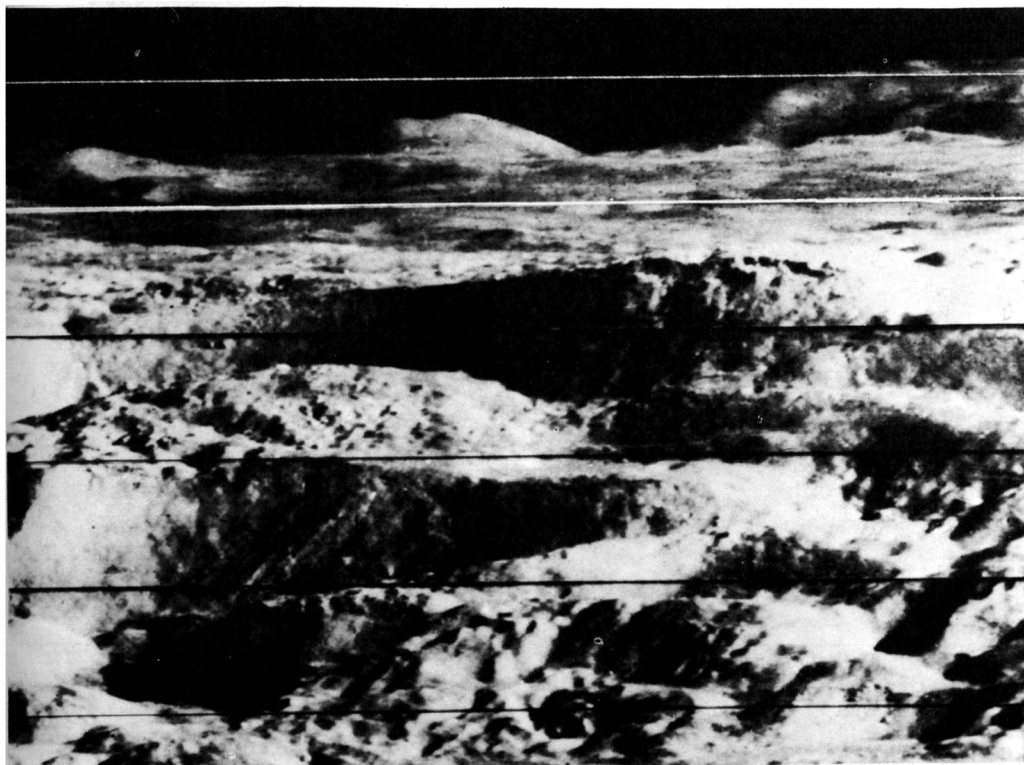
В любимой песне советских космонавтов есть слова, которые, вероятно, можно считать самым лаконичным в мире планом развития космических исследований: «На пыльных тропинках далеких планет останутся наши следы...»

Несомненно, что проложить путь

космонавтам должны колеса автоматических станций, которые раньше человека оставят свои следы на планетах Солнечной системы.

Для работы на поверхности планет как автоматическим станциям, так и космонавтам не обойтись без легких солнечных батарей — электрохимические аккумуляторы слишком тяжелы и недолговечны без постоянной подзарядки, чтобы брать их в столь трудное путешествие.

Условия работы в просторах Солнечной системы оказались для полупроводниковых фотоэлементов еще более сложными, чем на околоземных орбитах. Даже единственный спутник Земли — Луна — приберег для солнечных батарей такой перепад температур, какой не знаком искусственным спутникам Земли. За длинный лунный день, равный 14 земным суткам, Луна прогревается до $+130 \div +150^{\circ}\text{C}$, а за длинную ночь



Трудно двигаться и работать на поверхности Луны, где днем гораздо жарче, чем в любой земной пустыне, а ночью в несколько раз холоднее, чем на покрытых льдом и снегом полюсах Земли.

охлаждается до $-180 \div -200^{\circ}\text{C}$.

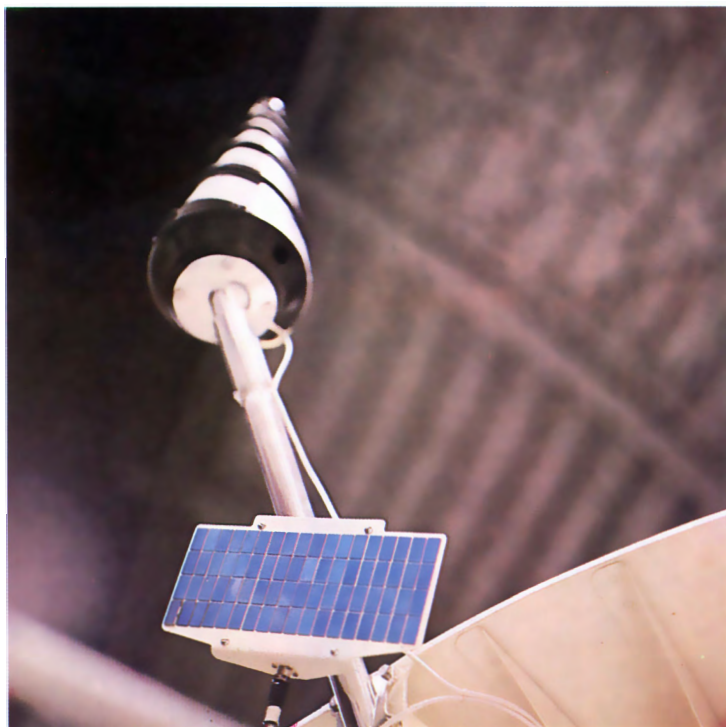
Новые термостойкие конструкции солнечных батарей позволяли надеяться, что и на Луне батареи сумеют выдержать ночные холода.

Но смогут ли они эффективно преобразовывать солнечное излучение в электрическую энергию при жаре в $+130 \div +150^{\circ}\text{C}$?

Ведь при такой температуре энергетическая структура солнечных элементов из кремния так изменяется, что их способность превращать свет в электричество уменьшается на 50—60%.

Пришлось разработать солнечные элементы из нового полупроводникового материала — арсенида галлия. Материала еще очень дорогого, но незаменимого для создания солнечных батарей космических аппаратов, отправляемых на другие планеты. Особенно на планеты, поверхность которых нагревается Солнцем до более высоких температур, чем поверхность Земли.

Этот голубой
солнечный
датчик выполнял
на «Луноходе»
роль бессменного
дежурного.
Как только кончалась
длинная ночь
и «Луноход»
освещался первыми
лучами Солнца,
от солнечного
датчика
шел электрический
сигнал — команда:
включить радиосвязь,
приготовиться
к движению!



Полеты на Луну были хорошей подготовкой к этим далеким космическим рейсам. Солнечные батареи из арсенида галлия установили на нескольких советских аппаратах «Луноход» — автоматических разведчиках безжизненных лунных пространств.

Температура батарей, расположенной на откидной крышке каждого самоходного аппарата, поднималась в течение лунного дня до $+145^{\circ}\text{C}$. И несмотря на это «Луноход» получал в два раза больше энергии, чем в том случае, если бы на его поверхности была установлена полупроводниковая батарея из кремния. Солнечная электроэнергия позволила «Луноходу» спокойно ездить по Луне 10 месяцев и выполнить за это время сложную научную программу.

Не только высокая температура подстерегает посланцев Земли на других планетах. При подлете к Венере космический аппарат встречает солнечное излучение в два раза более мощное, чем на околоземных орбитах, и в четыре раза более яркое, чем в ясный солнечный день на Земле где-нибудь в средних широтах. Венера значительно ближе к Солнцу, чем Земля, и солнечного тепла ей достается гораздо больше...

Как избавиться от опасного дара? Ведь нельзя спокойно ждать, пока расплавятся контакты на солнечных элементах...

Американские ученые предложили сигнальное устройство, которое по команде с Земли вовремя повернет батарею боком к солнечным лучам.

Советские исследователи сообщили на Всемирном электротехническом конгрессе в Москве в июне 1977 года о новых кремниевых солнечных элементах, пропускающих сквозь себя инфракрасные лучи Солнца. Эти лучи не используются для преобразования в элек-

троэнергию и лишь нагревают солнечные элементы... Установленные на межпланетных космических аппаратах «Венера» солнечные элементы, прозрачные по отношению к невидимым лучам, которых так много в солнечном спектре, нагревались, как сообщили в своем докладе советские ученые, значительно меньше обычных. Космические аппараты с такими батареями могли подлететь к горячей планете очень близко...

Все тоньше, легче и больше

Первые солнечные батареи устанавливались непосредственно на поверхности спутников.

Затем для них стали делать выносные панели из тонких металлических листов. Во время запуска панели прижаты к корпусу спутника или космического аппарата; после запуска по команде с Земли панели занимают положение, при котором солнечные лучи падают перпендикулярно на поверхность солнечных элементов.

В самых современных конструкциях спутников металлические панели заменены на сотовые, состоящие из пленочных алюминиевых ячеек, соединенных тонкими листами стеклопластика, или на полимерные пленки, натянутые на рамы из металлических или стеклопластиковых трубок.

Все эти усовершенствования снизили вес одного квадратного метра солнечных батарей в несколько раз.

Это очень кстати — ведь панели современных солнечных батарей занимают площадь в несколько десятков квадратных метров. При полете американской космической лаборатории «Скайлэб» уже испытаны батареи, площадь которых превышает 100 м^2 .

Солнечные элементы становятся похожими уже не на крылья, а на

паруса. Плывут в безвоздушном пространстве корабли, паруса которых наполнены солнечным светом...

Иногда паруса необходимо убирать. Например, во время взлета космического корабля солнечная электроэнергия ему еще не нужна и батареи-паруса должны быть аккуратно сложены под обтекателем ракеты. Когда тяжелый космический корабль после длительного полета начинает слишком низко опускаться над Землей, солнечные батареи тоже лучше на время сложить — они могут так затормозить корабль, что он раньше времени войдет в плотные слои атмосферы и сгорит.

Обычно складывают солнечные батареи в виде гармошки. Недавно конструкторы предложили делать гибкие солнечные батареи на полимерных пленках и наматывать их на барабан, который занимает очень мало места под обтекателем ракеты.

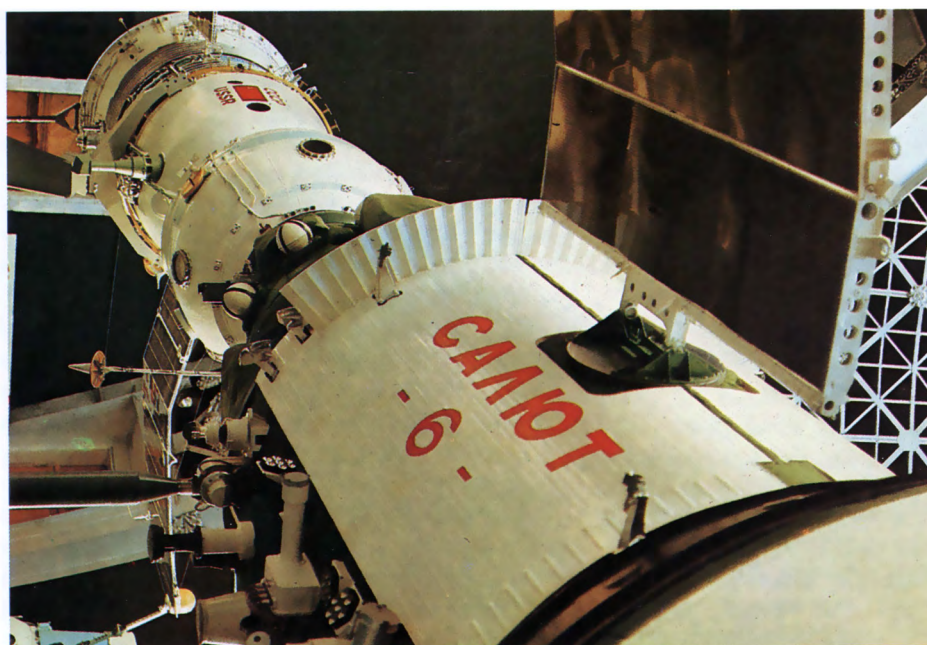
После запуска рулонная батарея начинает разматываться с барабана, занимая фиксированное плоское положение в пространстве в виде языков-полотенец, тянущихся во все стороны от космического аппарата. Многорукие, сотворенные человеком и послушные человеку создания!

Поддерживают рулонную батарею в развернутом положении тонкие упругие металлические ленты или надуваемые газом рукава-опоры.

Пленочная полимерная основа рулонной батареи весит очень немного. Если вес кремниевых солнечных элементов тоже уменьшить, сделав их, например, из пластинок кремния толщиной $0,1—0,2 \text{ мм}$, то вес одного квадратного метра рулонной батареи с такими элементами будет составлять всего 2 кг .

Рулонные солнечные батареи

На советской орбитальной станции «Салют-6», получающей энергию тоже от солнечных батарей, кроме оптических и астрофизических наблюдений, проводятся эксперименты по выращиванию полупроводниковых кристаллов в невесомости. Возможно, что у солнечных элементов из таких кристаллов коэффициент полезного действия будет больше, чем у солнечных элементов из земных кристаллов.



уже испытаны в космическом пространстве в нескольких странах.

Еще больше можно уменьшить вес солнечных парусов космических аппаратов, если изготавливать солнечные элементы не из кристаллических пластинок кремния, а из тонких полупроводниковых пленок сульфида кадмия, нанесенных на металлизированную полимерную пленку.

Недавно удалось получить тонкопленочные фотоэлементы с помощью одних только химических процессов, без применения дорогостоящих вакуумных установок.

На полимерную пленку, покрытую слоем металла, осаждают из раствора слой сульфида кадмия с электронной проводимостью; затем сульфид кадмия окунают на несколько секунд в раствор хлорида меди; при этом за счет химической реакции на поверхности сульфида кадмия образуется слой другого полупроводника — сульфида меди с дырочной проводимостью.

Двухслойную полупроводниковую пленку немного нагревают и

приклеивают сверху тонкую сетку из позолоченной меди — верхний электрод. Тонкопленочный солнечный элемент готов! Один квадратный метр таких элементов весит всего 200—300 г.

Тонкопленочные солнечные элементы уже успели побывать в космосе. На одном из советских спутников серии «Космос», предназначенном для биологических исследований, был установлен небольшой контейнер с научной аппаратурой и солнечными элементами. Перед самым спуском на Землю крышка контейнера по автоматической команде герметично захлопнулась, и образцы благополучно возвратились на Землю. Было очень интересно рассматривать в лаборатории приборы и материалы, побывавшие в открытом космосе. Тонкопленочные солнечные элементы успешно выдержали двадцатидневный полет. Если бы не обгоревшая при спуске обшивка контейнера, нельзя было догадаться по внешнему виду элементов, что у них позади столь трудные испытания — ультрафио-

лет Солнца, радиация, космический холод...

Конструкторы орбитальных космических станций всегда опасались, что большие солнечные батареи будут слишком хрупкими и тяжелыми. Разрабатывались даже запасные системы энергоснабжения, например ядерные реакторы. Тепло, выделяемое реактором, с помощью полупроводниковых термоэлементов превращалось в электроэнергию. Но солнечные элементы все же оказались самыми надежными, легкими и удобными источниками электроэнергии для космических аппаратов...

Солнечные батареи не хотят уступать своих позиций и в будущем; их создатели уже думают о космической энергетике XXI века.

Предложены очень смелые проекты огромных солнечных электростанций.

Американский исследователь доктор П. Глэзер считает возможным развернуть в космосе солнечную батарею площадью 32 км² и передать из космоса вырабатываемую ею энергию на Землю с помощью микроволнового излучения.

Недавно в печати появились сообщения, что в одной из космических лабораторий США построена опытная линия микроволновой передачи энергии длиной 1,5 км с целью опытной проверки идеи доктора П. Глэзера.

Возможно, пройдет несколько лет и мы окажемся свидетелями работ по созданию космических солнечных электростанций очень большой мощности. Такие электростанции имеют несомненное преимущество перед расположенными на Земле. Доктор П. Глэзер предлагает вывести их на стационарную орбиту вокруг Земли высотой 36 тысяч километров, на которой они зависнут над определенным местом земного шара, — спутник на этой орбите вращается

вместе с Землей, будто спутник и Земля расположены на одной и той же ножке огромного воображаемого циркуля...

На стационарной орбите обычно 24 часа в сутки светит Солнце, в то время как земные солнечные электростанции всецело зависят от туч на небосклоне.

Когда лауреат Нобелевской премии академик Н. Н. Семенов в начале космической эры высказал мысль о том, что когда-нибудь солнечные батареи покроют поверхность Луны и вырабатываемая ими энергия будет передаваться на Землю, его слова воспринимались как мечта.

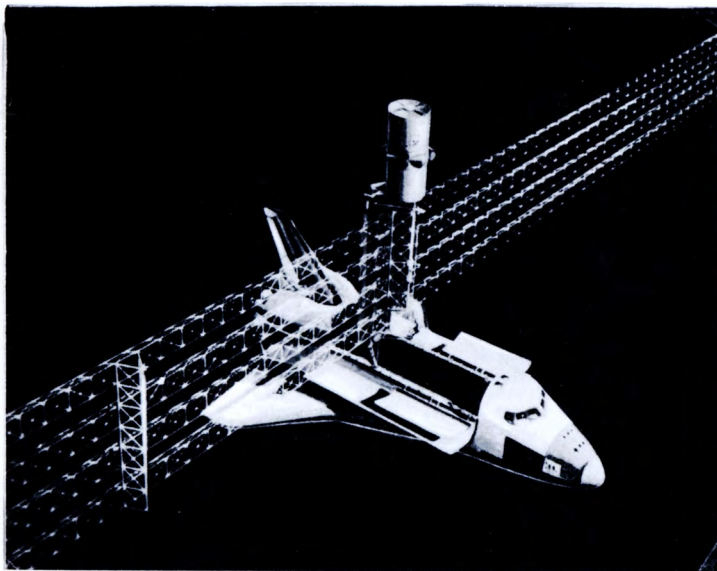
Наступает время превращения мечты в научную программу исследований больших коллективов ученых...

Энергия нужна всем

В школу, на работу, в институт мы чаще всего ездим на автобусе, в метро, в автомашине. Попробуем представить себе, что наш дом находится на берегу канала и каждый день на маленьком пароходике нам приходится переплывать канал, чтобы попасть в город. Ранним утром и поздним вечером мы видим маленький маяк, освещающий водный путь. Но мы ни разу не заметили около маяка людей, привозящих топливо для двигателя, вырабатывающего электроэнергию. Будто кто-то очень давно зажег маяк и забыл его погасить... Однажды ясным летним днем нам удастся разглядеть, что поперек металлических опор маяка укреплены тонкие стеклянные трубки с синими полосками внутри. Полоски напоминают что-то космическое...

Не забудем, сойдя на берег, подойти ближе к маяку.

Да, «вечный» источник электроэнергии и здесь, на Земле, — солнечные элементы.



Следующие десятилетия космической эры ознаменуются широким применением космических аппаратов многократного использования, которые будут доставлять на орбитальные станции различные грузы, в том числе строительные конструкции.

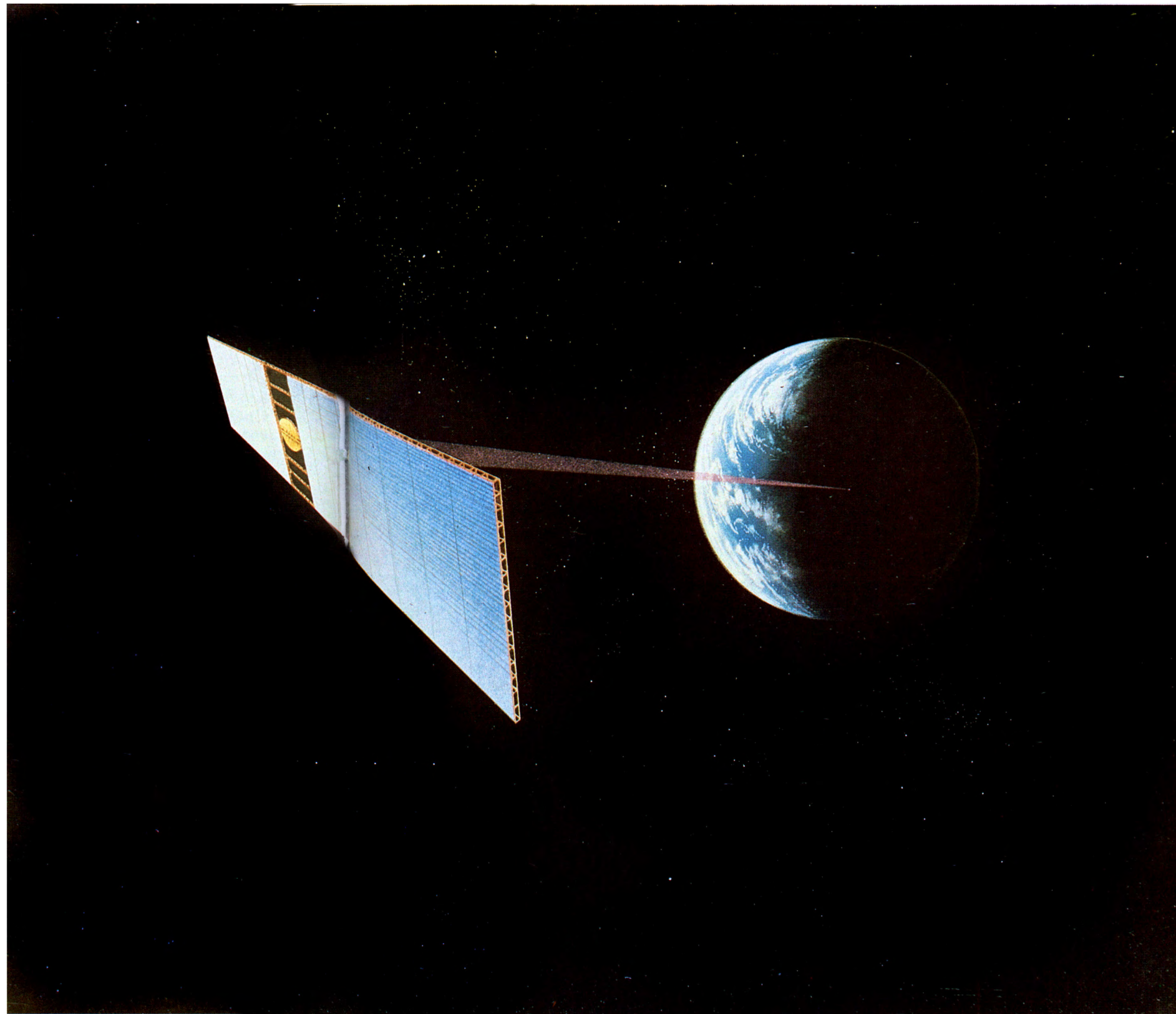
Для защиты от водяных брызг, пыли, снега, дождя маленькие солнечные батареи поместили в точно такие же стеклянные трубки, из которых делают люминесцентные лампы дневного света. Трубки наполнили инертным газом, хорошо отводящим лишнее тепло от солнечных элементов, и наглухо запаяли. Трудно представить себе лучшую защиту от внешней среды. Прекрасное техническое решение! Солнечным элементам теперь страшны только, пожалуй, камнепады...

Пока светит Солнце, солнечные элементы, как и в космосе, заряжают электрохимические аккумуляторы и в них накапливается достаточно много энергии, чтобы спасительный свет маяка мог гореть всю ночь.

Не подумайте, что все это — проекты ученых или наша фантазия.

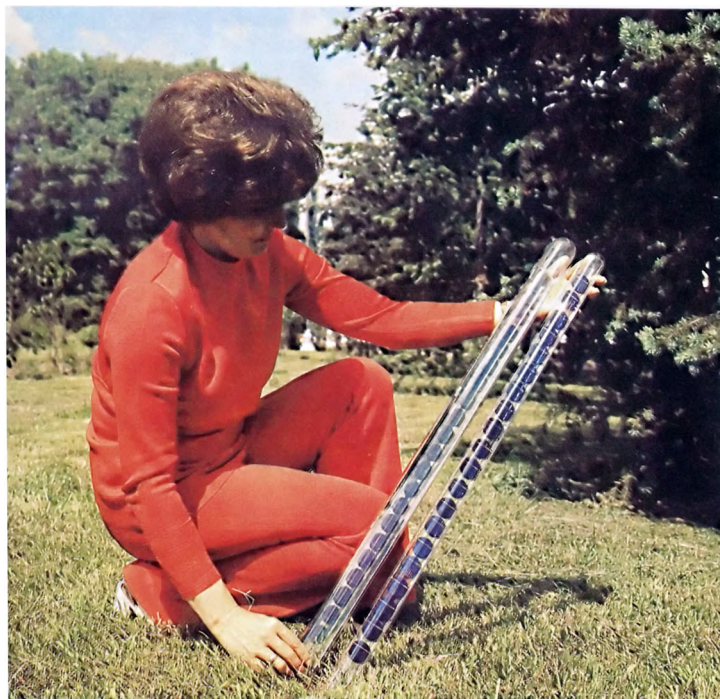
Более 100 речных и морских светосигнальных знаков, маяков, буев на территории СССР уже переведены на полное автоматическое энергоснабжение от маленьких электростанций из солнечных элементов. На Рыбинском водохранилище под Москвой, на озере

На орбитах вокруг Земли появятся огромные солнечные электростанции. Энергия солнечного света, превращенная в электрическую энергию, будет с помощью микроволнового излучения передаваться на земные приемные антенны, где это излучение преобразуется в электрический ток.



Более ста маленьких
солнечных
электростанций
уже работает
на берегах морей,
озер, рек.
От солнечной батареи
получает энергию
и эта машинка
для стрижки травы
на газонах.

Десяти — двадцати
стеклянных трубок
с круглыми
солнечными
элементами
достаточно,
чтобы в течение
нескольких лет
в солнечную
и пасмурную погоду
автоматически
заряжались
аккумуляторы ночных
сигнальных огней.



Байкал, на Черном море и даже на Севере — на Белом море «трудятся» солнечные батареи.

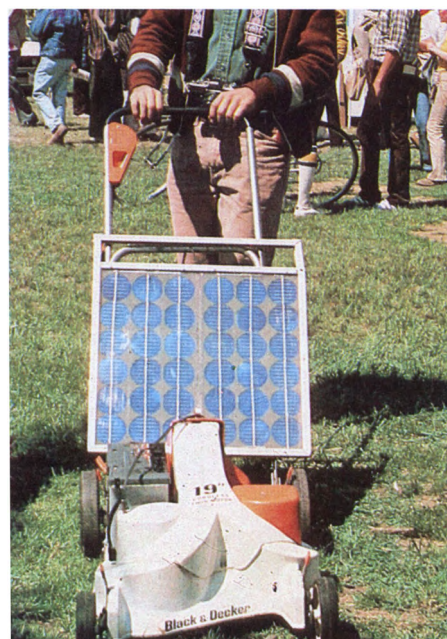
Конечно, по свету маяка нельзя понять, какой электроэнергией он питается. Только проплывая достаточно близко, мы можем разглядеть с борта парохода в бинокль стеклянные трубки солнечных элементов.

Многие маяки японских островов тоже получают энергию от солнечных батарей.

Японские конструкторы, правда, избрали другой способ защиты их от влаги, поместив фотоэлементы между двумя плоскими листами оконного стекла. Около японских маяков сверкают на Солнце синие щиты солнечных батарей...

Тонкие и легкие синие щиты берут в походы и советские исследователи Заполярья.

Белоснежный полярный день, яркое солнце. Синий щит солнечной батареи, положенный на снег рядом с радиопередатчиком, позволяет в любой момент связаться с



друзьями, оставшимися на материке...

Перенесемся в южные районы Земли.

Солнце здесь светит сильнее, и, конечно, у солнечных элементов прибавляется дел.

Французские исследователи создали солнечные батареи, снабжающие электроэнергией телевизоры, установленные в отдаленных сельских районах Нигера, в Африке. По телевидению передаются учебные программы, которые смотрят и слушают школьники. Солнечный свет, оказывается, может нести с собой не только тепло, но и знания...

На нефтяных платформах в Мексиканском заливе солнечные батареи снабжают энергией световые сигнальные лампы, предупреждающие ночью и в туман морские суда: «Осторожно, здесь добывают нефть!»

В нашей стране на газопроводе Средняя Азия — Центр солнечные батареи используются для защиты труб от вредного влияния атмосферной коррозии.



Солнечные батареи для грузовой тележки и речного бакена (внизу) сделаны в виде плоских прямоугольных панелей.

Лучший способ защиты — катодный: трубе сообщается небольшой отрицательный электрический заряд и металл под действием кислорода воздуха не окисляется.

На газопроводах в северных районах СССР успешно проходят испытания не только фотоэлементы, но и дешевые полупроводниковые термоэлементы.

Термоэлементы превращают тепло сразу в электрический ток. Тепло забирается у самого газа — тоненькая струйка газа поджигается над небольшой трубкой, отведенной в сторону от основного трубопровода. Струйка газа горит внутри металлического пустотелого стержня, окруженного термоэлементами...

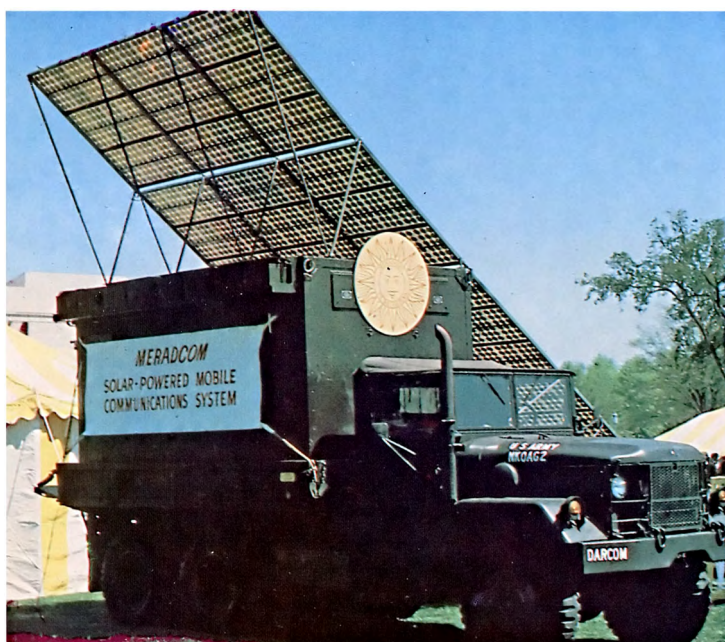
Созданы солнечные батареи, от энергии которых работают насосы, качающие воду из-под земли.

В пустыне Каракумы в Туркмении подземная подсоленная вода подается в солнечный опреснитель. Лучи Солнца испаряют пресную воду, соли остаются на дне опреснителя. Пары воды конденсируются на относительно хо-

лодных стеклянных стенках опреснителя, и чистая питьевая вода струйками стекает в емкости, собирающие ее.

Пресную воду не нужно привозить людям, работающим в песках, за много сотен километров...





Эта передвижная радиостанция и аппаратура для связи, установленная на грузовике, работает там, где нет центральной электросети. Машина возит с собой плоскую солнечную батарею площадью в несколько квадратных метров и электрохимические аккумуляторы.

Солнечная батарея такой же «электрической силы» может занимать площадь всего один квадратный метр, если ее окружить зеркалами-отражателями (фото справа).

Солнечные батареи можно увидеть в самых, казалось бы, неожиданных местах: на крышке транзисторного радиоприемника, над световым табло настольного калькулятора, рядом с автоматической метеостанцией, заброшенной вертолетом в какой-нибудь труднодоступный район Земли.

Во Франции разработана система срочного предупреждения об автомобильных авариях: через каждые несколько сот метров вдоль дороги установлены тумбы с аварийными телефонами. Человек, подходящий к такому телефону, вдруг видит перед глазами солнечную батарею — она снабжает энергией линию связи...

В южных районах Земли на квадратный метр поверхности падает днем от 0,7 до 1,1 кВт солнечной энергии. Спектральный состав солнечных лучей после прохождения земной атмосферы значительно изменяется, приближаясь к кривой спектральной чувствительности солнечных элементов.

В атмосфере сильнее погло-

щаются ультрафиолетовые лучи, чем видимые. Для солнечных элементов это полезно — видимые лучи преобразуются ими в электроэнергию гораздо эффективнее, чем ультрафиолетовые.

У кремниевого солнечного элемента на борту искусственного спутника Земли коэффициент полезного действия около 10%, на Земле коэффициент полезного действия его 12—13%.

Кремниевые солнечные батареи площадью в несколько квадратных метров в земных условиях позволяют получить значительную электрическую мощность: 300—500 Вт.

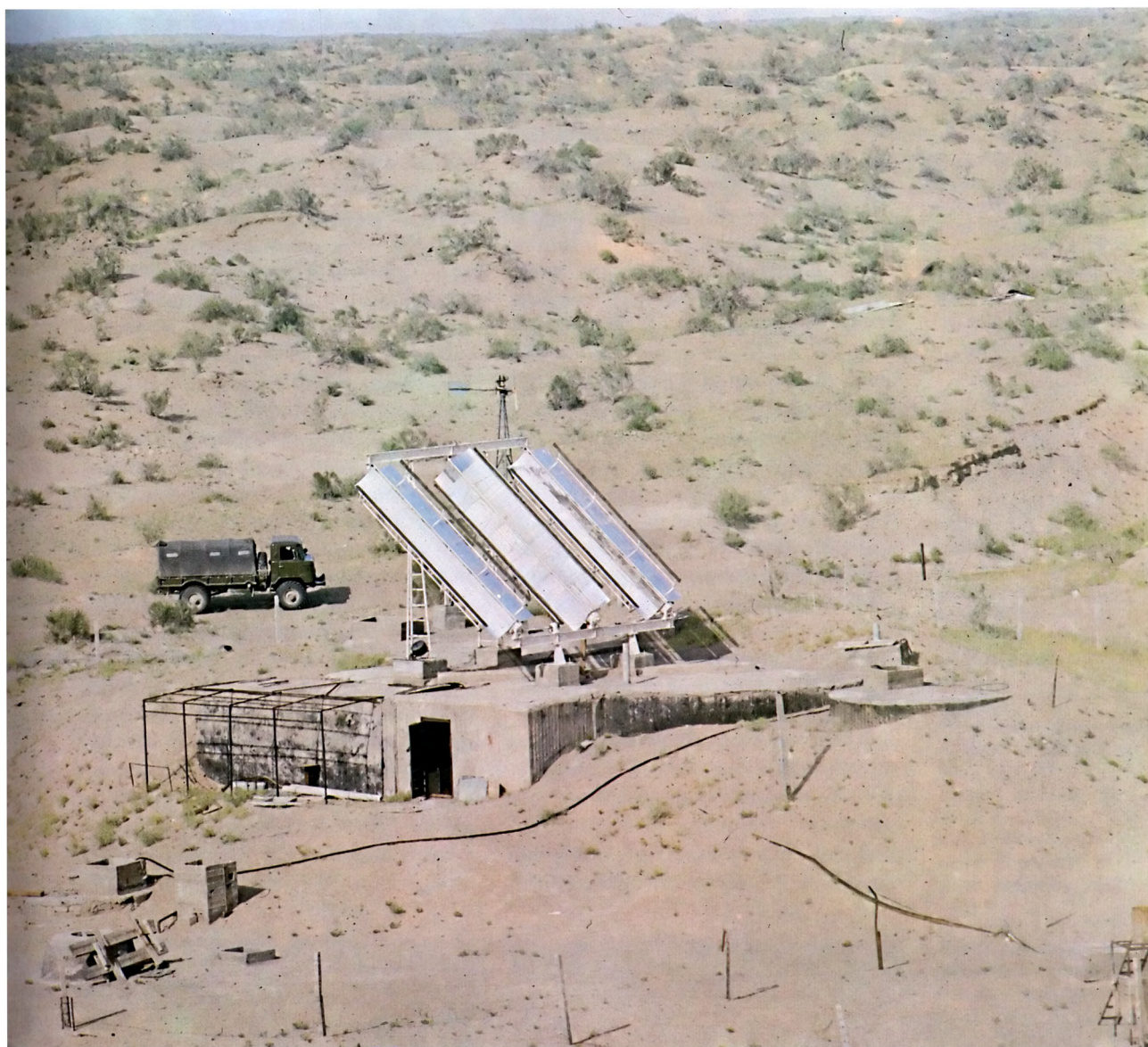
У многих исследователей возникло желание создать из плоских панелей с солнечным элемен-



тами солнечные электростанции большой мощности.

Американские инженеры собрали в штате Огайо демонстрационную модель солнечной электростанции на основе кремниевых солнечных элементов мощностью больше 10 кВт, а в штате Арканзас — 250 кВт.

В СССР и США интенсивно исследуются способы защиты солнечных элементов от атмосферной влаги с помощью полимерных



материалов, сохраняющих прозрачность при длительном облучении солнечным светом. Очень хорош оказался фтороорганический этиленпропиленовый полимер. Две пленки такого полимера удастся под давлением при температуре 300°C приварить с обеих сторон к солнечным элементам.

Панели солнечных элементов, покрытые полимерными слоями, легко, держа в одной руке, перенести или укрепить высоко над

землей на маяке. Солнечную электростанцию большой мощности и площади из таких панелей можно собрать вручную...

Бесплатный свет, но... дорогое электричество

В отдаленные места Земли, в пустыни, полярные области, к маякам на морях и больших озерах так трудно и дорого подвозить топливо, что солнечные батареи оккупают

Солнечная батарея с зеркалами-отражателями, созданная учеными в нашей стране, много лет используется в совхозе «Бахарден» Туркменской ССР для подъема воды из-под земли.

Телефонные аппараты
Белла (слева),
связанные
между собой
электрическими
проводами,
впервые позволили
услышать друг друга
людям, находящимся
в разных городах.
Звук превращался
в электрический ток,
а ток снова в звук.

Прошло
около ста лет,
и перед нами —
радиоприемник
с солнечной батареей,
который можно
увидеть
на Выставке
достижений народного
хозяйства в Москве.
Падает свет,
и оживают голоса,
произносимые
на другом конце
земного шара.
Свет рождает звук!

себя всего за 3—4 года беспре-
рывной работы. А ведь их стои-
мость в сотни, в тысячи раз пре-
вышает цены на электроэнергию,
полученную от тепловых электро-
станций на угле и нефти. Стои-
мость в прямом и переносном
смысле космическая... От 10 до 20
тысяч долларов платит космиче-
ское управление правительства
США за 1 м² солнечных батарей,
устанавливаемых на спутниках
Земли.

Почему же так дорога солнечная
электроэнергия? Ведь солнечный
свет до сих пор доставался нам
бесплатно, а кремний — один из
самых распространенных элемен-
тов на Земле. Он у нас буквально
под ногами — песок состоит в ос-
новном из кремния и кислорода...

К сожалению, кремний, входя-
щий в состав песка, прежде чем
превратиться в полупроводник,
подходящий для создания солнеч-
ных батарей, должен пройти дол-
гий и трудный путь. Сначала песок
обрабатывают при высокой темпе-
ратуре — восстанавливают из него
кремний. Порошок кремния не-
сколько раз очищают, повторяя
одну и ту же операцию: соединяют

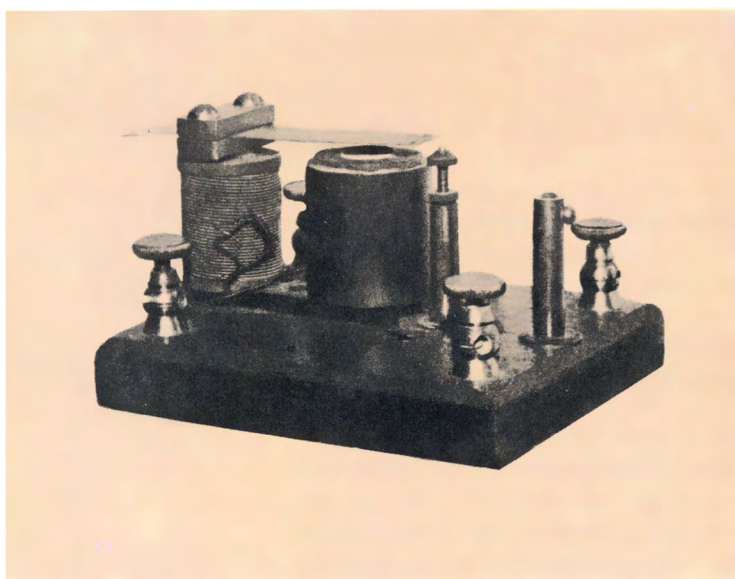
кремний, например, с хлором, а из
полученного газа — тетрахлорида
кремния — вновь выделяют крем-
ний. При этом все больше вредных
примесей исчезает из кремния, но,
к сожалению, все меньше остается
самого кремния.

Затем кремний расплавляют в
тиглях из платины и, опустив в
расплав «затравку» — маленький
кристаллик кремния, начинают
медленно вытягивать ее. Слой рас-
плава вокруг затравки, охлажда-
ясь, застывает, повторяя ее кри-
сталлическую форму.

Если килограмм неочищенного
кремниевого порошка, только что
полученного из песка, стоит в США
около доллара, то килограмм очень
чистого полупроводникового кри-
сталла кремния оценивается уже
в сумму больше трехсот долларов.

Технология изготовления сол-
нечных элементов из кристаллов
кремния, принятая сейчас, тоже
непроста и состоит из ряда слож-
ных и дорогих операций.

Стержни кремния распиливают
алмазными резцами на круглые
диски. Диски тщательно полиру-
ют, разрезают на прямоугольные
пластинки. При высокой темпера-



туре в диски вводят примесь фосфора, наносят многослойные оптические покрытия и электрические контакты — проводники. Чтобы получить современный солнечный элемент, необходима поистине ювелирная точность: толщина контактных полосок на светоприемной поверхности элементов должна составлять не более 50 микрон (толщина человеческого волоса); толщина синего просветляющего покрытия — 600—650 ангстрем. Напомним, что ангстрем — одна десятитысячная доля микрона.

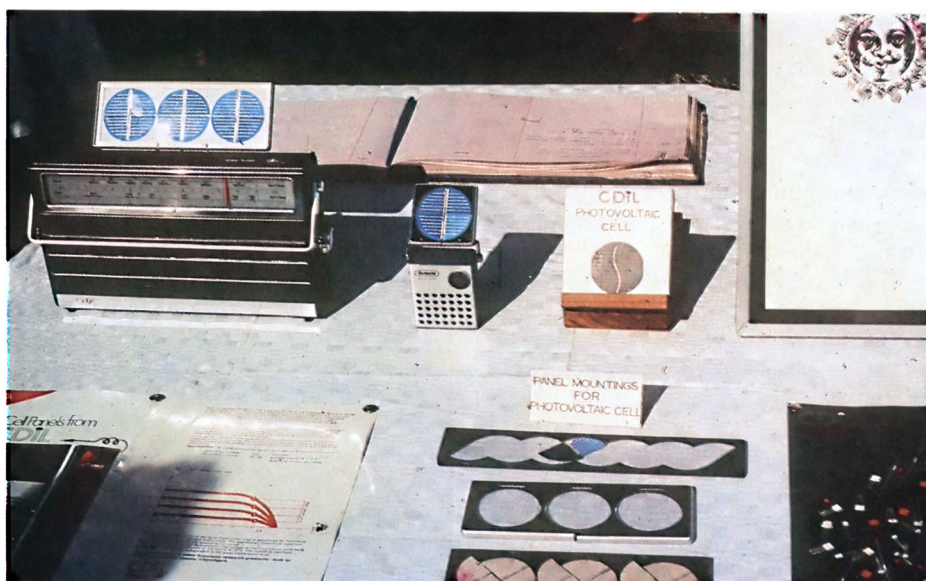
Конечно, применение даже дорогостоящих солнечных элементов, изготовленных по «космической» технологии в труднодоступных районах Земли, для спутников или межпланетных автоматических станций оправдано.

Но если пытаться создать на основе таких солнечных элементов экономичные солнечные электростанции, то стоимость их изготовления необходимо снизить не менее чем в 100 раз. А еще лучше — в 1000 раз... Только тогда электроэнергия будет стоить столько же, сколько мы платим за электричество в наших квартирах.

Плененное Солнце

Ученые многих стран мира пытаются решить эту задачу. Конечно, первое, что они пробуют сделать, — уменьшить расход полупроводникового материала. К сожалению, полупроводниковый кристалл не удастся разрезать на пластинки толщиной менее 200—250 микрон. Более тонкие пластинки тут же ломаются. А для преобразования солнечной энергии в таком материале, как, например, арсенид галлия, активно поглощающем свет, нужен лишь слой толщиной всего в два-три микрона.

Получить солнечные элементы в 20 раз более тонкие, чем человеческий волос, очень трудно. Но японским ученым из Токийского университета недавно это удалось. Они вырастили на толстой пластинке арсенида галлия промежуточный слой с низкой температурой плавления — тройное соединение, состоящее из алюминия, мышьяка и галлия. Затем поверх этого слоя осаждением из расплава получили пленку арсенида галлия толщиной 5—10 микрон. Когда весь трехслойный пирог



Для радиоприемников и магнитофонов можно использовать солнечные батарейки разного типа и размера.

нагрели, то промежуточный слой расплавился первым и готовую пленку арсенида галлия с помощью сетки можно было снять сверху. Из этих пленок, имеющих структуру чистого, совершенного кристалла, уже получены солнечные элементы с коэффициентом полезного действия 10—12%.

Для создания недорогих солнечных элементов из кремния был избран другой путь. В СССР и США изготовлены солнечные элементы из кремниевых лент, полученных вытягиванием тонкого слоя кремния из расплава. Кремниевые ленты не нужно разрезать на пластинки и полировать.

Еще лучше опустить в расплавленный кремний два тонких кристалла-иглы и медленно вытягивать вверх пленку кремния, заставляющую между иглами. Такой способ дороже, но зато пленка по своим свойствам очень напоминает совершенный кристалл кремния.

В Англии и ФРГ дешевые солнечные элементы получены из поликристаллического кремния, стоимость которого в десятки раз меньше, чем чистого кристаллического кремния.

Упростить технологию очень нелегко, и специалистам в области полупроводников приходится звать на помощь металлургов, оптиков, химиков.

Оптики предложили использовать плоские концентраторы солнечного света, так называемые линзы Френеля.

Их получают из акриловой пластмассы методом литья или штамповки.

На поверхности пластмассы создается рельефный рисунок, отклоняющий все солнечные лучи в одно и то же место — фокус линзы. Линзы Френеля применяются в проекторах для диапозитивов, выпускаемых за рубежом.

Обычно плоские линзы Френеля имеют размеры 30×30 см или 50×50 см и примерно на таком же расстоянии от них расположено фокусное пятно диаметром от 20 до 30 мм, куда можно поместить солнечный элемент.

Стоят линзы Френеля в сотни раз меньше, чем сами солнечные элементы, и позволяют получить высокую степень концентрации света — от пятидесяти- до стократной.

Реальный путь снижения стоимости!

Несколько лабораторий в США уже построили фотоэлектрические установки с такими линзами и солнечными элементами из кремния и арсенида галлия. Некоторые из этих установок генерируют в солнечный день электрическую мощность больше 1 кВт.

В Физико-техническом институте Академии наук Туркменской ССР в Ашхабаде избрали другой путь удешевления солнечной электроэнергии: путем создания

Один из способов сделать солнечные элементы дешевле — получать кремний не в виде больших кристаллов-слитков, а сразу в виде лент. На снимке показан процесс непрерывного вытягивания ленты кремния из расплава.





дешевых отражателей солнечной энергии из полимеров.

На большое параболическое стеклянное зеркало от мощного прожектора или бетонную форму накладывается пленка, предварительно покрытая блестящим слоем алюминия.

Почти из такой же пленки делаются елочные украшения...

Затем на пленку из пистолетов-пульверизаторов напыляют застывающую тут же на воздухе пенящую пластмассу — пенополиуретан.

Легкий пенистый слой толщиной 1—2 см хорошо сцепляется с металлизированной пленкой и придает ей форму зеркала.

Готовый полимерный отражатель на наших глазах снимается со стеклянного зеркала. Можно начинать процесс сначала...

Испытывая новые отражатели, физики обнаружили, что далеко не всякие солнечные элементы могут работать с большими потоками солнечного света. Обычные космические элементы будто захлебываются светом. При концентрации солнечных лучей, например, в 100 раз они увеличивают свою мощность всего в 10—12 раз. Хорошая идея оказалась под угрозой...

Ученым хотелось повторять грустную фразу Козьмы Прутков: «Век живи — век учись! И ты, наконец, достигнешь того, что, подобно мудрецу, будешь иметь право сказать, что ничего не знаешь».

Вскоре, правда, они сумели доказать, что слова Пруткова лишь остроумная шутка, полюбившаяся людям со времен Сократа...

Концентрировать солнечную энергию можно не только тяжелыми и дорогими стеклянными или кварцевыми линзами, но и дешевыми, плоскими и легкими линзами Френеля, изготовленными из прозрачной акриловой пластмассы, на поверхности которой созданы еле заметные глазом микроканавки, отклоняющие свет.

На эту
большую форму
туркменские
инженеры
укладывают
полимерную пленку,
покрытую слоем
блестящего
алюминия,
и распыляют
пенистую пластмассу.
Для изготовления
легкого большого
зеркального
концентратора
солнечных лучей
достаточно
несколько минут.



Выяснилось, что у обычных солнечных элементов слишком велико внутреннее сопротивление электрическому току. Особенно мешает внутреннее сопротивление элементу, когда света много и по полупроводнику течет большой ток.

Удалось преодолеть и это.

Были созданы кремниевые микрофотоэлементы, в которых электрический ток течет поперек слоя полупроводника, в том сечении, где сопротивление току исчезающе мало.

Ученые разработали также сложные фотоэлементы из арсенида галлия: на поверхность обычного элемента нанесли слой другого полупроводника — тройного соединения алюминия, мышьяка и галлия, о котором мы уже говорили.

Граница двух разных полупроводников обладает свойством отталкивать электрические заряды от поверхности в глубь солнечно-

го элемента, тем самым увеличивая длину их свободного пробега и срок жизни.

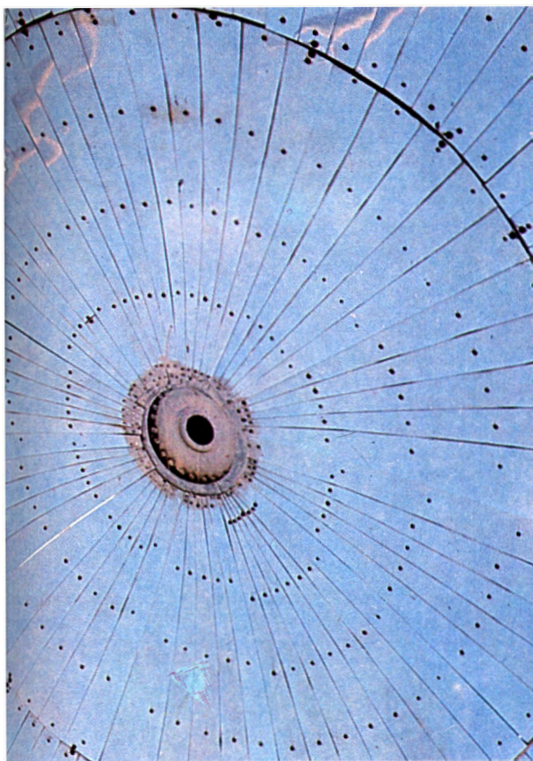
При измерениях на открытом воздухе в яркий солнечный день новые фотоэлементы показали рекордные значения: коэффициент полезного действия 22—25%!

Если верхний слой тройного соединения в таком фотоэлементе сделать сравнительно толстым, например 20—30 микрон, то его сопротивление протекающему току будет ничтожно малым.

Эксперименты показали, что если новые фотоэлементы облучить потоком света, в 1000 раз превышающим обычный солнечный, то и полученная электрическая мощность увеличится в 1000 раз.

Во время этих важных экспериментов мощный поток солнечного света подавался на фотоэлементы короткими импульсами.

Пока еще не решена техническая задача — как отвести от фотоэле-



ментов лишнее тепло, если тысячекратное солнечное излучение будет постоянно освещать фотоэлементы.

Ведь даже при коэффициенте полезного действия преобразова-

ния солнечного света в электроэнергию, составляющем 20%, остальные 80% света будут превращаться в тепло.

Вероятно, и эта сложная задача вскоре будет решена. Хотя, конечно, совсем не исключено, что самым дешевым и долговечным окажется не использование концентраторов, а применение фотоэлементов, изготовленных по простой технологии из самых доступных материалов.

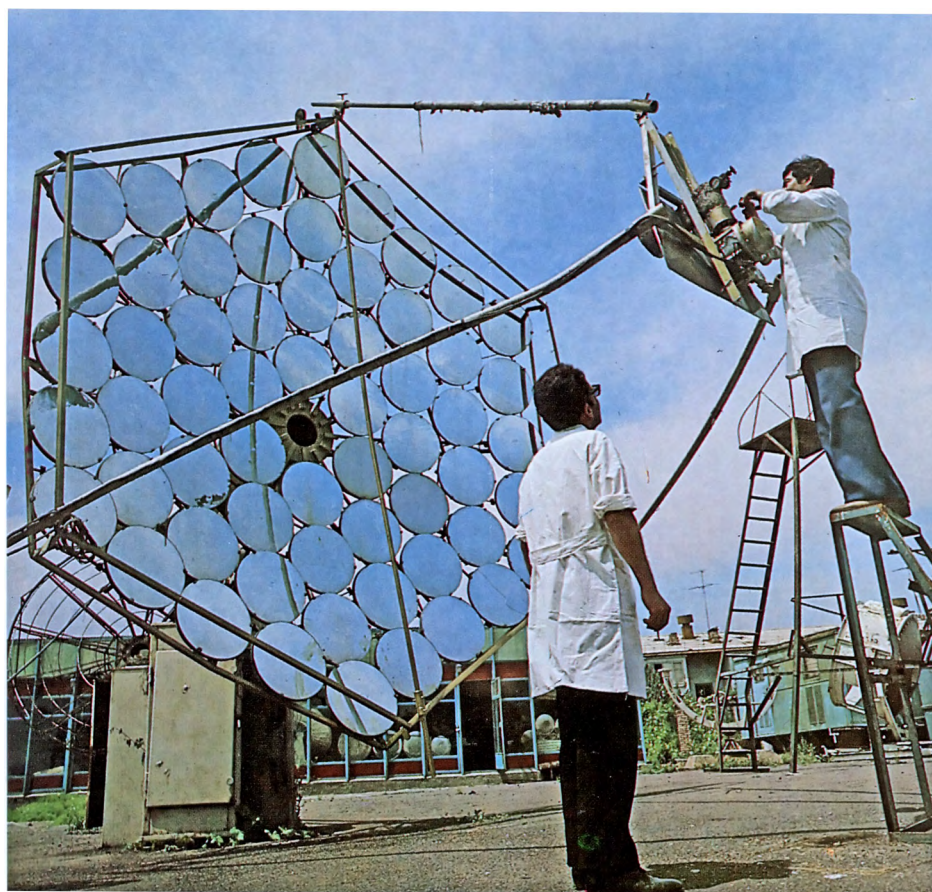
Советские и японские исследователи сумели получить фотоэлементы из керамики на основе сульфида кадмия. Недавно американским ученым удалось сделать фотоэлементы из медной ленты, покрытой после термического окисления на воздухе пленкой закиси меди. Керамика и медная фольга выпускаются в огромных масштабах многими странами мира...

Солнечные электростанции будут собираться из плоских

Большие концентраторы могут быть собраны из лепестков алюминия. В их фокусе плавят металлы, обжигают керамику, испытывают модели котлов для солнечных электростанций (фото сверху). Неподвижному круглому концентратору помогают «ловить» Солнце плоские гелиостаты-отражатели, которые следят за Солнцем и медленно поворачиваются вслед за ним, точно так же, как это делают золотые головки подсолнухов.



Из круглых
зеркальных
отражателей
параболической
формы
в Физико-техническом
институте
АН Узбекской ССР
в Ташкенте
собрали установку,
на которой
проводятся
эксперименты
по испытанию
двигателей,
имеющих высокий
коэффициент
преобразования
тепловой энергии
в механическую.



недорогих панелей солнечных элементов и занимать площадь в несколько квадратных километров. Исчезнет необходимость в зеркалах и поворотах панелей за Солнцем...

Исследователям всегда полезно вспомнить строки А. Эйнштейна: «В конце концов существует только одна истина и множество ошибочных путей». Великий физик, особенно в период работы над единой теорией поля, несколько раз начинал всё с самого начала. Недаром он однажды сказал своему ассистенту: «Для нашей работы необходимы два условия: неустанная выдержка и готовность всегда выбросить за борт то, на что ты потратил так много времени и труда».

Будем надеяться, что хотя бы

один из путей, которыми идет современная полупроводниковая энергетика, приведет к конечной цели — созданию наземных солнечных батарей большой мощности.

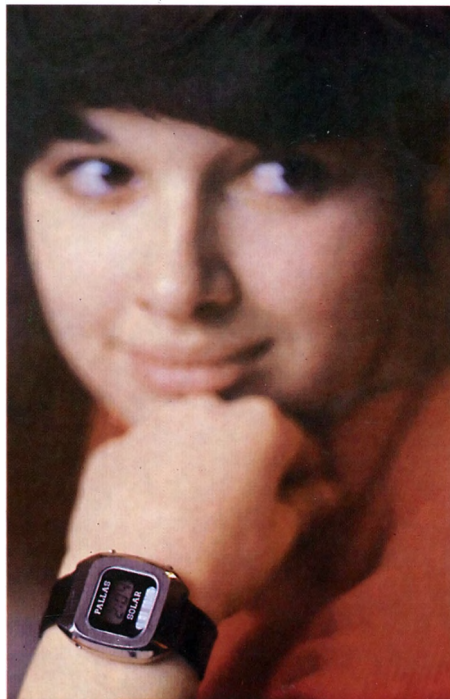
Член-корреспондент АН СССР Н. С. Лидоренко, возглавляющий советские исследования в области солнечной энергетике, закончил свой доклад на научных Циолковских чтениях словами: «Большая полупроводниковая фотоэнергетика — наше будущее. Давайте его приблизим!»

Сделано уже очень много. Успешно работают малые автономные солнечные энергоустановки в космосе и на Земле — в пустынях, на озерах, реках, морях. Созданы и крохотные солнечные «электростанции» для электронных приборов.

Один из этих приборов — часы. Наручные и настенные, стрелочные и цифровые... Пружина для ежедневного завода во многих из них заменена на химическую ба-

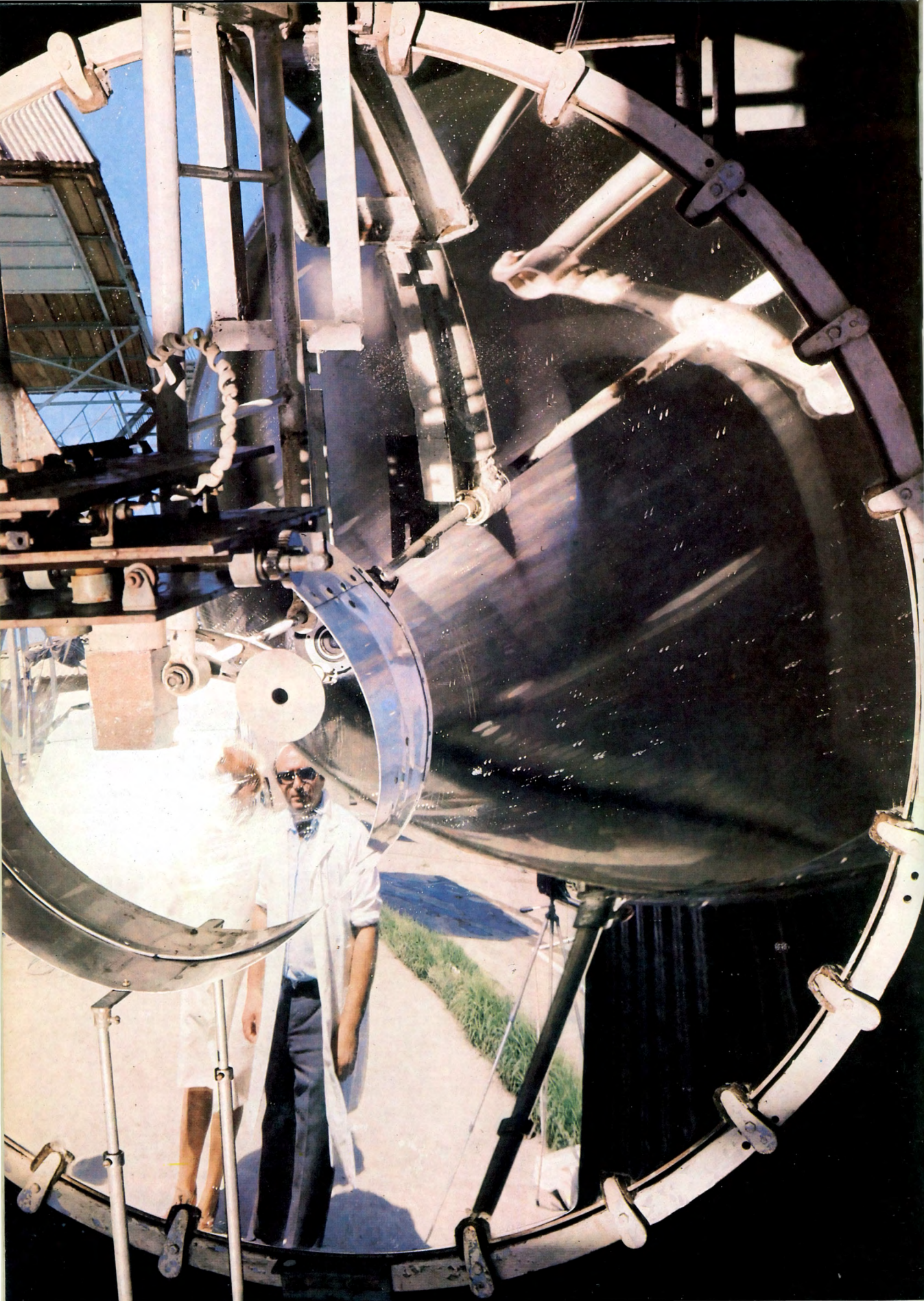
тарейку, которой хватает на год работы часов. Если же на циферблате часов найти место для маленькой кремниевой солнечной батареи, а внутри корпуса поместить крохотный электрохимический аккумулятор, то, сменяя друг друга, они обеспечат часы энергией, достаточной для безостановочного хода в течение ста лет! Лишь время от времени придется на несколько часов класть часы на освещенный Солнцем подоконник или под настольную лампу. Если же в солнечной батарее использовать четыре фотоэлемента на основе арсенида галлия или сульфида кадмия, то самых низких освещенностей, создаваемых рассеянным светом на улице или в комнате, окажется достаточно, чтобы часы не останавливали свой бег...

Разве не символично, что Солнце теперь не только несет нам свет и тепло, но и ведет счет секундам беспокойной и увлекательной жизни человечества?



Эти солнечные часы разделяют три столетия. На гравюре слева — часы-подсолнух, предложенные в середине XVII века известным ученым А. Кирхером.

На циферблате современных электронных часов еле заметна маленькая солнечная батарейка. Эти часы надо заводить... светом Солнца или настольной лампы.



ГЛАВА V

СОЛНЕЧНЫЕ ДОМА И БАШНИ

Кружевом, камень, будь
И паутиной стань,
Неба пустую грудь
Тонкой иглою рань!

О. Мандельштам

Мыслители прошлых веков часто поражают нас своей научной дальноразоркостью. Разве не удивительно, например, что за два тысячелетия до создания атомной теории и экспериментального доказательства существования квантов света древнеримский философ и поэт Тит Лукреций Кар писал в своей поэме «О природе вещей»:

Легким, во-первых, вещам
из мелких тел состоящих,
Чаще, чем всяким другим, быстрота
очевидно, присуща.
Солнечный свет, как и жар, относится
к этим предметам,
Так как они состоят из мелких
начальных частичек.

Конечно, наука нашего времени открывает и явления, которые не были предсказаны учеными предыдущих столетий, создают приборы и устройства, возможность разработки которых отрицалась недавно даже специалистами. Солнечная энергетика в этом отношении не является исключением...

В начале 20-х годов нашего века советский физик Сергей Иванович Вавилов писал в книге «Солнечный свет и жизнь Земли»: «Чтобы превратить солнечный свет в работу, нужно обеспечить перепад темпе-

ратур, что на поверхности Земли сделать трудно—она прогрета равномерно. Поэтому и приходится оставить попытки использовать тепловую энергию суши, моря и воздуха для работы наших машин».

Прошло более 50 лет, и мы знаем, что успешно испытаны океанские электростанции, использующие перепад температур между теплыми верхними слоями и холодными глубинными массами воды; мы можем убедиться, как хорошо хранят запасенную солнечную энергию подземные аккумуляторы тепла, и посмотреть на насосы, превращающие тепловую энергию воздуха в механическое движение. И пожалуй, самое удивительное, что ученым удалось не только в теории, но и на практике доказать, что земное тело, например лист металла или пластина стекла, получающее энергию только от Солнца, может быть нагрето до высоких температур.

Солнечные лучи способны обеспечить перепад температур между нагреваемым телом и окружающей средой в несколько сотен градусов, которого вполне достаточно для работы любой тепловой машины.†

На наших глазах
изменяется отношение
к солнечной энергии.
Солнечные дома,
опытное
строительство
которых началось
в разных
странах мира
всего
несколько лет назад,
ловят
солнечные лучи,
обеспечивая
своих жителей
прохладой,
горячей водой,
запасом тепла
на холодные дни.
В солнечных печах
(фото слева)
плавят самые
тугоплавкие
материалы,
а солнечные
электростанции
вырабатывают
электроэнергию.

Вкусен чай из
солнечного термоса!
Быстро закипела вода
в солнечном термосе
с откинутыми
крышками-
отражателями.
И, в отличие
от традиционного
самовара, для этого
не понадобилось
никакого топлива,
кроме...
солнечных лучей.



Капкан для... лучей

Приглашаю вас на испытания солнечных преобразователей, проходящие около Ашхабада. Интересны не только сами испытания, но и... субботние и воскресные прогулки их участников по окрестным местам. Представьте себе, что небольшой переход по горам, поросшим серо-лиловым кустарником, закончен. Мы у небольшого озера, окруженного песчаными барханами (пустыня рядом). Привал, отдых, завтрак. Один из участников прогулки достает из рюкзака высокий термос, наливает в него воду из прохладного горного ручья, раскрывает створки его внешнего пластмассового корпуса и... выставляет раскрытый термос на Солнце. Проходит 10—15 минут, мы только-только успеваем устроиться поудобнее и разложить еду, как над термосом появляется

пар. Вода закипела — можно заваривать чай!

Подойдем поближе к солнечному термосу и рассмотрим внимательно его устройство. На внутренней поверхности откинутых полукруглых пластмассовых створок наклеена блестящая алюминиевая фольга, отражающая внутрь термоса солнечные лучи. В глубине термоса мы видим сосуд Дьюара — стеклянную трубку с двойными стенками, пространство между которыми лишено воздуха — вакуумировано. Отсутствие воздуха — хорошего проводника тепла — позволяет изолировать внутренний объем трубки от внешнего мира. Если налить в сосуд Дьюара горячую воду, то она долго сохраняет тепло благодаря вакуумному изолирующему слою. Но ведь в сосуд с двойными стенками налили не горячую, а холодную воду — как же она стала горячей?



испускаемых нагретым телом (длины волн от 2,5 до 40 микрон), не пересекаются, а лежат рядом в соседних интервалах на всеобщей шкале электромагнитных излучений. Это означает, что теория позволяет поверхности тела иметь совершенно различные свойства в соседних областях спектра. Например, быть черной, хорошо поглощающей по отношению к солнечным лучам и одновременно белой в инфракрасной области спектра и слабо излучающей невидимые тепловые лучи.

Но можно ли на практике получить такую разнообразную по оптическим свойствам и очень полезную поверхность?

Оказалось, что можно.

Если на поверхность блестящего металла — меди, алюминия или серебра — нанести несколько очень тонких диэлектрических слоев, например из окислов никеля, хрома, ванадия, титана (с общей

Около одной из школ в американском штате Вирджиния установлены стеклянные трубчатые нагреватели, обеспечивающие здание школы теплом и горячей водой (фото слева).

В нашей стране разработаны и испытаны трубчатые коллекторы с фотоэлементами, которые позволят получить от Солнца не только горячую воду, но и электроэнергию.

На внутренней стеклянной поверхности солнечного термоса (там, где у обычного сосуда Дьюара серебряный слой, помогающий сохранить тепло) мы видим красивое темно-синее покрытие. Оно обладает удивительными свойствами — почти полностью поглощает солнечные лучи и не переизлучает их обратно. Все тепло солнечных лучей остается в термосе.

Если вылить из термоса воду, опустить вместо нее термометр и прислонить его к внутренней стенке термоса, то на ярком солнце термометр покажет температуру 180—190°C.

Темно-синие оптические покрытия получили название «селективных». Они обязаны своим появлением на свет внимательности ученых, заметивших, что спектр солнечных лучей (с длинами волн от 0,2 до 2,5 микрона) и спектр невидимых инфракрасных лучей,



Строительство современной солнечной электростанции, которая спроектирована инженерами исследовательской лаборатории «Сандиа».

толщиной близкой к длине волны в максимуме солнечного спектра — 0,5—0,6 микрона), то получается селективная оптическая поверхность. Слои окислов (иногда разделяемые полупрозрачной пленкой металла или вкрапленными металлическими частицами) активно поглощают солнечный свет. В то же время для невидимого света, длина волны которого в несколько раз превышает толщину слоя окислов, он совершенно прозрачен, и свойства поверхности определяются нижним слоем блестящего металла. Металлы, как известно, очень плохо излучают тепло; особенно такие хорошо электропроводные металлы, как медь и алюминий, — они совершенно белые в невидимой области спектра.

Селективные покрытия сейчас создаются разными способами, например электрохимическим нанесением очень тонкой пленки черного никеля или испарением в высоком вакууме нескольких очень тонких пленок металлов и окислов. И это делают не только для удобных в походе «солнечных» термосов...

Длинная стеклянная (или стеклянно-металлическая) трубка с двойными стенками, вакуумным промежутком между ними и селективным покрытием на внутренней поверхности получила название линейного теплоприемника. Если ее окружить отражателем солнечных лучей, то на внутренней поверхности трубки можно получить температуру 400—500°C.

Коэффициент усвоения солнечной энергии таким линейным теплоприемником солнечных лучей, как показали измерения, достигает 65%. Все известные виды тепловых потерь здесь сведены к минимуму: теплопроводность не влияет на перенос тепла — между внутренней и внешней стеклянными

трубками контакт только в нескольких точках, воздушный перенос тепла отсутствует, собственное тепловое излучение поверхности очень незначительно.

Заполненный теплостойкой полимерной жидкостью или жидким металлом, линейный теплоприемник в сочетании с турбиной, имеющей коэффициент полезного действия 25—30%, может стать источником не только тепла, но и электроэнергии.

Конструкторы уже создали проекты небольших электростанций, где используются линейные теплоприемники и турбины, для космических и земных условий. Турбины широко применяются



в современной энергетике; для будущей судьбы новых электростанций очень важно, что многое в их конструкции уже хорошо освоено...

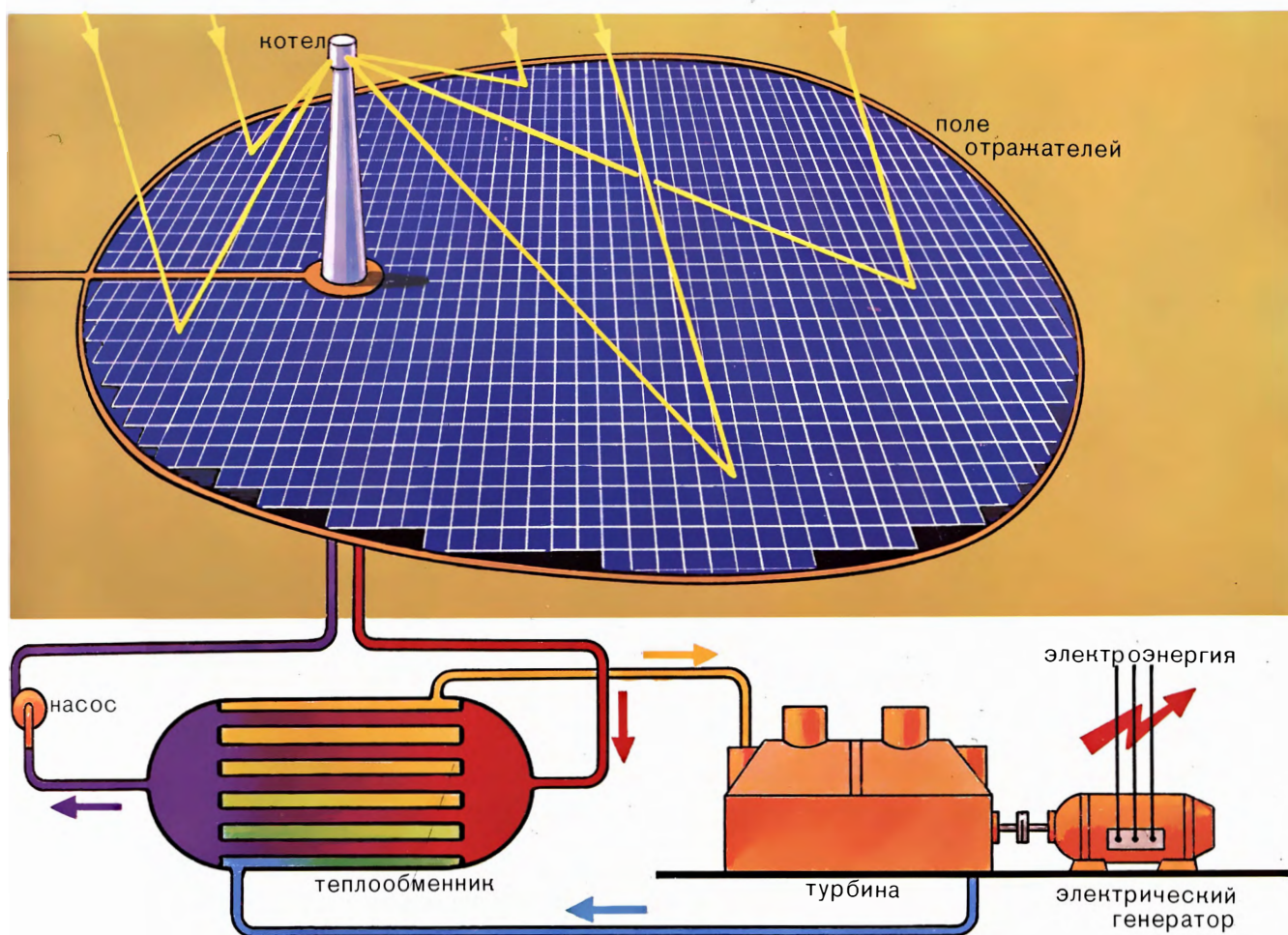
Все выше — за Солнцем!

У электростанций с линейным трубчатым теплоприемником есть и недостаток — вакуумные трубки и металлические отражатели нельзя сделать бесконечно длинными. Отдельные трубки приходится соединять теплопроводами. Чем больше электростанция, тем разветвленное сеть теплопроводов, тем выше потери тепла... Было бы гораздо лучше иметь один тепло-

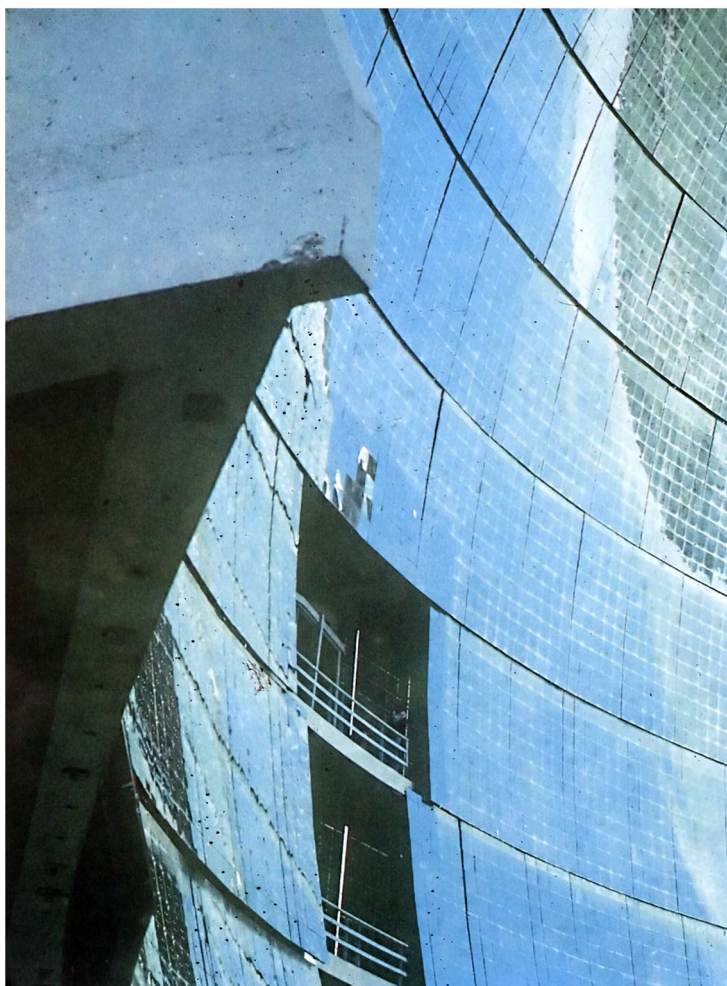
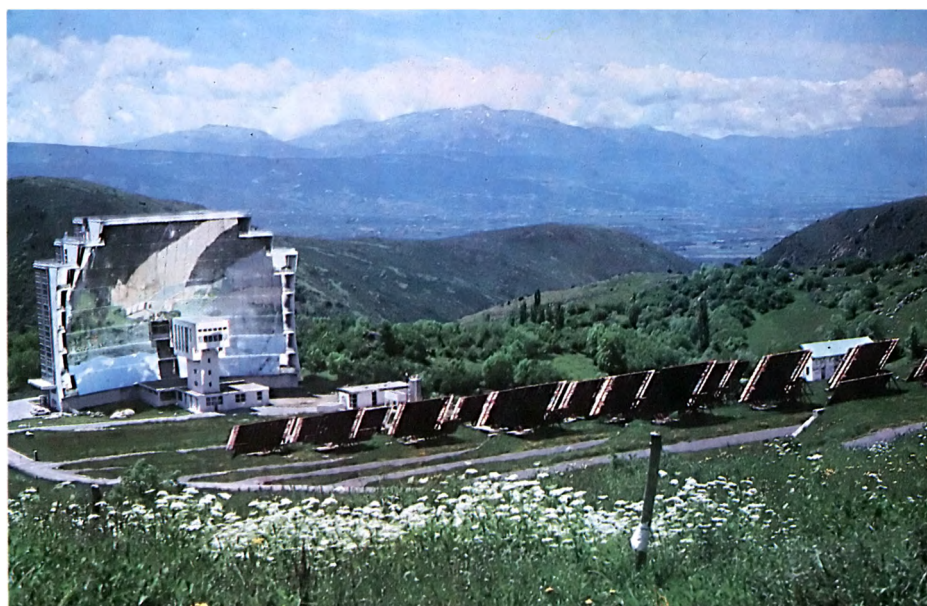
приемник, способный в себя вобрать большое количество солнечного света, превратить его в тепло и отдать его сразу мощной турбине с высокой эффективностью преобразования тепловой энергии в электрическую.

Вероятно, впервые в истории в III веке до нашей эры удалось сконцентрировать большое количество солнечных лучей, когда по совету Архимеда греческие воины с помощью солнечных зайчиков, отраженных от хорошо отполированных медных щитов, подожгли римский флот. Мы уже рассказывали в I главе, как современные опыты подтвердили, что греческие воины вполне могли

Башни солнечных электростанций окружены полем плоских отражателей — гелиостатов, посылающих солнечные зайчики к верхнему этажу башни, где установлен тепловой котел. Накопленная в котле тепловая энергия превращается в электроэнергию.



Большая
солнечная печь
построена
во Франции,
в Пиренеях.
Плоские гелиостаты
направляют
солнечные лучи
на огромное
параболическое
зеркало,
занимающее стену
многоэтажного
здания.
Затем лучи
попадают в печь,
установленную
в белом здании
перед зеркалом.



использовать энергию Солнца в военных целях.

Небольшие солнечные печи создавали и в средние века.

Ньютон в Англии, Ломоносов в России оставили нам проекты солнечных печей.

Самая большая солнечная печь, созданная в наши дни по проекту профессора Ф. Тромба, успешно работает во Франции, в Пиренеях. Диаметр зеркала-концентратора этой печи составляет 54 метра, занимая стену огромного восемнадцатизэтажного здания.

Солнечные печи, на которых плавят и испытывают тугоплавкие материалы, — прообраз больших солнечных электростанций. В них нет основного энергетического узла — системы преобразования света в тепло и электричество.

Один из первых в мире проектов большой солнечной электростанции был разработан в 50-х годах нашего столетия советскими инженерами под руководством профессора В. А. Баума.

Расчеты и эксперименты показали, что самым технически и экономически выгодным является создание станции башенного типа.

Плоские щиты-отражатели устанавливаются на тележках, едущих вслед за Солнцем по небольшому рельсовому пути. Отражатели собирают солнечные лучи на один большой теплоприемник — котел, укрепленный на самом вершине высокой башни, установленной в центре или на краю солнечного поля.

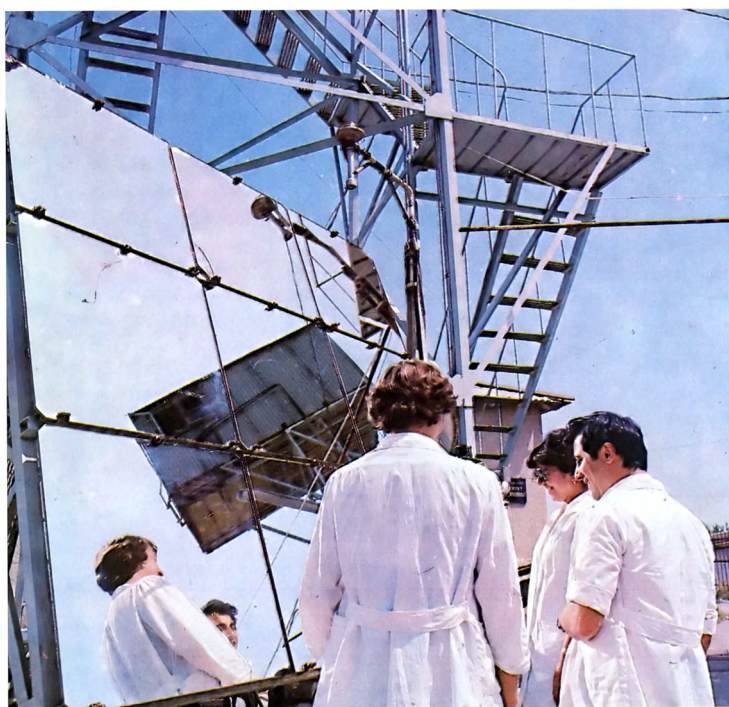
Устремленность вверх — как это характерно для человечества с самых незапамятных времен! Кто сейчас может сказать, не жила ли в сознании создателей первых больших солнечных электростанций подспудная мысль — воспоминание о Вавилонской башне? Той легендарной башне

в древнем Вавилоне, которая всегда являлась символом стремления человека достичь предела своих возможностей. Недаром царь Навуходоносор писал: «Я приложил руку к тому, чтобы построить вершину Вавилонской башни так, чтобы поспорить она могла с небом». На верхнем этаже башни на высоте 85 м над землей возвышался не солнечный котел, а пятнадцатиметровый храм верховного бога Мардука, покрытый золотом и голубыми изразцами...

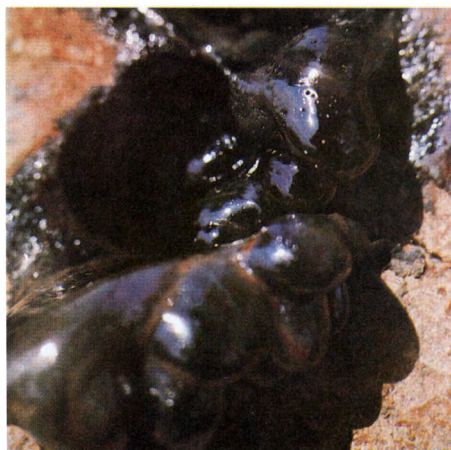
В проекте профессора В. А. Баума и его сотрудников высота башни была всего 30—40 м. Сейчас уже существуют проекты электростанций с башнями высотой



На картине Питера Брейгеля-Старшего, написанной в 1563 году, изображено строительство Вавилонской башни.



Солнечные печи,
созданные учеными
Института
электроники
и Физико-
технического
института АН
Узбекской ССР
в Ташкенте,
легко плавят гранит,
который был
в нашем
представлении
символом твердости.



больше 300 м. Высота телевизионных башен больших стран мира... Не объединятся ли в недалеком будущем эти два замечательных создания человеческого разума? Может быть, когда-нибудь и Эйфелева башня будет увенчана солнечным котлом?

Большие трудности ожидают строителей солнечных электростанций, рассчитанных на получение десятков и сотен мегаватт электроэнергии.

Каждый плоский отражатель-гелиостат имеет площадь около 40 м^2 . Для долговечности, стойкости к непогоде и песчаной пыли отражающая поверхность создается из больших стеклянных зеркал со слоем серебра на внутренней поверхности. Сотни гелиостатов начинают по единой команде искать Солнце и направляют его лучи на вершину башни к котлу. Ювелирно точное и медленное вращение больших и тяжелых гелиостатов должно быть абсолютно надежным. Энергия собранных вместе солнечных лучей так велика, что если они попадут не в котел, а где-нибудь рядом, например на металлические несущие переплеты, то конструкция башни получит серьезный «солнечный удар».

Конечно, первые построенные башни-электростанции будут невысокими — от 20 до 40 м, и гелиостаты сначала выстроятся не в полном составе. Только после опытной проверки основных идей на станциях-макетах башни начнут расти ввысь... Советские ученые проведут свои испытания в Крыму, где скоро будет построена солнечная электростанция башенного типа.

Котлы башенных солнечных электростанций, к счастью, не нуждаются в селективных покрытиях — было бы очень трудно создать покрытие, не улетающее

с поверхности котла при температурах 700—1000°C.

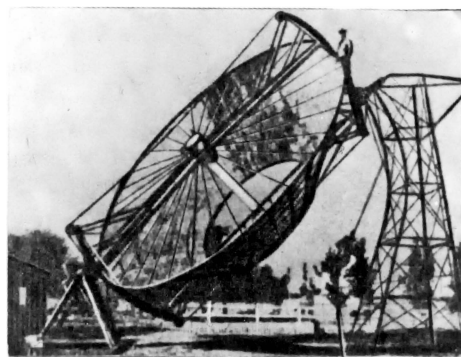
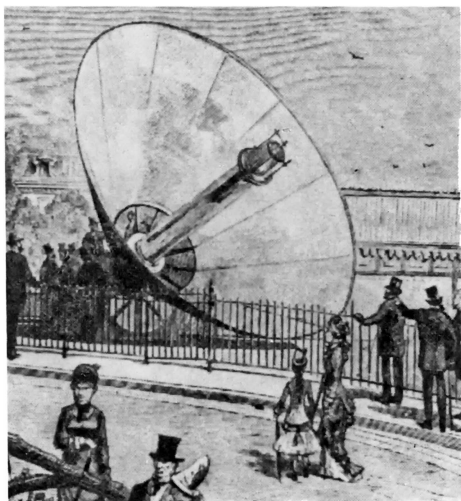
Солнечное излучение, приходящее от гелиостатов к котлам на вершину башни, в сотни раз превышает тепловое излучение самого котла особенно при небольших размерах котла.

Важно не потерять ни одного процента энергии солнечных лучей, попадающих на поверхность котла. Найти стойкую черную краску для высоких температур ничуть не легче, чем создать селективное покрытие. Профессор Дж. Франсиа из Генуи предложил делать приемную поверхность котла в виде сотов из черного металла. Станция успешно работает в Италии и сейчас. Похожую станцию строят в городе Атланта в США.

Устройство маленьких солнечных калориметров, о которых рассказывалось в первой главе, подсказало энергетикам еще одно верное решение: приемную площадку котла надо выполнить в виде полости, углубления. Попадая внутрь полости, солнечные лучи, отразившись несколько раз от стенок, в конце концов полностью поглотятся ими. «Мышеловка» захлопнулась, лучи пойманы! Турбины затем начнут вращать электромоторы, и по линиям электропередач побежит «солнечный» электроток.

А что делать, когда солнце зайдет за тучу? Как получить энергию после захода солнца? Предусмотрено и это. В светлые дневные часы часть энергии солнечной электростанции расходуется на

От солнечной паровой машины инженера А. Мушо на Всемирной выставке в Париже в 1878 году работал печатный станок (слева вверху). На ферме в Калифорнии, где выращивали страусов, в начале нашего века подъем воды тоже осуществлялся с помощью солнечной энергии (слева внизу). Справа — два симметричных изображения солнечной печи, проходящей испытания в Ташкенте: прямое и отраженное в зеркале гелиостата.



«Сердце» любой солнечной электростанции — тепловая машина, на которой перекрещиваются пути всех собранных солнечных лучей. Вверху слева — паровой котел с черными сотами на поверхности, висящий над круглыми зеркалами станции, построенной в Генуе. Внизу на этой и следующей странице — тепловой двигатель Стирлинга, который отличается высоким к.п.д. и отсутствием выхлопных газов. Этот двигатель испытывается ташкентскими физиками.



подъем воды из лежащего неподалеку нижнего водоема в верхний. Ночью воде разрешают стекать обратно вниз с одним условием — вращать при этом лопасти гидроэлектростанции, вырабатывая электроэнергию.

Солнечные электростанции имеют очень высокий теоретический коэффициент полезного превращения света в тепловую энергию: выше 80%. Если турбоэлектростанции затем превратят 35—40% этой энергии в электроэнергию, то солнечные электростанции догонят по эффективности тепловые электростанции, работающие на угле и нефти. При этом небо над солнечными электростанциями всегда будет безмятежно голубым...

Электричество... из морской воды

Взгляды людей с незапамятных времен обращены к морю. Для многих народов дары моря служат основным источником пищи. И только, вероятно, в XX веке

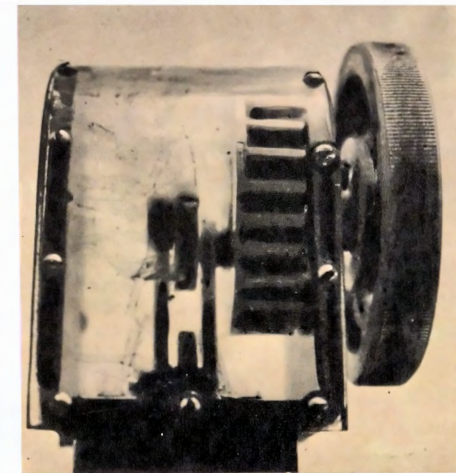


человечество стало все яснее сознавать, что огромные морские и океанские пространства полны не только пищи, но и необъятных запасов топлива. Возникли города на сваях, добывающие из-под толщи морской воды «черное золото» — нефть. Огромные танкеры поползли по морям, оставляя иногда на сверкающей поверхности воды маслянистые пленки нефти...

К счастью, Солнце приходит и здесь на помощь человеку. Не только на суше, но и на поверхности морей и океанов могут быть созданы источники необходимой человеку энергии, причем энергии чистой, не загрязняющей воздух и воду...

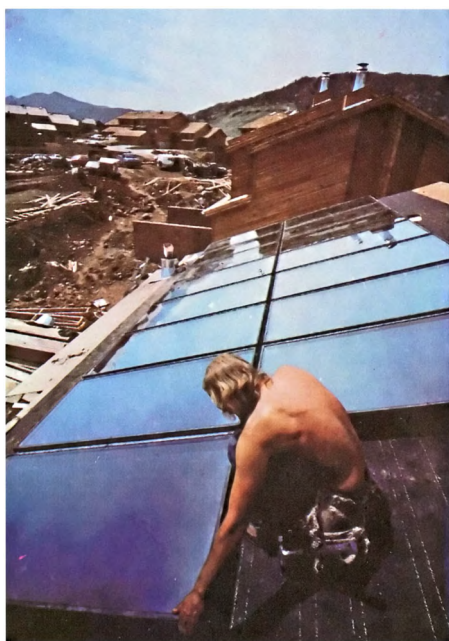
Почти вся земная поверхность между тропиками Рака и Козерога, где ярко светит солнце, покрыта водой. Температура поверхностного слоя воды в этих широтах никогда не опускается ниже $+27,8^{\circ}\text{C}$. К северу и югу от экваториальных вод, в приполярных областях летнее солнечное излучение расплавляет льды, образовавшиеся в зимний период. Холодная вода растаявших льдов опускается в глубины океана и движется к экватору. Так возникают в океане холодные течения.

Исследуется распределение энергии в фокусе большого концентратора солнечных лучей (фото слева).





Опытные
солнечные дома
и коллекторы
проходят испытания
в различных
климатических
условиях.
Многое интересует
исследователей:
не растрескаются ли
зимой прозрачные
окна для коллекторов
на крыше
солнечного дома?
Коллектор
какой конструкции
легче собрать
вручную?
Много ли
дополнительного
тепла может получить
старый дом,
если на его крыше
установить
солнечные
коллекторы?



Температура воды в таких течениях на глубине около 600 метров колеблется от $+1,7$ до $+3,4^{\circ}\text{C}$, в то время как на самой поверхности воды температура составляет от $27,8$ до $29,4^{\circ}\text{C}$. И этот перепад температур существует в океане между тропиками Рака и Козерога на площади в несколько сотен миллионов квадратных километров. Там, где проходят теплые течения, например Гольф-

стрим, перепад температур между верхними и нижними слоями воды тоже значителен: от 15 до 22°C .

Когда имеется разность температур, то может быть построена тепловая машина, преобразующая тепловую энергию в электрическую. Теоретический коэффициент полезного действия такой машины при перепаде температур 27°C составляет 9%.

Теплая вода может подогревать легкокипящую жидкость или газ, например пропан, который начнет расширяться и вращать лопасти турбины. Конечно, реальный коэффициент полезного действия такой тепловой машины будет



невелик — всего 1—2%. Но если даже с таким КПД всю тепловую энергию океана преобразовать в электроэнергию, то на суше уже не нужно будет строить электростанции...

В 1956 году французские ученые установили у западных берегов Африки две экспериментальные тепловые машины, использующие перепад температур в океанской воде. Установки успешно

работали, правда, с небольшим коэффициентом полезного действия. Сейчас установки не используются — французские ученые исследуют возможность улучшения их конструкции.

Американские ученые провели расчеты, сколько электроэнергии можно получить, если преобразовать в электричество тепло, которое несут с собой течения через Флоридский и Мексиканский заливы. Через Флоридский залив Гольфстрим проносит от 28,3 до 42,5 миллиона кубических метров воды в секунду! Ширина течения 32 км, и на протяжении 800 км перепад температур между

ло 30,5 м и общей высотой 67 м. Солнечные башни-электростанции скоро возникнут и в океане... Как назвать такую электростанцию? Океанской, тепловой или солнечной? Конечно, не в названии дело. Важно, что ученые смогли найти еще один источник энергии, объясненный своим происхождением Солнцу. Источник, который может очень помочь человечеству в ближайшем будущем...

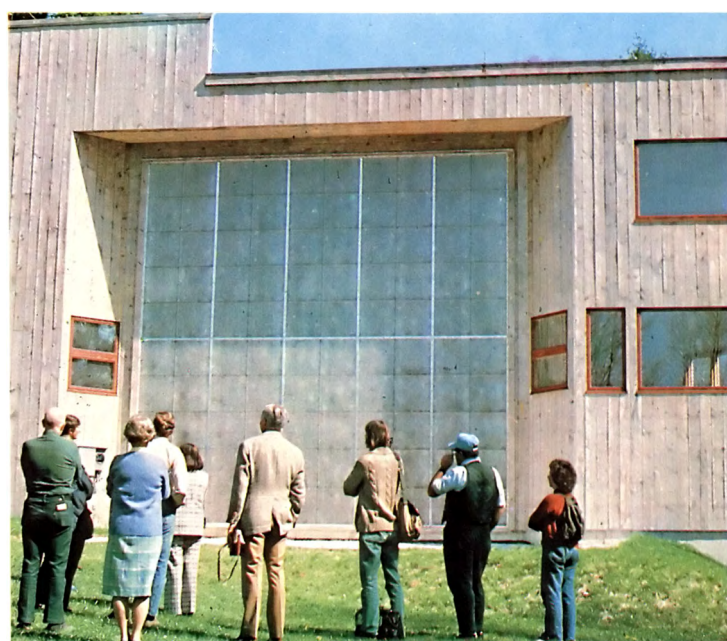
Солнечная энергетика... на колесах

По дороге идет желтая легковая машина и везет на прицепе



поверхностными и глубинными слоями воды сохраняется почти постоянным. Расчеты показали, что если установить преобразователи, имеющие коэффициент полезного действия 2%, на расстоянии 1,6 км один от другого, то можно получить за год 26×10^{12} киловатт-час. электроэнергии.

Каждый из преобразователей напоминает большой вертикальный плавучий буй диаметром око-



ло небольшой дом. У дома голубая крыша, серебристые ставни; зелень деревьев отражается в стеклах окон. Разноцветная автокавалка под наши завистливые взгляды спокойно съезжает с шоссе и углубляется в лес. Хотя это нескромно — подглядывать, давайте последуем за ними.

Когда мы подъезжаем к месту, уже смеркается, и мы видим, что владелец машины и его семья

**Рождается
новая архитектура —
архитектура
солнечных домов.**

В солнечном доме, схема которого показана внизу, через бак-аккумулятор, обычно стоящий в подвале дома, проходят дополнительные теплообменники-змеевики. В зависимости от погоды они несут тепло либо в систему отопления дома, либо в систему кондиционирования.

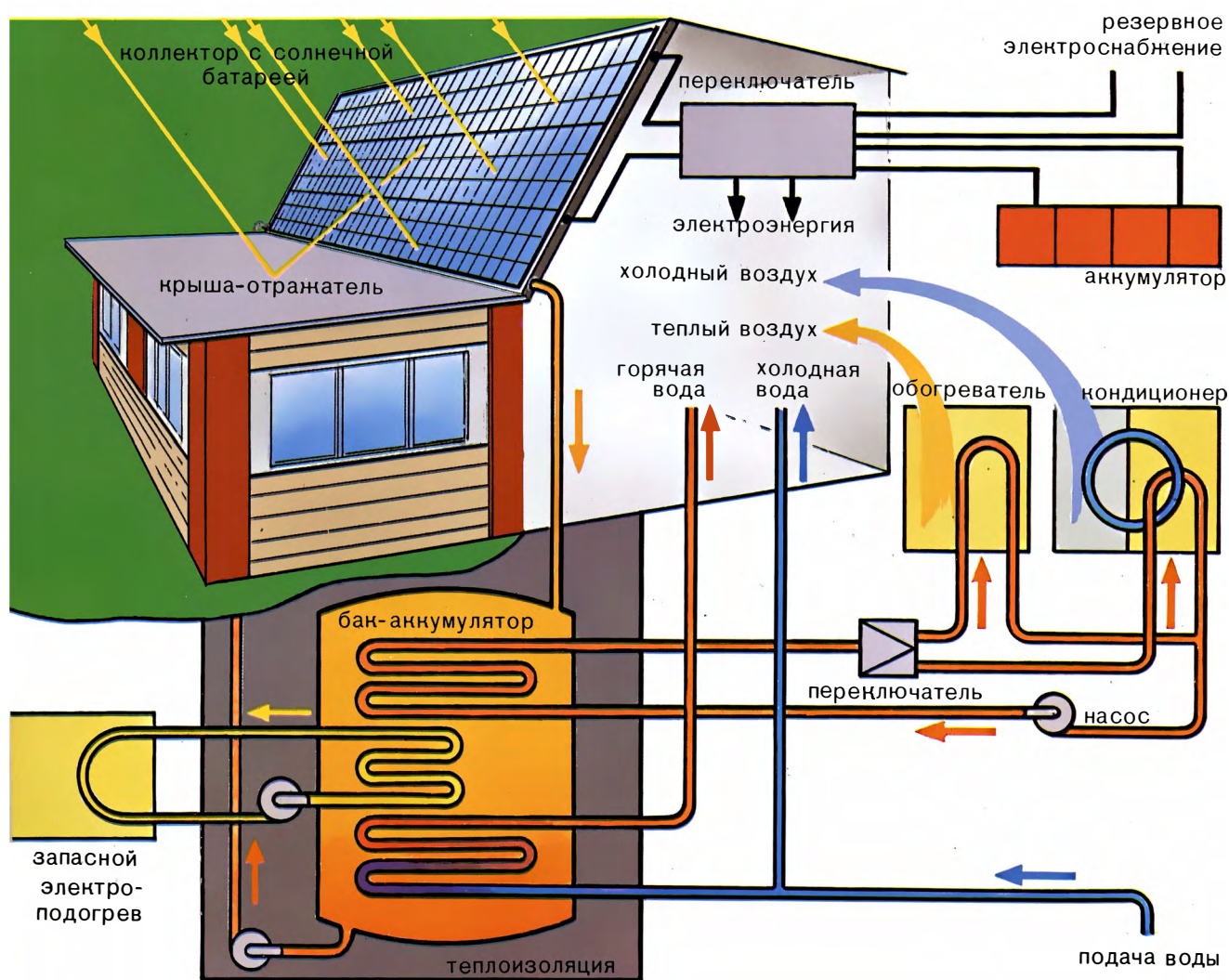
расположились на отдых. Около дома стоит походный разборный душ, течет горячая вода, и в душе кто-то моется. В окнах дома горят уютные лампы, в углу комнаты спокойно урчит холодильник. Семья расположилась в лесу с комфортом. Откуда же взялась в лесу энергия для городских удобств?

Путешественники привезли ее с собой. На крыше. Да, да, не удивляйтесь — это передвижной солнечный дом недалекого будущего, полностью обеспечивающий себя необходимой энергией.

Крыша дома выполнена в виде стеклянной рамы, под которой

проложены тонкие алюминиевые листы с запрессованной в них трубкой-змеевиком, по которой течет вода. На поверхности листов, обращенной к Солнцу, укреплены тонкие пластинки голубых солнечных элементов.

Когда солнечные лучи освещают крышу дома, то электрический ток от солнечных элементов заряжает большие электрохимические аккумуляторы, спрятанные под домом и зажигающие вечером уютные лампы в комнате. Одновременно солнечное тепло передается от полупроводниковых элементов алюминиевым листам,





Уже несколько лет гостиница «Спортивная» в Симферополе получает горячую воду от солнечной установки с плоскими коллекторами площадью около 200 м² и баками-аккумуляторами, хранящими полученное от Солнца тепло.



а от листов — воде, циркулирующей по трубкам. Горячая вода накапливается в резервуаре — большом водяном баке, расположенном под полом дома. Через крышу и бак вода, однажды направленная в систему, циркулирует постоянно, не уходя наружу. А для того чтобы согреть воду, необходимую для душа или мытья посуды, через бак проложены дополнительные трубки-змеевики. Вода забирается из соседнего ручья или речки небольшим насосом (работающим тоже от солнечных элементов или электрохимических аккумуляторов), проходит по змеевикам через бак с горячей водой, нагревается и, теплая, течет, послушная повороту крана-распределителя...

Ночью серебристые створки дома закрывают не только окна, но и крышу, предохраняя дом от безвозвратных потерь тепла в окружающую среду.

На крыше дома установлена также небольшая вакуумная трубка с селективным покрытием, окруженная концентратором солнечных лучей. Внутри трубки кремнийорганическая жидкость, нагреваясь до 150—170°C, поступает





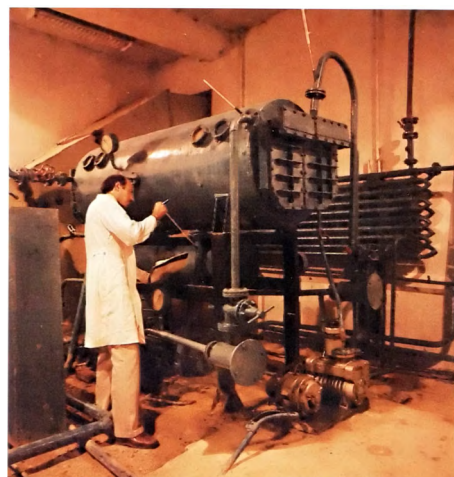
На крыше одного из пансионатов под Москвой проходят испытания легкие алюминиевые коллекторы, разработанные Энергетическим институтом имени Кржижановского вместе с другими организациями страны (вверху слева и справа).

Более десяти лет сотрудники Физико-технического института и Института солнечной энергии в Ашхабаде работают в здании, охлаждаемом за счет солнечной энергии (внизу слева). Агрегаты холодильной машины (внизу справа) установлены в подвале этого дома, а выпаривание охлаждающего раствора происходит на солнечной крыше здания.



в рабочую систему холодильника. От этого тепла греется водно-аммиачный раствор или фреон, который затем, как это обычно происходит во всех холодильниках, испаряясь, отнимает тепло у продуктов, находящихся внутри. Солнце, оказывается, может приносить не только тепло, но и холод!

Не подумайте, что описание передвижного солнечного дома слишком далеко опережает наше время. Стационарные солнечные дома уже успешно работают в нескольких странах мира. А чер-



тежи передвижных домов уже готовы...

В США, при университете штата Дэлэвэр, построен и демонстрируется посетителям большой солнечный дом, на крыше которого установлены панели с тонкопленочными солнечными элементами из сульфида кадмия. Под ними по треугольным желобам-трубам пропускается холодный воздух, который после нагревания используется для отопления дома в зимнее время. Все бытовые электроприборы дома получают ток от солнечных элементов...

В СССР на испытательной станции под Ашхабадом, где проходят опытную проверку преобразователи солнечного излучения, построен лабораторный корпус, который в жаркие летние месяцы охлаждается за счет солнечной энергии. Система охлаждения напоминает большой холодильник — лишь выпаривание охлаждающего раствора происходит на крыше дома благодаря солнечным лучам.

В нашей стране и во многих странах мира — в Японии, Англии, ФРГ, Италии, США, Франции, Болгарии, Румынии — построены дома, которые отапливаются за счет солнечной энергии. На крышах этих домов установлены зачерненные и застекленные нагреватели, в которых вода или воздух подогреваются до 50—60°C и поступают в батареи отопления или трубы, проложенные в стенах домов.

Аккумуляция тепла, как правило, осуществляется подземным баком-аккумулятором. Известный гелиотехник, американский профессор Джордж Леф, построивший в конце 50-х годов для себя и своей семьи один из первых в мире солнечных домов, выбрал для аккумуляции тепла самый дешевый материал — дорожный булыжник. Булыжник заполняет две большие картонные колонны внутри дома. Воздух, согреваясь под черными стеклами на крыше, поступает в колонны и отдает тепло камням. В пасмурные дни лишенные солнца камни медленно возвращают холодному воздуху комнат накопленное солнечное тепло...

Для обитателей таких домов, конечно, очень важно, чтобы система солнечного отопления работала без вмешательства чело-

века и членам семьи не приходилось бы, как только зайдет солнце, бежать из школы или с работы, чтобы разжечь огонь в камине. Обычно в солнечных домах устанавливается газовый или электрический дублер. Температурный датчик, укрепленный на стене в комнате, всегда даст сигнал о том, что система аккумуляции тепла уже не может поддерживать в доме приятную для жизни температуру. Видимо, слишком долго, может три-четыре дня подряд, Солнце не появлялось из-за туч... Автоматика мгновенно откликается на сигнал датчика и включает дублер — обычное отопление.

Несмотря на установку дублеров и, конечно, довольно частое их включение в зимние месяцы, опыт показал, что не только в южных районах, но и в средних широтах солнечное отопление позволяет экономить от 50 до 80% все более дорогостоящего топлива...

Известный русский ученый К. А. Тимирязев писал в начале нашего века: «Когда человек будет утилизировать не часть, как теперь, а всю солнечную энергию, тогда вместо изумрудной зелени лугов и лесов наша планета покроется однообразною, погребально-черною поверхностью искусственных поглотителей света... Земля представит тогда очень грустное зрелище».

Мы, кажется, начинаем использовать все больше солнечной энергии и, как ни странно, не испытываем чувств, предсказанных Тимирязевым. Может, причина в том, что «искусственные поглотители света» в большинстве своем имеют не черный, а темно-синий и голубой цвет? А эти цвета, столь напоминающие небо и море, все любят с раннего детства...



ГЛАВА VI

НОВЫЕ «ПРОФЕССИИ» СОЛНЦА

Солнце — одно, а шагает
по всем городам,
Солнце — мое. Я его никому
не отдам.

М. Цветаева

Конечно, разделить все, что делает Солнце на Земле, на новое и старое очень трудно.

Солнечные опреснители, например, кажутся нам оригинальным изобретением человеческого ума. Но ведь Солнце уже миллионы лет опресняет огромные массы воды: после нагрева и испарения солнечными лучами лишённые соли пары собираются в облака, и затем падают на нас капли дождевой, чистой, пресной воды...

Не менее трудно определить, что в природе делается непосредственно Солнцем. Сжигая уголь и нефть, мы редко вспоминаем о том, что их запасы сделаны Солнцем миллионы лет назад.

В то же время творения человека — гидроэлектростанции не могли бы работать, если бы Солнце не вызывало таяния снегов в горах, в верховьях рек, хотя называть гидроэлектростанцию солнечной никому не придет в голову...

Почти любому техническому изобретению можно найти аналог в живой природе. Разве, например, глаза живых существ не более сложный оптический преобразователь света в другую энергию,

чем солнечные элементы? Недаром в наше время пристально изучают природу не только биологи, но и физики, химики, инженеры. Им удалось обнаружить, что несмотря на невероятное многообразие процессов преобразования энергии, происходящих в природе под влиянием Солнца, коэффициент полезного действия этих процессов, как правило, невелик.

Еще в 20—30-х годах нашего столетия даже крупные физики считали, что «пока живое растение остается наиболее совершенной солнечной машиной».

Сейчас ученые установили достаточно точно, что солнечные элементы по коэффициенту полезного действия намного превосходят растения. Ученые не только подтвердили экспериментом свои расчеты, но объяснили причину полученных результатов: зеленому листу для освобождения одного электрона необходимы восемь квантов света, а полупроводниковому фотоэлементу нужен для этого только один квант. К тому же приемник света в зеленых листьях — хлорофилл полезно использует для процесса фотосинтеза очень небольшую

Заходящее Солнце освещает фототермические преобразователи, усваивающие солнечный свет намного лучше, чем живые растения (фото слева).

Солнце полезно,
но в меру.
Медицинские сестры
в белых халатах
на пляже в Ялте
предупреждают
об этом
отдыхающих.



часть солнечного спектра, в основном синие и красные лучи. Этим определяется и окраска растений — ведь отражаются от листьев преимущественно зеленые лучи.

Вероятно, правильное было бы считать новыми в использовании солнечного света не только процессы, основанные на оригинальных физических идеях, но и механизмы преобразования, уже миллионы лет знакомые природе и с помощью человека ставшие необыкновенно эффективными. Лю-

ди готовы применить открытия науки о Солнце не только для получения электроэнергии или отопления домов, но и для улучшения здоровья...

Солнечная медицина

Мысль о лечении светом возникла у людей очень давно. В «Естественной истории» Плиния упоминается о том, что воины в Древнем Риме прижигали раны солнечными лучами, используя для фокусировки стеклянные колбы с налитой в них водой...

Но только в последние годы ученым удалось понять основные явления, происходящие в организме человека при воздействии света, и оценить медицинскую роль каждого из участков солнечного спектра.

Особенно беспокоило исследователей влияние ультрафиолета. Всем известно покраснение и воспаление кожи под действием этих лучей, возникающее при неосторожном желании быстро превратить белую кожу в загорелую на пляже или высоко в горах.

У человека выработалось несколько способов самозащиты: быстрее растет слой поверхностных клеток кожи, не пропускающих ультрафиолет в глубь ткани; расширяются сосуды, увеличивая приток крови; кожа охлаждается за счет испарения пота, пот к тому же поглощает часть ультрафиолетовых лучей. И наконец, самый действенный способ — накопление в нижнем слое кожи темно-коричневого, почти черного вещества — меланина.

Меланин поглощает не только ультрафиолетовые, но и видимые и даже инфракрасные лучи солнечного спектра. Меланин состоит из больших разветвленных полимерных молекул с сетчатой структурой и, как оказалось, не только



ослабляет тепловое действие солнечных лучей, но и ловит в свои сети осколки разрушенных ультрафиолетом жизненно важных для организма молекул белков и нуклеиновых кислот. Перехваченные меланином осколки разрушенных молекул не проникают в кровь, во внутренние органы человека. Цепь нарушений, часто приводящая к образованию большого числа опухолевых клеток, прерывается...

Медицинская статистика уста-

новила, что у людей с кожей темной, сильно пигментированной, заболевание раком кожи происходит в 10 раз реже, чем у людей с молочно-белой кожей. Меланин явно предохраняет не только от перегрева...

Много активных осколков молекул образуется в организме при заболеваниях лучевой болезнью, при случайных облучениях большими дозами рентгеновского и гамма-излучений. Меланин, находящийся в коже, не может

Вряд ли кто-нибудь из этих безмятежно загорающих людей думает о том, что солнечные лучи не только ласково греют, но и образуют важный для человеческого организма витамин «Д».

задержать эти лучи — они проникают свободно сквозь любые ткани тела. Тогда медики попробовали выделить меланин в чистом виде, растворить его в слабой щелочи и ввести в кровь больного. Разрушительное действие проникающих излучений оказалось сильно ослабленным. «Солнечная» медицина протянула руку помощи «ядерной» медицине...

На поверхности человеческой кожи под действием ультрафиолета происходит еще один интересный процесс: дегидрохолестерин и эргостерин, находящиеся в кожной смазке, превращаются в витамин «Д» и всасываются в кровь. Сальные железы кожи человека ежедневно вырабатывают более 20 граммов кожной смазки, которая придает коже эластичность и, если человек не прячется от солнечных лучей (но и не слишком злоупотребляет ими), поставляет ему жизненно важное вещество. Без витамина «Д» невозможно усвоение кальция из пищи, а кальций входит в состав костей, уплотняет оболочки клеток и тканей, регулирует активность ферментов. Очень тяжело переносят отсутствие ультрафиолета Солнца больные туберкулезом: кальций помогает образованию известковых отложений, ограничивающих воспалительные очаги в легких.

Биохимики Украины решили воспроизвести природный процесс получения витамина «Д» под действием ультрафиолетовых лучей. Это пришлось делать весьма осторожно: ультрафиолет с очень короткой длиной волны разрушает витамин «Д». Ученые использовали оптические фильтры, поглотившие из спектра излучения ртутных ламп «вредные» ультрафиолетовые лучи и пропустили полезный невидимый свет. После этого процесс получения витамина

«Д» из таких веществ, как холестерин, удалось воспроизвести на лабораторном столе...

Витамин «Д» очень нужен детям, больным рахитом, у которых из-за отсутствия необходимого количества кальция кости становятся мягкими и легко искривляются под тяжестью тела. Постоянно нужен он и взрослым. И конечно, лучше всего получать его от Солнца и от солнечных ламп...

Как мы видим, ультрафиолет Солнца опасен только в излишне больших дозах. Чувство меры, впрочем, необходимо человеку не только при общении с солнечными лучами...

Ультрафиолет Солнца незаметно, но активно влияет на многие процессы, происходящие на Земле и связанные со здоровьем людей. Под его влиянием, например, ионизируется воздух в горных районах или на больших, хорошо освещенных открытых пространствах. Горным воздухом легко, приятно и полезно дышать. Всем, кто бывал в горах, хорошо знакомо возникающее там чувство легкости и подъема. Будто в крови закипают пузырьки и слегка приподнимают нас над землей... В этом виновата не только разреженная атмосфера, но и ультрафиолет Солнца.

Инфракрасные лучи Солнца, обладающие значительно большими длинами волн, чем ультрафиолетовые, проникают глубоко под слой кожи и вызывают заметное тепловое действие, очень полезное при многих видах заболеваний.

Недавно ученые установили, что у видимых и инфракрасных лучей Солнца есть еще одно неожиданное лечебное назначение: восстанавливать дефекты в живых системах, возникающие под действием ультрафиолета.

Оказывается, даже потемнение кожи при загаре под действием

ультрафиолета происходило бы значительно быстрее, если бы не смягчающее действие видимых и инфракрасных лучей.

Кроме целительного света, для восстановления свойств поврежденной живой ткани нужен еще фермент и... время, чтобы успеть залечить дефекты, созданные ультрафиолетом. Колония бактерий, облученная дозой ультрафиолета, обычно вызывающей гибель всех клеток, после освещения обычным рассеянным дневным светом сохраняет в живых более 50% клеток.

Изучается особенность света залечивать повреждения, вызываемые ядерными излучениями. Вполне возможно, что на этом пути исследователей ждут большие удачи и против вредных для человека излучений будут скоро выставлены в недремлющем дозоре «защитники» — солнечные лучи...

Топливо жизни

Говоря об энергетических системах, мы часто забываем о самой простой и неприхотливой из них — мускульной силе человека. А ведь до самого недавнего времени эта энергия была основной для технического развития многих стран. Но даже когда промышленность полностью перестанет нуждаться в этой энергетической силе, мы будем заботиться о ее развитии, о необходимом для человека «топливе» — разнообразной вкусной пище и кислороде. Без Солнца, конечно, здесь не обойтись...

Исследователи Солнца никогда не забывали об использовании энергии световых лучей для непосредственных потребностей человека.

Известный астроном Джон Гершель, сын первооткрывателя инфракрасных лучей, еще в про-

шлом веке, проводя на мысе Доброй Надежды в Африке наблюдения за Солнцем и планетами, занимался приготовлением пищи с помощью... солнечного света. Стекланный колпак позволял пропускать к сырым продуктам солнечные лучи и не выпускать наружу полученное от Солнца тепло.

В записях Джона Гершеля читаем: «...Было проделано несколько опытов: яйца, фрукты, мясо и т. д. выставлялись для облучения солнечными лучами (21 декабря



Еще М. В. Ломоносов в шутивном стихотворении предлагал зажигать табак в трубках солнечным «небесным огнем». В наши дни широко используются солнечные установки для сушки табака, овощей и фруктов, созданы солнечные кухни. Вверху — солнечная кухня конструкции Марии Телкес.

Внизу — солнечная кухня, разработанная в Физико-техническом институте АН Узбекской ССР.



На таком жарком
«небесном огне»
обед станет горячим
через несколько
минут.



1837 года). И все это после определенного промежутка времени оказалось прекрасно приготовленным».

Гелиотехники XX века предложили жителям южных стран несколько портативных конструкций солнечных кухонь. Как правило, они снабжаются легким, складывающимся концентратором солнечных лучей, благодаря которому обед на солнце удастся приготовить за двадцать — тридцать минут.

Известная американская исследовательница Мария Теллес решила, что бывают случаи, когда человек должен быть снабжен не только переносной солнечной кухней, но и походным опреснителем соленой воды. Например, при

длительных морских путешествиях или — и это стоит предусмотреть! — при кораблекрушениях... Во время второй мировой войны Мария Теллес изобрела новую конструкцию солнечного опреснителя, представляющего собой надувную прозрачную пластмассовую подушку. Одна из сторон подушки сделана из черной ткани, хорошо впитывающей соленую воду. Если подушку-опреснитель бросить в море (черной материей вниз), то под действием солнечных лучей морская вода с мокрой материи будет испаряться внутри подушки, и пресные пары начнут собираться каплями на верхней части прозрачной оболочки. Внутри подушки будет накапливаться пресная вода, и



продуктов — пищи животных и человека. Многие сумели ученые узнать о взаимодействии света и вещества, но некоторые детали процесса фотосинтеза, происходящего в зеленых листьях под действием солнечных лучей, нельзя еще считать до конца выясненными... Основные стадии фотосинтеза установлены: в результате поглощения зеленым пигментом листьев — хлорофиллом — солнечного света происходит разложение содержащейся в клетках воды с выделением водорода; водород затем используется для восстановления углекислого газа; в результате этой химической реакции образуется сахар и кислород. Солнечный свет позволяет листьям дышать углекислым газом атмосферы и снабжать человека чистым кислородом; свет превращает воду листьев и углекислый газ в органическое

На одной из международных выставок исследователи разных стран с гордостью демонстрировали созданные ими солнечные кухни.

терпящие бедствие на море не погибнут от жажды...

Значительно более трудным оказалось проникновение в тайну создания Солнцем органических



Солнечная кухня, похожая на складной зонтик, из зеркальных металлических лепестков. Испытывается в Ташкенте.



В стеклянных теплицах, сохраняющих тепло солнечных лучей в толстых стенах-аккумуляторах, созревают свежие овощи.

топливо жизни. Общий коэффициент полезного действия процесса фотосинтеза, как упоминалось в начале этой главы, оказался сравнительно невелик. Измерения показали, что для производства одной молекулы кислорода затрачивается не менее восьми — десяти квантов света.

Исследователи углубились в изучение всех стадий процесса. Оказалось, что между основными реакциями происходит множество побочных; передача энергии света идет по длинной цепочке, в ней участвуют биологически активные ферменты, органические молекулы, ионы магния.

Профессору М. Кальвину из США удалось экспериментально воспроизвести заключительную стадию фотосинтеза — восстановление углекислого газа, происходящее уже без света, но с помощью природных катализаторов. За эту работу М. Кальвин был удостоен в 1961 году Нобелевской премии по химии. Совсем недавно американские химики смогли синтезировать в лаборатории хлорофилл. Советские биологи получили из растений фермент гидрогеназу,



Бассейн в Ташкенте для выращивания под действием солнечного света быстрорастущей морской водоросли хлореллы.

В теплицах южных городов нашей страны почти круглый год собирают огурцы и помидоры.



участвующий в выделении водорода из воды.

Во многих лабораториях мира пытаются создать искусственные системы, имитирующие процесс фотосинтеза. Успешно работает в этом направлении профессор А. Е. Шилов, ученик академика Н. Н. Семенова. Ему уже удалось подобрать активные восстановители, например амальгаму алюминия, для превращения углекислого газа в формальдегид и осуществить фоторазложение воды за счет изменения валентности некоторых металлических ионов.

Совсем недавно японские и немецкие ученые сумели добиться разложения воды на водород и кислород, осветив опущенные в воду полупроводниковые пластинки



из двуокиси титана (анод) и фосфида галлия (катод) ультрафиолетовым светом. Эти результаты позволяют надеяться, что в скором будущем для получения водорода будут использоваться только морская вода и солнечный свет. Водород превосходит по количеству тепла, выделяемого на единицу веса, все остальные виды топлива; водород легко хранить и перевозить; при его сжигании не образуются загрязняющие воздух газы.

Недавно был разработан фотоэлемент из органического вещества фталоцианина, по своему строению очень напоминающего хлорофилл зеленых листьев. Этот фотоэлемент, правда, преобразует в электроэнергию пока лишь 0,5% энергии солнечного света...

В больших масштабах проводятся сейчас опыты по получению органических продуктов из освещаемых солнечными лучами быстро растущих растений. Оказалось, что лучше всего солнечный свет используется клетками микроскопических морских водорослей — хлореллы. «Созревшая» на свету хлорелла может быть помещена в закрытые бассейны, где особые бактерии быстро превратят ее в газ метан — исходное сырье многих химических производств и хорошее топливо. Голубой огонек природного метана горит во многих обычных (не солнечных) кухнях мира.

Не до конца ясен сложный процесс влияния света на рост зеленых растений, но уже сегодня удастся увеличить его эффективность. Московские и ташкентские ученые, облучая перед посевом семена различных растений, в том числе пшеницы, свеклы, хлопчатника, короткими импульсами солнечного света, получили увеличение урожая (по сравнению с необлученными семенами на 20—30%.



Большие площади сельскохозяйственных культур уже засеваются в нашей стране семенами, получающими благотворный солнечный свет перед посевом. Ученые предполагают, что свет не только улучшает обмен веществ в клетках семян, но и полезно влияет на наследственность семян, на генетический аппарат клетки.

К. А. Тимирязев однажды написал, что «солнечным лучом... создается мускул, производится кровь, формируется мозг. Быстрые движения льва, скачки пантеры, полет орла, проворство змеи — все это от Солнца. Оно рождает леса и рубит их; сила, производящая дерево и управляющая топором, — одна и та же».

Если в фокус такой солнечной установки, созданной в Армении, поместить семена овощей и зерновых перед посевом, то в хорошем урожае можно не сомневаться.

Будем надеяться, что успехи науки никогда не дадут топорам победить деревья...

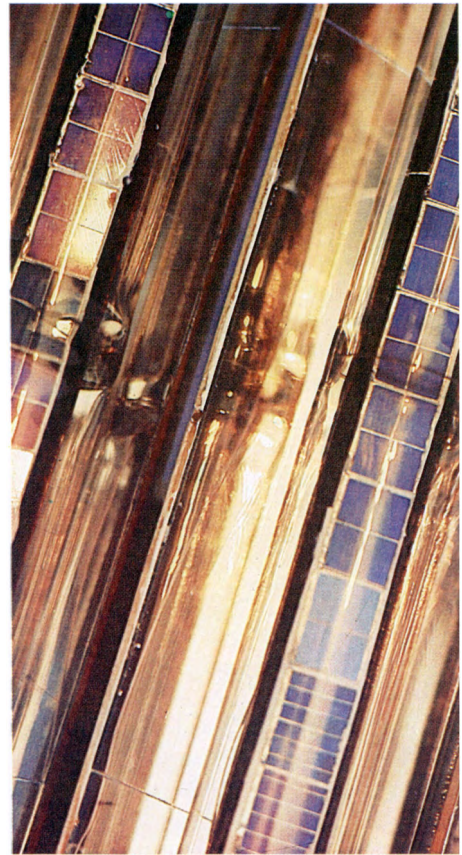
Стеклянные трубки с вакуумной изоляцией и фотоэлементами (справа) позволяют превратить в тепло и электричество до 75% энергии солнечного света. Если такую трубку поместить в фокус длинного параболического концентратора, то получаемой энергии будет достаточно для работы холодильника и освещения дома.

В страну Солнца

Коэффициент полезного действия тех или иных преобразователей энергии Солнца зачастую невелик из-за того, что небольшая часть солнечных лучей может быть полезно ими использована. Известно, например, что разложить воду на кислород и водород на поверхности полупроводниковой пластинки способны лишь ультрафиолетовые лучи, которых мало в спектре Солнца. Исследователи решили попробовать соединить вместе преобразователи Солнца различных видов. Каждый будет



забирать свою долю лучей, и общий коэффициент полезного действия резко возрастает. Правда, некоторые приемники солнечных лучей так разнородны по физическим принципам и конструкции, что трудно представить их совместную



работу. Помните, какими словами у Пушкина описана встреча холодного Онегина с пылким Ленским:

Они сошлись. Волна и камень,
Стихи и проза, лед и пламень
Не столь различны меж собой.

В этой книге уже встречались примеры совмещения несовместимого. Например, холодильник, работающий от Солнца. Значит, «пламень» может давать «лед»? Современная гелиотехника заставляет нас поверить в это. И от Солнца могут быть по желанию получены то холод, то тепло...

Казалось бы, что общего между солнечной батареей из тонких полупроводниковых пленок и металлическими листами, нагревающими воду или воздух на крыше дома? А ведь их уже удалось объединить. Крыша эксперименталь-

ного солнечного дома в университете штата Дэлавер в США, о котором мы упоминали, покрыта панелями с тонкопленочными солнечными элементами из сульфида кадмия. Такая «фототермическая» крыша около 3% энергии света превращает в электроэнергию и 47% — в тепло. Совсем немного электроэнергии позволяют получить фотоэлементы из сульфида кадмия, но здесь важно другое: впервые на практике доказана возможность комбинированной выработки тепла и электричества солнечными элементами.

Если для создания фототермического преобразователя использовать наиболее удачные конструкции солнечных элементов и



Морской опреснитель Марии Теллес, представлял собой подушку из черной материи с прозрачным пластмассовым верхом.



Две тысячи овец в пустыне Каракумы пьют свежую пресную воду, получаемую в этом стеклянном солнечном опреснителе из соленых подземных вод.

Справа — одна из конструкций комбинированных солнечных установок (вид сбоку).

Плоские линзы Френеля фокусируют солнечное излучение на фотоэлементах, отдающих избыточное тепло воде, протекающей по трубкам под фотоэлементами.

Под Ашхабадом испытывают различные устройства для нагревания воды Солнцем.



теплоприемников и удачно их сочетать, то коэффициент полезного действия может быть значительно увеличен. Расчеты и эксперименты показали, что линейный теплоприемник — вакуумная трубка с двойными стенками, у которой селективное покрытие заменено на фотоэлементы, — имеет эффективность 75%. Конечно, это была не простая замена; для фотоэлементов удалось разработать особые многослойные пленки, которые пропускают все солнечное излучение в глубь полупроводника, а тепловому излучению не позволяют уходить наружу. Все тепло достается теплоносителю — воде или воздуху, пропускаемым внутри трубки. Если для такого преобразователя использованы кремниевые солнечные элементы, то 10—15% света превращается в электроэнергию; если солнечные элементы из арсенида галлия, то даже 20—22%. Кроме этого, около 55—60% энергии света преобразуется в тепловую энергию.

Над такой «чудо-трубкой» может быть помещена недорогая плоская линза из органического стекла, собирающая солнечные лучи в длинную узкую полоску.

Фокус линзы может выглядеть не как полоса, а как пятно. В ослепительно ярком фокусном пятне интенсивность солнечных лучей в 50—100 раз превышает обычную. Под каждой такой линзой устанавливается только один фотоэлемент, что очень удешевляет конструкцию фотопреобразователя. Из линз с фотоэлементами набирают, будто мозаичную картину, большую солнечную панель, а сами фотоэлементы под ними укрепляют на общем металлическом основании с двойными стенками, между которыми течет вода.

Вероятно, комбинированные солнечные системы в будущем смогут

генерировать электроэнергию гораздо больше, чем тепла.

Считалось, что коэффициент полезного действия солнечного элемента даже в идеальном случае не превышает 24—26%. Сейчас разработаны теоретические модели, доказавшие, что можно сделать фотоэлемент, преобразующий в электричество от 30 до 93% энергии света. Собрать полностью все заряды, рождаемые внутри полупроводника, удастся пока лишь в теории, эксперименты по проверке новых моделей только-только начались.

Ближе всего к практическому осуществлению идея каскадного «слоеного» солнечного элемента. Представьте себе, что друг под другом лежат три солнечных элемента. Верхний преобразует в электроэнергию ультрафиолетовые лучи Солнца, а пропускает сквозь себя видимые и инфракрасные; средний использует видимые лучи и прозрачен для невидимых инфракрасных, которые превращаются в электричество нижним фотоэлементом. Каскадный солнечный фотоэлемент не дает пропасть ни одному кванту света...

Каскадные системы могут быть сделаны не только из одних фотоэлементов. Советские ученые Ю. Н. Малевский и Б. В. Тарнижевский создали солнечные каскады «фотоэлемент-термоэлемент»: тыльная поверхность солнечного элемента из арсенида галлия соединена с горячим спаем полупроводникового термоэлемента, преобразующего тепло в электроэнергию. Тепло фотоэлемента, нагреваемого в фокусе оптической линзы до 200—250°C, не исчезает безвозвратно...

Комбинированные системы получения энергии будут широко использоваться в большой и малой энергетике будущего. И не только в энергетике.

Выхлопные газы автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, работающим на бензине, загрязняют атмосферу Земли сейчас, вероятно, не меньше, чем тепловые электростанции. Один физик подсчитал, что, проехав 850 километров, автомобиль расходует столько кислорода, сколько человеку нужно на целый год.

Надежды исследователей обращены сейчас на электромобиль, использующий для движения не бензин, а электроэнергию электрохимических аккумуляторов. У обычных аккумуляторов пока хватает «электрической силы» без подзарядки лишь на 70—80 километров пробега электромобиля. Значительно «энергичнее» топливные электрохимические аккумуляторы, в которых водород и кислород, подаваемые из баллонов к электродам, превращаются в воду и «по дороге» генерируют электроэнергию. Воду можно, как мы уже говорили, с помощью энергии солнечного света снова разложить на водород и кислород, и... снарядить электромобиль в дальнейший путь. Если бы вода и энергия чуть-чуть не терялись по пути, можно было бы считать, что, наконец, изобретен вечный двигатель...

Жизнь человечества будет все больше сплетаться с солнечным светом. Мы присутствуем сейчас в самом начале новой «солнечной эры», эры использования энергии и неисчерпаемых возможностей солнечных лучей во всех областях человеческой деятельности. Зnamenательно, что именно в наши дни появился проект запуска на орбиту вокруг Земли огромного количества пленочных зеркал, которые могли бы освещать отраженным солнечным светом ночную сторону Земли. Человек хочет изгнать ночь с лица Земли, наполнить свою жизнь Солнцем!

Художник
БОРИС КЫШТЫМОВ

Фотографии
НИКОЛАЯ ЗИМИНА

В книге использованы также фотографии Джона Фэрбера (США) и материалы, предоставленные агентством «Интернэшнл Пресс Сервис», Министерством энергетики США (с. 126 — с разрешения лаборатории «Сандиа», г. Альбукерк; с. 57 — с разрешения компании «Нортроп», г. Хатчинз, Техас; с. 88 — с разрешения компании «Мобил-Тайко Солэр Энерджи Корп.»).

На первом форзаце

Старинная гравюра со схемами оптических устройств, фокусирующих солнечные лучи.

На втором форзаце

Современный проект электростанции в космосе.

На разворотном титуле

Каменная плита (1350 г. до н. э.), на которой изображено поклонение Солнцу в Древнем Египте.

ДЛЯ СРЕДНЕГО И СТАРШЕГО ВОЗРАСТА

Марк Михайлович Колтун

СОЛНЦЕ И ЧЕЛОВЕЧЕСТВО

ИБ № 2899

Ответственный редактор Г. В. МАЛЬКОВА
Художественный редактор О. К. КОНДАКОВА
Технический редактор Т. Д. ЮРХАНОВА
Корректоры М. Ю. МЕРПЕРТ и Э. Н. СИЗОВА

Сдано в набор 16.07.80. Подписано к печати 26.01.81. А06929. Формат 74×104¹/₁₆. Бум. офс. мелов. «Семимат» № 1. Шрифт обычн. Печать офсетн. Усл. печ. л. 11,44. Усл. кр.-отт. 47,2. Уч.-изд. л. 11,89. Тираж 100 000 экз. Заказ № 1831. Цена 2 р. 50 к. Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Детская литература» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, Центр, М. Черкасский пер., 1. Ордена Трудового Красного Знамени фабрика «Детская книга» № 1 Росглавополиграфпрома Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, Суэцкий вал, 49.

Колтун М.

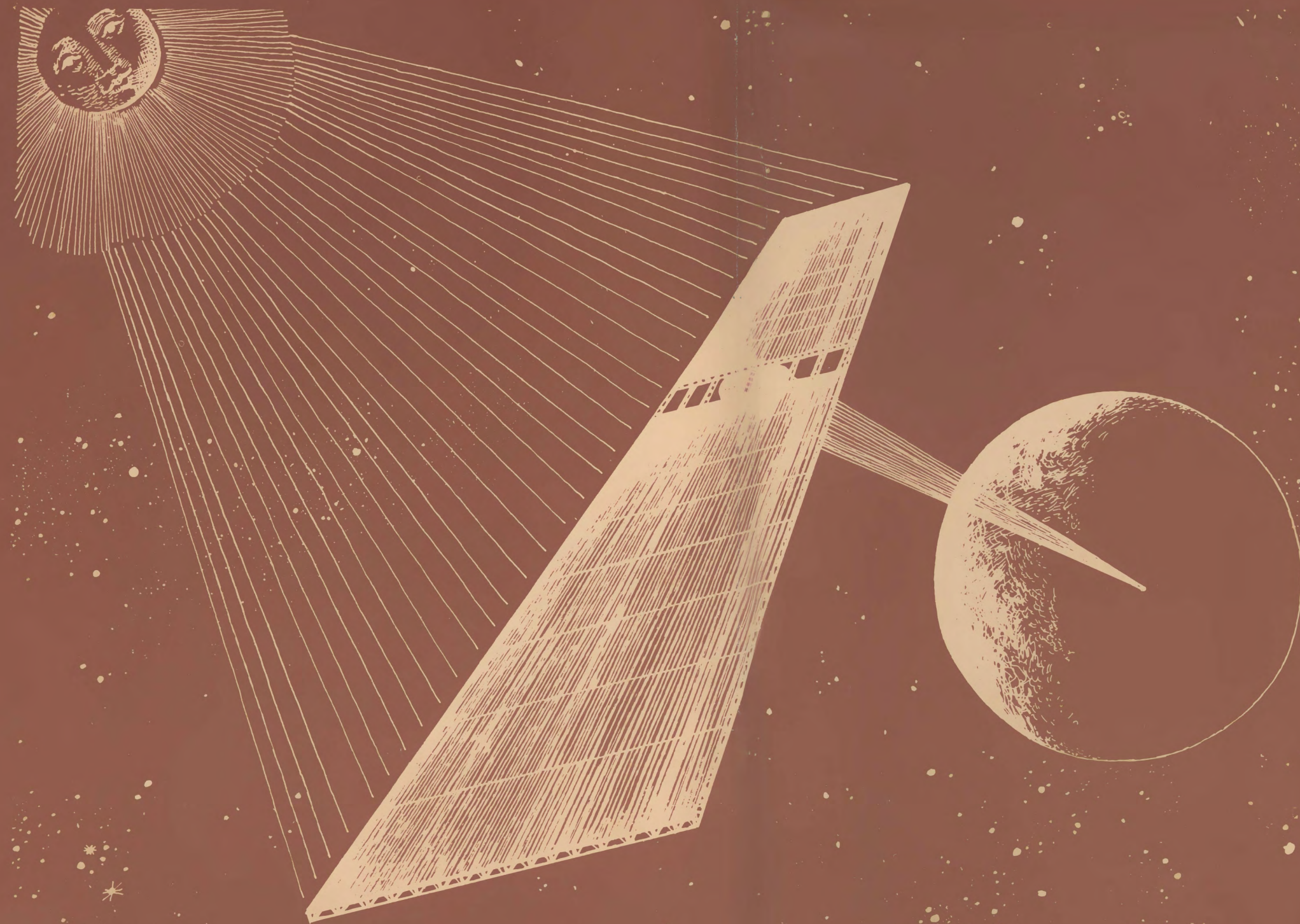
К61 Солнце и человечество: Научно-художественная лит-ра. — М.: Дет. лит., 1981. — 127 с., фотоил.

В пер.: 2 р. 50 к.

Автор книги, доктор технических наук, профессор, рассказывает о различных сторонах взаимоотношений человечества и Солнца, о современных способах использования солнечной энергии.

К $\frac{70803-214}{М101(03)81}$ 444—81

ББК 22.652
526



2 р. 50 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО "ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА"