



**КАК**



**ИЗУЧАЮТ**

**ВСЕЛЕН**

**НУЮ**



# КАК ИЗУЧАЮТ ВСЕЛЕННУЮ



Издательство «Знание»  
Москва  
1965

*Научный редактор —  
доктор физико-математических наук,  
профессор К. А. КУЛИКОВ*

---

**Н**ебесные тела удалены от Земли на колоссальные расстояния. Единственной нитью, связывающей нас с космическими объектами, служат те лучи света, или, точнее, то электромагнитное излучение, которое посылают они к Земле.

Вселенная пронизана светом видимым и невидимым. Все без исключения небесные тела в той или иной степени излучают электромагнитные волны разной длины. Уловленные и исследованные человеком, они становятся вестниками тех удивительных событий и процессов, которые совершаются в мироздании.

Луч света от небесного объекта можно изучать по-разному. Измерив угол, который он образует с некоторым основным направлением отсчета (например, вертикальной линией), возможно тем самым определить видимое положение светила на небесной сфере. Этим занимается астрометрия — раздел астрономии, играющий важную роль как в теоретических исследованиях, так и в земной практике, в частности при измерении времени и определении местоположения на Земле.

Если небесное тело перемещается в пространстве, то изменяется и его положение на небе. Значит, измеряя направление приходящих к нам из космоса лучей, можно узнать не только о движении тел солнечной системы, но и о полете в пространстве далеких звезд.

Изучением движений небесных тел и законов, управляющих этими движениями, занимается небесная механика.

Интересно исследовать и физические свойства пойманного луча. Можно прежде всего измерить интенсивность луча, то есть количество энергии, которую он несет. Это даст сведения о видимой яркости, или, точнее, блеске небесного светила, который зависит как от расстояния до небесного тела, так и от его физических качеств (размеров, температуры, характера излучения). Изучив методами спектрального анализа состав луча, можно узнать не только из каких химических элементов состо-

ит пославшее луч небесное тело, но и другие его физические характеристики, например температуру. Подобные физические исследования излучения небесных тел составляют предмет астрофизики.

Человеческий глаз воспринимает лишь весьма небольшую долю из всевозможных излучений, существующих в природе. Мы видим только те из электромагнитных волн, длина которых заключена в пределах от 400 до 760 миллимикрон. Между тем небесные тела излучают во всех длинах волн, и иногда их излучение в невидимой части спектра значительно интенсивнее их видимого излучения.

Астрономы научились исследовать не только видимые, но и невидимые глазом лучи. В частности, безграничные возможности открылись при наблюдениях в радиодиапазоне. Радиоволны, посылаемые на Землю небесными телами, принесли нам такую информацию об их природе, которую иными способами получить невозможно. Изучением этой информации занимается радиоастрономия.

Немало ценных сведений о физической природе небесных тел дает исследование других невидимых частей их спектра. Особенно интересно коротковолновое излучение Солнца и длинноволновое «инфракрасное» излучение планет. За последние годы в этой области достигнуты настолько большие успехи, что уже поговаривают о выделении таких новых разделов астрофизики, как гамма-астрономия, инфра-астрономия, астрономия «далекого ультрафиолета», или, иначе, рентген-астрономия.

Солнце и звезды непрерывно выбрасывают в пространство потоки мельчайших электрически нейтральных частиц веществ — нейтрино. При некоторых условиях эти частицы могли бы дать нам весьма ценную информацию о процессах, происходящих в недрах Солнца и звезд. Не исключено поэтому, что в будущем возникнет еще одна отрасль астрофизики — нейтринная астрономия.

Как это ни удивительно, но даже живое, по-видимому, может сигнализировать о своем существовании через посредство электромагнитных волн. Астробиология — наука о жизни в космосе — родилась на основе изучения оптических свойств марсианских «морей». И до сих пор оптические методы при астробиологических исследованиях остаются пока преобладающими.

Новые и старые, «классические» разделы астрономии отлично уживаются друг с другом.

Все служит одной цели — как можно глубже и полнее познать бесконечный мир небесных тел. Цель эта вполне достижима. В этом нас убеждает непрерывный прогресс астрономических знаний, добываемых точными и достоверными методами исследования.

---

## О ЧЕМ РАССКАЗЫВАЕТ ЛУЧ СВЕТА

**В** жизни почти каждого человека бывает период, когда он увлекается астрономией. Часто, разговаривая с инженером, врачом или химиком, слышишь от них: «А в пятнадцать лет и я занимался астрономией. У меня был неплохой телескоп из очковых стекол и почти готовое зеркало для рефлектора». Правда, со временем это увлечение обычно проходит, молодые люди выбирают «земные» специальности, и лишь очень немногие из них становятся астрономами-профессионалами.

Интерес к небу всегда был характерен для человека. Действительно, не удивителен ли восход и заход солнца, смена фаз луны, движение планет, солнечные и лунные затмения, мерцающий ковер звезд?

Если человек имеет возможность часто наблюдать небо, он неминуемо заинтересуется причиной этих явлений.

### Современные обсерватории

Современные астрономы — не затворники, восседающие в башнях, которые только наблюдают звезды и не интересуются окружающей их жизнью. За последние полтора столетия астрономия сильно шагнула вперед. В своих наблюдениях она использует достижения большинства «земных» наук. Можно привести такой пример. Тихо Браге наблюдал звезды невооруженным глазом и определял их координаты с поразительной для своего времени точностью в 2 угловые минуты. Под таким углом видна копеечная монета с расстояния в 17 метров. Сове-

менный астроном определяет положения звезд, планет, Луны и Солнца с точностью до сотых долей угловой секунды! Это соответствует той же копейной монете, но уже с расстояния 200 километров. Делает он это либо при помощи фотографии, либо, как его далекие предшественники, глазом, но уже вооруженным совершенными оптическими приборами.

Для наблюдения за звездами строят обсерватории. Одни из них построены много лет назад, другие — недавно. В одних наблюдают лишь Солнце, в других — только звезды. Некоторые оснащены громадными радиоантеннами. Есть и маленькие обсерватории, летающие на искусственных спутниках Земли: оттуда автоматические телескопы фотографируют небо.

Все обсерватории наблюдают звезды, туманности, планеты, Луну, Солнце, галактики. Результаты наблюдений иногда не представляют собой самостоятельной ценности; их нужно обработать и осмыслить, и лишь тогда они помогут узнать что-либо новое об окружающей нас Вселенной.

Астроному-наблюдателю нужно иметь терпение. В плохую погоду не видно ни звезд, ни Солнца. Некоторые работы нельзя вести даже в лунную ночь. Мешают и огни городов.

Один астроном как-то шутя сказал, что после смерти души хороших астрономов переселяются на Луну, где они могут без помех в любое время наблюдать все, что им вздумается; ведь на Луне нет не только облаков, но и воздуха. Однако пока ракетная техника еще не может вынести крупные астрономические телескопы хотя бы на искусственный спутник, астрономам приходится искать места для обсерваторий на Земле.

Выбрать хорошее место для обсерватории очень трудно. Во-первых, она должна быть расположена там, где часто бывает ясная погода. Крупный телескоп — сооружение очень дорогое, и если установить его там, где он почти не будет работать из-за пасмурной погоды, средства окажутся затраченными впустую. Но одной ясной погоды недостаточно: она должна быть хорошей в астрономическом смысле этого слова.

### **Почему звезды «дрожат»**

Мы живем на дне воздушного океана. Он непрерывно движется. В нем есть свои реки — воздушные течения, которые не перестают двигаться ни днем, ни ночью. На высотах от 8 до 14 километров скорость этих течений настолько велика, что воздух в них бурлит, как вода в быстром горном потоке. Это так называемые струйные течения.

Наблюдать небо с поверхности Земли волей-неволей приходится через этот бурлящий слой. Можно подумать, что это не мешает: ведь воздух прозрачный, пусть бурлит, сколько ему вздумается! Но когда наблюдения ведутся не простым глазом,

а в телескопы, эти завихрения сильно портят картину звездного неба. Вспомните, как иногда жарким летним днем виден какой-нибудь далекий предмет над асфальтом дороги: он колеблется, дрожит. Так же «дрожат» изображения звезд в телескопах. Это дрожание со временем меняется; бывают ночи с «хорошим» дрожанием, а бывают с «плохим». Для оценки качества звездных изображений астроному достаточно взглянуть в телескоп на какую-нибудь звезду.

Как же избавиться от дрожания? Самое простое, но и самое трудное — вынести телескоп на высоту 20—25 километров над поверхностью Земли. Там уже нет струйных течений, и прибор может работать в идеальных условиях. Но об этом мы расскажем потом. Если же наш телескоп установлен на Земле, то нужно принять все меры, чтобы дрожание было минимальным.

Звезды «дрожат» не только потому, что идущие от них лучи искажаются в области струйных течений. Очень большую роль играет состояние приземного слоя воздуха — слоя, непосредственно окружающего телескоп.

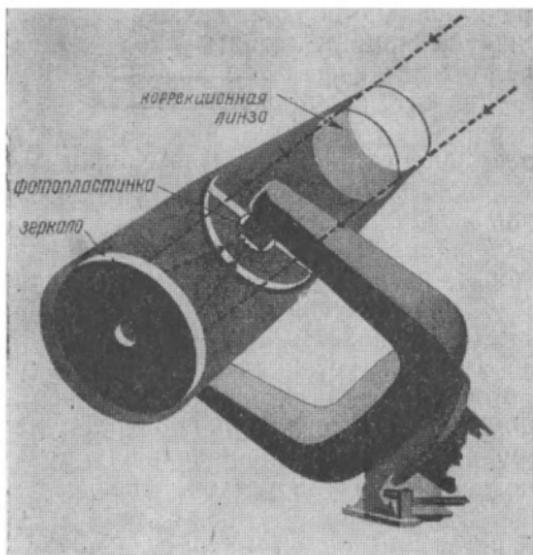
Там, где дует сильный ветер или днем температура поднимается до 30 градусов, а ночью опускается до 10 градусов, обсерваторию строить нельзя: такой климат вреден для астрономических инструментов, и хороших изображений не получится. Словом, выбор местности для обсерватории — большая и сложная проблема (ее называют иногда исследованием астроклимата). Успех дела во многом зависит и от искусства ученого, выбирающего местность. Иногда достаточно уйти от «плохого» места всего на 2—3 километра, чтобы попасть в «хорошее», и наоборот.

### **Как устанавливают телескоп**

Обычно телескоп устанавливают в небольшом отдельном здании — башне, крыша которого представляет собой вращающийся купол. В куполе делают закрывающуюся прорезь; через нее телескоп может смотреть на небо. От того, как построена башня, как сделан купол, где установлен телескоп, качество изображений звезд зависит, может быть, еще сильнее, чем от условий в атмосфере.

Чем крупнее телескоп, тем строже должны быть требования к месту его установки. Небольшие телескопы, например те, в которые наблюдают небо любители астрономии, можно устанавливать где угодно. Правда, и тут необходимо соблюдать определенные правила. Если вы захотите в мороз наблюдать Луну из теплой комнаты, изображения в вашем телескопе будут очень плохими. Если вы все же захотите добиться хороших результатов, оденьтесь потеплее, вынесите ваш телескоп на мороз, дайте ему «отстояться» час-другой, а потом уже наблюдайте.

У вас может возникнуть вопрос: почему же некоторые об-



*Рис. 1. Схема современного телескопа системы Б. Шмидта. Лучи, идущие от небесного светила, проходят через коррекционную линзу и падают на сферическое зеркало, которое строит изображение объекта в фокальной плоскости. В большинстве современных телескопов глаз наблюдателя заменен фотопластинкой, установленной в фокальной плоскости. Это позволяет «увидеть» сразу десятки, сотни и тысячи звезд.*

серватории расположены вблизи больших городов, а иногда даже и в самих городах? Это либо учебные обсерватории университетов, которые должны находиться недалеко от них, либо старые обсерватории, основанные десятки, а то и сотни лет назад. В те времена городское освещение было очень слабым и не мешало наблюдениям. Кроме того, старые обсерватории определяли положение светил, а этой работе огни города не очень мешают. Современные же обсерватории в городах не строят, а выносят далеко за их черту.

### **Что можно и чего нельзя увидеть в телескоп**

Установив основные свойства земной атмосферы, важные для астронома, займемся вопросом, сколь мелкие детали поверхности планет, Луны, туманностей можно наблюдать.

Что же определяет четкость изображения, даваемого телескопом, или, как говорят, его разрешающую силу? Если телескоп не очень маленький, то четкость даваемого им изображения определяется исключительно атмосферным дрожанием, которое, как мы уже знаем, очень сильно меняется в зависимости от многих факторов. Из-за дрожания звездочка видна в телескоп при увеличении в 300—500 раз не как идеальная точка, а как размытое пятнышко. Следовательно, применять большие увеличения при наблюдении любых объектов через телескоп, установленный на Земле, нецелесообразно.

Сколь же мелкие детали на поверхности планет можно пронаблюдать? Начнем с Луны. Если наблюдать ее фотографически, то можно зарегистрировать на ее поверхности детали размером 1—2 километра. Все более мелкие объекты окажутся «замытыми» атмосферным дрожанием. Поэтому сейчас на

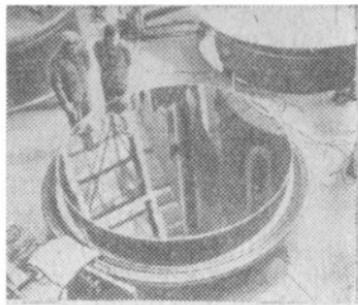
видимой стороне Луны есть множество деталей, о которых мы и не подозреваем. Наблюдения с воздушных шаров или фотографирование с летящей на небольшом расстоянии от Луны ракеты позволят уточнить карту лунного ландшафта.

Есть еще способ — визуальное наблюдение, то есть наблюдение в телескоп глазом. Фотография, по сравнению с глазом, регистрирует гораздо более слабые объекты. А глаз быстрее реагирует на свет: «экспозиция» при наблюдении глазом ярких объектов (а планеты и Луна очень ярки) составляет доли секунды. Поэтому при визуальном наблюдении можно выбрать моменты, когда атмосфера успокаивается — пусть это происходит на долю секунды, — и заметить за это время более тонкие детали, недоступные при фотографическом методе.

Минимальный размер детали, видимой в хороший телескоп на Луне, очевидно, достигает в очень спокойные ночи 0,5—1 километра.

Марс от нас гораздо дальше, чем Луна. В особо благоприятных условиях, во время великих противостояний, он отдален от Земли всего на 55—56 миллионов километров. При этом фотографически можно «уловить» детали размером примерно в  $1/200$  часть диаметра планеты, то есть 30—50 километров. Визуальные наблюдения дают, по-видимому, возможность пронаблюдать более мелкие детали, но здесь многое зависит от субъективных ощущений наблюдателя.

Поэтому вопрос о знаменитых марсианских «каналах» еще не решен, хотя этой загадке осталось жить уже недолго. Детальные снимки поверхности Марса (и других планет, например, Венеры) мы сможем получить, во-первых, послав к планете автоматическую межпланетную станцию, снабженную фотоаппаратами и системой для передачи снимков на Землю, подобную той, которая передала нам фотографии обратной стороны Луны. Во-вторых, и этот путь более легкий, фотографируя планеты со стратостата. Вынесенный в стратосферу телескоп может работать в полную мощь; качество даваемого им изображения в десятки раз лучше, чем у наземной аппаратуры.



*Рис. 2. Важнейшая часть телескопа-рефлектора — его зеркало. От качества изготовления зеркала зависит точность наблюдения. Его поверхность обрабатывают с точностью до 0,0001 миллиметра, а затем, в вакуумной камере, покрывают тонким, хорошо отражающим свет слоем алюминия. На снимке видно одно из таких зеркал перед монтажом.*

Полученные внеатмосферным телескопом снимки будут иметь разрешение более высокое, чем у визуальных систем, работающих с поверхности Земли. При этом результаты наблюдений таких телескопов не будут зависеть от субъективных ощущений наблюдателя, как при визуальных наблюдениях. По-видимому, в ближайшее время мы узнаем о новых исследованиях планет этими методами.

В заключение приведем некоторые цифры. Атмосферное дрожание обычно лежит в пределах от 0,3 до 10 угловых секунд. Даже в месте с хорошим астроклиматом дрожание в 0,3 секунды бывает очень редко — буквально раз в году. Чаще всего там наблюдается дрожание в 2—3 секунды, но иногда оно значительно ухудшается. Таким образом, наблюдая фотографически, нельзя обнаружить детали меньшие, чем диски дрожания.

При визуальных наблюдениях, по-видимому, удастся обнаружить детали размером 0,2—0,5 угловой секунды. Стратосферный телескоп может зарегистрировать фотографически еще более мелкие детали размером 0,1—0,2 угловой секунды.

Из этих цифр ясно, что возможно и что невозможно при наблюдении поверхностей планет с Земли.

### **«Орудия» астрономов**

Представьте себе, что вы пришли на крупную современную обсерваторию, занимающуюся изучением звезд. Прежде всего в глаза бросится несколько крупных башен, в которых установлены основные инструменты обсерватории — крупные зеркальные телескопы. Диаметр их зеркал может достигать нескольких метров, длина трубы такого гиганта 10—15 метров, а диаметр купола — десятков метров.

Такой телескоп — вершина современного приборостроения. Вес его зеркала достигает нескольких тонн, а поверхность обработана с точностью до одной десятой микрона, то есть одной стотысячной сантиметра. Поддерживаемое со всех сторон сложной системой рычагов, зеркало лежит в своей обойме.

Почему крупные телескопы делают зеркальными? Что такое зеркальный телескоп? И что такое, наконец, астрономический телескоп?

Астрономические телескопы в настоящее время — гигантские фотокамеры, собирающие свет звезды в точку на фотопластинке. Как мы уже говорили, идеальной точки никогда не получается. Из-за атмосферного дрожания и свойств самого телескопа свет звезды собирается не в точку, а в небольшое пятнышко. Его размер обычно не превосходит 1/20 миллиметра. Трудно себе представить, как зеркало диаметром, к примеру, 3 метра собирает свет в точку гораздо меньше булавочной головки!

Современный астроном не всегда фотографирует изображения звезд. Иногда он вынимает из телескопа фотопластинку и ставит вместо нее вспомогательные приборы. Одни из них — фотоэлементы — могут очень точно измерить яркость звезды, другие — спектрографы — разложат свет звезды на цвета, третьи — фильтры — выделяют из спектра звезды узкий участок, интересующий астронома. Следовательно, задача астрономического телескопа — собирание света звезд. С ней может справиться как линза, так и зеркало.

Действительно, кто не собирал увеличительным стеклом лучи Солнца, пытаясь зажечь кусок бумаги? При благоприятных условиях это удается.

Но собрать свет можно и зеркалом. С помощью прожекторного зеркала можно пережечь толстый стальной прут. Конечно, это зеркало нельзя использовать в качестве астрономического телескопа — оно слишком грубо обработано, ведь для получения хороших результатов требуется точность обработки поверхности зеркала в  $1/10$  микрона!

## Рефлекторы

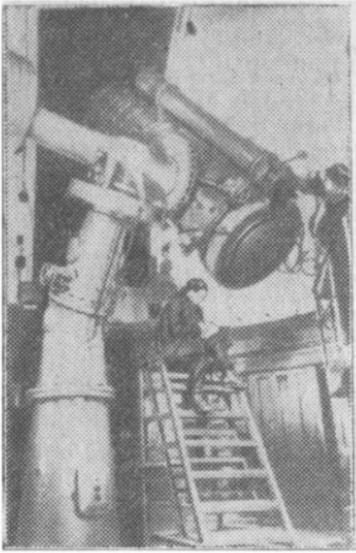
Почему же все крупные телескопы зеркальные? Во-первых, сделать зеркало данного диаметра гораздо легче, чем такую же линзовую систему. Диаметр крупнейшего астрономического зеркала 5 метров, а крупнейшего линзового астрономического объектива — всего метр. Более крупных линзовых объективов сделать не удалось. Во-вторых, зеркало обладает еще одним замечательным качеством, отсутствующим у линз: оно собирает в одну точку лучи всех цветов. Поэтому зеркальный телескоп не нужно перестраивать при переходе, скажем, от синего цвета к красному. Это делает зеркальные телескопы — рефлекторы — незаменимыми для питания спектрографов.

Преимущество линзовых систем в их широкоугольности — способности фотографировать сразу довольно большой участок неба. На рефлекторе этот же участок приходится снимать по кусочкам.

Сейчас существуют «гибриды» зеркальных и линзовых телескопов — так называемые зеркально-линзовые системы. В них сочетаются широкое поле линзовых приборов и высокое качество изображения рефлекторов. К ним относятся телескопы системы Б. Шмидта, Д. Д. Максудова и других.

Фотографы обычно используют выдержки в  $1/100$  секунды,  $1/25$  секунды и совсем редко в 1—2 секунды. В астрономии же экспозиция в 1 час не редкость. Часто приходится давать еще большие выдержки. Поэтому телескоп должен «следить» за звездой, которую фотографирует, — ведь звезды, так же как Солнце и Луна, восходят, двигаются по небу и заходят.

Для этого зеркало нашего телескопа вместе с трубой, в



*Рис 3 50-сантиметровый рефлектор системы Д Д Максудова*

которую оно вмонтировано, фотопластинкой, спектрографом или фотоэлементом должно плавно и точно двигаться за звездой. Вес подвижных частей такого телескопа может достигать десятков тонн! Тут на помощь астрономам приходят инженеры-механики. Специальные подшипники, на которых установлен телескоп, вращаются настолько легко, что для перемещения махины весом с паровоз достаточно моторчика мощностью в одну десятую лошадиной силы.

Рассказывают, что однажды ночью астроном положил на раму телескопа сверток с завтраком, который он принес с собой, и... телескоп сдвинулся с места.

Мотор,двигающий телескоп за звездами, должен вращаться с постоянной скоростью, поэтому

его обычно заменяют специальным часовым механизмом. Небольшие отклонения звезды от оптической оси телескопа управляет либо астроном, который непрерывно следит за работой всей установки, либо автоматические устройства. Автоматы двигают также купол в точном соответствии с движением телескопа: купол всегда должен быть повернут так, чтобы телескоп смотрел в его люк.

Итак, телескоп смотрит на звезду. Весь ее свет, собираемый им, сконцентрирован в маленьком кружке в фокусе зеркала прибора. Что же теперь делать с этим светом?

Прежде всего, даваемое телескопом изображение звезды можно рассматривать в лупу, или, как ее иногда называют, в окуляр. Обычно так звезды не изучают. Дело в том, что человеческий глаз не может накапливать свет. Ведь смотря на какой-нибудь предмет очень долго, мы не начинаем его лучше видеть. Специальные опыты показали, что уменьшение эффективности глаза начинается с «экспозиции» примерно в 1 секунду. Иными словами, если мы будем смотреть на какой-нибудь слабосветящийся объект больше секунды, он покажется нам более слабым.

### **Преимущества фотографии**

По сравнению с глазом фотопластинка обладает замечательной способностью накапливать свет. При экспозиции в

1 минуту она регистрирует гораздо более слабые звезды, чем за 1 секунду, а за час — еще более слабые. Поэтому телескоп с фотопластинкой может регистрировать изображения таких слабых звезд и туманностей, которые невозможно увидеть глазом.

Можно ли зарегистрировать фотографическим способом сколь угодно слабые звезды? Казалось бы, можно, увеличивая экспозицию. На самом деле это не так. Для каждого телескопа существует предельная величина, причем звезды, блеск которых меньше этого предела, не будут им зарегистрированы.

Почему это происходит? Мы видели, что телескоп собирает свет звезды не в идеальную точку, а в небольшое пятнышко. Чтобы обнаружить это пятнышко, мы должны выделить его на фоне свечения ночного неба. Казалось бы, ночное небо абсолютно темное и никакого светящегося фона не создает. Однако это не так. Если бы ночное небо не светилось, можно было бы обнаруживать сколь угодно слабые звезды. Но оно светится!

Вспомните пслярное сияние. Во время этого замечательного явления на небе появляются светящиеся, а иногда и разноцветные дуги, пятна, лучи. Ночное небо светится так же, но гораздо слабее. Впрочем, оно дает столько же света, сколько все звезды, вместе взятые. Если бы ночное небо не светилось, ночью было бы гораздо темнее. Спектральные исследования свечения ночного неба дают важные данные о физических условиях в верхних слоях земной атмосферы. (Подробнее об этом говорится в статье «Свечение ночного неба», в книжке нашей серии «Вселенная вокруг нас», № 12).

Ночное небо засвечивает фотопластинку на телескопе. Поэтому мы не можем сфотографировать очень слабые звезды или туманности. Пусть для того, чтобы сфотографировать слабую звезду с помощью какого-нибудь определенного телескопа, нужно 10 часов. Однако в этот телескоп фон неба может получиться на фотографии, скажем, уже за 2 часа, и через эти 2 часа фотопластинка засветится настолько сильно, что дальнейшее увеличение экспозиции окажется бесцельным — изображение слабой звезды «потонет» в фоне.

Можно совершенно точно показать математически, что увеличение или уменьшение фокусного расстояния данного телескопа не изменяет сути дела. Пока мы наблюдаем через атмосферу, очень слабые объекты от нас скрыты. Этот же расчет показывает, что предел обнаружения слабых объектов достигается уже для сравнительно небольших телескопов диаметром 1—1,5 метра.

Возникает вопрос: зачем же строить сложные и дорогостоящие астрономические телескопы? Нельзя ли обойтись более скромными средствами для исследования Вселенной? Оказы-

вается, нельзя. Чтобы исследовать звезду или туманность, недостаточно ее сфотографировать или пронаблюдать глазом. Основное и самое мощное оружие современной оптической астрономии — спектроскопия.

Забегая немного вперед, можно сказать, что спектроскопия «рассказывает» очень много об объекте, который изучают с ее помощью (см. статью «Мир звезд» в книжке нашей серии «Вселенная вокруг нас», № 12). Но зато для выполнения спектрального анализа требуется гораздо больше света, чем для простой фотографии. Поэтому-то и строят крупные телескопы. Собранный ими свет звезд, планет, далеких галактик подается на различные спектральные приборы, которые анализируют его.

### **Измерения яркости небесных светил**

Прежде чем перейти к описанию этих приборов, остановимся на измерении яркости астрономических объектов. Эти измерения играют в современной астрономии очень важную роль. Измеряя яркость Луны, можно сказать, какими свойствами обладает ее поверхность и похожи ли на наши земные породы лунные камни. Измерив яркость звезды, можно, зная некоторые другие ее характеристики, оценить расстояние до нее. А зная расстояние и яркость, можно сказать, какова история этой звезды и что ожидает ее в будущем.

Многие звезды самопроизвольно меняют свой блеск; для их изучения нужно уметь измерять их яркость. Измерения яркости позволяют обнаруживать новые, до сих пор не известные переменные звезды.

Если у вас есть полученный с помощью телескопа снимок, или, как говорят, астрономический негатив, вы можете, промерив его на особом приборе, определить яркость зарегистрированных на нем звезд. При измерении определяют, насколько сильно почернела фотопластинка под действием света данной звезды. Фотографический метод не обладает высокой точностью, но его преимущество в том, что на одной пластинке регистрируется очень много звезд, и все их можно промерить.

Если же требуется измерить яркость звезды с высокой точностью, приходится делать это непосредственно на телескопе. Вместо фотопластины на телескоп устанавливают непрозрачный щиток с маленьким отверстием. За отверстием ставят особую разновидность фотоэлемента — фотоумножитель.

Этот замечательный прибор произвел настоящий переворот в технике измерения слабых световых потоков. Фотоумножитель работает так. Под действием света некоторые вещества, нанесенные на стенку стеклянного баллона с созданным внутри вакуумом, начинают испускать электроны. Чем больше света, тем больше электронов. Так как свет звезд обычно чрезвы-

чайно слаб, через фотоэлемент (так называют это устройство) течет ток, который очень мал — буквально несколько электронов в секунду. Измерять подобные токи трудно.

И вот советский ученый Л. А. Кубецкий предложил усилить фототок внутри самого баллона фотоэлемента.

Электроны, испускаемые фотокатодом, направляют на покрытую специальными составами пластинку — эмиттер. Из эмиттера каждый упавший на него электрон выбивает несколько новых, вторичных электронов. Этот процесс повторяют несколько раз, направляя электронный поток на все новые и новые эмиттеры.

Чем больше эмиттеров, тем больше усиливается форма. 10—15 эмиттеров позволяют усилить фототок в миллионы раз, причем этот простой, устойчиво работающий компактный усилитель находится в самой колбе фотоэлемента. Это и позволило широко применять ФЭУ (так называют сокращенно фотоэлектрические умножители) в астрономии, ядерной физике и многих других областях науки и техники, где нужен высокочувствительный приемник излучения.

Свет звезды, попавший в отверстие, вызывает появление в фотоумножителе тока. Этот ток и измеряют. Измерить его можно гораздо точнее, чем почернение фотопластинки, причем этот метод — так называемая фотоэлектрическая фотометрия — позволяет получить очень высокую точность измерения яркости. При этом нужно, разумеется, учитывать все мешающие явления, например ослабление света звезды в земной атмосфере.

Преимущество этого метода — высокая точность; недостаток тот, что за один раз можно определить яркость лишь одной звезды. Если необходимо промерить много звезд, нужно навести на каждую из них телескоп по очереди и от каждой получить отсчет тока фотоумножителя.

## **Спектроскопия**

Основной метод астрофизических исследований в настоящее время — спектроскопия. Для получения спектра свет звезды, собранный телескопом, подают на щель специального прибора — спектрографа. Пройдя щель и систему вспомогательных линз или зеркал, свет падает на оптический элемент, разлагающий его на составные цвета. Этим элементом может быть стеклянная призма или стеклянная же пластинка с нарезанными на ее поверхности параллельными царапинами — штрихами. Штрихи рисуют специальным алмазным резцом; на сравнительно небольшой дифракционной решетке (так называют заштрихованную пластинку) число их может достигать 100 тысяч.

В настоящее время в астрономии применяются почти ис-

ключительно спектрографы с дифракционными решетками. Как призма, так и дифракционная решетка отклоняют лучи разных цветов под разными углами; стоящая после них оптика (обычно зеркально-линзовая) строит изображение щели, разложенное по цветам и называемое спектром. Спектр обычно фотографируют или регистрируют фотоэлементом. Фотографически можно зарегистрировать сразу весь спектр; фотоэлемент же воспринимает свет лишь от малого его участка.

Фотографической регистрации поддаются спектры более слабых объектов. При спектрографировании фон свечения ночного неба разлагается по цветам и поэтому ослабляется. В этом случае можно давать многочасовые экспозиции, не боясь появления сильного фона.

Что же дает нам спектрографирование? В прошлом веке французский философ Огюст Конт высказал следующую мысль: «Человечество многого достигнет и многое узнает, но одного оно не узнает никогда—состава звезд». Однако печальное пророчество Конта не оправдалось. Уже через несколько лет немецкие физики Бунзен и Кирхгоф построили первый хорошо работавший спектрограф и пронаблюдали спектр Солнца.

Оказалось, что по спектру можно судить о существовании или отсутствии на Солнце тех или иных химических элементов. Теперь спектральный анализ широко применяется в науке и технике. На металлургических заводах спектрографы помогают определить состав варящейся в мартене стали, а в больнице — процент кислорода в крови больного. Химики пользуются спектрографами для определения состава полимеров.

В чем же сущность спектрального анализа? Направим на щель спектрографа свет газовой горелки и внесем в ее пламя крупинку поваренной соли. Пламя сразу станет желтым, а в спектрографе будут видны две близкие яркие линии в желтой части спектра. Ни одно другое вещество не дает линий точно на этом месте. Поэтому, если мы видим в спектре две желтые линии с длинами волн (а спектрограф дает возможность определить и это) 0,5890 и 0,5896 микрона, то можно быть уверенным, что где-то в источнике света имеется натрий.

Таким источником не обязательно должна быть газовая горелка, это может быть разрядная электролампа, электрическая дуга, или, наконец, ночное небо! Все дело в интенсивности линий. В ночном небе хороший спектрограф зарегистрирует их за час, а в пламени электрической дуги — за долю секунды, но в обоих случаях покажет: «Здесь есть натрий».

Иногда можно наблюдать спектральные линии темными на светлом фоне. Это бывает, когда свет от более яркой области источника проходит через раскаленную, но более холодную его область. В этом случае часть света поглощается как раз на тех длинах волн, на которых наблюдались яркие линии. Здесь

спектрограф говорит нам не только о присутствии натрия в источнике, но позволяет узнать кое-что о свойствах самого источника, а именно, что в центре он горячее, чем снаружи.

Таким образом, спектрограф позволяет провести химический анализ светящегося объекта, не притрагиваясь к нему рукой. Объект может находиться за миллионы километров от лаборатории, но мы твердо установим, из каких веществ он состоит.

Разумеется, при спектральном анализе оценивать результаты надо осторожно. Ведь яркость (или почернение) спектральной линии зависит не только от того, сколько данного вещества находится в источнике света, но и от того, какие условия (температура и плотность) господствуют в этом источнике.

Так, самые сильные линии в солнечном спектре — линии кальция. Значит ли это, что Солнце состоит в основном из кальция? Нет, обработка спектрограмм с учетом условий возникновения спектральных линий показывает, что больше всего на Солнце водорода, а затем гелия.

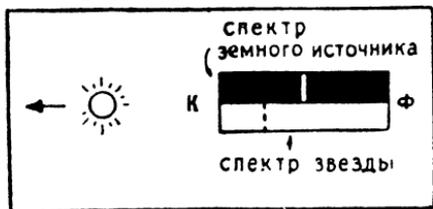
Кстати, о гелии. В переводе на русский язык гелий означает «солнечный». И действительно, этот газ был впервые обнаружен не на Земле, а на Солнце, и сделано это было благодаря спектроскопии. В 1868 году французский ученый Жансени и англичанин Локайер одновременно обнаружили во внешних слоях Солнца неизвестный тогда химический элемент. Он давал яркую желтую линию, не совпадающую с линиями известных химических элементов. Ученые предположили, что открытый ими элемент есть только на Солнце, и назвали его гелием. Лишь через несколько десятилетий его обнаружили на Земле.

## Принцип Доплера

Спектроскопия помогает определить не только химический состав далеких светил, но и направление и величину скорости удаления или приближения звезды. Вы, наверное, не раз наблюдали, стоя на перроне вокзала, что тон сигнала, который дает проносящийся мимо поезд, при приближении кажется выше, а при удалении — ниже. Примерно то же самое происходит и со светом.

Если звезда приближается к нам, линии в ее спектре оказываются смещенными в синюю сторону спектра, если же она удаляется, то в красную. По величине смещения линий звезды относительно линии неподвижного лабораторного источника можно определить скорость движения звезды.

С помощью спектроскопии можно определить лишь одну составляющую скорости небесного объекта — составляющую, направленную по лучу зрения.



*Рис. 4. Применение принципа Доплера для определения составляющей скорости звезды, направленной по лучу зрения. Линии в спектре удаляющейся от нас звезды сдвинуты к красному концу, а линии в спектре приближающейся к нам звезды — в фиолетовую сторону.*

Вторую составляющую, направленную перпендикулярно первой, спектральный метод не дает. Поэтому его называют методом определения лучевых скоростей.

Спектроскопия дала астрономии очень много. Определено уже немало лучевых скоростей отдельных звезд, туманностей, галактик. Этот же метод позволяет обнаружить вращение звезды, а также расширение и сжатие оболочки у переменных звезд.

Открыт был и удивительный, пока еще окончательно не объясненный эффект — так называемое красное смещение. Дело в том, что, когда начали получать спектры далеких галактик, обнаружили: чем дальше галактика (расстояние оценивали

по убыванию яркости), тем сильнее спектральные линии в спектре этой галактики смещены в красную сторону. Создается впечатление, что чем дальше от нас галактика, тем быстрее она от нас удаляется. Реально ли это движение, еще не выяснено.

Таким образом, установленные на крупных инструментах спектроскопические приборы позволяют определять химический состав, физические условия и скорости удаления или приближения объектов, находящихся от нас на громадных расстояниях.

### **Как определяют масштабы Вселенной**

Как определяют расстояния до небесных объектов? В современной астрономии существует довольно много методов решения этой задачи. Одни из них применимы в одних условиях, другие — в других. Если по спектроскопическим данным вы можете установить истинную яркость какой-нибудь звезды (ее называют абсолютной звездной величиной), то, сопоставив эту яркость с видимой яркостью этой звезды, можно определить расстояние до нее.

Однако основу шкалы расстояний до звезд составляют расстояния, определенные геометрически.

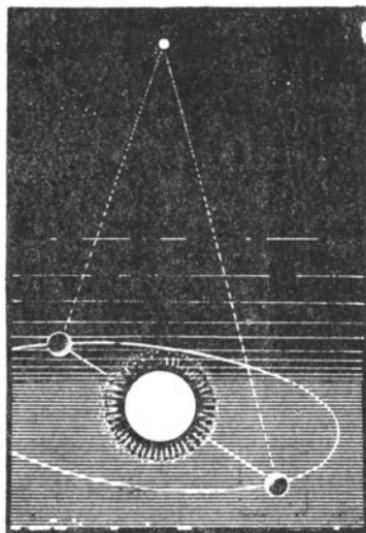
В популярных книгах по геометрии часто можно найти рисунок, изображающий способ определения расстояния до недоступного предмета (например, острова или вершины горы). Для этого рекомендуют выбрать на местности два удаленных друг от друга пункта. Соединяющая их линия принимается за базу измерения. Затем определяются углы, образуемые направлением на недоступную точку и базой. Зная углы и расстояния между двумя известными пунктами, мы можем определить расстояние до неизвестной точки.

Астрономы используют этот же метод для определения расстояний до звезд. Правда, расстояния до них столь велики, что на Земле нельзя выбрать две такие точки, чтобы направления от них даже на ближайшую звезду не совпадали. Поэтому астрономы наблюдают

звезды из двух противоположных точек земной орбиты (одно наблюдение ведется через полгода после второго). Даже в этом случае очень далекие звезды не смещаются, а более близкие смещаются относительно них. Таким образом, если сфотографировать интересующую нас область неба с интервалом в полгода, то, сравнив фотографии, можно выявить близкие звезды и даже определить расстояния до них. Ближайшая из известных звезд лежит от нас на расстоянии чуть больше 4 световых лет. Свет этой звезды мчит до нас больше 4 лет, проходя в секунду 300 тысяч километров!

Кроме расстояния, фотографические наблюдения позволяют определить движение звезд в плоскости, перпендикулярной лучу зрения. Если сфотографировать область неба, а затем, выждав несколько лет, повторить снимок на том же телескопе, то можно, сравнив снимки, обнаружить собственное движение близких звезд и измерить его.

При подобных работах обычно используются сравнительно



*Рис. 5 Измерение расстояний до звезд. При наблюдении из противоположных точек земной орбиты близкие звезды бывают видны по-разному. Они как бы смещаются относительно далеких звезд. Тот небольшой угол, под которым со звезды видна земная орбита, называется параллаксом этой звезды. Чем меньше параллакс, тем дальше от нас звезда.*

небольшие — диаметром 30—50 сантиметров — линзовые телескопы. Они считаются более стабильными, их свойства меняются со временем слабее, чем у рефлекторов. Полученные с их помощью негативы измеряют на специальных приборах с очень высокой точностью — до долей микрона, затем в эти координаты вносят многочисленные поправки и переводят в небесные координаты.

Подобные работы имеют очень большое значение. Хотя геометрические методы определения расстояний пригодны лишь в сравнительно близких окрестностях Солнца, они создают ту основу, к которой «привязываются» физические методы, работающие на гораздо более далеких расстояниях. Поэтому каждое новое определение расстояния до какой-либо звезды или данные об ее собственном движении и лучевой скорости очень ценны.

### **Определение и хранение времени**

Важная задача астрономических обсерваторий — хранение и определение точного времени. В свое время эту задачу поставила перед астрономами практика. В век великих географических открытий стало необходимым уметь определять положение корабля в открытом море и координаты вновь открытых земель. Эти работы связаны с определением и хранением точного времени. Постепенно техника этих определений совершенствовалась, и сейчас мы определяем и храним время настолько точно, что можно с уверенностью выявить неравномерности вращения самой Земли, столько веков служившей эталоном точного времени.

Чтобы определить время, наблюдают прохождение звезд через одно и то же фиксированное место небосвода. Эти наблюдения и сейчас выполняются в большинстве случаев визуально, при помощи небольшого телескопа, называемого пассажным инструментом (то есть инструментом, регистрирующим прохождение звезд). Пассажный инструмент стоит неподвижно, и, следовательно, звезды из-за суточного вращения Земли двигаются в поле его зрения.

Астроном, глядя в окуляр, следит за движением звезды, непрерывно наводя на ее изображение нить. Винт, который смещает нить, несет на себе контактное колесико, которое замыкает и размыкает ток. Электронные приборы сравнивают полученные моменты с показаниями точных астрономических часов. В настоящее время входят в употребление и некоторые другие способы регистрации звездных прохождений.

Лет двадцать назад астрономы хранили время исключительно с помощью маятниковых часов. Часы помещали в глубокие подвалы, где температура постоянна. Они находились в баллонах с постоянным давлением, и даже астроном боялся

приближаться к ним, чтобы теплом своего тела не расстроить нежный механизм.

Теперь в область хранения точного времени вторглась радиоэлектроника. Современная служба времени по количеству радиоаппаратуры соперничает с передающими радиостанциями. Радиоаппаратура хранит время лучше маятниковых часов. Сейчас в службах времени широко применяются кварцевые и гораздо реже атомные часы. Их точность очень высока. Так, атомные часы могут уйти на 1 секунду только за... 2 тысячи лет! Кварцевые часы имеют несколько менее точный ход, но они гораздо проще по устройству. С их помощью удалось обнаружить и измерить неравномерность вращения Земли, происходящую, по-видимому, от каких-то сложных явлений в водном и воздушном покрывах нашей планеты.

### **Служба Солнца**

Некоторые обсерватории изучают Солнце. Солнце — ближайшая к нам звезда, наиболее доступный для исследования объект на небе. Оно дает нам свет и тепло, без него не было бы жизни на Земле, да и сама Земля не существовала бы. Но, кроме этого, Солнце влияет на Землю множеством путей, часть которых известна, а часть нет. Обычно эту проблему так и называют: «проблема Земля — Солнце».

Солнце начали наблюдать очень давно. В китайских хрониках отмечены случаи появления на поверхности Солнца больших пятен, видимых невооруженным глазом. После изобретения телескопа стало возможным наблюдать гораздо более мелкие пятна, невидимые невооруженным глазом. Число пятен на поверхности Солнца непостоянно, их количество то возрастает, то убывает. Эпохи наибольшего и наименьшего числа пятен повторяются приблизительно каждые 11 лет.

Чем больше на Солнце пятен, тем сильнее действует оно на атмосферу Земли. От числа пятен, или, как говорят, от солнечной активности, зависит распространение радиоволн, торможение в атмосфере искусственных спутников и радиационная обстановка в космосе; поэтому за солнечной активностью ведется непрерывное наблюдение, организована служба Солнца.

Обсерватория, на которой ведется служба Солнца, оснащена разнообразными приборами. Во-первых, каждый ясный день на обсерватории получают снимок поверхности Солнца в видимых лучах — так называемую фотогелиограмму. Проявив ее, быстро подсчитывают общую площадь видимых на диске Солнца пятен и ярких образований — факелов. Полученные данные сообщают по телефону в учреждения, ведающие радиопрогнозом, и в другие обсерватории. Иногда снимков не делают, а отбрасывают изображение Солнца, даваемое

телескопом, на большой лист бумаги и прямо на нем подсчитывают площадь пятен и факелов.

С поверхности Солнца в мировое пространство вздымаются громадные огненные вихри — протуберанцы. Протуберанцы очень слабы по сравнению с поверхностью Солнца, и непосредственно в телескоп их не видно. Но все-таки их можно наблюдать, используя особенности их спектра. Если пронаблюдать спектр протуберанца (это легко сделать во время солнечного затмения), то можно установить, что он состоит из отдельных ярких линий.

Наиболее яркие линии кальция и водорода. Поэтому, взяв фильтр, пропускающий только одну линию водорода и не пропускающий никаких других излучений, можно сильно ослабить фон свечения диска, почти не ослабляя света протуберанца. Таким образом, вторая установка солнечной обсерватории — небольшой телескоп с фильтром для наблюдения протуберанцев и средних слоев солнечной атмосферы — хромосферы. Обычно к такой установке присоединен киносъёмочный аппарат. Он делает снимок в 10—20 секунд.

Пустив полученную ленту с нормальной скоростью (24 кадра в секунду), можно наблюдать замечательную картину движения протуберанцев.

Однако основная установка солнечной обсерватории — большой солнечный телескоп. Он предназначен для получения спектров различных солнечных образований и состоит из большого спектрографа (гораздо большего, чем те, которые употребляют при изучении звезд) и оптической системы, подающей на него изображение Солнца. Спектрограф этот настолько велик, что обычно один занимает довольно большую комнату. Иногда его помещают в большую стальную цистерну, из которой выкачивают воздух. Это улучшает работу прибора.

Изображение Солнца подается на входную щель спектрографа при помощи специальной зеркальной системы. Для этого необходимо прежде всего скомпенсировать движение Солнца по небу. Так как Солнце обходит небо за 24 часа, зеркало, на которое падает его свет, должно вращаться вдвое медленнее, делая один оборот за 48 часов.

Дело в том, что угол падения равен углу отражения. Поэтому, если мы повернем зеркало, то есть изменим угол падения, то ровно настолько же изменится и угол отражения. Угол, на который изменится отклонение светового пучка, будет равен удвоенному углу поворота зеркала. Поэтому-то зеркало целостата (так называется система) вращается вдвое медленнее Земли. При этом солнечный свет, упавший на вращающееся зеркало, будет отражаться всегда по одному и тому же направлению.

Теперь, когда луч солнечного света «пойман» и сделан неподвижным, все упрощается. Его перехватывают еще одним

зеркалом и направляют на вогнутое зеркало, строящее изображение Солнца на входе спектрографа. Таким образом, весь телескоп оказывается неподвижным. Это позволяет изготовить его довольно крупным. Лишь одно сравнительно небольшое зеркало следит за движением нашего дневного светила.

Возникает вопрос, почему же такую систему не применяют в крупных звездных телескопах, описанных в начале нашей статьи? Этому мешают два обстоятельства. Во-первых, сделать плоское зеркало диаметром в несколько метров очень трудно, если не невозможно, а таких зеркал нужно по крайней мере два. Во-вторых, Солнце в своем суточном и годичном движении не выходит за пределы сравнительно узкой полоски неба. Поэтому его всегда можно «поймать» при помощи всего двух зеркал. Для звезд, которые могут находиться где угодно, этого сделать нельзя. Поэтому целостатами пользуются исключительно в солнечной физике.

После того как изображение Солнца построено на щели спектрографа, его можно анализировать самыми различными способами. Можно подать его на узкополосный фильтр, применяемый для наблюдения протуберанцев; можно подать его на устройство, определяющее величину магнитного поля в данной точке Солнца. И наконец, чаще всего фотографируется детальный спектр различных солнечных образований.

### **Изучение солнечной короны**

Особенно трудно наблюдать самые внешние слои Солнца — солнечную корону. Ее бывает хорошо видно лишь во время полных солнечных затмений. Это сильно тормозило изучение короны. Ведь за последние полтора столетия, за которые затмения наблюдались научными методами, астрономы видели ее в общей сложности не больше двух часов...

Однако техника развивается, и в настоящее время можно при помощи специальных приборов, установленных на высоких горах, где воздух чист и прозрачен, наблюдать самые яркие внутренние части солнечной короны вне затмения. Используемые для этого приборы — так называемые внезатменные коронографы — представляют собой сравнительно небольшие телескопы диаметром 30—40 сантиметров со специальными объективами. Объектив коронографа должен быть сделан из исключительно чистого стекла. Если в нем окажется хоть один маленький пузырек воздуха, корону уже не будет видно.

Построенное таким объективом изображение Солнца полностью закрывают полированной металлической заслонкой — искусственной Луной. Она заслоняет ненужную часть картины — ту часть диска Солнца, которую мы обычно видим глазом, и пропускает дальше лишь свет внешних его областей — солнечной короны.

Дальше свет короны через оптическую систему падает либо на узкополосный фильтр, либо на спектрограф.

Чтобы уменьшить мешающее влияние атмосферы, внезатменные коронографы устанавливаются на высоте нескольких тысяч метров над уровнем моря. Однако такие приборы, как показывает опыт, могут хорошо работать и на обычных обсерваториях.

Солнечная корона долго была одним из наименее изученных солнечных образований (см. статью «Солнце — центр нашей планетной системы» в книжке нашей серии «Вселенная вокруг нас», № 12). Однако она играет очень большую роль в физике Солнца, во взаимодействии его с межпланетной средой, с земной атмосферой. Если на поверхности Солнца температура достигает 6 тысяч градусов, то корона нагрета по крайней мере до миллиона градусов. Она сильно излучает в радиодиапазоне и в рентгеновской области спектра.

### **Солнечные затмения**

Важные исследования солнечной короны ведутся во время полных солнечных затмений. Так как сейчас ученые хорошо изучили движение Солнца и Луны по небу, можно вычислить место и продолжительность любого солнечного затмения, безразлично в будущем или прошлом. Интересно, что по датам затмений можно уточнить хронологию. Действительно, столь замечательное явление природы всегда повергало человека в изумление, и он отмечал это в своих летописях. Вспомните, например, поэтическое описание солнечного затмения в «Слове о полку Игореве». Теперь можно вычислить его дату с точностью до секунд и датировать летописную запись.

С такой же точностью можно и предсказывать затмения. Когда намечается «хорошее» затмение (а хорошим считается затмение продолжительностью больше 2—3 минут), астрономы начинают собираться в экспедицию для его наблюдения. Заметим, что не бывает затмений, полная фаза которых продолжается более 8 минут. Если погода благоприятствует наблюдениям, экспедиция получает снимки и спектры солнечной короны и хромосферы; в противном случае приходится возвращаться не солоно хлебавши.

Наблюдения затмений дали много ценных результатов. Были получены, например, снимки короны, по которым удалось сделать кое-какие заключения о связи ее с межпланетной средой, спектры, позволившие обнаружить много линий излучения и сделать выводы о высокой температуре короны и, наконец, данные по радио- и рентгеновскому излучению короны.

В последнее время удалось пронаблюдать полное солнечное затмение с самолета. Это избавило астрономов от заботы о хорошей погоде, позволило увеличить длительность наблюде-

ния полной фазы. Ведь самолет летит вдоль пути движения лунной тени по поверхности Земли, пытаясь ее догнать (скорость движения тени гораздо больше скорости самолета).

### **Наблюдение искусственных спутников Земли**

Новым важным делом для астрономов стало наблюдение искусственных спутников Земли. Такие наблюдения нужны для уточнения параметров орбит этих новых небесных тел, определения их торможения в атмосфере и уточнения фигуры Земли. Располагая достаточно точными данными о положении спутников, можно, по-видимому, уточнить взаимное расположение материков и «привязать» к ним координаты некоторых островов, известные недостаточно точно.

В настоящее время визуальных наблюдений спутников практически не ведется. Эти наблюдения были необходимы на ранних этапах развития космонавтики. Тогда они были важны для популяризации искусственных спутников среди широких кругов населения. Сейчас их заменили высокоточные фотографические наблюдения при помощи современных светосильных телескопов. Спутник виден лишь тогда, когда он освещен Солнцем, а наблюдатель находится в тени Земли. Разумеется, это возможно лишь в том случае, если на спутнике не установлено искусственных источников света.

Таким образом, спутники обычно наблюдаются в сумерки, и лишь летящие очень высоко видны ночью.

Спутник проходит видимую часть неба за несколько минут. Поэтому определить только его положение мало. Нужно очень точно засесть момент его прохождения через данную точку небосвода. Расчеты показывают, что необходима точность, превышающая  $1/1000$  секунды времени.

Посмотрим, что представляет собой современная станция наблюдения спутников. Обычно она расположена, как и обсерватории, вдали от больших городов, огни которых могут помешать наблюдениям слабых спутников. Основной инструмент станции — светосильный автоматический телескоп.

Эффективность телескопа при обнаружении движущегося спутника пропорциональна квадрату его диаметра и обратно пропорциональна его фокусному расстоянию; таким образом, телескоп должен быть и крупным и короткофокусным. Лучше всего эти свойства сочетаются в зеркально-линзовой системе оптики. Системы, которые сейчас используют, имеют диаметр 50 сантиметров при таком же фокусном расстоянии.

Телескоп установлен на очень солидной раме, которая может, однако, автоматически поворачиваться в любом направлении со скоростью, близкой к ожидаемой скорости спутника. Телескоп фотографирует следы искусственных спутников на киноплёнку, которая автоматически перематывается. Перед

кинопленкой стоит быстродействующий затвор. Моменты его открытия и закрытия автоматически впечатываются на ту же кинопленку. Точное время принимается с центральной станции специальным приемником и вводится в механизм камеры. Станция обеспечена хорошей связью с центральным пунктом.

Наблюдают так: с центральной станции поступают определенные предварительно приближенные координаты спутника. Получив их, оператор наводит телескоп в пустую точку неба и ждет момента, когда спутник ее пройдет. Если спутник слабый, оператор направляет телескоп по движению спутника с примерно ожидаемой скоростью и включает фотографическую часть. Камера делает несколько снимков. Их проявляют, просматривают и отправляют для обработки. Такая станция может зарегистрировать в сутки несколько десятков прохождений искусственных спутников Земли. Точность определения координат спутника при такой методике достаточно высока: 1—2 секунды дуги (копеечная монета с расстояния 2 километров).

В наши дни, в связи с развитием космонавтики, выросли и расширились задачи астрономии. Искусственные небесные тела — спутники и космические ракеты — не только сами стали объектами наблюдения, но установленные на них приборы значительно увеличили возможности наземной аппаратуры.

### **Новые приборы наблюдательной астрономии**

Многие думают, что прогресс астрономических исследований связан только со спутниками и ракетами, и «наземным» астрономам уже ничего не остается. Доля истины в этом утверждении, конечно, есть, но все же дело обстоит не совсем так. Если сравнительно близкие области космоса, например тела солнечной системы, будут исследованы весьма детально уже через несколько десятилетий, то далекие звезды еще долго будут наблюдать методами, не слишком отличающимися от привычных нам. Таким образом, совершенствование наземной наблюдательной техники остается важной задачей астрономии.

В послевоенные годы появились приборы, обладающие сравнительно высокой чувствительностью в инфракрасной области спектра и почти сразу же использованные астрономами.

До недавнего времени единственными приемниками излучения, чувствительными в далекой инфракрасной области спектра, были болометры и термоэлементы. Термоэлемент представляет собой совокупность проволочек из специально подобранных разных металлов, спаянных друг с другом. Если между одной и другой группой спаев этой системы появляется разность температур, в цепи начинает течь ток. Так как свет, падающий на термоэлемент, нагревает его, то при помощи термоэлемента можно измерять излучение.

Оба эти прибора могут зарегистрировать излучение какой угодно длины волны — в этом их преимущество, но их чувствительность очень мала — в этом их недостаток, не позволяющий изучать с их помощью слабые излучения. В настоящее время их практически вытеснили полупроводниковые фотоспротивления и болометры, обладающие в тысячи раз большей чувствительностью. Серно-свинцовые фотоспротивления позволили записать инфракрасные спектры планет, давшие много сведений о химическом составе их атмосфер. Фотоспротивления чувствительны в ограниченной спектральной области, но эта область расширяется.

Другой вид приборов, которые начинают распространяться в астрономических исследованиях, — электронно-оптические преобразователи. Они позволяют преобразовать невидимое изображение, полученное в инфракрасных лучах, в видимое, которое легко наблюдать глазом или фотографировать. Другие устройства такого же типа позволяют фотографировать в видимой области спектра слабые объекты, регистрация которых при помощи обычной фотографии невозможна.

Вся эта новая техника вместе с крупными телескопами позволяет поставить и решить такие задачи, которые были до настоящего времени неразрешимыми. Возможно, в ближайшем будущем мы окажемся свидетелями еще более бурного прогресса наблюдательных средств оптической астрономии. Оптические квантовые усилители еще больше расширят доступную изучению спектральную область и позволят зарегистрировать еще более слабые излучения. Вынесенные за атмосферу и, может быть, установленные на Луне оптические, радио- и гамма-телескопы позволят получить новые ценные сведения об окружающей нас Вселенной.

---

---

## ЧТО ТАКОЕ РАДИОАСТРОНОМИЯ

**П**редставим себе на мгновение, что глаз человека чувствителен не к оптической области спектра, а к радиоизлучению.

Как выглядело бы тогда небо? Пожалуй, мы не сразу узнали бы его. Оно было бы не темным, как в безлунную ночь, а слегка светящимся, и яркость этого свечения, то есть радиояркость, значительно возрастала бы в полосе Млечного Пути. На фоне излучения неба как очень слабые источники можно было бы заметить Луну и планеты, но зато ярко светили бы три «солнца» — одно наше, привычное, и по одному в созвездиях Кассиопеи и Лебеда.

Обычные звезды вообще были бы не видны, но зато по небу было бы рассеяно множество источников радиоизлучения, различных по размерам, форме, интенсивности. Сейчас известно около 2 тысяч таких источников. Какова же природа различных «представителей» космического радиоизлучения? Прежде чем ответить на этот вопрос, нужно рассказать, что такое радиоастрономия, как она возникла и чем отличается от обычной астрономии.

Год 1961 был для астрономов своего рода юбилейным — отмечалось тридцатилетие со дня рождения самой молодой отрасли астрономической науки — радиоастрономии. В 1931 году американский инженер Карл Янский, изучая причины различного рода радиопомех — шума, свиста, треска, которые иногда очень мешают слушать радиопередачи, совершенно случайно обнаружил, что одним из источников этих помех

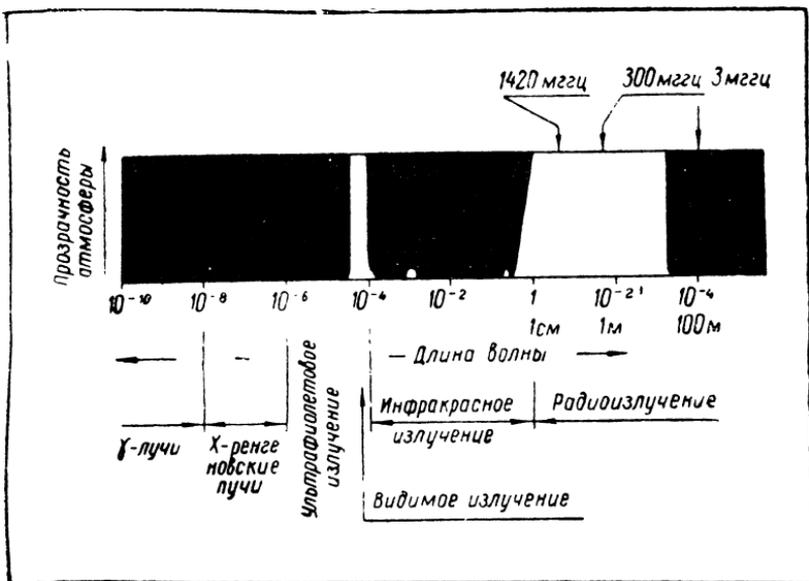


Рис. 6. Диаграмма пропускания земной атмосферы. Атмосфера Земли пропускает только узкие зоны длин волн среди огромного количества всевозможных лучей, падающих на нашу планету. Во-первых, это воспринимаемая нашим глазом область световых частот, а во-вторых, зона радиочастот. Все остальные частоты беспощадно поглощаются атмосферой. Это лишает нас определенной информации о далеких светилах, но, с другой стороны, поглощение атмосферы предохраняет нас от вредного воздействия ультрафиолетовых и рентгеновских лучей, что неизмеримо важнее.

был... Млечный Путь. Но это означало, что Млечный Путь — источник излучения радиоволн.

Открытие Янского имело для астрономов важное значение.

Во-первых, было установлено, что небесные светила обла- дают способностью излучать радиоволны, а не только свет; во-вторых, — и это было полной неожиданностью — было до- казано, что в земной атмосфере существует еще одно «окно прозрачности». Что же это за «окно» и почему его открытие так обрадовало астрономов?

Чтобы ответить на этот вопрос, вспомним прежде всего, что астрономия — наука, основа основ которой — наблюдения. Все те сведения о размерах, движении, температуре, химиче- ском составе и других свойствах небесных тел, которыми мы в настоящее время располагаем, получены в результате наблю- дений различных небесных объектов или, точнее говоря, в результате исследования света этих объектов. Ведь свет, или, как говорят ученые, излучение, — это единственный источник

информации, который, несмотря на громадные расстояния, доступен непосредственным исследованиям.

Свет, или видимое излучение, — это лишь небольшой участок в общем спектре электромагнитного излучения, включающего в себя и рентгеновские лучи, и ультрафиолетовое, и видимое, и инфракрасное излучения, и радиоволны. Часть спектра, в которую входят видимое глазом излучение и прилегающие к нему невидимые ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, называют оптической спектральной областью (подробнее об этом говорилось в предыдущей статье).

Основная характеристика вида излучения — длина его волны. Длины волн радиообласти спектра измеряются в привычных для нас единицах длины — в миллиметрах, сантиметрах и метрах. Световые волны гораздо короче, они измеряются десятитысячными долями миллиметра. Еще короче волны ультрафиолетовых и рентгеновских лучей. Все участки электромагнитного спектра доступны исследованиям, если они излучаются земными источниками. Но если речь идет о космических телах, то есть об объектах, лежащих за пределами земной атмосферы, то положение резко меняется. Даже в самые ясные дни земная атмосфера, как плотный занавес, не пропускает к нам излучение большей части спектра. Со стороны коротких волн излучение поглощается озоном, в инфракрасной области роль занавеса выполняют пары воды, а в радиообласти спектра — верхние слои атмосферы — ионосфера. Однако в интервале от 0,001 до 0,00001 сантиметра занавес «раздвинут» и образует оптическое «окно прозрачности» атмосферы, которое до недавнего времени считалось единственным.

Но оказалось, что наряду с очень узким оптическим существует еще и «радиоокно», и притом довольно широкое, пропускающее волны длиной примерно от 1 миллиметра до 10—20 метров. Открытие радиоокна и радиоизлучения Млечного Пути раскрывало перед астрономами заманчивые перспективы изучения светил новыми методами в совершенно для них новой и притом очень широкой области спектра. Заметим также, что облачность для радиоволн не имеет значения: даже если она полностью закрывает оптическое окно, это не мешает радионаблюдению светил.

Однако при первых попытках наладить радионаблюдения ученые испытали горечь разочарования. Приемники, направленные в сторону даже таких ярких светил, как Солнце и Луна, ничего не обнаружили. Радионаблюдения были прекращены и возобновились почти через 15 лет. Сейчас, оглядываясь назад, мы хорошо понимаем причины временной задержки в развитии радиоастрономии: радиотехника того времени вообще стояла на очень низком уровне, а, в частности, существовавшие приемные устройства не соответствовали специфическим задачам астрономии.

## «Радиоглаза» астрономов

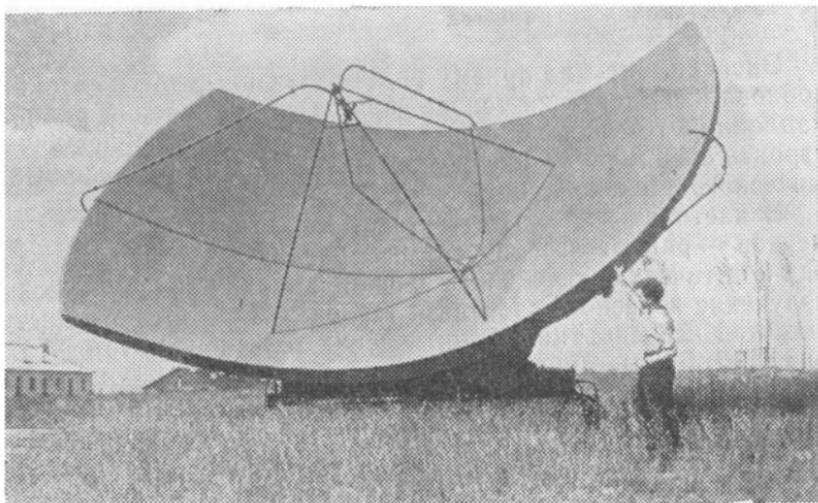
Эксперименты по приему радиоизлучения небесных тел возобновились, когда на основе серьезных достижений радиолокационной техники во время второй мировой войны начали строить специальные инструменты для приема радиоволн космического происхождения.

В настоящее время существует множество таких инструментов — радиотелескопов самых различных типов. Все они, как и оптические телескопы, выполняют одну задачу — уловить излучение небесного светила и тем самым сделать его доступным для исследований. В оптических телескопах это осуществляют выпуклые линзы или вогнутые зеркала; в радиотелескопах — специальные антенны или тоже вогнутые металлические зеркала, в фокусе которых помещают небольшую приемную антенну. Ясно, что чем больше размеры зеркала (или антенны), тем лучше телескоп отвечает поставленной задаче, тем более слабое излучение он может обнаружить. Таким образом, от диаметра зеркала зависит так называемая проникающая способность телескопов. С размерами зеркала связана и другая важная характеристика телескопов — их разрешающая способность, то есть способность разделить (в астрономии говорят «разрешить») излучение двух близких источников, например звезд.

Мера разрешающей способности — тот угол, под которым, если смотреть с Земли в телескоп, два светила еще видны именно как два, а не как одно.

С разрешающей способностью радиотелескопа, а следовательно, и с размерами его зеркала тесно связана и другая его важная характеристика — направленность. Она показывает, с какой точностью мы можем указать положение источника радиоизлучения на небесной карте. В радиоастрономии это особенно важно. Ведь когда мы приняли радиосигнал с неба, нам, естественно, хочется узнать, кем он послан: Солнцем, туманностью или галактикой. Но чтобы ответить на этот вопрос, или, как говорят в астрономии, отождествить невидимый глазу радиисточник с оптическим объектом, нужно очень точно знать положение этого источника. Между тем радиотелескоп, имеющий на волне 50 сантиметров разрешающую способность в 1 угловую минуту, должен иметь диаметр зеркала... 125 километров. Реально ли создание такого гиганта?

Самый большой в мире действующий радиотелескоп зеркального типа с диаметром зеркала 76 метров находится на радиоастрономической станции Джодрел Бэнк Манчестерского университета (Англия). Это поистине грандиозное сооружение, но и его разрешающая способность астрономам недостаточна. Вот почему астрономы стремятся строить радиотелескопы все больших и больших размеров. Но радиотелескопам



*Рис. 7. Радиотелескоп состоит из вогнутого металлического зеркала параболической формы, в фокусе которого находится небольшая приемная антенна. Поступающая на нее энергия передается на специальные приемники и регистрирующую аппаратуру.*

«догнать» оптические телескопы по разрешающей силе далеко не так просто. В принципе можно сделать зеркало еще большего размера, однако технически это довольно сложная задача, и ее осуществление требует колоссальных затрат. Так, в США начато строительство радиотелескопа в виде гигантской чаши диаметром 180 метров. Но сейчас строительство приостановлено, так как расходы превысили смету (общая стоимость строительства оценивается суммой свыше 220 миллионов долларов), и неизвестно, будет ли закончена постройка.

Стремление астрономов строить зеркальные радиотелескопы не случайно. Всякая другая антенная система работает лишь на одной, заранее выбранной длине волны. Если возникает необходимость перейти с одной волны на другую, даже соседнюю, надо строить новый радиотелескоп. А в зеркальном радиотелескопе такой переход можно сделать гораздо проще — заменив в фокусе зеркала небольшую приемную антенну.

Однако создавать радиотелескопы с огромными зеркалами сложно, и астрономы продолжают искать иные пути, чтобы улучшить условия своих наблюдений. Совершенно очевидно, что не стоит создавать радиотелескоп для решения всех астрономических задач, одинаково пригодный, скажем, для наблюдения таких ярких объектов, как Солнце, и таких слабых, как далекие галактики. Вместе с тем нецелесообразно строить зеркальные радиотелескопы с расчетом на очень широкий диапа-

зон волн. В каждом конкретном случае радиотелескоп должен отвечать поставленной задаче. Рассмотрим два примера.

Ученых Физического института имени Лебедева АН СССР интересует радиоизлучение Солнца и планет на самых коротких радиоволнах — миллиметровых и сантиметровых. Для наблюдений на этих волнах очень важно, чтобы поверхность зеркала как можно точнее соответствовала заданной форме. Но чем больше зеркало, тем труднее это сделать. Советским ученым и инженерам удалось совместить высокую точность изготовления с достаточными для данных исследований размерами зеркала: при диаметре радиотелескопа 22 метра отклонение поверхности зеркала от идеальной не превышает 2 миллиметров; при этом достигнута разрешающая способность телескопа — 2 угловые минуты. Недаром по качеству поверхности зеркала этот радиотелескоп занимает первое место в мире.

Другой пример — радиотелескоп Пулковской обсерватории. Это инструмент высокой разрешающей силы. Его зеркало очень велико, но представляет собой не целую чашу, а как бы вырезанную из чаши полосу. Полоса эта состоит из отдельных, не связанных между собой пластинок. При повороте их телескоп наводится на любой нужный участок неба. Общая длина зеркала (по дуге окружности радиусом 100 метров) составляет 110 метров при высоте 3 метра. Так остроумно сумели пулковские астрономы обойти многие трудности постройки больших телескопов и создать крупный инструмент с высокой проникающей силой и разрешающей способностью от 1,2 угловой минуты для волны 3 сантиметра до 11,5 угловой минуты для волны 30 сантиметров.

Однако создание больших зеркальных телескопов разных конструкций не исчерпывает всех способов повышения разрешающей способности. Имеются инструменты, в которых используется не одно зеркало или антенна, а несколько, как, например, в строящемся на Омской станции Физического института Академии наук СССР крестообразном телескопе. Одна из полос «креста» уже построена. Вторая, перпендикулярная первой, будет закончена в ближайшее время. Длина каждой полосы, опирающейся на 37 ферм, составляет 1 километр, ширина 40 метров. Этот радиотелескоп — второй по величине в мире — обеспечивает на волне 3 метра разрешение в 10 угловых секунд!

Познакомимся с достижениями радиоастрономии.

### **Радиоизлучение Солнца**

Солнце кажется нам однородным. В действительности, как установила наука, его поверхность состоит из нескольких слоев. (Подробнее об этом говорится в статье «Солнце — центр

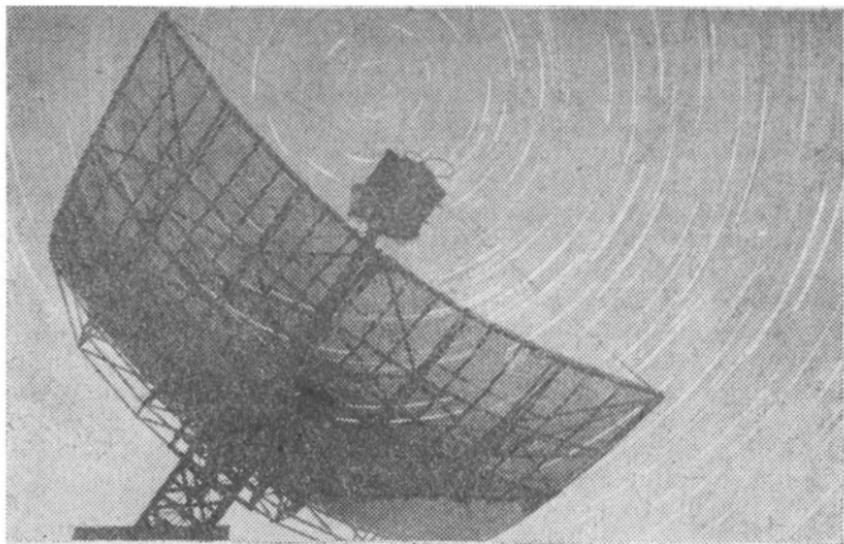
нашей планетной системы» в книжке нашей серии «Вселенная вокруг нас», № 12).

Еще первые наблюдатели Солнца в радиообласти спектра обнаружили весьма неожиданные его свойства. Наше дневное светило, которое всегда считалось исключительно постоянным источником излучения (недаром количество энергии, которое падает на 1 квадратный сантиметр земной поверхности за 1 минуту, называется солнечной постоянной), в радиодиапазоне ведет себя как переменная звезда, то есть поток излучения от Солнца меняется, и притом иногда в сотни и тысячи раз. Дальнейшие наблюдения, особенно выполненные в последние годы при помощи новых инструментов, помогли ученым разобраться в сложном поведении Солнца.

Интересно, что наблюдателям очень помогает само Солнце, точнее говоря, свойства солнечной атмосферы. Дело в том, что атмосфера Солнца, то есть хромосфера и корона, которые практически совершенно прозрачны для видимого излучения фотосферы (иначе мы не видели бы солнечную поверхность), гораздо менее прозрачны для радиоволн, причем эта непрозрачность растет с увеличением длины волны. Поэтому радиоизлучение на сравнительно коротких волнах (порядка 5 миллиметров), исходящее от хромосферы (на расстоянии 5 тысяч километров от фотосферы), еще проходит сквозь корону, а радиоизлучение на метровых волнах от хромосферы к нам не доходит, и мы в данном случае наблюдаем лишь излучение от разных слоев короны. Поскольку свойства солнечной атмосферы с удалением от поверхности Солнца изменяются постепенно, то каждой длине волны соответствует определенный уровень короны. Следовательно, наблюдая Солнце на разных волнах, мы как бы разрезаем солнечную атмосферу на разных высотах.

При этом радионаблюдения значительно дополняют оптические. Ведь видеть верхние слои короны можно только во время полных солнечных затмений каждый раз в течение нескольких минут, тогда как радионаблюдения можно проводить ежедневно и в любую погоду. Советский астроном В. В. Виткевич предложил способ исследовать корону на таких больших расстояниях от солнечного края (15—20 солнечных радиусов), на которых ее вообще невозможно увидеть в оптических лучах. Эта область короны называется сверхкороной.

Изучая Солнце на различных волнах, астрономы установили, что его радиоизлучение складывается из нескольких составляющих разной природы, которые возникают в разных областях Солнца и при различных обстоятельствах. Во-первых, мы имеем радиоизлучение, которое постоянно испускают хромосфера и корона независимо от того, есть ли на Солнце пятна, факелы или другие активные образования. Эта составляющая так и называется радиоизлучением спокойного Солнца.



*Рис. 8. Радиотелескоп, направленный на полюс мира, на фоне суточного вращения небесной сферы. Светлые дуги разной длины — это следы звезд, находящиеся на разных расстояниях от полюса.*

Как показали еще в 1946 году советские ученые И. С. Шкловский и В. Л. Гинзбург, в природе этого излучения нет ничего загадочного. Это обычное излучение нагретого тела, точнее говоря, его продолжение из видимой области спектра в радиообласть. Но оказалось, что излучение короны на волнах 1—10 метров соответствует температуре около миллиона градусов! На первый взгляд это кажется невероятным: ведь температура фотосферы составляет всего 6 тысяч градусов. Все становится ясным, если вспомнить, что физики нередко пользуются понятием температуры для характеристики скорости движущихся частиц. Температура, измеряемая по скорости частиц, называется кинетической. Например, при температуре 20 градусов в комнате молекулы воздуха движутся со скоростью нескольких сотен метров в секунду. Если газ достаточно плотный, то кинетическая температура и температура излучения (к которой мы привыкли) совпадают. Пример такого газа — солнечная фотосфера. Если же газ очень разрежен, как в короне, то частицы в нем могут двигаться с колоссальными скоростями, то есть кинетическая температура газа будет велика, а излучать тепла газ будет очень мало. Это и происходит в короне. Кроме излучения спокойного Солнца, есть другой вид его радиоизлучения, тоже тепловой природы. Оно очень медленно меняется, причем это изменение соответствует 11-летнему циклу солнечной активности.

На радиоизлучение спокойного Солнца накладывается радиоизлучение, которое обуславливает его переменность; оно называется радиоизлучением возмущенного Солнца. Известны случаи, когда уровень радиоизлучения возмущенного Солнца был особенно высок и превышал уровень излучения спокойного Солнца почти в миллион раз.

Радиоизлучение возмущенного Солнца имеет совершенно иную природу, чем его спокойная составляющая. По-видимому, оно обусловлено движением потоков электрически заряженных частиц в магнитных полях и связано с процессами, которые происходят в активных областях Солнца.

Природа радиоизлучения возмущенного Солнца изучена еще не полностью, так как соответствующие процессы довольно сложны. Но исследование их чрезвычайно интересно, так как часто эти процессы непосредственно влияют на состояние земного магнитного поля и ионосферы. Когда заряженные частицы влетают в земную атмосферу, возникают полярные сияния. В природе и самого Солнца, и солнечно-земных связей еще далеко не все понятно, но радионаблюдения Солнца помогают многое прояснить.

### **Радиоизлучение Луны и планет**

Мы знаем, что планеты солнечной системы и наша Луна, как и Земля, — тела холодные и светятся потому, что от их поверхности или атмосферы отражается солнечный свет. Но отражается он не весь, часть его идет на нагревание поверхности (или опять-таки атмосферы) планеты.

Мы уже говорили, что всякое нагретое тело — источник теплового излучения. При тех низких температурах, до которых нагреты Луна и планеты, максимум этого излучения следует ожидать в инфракрасной или радиообласти спектра. Такие измерения в оптическом диапазоне были сделаны. Казалось бы, что нового, кроме подтверждения этих данных, может дать радиоастрономия? Однако ученые старались не напрасно. Например, инфракрасные измерения Луны показывают, что температура ее поверхности плюс 130 градусов на дневной стороне и минус 150 градусов на ночной. В то же время радиоизменения на волне около 3 сантиметров дают всего минус 100 градусов, и эта величина не зависит от фазы Луны. Такое расхождение можно объяснить только определенными свойствами лунной поверхности. Луна ведь не имеет атмосферы, которая могла бы как-то влиять на изменчивость температуры. Очевидно, причину следует искать именно в свойствах поверхности нашего спутника.

Совершенно ясно, что если поверхность Луны твердая, скалистая, то излучение будет характеризоваться одинаковой температурой, независимо от метода изменений, то есть на-

блюдаемого расхождения не должно быть. Представим себе, однако, что Луна покрыта слоем пыли. Тогда положение для разных длин волн разное. Инфракрасное излучение исходит от самого верхнего слоя пыли, непосредственно испытывающего изменение притока солнечного тепла в зависимости от фазы Луны. А радиоволнам пыль «мешает» гораздо меньше, чем световым лучам, поэтому радиоволны могут приходиться из более глубоких, подповерхностных слоев.

Теплопроводность (то есть способность передавать тепло от одной части к другой) пыли очень мала. Поэтому подповерхностные слои почти не нагреваются за лунный день, но зато и почти не остывают лунной ночью. Вот почему там температура постоянна. Академик В. Г. Фесенков уже давно предполагал, что на Луне есть пылевой слой: пыль там должна возникать при взрывах от падения метеоритов. Теперь это предположение подтверждается радионаблюдениями. В наше время природой лунной поверхности интересуются не только астрономы, но и все те, кто надеется, что в ближайшем будущем людям удастся посетить Луну.

Очень интересны также данные о радиоизлучении Венеры и Юпитера. Во-первых, «радиотемпература» этих планет (особенно Юпитера) оказалась слишком высокой, чтобы ее можно было объяснить обычным тепловым излучением, и причины этого явления до конца пока еще не выяснены. Во-вторых, радиоизлучение на дециметровых волнах характеризуется резкими изменениями. По мнению одних ученых, эти изменения напоминают электрические грозовые разряды в земной атмосфере. Другие ученые пытались связать источники возмущенного радиоизлучения Юпитера с разными образованиями, видимыми на его поверхности (красное пятно и др.). Однако такие попытки успехом не увенчались. Высказываются предположения, что источник радиоизлучения находится еще глубже — на твердой поверхности планеты, но этот вопрос еще далеко не ясен. Радионаблюдениями установлено, что у Юпитера существуют магнитное поле и пояса радиации, подобные земным. Принято также радиоизлучение Марса и Сатурна.

### **Радиоизлучение из глубин Вселенной**

Когда было открыто радиоизлучение ближайшей к нам звезды — Солнца, некоторые ученые высказали предположение, что радиоизлучение Млечного Пути — это излучение всех входящих в него звезд. Однако подсчеты показали, что даже если бы интенсивность радиоизлучения всех звезд была такой же, как у возмущенного Солнца, то и тогда оно было бы слабее наблюдаемого. Следовательно, «вклад» звезд в радиоизлучение Млечного Пути очень мал. Главным источником излуче-

ния оказались облака ионизованного водорода, то есть водорода, атомы которого потеряли свой единственный электрон. При нагревании такого водорода горячими звездами он приобретает способность к тепловому излучению. Это излучение мы и регистрируем по всему небу. Но так как межзвездный водород больше всего скапливается в плоскости Млечного Пути, то и интенсивность излучения здесь наибольшая. А отдельные, или, как говорят астрономы, дискретные источники радиоизлучения, — это объекты по крайней мере четырех совершенно различных видов.

Прежде всего, это опять-таки облака ионизованного водорода, но более плотные, чем межзвездная среда. Поэтому они выделяются на общем звездном фоне, образуя так называемые галактические газовые туманности. Пример таких источников радиоизлучения — известная туманность Ориона или туманность Северная Америка. Изучение этих туманностей чрезвычайно важно в связи с проблемами происхождения звезд, поэтому любые дополнительные сведения об их числе, распределении в пространстве, количестве содержащегося в них вещества и т. п. имеют большое значение.

Кроме этих «нормальных» туманностей, существуют туманности совершенно другого рода. К ним относится известная как один из самых сильных источников радиоизлучения Крабовидная туманность. Она замечательна прежде всего тем, что ее возникновение связано с событием, которое произошло сравнительно недавно.

В 1054 году древнекитайские летописцы описали чудесное явление, которое поразило их воображение: на небе загорелась новая звезда. Впоследствии было установлено, что эта звезда существовала и раньше, но она испытала своего рода катастрофу — взрыв, получивший название вспышки сверхновой звезды. На месте этой гигантской вспышки была обнаружена Крабовидная туманность — остаток погибшей звезды. В центре ее сохранилась слабенькая, невидимая простым глазом звездочка. Таким образом, второй вид радиоисточников — особые туманности, остатки взорвавшихся звезд.

Когда было точно установлено, что Крабовидная туманность — источник радиоизлучения, астрономы начали рыться в старинных летописях, отыскивая сведения о вспышках других звезд, чтобы затем посмотреть, излучают ли их остатки радиоволны. Эти поиски увенчались успехом. В частности, знаменитая звезда, которую наблюдал в 1572 году Тихо Браге, также оказалась радиоисточником. Одно из упомянутых выше «радиосолнц» в созвездии Кассиопеи также, по-видимому, остаток сверхновой звезды, вспыхнувшей 260 лет назад. Интересно, что «клячья» этой туманности в оптических лучах были обнаружены лишь после самых тщательных поисков с помощью

гигантского пятиметрового телескопа; до открытия этого источника радиоизлучения о ее существовании никто и не подозревал.

Все остатки взорвавшихся звезд мы выделяем в особый класс радиоисточников не только из-за их происхождения, но и потому, что природа их излучения совсем иная, чем у обычных газовых туманностей. Их излучение — не тепловое. Оно обусловлено движением очень быстрых электронов (скорость их близка к скорости света) в магнитных полях. Изучение этого процесса в туманностях — остатках гигантских космических катастроф — позволило И. С. Шкловскому и В. И. Гинзбургу сделать одно из важных открытий современной науки: они доказали, что именно при подобных вспышках возникают космические лучи (как называют потоки элементарных частиц, имеющих огромные энергии и во всех направлениях пронизывающих космическое пространство).

К третьему виду радиоисточников относятся объекты совсем иной природы, лежащие далеко за пределами Млечного Пути. Это другие галактики, подобные нашей. Например, ближайшая наша соседка — галактика в созвездии Андромеды — тоже один из радиоисточников. Радиоизлучение этих галактик представляет собой совокупность излучений межзвездного ионизованного водорода, туманностей, остатков вспышек звезд, а также и отдельных нормальных звезд.

Наконец, еще один вид источников — это некоторые необычные галактики. К ним относится, например, яркий источник радиолучей из созвездия Лебедь (еще одно «радиосолнце»). Вопрос о причине радиоизлучения этих источников — один из самых неясных, вызывающих жаркие споры. Одни ученые считают, что здесь произошло столкновение двух галактик. Другие полагают, что галактика одна, но с совершенно особыми свойствами. Среди этого класса радиоисточников встречается, например, переменная радиогалактика, то есть галактика, поток радиоизлучения от которой претерпевает заметные колебания.

Во всяком случае, излучение этих галактик никак не может быть связано только с теми источниками, которые вполне объясняют радиоизлучение «нормальных» галактик.

Ну, а как обстоит дело с радиоизлучением обычных звезд? Обычные звезды, в том числе и Солнце, — это слабые источники радиоволн. Но Солнце относительно близко к нам, поэтому мы улавливаем и относительно большую долю его радиоволн. Для нас, жителей Земли, Солнце — довольно мощный источник.

Большие расстояния — вот причина, которая мешает нам считать каждую звезду одновременно и радиозвездой. Однако можно надеяться, что с дальнейшим усовершенствованием

радиотелескопов количество космических объектов, изучаемых радиоастрономическими методами, будет увеличиваться.

Для изучения нашей Галактики особое значение имеют радионаблюдения на волне 21 сантиметр. На этой длине волны происходит излучение водорода, но не ионизованного, а обычного, или, как говорят физики, нейтрального (см. статью «Межзвездная среда»).

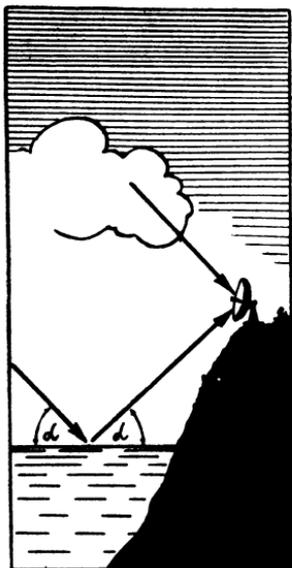
Астрономы из многих косвенных данных установили, что нейтральный водород составляет большую часть содержащегося в Галактике газа, но в оптической области он ненаблюдаем.

Это не означает, что нейтральный водород вообще невозможно наблюдать в оптической области. Если температура водорода достаточно высока, то его атомы, оставаясь нейтральными, переходят, как говорят, в возбужденное состояние. В этом случае водород излучает в видимой и ультрафиолетовой областях спектра и его можно наблюдать с помощью спектральных приборов. Но если плотность водорода мала (а в межзвездном пространстве она ничтожна — около 1 атома в 1 кубическом сантиметре) и температура низкая (а там она не выше минус 180 градусов), то водород остается в так называемом основном состоянии и излучение его в оптической области невозможно, то есть он остается «невидимкой». В 1944 году голландский ученый Ван де Хюлст показал, что излучение нейтрального водорода должно наблюдаться в радиодиапазоне, но не по всему спектру, как в случае ионизованного водорода, а в строго определенной линии с длиной волны 21 сантиметр.

Первые же наблюдения на этой волне показали, что открываются совершенно новые возможности для изучения строения нашей Галактики — ее спиральной структуры и вращения. Оптические наблюдения звезд и туманностей позволяют изучать Галактику лишь в ближайших к Солнцу районах, так как ядро Галактики и ее более далекие области полностью скрыты от нас темными непрозрачными облаками газа и пыли — газовой-пылевой туманностями. Радиоволны, которым межзвездная пыль почти не мешает, позволяют нам как бы «просвечивать» Галактику, выясняя ее характерные особенности.

Эти наблюдения не только доказывают, что наша Галактика действительно имеет спиральную структуру (что не так-то просто увидеть, находясь внутри Галактики), но и помогают обнаружить в ней множество спиральных рукавов. Кроме того, наблюдения на волне 21 сантиметр дают способ измерить скорость вращения Галактики и количество содержащегося в ней водорода. Как видим, в области галактических исследований радиоастрономия оказывает неоценимую помощь оптической астрономии.

## Радиолокационная астрономия



*Рис. 9. Схема морского радиointерферометра. В таких радиотелескопах складывается радиоизлучение, непосредственно полученное антенной от источника радиоизлучения, с отражением этого излучения от поверхности моря. Когда разность фаз прямого и отраженного луча составляет целое число длин волн, мощность сигнала значительно возрастает. Это позволяет намного повысить разрешающую силу радиотелескопов.*

Если какой-либо предмет (корабль, самолет) обладает способностью отражать падающие на него радиоволны, то при современном уровне радиотехники его можно без особого труда обнаружить, даже когда он довольно далеко или скрыт от глаз облаками и туманом. Такой способ называется радиолокацией. Еще на заре развития радиоастрономии советские ученые Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси указали на возможность радиолокации Луны, и в 1945 году в США и Венгрии эта идея была осуществлена на практике. Так было положено начало применению радиолокации в астрономии.

Особенно широко используется радиолокация для наблюдений метеоров. Метеоры могут появляться в земной атмосфере в самое различное время, в любых участках неба, и не только ночью, но и днем. Поэтому уследить за ними глазом и даже с помощью фотопластики удастся далеко не всегда. Здесь на помощь приходит радиолокация. Когда метеорная пылинка вторгается в земную атмосферу, она ее ионизирует, создавая при полете так называемые следы метеорной ионизации. Следы хорошо отражают радиоволны, а это и позволяет обнаружить метеор и даже опреде-

лить скорость его движения, расстояние до него и некоторые физические данные. Как показали проведенные недавно специальные исследования, радиотражения от Луны и метеорных следов могут быть использованы для радиосвязи.

За последние годы астрономы опять обратились к идее локации более далеких объектов, в частности Венеры. Радиолокация Венеры была осуществлена в Советском Союзе, США и Англии. Советские ученые поставили перед собой целый ряд задач: точно измерить расстояние до Венеры в километрах,



*Рис. 10. Большой 32-антенный радиотелескоп, основанный на принципе морского радиоинтерферометра. Он установлен в Австралии (Сидней). Весь ряд зеркал этого радиотелескопа тянется в длину на 200 метров. Он способен разделять объекты, отстоящие друг от друга на угловом расстоянии в 3 минуты. Работает на волне 21 сантиметр.*

получить данные о физическом состоянии атмосферы и поверхности планеты. Эти задачи были успешно решены.

Определить точное расстояние до Венеры особенно важно для уточнения единицы масштаба солнечной системы — астрономической единицы (среднего расстояния от Земли до Солнца). Ведь расстояния до различных тел солнечной системы принято выражать именно в астрономических единицах. Следовательно, если значение астрономической единицы известно недостаточно точно, то и все расстояния будут ошибочны. И наоборот, чем точнее известна величина астрономической единицы, тем точнее мы будем знать расстояние до интересующего нас небесного тела.

Сейчас, когда человек вот-вот полетит на Луну и другие планеты, знание точных расстояний в солнечной системе приобретает особое значение.

Прежние оптические измерения астрономической единицы давали значение где-то между 149 400 000 и 149 700 000 километров с возможной ошибкой в десятки тысяч километров; советские радиоизмерения дают значение 149 599 300 километ-

ров с ошибкой менее 2 тысяч километров. Принятое в настоящее время значение астрономической единицы — 149 600 000 километров.

Таковы основные достижения радиоастрономии. Они очень значительны. Во многих случаях радиометоды позволяют получать сведения, не доступные оптическим наблюдениям. Не означает ли это, что радиоастрономия способна полностью заменить свою старшую сестру — оптическую астрономию? Конечно нет! Кое в чем она, может быть, и имеет преимущества перед оптической астрономией. Например, большие радиотелескопы проникают дальше в глубины Вселенной, чем самые большие оптические телескопы, и поэтому радиоастрономии может принадлежать решающее слово в исследованиях далеких галактик. Но в большинстве случаев она призвана не заменять, а дополнять оптическую астрономию; данные радиоастрономии ценны прежде всего в совокупности с оптическими: они позволяют ученым более всесторонне изучать космические объекты.

---

# Интересно, полезно знать

## Немного о теории относительности

Законы механики Ньютона, закон всемирного тяготения, законы Кеплера довольно точно описывают, как происходит движение тел во Вселенной. Но эти законы объясняют далеко не все явления, происходящие в космосе; из них также нельзя получить представление о строении Вселенной в целом.

С развитием астрономии число явлений, которые не укладывались в рамки ньютоновской механики, становилось все больше. Аналогичный процесс происходил с развитием других областей физики.

На грани XIX и XX веков назрел кризис в представлениях об основных понятиях, казавшихся во времена Галилея и Ньютона почти очевидными. Речь идет о понятиях пространства и времени. По существу кризис возник потому, что в законах Ньютона и Кеплера мера длины, мера времени и материя предполагались существующими как бы независимо друг от друга.

Предполагалось, что можно говорить о времени протекания какого-либо явления или о размерах какого-либо тела независимо от способа измерений, независимо от расположенных вблизи масс, то есть, по существу, независимо от материальных процессов, причем появились опыты, объяснить которые оказалось для физиков того времени очень трудно. Приходилось прибегать к натяжкам, к дополнительным гипотезам.

В разрешении этого кризиса огромная заслуга принадлежит немецкому физiku Альберту Эйнштейну, создавшему теорию относительности. В этой весьма стройной теории свойства пространства, времени и материи оказались неразрывно связанными. Из теории следовали выводы, которые поначалу многим казались очень странными. Например, время в движущихся системах отсчета должно было идти иначе, масса тел должна была возрастать вместе с ростом скорости их перемещения и т. д.

Интересно, что законы Ньютона и Кеплера вошли в теорию относительности как первое приближение более точных, более общих законов.

Особую роль в теории относительности играет тяготение: в поле тяжести изменяется ход любых часов, в поле тяжести изменяются масштабы длины и т. д.

Огромную роль в подтверждении теории относительности сыграла астрономия. Приведем два примера, в которых точные методы астрономии «сказали свое веское слово» в пользу теории относительности.

Первый пример относится к вращению перигелия ближайшей к Солнцу планеты — Меркурия. (Напомним, что перигелий — это самая близкая к Солнцу точка орбиты). Еще в 1845 году астроном Леверрье с большой точностью установил, что перигелий Меркурия очень медленно вращается. За 100 лет его смещение составляет 43 угловые секунды. Если основываться только на законах Ньютона и Кеплера, то это явление объяснить нельзя. В то же время расчет, произведенный по теории Эйнштейна, как раз и предусматривает эти 43 секунды за столетие.

Второй пример относится к отклонению световых лучей вблизи тел,

обладающих значительной массой. Такое отклонение астрономы могли наблюдать, отмечая во время солнечных затмений положение звезды вблизи диска Солнца. Световой луч от звезды немного искривляется, проходя мимо огромной массы Солнца. Звезды, расположенные близко к диску Солнца, в момент затмения кажутся земному наблюдателю смещенными по отношению к их обычному положению.

Это смещение тем больше, чем ближе звезда при фотографировании к краю диска Солнца. Именно поэтому и наблюдать такое смещение можно только во время затмений. Согласно Эйнштейну, масса Солнца должна отклонить луч, идущий от звезды и проходящий около края диска Солнца, на 1,75 угловой секунды. Расчеты, произведенные по уравнениям ньютоновской механики, дают вдвое меньшее значение.

Измерения, начатые астрономами в 1919 году, убедительно показали, что отклонение совпадает с предсказанием Эйнштейна. Этот пример особенно ярко показывает связь между свойствами пространства и материей. Теорию относительности, особенно ту ее часть, которая связана со строением Вселенной, физики и астрономы продолжают развивать и сейчас.

---

**О чем рассказывается в этой книге**

О чем рассказывает луч света — <i>канд. физ.-мат. наук</i> <i>П. В. Щеглов</i> . . . . .	5
Что такое радиоастрономия — <i>канд. физ.-мат. наук</i> <i>И. С. Щербина-Самойлова</i> . . . . .	28
Приложение «Интересно, полезно знать» Немного о теории относительности — <i>канд. пед.</i> <i>наук Ф. Ю. Зигель</i> . . . . .	44

## **СБОРНИК**

Редактор *И. Б. Шустова*  
Худож. редактор *Т. И. Добровольнова*  
Техн. редактор *Л. А. Дороднова*  
Корректор *Е. Э. Ковалевская*  
Обложка художника *А. М. Олевского*

---

Сдано в набор 17/VIII 1965 г. Подписано к печати  
14/X 1965 г. Изд. № 94. Формат бум. 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бум. л. 1,5. Печ. л. 3,0. Уч.-изд. л. 2,58. А 01487  
Цена 9 коп. Тираж 10 500 экз. Заказ 2749.  
Издательство «Знание». Москва, Центр,  
Новая пл., д. 3/4.

---

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

## НАПОМИНАЕМ ПОДПИСЧИКАМ

В 1966 году издательство «Знание» продолжит выпуск подписных брошюр серии

### «НАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

по 7 факультетам:  
естественнонаучному,  
технико-экономическому,  
сельскохозяйственному,  
литературы и искусства,  
правовых знаний,  
педагогическому,  
здоровья.

Это единственные в нашей стране издания, специально предназначенные для слушателей народных университетов и построенные строго по их программам. Брошюры написаны интересно и доступно, поэтому они являются ценным пособием не только для слушателей народных университетов, но и для всех, кто стремится пополнить свои знания и занимается самообразованием.

Среди авторов брошюр ведущие советские ученые: члены-корреспонденты АН СССР С. В. Вонсовский, В. И. Сифоров, действительный член АМН Д. А. Жданов, член-корреспондент АМН А. А. Покровский, доктора и кандидаты наук И. А. Бородин, В. И. Гуляев, М. Х. Карапетянц, Ф. С. Карзинкин, А. И. Китайгородский, А. Ф. Плате, Э. И. Федин и другие, а также писатели, журналисты, педагоги, общественные и политические деятели.

В 1966 году наряду с обычными брошюрами в 3—5 п. л. будут выходить книги объемом 10—15 п. л. Это пособия, написанные по программе определенного факультета в рассчитанные на то, чтобы дать читателю законченный цикл знаний. Общий объем по каждому факультету 60 печатных листов в год.

Подписаться можно — на каждый факультет отдельно или на несколько вместе — без всяких ограничений в отделениях связи, почтамтах, а также у общественных распространителей печати.

Подписная цена на один факультет:

на 3 месяца	—	45 коп.
на 6 месяцев	—	90 коп.
на 12 месяцев	—	1 руб. 80 коп.

Индекс факультетов в каталоге «Союзпечати» на 1966 год  
70057—70063.

9 коп.

**Индекс**  
**70057**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»**  
**Москва 1965**