

Внимание!

Данная книга оцифрована
и опубликована

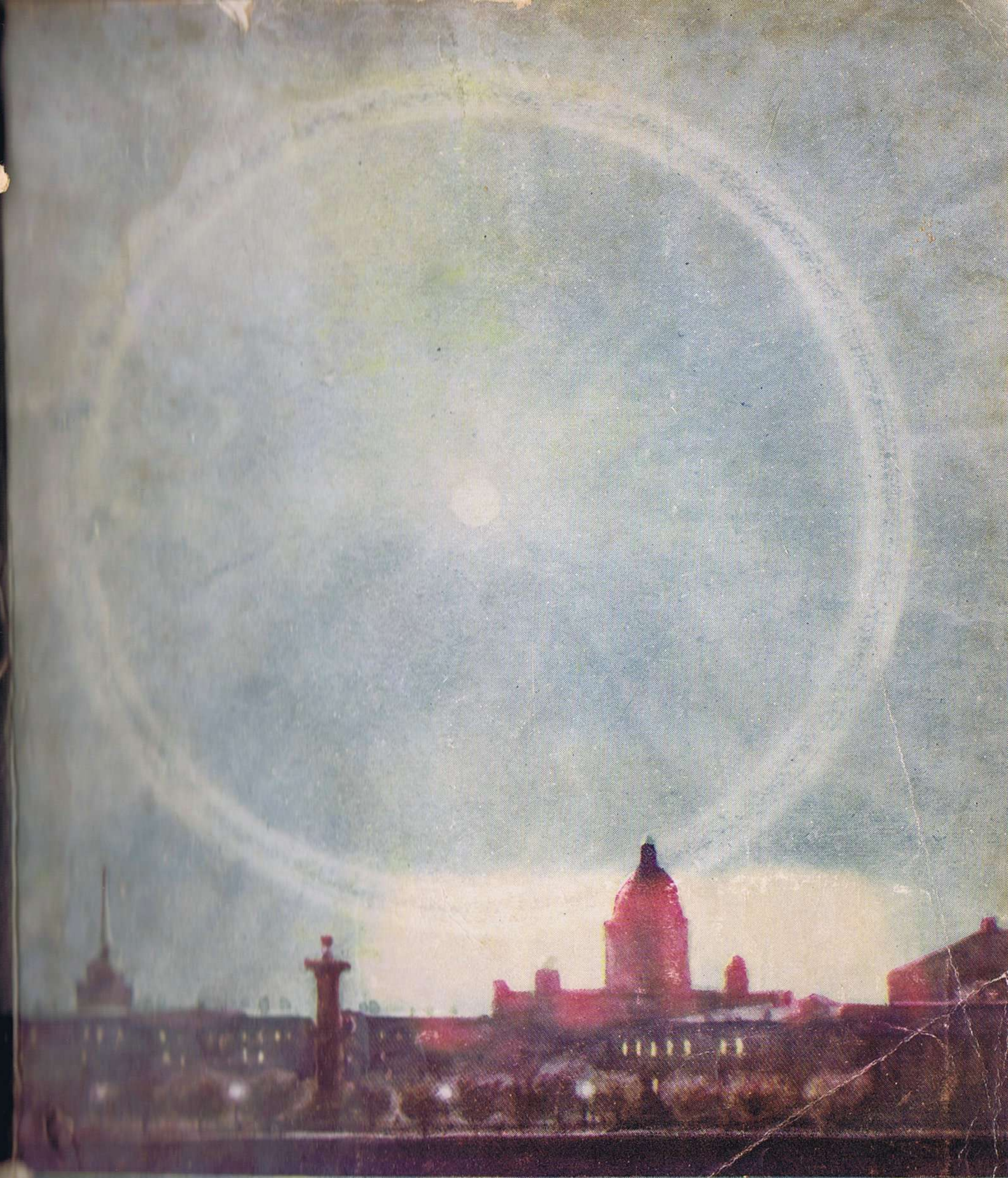
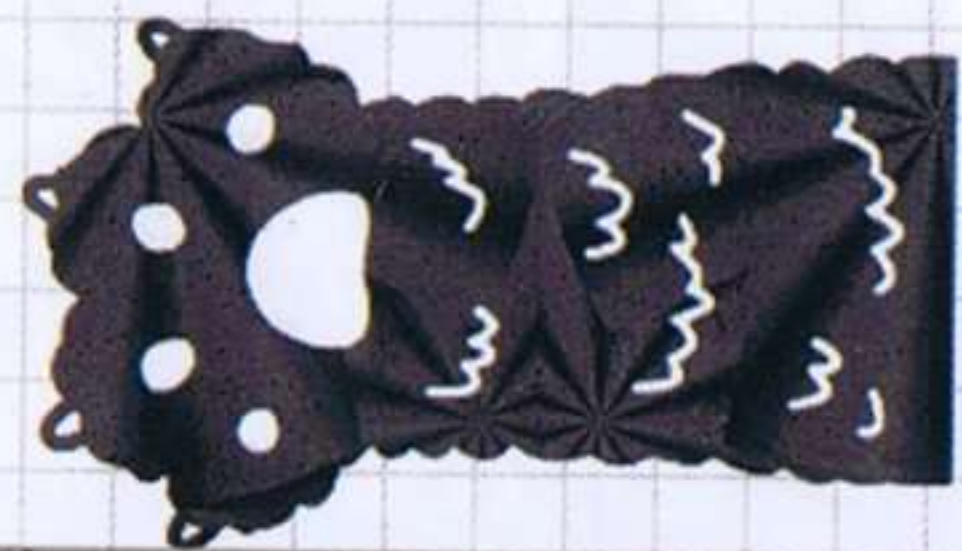
в сети "Интернет" в

некоммерческих целях

исключительно для

ознакомления.

С уважением к автору
книги.



В. Гаврилов

СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

ГОСКИЛЬПРОСВЕТИЗДАТ • МОСКВА • 1952

ди поклонялись солнцу, принимая дневное светило за божество. Христианская религия беспощадно расправлялась с теми, кто пытался научно объяснить явления природы. Их объявляли колдунами, еретиками, их сжигали на кострах, погребали заживо в тюрьмах.

Особым рвением в борьбе с наукой отличался католицизм — самое реакционное и чуждое человечеству религиозное течение. Кровавый католицизм, сжегший на кострах тысячи людей за их попытки познать окружающий мир, представляет собою позорное пятно в истории человечества.

Трудящиеся капиталистических стран до сих пор лишены возможности знать достижения науки, так как правящие круги этих стран не только поддерживают лженаучные религиозные учения об устройстве природы и мира, но и тормозят развитие самой науки.

Не удивительно поэтому, что представления о божественном происхождении тех или иных явлений природы (усиленно поддерживаемые «отцами» всех церквей) оказались довольно живучими. До самого недавнего времени такие замечательные по красоте явления, как световые кресты вокруг солнца или пурпурно-красные зори, связанные с вулканическими извержениями, вызывали у людей страх, панические слухи о конце мира, вспышки религиозного фанатизма и т. п.

В нашей стране пропаганда научных знаний среди народа ведется в грандиозных масштабах. Это соответствует генеральной установке нашей партии, выраженной И. В. Сталиным на XVIII съезде ВКП(б): «...сделать всех людей культурными и образованными», без чего невозможно наше продвижение к коммунизму.

Наука объясняет происхождение различных явлений природы, в том числе и явлений, совершающихся в атмосфере.

Изучение явлений природы не только позволяет удовлетворить естественное желание человека знать, отчего они происходят, но и помогает человеку в его извечной борьбе с природой.



книга

из библиотеки

Ольги Волковой

vk: olga.strela

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АТМОСФЕРЕ

ПО СОВРЕМЕННЫМ представлениям, атмосфера простирается в высоту более чем на 1000 километров. Четкой верхней границы атмосферы не существует, так как плотность воздуха плавно убывает с высотой, а отдельные молекулы газов могут удаляться от земли на расстояние в несколько десятков тысяч километров.

Во время лунных затмений на поверхности луны иногда удается рассмотреть, помимо тени земли, также слабую, полупрозрачную тень земной атмосферы.

По ширине этой полупрозрачной полоски установили, что плотность атмосферы, вплоть до высоты в 200 километров, еще настолько велика, что воздействие, оказываемое ею на солнечные лучи, может быть легко замечено глазом наблюдателя.

Земная атмосфера состоит в основном из двух газов: азота (78 процентов по объему) и кислорода (21 процент). В очень небольших количествах в составе воздуха (у земли) присутствуют аргон, углекислый газ, водород, неон, гелий и другие газы. Все вместе взятые они составляют лишь 1 процент объема всей атмосферы. Приведенные цифры относятся к составу сухого воздуха. Отметим, что хотя углекислого газа в атмосфере и немного (0,03 процента объема атмосферы), но он играет огромную роль в развитии растительности на земле.

Раньше существовало мнение, что в высоких слоях атмосферы состав воздуха другой, отличающийся преобладанием легких газов (в основном, водорода). Однако такое мнение оказалось ошибочным. Сейчас установлено, что и в верхних слоях атмосферы воздух также состоит в основном из азота и кислорода.

Помимо перечисленных выше постоянных газов, в атмосфере находится также вода, и притом в трех состояниях: газо-

образом (водяной пар), жидком (капельки облаков и дождь) и твердом (кристаллики льда). Вода поступает в атмосферу путем испарения ее с поверхностей океанов, морей, озер, почвы и растительного покрова. Вода испаряется также с поверхности снега и льда.

Чем выше температура воздуха, тем энергичнее происходит испарение воды, тем больше, как правило, водяных паров в атмосфере. Наблюдениями установлено, что, в зависимости от температуры воздуха, количество водяных паров в атмосфере резко меняется, колеблясь от 0,05 до 4 процентов. В жарких странах в атмосфере содержится обычно большое количество водяных паров, в умеренных — значительно меньше, в полярных — еще меньше.

Водяной пар находится в атмосфере в неустойчивом состоянии. При понижении температуры воздуха молекулы водяного пара соединяются друг с другом, образуя или мельчайшие капельки воды, или мельчайшие частички льда. В последнем случае образуются не бесформенные ледяные частички, а тела правильной кристаллической формы. Из таких взвешенных в воздухе капелек воды и кристалликов льда образуются облака самых разнообразных форм и видов.

Облака и выпадающие из них осадки создают такие световые явления, как околосолнечные кольца, кресты, столбы, радуги и т. д.

Помимо газов и водяного пара, в атмосфере содержится также, особенно в ее нижних слоях, огромное количество пыли, дымовых частиц, микроорганизмов и т. п. Пыль в атмосфере образуется за счет выветривания мельчайших частиц почвы и распространяется ветром на сотни и тысячи километров.

При наличии сильных ветров в степных или пустынных районах количество пыли в воздухе бывает настолько велико, что солнечный свет меркнет. В США, например, из-за хищнических методов ведения сельского хозяйства сильные бури вздымают в воздух сотни миллионов и миллиарды тонн поверхностного слоя почвы, земля обнажается до скального основания и целые районы превращаются в каменистые пустыни.

Верхние слои атмосферы также содержат некоторое количество пыли. Образуется она за счет сгорания в атмосфере метеоров и попадает в верхние слои из мирового пространства. Подсчитано, что ежегодно в верхние слои атмосферы (80—100 километров высоты) таким образом поступает количество пыли, достигающее до 30 тысяч тонн.

Наконец, при мощных извержениях вулканов также происходит значительное запыление верхних слоев атмосферы (30—50 километров высоты) мельчайшей вулканической пылью.

Конечно, количество пыли в верхних слоях атмосферы очень мало по сравнению с ее количеством в нижних слоях.

Земная атмосфера имеет значительный вес. Каждый квадратный сантиметр земной поверхности испытывает со стороны атмосферы давление, равное, округленно, 1 килограмму. Наше тело, имея поверхность в среднем 1,5 квадратных метра, ис-

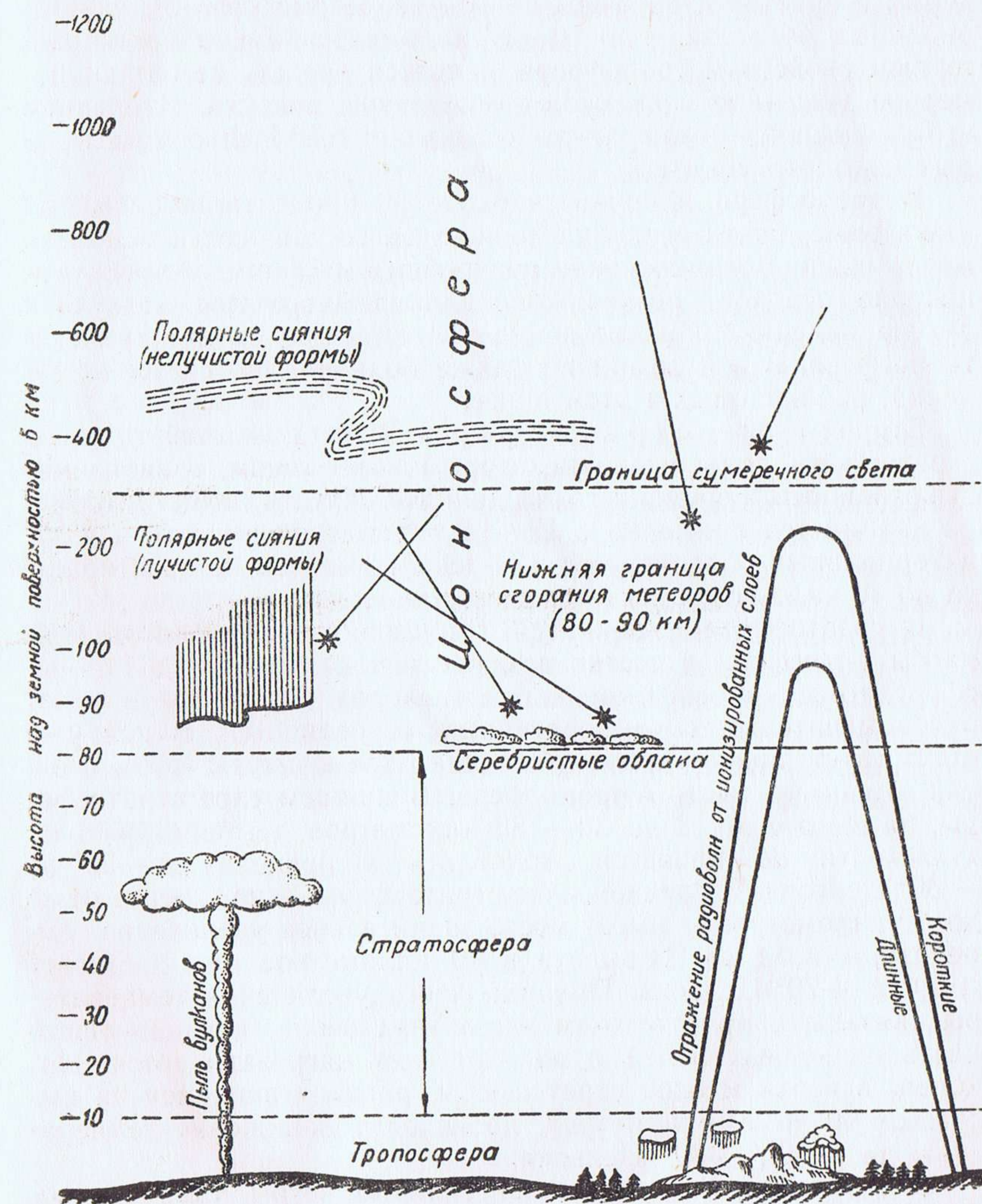


Рис. 1. Схема строения атмосферы

пытывает со стороны атмосферы давление, равное... 15 тоннам!

По мере поднятия вверх давление атмосферы закономерным образом падает.

Установлено, что земная атмосфера разделяется на три резко отличных между собою слоя.

Первый слой — тропосфера — начинается у поверхности земли и простирается вверх на 10—12 километров, а в экваториальных областях — до 16—17 километров. Наиболее характерным свойством тропосферы является прежде всего закономерное убывание с высотой температуры воздуха. В среднем это уменьшение температуры составляет $6,5^{\circ}$ Цельсия на каждый километр высоты.

В тропосфере содержится около 80 процентов всей массы атмосферы, почти вся вода во всех ее состояниях и основная масса пыли. Возникновение разнообразных форм облаков, выпадение осадков, резкие колебания температуры воздуха и другие явления, определяющие погоду, происходят также в тропосфере. В ней возникает также большинство световых явлений, разбираемых в этой книге.

Второй слой — стратосфера. Высота нижней границы стратосферы подвержена некоторым колебаниям, в зависимости от широты и времени года. Принято считать, что стратосфера начинается примерно с 12—14 километров высоты, а в экваториальных областях — с 17—18 километров, и простирается до 80 километров над поверхностью земли.

В стратосфере содержится примерно 20 процентов всей массы атмосферы и состав воздуха тот же, что и в тропосфере, то есть в основном азот и кислород. Стратосфера имеет ряд замечательных температурных особенностей. В ней уже отсутствует закономерное убывание температуры с высотой, как это имеет место в тропосфере. В нижнем слое стратосферы, на высоте от 12 до 30—35 километров, температура воздуха почти не меняется, колеблясь в пределах от -50° до -60° Цельсия. В среднем слое стратосферы — на высоте от 35 до 60 километров — имеет место значительное увеличение температуры воздуха. На высоте в 60 километров она достигает $+50^{\circ}$ и $+70^{\circ}$ Цельсия. Причины этого увеличения температуры связаны с присутствием здесь газа озона, поглощающего часть солнечных лучей и за этот счет нагревающегося. Наконец, в верхнем слое стратосферы, располагающемся на высоте от 60 до 80 километров, происходит понижение температуры до -60° , -80° Цельсия.

В стратосфере господствуют сильные ветры, скорость которых может достигать 100 и более километров в час. Например, в 1934 году советский стратостат «Осоавиахим-1» на вы-

соте 22 километра за 4 часа полета был отнесен от места взлета на 400 километров.

В верхних слоях стратосферы сгорает большинство метеоров, вследствие чего там иногда образуются скопления метеорной пыли.

Третий слой — ионосфера. Она начинается с 80 километров над поверхностью земли и простирается в высоту на многие сотни километров. В ионосфере содержится всего лишь около 0,01 процента всей массы атмосферы.

Плотность воздуха в нижних слоях ионосферы в миллионы, а в верхних слоях в миллиарды раз меньше плотности воздуха на поверхности земли. В ионосфере иногда возникает одно из наиболее величественных и красивых явлений природы — полярные сияния.

В ионосфере мельчайшие частички воздуха — молекулы — подвергаются мощному воздействию излучения солнца. В результате этого воздействия молекулы газов оказываются электрически заряженными, ионизированными. Такие молекулы называются ионами, откуда и произошло название третьего слоя атмосферы.

На отдельных высотах ионосферы имеются слои, хорошо проводящие электрический ток. Эти слои обладают способностью отражать длинные, средние и короткие радиоволны, что играет важную роль в радиосвязи. Что же касается ультракоротких волн, используемых в телевидении или в радиолокации, то эти волны не отражаются от проводящих слоев, а пронизывают их насквозь и уходят в мировое пространство. Другой особенностью ионосферы является высокая температура воздуха, которая возрастает с высотой. На уровне 150—200 километров температура составляет несколько сот градусов выше нуля. Столь высокое нагревание воздуха вызывается тем, что значительная часть солнечных лучей поглощается в ионосфере.

РАДУГИ

РАДУГА — одно из наиболее распространенных и весьма красивых световых явлений в атмосфере.

Едва ли можно найти человека, который не видел радуги. И, пожалуй, именно частота ее появления служит причиной того, что мы по большей части довольствуемся мимолетным и равнодушным ее созерцанием.

Однако, сколько интересного и поучительного дает внимательное наблюдение за радугой и сколько скрывается в ней различных и интересных связей с другими явлениями природы!

Радуга обращала на себя внимание людей еще в глубокой древности. Но, не зная ее происхождения, люди рассматривали радугу как проявление божественных сил, как «знамение неба».

Так, древнегреческая мифология считала, что радуга означает приход на землю богини Ириды, посланницы богов.

Христианская религия рассматривала три наиболее отчетливо воспринимаемых цвета радуги — красный, желто-зеленый и голубой — как символ триединого божества. Если же наблюдались радуги, в которых отчетливо замечались лишь два каких-либо цвета (например, красный и зеленый), то это воспринималось как указание «небес» на двоякую природу Христа: человеческую и божественную.

Как световое явление, радуги чрезвычайно разнообразны. По выражению одного ученого, радуги отличаются друг от друга, как деревья в лесу. Это внешнее разнообразие радуг приводило к тому, что долгое время не удавалось построить теорию, которая правильно объясняла бы многочисленные виды радуги. Недавно молодому советскому ученому К. С. Шифрину удалось значительно уточнить существующие теории радуги.

Подробное объяснение радуги очень сложно. Мы ограничимся здесь лишь самым простым объяснением.

Радуга возникает при таком сочетании метеорологических условий, когда на одной половине небосвода идет дождь, а на противоположной стороне небо свободно от туч и светит солнце. Иногда, но очень редко, радуги могут возникать и на стороне солнца.

Радуга образуется в результате преломления прямых солнечных лучей в каплях падающего дождя. Если повернуться спиной к солнцу и лицом к падающему дождю, то почти всегда можно увидеть радугу в виде красивой цветной дугообразной полосы, напоминающей своим видом арку. При этом радуга бывает окрашена в так называемые основные цвета: снаружи располагается узкая дугообразная полоска красного цвета, затем следуют полосы оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и, наконец, фиолетового цвета, причем последняя образует внутреннюю полосу радуги. Не всегда глаз замечает все семь цветов и не всегда эти цвета бывают отчетливыми, или, как говорят, «чистыми».

Мы уже говорили, что две совершенно одинаковые радуги встречаются так же редко, как и два совершенно одинаковых дерева. Меняются содержание цветов, их яркость, ширина цветных полосок, высота и ширина арки. Радуги бывают двойные, тройные, четверные и даже пятерные; бывают радуги белые, красные, зеленые, сине-голубые.

Это разнообразие радуг проистекает из-за того, что возникновение каждой из них связано с определенными метеорологическими условиями и высотой солнца на небосводе. Одни и те же метеорологические условия бывают в природе очень редко. Еще реже встречается совпадение одних и тех же метеорологических условий с одной и той же высотой солнца.

Каждый вид и каждая особенность радуги могут быть объяснены на основании общих законов физики.

Нет необходимости останавливаться здесь на объяснении каждого вида радуги. Достаточно ограничиться объяснением двух основных, наиболее часто встречающихся ее видов, чтобы понять происхождение других, более редких форм.

Вот эти два наиболее часто наблюдаемых вида радуги: 1) основная, или главная (или первичная); 2) двойная (или дополнительная).

ГЛАВНАЯ РАДУГА

Разберем сначала, что такое главная радуга и как она возникает.

Известно, что белые лучи света, идут ли они от солнца, или от любого другого источника, в действительности состоят из множества цветных лучей. Из этого множества цветов глаз че-

ловека наиболее четко различает лишь семь: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. Они получили название основных цветов.

Если наблюдать за переходом белого или красного или любого другого луча света из воздуха в воду, стекло или какое-либо другое прозрачное тело, более плотное, чем воздух, то можно убедиться, что луч, если он проходит наклонно к поверхности тела, обязательно отклонится от первоначального направления, или, как принято говорить, испытает преломление.

Посмотрите на чайную ложку, опущенную в стакан с водой. Кажется, что в воде ложка располагается в другом направлении. В воде она «преломилась». При этом, чем больше наклонять ложку к поверхности воды, тем сильнее до некоторого момента будет и преломление. Конечно, сама ложка при этом не преломилась, это всего лишь оптический обман, вызванный преломлением лучей, идущих из воды в воздух, от ложки в глаз наблюдателя.

Опыт показывает, что преломление красных, желтых, зеленых и других лучей происходит по-разному. Красные лучи мало отклоняются от первоначального направления, то есть испытывают незначительное преломление; желтые лучи преломляются сильнее красных, зеленые — сильнее желтых и т. д. Наибольшее отклонение, или преломление, испытывают фиолетовые лучи.

Представим себе белый солнечный луч, падающий на дождевую каплю (рис. 2). Так как белый луч представляет собой смесь красных, зеленых и других цветных лучей, а последние, как уже указывалось, преломляются с различной силой, то

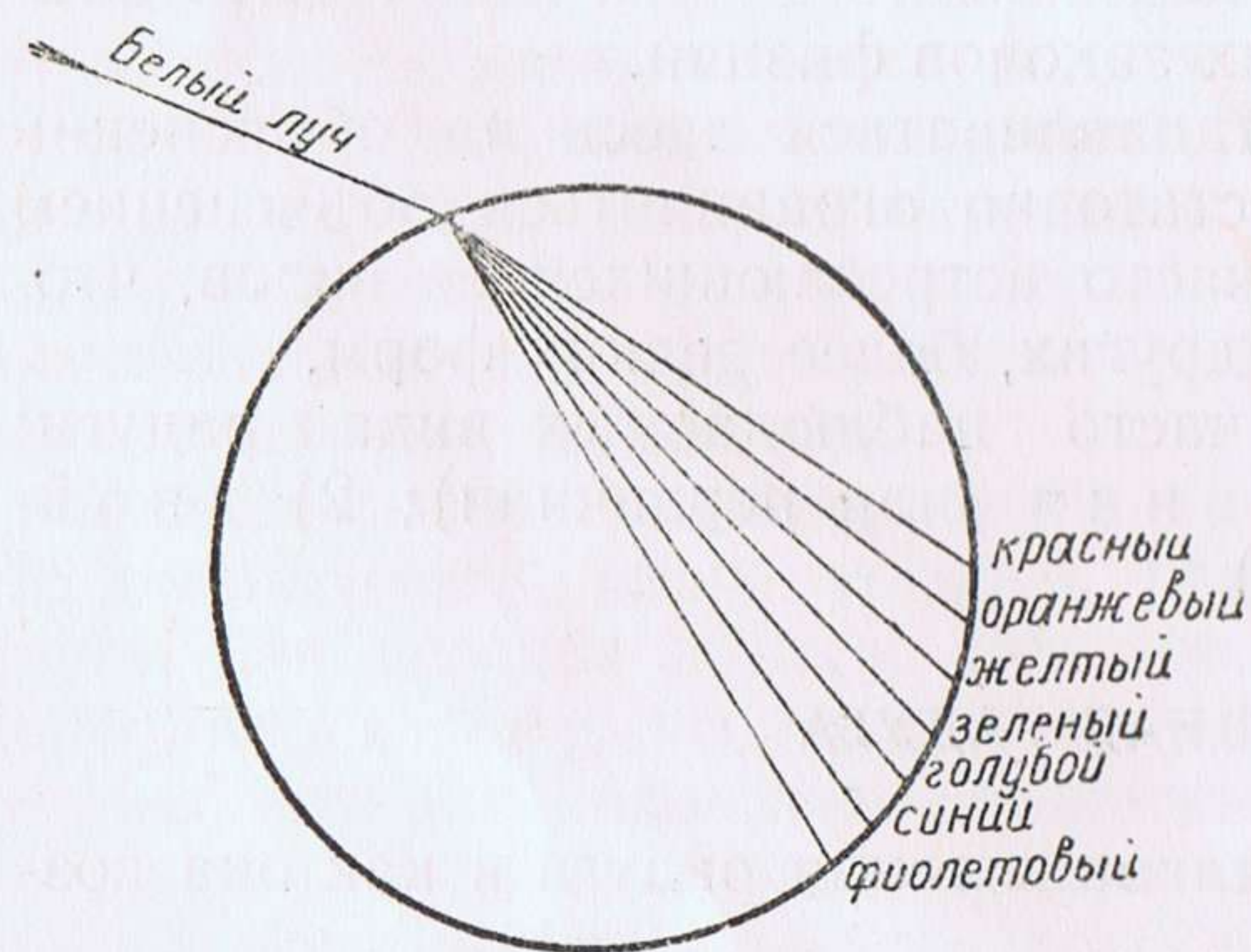


Рис. 2. Схема преломления цветных лучей в капле воды

внутри дождевой капли белый луч разделится на множество цветных, расходящихся лучей, с порядком расположения, указанным на рисунке.

Чтобы отчетливее представить себе дальнейшее поведение преломленных лучей внутри капли, мы рассмотрим лишь два крайних луча — красный и фиолетовый, поскольку остальные располагаются между ними.

Продолжая движение внутри капли, все лучи достигнут противоположной части, граничащей с воздухом (рис. 3). На этой поверхности красный и фиолетовый лучи частично выйдут наружу, частично отразятся, после чего вновь достигнут первой поверхности, через которую выйдут наружу.

По выходе из капли красный луч окажется более наклоненным к земле, чем фиолетовый. Угол расхождения между красным и фиолетовым лучами составляет около 2° .

Таковы пути световых лучей в отдельной дождевой капле, когда внутри ее происходит одно отражение.

Теперь нетрудно показать образование радуги в целом.

Представим себе наблюдателя, смотрящего на радугу (рис. 4). Допустим, что в верхней части радуги находится дождевая капля, на которую падает солнечный луч. После одного отражения внутри капли из нее выйдут все перечисленные выше семь основных цветных лучей, той или иной степенью наклона к поверхности земли, причем красные лучи, как мы уже показали, будут наиболее наклоненными.

Нетрудно понять, что большая наклоненность красных лучей к земле приведет к тому, что они попадут в глаз от более высоко расположенных капель. Поэтому, если мы полагаем, что капля дождя падает на землю, то в какой-то момент, по достижении ею некоторой определенной высоты, глаз наблюдателя увидит красный луч. Другие же лучи в глаз попасть не могут, так как, выходя из этой капли выше красного луча, они все пройдут над головой наблюдателя и не будут видны. Фиолетовые же лучи, выходящие из капли на 2° выше красных, могут попасть в глаз лишь от тех капель, которые располагаются от точки наблюдения на 2° ниже капель, посылающих в глаз только красные лучи. Все остальные лучи, выхо-

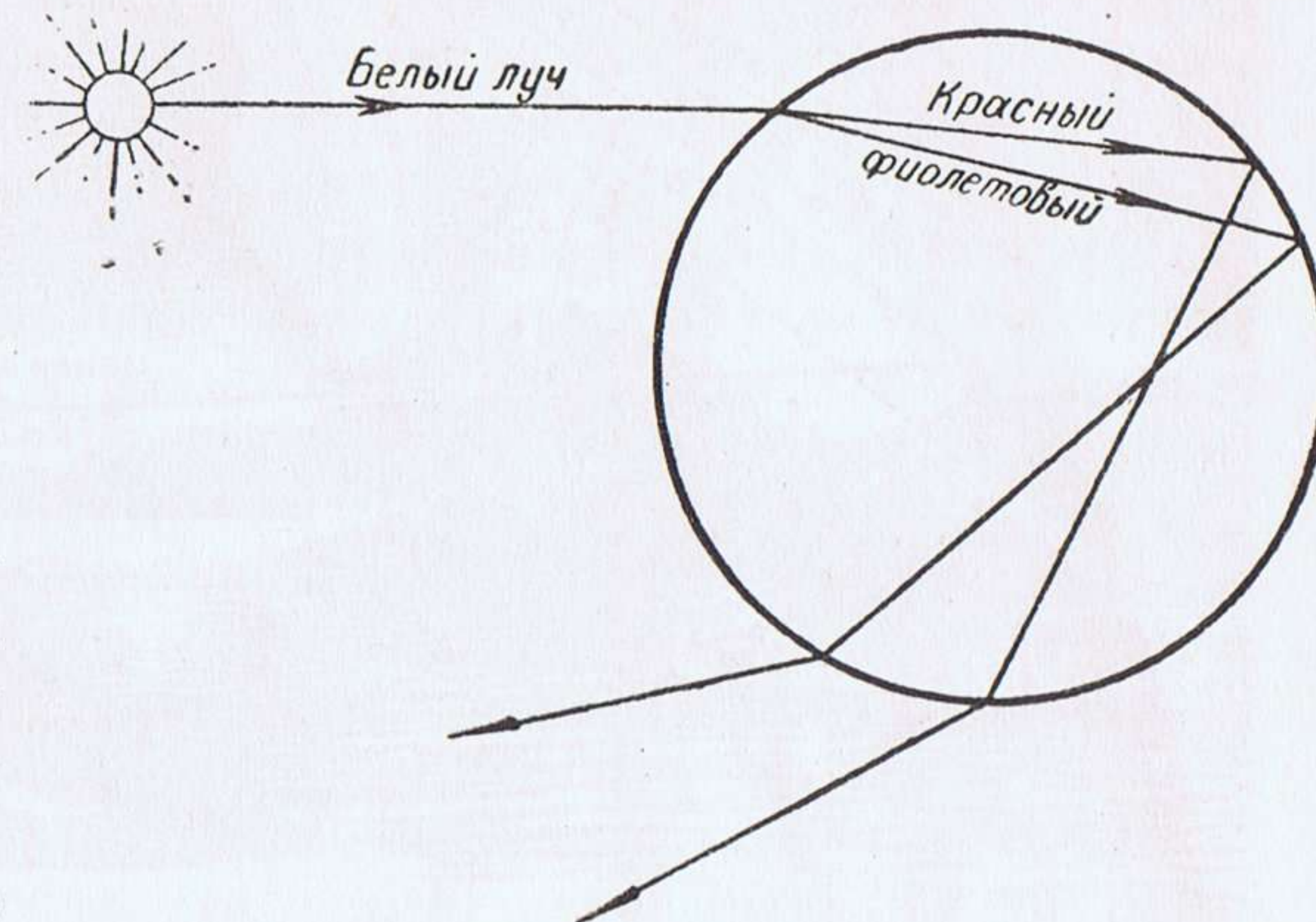


Рис. 3. Путь цветных лучей в капле воды при однократном отражении

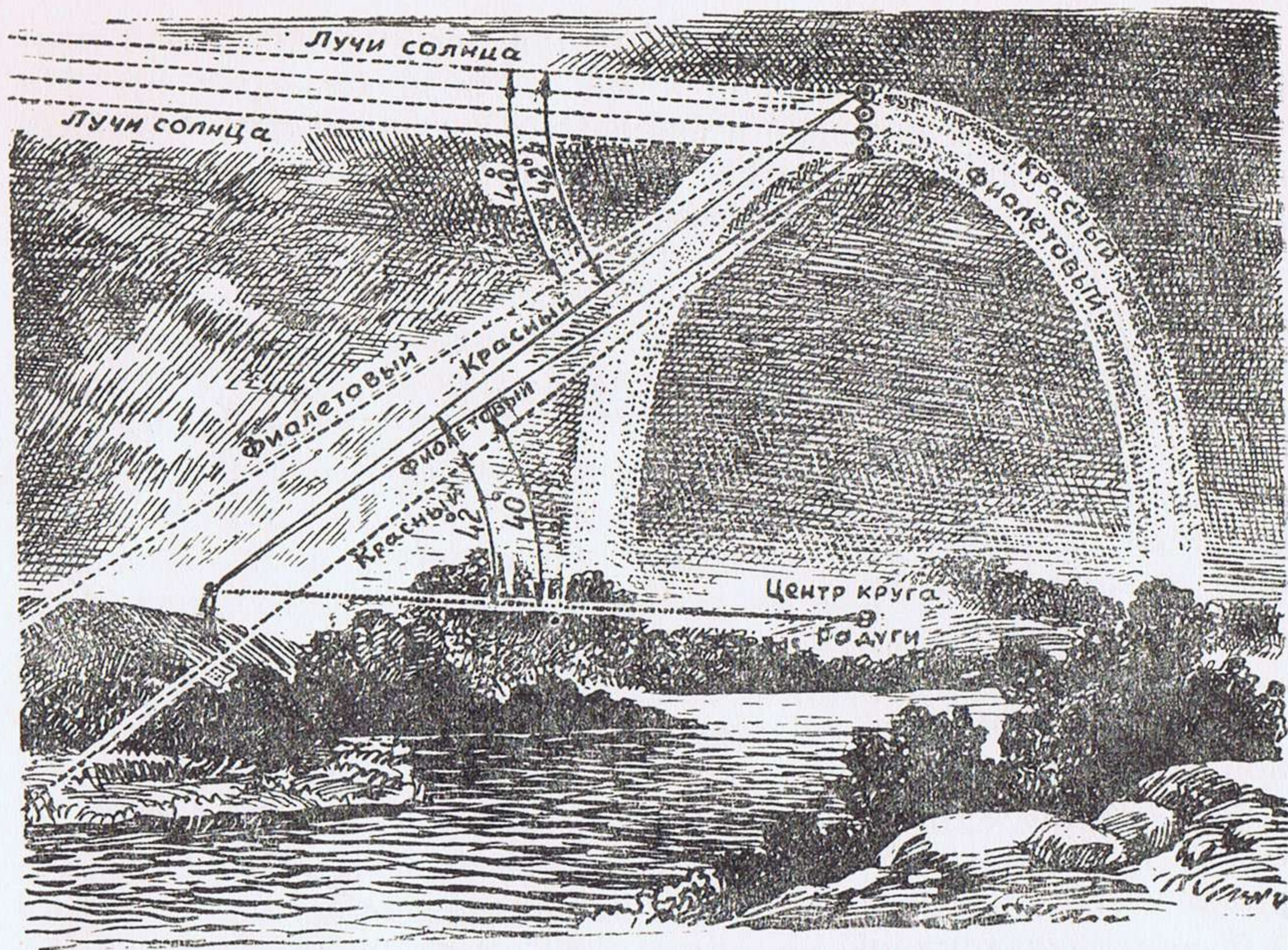


Рис. 4. Схема образования главной радуги

дящие из этих капель, от красного до синего, пройдут ниже головы наблюдателя и в глаз также не попадут.

Так объясняется возникновение наружной (красной) и внутренней (фиолетовой) цветных дуг главной радуги. Очевидно, что другие цветные дуги — оранжевая, желтая, зеленая и т. д. — будут образованы каплями, расположенными в промежутке между двумя рассмотренными крайними каплями.

Нам остается решить теперь последний вопрос, а именно: почему мы видим цветные дуги лишь по достижении падающими каплями дождя некоторой определенной высоты над землей? Что это за высота?

Расчеты показывают, что угол между выходящим из капли красным лучом и падающим на нее белым всегда равен примерно 42° , а между фиолетовым и белым — 40° .

Легко понять, что если солнце находится, например, у горизонта, то красные лучи могут попасть в глаз наблюдателя только от таких капель, которые видны под углом в 42° , а фиолетовые — под углом в 40° .

Разумеется, из капель, расположенных выше или ниже указанных угловых высот, также будут выходить цветные лучи, но

все они пройдут выше или ниже головы наблюдателя и в глаз не попадут.

По этой причине, когда мы поднимаемся на гору или спускаемся с нее, радуга тоже как бы поднимается или опускается вместе с нами (так как в глаз попадают лучи, которые раньше проходили в пространстве выше или ниже головы наблюдателя).

Если же солнце находится не у горизонта, а выше, то радуга как бы опускается за горизонт, а красные и фиолетовые полосы наблюдатель будет замечать уже под меньшими углами к горизонту. Поэтому днем при высоком солнце бывает видна только часть радуги в виде небольшой дуги. Чем ближе к горизонту солнце, тем выше подымается радуга. При солнце, только что зашедшем за горизонт, в течение короткого промежутка времени радуга может быть наблюдаема даже более чем в виде полуокружности.

Если при солнце, находящемся у горизонта, наблюдать радугу с самолета или с высокой горы, то ее размеры обычно также больше полуокружности. Если наблюдатель находится достаточно высоко, то радуга может быть видна даже в виде целой окружности. Подобную замечательную по красоте радугу видели многие исследователи, а может быть, и некоторые читатели, совершавшие воздушные путешествия или восхождения на горы.

Такова в общих чертах схема образования главной радуги, возникающей при одном отражении разложенных солнечных лучей внутри дождевой капли.

Читатель может сказать, что на самом деле никогда не наблюдается радуга, состоящая из перечисленных выше семи основных цветных дуг и что фактически число их всегда меньше, а цвета не вполне четко и резко выражены. Действительно, обычно бывает именно так.

Дело в том, что в вышеприведенных рассуждениях мы предполагали, что солнце представляет собой источник света в виде точки. На самом же деле, при наблюдении с земли солнце представляется нам не точкой, а диском с угловым размером диаметра в полградуса. Поэтому в данную точку на поверхности дождевой капли попадает не один белый луч (как в наших рассуждениях), а множество их, идущих под разными углами от различных частей этого диска. Это ведет к тому, что разложенные внутри капли красные, желтые, зеленые и т. д. лучи накладываются друг на друга, частично смешиваясь между собой. Таким образом, на выходящие из капли красные лучи накладываются оранжевые, на зеленые — желтые и голубые, на фиолетовые — синие и т. д. Это наложение друг на друга цветных лучей ослабляет четкость, или, как говорят,

чистоту цветов радуги. Вот почему мы видим не совсем чистые цвета радуги и не можем различить все семь основных ее цветов.

Яркость радуги меняется в зависимости от размеров капель дождя: чем больше размеры капель, тем ярче радуга, и наоборот. Неяркая, тусклая радуга свидетельствует о дождевых каплях малого размера. Очень мелкие капельки воды, вроде тех, из которых состоят облака и туманы, вовсе не дают радуги. Именно поэтому на облаках, освещенных солнцем, радуга не образуется.

Если дождь (или туман) состоит из мелких капелек, размером в 0,01—0,02 миллиметра (что бывает очень редко), то в таких капельках смешение цветных лучей между собой настолько велико, что наблюдается уже не цветная, а белая, бесцветная радуга.

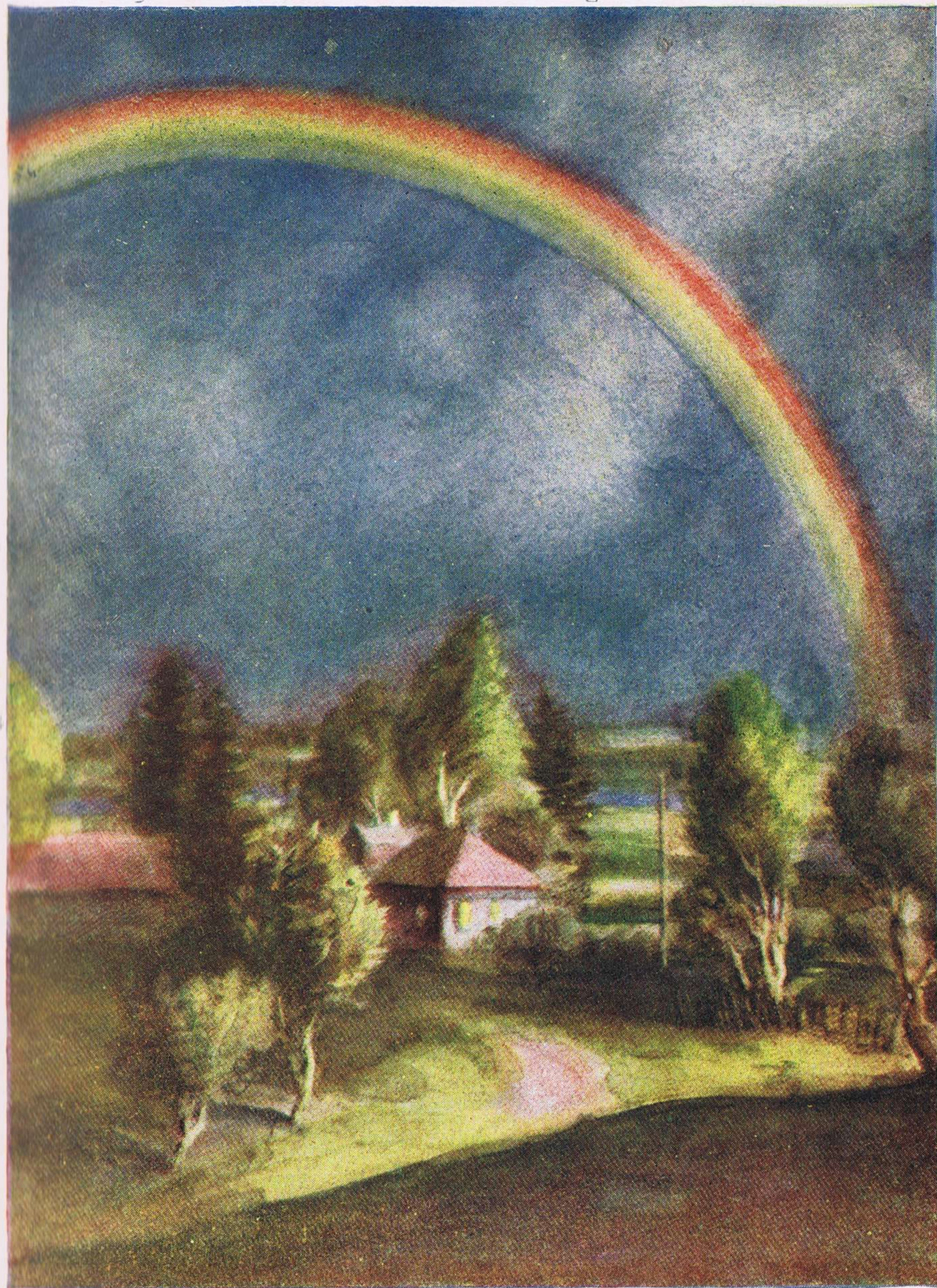
Отмечены случаи, когда наблюдались радуги красного цвета, а также радуги с преобладанием зелено-голубых тонов.

Появление радуг красного цвета может иметь место в том случае, если падающие капли подвержены сильному испарению и поэтому быстро уменьшаются. Такая капля, находясь в «42-градусной зоне», еще успевает послать в глаз красный луч, но, выйдя из нее, уже настолько уменьшается в своих размерах, что радуга или вовсе не возникает, или образуется белая радуга, примыкающая к красной дуге.

Появление радуг зелено-голубого цвета связано с обратным процессом — быстрым увеличением размеров мелких дождевых капель по выходе из «42-градусной красной зоны», так что при попадании в «40-градусную (фиолетовую) зону» эти капли становятся уже настолько большими, что могут образовать яркие дуги зелено-синих цветов.

Следует заметить, что радуга возникает не при всяком дожде. Радуга образуется лишь при таком дожде, в котором капли падают равномерно друг за другом, то есть когда одна капля как бы сменяет другую, непрерывно возобновляя световое впечатление. Если же дождь идет неравномерно, радуга не образуется. Поэтому, несмотря на идущий на одной половине неба свод дождь, мы иногда не видим радуги вовсе или замечаем лишь ее часть в виде небольшой отдельной дуги (в тех местах, где дождь идет равномерно).

Таким образом должно быть ясно, что не все, а лишь некоторые виды облаков могут давать осадки, благоприятствующие образованию радуги. Наиболее часто яркие радуги возникают при крупнокапельных ливневых дождях, выпадающих из мощных кучево-дождевых облаков со значительным вертикальным развитием. Дожди, выпадающие из слоисто-кучевых облаков, располагающихся на высотах до 2—3 километров, также дают



Радуга

радуги, но уже не столь чистые и яркие, как в первом случае (меньший размер капель). Дожди в виде мороси, выпадающие из низко расположенных слоисто-дождевых облаков, не могут дать радуги из-за малых размеров капель и малой плотности дождя. Очевидно, что при наличии таких облаков, как высоко расположенные перистые или кучевые («барашки»), не дающих осадков, радуга также не может возникнуть.

ДВОЙНАЯ РАДУГА И ДРУГИЕ, БОЛЕЕ СЛОЖНЫЕ, ВИДЫ РАДУГ

Помимо описанной главной, или основной, радуги, часто одновременно с ней наблюдается вторичная радуга. Главная и вторичная радуги образуют вместе двойную радугу (рис. 5).

Вторичная радуга располагается над главной, параллельно ей. Яркость вторичной радуги всегда слабее главной, а цвета

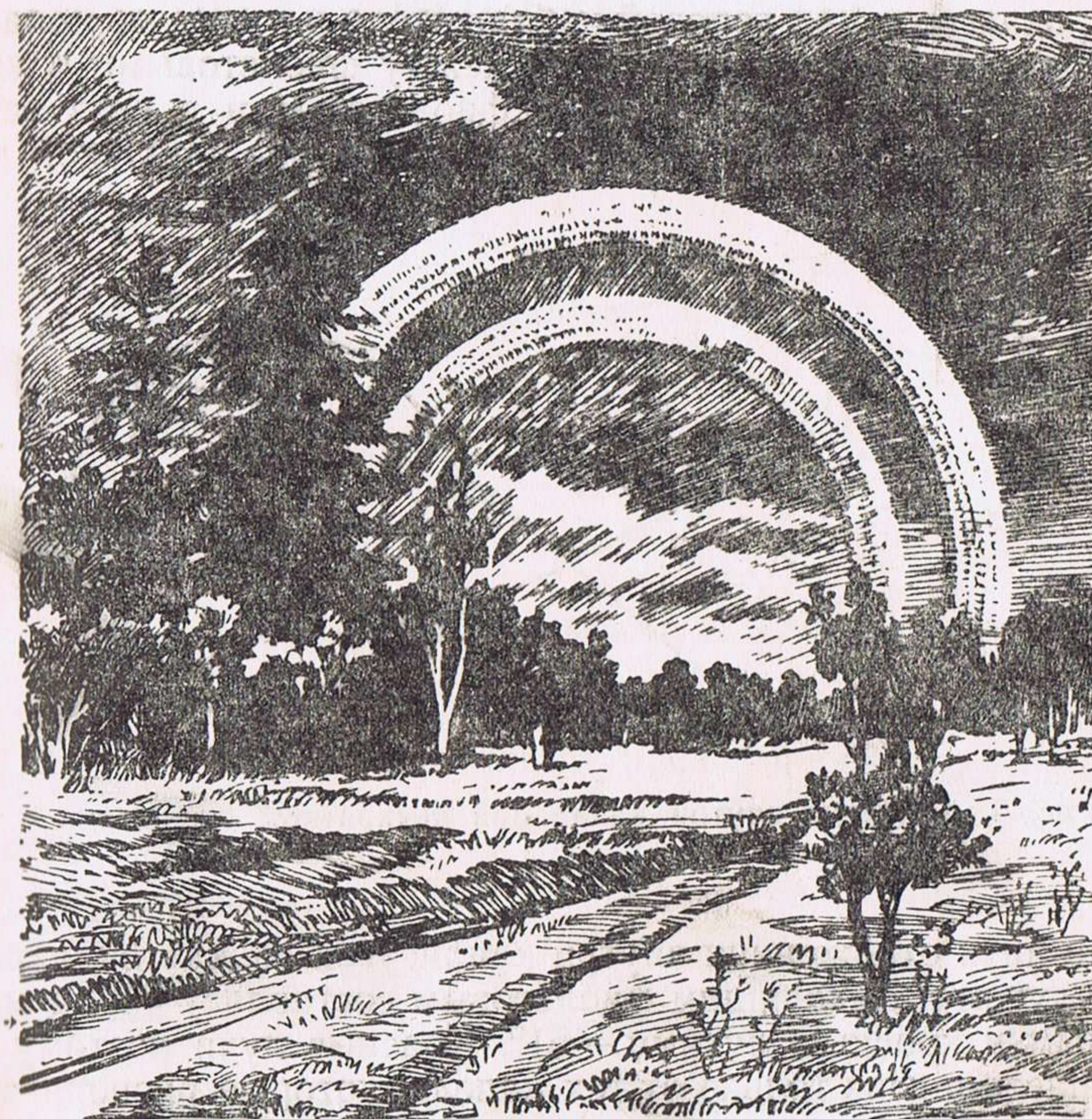


Рис. 5. Общий вид двойной радуги

расположены в обратном порядке: снаружи располагается голубовато-фиолетовая дуга, затем в середине — зеленая, желтая, оранжевая и внутри — красная.

Вторичная радуга образуется в том случае, если при определенных углах падения солнечных лучей на каплю внутри ее происходит не одно, а два отражения (рис. 6).

Построение хода преломленных и разложенных в капле лучей показывает, что после двух последовательных отражений внутри ее фиолетовые лучи оказываются в этом случае более наклоненными к земле, чем красные. Другими словами, красные лучи идут в пространстве над фиолетовыми.

Угол расхождения между красными и фиолетовым лучами по выходе из капли после двойного отражения внутри ее составляет уже 3° , а не 2° , как получается при одном отражении. Поэтому вторичная радуга шире главной.

Если аналогично тому, как мы рассматривали главную радугу, представить себе вторичную радугу (рис. 7), то капли, находящиеся у ее наружного края, пошлют в глаз лишь фиолетовые лучи, а красные лучи, идущие на 3° выше фиолетовых, окажутся над головой наблюдателя и в глаз не попадут. Остальные лучи, расположенные между фиолетовыми и красными лучами, также идут выше фиолетовых и в глаз также не попадут. Так образуется фиолетовая окраска наружной дуги вторичной радуги.

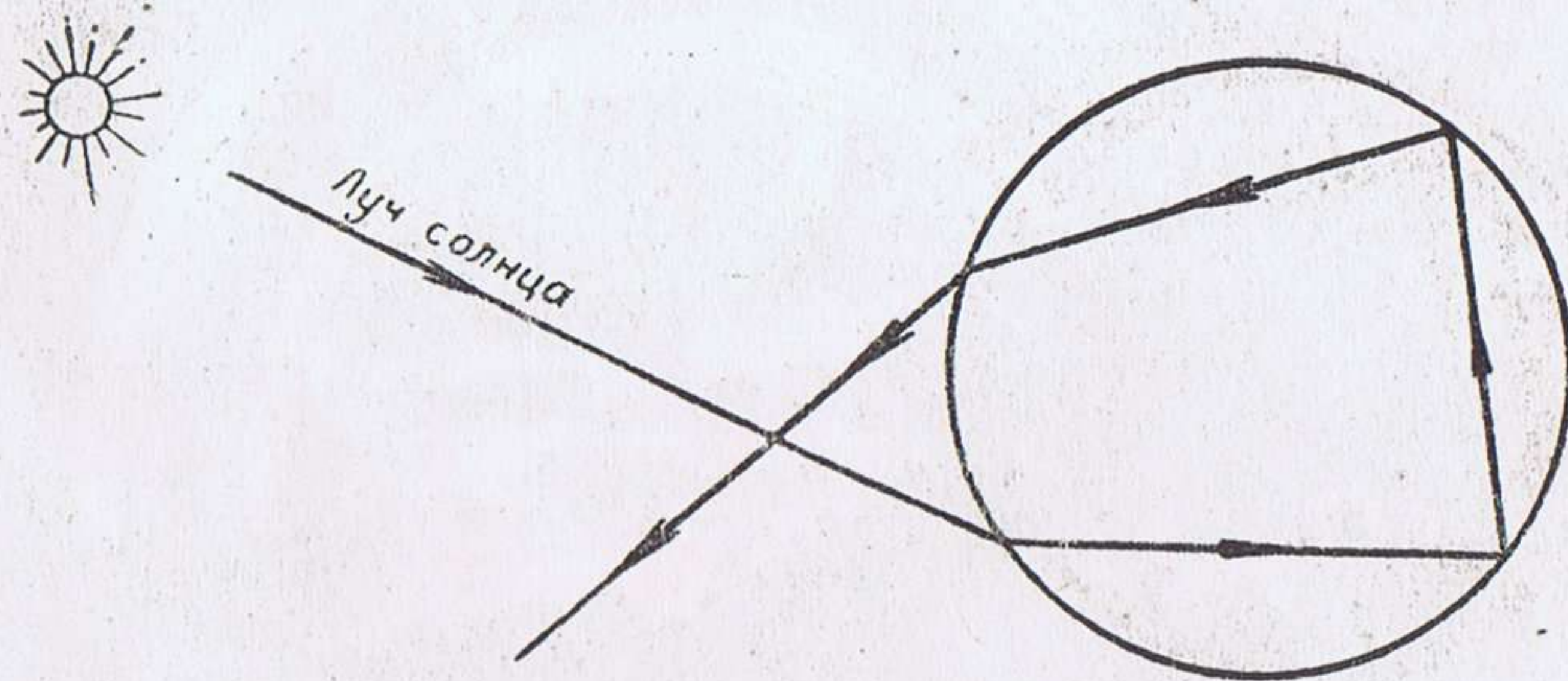


Рис. 6. Ход луча внутри капли при двукратном отражении

При двух отражениях внутри капли угол между падающим белым лучом и выходящим фиолетовым составляет 54° , а между белым и красным лучами — 51° . Красные лучи поэтому могут попасть в глаз только от тех капель, которые располагаются относительно точки наблюдения на 3° ниже капель, дающих фиолетовую дугу. Все остальные лучи (желтые, оранжевые,

зеленые и т. д.) в глаз не попадут, так как пройдут ниже головы наблюдателя. Так образуется красная окраска внутренней дуги вторичной радуги.

Следовательно, и для вторичной радуги также существуют определенные высоты расположения капель, дающих крайние окрашенные дуги. За пределами этих высот капли дождя никаких лучей в глаз не посылают.

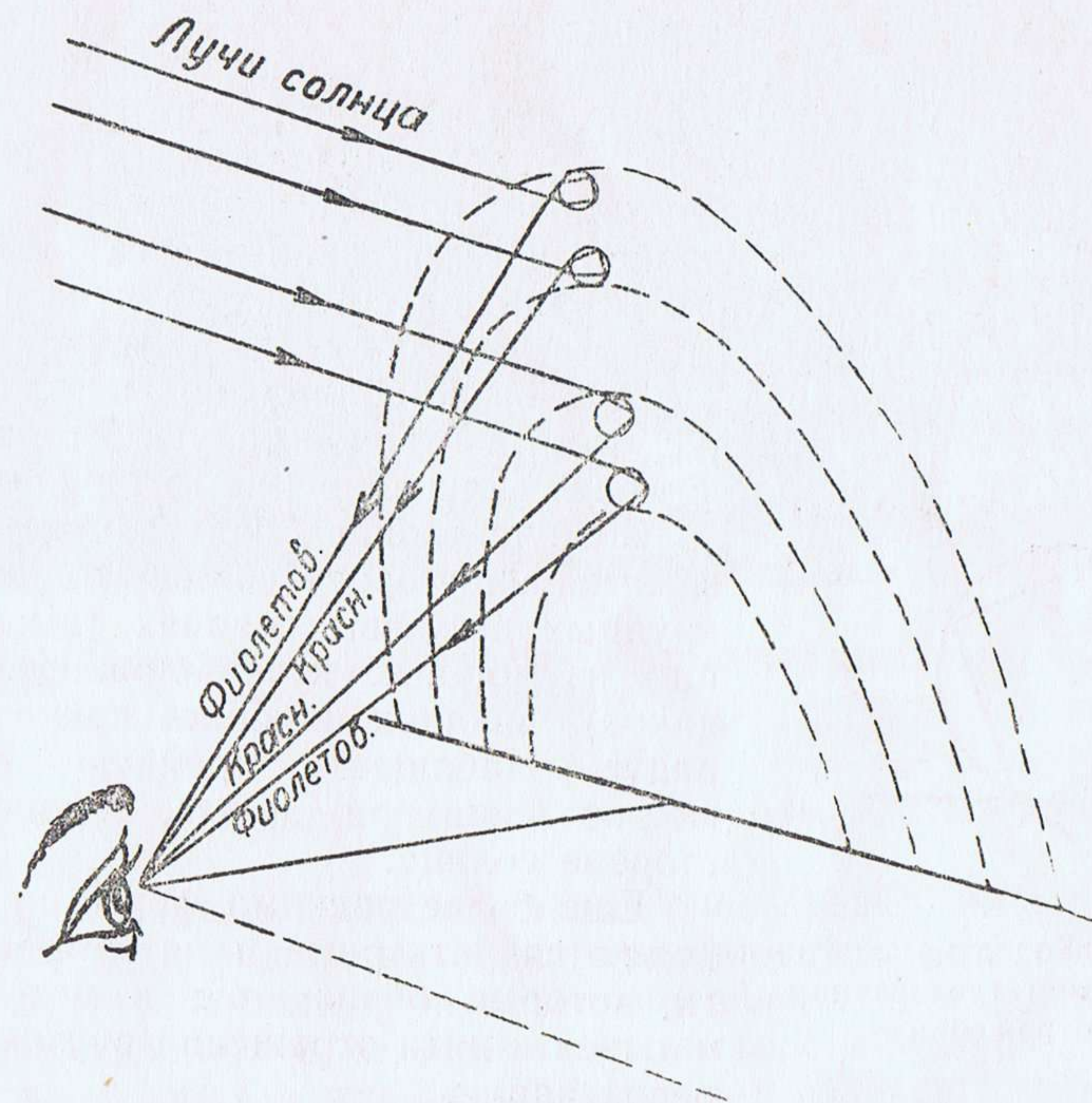


Рис. 7. Схема образования двойной радуги

Понятно также, что остальные цветные дуги (зеленая, желтая и т. д.) образуются каплями, расположенными в промежутке между рассмотренными крайними каплями¹.

Итак, вторичная радуга может образоваться лишь в том случае, если внутри капли происходят два отражения разложенных белых лучей солнца.

Не всякий луч солнца, входящий в каплю, может испытать два отражения. Это имеет место лишь при определенной

¹ Хотя мы все время говорим о семи цветах вторичной радуги, в действительности мы их никогда отчетливо не видим. Причина этого та же, что и в случае главной радуги: наложение друг на друга разложенных в капле солнечных лучей, исходящих из различных частей солнечного диска.

высоте солнца, когда входящие в нижнюю часть капли солнечные лучи по выходе из нее оказываются достаточно наклоненными к земле. Кроме того, необходимо, чтобы завеса самого дождя была достаточно высокой. При очень низких основаниях дождевых облаков (несколько сот метров высоты), когда завеса дождя невысока, вторичная радуга не может возникнуть.

Таково в общих чертах происхождение вторичной радуги. Как видно, условия ее возникновения более сложны, чем условия возникновения главной радуги. В атмосфере не всегда бывают условия, благоприятствующие ее образованию, поэтому и явление это более редкое, чем главная радуга.

На небосводе можно видеть иногда, правда очень редко, радугу, располагающуюся на стороне солнца, а не на противоположной, как в случае главной радуги. Такая радуга возникает в результате трехкратного отражения солнечного луча внутри дождевой капли (рис. 8), почему и получила название тройной радуги. Располагается она выше солнца, но цвета в ней следуют в том же порядке, что и в главной радуге. По яркости же тройная радуга еще слабее, и она шире, чем вторичная.

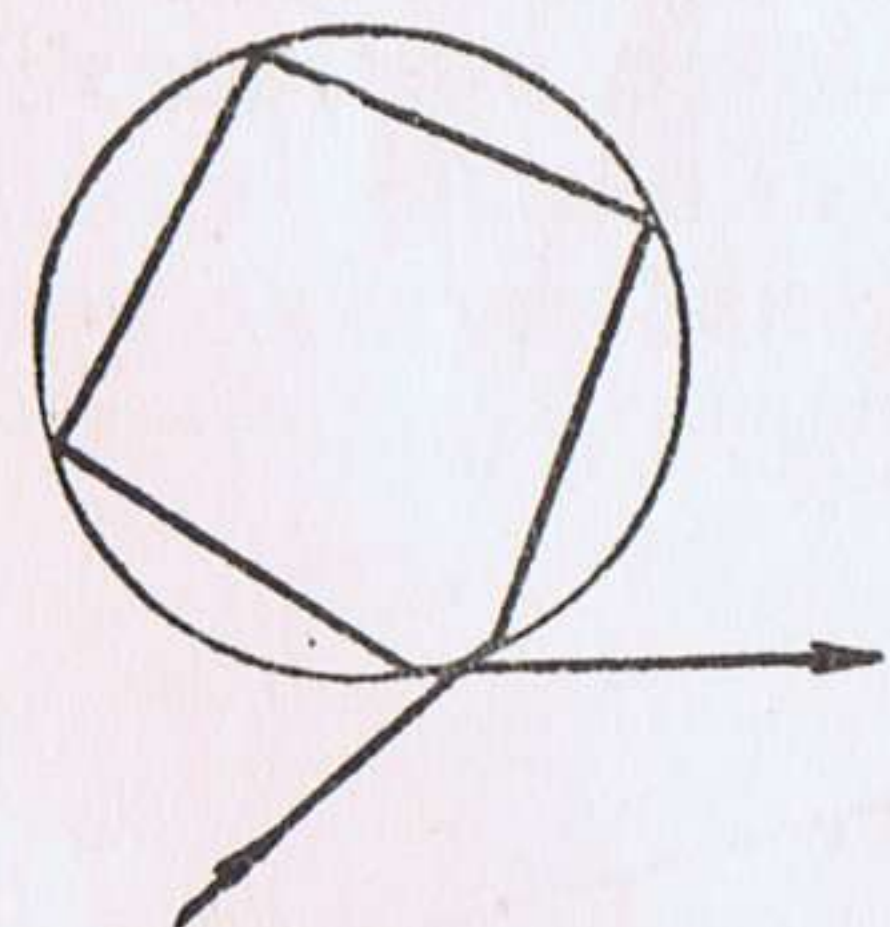


Рис. 8. Ход луча внутри капли при трехкратном отражении

Вообще тройная радуга может быть заметна на стороне солнца только при крупных дождевых каплях (выпадающих из мощных кучево-дождевых облаков), дающих наиболее яркие цвета радуг. Наблюдать тройную радугу можно лишь при дожде, идущем на стороне солнца.

Еще более редкими формами радуг являются четверные и пятерные радуги, которые образуются в результате четырех и пяти отражений внутри дождевой капли.

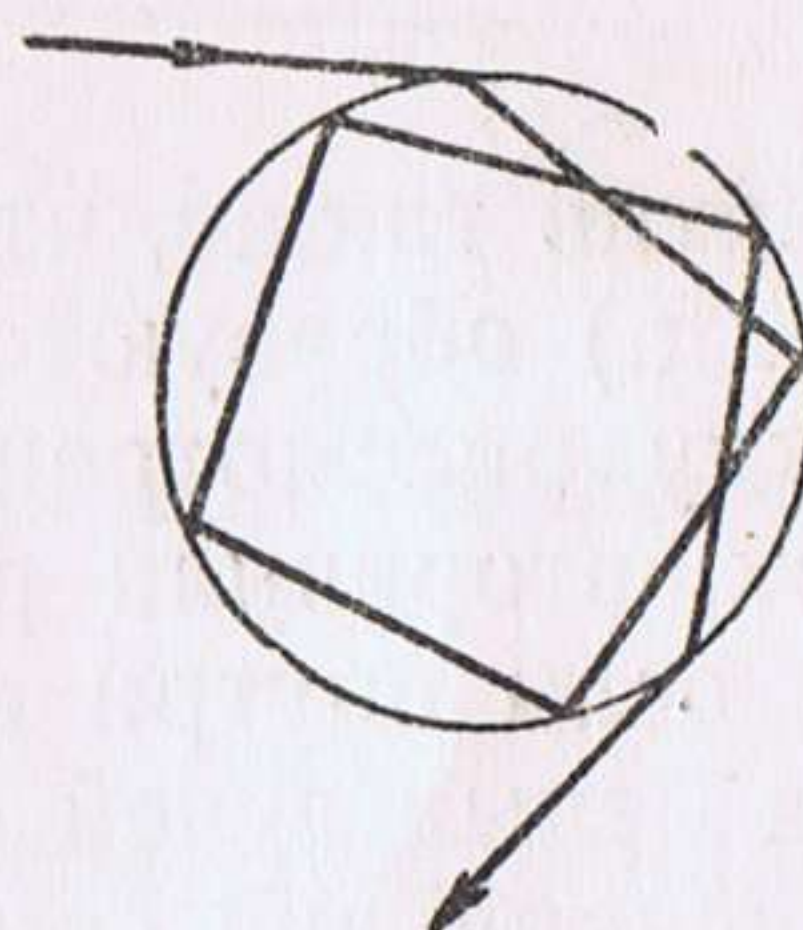
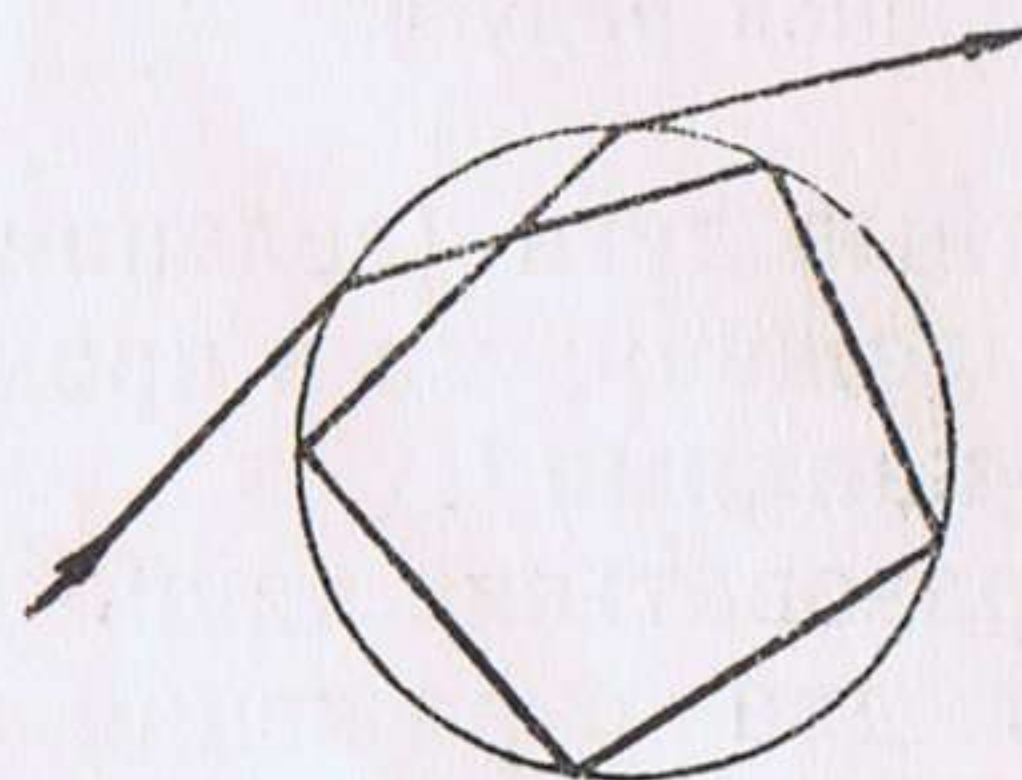


Рис. 9. Ход луча внутри капли при четырех- и пятикратном отражениях

По яркости эти радуги уже настолько слабы, что едва замечаются глазом. Четверная радуга образуется также на стороне солнца, но ниже его, под тройной радугой. Пятер-

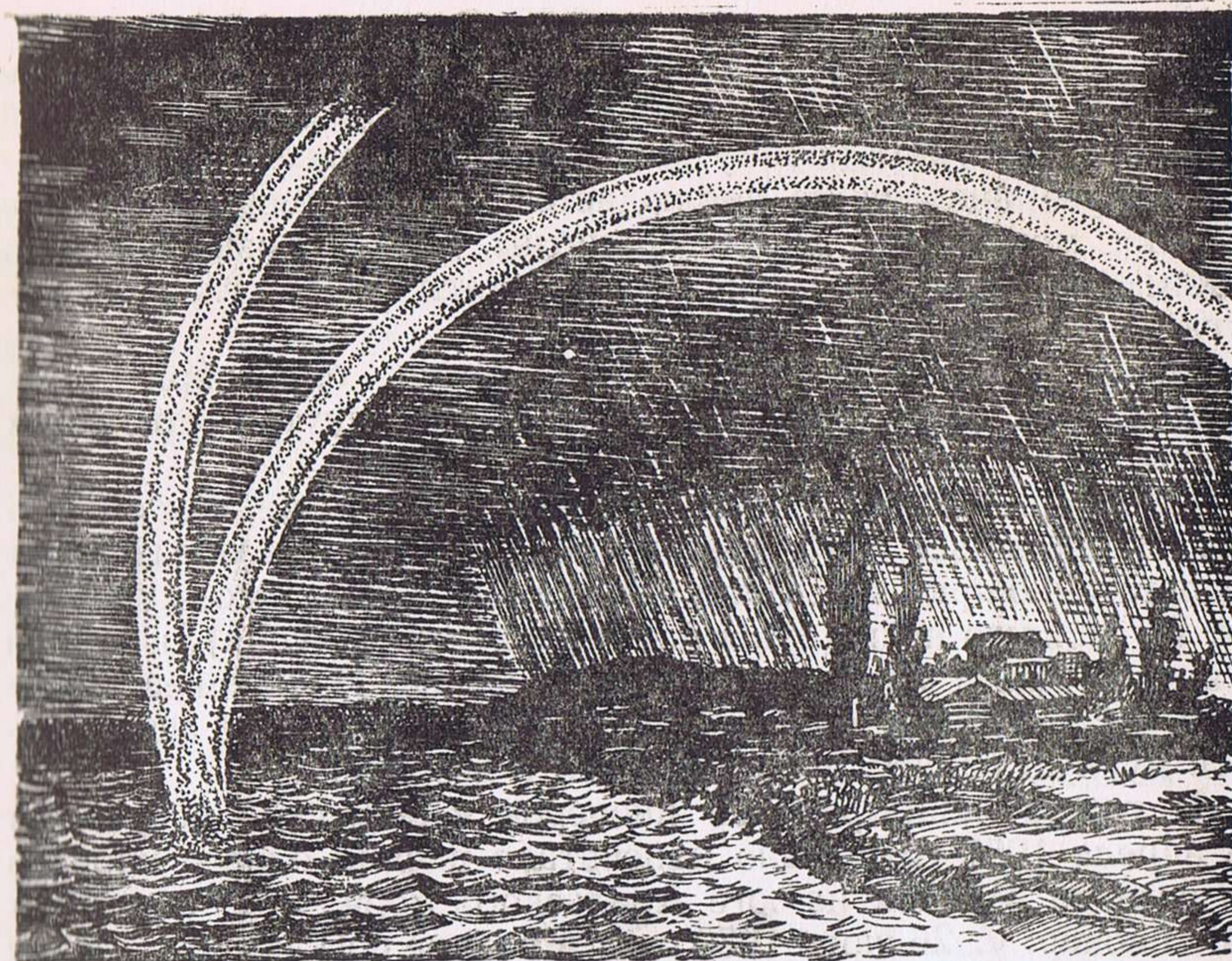


Рис. 10. Причудливая форма радуги в результате отражения от водной поверхности

ная радуга возникает на той же стороне, где и главная, но выше ее.

Таким образом, можно, правда очень редко, наблюдать во время дождя радуги на обеих сторонах небосвода: главную, вторичную и пятерную — на противоположной от солнца стороне, а тройную и четверную — на стороне солнца. Увидеть это можно лишь в том случае, если над головой наблюдателя будет идти дождь, а на половине небосвода, обращенной к солнцу, небо будет свободно от туч.

Иногда образуются причудливые формы радуг. Зафиксировано несколько случаев, когда, помимо главной радуги, рядом с ней образовывалась радуга, возникшая в результате отражения солнечных лучей от водной поверхности.

ЛУННАЯ РАДУГА

Радуга возникает не только при солнечном, но и при лунном свете. Такая радуга называется лунной. Для ее возникновения требуются те же условия, что и для солнечных радуг: дождь на одной половине небосвода и сияние луны — на другой.

В лунной радуге замечают обычно лишь три цвета: красный, желто-зеленый и голубой. Яркость этих цветовых дуг невелика, так как луна представляет собою относительно слабый источник света. Вот почему двойная, а тем более тройная лунная радуга никогда не наблюдается, хотя метеорологические условия могут быть и благоприятны для их возникновения. Таким образом, при луне наблюдается лишь главная радуга.

Цвета в лунной радуге образуются благодаря преломлению и отражению лунного света внутри дождевых капель.

Наблюдается лунная радуга значительно реже, чем солнечная. Лунный свет слаб, поэтому большая часть лунных радуг недостаточно ярка и остается невидимой. Кроме того, луна светит не каждую ночь (луны нет в период новолуния), и дожди в ночное время идут реже, чем в дневное. И, наконец, большую часть ночного времени люди отдают сну и не могут видеть лунную радугу, даже если она и возникает.

В газете ленинградских пионеров «Ленинские искры» от 28 апреля 1951 года было напечатано письмо одного пионера из поселка Муйнак на юге Аральского моря. Вот что пишет этот пионер: «...26 июня 1950 года в районе поселка разразился сильный шторм, сопровождавшийся ливнем и грозой. Через час шторм прекратился, небо очистилось от туч и показалась яркая, почти полная луна. На той стороне неба, куда ушла туча, появилась хорошо заметная, яркая радуга со всеми цветами».

Любознательному пионеру удалось наблюдать лунную радугу в условиях, которые повторяются очень редко.

Лунная радуга как явление более редкое, чем солнечная, возбуждала суеверные представления и веру в ее «божественное» происхождение. Так, в средние века католические попы распространяли среди народа дикую версию о том, что лунная радуга как «небесное знамение» перестает появляться за 40 лет до конца мира.

СВЯЗЬ РАДУГИ С ДРУГИМИ ЯВЛЕНИЯМИ ПРИРОДЫ

Внимательное изучение радуг может дать целый ряд интересных и полезных сведений, а в некоторых случаях даже позволяет судить о предстоящей погоде.

Теория радуги показывает, что существует определенная связь между характером цветов главной и вторичной радуг и размерами падающих дождевых капель. Это тем более интересно, что до сих пор не удалось разработать способ опреде-

ления размера падающих капель непосредственно в атмосфере. Обычно размер капель дождя определяется косвенным путем, и притом весьма неточно.

Дождевые капли (по теории радуги) размером в 0,025 миллиметра создают белую радугу со слабо окрашенными краями (желтоватая снаружи и слабо-фиолетовая изнутри).

Вообще же зависимость цветов радуги от размеров дождевых капель может быть выражена такой табличкой:

Размеры капель дождя	Характер цветов главной радуги	Характер цветов вторичной радуги (если она видна одновременно с главной)
От 0,02 до 0,03 мм	Белый. Слабожелтая кайма, снаружи и слабо-фиолетовая изнутри	Белого цвета, со слабыми цветными каймами в обратном порядке по сравнению с главной радугой
От 0,10 » 0,15 »	Очень слабая красная кайма снаружи. Остальные цвета — от желтого до сине-фиолетового — видны хорошо	Примыкает близко к главной радуге с отчетливой дугой желтого цвета. Другие цвета видны неясно
От 0,5 » 1,0 »	Яркие дуги красного, зеленого и сине-фиолетового цветов. Остальные цвета видны неясно	Примыкает непосредственно к главной радуге. Яркие зеленая и сине-фиолетовая дуги

Наблюдения показывают, что характер радуги связан в какой-то мере с предстоящей погодой.

Русский ученый П. И. Броунов, много лет занимавшийся наблюдениями за различными атмосферными явлениями, впервые установил следующие особенности радуги, дающие возможность предсказывать по ним погоду на ближайшее время.

Если в начале радуги отсутствовала дуга красного цвета (или она была слабо заметна), а затем она появилась, то это указывает на то, что дождевые капли увеличиваются в размерах (сравни с вышеприведенной таблицей), что в свою очередь означает увеличение влажности воздуха. Последнее обстоятельство является признаком того, что погода на ближайшие часы может быть еще более дождливой.

Если же, наоборот, радуга с яркими цветами постепенно тускнеет или превращается мало-помалу в белесоватую, то это может быть признаком скорого прекращения дождя.

Если в радуге преобладает зеленый цвет, то это может указывать на наступление солнечной, без осадков, погоды.

Насколько возможно существование четкой связи между погодой и таким мимолетным явлением, как радуга, пока еще трудно сказать.

КОЛЬЦА ВОКРУГ СОЛНЦА И ЛУНЫ. СВЕТОВЫЕ КРЕСТЫ И СТОЛБЫ

В ЭТОМ РАЗДЕЛЕ мы познакомимся с своеобразными и, в ряде случаев, замечательными по красоте и силе световыми явлениями, связанными с образованием вокруг солнца (а также и луны) колец разного диаметра, двойных и тройных солнц, световых крестов, столбов, мечей и т. д.¹.

Пожалуй, ни одно из световых явлений, разыгрывающихся на небосводе при тех или иных метеорологических условиях, не вызывало в свое время столько суеверной паники, столько мрачных и нелепых предсказаний о конце мира, кровавых войнах и т. п., как появление световых крестов и мечей вокруг солнца, образование двойных и тройных солнц и других явлений, с которыми мы здесь познакомимся.

Водяной пар, являющийся составной частью земной атмосферы, может находиться в ней как в жидком состоянии, в виде разных по размеру капелек воды, так и в твердом, в виде мельчайших частичек льда. Выше уже указывалось, что при всех тех метеорологических состояниях, когда водяной пар превращается в твердые частицы, образуются не просто бесформенные кусочки льда, а тела правильной кристаллической формы. Известные всем высокие перистые облака при всем их разнообразии состоят не из капелек воды, а исключительно из ледяных кристалликов. Разнообразие форм и размеров этих кристалликов очень велико. Оказывается, что в атмосфере, в зависимости от ее температуры и влажности, образуются многие сотни и тысячи различных форм ледяных кристалликов — от мельчайших кристаллов, видимых лишь под микроскопом,

¹ В метеорологии все эти явления объединены под одним термином — «гало» (что означает по-гречески «круг»). Мы считаем здесь целесообразным не пользоваться этим термином, а говорить о каждом явлении в отдельности.

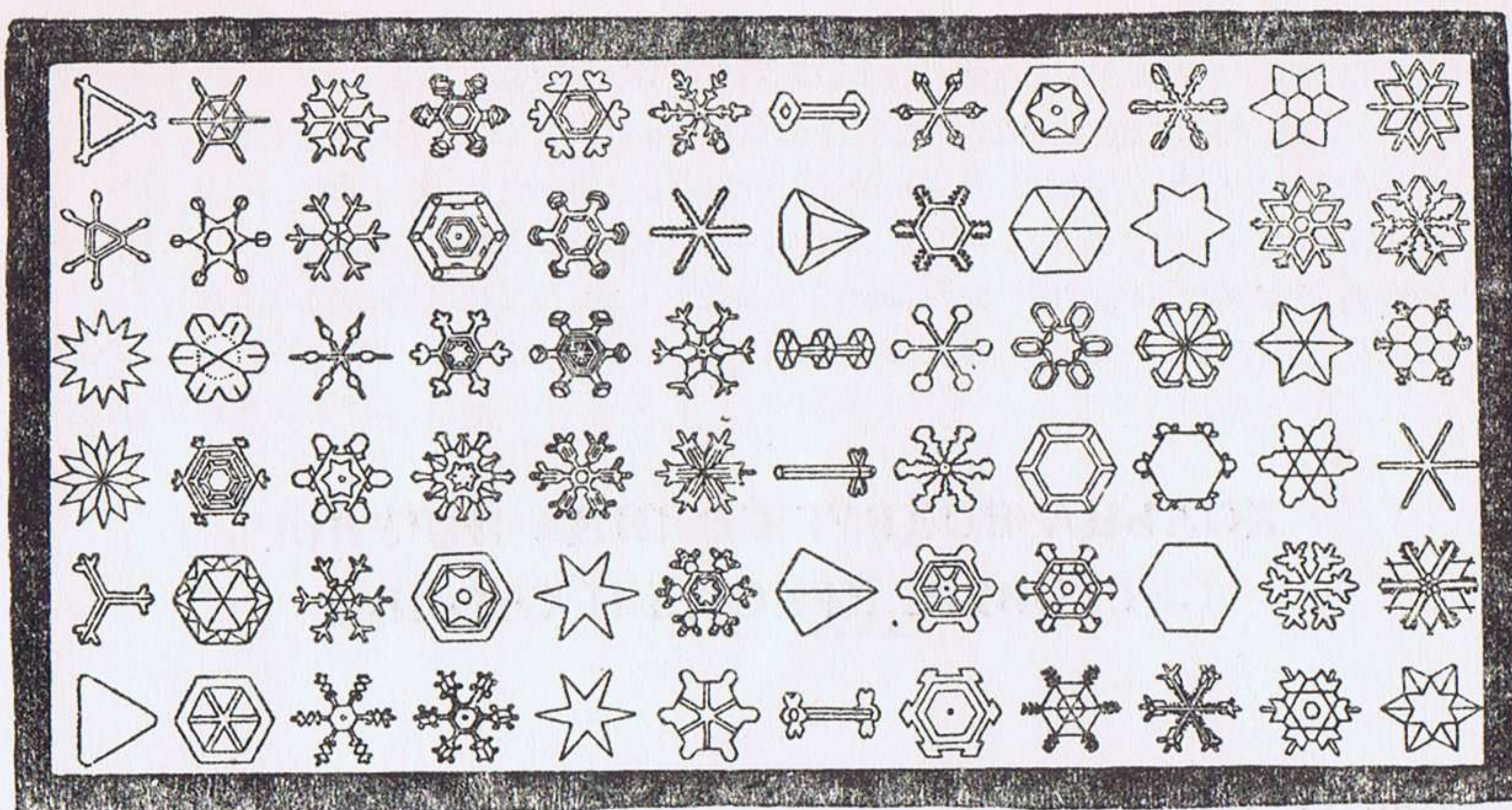


Рис. 11. Некоторые формы кристалликов льда

до заметных на глаз снежинок. Достаточно сказать, что отмечено свыше 10 тысяч разных форм кристалликов, причем находят все новые и новые их формы. Некоторые из них показаны на рис. 11. Но из этого большого числа кристалликов всего лишь несколько определенных типов способны вызывать образование кругов, столбов, крестов и других подобных световых явлений. Последние возникают на небосводе только в том случае, если в атмосфере образуются следующие формы кристалликов: шестигранные призматические столбики, плоские шестиугольные пластинки, шестигранные ромбические столбики. Внешний вид этих кристалликов в сильно увеличенном виде представлен на рис. 12, 13 и 14.

Для возникновения световых явлений, описываемых в этом разделе, необходимо наличие в атмосфере настолько большого количества таких кристалликов, чтобы они образовывали полупрозрачный облачный покров. Если таких кристалликов будет в атмосфере слишком много или, наоборот, слишком мало, то есть, другими словами, если обычный покров будет чересчур плотным или слишком разреженным, то указанные световые явления возникнуть не могут.

Если радуги возникают в результате преломления и от-

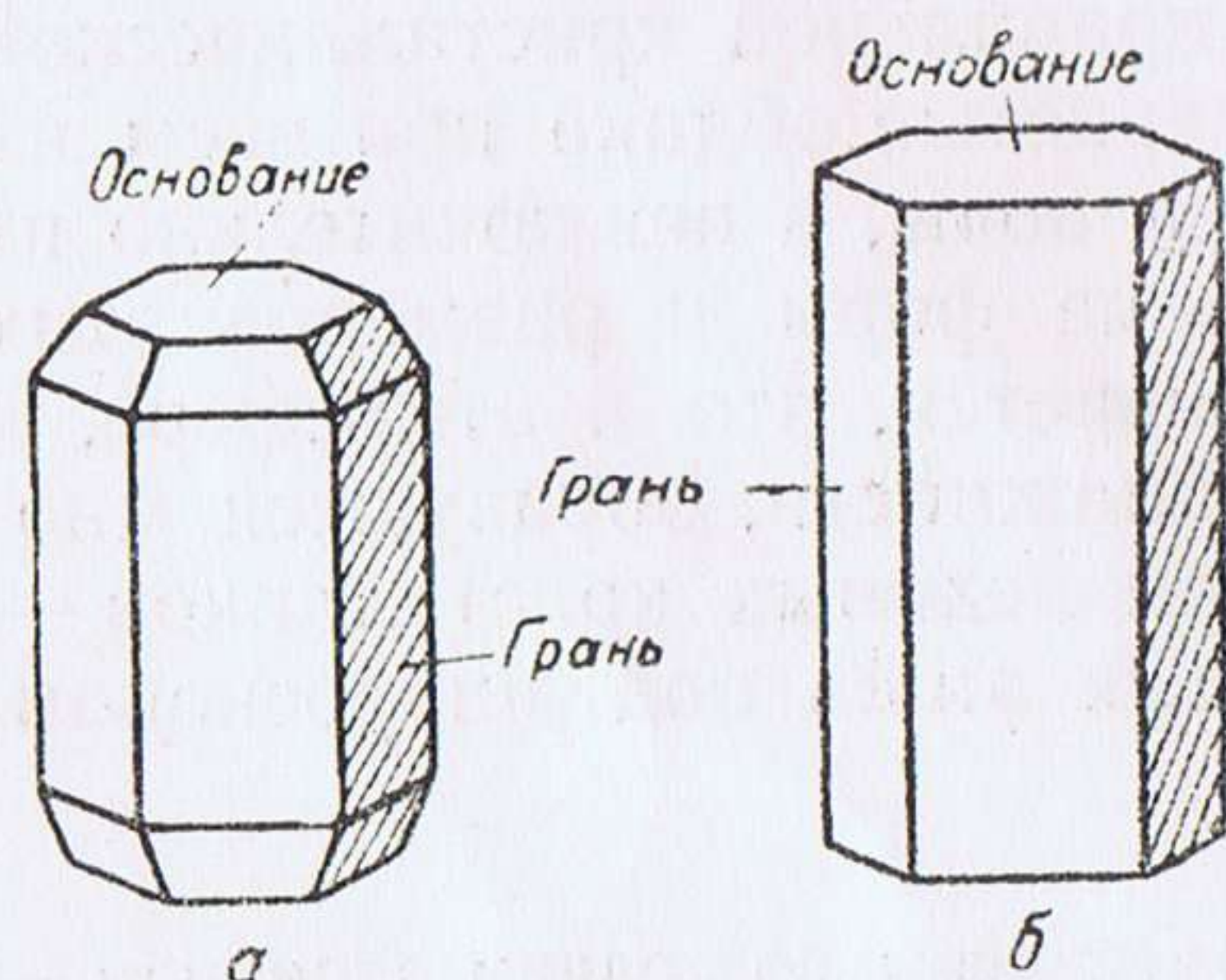


Рис. 12. Шестигранные призматические столбики



Рис. 13. Шестигранная пластинка

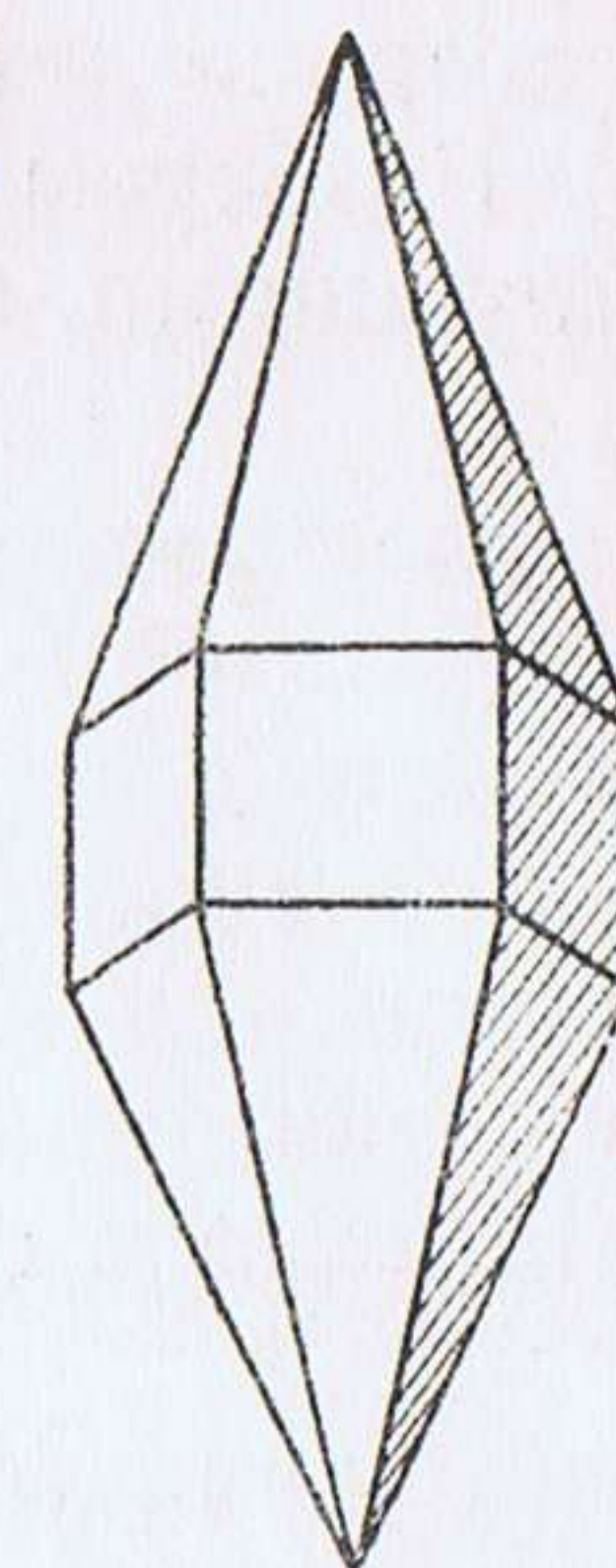


Рис. 14. Шестигранный ромбический столбик

ражения света в водяных капельках, то кольца, кресты, столбы и т. п. возникают в результате преломления (а также и отражения) солнечного света в кристалликах льда.

Однако одного лишь наличия в атмосфере кристалликов указанной формы еще недостаточно для возникновения указанных световых явлений. Необходимо также, чтобы кристаллики были прозрачны, а поверхности их граней — гладки и зеркальны.

Самое же главное условие возникновения подобных световых явлений заключается в том, чтобы форма самих кристалликов сохранялась неизменной в течение длительного промежутка времени, чтобы на гранях кристалликов не образовывалось никаких наростов или изломов и поверхность их не становилась матовой или неровной.

Но все эти условия осуществляются в атмосфере очень редко. Наблюдения показывают, что возникшие кристаллики в большинстве случаев сразу же, непрерывно меняют свою форму, образуя другие кристаллические виды, вплоть до снежинок. Неизменными условия длительного су-

ществования форм кристалликов бывают в атмосфере очень редко, чем и объясняется редкость световых явлений, ими вызываемых.

Таким образом, для возникновения указанных здесь световых явлений на небосводе должны быть облака, состоящие из ледяных кристалликов. В начале раздела было указано, что такую кристаллическую структуру имеют лишь высокорасположенные перистые облака. Очевидно, что все виды облаков, вроде слоисто-дождевых, кучевых или кучево-дождевых, состоящие из мельчайших капелек воды, по своей природе не могут давать описываемые здесь явления.

Более того, несмотря на все многообразие форм самих перистых облаков, только перисто-слоистые облака приводят к возникновению вышеуказанных явлений, причем эти облака должны содержать лишь те формы кристаллов, которые представлены на рис. 12. Плотность самих облаков должна быть не слишком большой и не слишком малой.

Заметим, что поскольку перисто-слоистые облака наиболее часто образуются летом и весной, то и описываемые здесь явления также возникают чаще летом и весной.

Теория образования кругов, крестов, столбов и т. п. довольно сложна. Поэтому, как и при объяснении радуги, мы ограничимся здесь наиболее общими рассуждениями, оставляя в стороне детали.

Разберем сначала световые явления, вызываемые присутствующими в воздухе шестигранными призматическими столбиками.

Чтобы понять действие этого вида кристалликов, необходимо разобрать путь солнечного луча в них.

Для большей простоты и наглядности проследим путь луча в плоскости главного сечения шестигранного столбика. Такой плоскостью будет являться шестиугольник, стороны которого мы занумеруем, как это показано на рис. 15.

Если солнечный луч падает на грань 1 отвесно (перпендикулярно), то внутри кристалла он будет распространяться по тому же направлению, по которому падал, и по выходе из кристалла (на грани 4) он будет распространяться по тому же самому направлению. Такие лучи не могут дать интересующие нас световые явления.

Рис. 15. Ход лучей в шестигранном столбике в плоскости главного сечения

Но если солнечный луч падает на грань 1 наклонно, то внутри кристаллика он испытывает преломление, точно так же, как в жидкой капле при образовании радуги, и будет распространяться в нем уже по другому направлению. Легко представить себе, что если кристаллик льда вращается вокруг оси, проходящей через его середину, как указано стрелками на рис. 15, то солнечные лучи могут падать на грань 1 под самыми различными углами — от очень наклонных до отвесных.

Это разнообразие условий падения солнечных лучей на

грань 1 приведет к тому, что после преломления внутри кристалла световые лучи будут выходить как из противоположной грани 4, так и из соседних смежных 2 и 6 и несмежных 3 и 5 граней. Лучи, выходящие из граней 2 и 6, хотя и испытывают внутри кристалла преломление, но не могут попасть в глаз из-за недостаточного наклона их к земной поверхности. Поэтому они также не могут вызвать световых явлений.

Таким образом, оказывается, что в глаз могут попасть только такие лучи, которые после преломления внутри кристаллика выходят наружу через несмежные грани 3 и 5, причем глаз наблюдателя должен быть обращен или на грань 3, или на грань 5. Тогда каждый луч, выходящий из той или другой грани (смотря по тому, где находится глаз), так или иначе попадет в глаз при вращении кристаллика, медленно оседающего на землю.

Однако эти лучи благодаря вращению кристаллика, едва попав в глаз, мгновенно пойдут по другому направлению. Поэтому действие на глаз будет кратковременным. Но наряду с такими «быстро действующими» выходящими лучами имеются и «длительно действующие» выходящие лучи, которые, несмотря на вращение кристалликов, воздействуют на глаз в течение более продолжительного времени. Оказывается, что этими «длительно действующими» выходящими лучами являются только такие, которые с падающими на кристалл солнечными лучами образуют угол в 22° .

Величина этого угла объясняется следующим образом. Если луч падает на кристаллик под таким углом к грани 1, что его путь внутри кристаллика проходит параллельно грани 6 (именно этот случай изображен на рис. 15), то, как показывает подсчет, отклонение луча от первоначального направления вследствие преломления на грани 1 составляет 11° . Такое же отклонение в 11° и в ту же сторону происходит в результате преломления на грани 5. Полное отклонение составит в этом случае 22° . Если теперь изменить угол падения солнечного луча на грань 1 на несколько градусов, то угол отклонения (22°) почти не изменится.

Если же луч падает на грань 1 так, что путь луча внутри кристаллика проходит не параллельно грани 6, то угол полного отклонения луча будет больше 22° , причем изменение угла падения луча на грань 1 будет сильно изменять величину этого угла. Поэтому, если в положении, показанном на рис. 14, когда угол отклонения составляет как раз 22° , кристаллик станет поворачиваться, то вначале это почти не будет изменять направления луча, вышедшего через грань 5 в воздух, и луч будет попрежнему попадать в глаз наблюдателя. Но при всякой другой ориентировке кристаллика, при которой

внутри него луч проходит не параллельно грани б, вращение кристаллика будет сопровождаться более быстрым изменением направления выходящего луча, и даже при небольшом повороте кристаллика луч перестанет попадать в глаз наблюдателя.

Наличие «длительно действующих» лучей объясняет происхождение некоторых излагаемых здесь световых явлений.

Представим себе, что в атмосфере имеется полупрозрачное перисто-слоистое облако, состоящее из шестигранных столбикообразных кристалликов. Вся эта огромная масса вращающихся и медленно оседающих на землю кристалликов располагается в облаке беспорядочно. Занимая всевозможные положения и вращаясь различным образом, кристаллики в тот или иной момент пошлют в глаз наблюдателя «быстро действующие» лучи. Так как таких кристалликов в облаке очень много, то в каждый момент число лучей, идущих от них в глаз, также будет велико.

Совокупное действие всех таких «быстро действующих» лучей, замечаемых глазом, приводит к образованию некоторого яркого фона, или, другими словами, к более или менее одинаковой яркости всего облака.

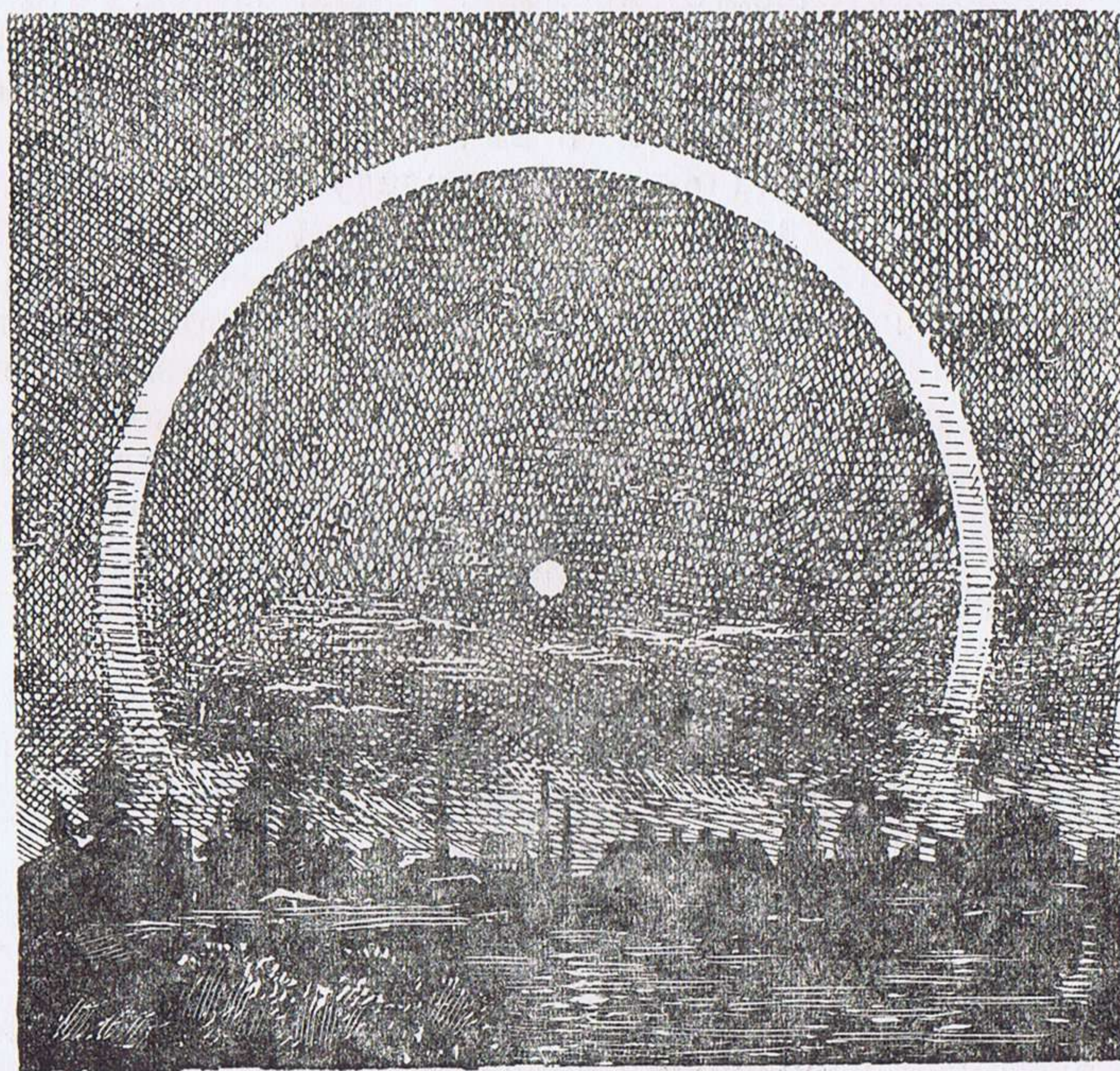


Рис. 16. Вид 22-градусного кольца вокруг луны

Но среди огромного количества хаотически расположенных кристалликов всегда найдется достаточно большое число таких, которые ориентированы по отношению к солнцу и наблюдателю таким образом, что выходящие из них лучи, попадающие в глаз, будут образовывать с направлением на солнце угол в 22° . Такие световые лучи будут действовать на глаз наблюдателя продолжительнее, сильнее, чем все другие лучи из других кристалликов в облаке. Эти «длительно действующие» лучи в совокупности приводят к повышению яркости света вокруг солнца во всех точках облака, удаленных от светила на 22° . В результате этого на фоне сравнительно яркого полупрозрачного облака вокруг солнца образуется еще более яркое световое кольцо с угловым расстоянием от солнца в 22° . Такие околосолнечные 22-градусные кольца появляются на небосводе сравнительно часто.

Точно так же объясняется образование 22-градусных колец вокруг луны. Окололунные кольца наблюдаются даже чаще, чем околосолнечные.

Наблюдать визуально (то есть глазом) и фотографировать околосолнечные кольца значительно труднее, чем окололунные, потому что яркое солнце, просвечивающее сквозь облака, ослепляет глаз и засвечивает фотопластинку.

При наблюдении околосолнечных колец бросаются в глаза некоторые особенности. Часто кольца имеют слабые цветные каемки: синефиолетовую снаружи и красноватую изнутри. Кроме того, иногда замечается резкое усиление яркости света справа и слева от солнца и на одной с ним высоте: образуются яркие световые пятна, которые получили название ложных солнц.

Дадим краткое объяснение этим особенностям околосолнечных колец.

Читатель, вероятно, уже догадался, что цветные каемки у колец образуются в результате преломления и разложения солнечного луча в кристаллике, точно так же, как это имеет место при возникновении радуги. Нам остается только пояснить, почему цвета наружной и внутренней каемок кольца следуют в обратном порядке по сравнению с главной радугой.

Преломление лучей через грани 1 и 5 (см. рис. 15) происходит так же, как и через грани соответствующей трехгранной призмы, как это показано на рис. 17.

Пусть наблюдатель на рис. 18 рассматривает 22-градусное кольцо. Представим себе схематически, что в верхней части кольца находится ледяной трехгранный столбик, показанный на рисунке в плоскости его главного сечения (в виде треугольника). Солнечные лучи, падающие на этот столбик, испытывают в нем, как мы уже знаем, преломление и разложе-

ние на основные семь цветов. Наибольшее отклонение от первоначального направления, как нам уже известно, испытывают сине-фиолетовые лучи, а наименьшее — красные. Поэтому, выйдя из призмы, сине-фиолетовые лучи окажутся более наклоненными к земле, чем красные.

Вследствие этого от всех ледяных трехгранных столбиков, находящихся в верхней части 22-градусного кольца, в глаз могут попасть только сине-фиолетовые лучи. Красные же и другие лучи, как менее наклоненные к земле и идущие в пространстве выше сине-фиолетовых, пройдут над головой наблюдателя и в глаз не попадут (напомним, что в радуге расположение цветов получается обратным из-за того, что внутри капли

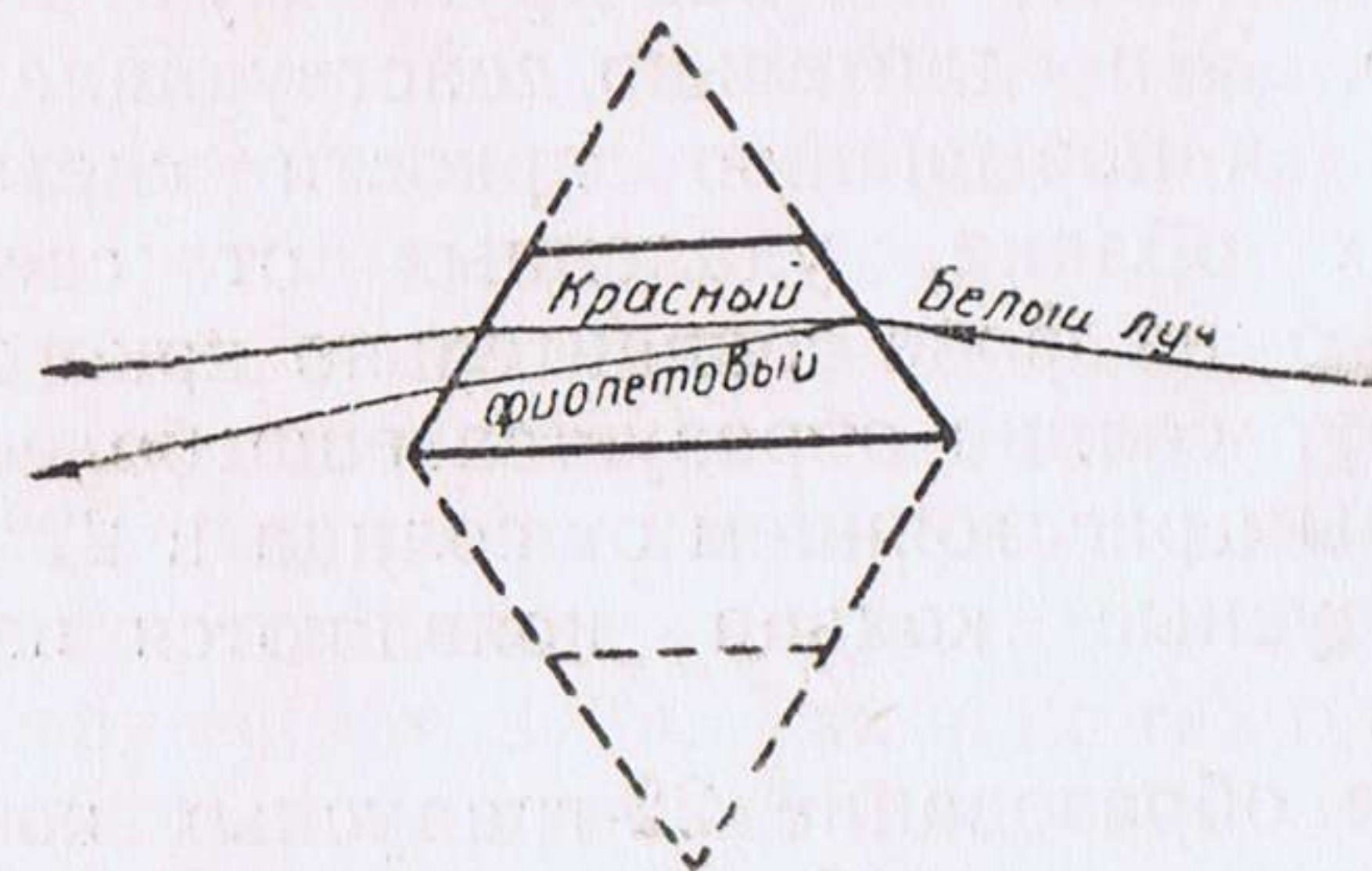


Рис. 17. Преломление луча света в трехгранной призме

преломленные лучи испытывают одно отражение от задней поверхности).

Расхождение между сине-фиолетовыми и красными лучами составляет около 1° (то есть 22-градусное околосолнечное кольцо примерно вдвое уже радуги). Вследствие этого красные лучи могут попасть в глаз только от таких столбиков, которые располагаются на 1° ниже верхних. Промежуточные цветные полосы образуются столбиками, расположенными в промежутке между верхними и нижними столбиками, и следуют от наружного края к внутреннему в таком порядке: голубая, зеленая, желтая, оранжевая, то есть обратно расположению цветов в главной радуге. Однако тут же следует заметить, что в околосолнечных кольцах все цвета, кроме слабокрасного и отчасти сине-фиолетового, замечаются весьма слабо, а вернее говоря, не воспринимаются вовсе. Это происходит по той же причине, по которой отсутствуют «чистые» цвета в радуге.

Все наши рассуждения были бы справедливы, если бы солнце являлось точкой. Тогда мы в действительности воспринимали бы околосолнечные кольца в виде красивых семицветных колец, примыкающих друг к другу. Но, как мы уже говорили, солнце не является точкой, а представляет собою диск заметных размеров. Каждая точка диска участвует в образовании явления, другими словами, каждая точка диска создает «свое» 22-градусное кольцо (так же, как и свою «радугу»). Совокупно же действие всех точек солнечного диска приводит к наложе-

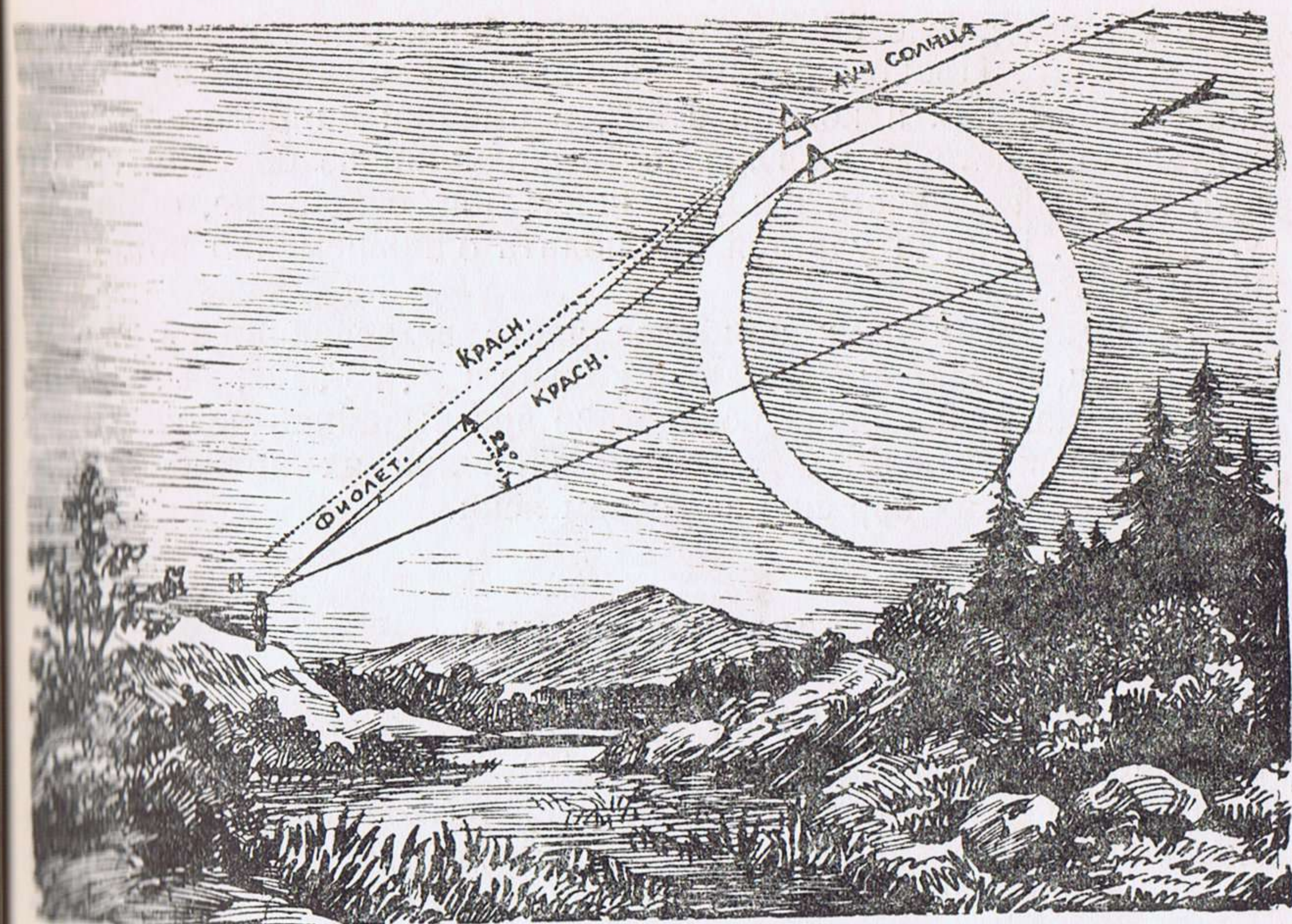


Рис. 18. Схема образования цветных каемок у 22-градусного кольца

нию разных цветных колец друг на друга, что дает смешение различных цветов. В результате этого смешения и получается ослабление «чистоты» цветов. В случае 22-градусного кольца смешение и ослабление чистоты цветов происходят настолько сильно, что они фактически не образуются; мы видим около солнца яркое беловатое кольцо с красноватой каемкой внутри и слабофиолетовой снаружи.

РЕДКИЕ ВИДЫ ОКОЛОСОЛНЕЧНЫХ КОЛЕЦ

Шестигранные кристаллические столбики льда падают на землю в «лежачем» положении (то есть вниз гранями, а не основаниями) и, кроме того, вращаются вокруг своей продольной оси, расположенной горизонтально. При такой ориентировке кристаллов в воздухе 22-градусное кольцо образуется в том случае, если солнечные лучи падают на какую-либо грань, а выходят из несмежной грани.

Но может быть и такое расположение кристалликов относительно солнца, когда лучи падают на основание кристаллика, а выходят через его грань. В этом, более редком, случае во-

круг солнца также образуется яркое беловатое кольцо, но не в 22° , а в 46° . Происхождение кольца в 46° объясняется таким же образом, как и кольца в 22° , а именно: наиболее продолжительно действует на глаз тот выходящий из боковой грани луч, который с лучом, падающим на основание, образует угол в 46° . Иногда удается наблюдать одновременно кольца в 22° и в 46° .

Помимо этих двух наиболее часто встречающихся световых колец, наблюдаются также кольца в 9° , 16° , 18° , 24° , 26° , но очень редко. Эти кольца вследствие чрезвычайной редкости их появления изучены недостаточно. Причина их появления на небосводе до сих пор еще не совсем ясна.

ЛОЖНЫЕ СОЛНЦА

Иногда при наблюдении кольца в 22° бывают видны так называемые ложные солнца (рис. 19).

Ложные солнца представляют собой резкое усиление яркости околосолнечного кольца в точках, расположенных на одной высоте с солнцем. Величина их примерно одинакова с размерами истинного солнца. У каждого из ложных солнц почти всегда можно видеть светлую полосу, или хвост, направленный

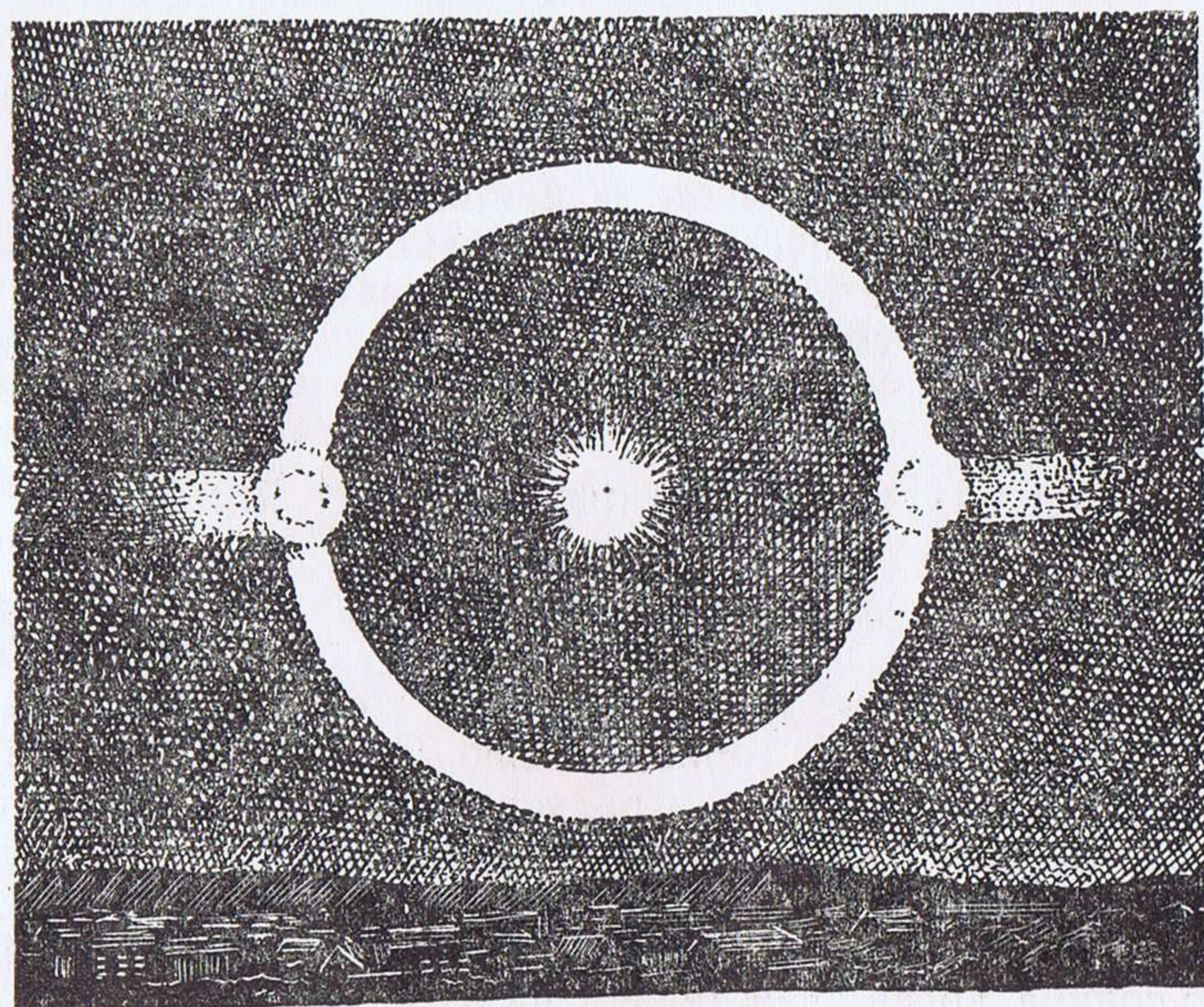


Рис. 19. Виды ложных солнц

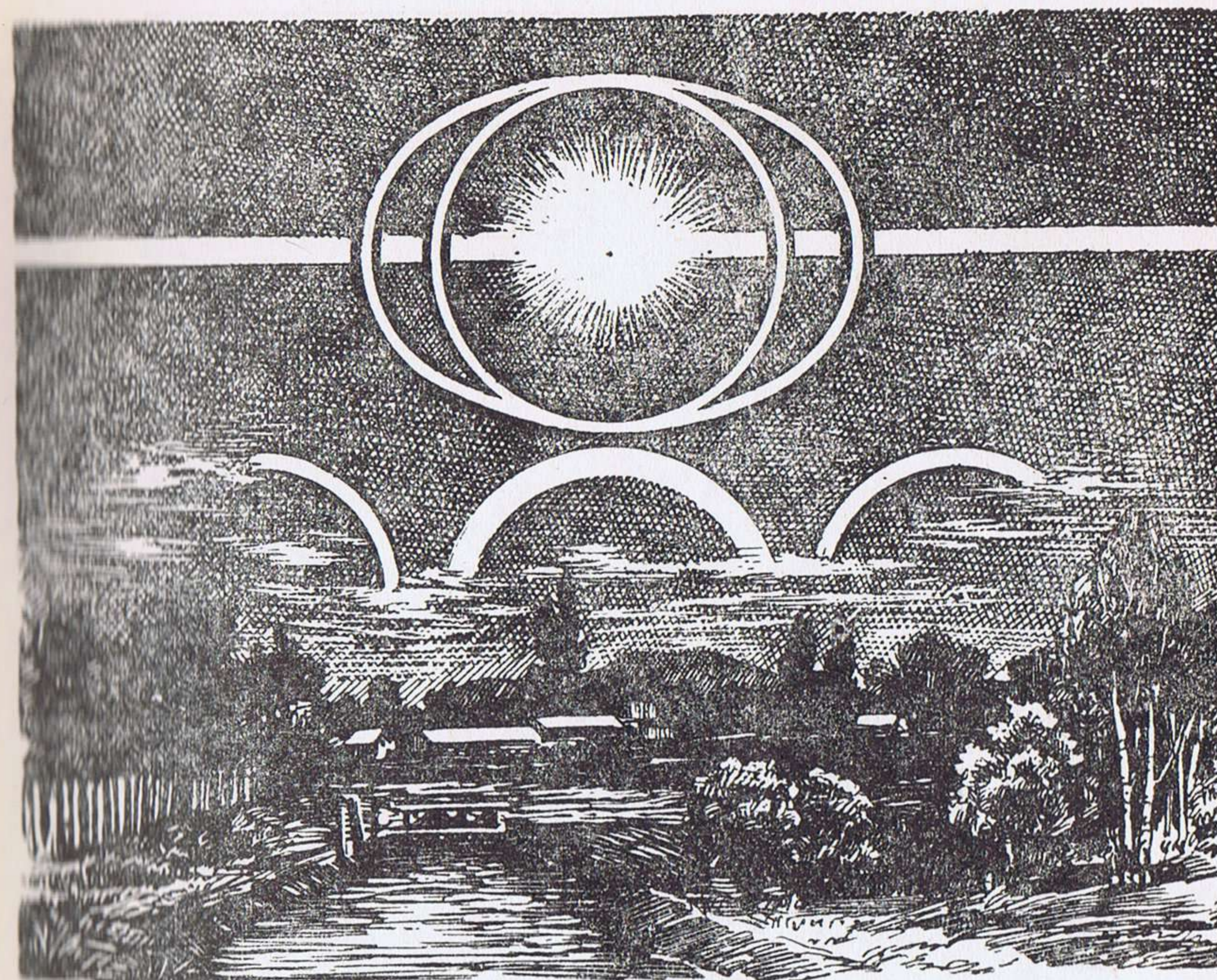


Рис. 20. Сложная форма околосолнечных колец

параллельно горизонту в сторону, противоположную солнцу. Длина этого хвоста может достигать $15-20^\circ$, то есть может составлять $30-40$ диаметров солнечного диска.

Яркость ложных солнц при некоторой толщине облаков бывает иногда настолько большой, что они способны вызвать образование вторичных колец в 22° около каждого из них. В этом случае явление носит сложный и причудливый характер.

Не останавливаясь подробно на объяснении, укажем, что ложные солнца возникают в том случае, если из огромного числа шестигранных столбиков, образующих полупрозрачное облако, некоторая часть располагается в воздухе так, что к наблюдателю обращено основание кристалла. Можно было бы показать, что в таком случае кристаллики, удаленные от солнца на 22° относительно точки наблюдения и расположенные на одной с ним высоте, пошлют в глаз значительно больше света, чем кристаллики, ориентированные так же, но расположенные в других точках облака.

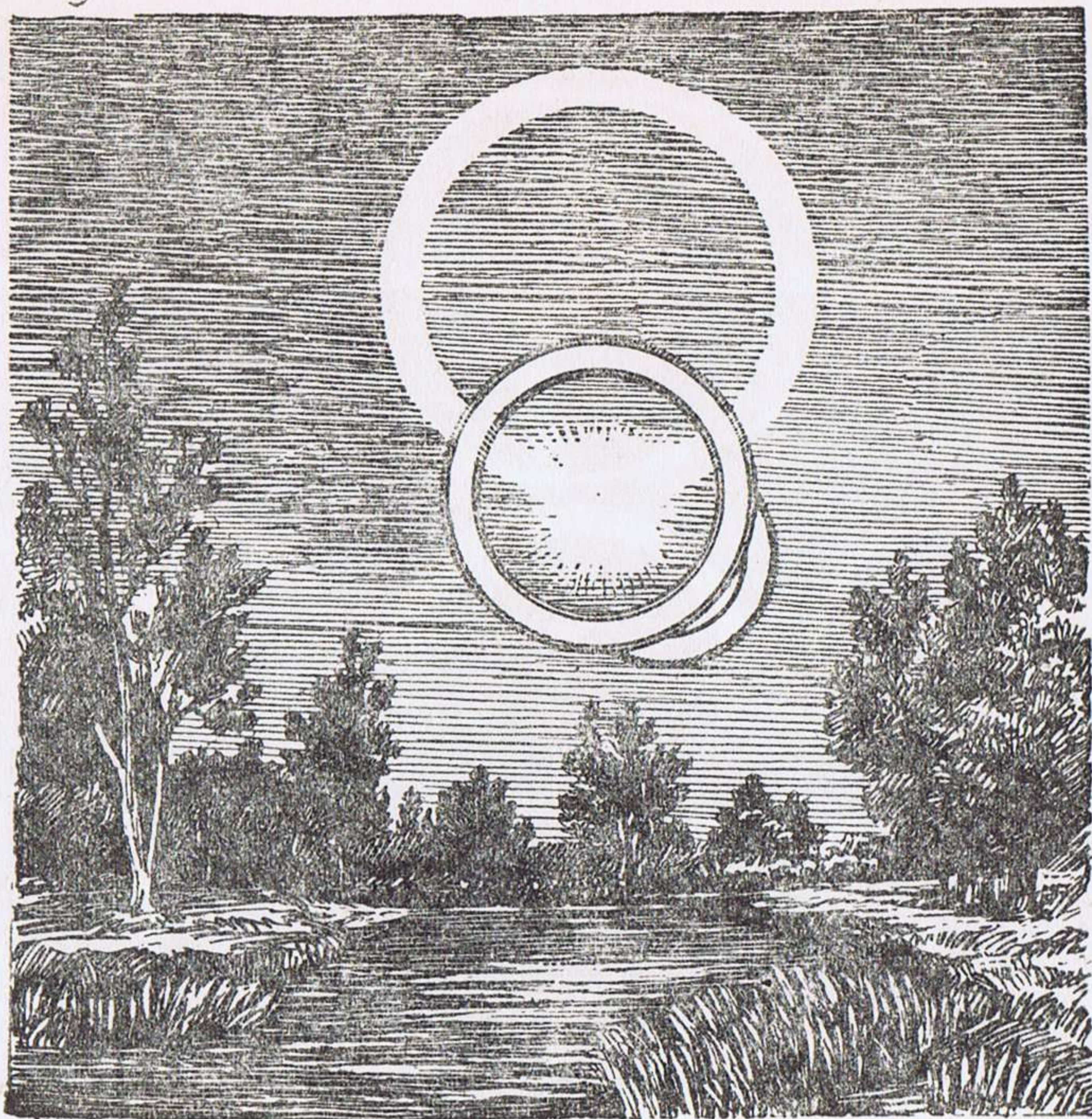


Рис. 21. Сложная форма околосолнечных колец

Яркость ложных солнц тем больше, чем ближе к горизонту находится солнце, и, наоборот, чем выше солнце над горизонтом, тем меньше яркость ложных солнц. При высоте солнца в 60° над горизонтом ложные солнца возникнуть не могут. Поэтому они лучше всего видны или при восходе, или при заходе солнца. В этот момент ложные солнца имеют (как и истинное солнце) красноватый оттенок.

Что же касается световых хвостов около ложных солнц, то они образуются в том случае, если кристаллики, обращенные своими основаниями к наблюдателю, при своем падении на землю совершают еще вращательное движение вокруг своей продольной оси. Но бывает и так, что падающие кристаллики одновременно с этим вращаются еще вокруг вертикальной оси. Тогда глаз видит яркую световую полосу, проходящую через солнце и параллельную горизонту. На самом же деле образуется вокруг солнца не полоса, а световое кольцо в 22° или в 46° , но расположенное не вертикально, а параллельно горизонту. Однако вместо кольца мы видим лишь светлую полосу. По-

ставьте перед глазами обруч, держа его горизонтально на вытянутой руке, — глаз увидит лишь полосу, а не круг. На рис. 20 и 21 представлены примеры таких сложных и причудливых явлений.

В атмосфере может быть такая ориентировка кристалликов, такое направление их вращения и неравномерное распределение, когда на небосводе могут возникнуть кольца без ложных солнц и, наоборот, ложные солнца без колец. В последнем случае наблюдается замечательное зрелище — на небосводе видны три солнца: одно истинное и два ложных. Отмечено несколько случаев, когда при отсутствии колец яркие ложные солнца давали вторичные ложные солнца и на небосводе появлялось целых пять солнц — одно истинное и четыре ложных!

Таковы главнейшие из световых явлений, производимых кристаллическими шестигранными столбиками.

СВЕТОВЫЕ СТОЛБЫ

Расскажем теперь вкратце о световых явлениях, производимых ледяными кристаллическими пластинками. Наиболее распространенными из них являются высокие световые столбы, появляющиеся перед восходом или заходом солнца (рис. 22).

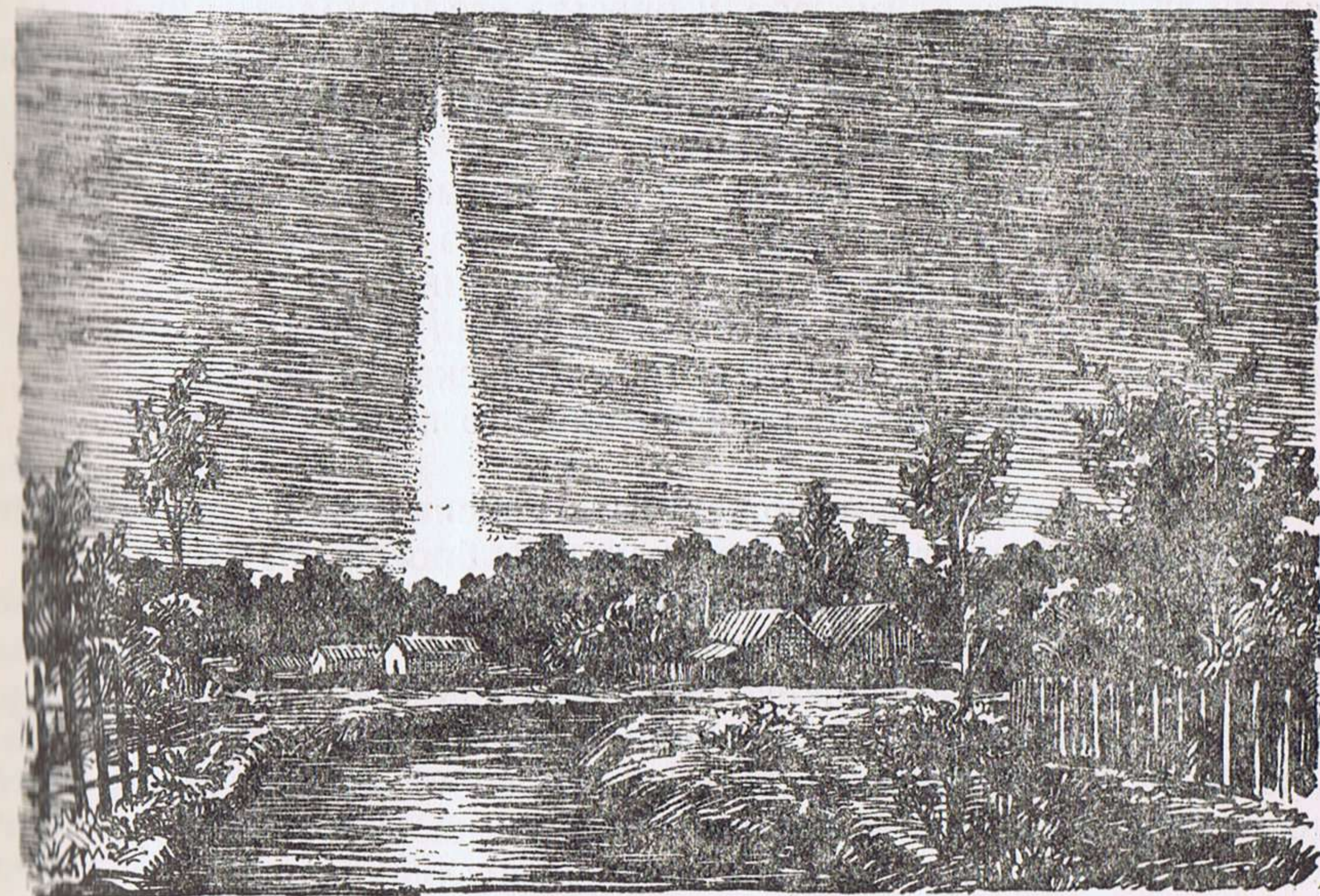


Рис. 22. Вид светового столба

Световые столбы замечаются иногда зимой и у ярких ламп уличных фонарей.

Световые столбы возникают при отражении солнечных лучей от шестигранных кристаллических пластинок, когда последние, в процессе медленного опускания на землю, совершают колебательные движения.

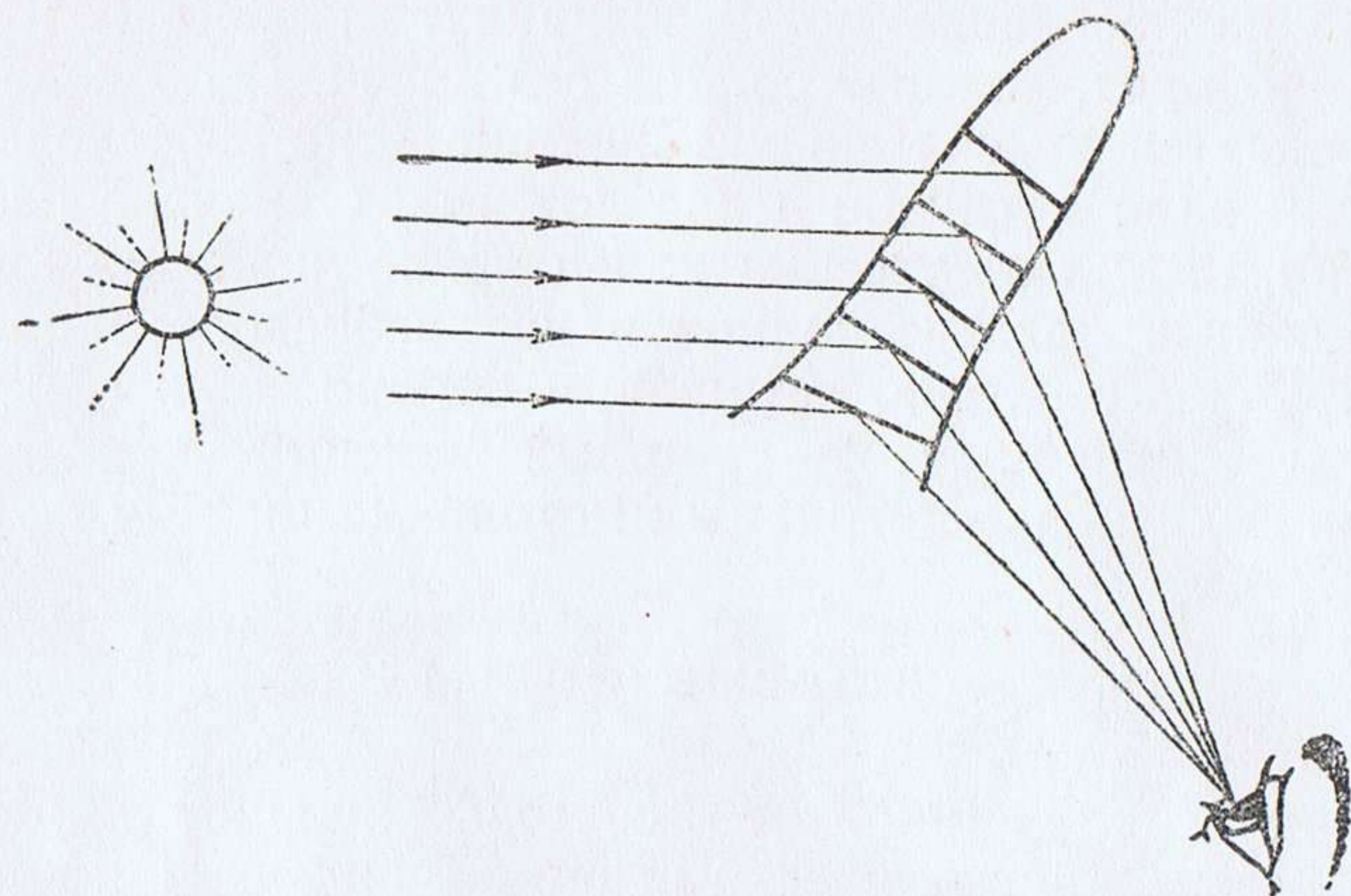


Рис. 23. Схема образования светового столба

Оторвите от газеты крошечный листок, размером в несколько квадратных миллиметров, и бросьте его на пол. Вы увидите, что в комнате, если в ней нет сквозняка, листок будет падать на пол «плашмя», то есть в горизонтальном положении, и, как правило, без всяких колебаний.

Если бы кристаллические шестигранные пластинки точно так же падали и в атмосфере, то есть без всяких колебательных движений, то световые столбы возникнуть не могли бы. При падении же на открытом воздухе пластинки совершают колебания, в зависимости от которых плоская поверхность пластинок может отходить от горизонтального положения градусов на 10—20.

Насколько сложным может быть падение таких пластинок в атмосфере, может убедиться каждый, бросив тот же листок бумаги не в комнате, а на открытом воздухе.

Солнечные лучи, попав на падающую и колеблющуюся в воздухе пластинку, отражаются от нее, как от крошечного зеркала. Колебательные движения совершаются бесчисленным множеством падающих пластинок. В любой момент найдется достаточное количество пластинок, занимающих в воздухе такое положение, при котором солнечный луч, отразившись от них, попадет в глаз наблюдателя. На рис. 23 прямыми линиями схематически показаны различные положения пластинок, на

которые падают солнечные лучи. Каждая из выше расположенных пластинок отразит в глаз наблюдателя падающий на нее луч при другом положении, чем пластинка, расположенная ниже. Совокупное же действие таких колеблющихся отражающих свет пластинок представляется глазу в виде яркой полосы или столба света над или под солнцем.

Сущность возникновения световых столбов очень сходна с образованием световой дорожки от солнца или луны (или даже от фонарей) на поверхности воды. Каждый, вероятно, наблюдал, что при спокойной воде, не подернутой рябью, световая дорожка не образуется и поверхность воды представляется зеркальной. Но если поверхность воды колеблется или на ней образовалась рябь, то вместо зеркального отражения солнца, луны или фонарей образуется световая дорожка. Она появляется потому, что на колеблющейся или подернутой рябью водной поверхности возникает бесчисленное множество очень маленьких плоских поверхностей, ориентирующихся относительно наблюдателя самым различным образом.

Каждая такая плоская поверхность ведет себя, как небольшое зеркальце. В какое-то мгновение каждое такое зеркальце пошлет в глаз отраженный луч. Совокупное же действие бесчисленного множества таких зеркалец, образующихся на большом участке водной поверхности между источником света и наблюдателем, создает впечатление световой дорожки.

Точно таким же образом возникает в атмосфере световой столб при заходящем или восходящем солнце, с той лишь разницей, что солнечные лучи отражаются не от плоских небольших волн, а от колеблющихся в воздухе мельчайших плоских кристалликов.

СВЕТОВЫЕ КРЕСТЫ И МЕЧИ

В атмосфере могут быть такие условия (впрочем, весьма редко), когда одновременно существуют и кристаллические пластинки и кристаллические шестигранные столбики.

Обычно столбики падают на землю так, что длинная боковая грань располагается горизонтально, а основание — вертикально. Напомним, что если при этом столбики вращаются вокруг вертикальной оси (как пропеллер, расположенный горизонтально), то образуется околосолнечное световое кольцо, расположенное горизонтально, но глаз видит не кольцо, а лишь горизонтальную световую дорожку или полосу по обе стороны от солнца.

Если столбики не очень вытянуты, то они могут падать на землю в вертикальном положении. Солнечный свет, отражен-

ный от вертикально стоящих граней таких столбиков, также будет образовывать световую горизонтальную дорожку или столб по обе стороны от солнца.

Таким образом, если в воздухе находятся одновременно и шестигранные пластинки и шестигранные столбики (ориентированные определенным образом), то первые образуют над и под солнцем вертикально расположенные световые столбы, а вторые образуют слева и справа от солнца горизонтально расположенную световую полосу.

Совместное действие обоих указанных видов кристалликов приводит, таким образом, к образованию вокруг солнца замечательного по красоте явления — светового креста. Взору представляется величественная картина: на небе, подернутом полупрозрачными облаками, вокруг солнца висит в воздухе огромный сияющий световой крест.

Нужно ли удивляться тому, что это красивое и редкое явление природы в течение многих сотен лет рассматривалось людьми, находившимися во власти религиозных предрассудков, как «божественное знамение», символ «божьего гнева».

Световые кресты иногда могут возникнуть также при сложных видах околосолнечных колец, но лишь как результат пересечения между собой тех или иных кругов, образованных истинными и ложными солнцами (когда по каким-либо причинам образуется не все кольцо, а лишь его часть).

Если световой крест возникает при низком солнце, перед его закатом или вскоре после его восхода, то часть нижнего вертикального столба уходит под горизонт и становится невидимой для наблюдателя. В этом случае на небосводе возникает фигура в виде удлиненного креста, напоминающая своим видом меч. Поскольку заходящее (или восходящее) солнце обычно окрашено в красный цвет, то создаваемая им фигура также имеет красноватый цвет. В результате создается впечатление появления на небосводе окровавленного меча.

Зимой 1947 года, а также и в 1950 году автор наблюдал в Ленинграде великолепные мечеобразные световые фигуры вокруг фонарей уличного освещения. Особенно поразительную картину можно было наблюдать в 1947 году, глядя на Литейный проспект с Литейного моста. Два ряда фонарей, расположенных вдоль проспекта, образовывали две линии ярких световых мечей или удлиненных крестов. Яркость фигур была настолько велика, что их можно было видеть буквально в нескольких шагах от фонаря. Длина нижней части меча составляла 4—5 метров, «рукоятки» — 1,5 — 2 метра. Два ряда фонарей, раскачиваемых ветром, образовывали два ряда мечей, как бы висящих в воздухе и волнообразно движущихся. Это на редкость красивое явление продолжалось свыше двух часов.



Световое явление «околосолнечный крест»

Световые явления, обусловленные преломлением и отражением солнечного света на взвешенных в воздухе ледяных кристалликах, были известны людям еще в глубокой древности. И очень часто подобные световые явления (кресты и мечи, ложные солнца, столбы, кольца и их пересечения и т. д.) поражали воображение людей.

Народные массы в течение многих столетий не имели доступа к знаниям и не могли разобраться в сущности всех этих явлений. К тому же правящие классы и многочисленные «отцы церкви» заботились о том, чтобы представить различные явления природы знаками «божьего гнева» или «божьей милости».

В прошлом столетии один астроном на основании архивных материалов и старинных книг опубликовал древние и средневековые описания световых явлений, расценивавшихся как «божественные знамения».

Собранные им сведения настолько забавны, что мы приведем некоторые из них дословно.

«В 1156 году по всей Англии наблюдались три солнца и яркий белый крест. Вскоре после этого среди кардиналов возникла распря по поводу избрания первосвященника».

«В 1463 году в Польше в продолжение двух часов наблюдалось изображение распятого Христа с мечом, направленным от запада к югу. Вскоре эту страну постигли великие бедствия. В 1489 году по всей Польше видели окровавленные мечи и другое оружие. Эти страшные предзнаменования сопровождались проливными дождями, засухой, голодом и моровой извой».

Заметим, что в жизни людей, государств постоянно происходят те или иные события, которые воспринимаются как должное. Когда же на небосводе от времени до времени возникают какие-либо редкие явления, поражающие воображение людей, то даже обыкновенные события становятся «необыкновенными» и «связанными» с этими явлениями.

Вот еще один случай, приведенный в вышеуказанной книге:

«В 1551 г. над осажденным Магдебургом появились три солнца и три радуги одновременно. Это обстоятельство побудило войска короля Карла V прекратить осаду этого города, продолжавшуюся 15 месяцев».

Забавно то, что осажденные жители Магдебурга расценили это световое явление, как «божественное» указание на предстоящее им поражение, гибель и разорение, а осаждающие войска, наоборот, — как «божественное» благоволение к осажденному городу, почему и прекратили осаду.

Но не только в средние века, но и в более позднее время некоторые световые явления рассматривались как проявление

«небесных сил». В этом отношении особенно отличается католическая церковь. Объясняя эти и другие явления природы как некие божественные символы, она использует их как орудие обмана и идеологического закабаления трудящихся капиталистических стран, лишенных доступа к научным знаниям. Только советскому народу и трудящимся стран народной демократии, добившимся под руководством коммунистических и рабочих партий освобождения от ярма капиталистической эксплуатации, открыта широкая дорога к научным знаниям.

СВЯЗЬ ЯВЛЕНИЙ ОКОЛОСОЛНЕЧНЫХ КОЛЕЦ С ДРУГИМИ ЯВЛЕНИЯМИ ПРИРОДЫ

Наука не только объясняет происхождение различных явлений природы, но и ищет взаимосвязь между ними в целях еще более глубокого познания окружающего нас мира.

Уже упоминавшийся нами русский ученый профессор П. И. Броунов много лет посвятил изучению связей между явлениями околосолнечных колец и изменением погоды на ближайший отрезок времени. Он нашел, что такие явления, как кольцо в 22° вокруг солнца, ложные солнца, световые столбы, кресты и т. п., возникают обычно перед наступлением циклона. Это связано с тем, что образование перисто-слоистых облаков, дающих эти явления, приходит, как правило, с приходом теплового фронта циклона. Так, из 119 отмеченных случаев околосолнечных колец атмосферное давление понижалось 111 раз, что соответствовало приближению циклона. Из этих 111 случаев барометр в 97 случаях начинал падать в течение ближайших 24 часов, а в 14 случаях — на второй день.

Совсем иначе изменяется температура воздуха. Как отмечает П. И. Броунов, если кольца, столбы и т. п. возникают при низкой температуре воздуха, то после них становится теплее, температура воздуха повышается. Наоборот, если указанные явления возникают при относительно теплой погоде, то после них температура воздуха понижается. Так, из 47 наблюдений зимой при относительно больших холодах температура воздуха повышалась:

В первый день	35 раз
На второй день	8 раз
На третий день	3 раза
На четвертый день	1 раз

Из 72 наблюдений околосолнечных колец в относительно теплое время года (весной и в начале лета) температура воздуха понижалась:

В первый день	51 раз
На второй день	13 раз
На третий день	3 раза
На четвертый день	2 раза

Профессор Броунов установил, что в более континентальных районах центра и юго-востока европейской части СССР, где резкие колебания температуры более редки, чем в других районах, разобранные здесь световые явления сопровождаются только увеличением облачности.

Наблюдения профессора Броунова свидетельствуют о существовании несомненной связи между появлением кругов, столбов и других явлений вокруг солнца и характером предстоящей погоды.

Об этом же говорят и народные приметы: «Солнце с ушами (с ложными солнцами) — к морозу», «Солнышко в рукавичках (с ложными солнцами) — к морозу», «Столбы около солнца — к трескучему морозу», «Лучи от солнца вниз пучками — к морозу».

Советский метеоролог А. П. Моисеев в течение 25 лет через каждые 1—2 часа производил под Москвой наблюдения за повторяемостью световых явлений. Обработка его данных позволила установить, что для района Москвы в течение года в среднем наблюдаются:

Околосолнечные и околосолнечные кольца в 22°	110 раз
Околосолнечные и околосолнечные кольца в 46°	3 раза
Ложные солнца	25 раз
Световые столбы	4 раза
Другие сложные формы	32 раза

Интересно отметить, что за 25 лет А. П. Моисееву ни разу не пришлось наблюдать таких явлений, как кресты и мечи вокруг солнца, ложные солнца без околосолнечных колец, что последний раз подчеркивает крайнюю редкость этих явлений.

МИРАЖИ

Е ДВА ЛИ БУДЕТ правильно назвать миражи редким явлением природы. В наших степных районах в жаркие безветренные дни миражи возникают чуть ли не ежедневно.

Явление это состоит в том, что поверхность земли на некотором удалении от наблюдателя кажется как бы залитой водой, в которой отражаются, как от зеркала, дома, холмы, люди, деревья, небо. Если при этом наблюдатель подыметесь повыше, например влезет на крышу дома или на дерево, то явление становится виднее и поражает своим масштабом: кажется, что водой залита вся окрестность (рис. 24).

Интересные световые явления, называемые миражами, были известны с древнейших времен.

На протяжении многих столетий ученые пытались понять сущность этих явлений. Первые правильные объяснения были сделаны лишь 150—175 лет назад.

Сущность миражей состоит в следующем.

Мы уже знаем, что если солнечный луч попадает из одной среды в другую, то он испытывает преломление, то есть отклонение от первоначального направления. Попадая из менее плотной среды, например из воздуха, в более плотную, например в воду, луч света приближается к перпендикулярной линии (пунктирная линия на рис. 25, А).

И наоборот, попадая из более плотной среды (стекло или вода) в менее плотную (воздух), световой луч удаляется от перпендикулярной линии (рис. 25, Б).

Если читателю понятны эти два основных положения, то он без труда поймет и происхождение миражей.

В знойный безветренный день поверхность земли нагревается, как известно, очень сильно. Слои воздуха, примыкающие непосредственно к земле, также нагреваются очень сильно.

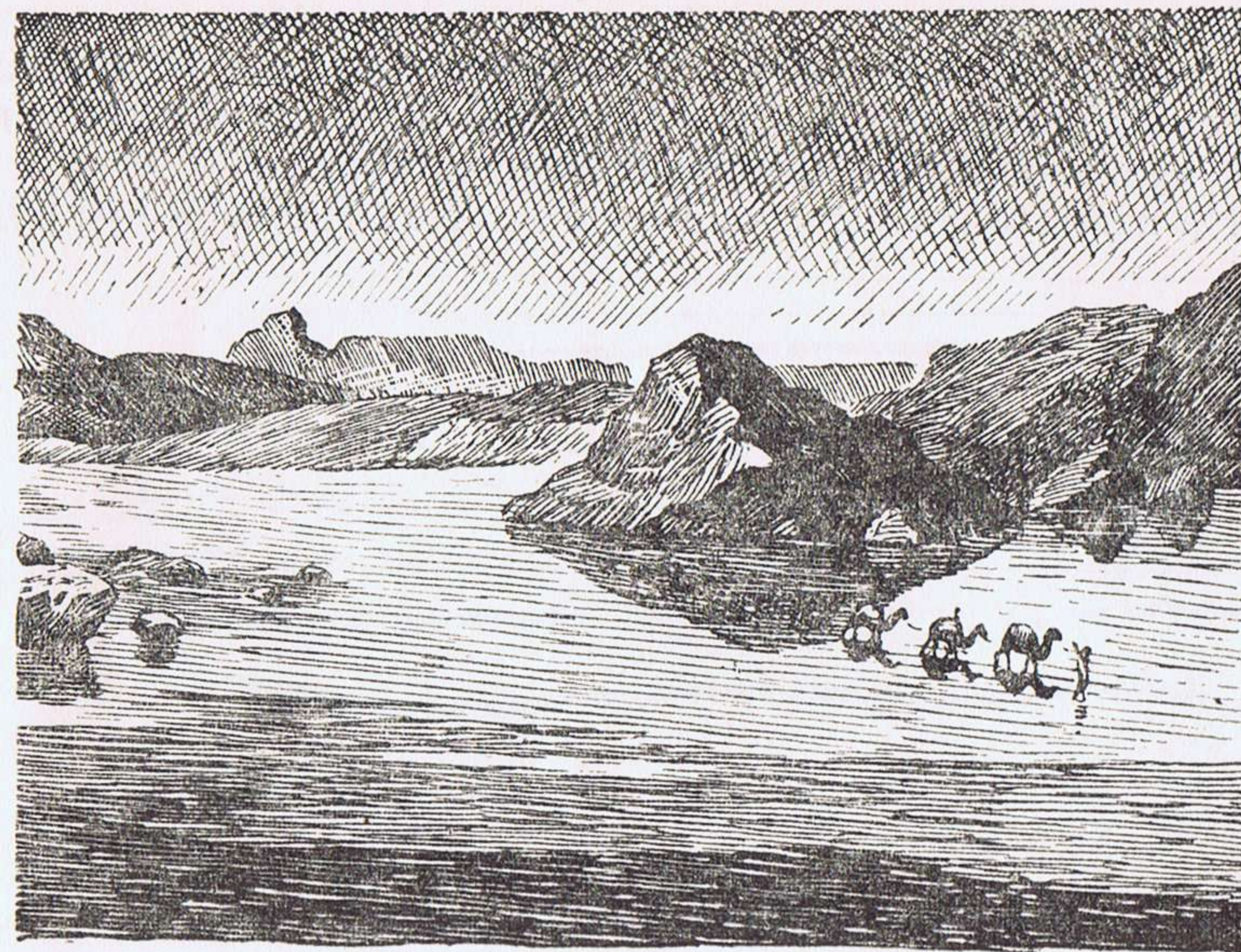


Рис. 24. Общий вид миража

Но если постепенно удаляться от поверхности земли, то более высокие слои окажутся менее нагретыми.

Известно, что чем больше нагревается какое-либо тело, тем сильнее оно расширяется и тем меньше становится его плотность. Поэтому, если в жаркий безветренный день слои воздуха, расположенные ближе к почве, будут иметь более высокую температуру, чем расположенные выше слои, то они будут обладать соответственно меньшей плотностью.

Что же будет происходить с лучом света, распространяющимся в таких слоях?

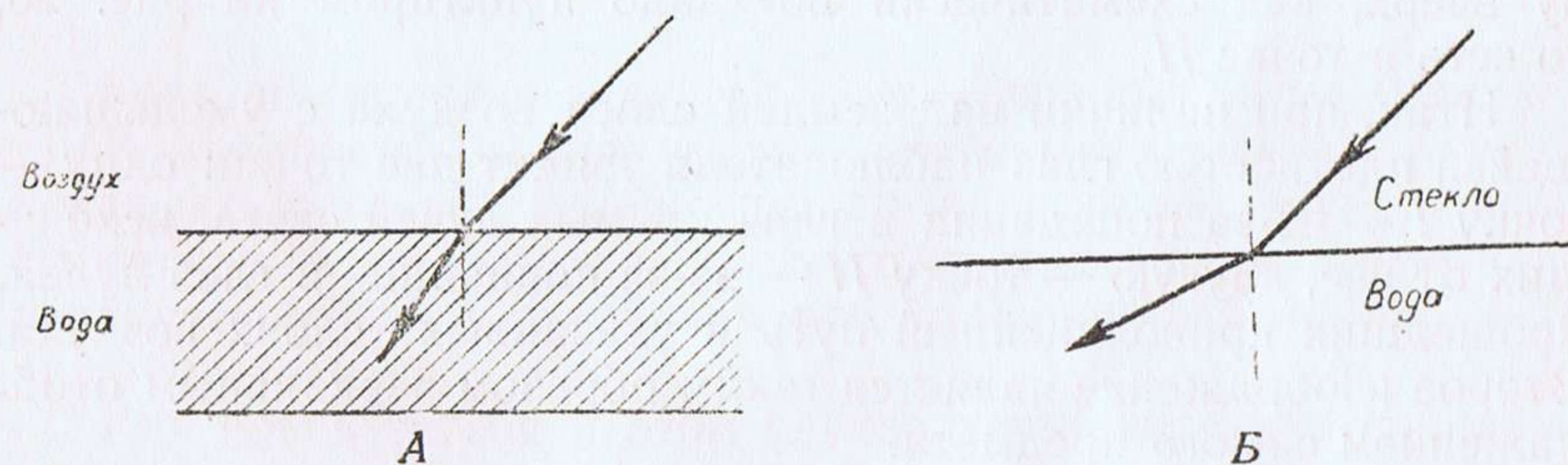


Рис. 25. Преломление светового луча: А — при переходе из менее плотной среды в более плотную; Б — при переходе из более плотной в менее плотную

Попадая из верхних, более плотных, слоев в нижние, все менее и менее плотные, луч света, исходящий из точки *I* (рис. 26), в каждом последующем слое будет все более удаляться от перпендикулярной линии (изображена пунктиром).

На каждый последующий слой воздуха световой луч будет

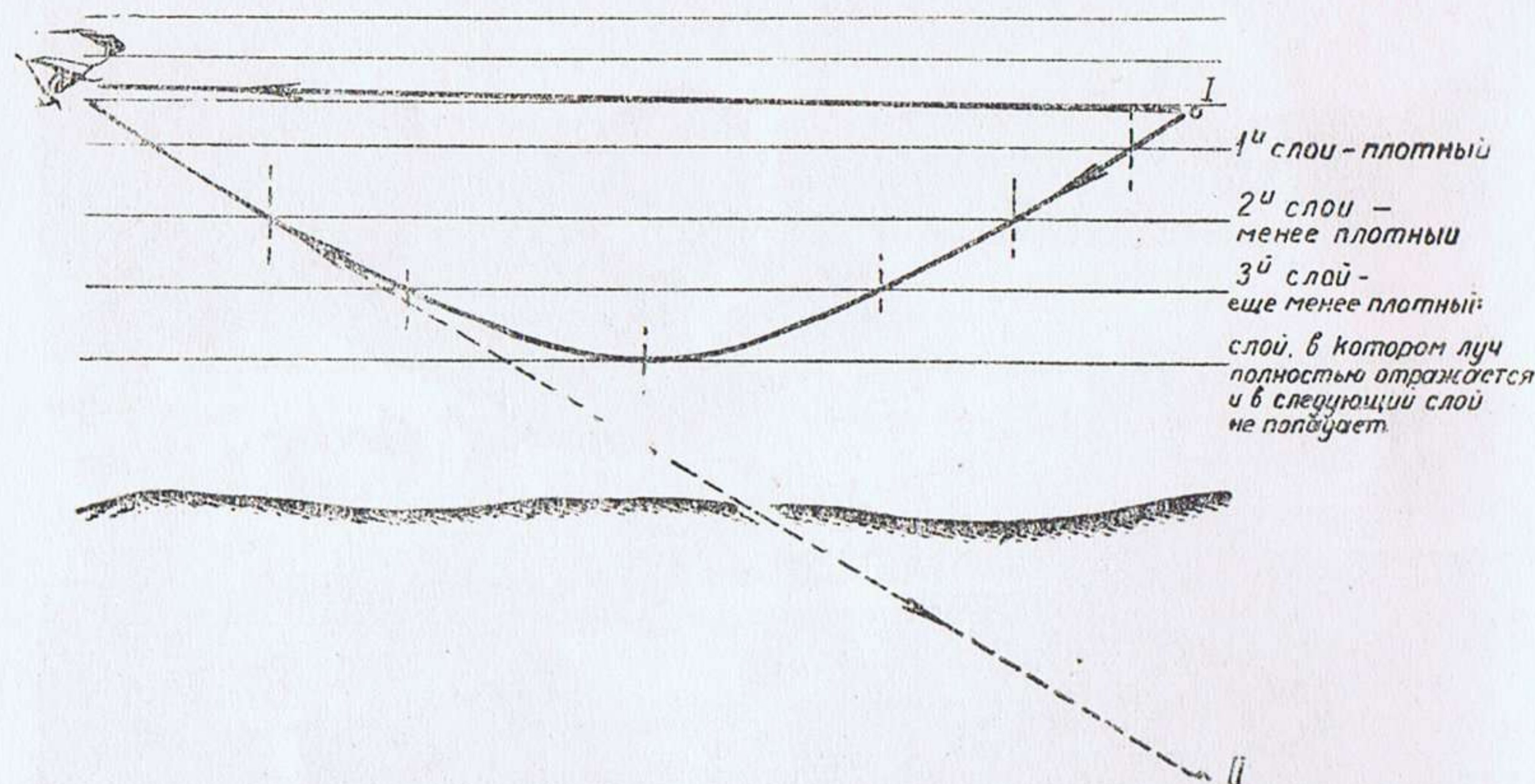


Рис. 26. Путь световых лучей, переходящих из более плотных слоев воздуха в менее плотные

падать все более и более полого. Наконец, достигнув некоторого слоя, луч будет идти в нем столь полого, что, коснувшись границы следующего, менее плотного слоя, уже не войдет в него, а испытает зеркальное отражение и пойдет по другому направлению — снизу вверх.

Теперь отраженный луч будет пронизывать те же слои, но в обратном порядке, то есть из менее плотных будет попадать во все более и более плотные слои (приближаясь все время к перпендикуляру), пока, наконец, не достигнет глаза наблюдателя. Точка *I* будет видна на продолжении лучей, идущих снизу вверх, как схематически показано пунктиром на рис. 26, то есть в точке *II*.

Итак, при наличии над землей слоев воздуха с уменьшающейся плотностью глаз наблюдателя увидит две точки: одну — точку *I* — из-за попадания в глаз прямых лучей света, исходящих от нее, другую — точку *II* — из-за попадания в глаз лучей, прошедших криволинейный путь в указанных слоях воздуха. Второе изображение является таким образом зеркальным отображением самого предмета.

Все вышеприведенные рассуждения остаются в силе, если речь идет не о точке, а о каком-либо предмете. Каждый предмет (дерево, дом, лес и т. д.) может рассматриваться как со-

вокупность отдельных точек. Каждая точка предмета участвует в образовании зеркального отображения предмета так, как это изложено выше. В результате глаз видит одновременно и предмет и его перевернутое зеркальное отражение, располагающееся под предметом.

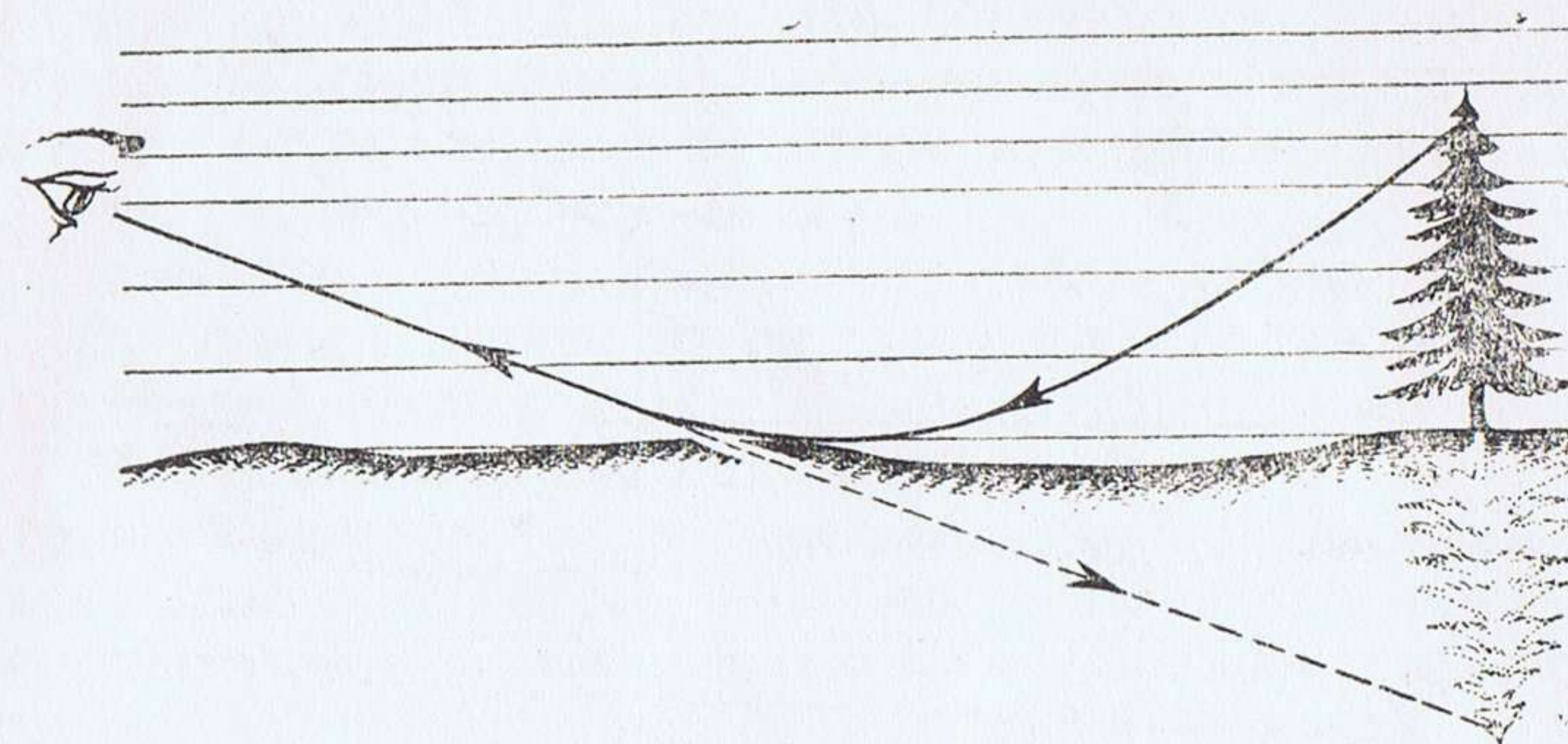


Рис. 27. Схема образования нижнего миража

Голубое небо, расположенное впереди наблюдателя, отражается так же, словно от зеркала, создавая иллюзию голубоватой водной поверхности.

Изложенные здесь явления, приводящие к образованию под предметом его перевернутого изображения, носят название нижних миражей.

В наших степных районах явление нижнего миража настолько обыденно, что большинство жителей не обращает на него никакого внимания.

ВЕРХНИЕ МИРАЖИ

Гораздо интереснее другие, более сложные виды миражей.

В атмосфере бывают такие метеорологические условия, когда возрастание температуры, а следовательно, и уменьшение плотности слоев воздуха, происходит не в направлении к поверхности земли, а, наоборот, при удалении от нее на некоторую высоту.

Как поведут себя в этом случае лучи света, исходящие из точки *I* на рис. 28?

Луч света, вышедший из точки *I*, попав в слои со все уменьшающейся плотностью, будет постепенно удаляться от перпен-

дикуляра, проведенного к границе каждого слоя. На границу каждого последующего слоя световой луч будет падать все более и более полого, пока, наконец, не достигнет такого слоя, от которого (так же, как и в случае нижнего миража) полностью отразится и, изменив направление, пойдет к наблюдателю.

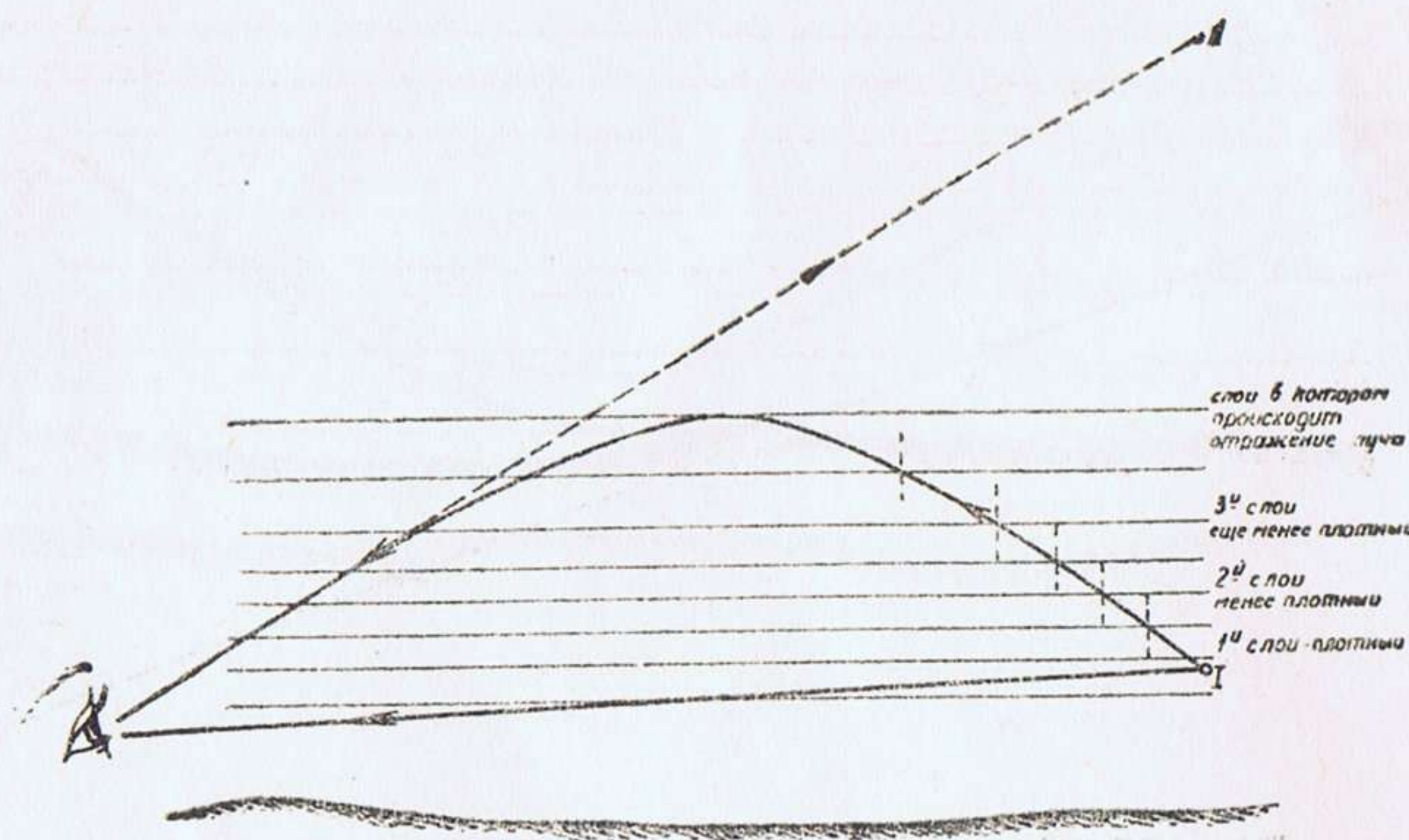


Рис. 28. Путь световых лучей, переходящих из менее плотных слоев воздуха в более плотные

Таким образом, и в этом случае образуется нечто вроде зеркально отражающего слоя, и лучи света, описав в воздухе над земной поверхностью кривую линию, попадают в конце концов в глаз наблюдателя. Точка *I* будет видна на продолжении лучей, идущих сверху вниз, как показано схематически пунктиром на рис. 28, то есть в точке *II*, располагающейся над точкой *I*.

Точно таким же образом будет получаться изображение от всякой другой точки какого-либо земного предмета. В результате отражения от некоторого слоя над поверхностью земли получается изображение этого предмета, располагающееся в воздухе над самим предметом. Этот случай носит название **верхнего миража**.

Итак, причина образования верхнего и нижнего миражей одна и та же. Разница заключается лишь в том, что в случае нижнего миража убывание плотности воздуха и образование вследствие этого зеркально отражающего слоя происходит в непосредственной близости от земной поверхности, а в случае верхнего миража все это имеет место на той или иной высоте над землей.

Миражи могут возникнуть только при штилевой погоде, так как при ветре происходит перемешивание различно нагретых слоев воздуха между собой и никакой закономерности в изменении его плотности произойти не может.

Если нижний мираж наблюдается наиболее часто в жаркие летние дни, то верхний мираж, наоборот, чаще наблюдается зимой, так как снежная или ледяная поверхность способствует сильному охлаждению нижних слоев воздуха, а верхние слои, не столь сильно охлаждаемые снегом или льдом, могут оказаться более нагретыми, чем нижние.

Вследствие этого верхние миражи наблюдаются в полярных странах даже в летнее время года: льды охлаждают прилегающие к ним слои воздуха, а незаходящее солнце нагревает воздух, расположенный над ними.

Часто наблюдается так называемый двойной верхний мираж, когда помимо прямого верхнего изображения предмета одновременно видно и его перевернутое изображение, располагающееся непосредственно под первым изображением.

Замечательный двойной верхний мираж наблюдался в Ледовитом океане (рис. 29). Верхние миражи вообще больше происходят над морем, чем над сушей, так как морская поверхность чаще создает условия для образования изменения плотности слоев воздуха.

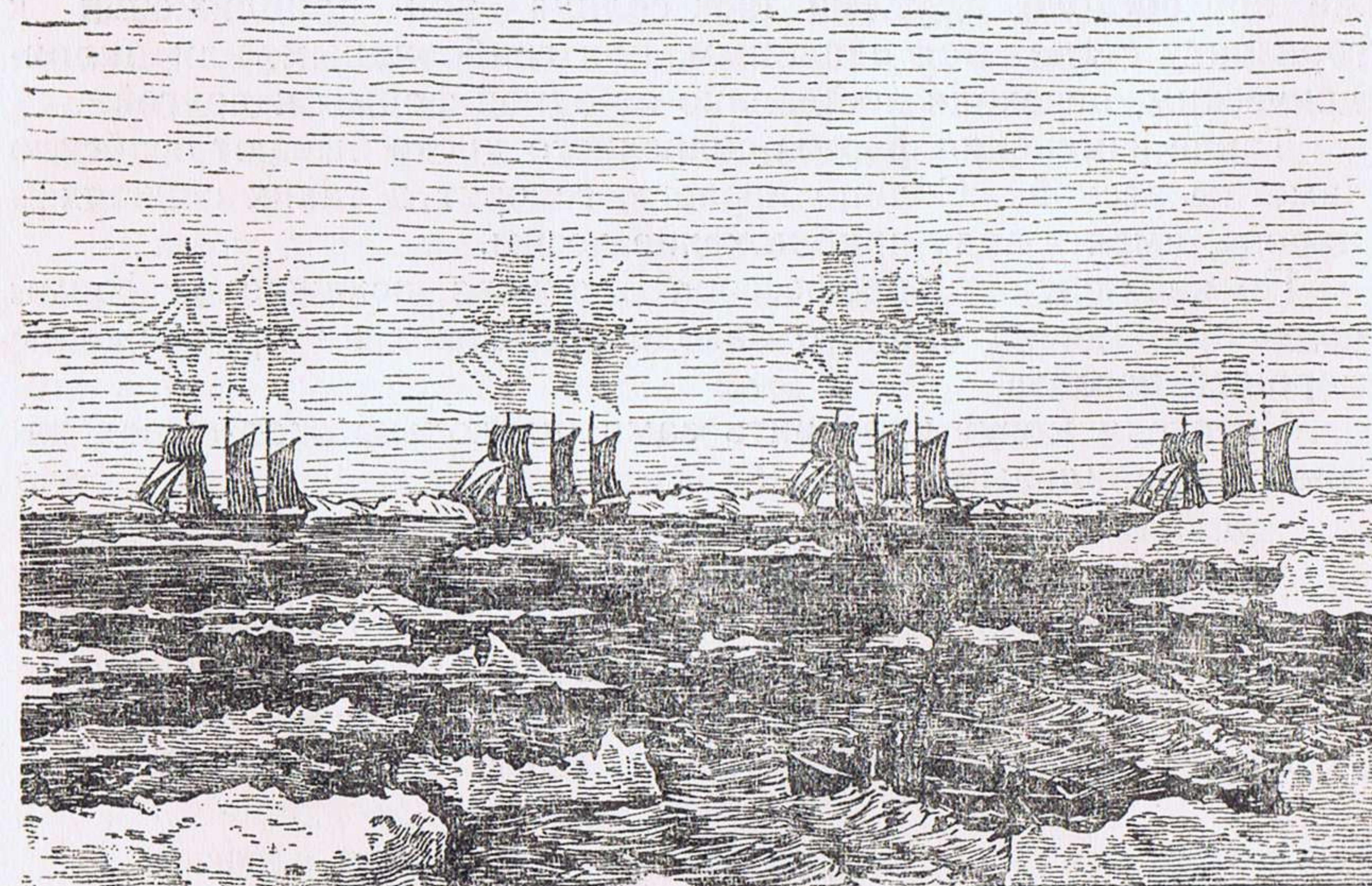


Рис. 29. Двойной верхний мираж, наблюдавшийся в Ледовитом океане в 1869 году

В атмосфере иногда создаются метеорологические условия (впрочем, весьма редко), приводящие к одновременному образованию верхнего и нижнего миражей. Слои воздуха, расположенные впереди наблюдателя, действуют, как увеличительные линзы, и предметы ландшафта принимают в этом случае странные формы и гигантские размеры. Вследствие неустойчивости слоев воздуха (из-за наличия хотя бы слабого дуновения ветра) и их перемешивания очертания форм предмета все время меняются.

Имеются описания таких явлений, когда отдельные, далеко расположенные скалы, дома и т. п. принимали очертания причудливых сказочных дворцов, бесшумно образующихся в воздухе и исчезающих над поверхностью моря или земли. Такие сложные миражи, при которых изображения предмета все время меняются и имеют громадные размеры, называются *фата-моргана* по имени феи, проявлявшей свое могущество миражами. Фата-моргана — явление настолько редкое, что отмечено всего лишь несколько случаев ее появления.

В тесной связи с изложенным в этом разделе находятся наблюдаемые довольно часто своеобразные явления, выражающиеся в деформации солнечного диска при его закате или, реже, при восходе. Круглый диск солнца при приближении к горизонту становится овальным, или грибовидным, или цилиндрическим, переходя постепенно от одной формы к другой.

Такие изменения формы солнечного диска бывают особенно заметны весной. «Солнце играет», говорят в таких случаях в народе, имея в виду приближение весны.

По наблюдениям профессора Броунова, искажение формы солнечного диска при его заходе указывает на приближение хорошей погоды.

Читатели могут проверить сами, насколько этот вывод является правильным.

ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С РАССЕЯНИЕМ СВЕТА В АТМОСФЕРЕ

В ПРЕДЫДУЩИХ разделах мы познакомились со световыми явлениями, возникающими на небосводе благодаря преломлению и отражению света в дождевых каплях и ледяных кристаллах. Здесь мы познакомимся со световыми явлениями, происходящими в атмосфере благодаря воздействию молекул воздуха и мельчайших взвешенных капелек воды и пыли на солнечные лучи. Это воздействие выражается в *рассеянии* солнечных лучей во все стороны.

Большинство описываемых здесь явлений, связанных с рассеянием света, нельзя отнести к разряду редких. Пожалуй, наоборот, они до такой степени «повседневны», так вошли в нашу жизнь, что мы их или вовсе не замечаем, или не склонны приписывать им что-либо особенное.

В самом деле, задумывался ли кто-нибудь из читателей над вопросом, почему в пасмурный день мы видим леса, дома, деревья, хотя солнце их совсем не освещает? Почему на улице или в поле достаточно светло, хотя солнце полностью скрывается за облаками? Почему небо имеет обычно сине-голубой цвет, а не красный или зеленый? Отчего дали ландшафта всегда затянуты своеобразной световой дымкой то голубоватого, то бело-серого, а иногда и сине-фиолетового цвета и почему она всегда присутствует в атмосфере? Наконец, отчего после захода солнца на земле темнота наступает не сразу и еще продолжительное время бывает достаточно светло?

Разберем прежде всего, в чем заключается и как происходит рассеяние света в атмосфере.

Атмосфера земли состоит, как мы уже знаем, из различных газов и водяного пара. Кроме того, в воздухе постоянно присутствуют мельчайшие водяные капельки (настолько малые, что их не видно под микроскопом), а также пылинки, дымовые частицы, микроорганизмы и т. п.

Молекулы газов и водяного пара, взвешенные водные и пылевые частицы различно воздействуют на проходящие сквозь них солнечные лучи.

Это воздействие заключается в том, что луч света, столкнувшись с молекулой, взвешенной капелькой воды или пылинкой, претерпевает частичное отклонение в разные стороны. Отклонение газами и взвешенными частичками в разные стороны падающих на них солнечных лучей называется рассеянием света.

По первоначальному направлению световой луч будет распространяться уже ослабленным, его энергия уменьшается на величину рассеянной ее доли.

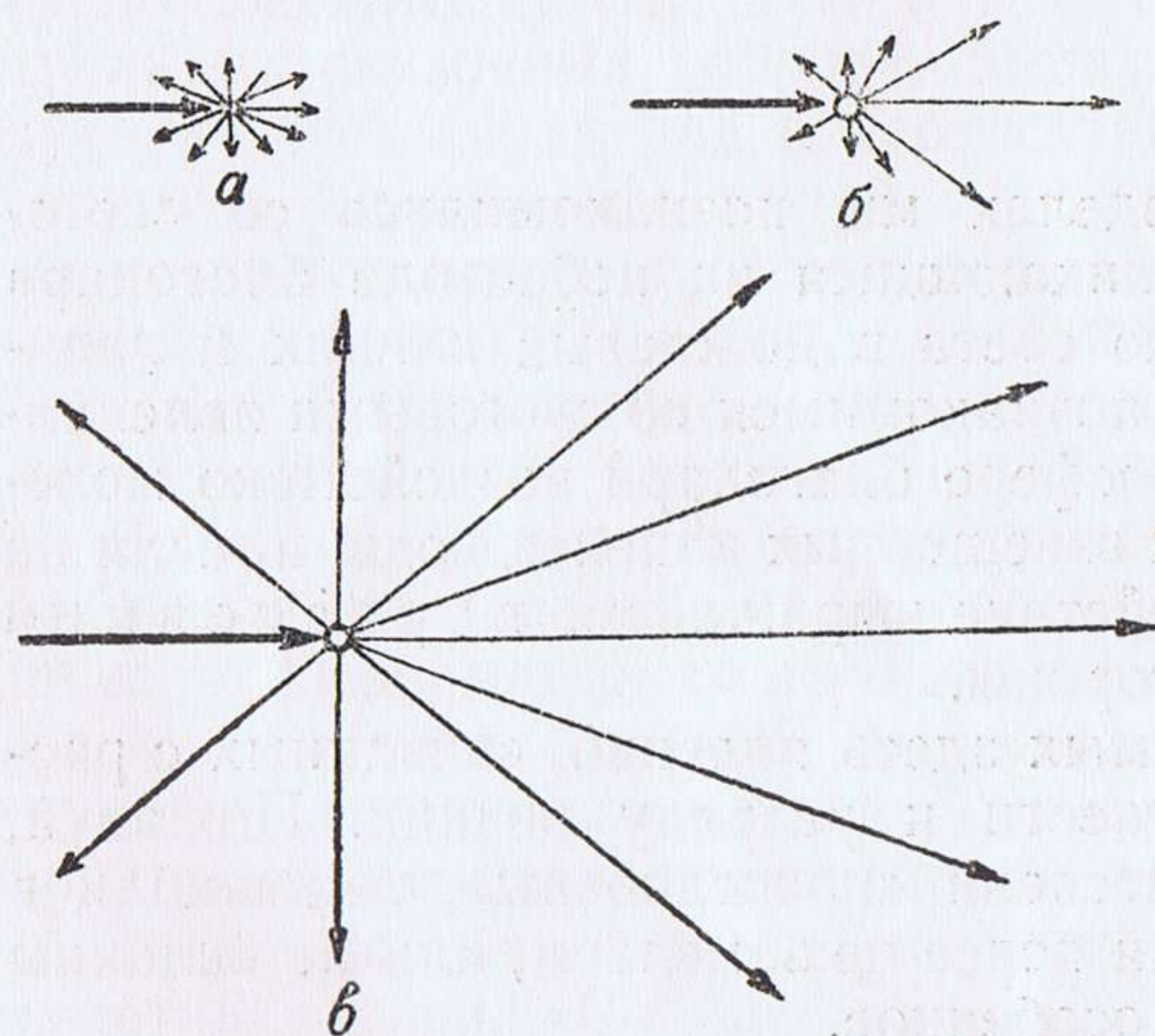


Рис. 30. Как рассеивается свет: а — на молекуле; б — на мельчайшей капельке воды размером в 0,2 микрона; в — на пылинке размером в 0,5 микрона

И наблюдения и теория доказывают, что молекулы газов и водяного пара, с одной стороны, водные частички и пылинки — с другой, рассеивают свет по-разному. Чем крупнее взвешенная частичка, тем больше света она рассеет в разные стороны. Причем доказано, что количество рассеянного света растет очень быстро с увеличением размеров частиц (рис. 30).

Лучи солнца, при своем движении в атмосфере от ее верхних границ до поверхности земли, при столкновениях с молекулами газов и мельчайшими взвешенными частичками воды и пыли подвергаются непрерывному рассеянию в разные стороны. Подсчитано, что в безоблачный день в атмосфере рассеивается по всем направлениям примерно 20 процентов всей световой энергии солнца, падающей на землю.

Дневной свет, который мы видим в стороне от солнца, есть не что иное, как рассеянный солнечный свет. Он играет огромную роль в нашей жизни. Сталкиваясь с этим явлением каждодневно, мы попросту перестаем замечать его и обычно не отдаем себе отчета в том, какой неоценимый, великолепный дар преподносит нам природа в виде способности атмосферы рассеивать солнечный свет.

Чтобы понять, какое громадное значение имеет рассеяние света в атмосфере, представим себе, что атмосфера не обладает способностью рассеивать лучи солнца. Тогда днем вместо привычного нам голубого неба над нашей головой всегда простиралось бы совершенно черное небо, усеянное яркими звездами. Среди этого черного неба резко очерченным, ослепительным диском сияло бы солнце, более ослепительное, чем оно представляется нам обычно.

Мы никогда не видели бы голубого неба и не могли бы даже предположить, что оно может быть голубым.

Люди не имели бы ни малейшего представления о зорях и никогда не любовались бы красивыми окрасками неба при закате или восходе солнца. Сумерки были бы для людей чуждым понятием. Диск солнца, одинаково яркий в течение всего дня, уходил бы под горизонт, не меняя своей ослепительной яркости. Когда солнце подходило бы к горизонту, предметы ландшафта бросали бы на земную поверхность необыкновенно длинные и совершенно черные тени. Как только верхний край солнечного диска касался бы линии горизонта, мгновенно наступала бы ночь. И, наоборот, ночная мгла так же внезапно прорезывалась бы ослепительными лучами солнца при его восходе. День и ночь наступали бы почти мгновенно, скачком, без всяких сумеречных переходов.

Окружающий мир поражал бы нас резкими переходами от ослепляющей яркости в одних местах к резким теням, к почти непроницаемой темноте — в других, независимо от того, находились бы мы в поле, на улице или в комнате. Если бы одна половина улицы освещалась прямыми лучами солнца и имела очень много света, то противоположная половина, находясь в тени, пребывала бы в условиях почти полного ночного мрака. Чтобы избежать несчастных случаев на этой теневой стороне улицы, пришлось бы круглосуточно поддерживать искусственное освещение. Таким образом, на солнечной половине улицы люди страдали бы от избытка яркости, а на другой, теневой ее половине — от недостатка света.

Восприятие воздушной перспективы носило бы совершенно другой характер. Мы видели бы лишь те предметы ландшафта, которые освещены прямыми лучами солнца, причем мы видели бы их на фоне совершенно черного неба. Поэтому зрелище воздушной перспективы напоминало бы фотографический негатив — черный фон и светлые объекты. Объекты же, находящиеся в стороне от прямых солнечных лучей, очень скоро слились бы с чернотой неба и были бы неразличимы уже на небольшом расстоянии. Наконец, объекты, находящиеся в тени, вовсе не были бы видны. Таким образом, глубина восприятия воздушной перспективы и видимость тех или иных объек-

тов в зависимости от расположения относительно солнца менялись бы чрезвычайно резко.

Леса, рощи, деревья имели бы зеленую листву только с южной стороны, с северной же листва была бы белого цвета, так как, совсем не получая прямых и рассеянных солнечных лучей, она не могла бы приобрести обычный зеленый цвет.

Мы никогда бы не видели облаков в их причудливых, разнообразных формах.

Итак, рассеяние света в атмосфере является замечательным явлением природы. Оно не только отличается красотой форм своего проявления, но и помогает человеку подчинять себе природу.

Как уже указывалось, в атмосфере в ясный, безоблачный день рассеивается около 20 процентов световых солнечных лучей. В пасмурный день доля рассеянного света в освещении земной поверхности возрастает до 50 процентов.

Рассеянный в атмосфере солнечный свет смягчает резкость теней, освещает дали, дает нам представление о воздушной перспективе, приводит к образованию сумерек, значительно удлиняя светлое время суток.

Благодаря рассеянию света возникают и другие своеобразные световые явления, к изложению которых мы и переходим.

ПОЧЕМУ НЕБО ГОЛУБОЕ?

Каждому известно, что в безоблачный день небо над головой имеет красивый сине-голубой цвет.

В течение нескольких столетий люди тщетно пытались разгадать причину такой окраски небосвода.

Еще в XV веке великий итальянский ученый и художник Леонардо да Винчи (500-летие со дня рождения которого торжественно отмечалось в 1952 году в СССР и ряде других стран) предполагал, что голубой цвет неба возникает оттого, что падающие в атмосферу белые солнечные лучи наблюдаются на фоне черного мирового пространства. Но эта точка зрения неверна, так как смешение белого цвета с черным приводит к серому цвету, а не к голубому.

Высказывалось затем мнение, что сине-голубая окраска неба объясняется тем, что атмосфера сама по себе окрашена в голубой цвет. Но и такая точка зрения является неправильной, так как если бы атмосферные газы были голубого цвета, то небесные светила (солнце, луна, звезды), приближаясь к горизонту, становились бы все более и более синими, чего на самом деле не происходит. В этом случае не только светила, но и небосвод в горизонтальном направлении должен бы быть тем-

носиним, а в вертикальном — бледно-голубым. В действительности же наблюдается как раз обратное: в горизонтальном направлении небо почти белое, а над головой — темно-голубое.

Ряд ученых предполагал, что голубая окраска неба возникает потому, что в атмосфере находятся капельки воды, но не сплошные, а в виде пузырьков, напоминающих мыльные пузырьки. Эти пузырьки воды, так же как и мыльные, должны иметь преимущественно голубую окраску. Совокупное действие бесчисленного множества таких пузырьков должно было, по мысли этих ученых, привести к голубому цвету неба. Такое объяснение также было неправильным.

Лишь в конце XIX века происхождение голубого цвета неба было, наконец, разгадано.

Голубой цвет неба в стороне от солнца возникает как результат особенностей рассеяния в атмосфере солнечного света.

В разделе о радугах указывалось, что белый солнечный луч представляет собою смесь семи основных цветных лучей: красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего, фиолетового.

Указывалось также, что молекулы воздуха, мельчайшие водные частицы и пылинки рассеивают солнечный свет по-разному.

Голубой цвет неба возникает главным образом благодаря рассеянию солнечных лучей на молекулах воздуха и мельчайших взвешенных частичках, если их размеры не превышают 0,0001 миллиметра, или 0,1 микрона¹.

Молекулы и мельчайшие взвешенные частицы рассеивают белый луч по всевозможным направлениям. Но, оказывается, цветные лучи, составляющие белый солнечный луч, рассеиваются не в одинаковом количестве. При столкновениях с молекулами и частичками размером 0,1 микрона меньше всего рассеиваются красные лучи, больше всего — фиолетовые. Последних рассеивается по разным направлениям почти в девять раз больше, чем красных.

Таким образом, лучи солнца, рассеиваемые молекулами воздуха, меняют свой состав. Отсюда ясно, что после каждого столкновения с молекулой или мельчайшей взвешенной частичкой размерами до 0,1 микрона прямой солнечный луч, приближаясь к земле и подвергаясь непрерывному рассеянию, будет становиться все беднее и беднее фиолетовыми, синими, голубыми лучами и относительно богаче красными, оранжевыми, желтыми. Рассеянные же в разные стороны цветные лучи, после многочисленных столкновений с другими молекулами и взвешенными частичками, рано или поздно также достигают

¹ Микрон равен одной тысячной миллиметра.

поверхности земли, но в них содержится больше фиолетовых, синих и голубых лучей и меньше желтых, оранжевых и красных.

Следовательно, из любой точки небосвода, лежащей в стороне от солнца, в глаз попадает гораздо больше голубых и сине-фиолетовых лучей, чем каких-либо других. Вот почему небо и представляется нам голубого цвета.

Читатель может сказать, что раз фиолетовые лучи рассеиваются сильнее всего, то небо должно иметь не голубую окраску, а фиолетовую. Однако небо не может иметь чисто фиолетовую окраску по двум причинам. Во-первых, в рассеянном свете, помимо фиолетовых лучей, содержится некоторое количество синих, голубых, зеленых и других лучей — до красных включительно. Их совместное смешанное действие приводит к восприятию не фиолетового цвета, а голубого.

Во-вторых, в рассеянии света принимают участие не только молекулы и частицы с размерами порядка 0,1 микрона, но также и частицы больших размеров, которые рассеивают свет совершенно по-другому.

Столкновение солнечного луча с такими сравнительно большими частичками также сопровождается рассеянием цветных лучей во все стороны. Однако в данном случае различие в рассеянии между голубыми, синими и фиолетовыми лучами и красными, оранжевыми, желтыми уже не столь значительно, как при молекулярном рассеянии. Чем больше по размерам взвешенные частички, тем меньше различие в рассеянии цветных лучей.

Если солнечный луч сталкивается с частичками, имеющими размеры от 0,1 до 1 микрона, то фиолетовых лучей будет рассеяно больше уже не в девять раз, а примерно только в четыре раза.

Если же размер взвешенных частиц составляет несколько микронов и больше (капельки облаков и туманов), то различие в рассеянии разных цветных лучей становится незначительным; все они, от фиолетовых до красных, рассеиваются почти одинаково.

Что облака рассеивают свет именно так, может легко убедиться каждый.

Посмотрите на солнце сквозь тонкий слой облаков, при которых еще виден солнечный диск. Хотя в этом случае яркость солнечного диска ослаблена в десятки тысяч раз, глаз не воспринимает ни малейшей окраски диска, вплоть до полного исчезновения последнего на фоне облаков.

Состав атмосферы в смысле размеров образующих ее частиц (в микронах) может быть охарактеризован такой примерно табличкой:

Молекулы газов	0,0001	Сине-фиолетовые лучи рассеиваются этими частицами примерно в девять раз сильнее красных лучей
Мельчайшие капельки воды и пылинки, всегда присутствующие в атмосфере	от 0,001 до 0,1	
Мельчайшие капельки воды и пыли, образующие серо-голубоватую дымку	от 0,1 до 1	Сине-фиолетовые лучи рассеиваются примерно в четыре раза сильнее красных
Капельки воды и пылинки, образующие облака, туман, мглу и т. д.	Несколько микронов и больше	Все цветные лучи рассеиваются почти одинаково

Присутствие в атмосфере взвешенных водных и пылевых частичек разных размеров приводит к тому, что сине-голубой цвет неба, который возникал бы при чисто молекулярном рассеянии света, приобретает в действительности более белесоватые цветовые оттенки.

При некоторых метеорологических условиях (большая влажность и высокая температура воздуха) количество крупных взвешенных частичек может быть настолько велико, что голубой цвет неба полностью пропадает и весь небосвод становится белесоватым с весьма большой, ослепляющей яркостью.

Простое и наглядное представление о механизме рассеяния света в атмосфере и происхождении голубого цвета неба может дать наблюдение над... зажженной папиросой. Дым, идущий кверху от тлеющего конца, всегда сине-голубого цвета, из мундштука же или изо рта — светлосерого. В первом случае частицы дыма имеют размеры не больше 0,1 микрона, сине-фиолетовые лучи рассеиваются сильнее красных, поэтому дым представляется нам сине-голубым.

Но спроектируйте клубы этого дыма на белую бумагу, осветив его яркой лампочкой. Вы увидите, что в проходящих лучах дым, спроектированный на бумагу, представляется уже не сине-голубым, а красноватым. Значит, прошедшие через дым лучи, потеряв из-за рассеяния много голубых и сине-фиолетовых, стали более богаты красными, оранжевыми и желтыми лучами.

Дым, выходящий из мундштука или изо рта, является светлосерым потому, что в мундштуке частицы дыма сталкиваются и соединяются между собой, размеры их увеличиваются и достигают нескольких микронов; во рту же эти частицы становятся еще больше вследствие оседания на них влаги. Эти крупные частицы рассеивают все цветные лучи почти одинаково, чем и вызывается сероватый оттенок дыма. При проекции

такого дыма на бумагу уже не получится заметного красноватого оттенка, а видна лишь темносерая тень.

Благодаря постоянному присутствию в нижних слоях атмосферы больших количеств взвешенных частиц, более крупных, чем молекулы, цвет неба резко меняется в направлении от зенита к горизонту.

Наибольшей синевой отличается область неба, расположенная в 90° от солнца, в плоскости, проведенной через наблюдателя и солнце. По мере приближения к горизонту синева неба бледнеет и в направлении на горизонт приобретает слабоголубой или даже белый цвет, если в атмосфере присутствует заметная на глаз дымка.

При полетах на воздушных шарах, а позднее на стратостатах, на высоте 10 километров и больше, где атмосфера практически не содержит сколько-нибудь заметных следов водяного пара, водных частичек и пыли, небо имеет насыщенный голубой цвет. Советские стратонавты на высоте свыше 22 километров отметили цвет неба, как темносине-фиолетовый.

Характер цвета неба может служить указанием на природу воздушных масс, определяющих ту или иную погоду. В этом направлении большая работа проделана советскими учеными Г. А. Тиховым, Н. Н. Калитиным и Н. И. Кучеровым. Оказалось, что при вторжении холодного арктического воздуха с Баренцева моря, имеющего незначительное количество пыли и водных частиц, небо имеет наибольшую синеву. При вторжении же на европейскую часть СССР воздуха из Сибири синева неба уменьшается. Наконец, при вторжении теплого воздуха с Африканского материка или из Средней Азии (при суховеях) небо приобретает ярко-белесоватый или даже коричневатый оттенок.

Отмечено, что зимой небо имеет более слабый голубой оттенок, чем летом.

СУМЕРКИ. БЕЛЫЕ НОЧИ

Явление сумерек, как известно, заключается в том, что после захода солнца на поверхности земли еще продолжительное время бывает достаточно светло и темнота наступает не сразу, а постепенно, по мере погружения солнца под горизонт.

Почему же темнота наступает не сразу? Это связано с той же особенностью атмосферы рассеивать солнечный свет. Солнце зашло за линию горизонта, приземные слои воздуха уже им не освещаются и находятся в тени, и его прямые лучи до наблюдателя уже не доходят. Но слои атмосферы, расположенные выше, все еще продолжают освещаться солнцем, следовательно, в этих слоях продолжается рассеяние солнечных лучей во все стороны, в том числе и в направлении к

поверхности земли. Таким образом, до наблюдателя, стоящего на земле, будут доходить лишь рассеянные солнечные лучи.

Чем ниже опускается солнце под горизонт, тем выше поднимается в атмосферу тень земного шара, тем все более высоко

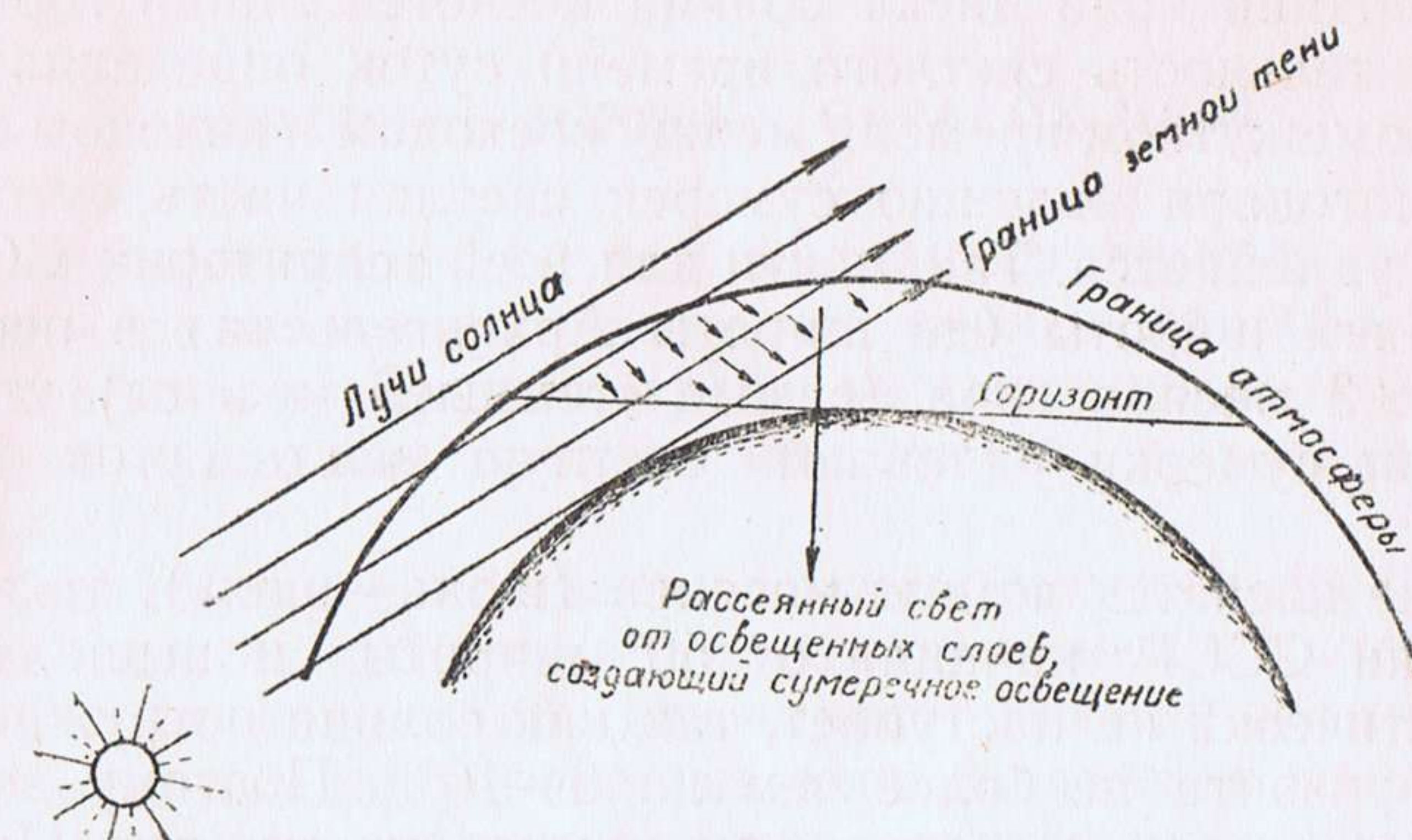


Рис. 31. Схема образования сумерек на земле

кие слои выключаются от освещения прямыми солнечными лучами.

Количество рассеянного света, доходящего до поверхности земли, уменьшается, так как он поступает от все более высоких и более разреженных слоев атмосферы. На поверхности земли становится все темнее и темнее, на небосводе становятся заметны звезды, сначала самые яркие, а затем и более слабые.

Наконец, когда земная тень достигает высоты порядка 200 километров, что соответствует глубине погружения солнца под горизонт на угол около 18° , на земле наступает ночь в привычном для нас смысле слова. С этого момента поступающий от еще более высоких слоев атмосферы рассеянный свет уже настолько слаб, что не оказывает никакого влияния на уровень ночной освещенности.

Итак, физическая сущность сумерек заключается в том, что после захода солнца поверхность земли, находящаяся в тени, освещается солнечными лучами, рассеянными в верхних слоях атмосферы.

Продолжительность сумерек определяется временем, в течение которого солнце погружается за горизонт на угол в 18° .

Продолжительность погружения солнца на эти 18° меняется как в зависимости от времени года, так и от географической широты местности. В период утренних сумерек, называемых в

общежитии рассветом, мы сталкиваемся с тем же процессом, но в обратной последовательности.

В начале раздела было указано, что если бы атмосфера не обладала способностью рассеивать солнечные лучи, то темнота на земле наступала бы (или прекращалась бы) сразу, как только верхний край диска солнца коснется линии горизонта. Продолжительность светлого времени суток определялась бы только промежутком времени между восходом и заходом солнца.

Но благодаря явлению сумерек светлая часть суток значительно удлиняется. Так, почти для всей территории СССР до 65° северной широты (до широты Архангельска) в первые и последние 3 месяца года (самые «темные» месяцы) утренние и вечерние сумерки удлиняют светлую часть суток от 3 до 5 часов.

Что же касается летних месяцев (июнь—июль), то по всей территории СССР, начиная от 50° широты и выше, полная ночь фактически не наступает, так как солнце погружается за линию горизонта не более чем на 6—10°. Поэтому вечерние сумерки, не успев погаснуть, сменяются утренними. Происходит слияние, переход вечерних сумерек в утренние. Образуется своеобразное явление, называемое белыми ночами.

А. С. Пушкин в образной поэтической форме передает сущность белых ночей, как смены вечерней зари утренней:

И, не пуская тьму ночную
На золотые небеса,
Одна заря сменит другую
Спешит, дав ночи полчаса.

Повидимому, неувядаемая красота пушкинских стихов послужила причиной распространенного до сих пор массового заблуждения, что белые ночи можно наблюдать лишь в Ленинграде. В действительности же любоваться тем, как «одна заря сменит другую спешит», может в течение июня—июля каждый, живущий выше 50° географической широты.

О значении явления сумерек можно судить по тому, что по всей территории СССР в течение года сумерки удлиняют светлое время суток на 1200—1600 часов (из общего количества 8776 часов в году).

Советские ученые академик В. Г. Фесенков, П. Г. Мегрелишвили, Н. М. Штауде и другие на основе сумеречных явлений разработали метод, позволяющий изучать строение, состав и процессы, происходящие в верхних слоях атмосферы. Идея метода заключается в том, что систематически изучается характер рассеяния света во все более высоких слоях атмосферы по мере погружения солнца под горизонт.

По закономерностям изменения рассеяния света вплоть до высоты 150—200 километров можно определять физическое строение верхних слоев атмосферы, наличие космической пыли, колебания высоты проводящих слоев, играющих важную роль в распространении радиоволн и т. д.

ЯВЛЕНИЕ ЗОРЕВЫХ ОКРАСОК НЕБА

Сумеречные явления сопровождаются замечательными по красоте и разнообразию цветными окрасками неба, называемыми зорями. Древние греки рассматривали утреннюю и вечернюю зарю, как приход на землю прекрасной богини Авроры.

Объяснить происхождение замечательного разнообразия цветных окрасок небосвода при заходе и восходе солнца науке удалось пока лишь в общих чертах. Почему же при заходе солнца небо на стороне светила окрашивается в желтые, красные, розовые, пурпурные, а иногда и в зеленые цвета, но никогда не бывает голубым, синим, фиолетовым? И, наоборот, почему при высоком солнце небо не бывает розовым, желтым или зеленым?

Все эти явления связаны с особенностями рассеяния в атмосфере цветных лучей, о чем коротко уже шла речь при объяснении голубого цвета неба.

Когда солнце приближается к горизонту, то его прямые лучи, доходящие до наблюдателя, проходят в атмосфере гораздо более длинный путь, чем днем, когда солнце стоит высоко.

Подсчитано, что лучи солнца, находящиеся у горизонта, проходят в атмосфере путь примерно в 35 раз больший, чем лучи солнца, находящегося в зените.

Солнечные лучи, проходя такой длинный путь в атмосфере и рассеиваясь непрерывно во все стороны молекулами газов, мельчайшими капельками воды и пылинками, достигают наблюдателя столь ослабленными, что на солнце можно смотреть незащищенным глазом.

Но мы уже знаем, что рассеяние цветных солнечных лучей происходит в атмосфере различно: сильнее всего рассеиваются сине-фиолетовые лучи, слабее всего — красные. Поэтому при приближении солнца к горизонту в прямых лучах, доходящих до наблюдателя, становится все больше красных, оранжевых и желтых лучей, а голубых, синих и фиолетовых — все меньше. Это изменение состава прямых лучей солнца приводит к тому, что у горизонта оно уже представляется нам не белым, а окрашенным в красный, оранжевый или желтый цвет.

Вот почему приближение солнца к горизонту вызывает не только ослабление его яркости, но также и изменение его окраски. По этой же причине такие световые явления, как кресты или мечи, всегда имеют красноватый оттенок, что и создает впечатление их «окровавленности».

Итак, поскольку прямые лучи солнца при его заходе или восходе становятся относительно богаче красными, оранжевыми и желтыми лучами, то и небосклон, освещаемый такими лучами, принимает соответствующую окраску. Однако фактически окраска неба значительно разнообразнее, богаче и красивее окраски самого солнца.

Такое богатство окрасок небосвода при заходящем или восходящем солнце происходит потому, что солнечные лучи пронизывают слои атмосферы, имеющие на разных высотах различное количество газов, мельчайших водных частиц и пыли.

В более высоких слоях атмосферы, не содержащих большого количества пыли и водных капелек, солнечный свет рассеивается главным образом молекулами газов, а это рассеяние, как мы уже знаем, приводит к голубому цвету неба в стороне от прямых лучей солнца. В более низких слоях атмосферы, содержащих уже некоторое количество мельчайших капелек и пылинок, характер рассеяния изменяется: голубые, синие и фиолетовые лучи рассеиваются по сравнению с красными, оранжевыми и желтыми уже не так энергично, как в более высоких слоях. В этом случае окраска слоев будет уже не сине-голубая, а бледно-голубая или даже зеленоватая.

Наконец, в самых нижних слоях атмосферы, примыкающих непосредственно к земле и содержащих сравнительно большое количество пыли и мельчайших капелек воды, характер рассеяния света еще более меняется. Хотя рассеяние голубых, синих и фиолетовых лучей мало отличается от рассеяния красных, желтых и оранжевых, все же чрезвычайно длинный путь, проходимый здесь лучами солнца, приводит в результате к тому, что эти слои окрашиваются преимущественно в красные, оранжевые и желтые тона.

Таким образом, прямо перед наблюдателем и над его головой будут располагаться прозрачные слои атмосферы, окрашенные в самые различные цвета — от сине-голубого до красного включительно. Наблюдаемая зоревая картина складывается из совокупного действия таких цветных атмосферных слоев, как бы наложенных друг на друга. Небосклон на стороне солнца можно представить себе как бы состоящим из больших цветных стекол, поставленных друг за другом и друг над другом.

В зависимости от состояния атмосферы и условий погоды

окрашенность различных слоев меняется. В соответствии с этим будет изменяться также и общая наблюдаемая зоревая картина.

Зори отличаются не только красотой своих цветов, но также и чрезвычайным разнообразием. Бесполезно пытаться словами создать у читателя такое же впечатление, какое оставляет зрелище самой зари. Невозможно без восхищения пройти мимо «прекрасной Авроры», день ото дня меняющей свой неповторимый, чудесный образ!

Итак, разнообразие зоревых окрасок неба вызывается различным физическим состоянием атмосферы в целом. Это обстоятельство позволяет воспользоваться зарей для изучения процессов, происходящих в атмосфере, а также и для прогноза погоды.

Советский ученый Н. И. Кучеров установил, что, несмотря на большое разнообразие видов зари, некоторым определенным типам погоды соответствует и некоторый общий вид зари.

Для северных районов европейской части СССР вид зари существенно меняется в зависимости от того, из какого пункта земного шара приходит воздушная масса.

Оказывается, что если дует северо-западный ветер и в данный район приходит воздушная масса, проделавшая путь от берегов Гренландии над северными районами Атлантического океана (так называемый морской полярный воздух), то зоря имеет преимущественно красный или даже кроваво-красный цвет. Такой воздух не содержит в значительном количестве пыли, но зато в нем имеется много взвешенных капелек воды самых различных размеров. На таких сравнительно больших водных капельках происходит, как мы уже знаем, относительно более сильное рассеяние красных лучей, отчего небо на стороне заходящего солнца и кажется красным.

С этой зарей связаны известные народные приметы: красная зоря — к ветру; небо красное — к вёдру. Интересно, что народные приметы не связывают этого вида зари с дождем, и, действительно, после красной зари чаще бывает ветер, а не дождь.

Далее, если воздух поступает в данный район из бассейна Ледовитого океана, проделав долгий путь по территории северо-востока — Таймыр-Урал (так называемый арктический континентальный воздух), — то зоря имеет в нижней части ярко-желтый, а в верхней — чисто зеленый цвет. Этот воздух содержит мало водяных взвешенных капелек, но зато имеет некоторую запыленность. Такую зору Н. И. Кучеров назвал «зарей без кровинки». После этой зари обычно наступает безоблачная холодная погода.

Если же воздух из Ледовитого океана поступает прямо с севера, пройдя бассейн Баренцова моря и сравнительно короткий путь над континентальными районами севера европейской части СССР (арктический морской воздух), то наблюдается золотисто-оранжевая зоря, переходящая в более высокой части в желто-зеленые тона.

Наконец, при вторжении воздушных масс из района Северной Африки и юго-востока Европы (так называемый тропический континентальный воздух) зоря имеет грязно-сиреневый оттенок в нижнем ярусе, переходя в тускложелтый и белесовато-голубой в верхнем. Такой цвет зари объясняется тем, что этот воздух весьма богат пылью, водяными парами и мельчайшими капельками воды.

Жители юга и юго-востока СССР знают, что при суховеях зоря имеет грязнобагровый, а иногда (при сильных ветрах) темнокоричневый цвет.

Н. И. Кучеров установил также, что если вблизи данного района происходит встреча двух различных воздушных масс (граница соприкосновения их носит в метеорологии название фронта), то можно наблюдать две зари одновременно, каждая из которых соответствует данной воздушной массе. Такой вид зари Н. И. Кучеров назвал зоревыми разделами.

Взгляды Н. И. Кучерова требуют широкой опытной проверки. Каждый, систематически наблюдая за зорей, может сделать интересные выводы, касающиеся соответствия наблюдаемого типа зари с характером предшествовавшей и предстоящей погоды.

Зори с интенсивной красной окраской наблюдались после сильных вулканических извержений.

Миллионы тонн мельчайшей вулканической пыли, забрасываемой при вулканических извержениях на высоту 30—50 километров, в течение нескольких дней окутывают всю землю. Медленно оседая в течение нескольких лет на землю, эта пыль способствует образованию зорь необыкновенно ярких и разнообразных цветов, преимущественно красных, зеленых и желтых. С 1883 по 1885 год после извержения вулкана Кракатоа количество пыли в атмосфере было настолько велико, что заходящее солнце, луна и звезды казались синеватых и зеленоватых цветов.

В настоящее время установлено, что необычные по окраске и яркости зори наблюдаются также при попадании в высокие слои атмосферы больших количеств космической пыли. Зоревые явления, а также другие световые явления в атмосфере показывают, что столкновение земли в мировом пространстве с облаками мельчайшей космической пыли не является редкостью.



Вид зари при вторжении воздуха из северной части Атлантики
(морской полярный воздух)



Вид зари при вторжении теплого воздуха из Северной Африки
(тропический континентальный воздух)



Вид зари при вторжении воздуха с северо-востока СССР
(арктический континентальный воздух)



Типичный вид зоревых разделов (встреча морского полярного
и континентального арктического воздуха)

ПРОЗРАЧНОСТЬ АТМОСФЕРЫ. ДЫМКА И ТУМАНЫ КАК СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Атмосфера не представляет собой среду неизменную и постоянную. Давление, влажность, температура, ветер, облака, словом, все, что связано с атмосферой, подвержено непрерывным изменениям и сменам как в длительные, так и в короткие промежутки времени.

Так же изменчиво ведет себя атмосфера, особенно ее нижняя часть — тропосфера — по отношению к проходящим через нее солнечным лучам.

Под последним мы обычно подразумевали лишь видимые лучи, но в действительности, кроме них, солнце испускает также инфракрасные (тепловые), ультрафиолетовые лучи и даже (как это недавно установлено) радиоволны. Поведение земной атмосферы по отношению к этим излучениям солнца настолько разнообразно, сложно и важно для жизни человека на земле, что даже краткое изложение этих вопросов потребовало бы написания отдельной книги.

В ясный, безоблачный день сквозь атмосферу до поверхности земли доходит больше прямых солнечных лучей, чем в дни с облачностью или сильной дымкой.

Как мы увидим дальше, дымка образующаяся в результате рассеяния света, присутствует в атмосфере всегда, но каждый раз по-разному: то сильнее, то слабее. В некоторые дни дымка едва заметна и набрасывает на отдаленные предметы едва уловимую голубую или синеватую световую вуаль. В другие дни она сильнее, заметнее и застилает дали белой, ослепительной пеленой. Наконец, бывают дни, когда густые туманы очень долго покрывают землю, скрывая от нас даже близкие объекты, мешая работе транспорта, авиации, нарушая нормальную жизнь больших городов.

Таким образом, прозрачность атмосферы никогда не бывает постоянной, а меняется ежедневно, а иногда и ежечасно.

Для человека, живущего на дне воздушного океана, колебания прозрачности атмосферы имеют огромное практическое значение, и прежде всего с чисто биологической точки зрения. В ясный, безоблачный день до поверхности земли доходит наибольшее количество солнечных лучей. Наличие в их составе тепловых и ультрафиолетовых лучей оказывает огромное влияние на жизнь человека и состояние его здоровья, а также на развитие и жизнь всего растительного мира.

Синие, фиолетовые и ультрафиолетовые лучи оказывают общее благотворное влияние на организм человека: они убивают многие болезнетворные бактерии. Поэтому условия жизни человека существенно зависят от того, в какой местности

он живет: высокой, сухой, солнечной или низкой, болотистой, туманной.

В промышленных городах Англии из-за частых туманов и огромного количества дыма резко уменьшается число ясных, солнечных дней. Если прибавить к этому скверные, сырые и темные жилища, плохое питание — условия, в которых живут трудящиеся капиталистических стран, в частности Англии, — то становятся понятными массовые поражения населения (особенно детей) туберкулезом, рахитом и другими болезнями.

В СССР сталинский гениальный план преобразования природы среди различных грандиозных мероприятий предусматривает также полную ликвидацию вековых болот в северных и северо-западных областях нашей страны. Это позволит устранить извечную сырость и туманы в этих местностях, увеличит прозрачность атмосферы для световых, тепловых и ультрафиолетовых лучей, что оздоровит и преобразует территории, на которых проживают миллионы людей.

Колебания прозрачности атмосферы имеют для человека большое практическое значение и с точки зрения восприятия воздушной перспективы.

Уменьшение видимости до нескольких метров или даже шагов при плотных туманах буквально парализует жизнь больших городов и наносит огромный ущерб народному хозяйству.

История войн богата примерами, как колебания прозрачности атмосферы влияли на развитие и исход больших сражений. Наиболее разительным примером зависимости хода крупного сражения от прозрачности атмосферы или от условий дальности видимости является знаменитый ютландский бой между немецким «Флотом открытого моря» и английским «Большим флотом» в 1916 году.

Английский флот, несмотря на громадное численное превосходство, едва избежал катастрофического разгрома. Поражение, понесенное английским флотом, объяснялось не техническим превосходством немецкого флота, а разными условиями видимости. На западе в то время царила ясная, безоблачная погода, прозрачность атмосферы была хорошая, и английские корабли выделялись четкими черными силуэтами. На востоке же была пасмурная погода с дождем и туманом. Немецкие корабли, скрываясь за пеленой туманов, сливались с фоном неба, и английским артиллеристам приходилось прицеливаться не по кораблям, а лишь по вспышкам выстрелов с немецких кораблей. Эффективность огня англичан была низка, немцы же видели каждый свой разрыв и били почти без промаха. В результате англичане едва избежали разгрома.

18 июня 1815 года во втором сражении при Ватерлоо пыль, поднятая на поле сражения, помешала Наполеону опознать

пруссиков, спешивших на помощь англичанам. Приняв пруссаков за ожидаемую им французскую кавалерию, Наполеон принял ряд ошибочных решений, ускоривших неизбежный, впрочем, исход сражения.

Во время второй мировой войны крупнейшая десантная операция немецко-фашистских войск в Норвегии была предпринята 9 апреля 1940 года, в день с такой плохой видимостью, которая исключала активные действия английского флота.

История Великой Отечественной войны богата примерами умелого тактического использования советским командованием как плохой прозрачности атмосферы, так и, наоборот, хорошей.

Какие же физические причины приводят к резким изменениям прозрачности атмосферы?

Что представляют собой дымка и туманы, почему они так изменяют условия восприятия далей?

Ответы на эти вопросы наука дала совсем недавно. Если бы атмосфера состояла из одних газов и не содержала водяного пара и пыли, то ее прозрачность была бы величиной постоянной, и притом чрезвычайно большой. Мы свободно видели бы предметы ландшафта, удаленные на 300 километров, если только этому не препятствовали бы кривизна земли и малые видимые размеры самих предметов. Но присутствие в атмосфере водяного пара, пыли и дымовых частиц существеннейшим образом влияет на ее прозрачность.

Главная роль в изменении прозрачности атмосферы принадлежит водяному пару.

Трудно найти в природе что-либо более неустойчивое и непрерывно изменяющееся, чем состояние водяного пара в атмосфере. В зависимости от количества его в данном объеме и от температуры воздуха водяной пар может пребывать в атмосфере в самых различных состояниях: в виде газа — пара, состоящего из отдельных молекул воды; в виде мельчайших капелек воды, невидимых в самый сильный микроскоп; в виде мелких капелек и кристалликов, образующих облака и туманы; наконец, в виде капель дождя и хлопьев снега.

Подсчитано, что во всех этих состояниях запасы воды в атмосфере, если ее целиком осадить, составляют примерно 75 триллионов тонн, или 75 тысяч кубических километров¹.

Это количество в общем не изменяется благодаря испарению воды с поверхности океанов, морей и суши. Если всю воду, находящуюся в атмосфере, равномерно распределить по

¹ Вес всей атмосферы составляет 5 миллионов миллиардов тонн. Вода (пар, облака, капельки) составляет в среднем 0,015 от всей атмосферы, что дает 75 тысяч миллиардов, или 75 триллионов тонн.

поверхности земли, то получится слой толщиной около метра.

Основная причина, вызывающая изменение прозрачности атмосферы, заключается в способности водяного пара образовывать почти при всяких метеорологических условиях мельчайшие капельки воды.

Как показывают опыты советских ученых профессора М. П. Вуколовича и В. Я. Никандрова, молекулы водяного пара обладают способностью соединяться друг с другом, образуя двойные, тройные, четверные и даже десятерные молекулы. Причем, чем выше температура атмосферы, тем больше содержится в ней таких составных молекул.

Составные молекулы рассеивают свет значительно сильнее, чем одиночные, а мельчайшие капельки воды размером от 0,01 до 0,1 микрона, состоящие уже из сотен тысяч молекул и всегда присутствующие в атмосфере, рассеивают свет гораздо сильнее, чем составные молекулы¹. Число таких мельчайших капелек в 1 кубическом сантиметре воздуха составляет от 20 тысяч до 200 тысяч. Вес всех этих капелек в 1 кубическом метре составляет меньше 0,01 грамма, или меньше 1 процента от среднего общего количества водяного пара.

Но в атмосфере содержатся также капельки воды еще больших размеров. В среднем диаметр таких капелек составляет 0,5 микрона. Такие капельки рассеивают свет значительно сильнее предыдущих.

Легко понять поэтому, что если в 1 кубическом сантиметре воздуха содержатся тысячи и десятки тысяч мельчайших водяных частиц, то они рассеют света значительно больше, чем все молекулы газов, находящихся в том же объеме, хотя число последних в миллиарды и триллионы раз больше².

Таким образом, благодаря наличию в приземных слоях атмосферы большого числа сравнительно крупных взвешенных водных частиц, количество рассеянного света настолько велико, что легко замечается глазом в виде своеобразной световой пелены, называемой дымкой.

Если имеются такие метеорологические условия (на их объяснении мы не можем останавливаться), при которых водяные капельки вырастают до размера в 1—15 и больше микронов, а число капелек в 1 кубическом сантиметре воздуха достигает нескольких сот или тысяч, то образуется туман.

¹ Рассеяние света возрастает пропорционально 6-й степени размера частицы. Это справедливо, начиная от молекулы и до частиц с размерами до 0,1 микрона. Частицы размером в 0,1 микрона, то есть в 1000 раз больше молекулы, рассеивает света столько же, сколько и миллиард миллиардов молекул (1000^6). Частицы размером больше 0,1 микрона рассеивают свет еще сильнее.

² Число молекул газа в 1 кубическом сантиметре при 760 миллиметрах давления равно примерно 30 квинтиллионам (3 с 19 нулями).

Туман представляет собой своеобразное световое явление, связанное с таким сильным рассеянием света, что образующаяся световая завеса ограничивает дальность видимости объектов иногда несколькими шагами.

В образовании атмосферной дымки и снижении прозрачности атмосферы принимает участие также огромное количество пыли, дымовых частиц и других мельчайших взвесей, которые также всегда присутствуют в атмосфере. Засорение атмосферы этими сухими твердыми частичками, как и снижение атмосферной прозрачности, обусловленное ими, весьма велико.

На всем земном шаре ежегодно добывается и сжигается примерно 1,5 миллиарда тонн угля и сотни миллионов тонн других видов топлива. Известно, что на теплообразование расходуется не более 30—40 процентов топлива, остальные 60—70 процентов попросту выбрасываются в атмосферу в виде частиц дыма, сажи, копоти и других продуктов неполного сгорания. Таким образом, одними только фабричными и печными трубами в атмосферу выбрасывается свыше 1 миллиарда тонн дымовых частиц в год, или около 3 миллионов тонн ежедневно.

Человека, подъезжающего к какому-либо крупному промышленному центру, всегда поражает висящая над этим центром плотная, протяженная коричневая дымовая шапка. С Кавголовских высот под Ленинградом при северо-западных ветрах хорошо видно, как от Ленинграда тянется на юго-восток огромная светлорыжеватая стена дыма (несгоревшего топлива), высотой 1—1,5 километра и протяжением в несколько десятков километров. Такой дым вносит существенные изменения в состояние прозрачности атмосферы не только самих промышленных центров, но и районов, значительно от них удаленных.

Громадное задымление атмосферы происходит также от лесных и торфяных пожаров. В 1915 году дым от гигантских лесных пожаров в Сибири захватил площадь свыше 6 миллионов квадратных километров и держался в воздухе свыше 2 месяцев.

Подсчитано, что в степных районах Экваториальной Африки ежегодно от пожаров сгорают сотни миллионов тонн травы, вследствие чего в атмосферу поступает огромное количество дыма, разносимого ветрами на сотни и тысячи километров.

Громадные лесные, травяные и торфяные пожары происходят почти повсеместно. Такие пожары вызывают иногда сильную восходящую тягу горячего воздуха. Под воздействием этой тяги на больших площадях образуются сильные ветры, доходящие в отдельных случаях до скоростей урагана. В воздух поднимается огромное количество пыли, которая вместе с дымом пожаров затмевает солнце.

Заметим, что дымовые частицы различного происхождения, помимо своего собственного действия, способствуют более частому образованию густых и плотных туманов.

По исследованиям советского метеоролога А. И. Данилина, в столице нашей Родины Москве в связи с постоянным ростом промышленности число дней с туманами и мглой (сухие, пылевые туманы) непрерывно увеличивается. Так, с 1902 по 1922 год в Москве было в среднем 80 дней в году с туманами и мглой, в 1928 году — 102, в 1930 году — 110 дней, в 1932 — 1934 годах — 160—170 дней. В последующие годы число дней с туманами продолжало оставаться на уровне 150—175. В непромышленных же пунктах Московской области за эти же годы число дней с туманами было в три — пять раз меньше. Однако за последнее время благодаря принятым советским правительством мерам по улучшению сжигания топлива и дымозадержанию прозрачность воздуха в Москве увеличивается, число дней с туманами снижается.

Особенно разительны масштабы задымления атмосферы в промышленных городах Англии. Владельцы английских промышленных предприятий не принимают никаких мер к уменьшению задымления воздуха и его оздоровлению. В результате этого в самом Лондоне, на площади в 1 квадратный километр, одной только сажи осаждается в течение года около 150 тонн, в промышленном же пригороде Лондона Лидсе это количество доходит до 210 тонн, а в городе Глазго — даже до 320 тонн. Сочетание большой влажности воздуха и огромного количества дыма над промышленными городами Англии способствует образованию таких плотных туманов, при которых сила солнечного освещения ослабляется на 80—90 процентов. В зимнее время это приводит к тому, что день превращается в темные сумерки, видимость ограничивается несколькими шагами и никакие источники света не в состоянии пробить плотную стену тумана.

При ветрах, дующих с северо-запада на юго-восток, такие мощные замутнения атмосферы распространяются в зимние месяцы на громадные территории, захватывая почти всю Западную и Центральную Европу.

В общем установлено, что из-за дыма различного происхождения и сопутствующих ему туманов прозрачность атмосферы уменьшается настолько, что продолжительность сияния солнца сокращается в среднем на 50 процентов, а сила света прямых и рассеянных солнечных лучей ослабляется на 40 — 80 процентов.

Так современное состояние индустрии вносит существенные изменения в состояние прозрачности атмосферы, уменьшая приток живительных солнечных лучей на землю.

Борьба с туманами представляет собой, таким образом, грандиозную и жизненно важную проблему. Но по социальным причинам успешное решение ее не под силу капитализму и по плечу только социалистическому обществу.

Еще большее запыление атмосферы производится так называемыми пыльными, или черными, бурями.

При сильном ветре, проходящем над песчаными пустынями, в воздух вздымается огромное количество мельчайших песчинок.

Воздушные массы, проходящие над пустыней Сахарой, при сильных западных и юго-западных ветрах постепенно заполняются песчаной пылью. Переносимая ветрами на громадное расстояние, эта пыль замутняет воздушные пространства почти всей Европы, а подчас и значительных территорий СССР.

Громадное количество пыли поступает в атмосферу при сильных ветрах, проносящихся также над обширными пространствами обработанных человеком земель. Многолетняя подряд распашка почвы, как известно, нарушает ее комковатую, зернистую структуру, и почва приобретает порошкообразное состояние. В весеннее время такая почва, не успев еще зарости травяным покровом, делается легкой добычей сильных ветров.

В воздух вздымается такое огромное количество мельчайшей черной, пылевидной земли, что солнечное сияние меркнет и день превращается в темные сумерки. Такие пылевые бури и получили поэтому название «черных».

В США вследствие хищнической вырубki лесов ($\frac{4}{5}$ всего лесного фонда страны) равнинные районы стали жертвами постоянных, и притом весьма сильных, ветров. При хищнических методах ведения сельского хозяйства, когда на больших пространствах почва доводится до полного истощения, а главное, до пылевидного, порошкообразного состояния, эти сильные ветры становятся причинами пылевых, или черных бурь, грандиозных масштабов.

Во время одной только такой пылевой бури, с 9 по 11 мая 1934 года, в воздух было поднято свыше 300 миллионов тонн плодородного поверхностного слоя. В феврале — мае 1935 года свирепствовали пылевые бури такой силы, что на протяжении нескольких сот километров было темно, как ночью, и днем приходилось прибегать к искусственному освещению. В воздух были подняты сотни миллионов тонн поверхностного слоя почвы.

Минеральная почвенная пыль, вздымаемая во время таких бурь в атмосферу на высоту 6—7 километров и переносимая на сотни километров, достигает тихоокеанского или атлантического побережья и в огромных количествах сбрасывается в океан.

Подсчитано самими американцами, что из-за черных бурь США теряют ежегодно не менее... 3 миллиардов тонн почвы, причем в некоторых районах страны почва выдута до скального, материкового основания и эти районы превращены в каменистые пустыни.

Правительство США, тратя колоссальные средства на гонку вооружений, не принимает никаких мер к предотвращению процесса катастрофического уничтожения плодородных земель, охватившего огромные пространства. И если процесс уничтожения почвы не будет приостановлен, через 50 лет 25 процентов территории США превратятся в каменистые пустыни!

Министр земледелия США при Рузвельте Виллард в 1944 году заявил, что «...нет в мире другой страны, которая в столь короткий исторический срок потеряла бы столько почвы, как США. За последние три столетия плодородный слой почвы страны, достигавший 21,6 сантиметра, уменьшился до 14,4 сантиметра. На площади в 100 миллионов акров (40 миллионов гектаров) уничтожено более половины плодородного пахотного слоя, а еще 100 миллионов акров охвачено быстро развивающимся процессом разрушения. Иначе говоря, $\frac{2}{5}$ всех пахотных земель США подвержены разрушению и постепенно уничтожаются, сотни тысяч фермеров разоряются и нищают. Ежегодный убыток, причиняемый уничтожением почвы, составляет 4 миллиарда долларов».

Другой специалист заметил, что «...в некоторых районах США верхний слой почвы, потерянный за 1 год разрушения, равен толщине слоя, на образование которого природа затрачивает от 500 до 1000 лет».

Капиталистический способ производства обуславливает хищнический метод ведения хозяйства в США. С какой обличительной силой звучат известные слова Маркса о том, что «...всякий прогресс капиталистического земледелия есть не только прогресс в искусстве грабить рабочего, но и в искусстве грабить почву...»¹.

На юге и юго-востоке нашей страны так называемые суховеи представляют собой движение воздуха, насыщенного песчаной и лессовой пылью, главным образом кара-кумского происхождения. Эти суховеи причиняют большой вред народному хозяйству.

В нашей стране, стране социалистического земледелия, с ними ведется планомерная борьба. Сталинский план преобразования природы предусматривает закрепление разбитых каракумских песков, создание мощных лесозащитных полос и за-

¹ Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. XVII, стр. 553.

слонов, обводнение и орошение громадных территорий, развитие травопольных севооборотов, восстанавливающих зернистокомковатую структуру пылевидных почв.

Эти грандиозные мероприятия приведут к полной ликвидации вредных суховеев и черных бурь в нашей стране, улучшат климат, оздоровят местность и будут содействовать дальнейшему развитию производительных сил.

Наконец, еще одним значительным источником запыления атмосферы является пыль космического, а также вулканического происхождения. Земной шар, двигаясь в мировом пространстве, часто встречает на своем пути космическую пыль, разбросанную отдельными облачными образованиями.

Космическая пыль при столкновении с землей попадает в верхние слои атмосферы, оседая затем на поверхность земли. Следы такого выпадения космической пыли неоднократно отмечались в Арктике, где на нетронутой снежной поверхности осевшая космическая пыль обнаруживается легче, чем в каких-либо других местах.

Наиболее значительное выпадение космической пыли произошло в 1892 году. Космическая пыль была обнаружена на территории Дании, Швеции, Финляндии, Германии (около 750 тысяч квадратных километров). Общее количество выпавшей пыли составляло примерно 500 тысяч тонн.

Помимо этого, значительным источником запыления верхних слоев атмосферы являются продукты сгорания метеоров.

Астрономы полагают, что каждые сутки в атмосферу попадают и сгорают несколько десятков миллионов метеоров. Однако их размеры невелики, так как общая масса ежедневно сгорающих метеоров оценивается примерно в 50 тонн. Следовательно, вес каждого такого метеора в среднем меньше 1 грамма.

Отсюда видно, что в течение года в атмосфере сгорает около 20 тысяч тонн метеоров.

Таким образом, по мнению астрономов, общее количество космической пыли, ежегодно попадающей в верхние слои атмосферы и постепенно оседающей на землю, лежит в пределах 25—35 тысяч тонн.

Не постоянным, но грандиозным источником запыления атмосферы мельчайшей пылью являются мощные вулканические извержения.

При извержении вулкана Кракатоа в 1883 году (сопровождавшемся грандиозным взрывом), Пеле и С.-Марино в 1902 году и Катмай в 1912 году каждый раз в атмосферу выбрасывались десятки миллионов тонн мельчайшей вулканической пыли. Облака этой пыли достигали высоты 30—50 километров и с поразительной быстротой разносились воздушными потоками и ветрами по всему земному шару.

Обычно через несколько дней после извержения этих вулканов почти во всех странах отмечалось понижение прозрачности атмосферы, а количество лучистой энергии солнца, достигающей до поверхности земли, уменьшалось на 15—25 процентов.

Таким образом, нижние слои атмосферы, особенно у поверхности земли, при любых метеорологических условиях содержат большое число как мельчайших капелек воды, так и пылинок различного происхождения.

Как показывают наблюдения, даже в самые ясные, безветренные дни в 1 кубическом сантиметре воздуха содержатся сотни и тысячи мельчайших жидких и твердых частиц. Поэтому лучи солнца, достигшие приземных слоев, подвергаются здесь более сильному рассеянию, чем в высоких слоях. Приземные слои атмосферы в силу этого становятся более светлыми, и притом настолько, что это просветление легко замечается простым глазом в виде своеобразной пелены рассеянного света.

Таково в общих чертах происхождение атмосферной дымки, а также пылевых и водяных туманов, изменяющих состояние прозрачности атмосферы.

В зависимости от количества взвешенных в воздухе мельчайших жидких и твердых частиц яркость дымки подвержена значительным изменениям. Наличие атмосферной дымки ухудшает восприятие далей, отдаленные предметы ландшафта видны тем хуже, чем сильнее дымка.

Каждый может проделать простой опыт, наглядно показывающий влияние атмосферной дымки на видимость далеких объектов.

Возьмите стакан с гладкими стенками (или, еще лучше, плоскую кювету). Налейте туда воды. Сквозь воду в стакане (или кювете) вы достаточно отчетливо увидите те или иные предметы. Теперь налейте в воду две-три капли молока и размешайте их с водой. Вы увидите, что вода не только помутнела, но и значительно посветлела, и предметы сквозь нее стали видны хуже. Вода посветлела из-за того, что мельчайшие полупрозрачные капельки молока, видимые лишь под микроскопом, сильно рассеивают проходящий через воду свет, образуя нечто вроде «дымки».

Постепенно прибавляя молоко, мы увидим, что вода в стакане мутнеет и светлеет все больше и больше, а «дымка» становится все сильнее и сильнее; видимость же предметов сквозь нее все более и более ухудшается. Наконец, когда вода в стакане делается совсем мутной и очень светлой, видимость предметов утратится совсем.

Атмосферная дымка действует точно таким же образом. Разница заключается лишь в том, что в рассмотренном при-

мере свет рассеивается на капельках молока, а в атмосфере — на капельках воды и пыли.

Влияние дымки и туманов как световых явлений в атмосфере на практическую деятельность человека довольно значительно.

Безаварийная служба воздушного, морского и железнодорожного транспорта, производство аэрофотосъемки, кораблевождение, геодезические работы и т. д. невозможны без точного определения, «как далеко сегодня (или даже сейчас) видно», то есть определения так называемой дальности видимости.

Разработка способов, позволяющих определять при данных метеорологических условиях влияние дымки на дальность видимости, другими словами, определять, как далеко сейчас может видеть летчик, капитан корабля, машинист паровоза, артиллерист, командир части и т. д., представляет собой очень важную в практическом отношении задачу.

Исследование свойств атмосферной дымки, разработка приборов и методов по определению дальности видимости предметов вызвали к жизни новый раздел науки под названием «учение о видимости».

Определение дальности видимости объектов неожиданно оказалось весьма трудным делом. Потребовалась напряженная работа целого ряда ученых в течение многих лет, чтобы решить эту задачу. Основные приемы и методы, позволяющие определять, «как далеко сегодня видно», принадлежат советским ученым профессору В. В. Шаронову, В. В. Березкину, В. А. Фаасу и другим.

На гидрометеорологических станциях дальность видимости как световое явление в атмосфере определяется наряду с давлением, влажностью, температурой и ветром.

СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ВЫСОКИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ

СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ, как мы видели раньше, возникают в результате взаимодействия солнечных лучей с каплями дождя, ледяными кристалликами, мельчайшими капельками воды и пыли и с молекулами газов.

Световые явления, о которых рассказывается в этом разделе, возникают в результате взаимодействия (и воздействия) лучистой энергии солнца с молекулами и атомами газов высоко в ионосфере.

Чтобы составить себе ясное представление о происхождении этих явлений, читателю придется несколько детальнее познакомиться с непривычным для него миром молекул, атомов и электронов.

ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ

Полярные сияния принадлежат к числу красивейших явлений природы. На каждого, кому хоть раз удалось видеть это явление, оно производит неизгладимое впечатление своей необыкновенной и поражающей красотой.

Как показывает само название, полярные сияния наблюдаются преимущественно в высоких широтах северного и южного полушарий земли.

Для северного (так же, как и для южного) полушария наибольшая частота появления полярных сияний приходится на круговую зону (пояс) вокруг северного магнитного полюса земли.

Наблюдениями установлена следующая частота (средняя) появления полярных сияний на территории СССР: для района Мурманска и азиатского побережья Ледовитого океана — 60—80 раз в году; для широты Архангельска — 20—30, для широты Ленинграда — 5—8, для широты Москвы — 1—2 и для ши-

рот южнее Москвы — 1—0,1 раза в году. Для широты Севастополя или Астрахани полярное сияние можно наблюдать в среднем раз в 10 лет.

Полярные сияния отличаются чрезвычайным разнообразием форм и характером своих проявлений.

К наиболее красивым формам полярных сияний принадлежат так называемые драпри. Конечно, никакой рисунок и фотография не в состоянии передать действительную красоту этого явления. Один ученый заметил, что «художники и поэты признают свое полное бессилие перед красотой подобных явлений и способны только преклоняться перед ними».

Драпри — это настоящие световые занавеси, состоящие как бы из отдельных вертикальных тонких лучиков (рис. 32). Лучики дрожат, колеблются, непрерывно меняют свои цвета и яркость. Нижняя граница драпри всегда резко очерчена. Непрерывные изменения яркости и окраски цветов создают у наблюдателя впечатление волнообразного движения. Драпри, словно под воздействием ветра, свертываются и разворачиваются самым причудливым образом, то приближаются, то удаляются. Иногда драпри возникают в виде одной резко очерченной ленты лучистой структуры. Ленты обычно окрашены в зеленый или зеленовато-желтый цвет, а нижняя кромка при этом имеет иногда темнокрасный цвет. Благодаря непрерывным измене-

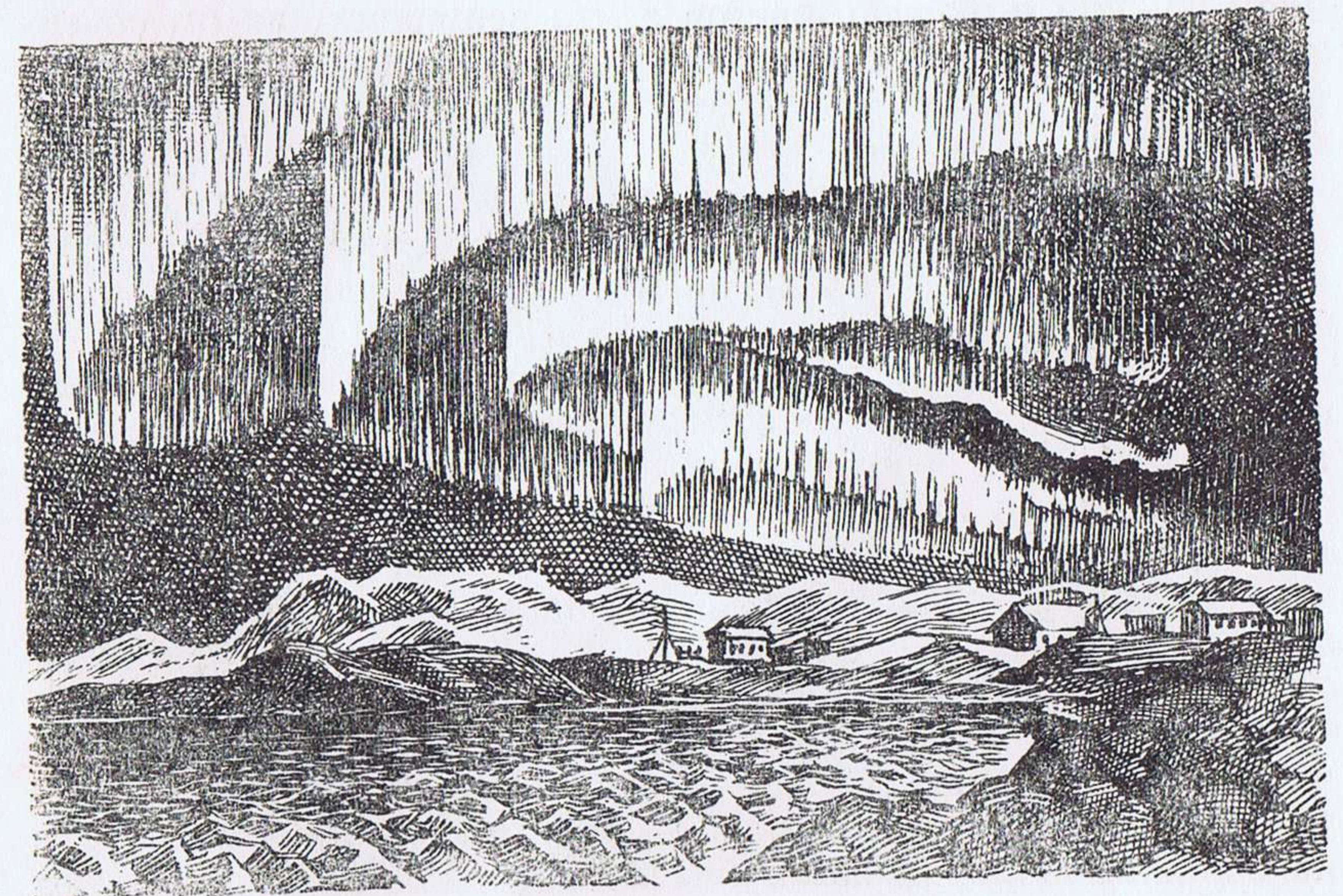


Рис. 32. Полярное сияние в виде драпри

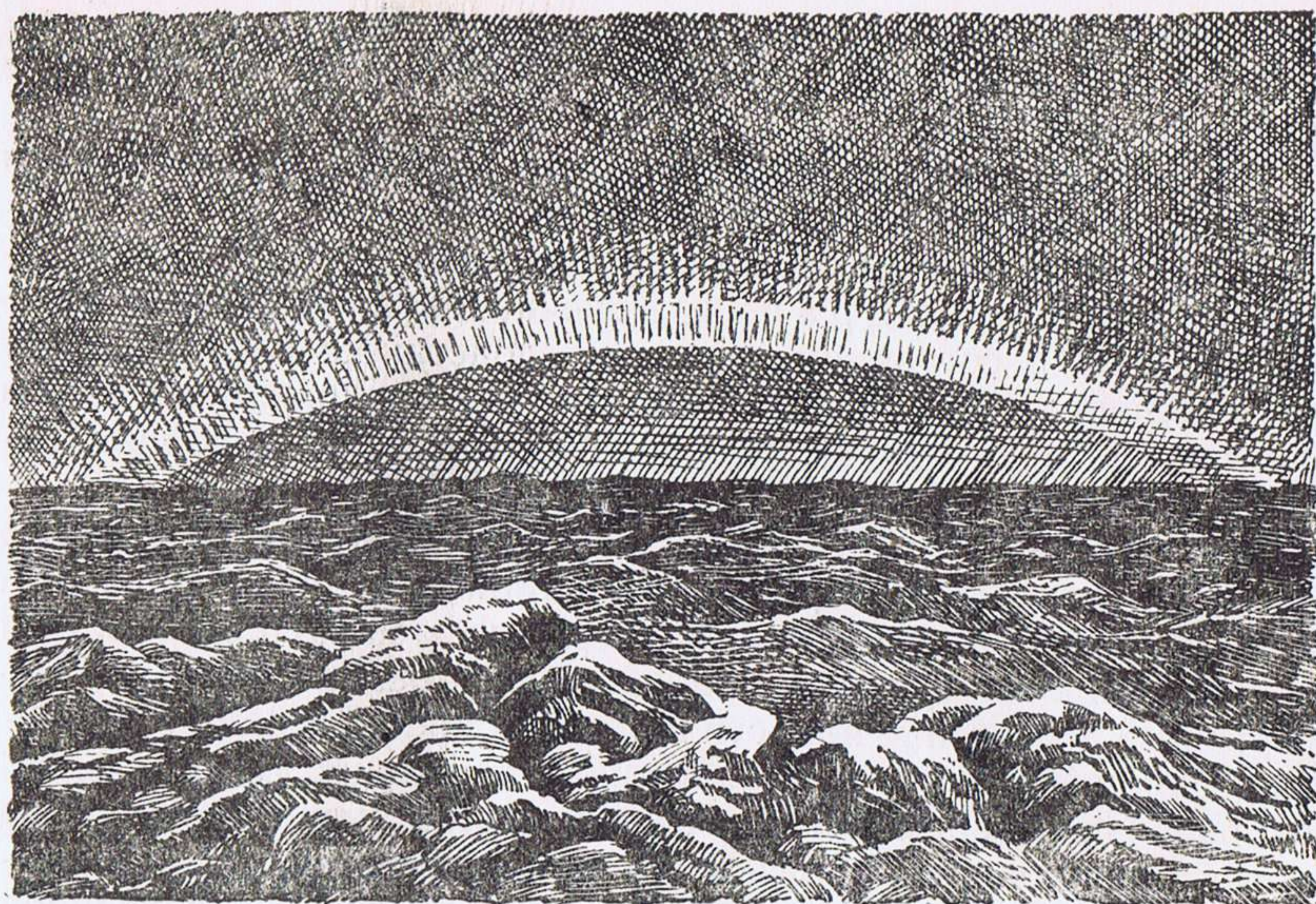


Рис. 33. Полярное сияние в виде дуги

ниям яркости и окраски цветов лента все время как бы совершает волнообразные движения.

Другим красивейшим видом полярных сияний является так называемая корона.

Этот вид полярного сияния создает у наблюдателя впечатление, что он находится как бы внутри полупрозрачного светящегося шатра или короны то зеленого, то красного, то голубоватого цвета.

Шатер или корона состоит из отдельных светящихся полос, иногда загорающихся где-то у горизонта и с громадной быстротой достигающих зенита. Наблюдателю кажется, что все эти полосы сходятся над головой в зените. Но на самом деле полосы параллельны между собой и не сходятся. При этом отдельные светящиеся подвижные полосы не имеют ни выраженной лучистой структуры, ни четких границ. Корона все время пульсирует, а иногда, кроме того, и непрерывно меняет свои окраски.

Полярное сияние часто возникает в виде дуги, состоящей из отдельных тонких лучиков. Дуга возвышается над горизонтом в виде невысокой световой арки (рис. 33). Обычно дуги неподвижны и окрашены в бледно-голубой цвет, хотя бывают дуги и зеленоватого цвета. Небо под дугой кажется очень темным, почти черным.

Дугообразное сияние часто возникает и без лучистой структуры. Особенность этого вида сияния заключается в том, что оно возникает очень высоко в ионосфере, на высоте 300—400 километров.

Следует упомянуть еще об одной четкой форме полярных сияний — в виде вытянутых вверх и расположенных веерообразно световых полос (рис. 34). Световые полосы не имеют лучистой структуры, меняют свою яркость и окраску, постепенно переходя от оранжево-желтого к красному и бледнозеленому цветам. Световые полосы не остаются на месте, а немного меняют свое положение и наклон. Неискушенный наблюдатель может принять этот вид полярных сияний за свечение нескольких прожекторов, находящихся за горизонтом.

Помимо этих довольно четко выраженных видов, встречаются полярные сияния в виде бесформенных, слабо светящихся облакоподобных образований белого цвета, не изменяющих своей яркости и положения в течение нескольких часов.

Часто возникает сияние в виде отдельных дуг, пятен и полос. Эти дуги, пятна и полосы возникают не сразу, а постепенно, как бы разгораясь все ярче и ярче. Достигнув наибольшей яркости, они постепенно гаснут и исчезают. Через 10—12 секунд они опять возникают на том же месте небосвода, так же

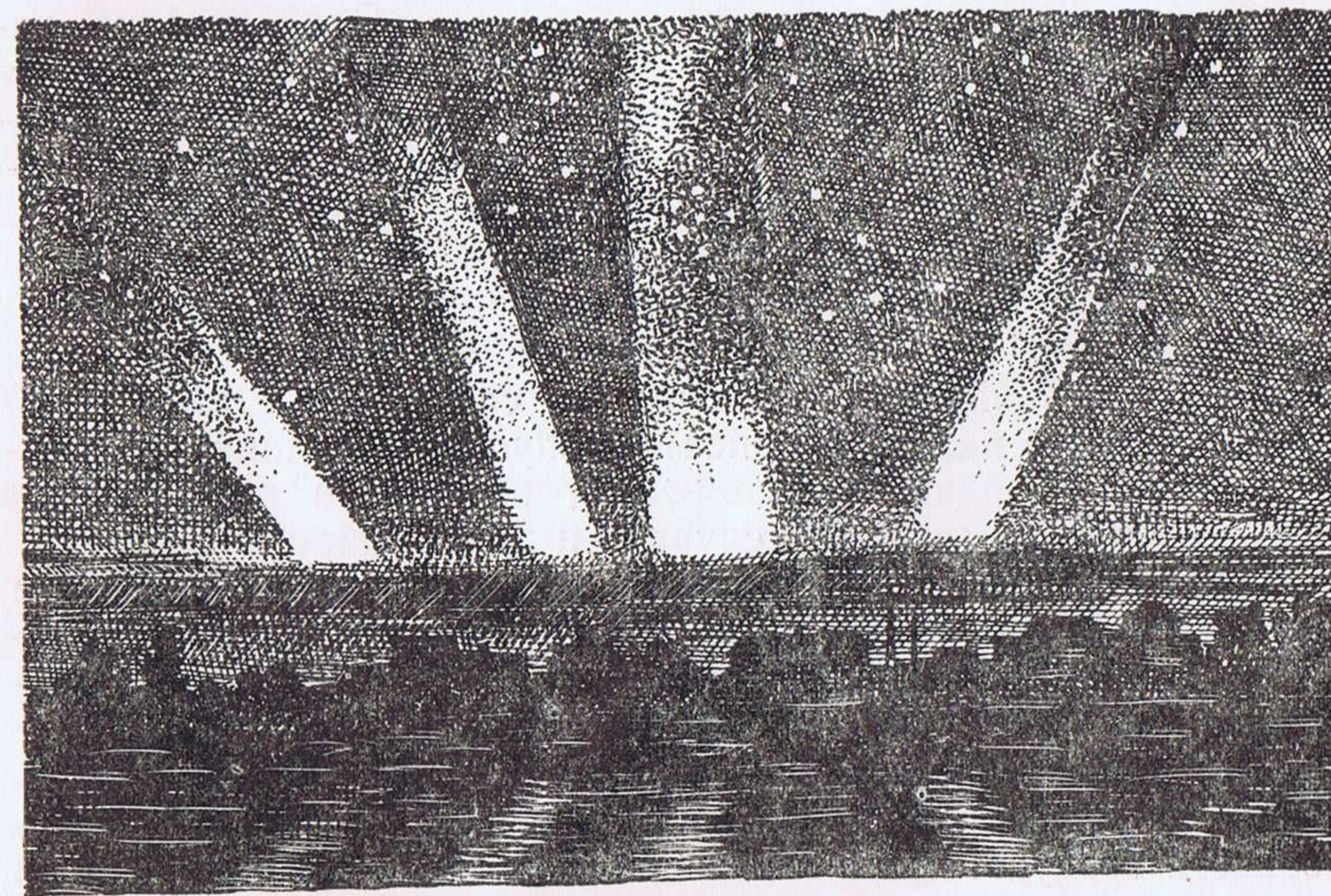


Рис. 34. Полярное сияние в виде световых полос

постепенно достигая наибольшей яркости и снова исчезая. Периодически возникая и исчезая, такие сияния могут продолжаться по нескольку часов.

В большинстве случаев наблюдаются полярные сияния, в которых встречаются одновременно различные их виды. Например, бесформенные светящиеся облака без лучистой струк-

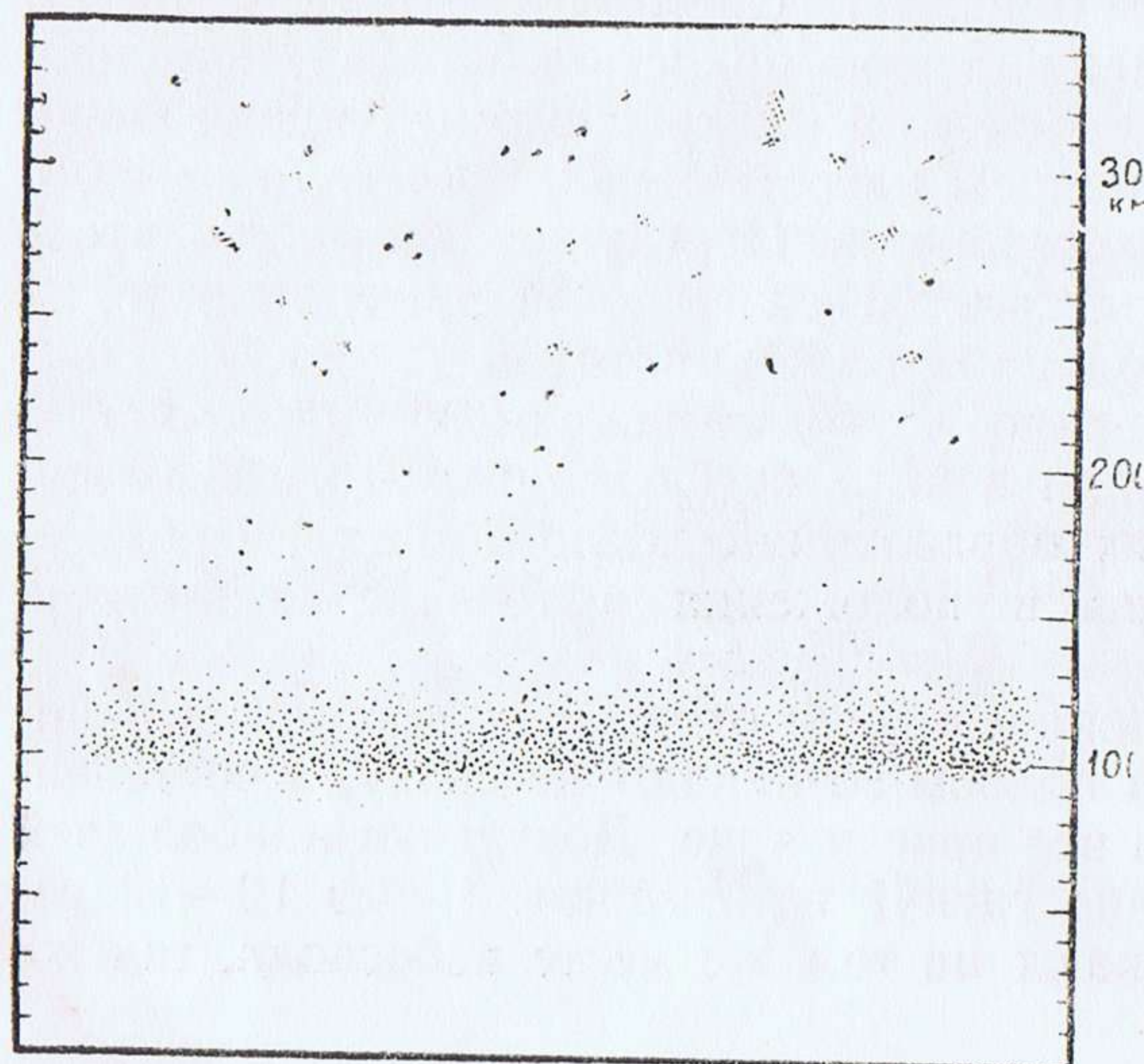


Рис. 35. Распределение полярных сияний по высоте

склофиолетовый цвет и возникающих в слоях атмосферы, освещенных лучами заходящего солнца.

Отличительная особенность таких сияний — громадная высота, на которой они появляются. Неоднократными и точными измерениями найдено, что эта высота составляет... 1000—1100 километров! Но как только, по мере опускания солнца под горизонт, сияния попадают в тень земли, их высота резко падает до 400—300, а в отдельных случаях и до 100 километров.

Если подобного рода сияния возникают перед восходом солнца, то явление протекает в обратном порядке: сияния, наблюдаемые в тени земли на высоте 300—400 километров, «переходят» на высоту 800—1000 километров и более.

Появление полярных сияний на такой громадной высоте казалось совершенно непостижимым вследствие крайней разреженности воздуха. Было высказано несколько точек зрения на происхождение полярных сияний этого вида. Одна из них очень любопытна.

Высоты, на которых возникают полярные сияния, в настоящее время изучены очень хорошо. Ниже 80 километров полярных сияний не бывает. Чаще всего они возникают на высоте 95—110 километров, но встречаются также и на высоте 200, 300 и даже 500 километров.

Сравнительно недавно открыта особая форма полярных сияний, имеющих ту-

сую форму драп-ри или дуг.

Поскольку столь высокие сияния обязательно появляются лишь в слоях атмосферы, освещенных заходящим или восходящим солнцем, было высказано предположение, что эти освещенные слои атмосферы под влиянием светового давления¹ вытягиваются вдоль направления падающих солнечных лучей, образуя нечто вроде «кометного» хвоста. В этом «кометном» хвосте существует достаточная для возникновения полярных сияний плотность воздуха.

Однако эта точка зрения, равно как и другие, вызывает много возражений. Вопрос о происхождении столь высоких полярных сияний пока еще до конца не решен.

Итак, полярные сияния возникают в толще атмосферы от 80 до 1000 километров, то есть охватывают по высоте всю ионосферу. Описанные виды сияний с четкой формой и лучистой структурой появляются в основном на высотах от 90 до 200 километров. Сияния не лучистой структуры, а также в виде бесформенных светящихся облаков возникают на гораздо больших высотах.

Во время полярных сияний на земле происходят магнитные бури. Возьмите в руки компас во время полярных сияний. Вы увидите, что стрелка компаса все время вертится во все стороны, и, по остроумному замечанию одного ученого, как бы спрашивает: «Что такое происходит?»

Магнитные бури вызывают нарушение или даже полное прекращение телеграфной и радиосвязи.

В настоящее время установлено, что возникновение наиболее ярких, разнообразных и частых полярных сияний (а также и магнитных бурь) связано с появлением на солнце так называемых солнечных пятен. Последние хорошо видны с земли сквозь темные или цветные стекла (светофильтры), в телескопы и даже невооруженным глазом и представляют собою гигантские вихри в раскаленной солнечной атмосфере.

Это важное обстоятельство позволяет найти ключ к правильному пониманию происхождения полярных сияний.

В настоящее время считают, что полярные сияния представляют собою свечение высоких, разреженных слоев атмосферы, возникающее под воздействием проходящего через эти слои электрического тока.

Предположение об электрической природе полярных сияний высказывал еще великий русский ученый М. В. Ломоносов. В настоящее время электрическая природа полярных сияний установлена экспериментально и не вызывает сомнений.

¹ Существование давления, оказываемого светом на различные тела, в том числе и газы, было доказано выдающимся русским физиком П. Н. Лебедевым в 1901 году.

Почему же полярные сияния могут появиться только в высоких и разреженных слоях атмосферы и возникают лишь при прохождении через эти слои электрического тока? Где находится источник электрического тока?

В физике давно установлено, что если взять сосуд с разреженным газом и пропустить через него электрический ток, то этот газ во время прохождения тока испускает яркий свет.

Наблюдение этого явления сравнительно просто. Берут стеклянную трубку, по концам которой впаиваются металлические пластинки. Трубка соединяется с насосом, с помощью которого из нее можно выкачивать воздух. Если, не выкачав воздуха, концы металлических пластинок присоединить к источнику напряжения в 250—300 вольт, то в трубке ничего не произойдет, так как обычный комнатный воздух (при давлении в 760 миллиметров ртутного столба) не проводит электрического тока. Но если теперь, не снимая напряжения, начать откачивать из трубки воздух, то через некоторое время остатки разреженного воздуха будут ярко светиться. Если затем выключить напряжение, свечение прекращается, снова включить его — свечение возобновляется.

Каждому газу соответствует собственный цвет свечения. Если в трубке находится обычный воздух, состоящий из смеси разных газов, то свечение имеет лиловатый оттенок. Водород светится голубоватым светом, неон оранжево-красным, аргон — синеватым и т. д.

Светящиеся разноцветные буквы и цифры рекламных объявлений представляют собой именно такие трубки.

Мы не можем останавливаться здесь на выяснении деталей механизма возбуждения свечения газов при прохождении через них электрического тока, хотя этот вопрос и представляет собой одну из интереснейших глав физики. Ограничимся поэтому коротким объяснением.

Электрический ток представляет собой поток мельчайших частичек материи, обладающих электрическим зарядом.

Такими заряженными частичками материи являются электроны и ионы (молекулы, а также отдельные атомы, обладающие электрическим зарядом).

Большая разреженность атмосферы на большой высоте и некоторое сходство характера свечения воздуха при полярных сияниях со свечением газов в трубках дали основание заключить, что полярные сияния также возникают благодаря попаданию в верхние слои атмосферы потока электронов и ионов, то есть электрического тока.

Но откуда берется этот поток заряженных частиц, где его источник?

Наука установила, что таким источником является солнце.

С поверхности солнца во все стороны излучаются мощные потоки заряженных частиц. Но лишь ничтожная часть их встречается с землей. Попадая, задолго до проникновения в атмосферу, в магнитное поле земли, потоки заряженных частиц движутся вокруг силовых линий этого поля, устремляясь к магнитным полюсам земли. Таким образом, магнитное поле земли оказывает на эти потоки как бы фокусирующее (собирающее) воздействие, направляя их в области магнитных полюсов. Именно это обстоятельство объясняет изложенный выше факт появления полярных сияний преимущественно в областях высоких географических широт.

Предположение о возникновении полярных сияний под воздействием электронных и ионных потоков, идущих от солнца, объясняет и другие факты. В частности становится ясным, почему наиболее интенсивные полярные сияния связаны с появлением на солнце темных пятен. Дело в том, что из недр этих пятен (представляющих собой, как указывалось, гигантские вихри в солнечной атмосфере) вырывается гораздо больше заряженных частиц и с большими скоростями, чем это бывает при отсутствии пятен.

При попадании заряженных частиц в сравнительно плотные слои атмосферы, лежащие на высоте 90—95 километров, скорость их уже настолько замедляется, что они полностью поглощаются этими слоями и свечение не возбуждается.

Четкая нижняя граница таких лучистых форм сияний, как драпри или ленты, объясняется именно тем, что заряженные частицы не могут проникнуть глубже этого поглощающего слоя.

Если же указанные частицы не обладают большой скоростью, то они могут проникнуть лишь в верхние слои атмосферы, причем во всех этих случаях образуются бесструктурные, облакообразные, а не лучистые формы сияний.

Различные окраски, наблюдаемые при полярных сияниях, казалось бы, легко объяснить различным составом газов в высоких слоях атмосферы аналогично тому, как это имеет место в трубках световых реклам.

Однако в действительности дело обстоит гораздо сложнее, и различные окраски полярных сияний связаны с особыми состояниями атомов газов на этих высотах, а не с разным составом этих газов.

Связь между солнечными пятнами и интенсивными полярными сияниями и магнитными бурями также находит свое простое объяснение.

Мощные электрические потоки, попадающие на землю при наличии пятен на солнце, воздействуют на магнитное поле земли. В свою очередь возмущения магнитного поля определяют

возникновение в поверхностных слоях земли блуждающих токов, воздействующих, в частности, на линейную телеграфную связь. Кроме того, мощные электронные и ионные потоки, пронизывая толщу атмосферы, нарушают электрическую проводимость некоторых ее слоев, что сопровождается ухудшением условий отражения радиоволн от этих слоев и ухудшением или даже полным прекращением радиосвязи.

СВЕТИМОСТЬ АТМОСФЕРЫ В НОЧНОЕ ВРЕМЯ

Каждому, вероятно, известно, что в ясную безлунную ночь в открытой местности никогда не бывает совершенно темно. Предметы, удаленные на несколько сот метров, вполне могут быть опознаны в виде силуэтов, а такие большие объекты, как леса и холмы, видны с еще более далекого расстояния. Даже в пасмурную безлунную ночь человек, хотя и с трудом, может ориентироваться на знакомой ему открытой местности.

Где источник этого слабого света, позволяющего нам, хотя и ограниченно, видеть ночью?

Еще совсем недавно считали, что единственным источником ночного освещения на поверхности земли является свет видимых и невидимых звезд и планет.

Но оказалось, что на поверхность земли ночью поступает фактически больше света, чем это доставляется всеми звездами и планетами. Вот какую интересную табличку составили астрономы:

Общее количество света на земной поверхности в ясную безлунную ночь.	Соответствует освещенности от одной свечи с расстояния около 60 метров	Принимается за 100%
В том числе:		
Прямой свет от всех видимых звезд	Соответствует освещенности от одной свечи с расстояния 180 метров	Составляет от общего количества 10%
Прямой свет от всех невидимых звезд	Равен освещенности от одной свечи с расстояния около 100 метров	Составляет от общего количества 35%
Прямой свет от планет	Равен в среднем освещенности от одной свечи с расстояния 315 метров	Составляет от общего количества 3%
Рассеянный в атмосфере свет от видимых и невидимых звезд и планет	Равен освещенности от одной свечи с расстояния 225 метров	Составляет от общего количества 7%

Может показаться странным, что невидимые звезды могут давать свет, ощутимый для нашего зрения. Действительно, в звездную ночь глаз не видит отдельных звезд, яркость которых меньше 6-й звездной величины. Но таких слабых звезд, входящих в Млечный Путь, около 100 миллиардов. Их совместное действие является уже ощутимым для глаза.

Таким образом, получается, что сумма прямого и рассеянного света от всех видимых и невидимых звезд и планет составляет лишь 55 процентов от общего количества света и эквивалентна освещенности, создаваемой одной свечой с расстояния примерно 80 метров.

В течение многих лет ученые проверяли свои расчеты и измерения, и всегда оказывалось, что фактически до поверхности земли ночью доходит почти вдвое больше света, чем дают все звезды и планеты. Причина этого долго оставалась непонятной.

Сравнительно недавно, в 1915 году, было сделано замечательное открытие, которое объяснило, наконец, причину такого несоответствия.

Было найдено, что ночью, при отсутствии солнца, вся громадная толща верхних слоев атмосферы, начиная с высоты примерно в 120 километров и выше, светится и непрерывно посылает на землю слабый свет. Измерения, следовавшие за этим открытием, показали, что света, испускаемого самой атмосферой, достаточно, чтобы устранить вышеуказанное несоответствие между фактической освещенностью и тем, что дают звезды и планеты.

Если бы не было этого свечения атмосферы, ночное небо всегда было бы более темным, звезды — более яркими; мы могли бы замечать более слабые звезды и наблюдали бы на небосводе гораздо большее количество звезд, скрытых от нас свечением атмосферы.

Итак, учеными было открыто новое, до сих пор не известное величественное явление природы: светимость земной атмосферы ночью. Изучение этого явления сыграло огромную роль в познании процессов, происходящих в ионосфере. Оно способствовало также установлению новых фактов в физике молекул и атомов газов, составляющих атмосферу.

Почему же атмосфера светится ночью? На этот вопрос наука пока еще не дала точного ответа. Тем не менее существующие объяснения этого явления чрезвычайно интересны. Так как объяснения эти довольно сложны, то мы ограничимся лишь их приближенным и схематическим изложением.

В разделе «Общие сведения об атмосфере» мы указывали, что атмосфера состоит в основном из двух газов — азота и кислорода. Эти же два газа являются преобладающими и в верхних слоях атмосферы.

Все простые и сложные вещества, как известно, состоят из молекул. Молекулы кислорода и азота состоят из двух атомов, причем у каждого из этих газов «свои» атомы. Связанные друг с другом силами электрического взаимодействия, эти два «сцепленных» атома придают молекуле указанных газов вид палочек.

Не вдаваясь здесь в рассмотрение деталей строения атома, заметим только, что любой атом представляет собой ядро, состоящее из двух видов частичек материи: протонов, несущих положительный электрический заряд (равный по величине отрицательному заряду электрона), и нейтронов, не имеющих электрического заряда. Протоны и нейтроны примерно в 2 тысячи раз по массе больше (тяжелее) электронов. Вокруг протонов и нейтронов с огромной скоростью и на разных расстояниях вращаются электроны.

Молекулы газов имеют значительные скорости (от нескольких сот метров до 2 и даже 3 тысяч метров в секунду).

Молекулы движутся по всевозможным направлениям, все время сталкиваясь друг с другом. Если с газовой молекулой на какой-либо высоте над землей встречается «обычный», белый солнечный луч, то молекула, как мы уже знаем, рассеивает в разные стороны некоторое количество цветных лучей. С самой же молекулой ничего существенного не происходит.

Но если на молекулу падают ультрафиолетовые лучи, то они могут вызвать значительные изменения в состоянии молекулы. Молекула уже не только рассеивает эти лучи, но и поглощает их. Это поглощение приводит к тому, что электрические силы взаимодействия между атомами ослабевают, и настолько, что атомы могут отделиться друг от друга. Молекула разрушается, или, как говорят физики, диссоциирует.

Таким образом, днем под воздействием ультрафиолетового излучения солнца в верхних слоях атмосферы происходит постепенное разрушение (диссоциация) молекул кислорода и, возможно, частично азота и превращение их в газ, состоящий из атомов (атомный кислород и атомный азот).

Помимо разделения большей части молекул на атомы, поглощение ультрафиолетовых лучей у другой части молекул сопровождается переходом электронов на большие расстояния или даже полным их отрывом от ядра. В этом случае молекула не разрушается, атомы остаются на своих местах, но они или потеряли один электрон, или электроны отошли на большее расстояние от ядра.

В первом случае электрически нейтральная до этого молекула, лишившись одного или двух электронов, становится электрически заряженной (положительно). Такая электрически заряженная молекула называется ионом. Во втором слу-

чае молекула остается незаряженной, но благодаря тому, что электроны отошли на большее расстояние, она становится возбужденной, так как ее энергия стала больше (аналогично энергии камня, поднятого на некоторую высоту над землей).

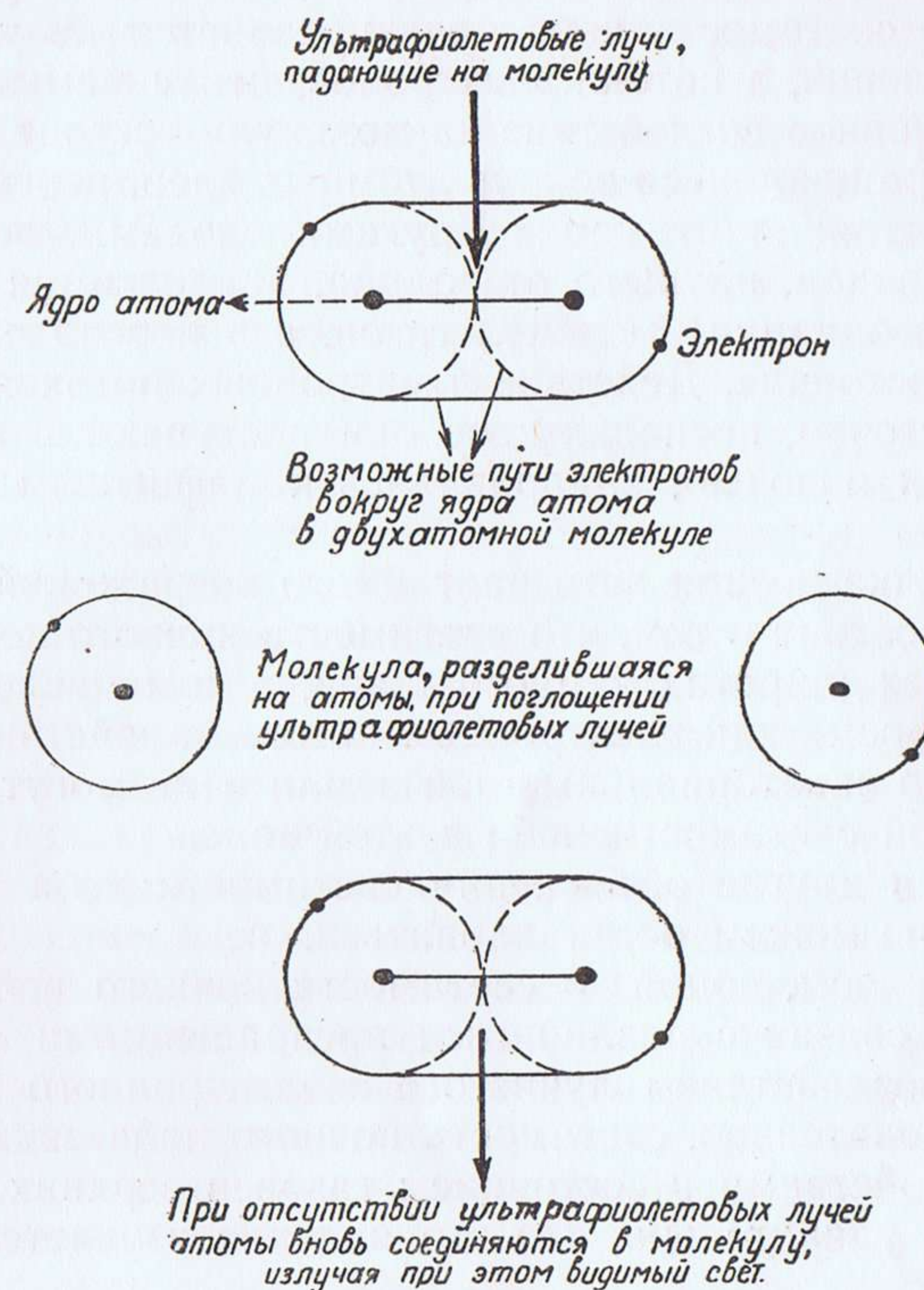


Рис. 36. Схема происхождения светимости ночного неба

Таковы изменения, происходящие в молекулах атмосферного кислорода и азота под влиянием поглощения ультрафиолетовых лучей.

Ночью, когда солнечные лучи не освещают атмосферу, все постепенно «становится на свое место»: атомы опять соединяются в молекулы, вырванные электроны опять «пристают» к атомам, а электроны, удаленные от ядер атомов, приближаются к ним на прежнее расстояние. При этом поглощенные днем ультрафиолетовые лучи молекула излучает обратно, но

уже в виде красных, зеленых, желтых и других лучей, видимых глазом.

Так объясняется происхождение светимости атмосферы ночью.

Однако существует и другая точка зрения, согласно которой источником всех изменений, происходящих в молекуле и вызывающих светимость неба ночью, является не ультрафиолетовое излучение, а потоки электронов, испускаемые солнцем. При этом основное воздействие на молекулу состоит в том, что электроны, вращающиеся вокруг атомных ядер, переводятся на большие расстояния от ядра. Другими словами, воздействие потока электронов, идущего от солнца, заключается не в разрыве (диссоциации) молекул газов, а в переводе их в возбужденное состояние. Действие электронных потоков происходит круглосуточно, поскольку все они поступают в атмосферу как днем, так и ночью, направляясь к магнитным полюсам земли.

Но эта точка зрения встречает много возражений. Главное возражение состоит в том, что светимость ночного неба наблюдается на всех широтах земного шара, в том числе и на экваторе, в то время как электронные потоки в действительности не доходят до экваториальных зон земли и не могут поэтому быть причиной светимости неба в этой зоне.

Имеются и другие объяснения светимости неба ночью, на которых мы не можем останавливаться.

Таким образом, вопрос о светимости ночного неба довольно сложен и связан с различными превращениями молекул и атомов под воздействием лучистого и электронного излучения солнца. Следовательно, светимость ночного неба связана с физическими свойствами и состоянием газов в верхних слоях атмосферы. Не удивительно, что это явление изучается во многих странах.

Наибольшая заслуга в разработке сложнейших вопросов светимости атмосферы ночью принадлежит советским ученым (академику В. Г. Фесенкову, профессору И. А. Хвостикову и другим).

ЗАГАДКА СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ

В заключение коснемся одного интересного светового явления, происходящего иногда в верхней границе стратосферы.

Летом 1885 года известный русский астроном Цераский впервые обнаружил на темном сумеречном небе необычайные, никогда не замечавшиеся ранее, полупрозрачные, ярко светящиеся облака серебристо-голубоватого цвета.

Эти облака, получившие благодаря своему яркому свечению название «серебристых», вызвали живой интерес и стали объектом изучения во всех странах.

Вскоре выяснилось, что серебристые облака возникают на небе не всегда, а видны лишь в летние месяцы, и до тех пор, пока освещаются лучами зашедшего за горизонт солнца. Следовательно, облака эти отражают солнечный свет и собственного свечения не имеют.

Затем было установлено, что серебристые облака всегда появляются на одной и той же высоте над землей, равной 82 километрам. Далее ученые нашли, что облака эти обладают поразительно большой скоростью движения, достигающей иногда до нескольких сот километров в час. Эта громадная скорость движения серебристых облаков сразу обратила на себя внимание, и было высказано предположение, что вращение высоких слоев атмосферы отстает от вращения земли.

Станным казалось также то обстоятельство, что возникают эти облака, так же как и полярные сияния, в высоких широтах, двигаются преимущественно на юго-запад, а затем исчезают, «прожив» несколько часов или несколько суток.

Что же это за облака, почему они возникают всегда на высоте, соответствующей нижней границе полярных сияний?

Строя различные догадки по поводу этого явления, ученые сначала предположили, что серебристые облака представляют собою скопление мельчайшей вулканической пыли, забрасываемой на эту высоту при извержениях вулканов. Другие ученые, также склоняясь к мнению о пылевом характере серебристых облаков, высказывали соображения, что пыль эта представляет собою продукты сгорания метеоров.

Однако такая точка зрения на природу серебристых облаков хотя и имела некоторое распространение, все же не объясняла целого ряда обстоятельств.

Во-первых, она не объясняла, почему эти облака возникают только в высоких широтах (50—70° географической широты), хотя сгорание метеоров и распространение вулканической пыли происходит по всей атмосфере. Во-вторых, частички вулканической или космической пыли располагаются в атмосфере на различных высотах, а не только на высоте 82 километра.

Эти обстоятельства заставляют отвергнуть предположение о чисто пылевом происхождении серебристых облаков.

Затем было высказано предположение, что серебристые облака представляют собою водяной пар, поднявшийся из тропосферы и превратившийся в мельчайшие ледяные кристаллики. Но и в этом случае непонятно, почему столь высокие поднятия водяного пара имеют место только в высоких широтах, а не по всей атмосфере.

После этого была высказана интересная точка зрения на этот вопрос, которая в конце концов частично получила свое подтверждение.

В основе ее опять лежит предположение, что серебристые облака представляют собою скопления ледяных кристалликов или мельчайших капелек воды.

На указанных высотах и географических широтах вода образуется вот каким образом.

Всем известно, что молекула воды состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода. Верхние же слои атмосферы (так же, как и нижние) состоят в основном из кислорода и азота.

Днем, под воздействием ультрафиолетовых лучей солнца, молекула кислорода распадается на атомы, то есть происходит превращение молекулярного кислорода в атомный кислород. Для того чтобы образовалась молекула воды, необходимо к этому атому кислорода присоединить два атома водорода. Так как водорода в верхних слоях атмосферы нет, то была высказана догадка, что атомы водорода поступают в атмосферу от солнца в периоды особенно бурной его деятельности, связанной с появлением на солнечном диске темных пятен. Эта догадка была связана с тем фактом, что серебристые облака появляются на небе именно тогда, когда на солнце возникают пятна.

Несущиеся с большой скоростью из недр солнечных пятен атомы водорода, будучи заряжены (лишены электрона), достигают земной атмосферы и вторгаются в нее, следуя, так же как и электроны, вокруг магнитных силовых линий.

На высоте 80 километров, соответствующей нижней границе полярных сияний, скорость атомов водорода замедляется, и они вступают во взаимодействие с атомами кислорода, образуя молекулы воды. Взаимодействие молекул воды приводит к образованию скоплений ледяных кристалликов, образующих серебристые облака.

Чтобы эта догадка могла перейти в объяснение происхождения серебристых облаков, необходимо было доказать, что в периоды повышенной солнечной деятельности (образование пятен) в земную атмосферу действительно поступает водород.

Началась «ловля» водорода, и через несколько лет было доказано, что действительно в периоды появления на солнце пятен в земную атмосферу поступает некоторое количество атомного водорода. Последний скоро исчезает, вступая во взаимодействие с атомами кислорода и образуя воду в виде скоплений ледяных кристалликов.

Таково, повидимому, наиболее правдоподобное объяснение происхождения серебристых облаков. Оно объясняет пре-

имущественное появление этих облаков на высоких географических широтах и устанавливает связь их с солнечной деятельностью.

Но основная особенность серебристых облаков — удивительное постоянство их высоты — получила объяснение лишь совсем недавно, в 1951 году. Для того чтобы кристаллики льда, из которых состоят серебристые облака, могли существовать на этой высоте часами не испаряясь, они должны находиться при очень низкой температуре, порядка $70-90^{\circ}$ ниже нуля.

Если же кристаллики попадут в слои с более высокой температурой, то в условиях низкого давления, господствующего на этих высотах (в сотни тысяч раз меньшего, чем у поверхности земли), эти кристаллики быстро испарятся.

Подсчеты советских ученых доказали, что необходимая для существования серебристых облаков низкая температура существует лишь в тонком слое воздуха на высоте 80—83 километра. Выше и ниже этого слоя температура воздуха более высокая. Поэтому, если серебристое облако опустится ниже этого слоя или поднимется выше его, то оно почти мгновенно испарится. Это положение является основным доказательством того, что серебристые облака состоят из кристалликов льда.

Итак, наблюдения и попытки объяснения этого интересного и редкого светового явления привели к важным выводам, касающимся физических процессов, совершающихся в верхних слоях атмосферы.

Если вы увидите когда-нибудь на темном сумеречном небе высокие ярко светящиеся облака, сквозь которые просвечивают звезды и на фоне которых самые высокие перистые облака кажутся уже темными, то это и есть редкие и загадочные серебристые облака. Сообщение о месте и времени появления облаков, характере движения, виде и продолжительности существования может представить значительный научный интерес.

* * *

В небольшой книге невозможно рассказать обо всех световых явлениях — их слишком много в природе. Мы не коснулись, например, вопроса о природе противосияния, возникающего при заходе солнца на противоположной стороне небосвода, не остановились и на таком любопытном явлении, как кажущееся увеличение вблизи горизонта размеров луны и созвездий.

Читатель мог видеть, что изучение и установление связей между различными явлениями природы помогают человеку шаг

за шагом проникать в ее «тайны» и постепенно подчинять ее своим интересам.

Автор считал бы свою задачу выполненной, если бы у читателя возникло желание не только познакомиться со всеми затронутыми вопросами более глубоко и подробно, но также и приступить к систематическим наблюдениям за явлениями, описанными в этой книге.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
Общие сведения об атмосфере	5
Радуги	10
Главная радуга	11
Двойная радуга и другие, более сложные, виды радуг.	17
Лунная радуга	21
Связь радуги с другими явлениями природы	22
Кольца вокруг солнца и луны. Световые кресты и столбы	25
Редкие виды околосолнечных колец	33
Ложные солнца	34
Световые столбы	37
Световые кресты и мечи	39
Связь явлений околосолнечных колец с другими явлениями природы	42
Миражи	44
Верхние миражи	47
Фата-моргана	50
Явления, связанные с рассеянием света в атмосфере	51
Почему небо голубое?	54
Сумерки. Белые ночи	58
Явление зоревых окрасок неба	61
Прозрачность атмосферы. Дымка и туманы, как световые явления	65
Световые явления, происходящие в высоких слоях атмосферы.	76
Полярные сияния	76
Светимость атмосферы в ночное время	84
Загадка серебристых облаков	88