

А. Щетников

Радуга



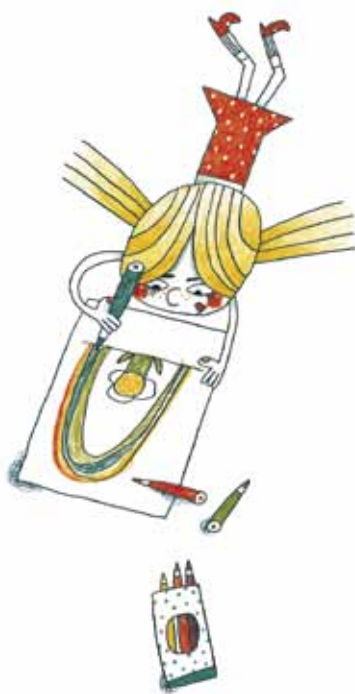
Рис. 1

Радугу видели все, и все любовались её красками. Многие слышали о том, что это явление связано с преломлением солнечных лучей на капельках прошедшего дождя; но не каждый может внятно объяснить, как оно возникает. В этой статье мы поговорим о возникновении радуги. Мы перечислим разные наблюдаемые свойства радуги и объясним их с точки зрения физики. Мы начнём с самых простых свойств, на которые из-за их простоты редко кто обращает внимание. Но эти свойства тоже важны для понимания природы радуги, и мы поговорим о них подробно.

Геометрия радуги

Радуга появляется на небе после дождя. Для этого нужно, чтобы дождь прошёл в одной стороне, а с противоположной стороны неба на оставленную им в воздухе водяную пыль светило солнце. По этой причине летом мы почти никогда не видим радугу днём – ведь днём солнце стоит высоко, а значит, радуга может наблюдаться только напротив, ниже горизонта. Поэтому такую радугу можно увидеть только в непосредственной близости. К примеру, разбрызгав воду до состояния пыли (зажав пальцем сильную струю или с помощью пульверизатора) можно получить самодельную радугу в любой солнечный день. Обычное же время для радуги – вторая половина дня, ближе к вечеру. При этом солнце находится в западной половине неба, а капельки дождя и радуга – в восточной половине. Иногда можно увидеть радугу утром, когда солнце находится на востоке, а прошедший дождь – на западе. Но такие утренние дожди происходят редко, так что радуга чаще всего наблюдается вечером.

Радуга выглядит как часть окружности. Эта окружность всегда имеет один и тот же видимый размер. Радуга видна повсюду на «расстоянии» 42° от направления падения солнечных лучей (см. рис. 2 и 3), поэтому она и кажется окружностью. Этот угол обусловлен свойствами воды и видимых лучей света, поэтому, например, масляная радуга (полученная на масляных капельках) была бы значительно меньше.



КАК ЭТО УСТРОЕНО



Такое «круговое» строение радуги несложно обосновать. Каждая капелька воды при попадании на неё параллельных солнечных лучей отбрасывает часть этих лучей назад. Оказывается, отброшенные лучи чаще всего образуют с направлением на солнце угол 42° . Маленькая водяная капля – это *симметричный шарик*, и поэтому отброшенные лучи расходятся под углом 42° во все стороны от оси, заданной направлением на солнце. Таким образом, отброшенные каждой каплей лучи образуют конус с вершиной в капле (рис. 2).

Видимые наблюдателем лучи проходят через одну точку (глаз наблюдателя), и, как мы уже отметили, составляют 42° с направлением на солнце. Поэтому они сами тоже образуют конус, но уже с вершиной в глазу наблюдающего радугу (рис. 3). Так и получается наблюдаемая нами круговая форма радуги. Про радугу нельзя сказать, что она находится на каком-то определённом расстоянии от нас: отброшенные лучи идут к нам от всех освещённых солнцем капель, которые лежат на воображаемой поверхности «конуса радуги».

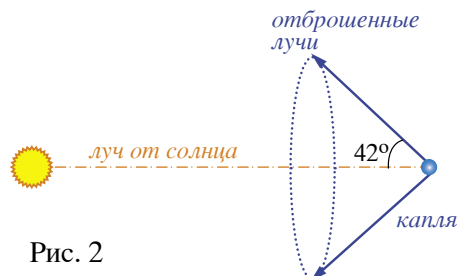


Рис. 2

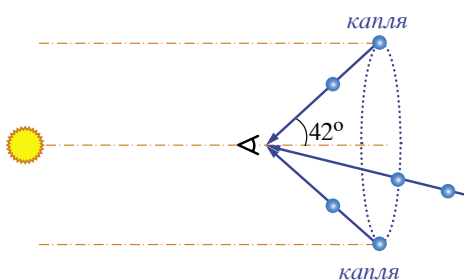
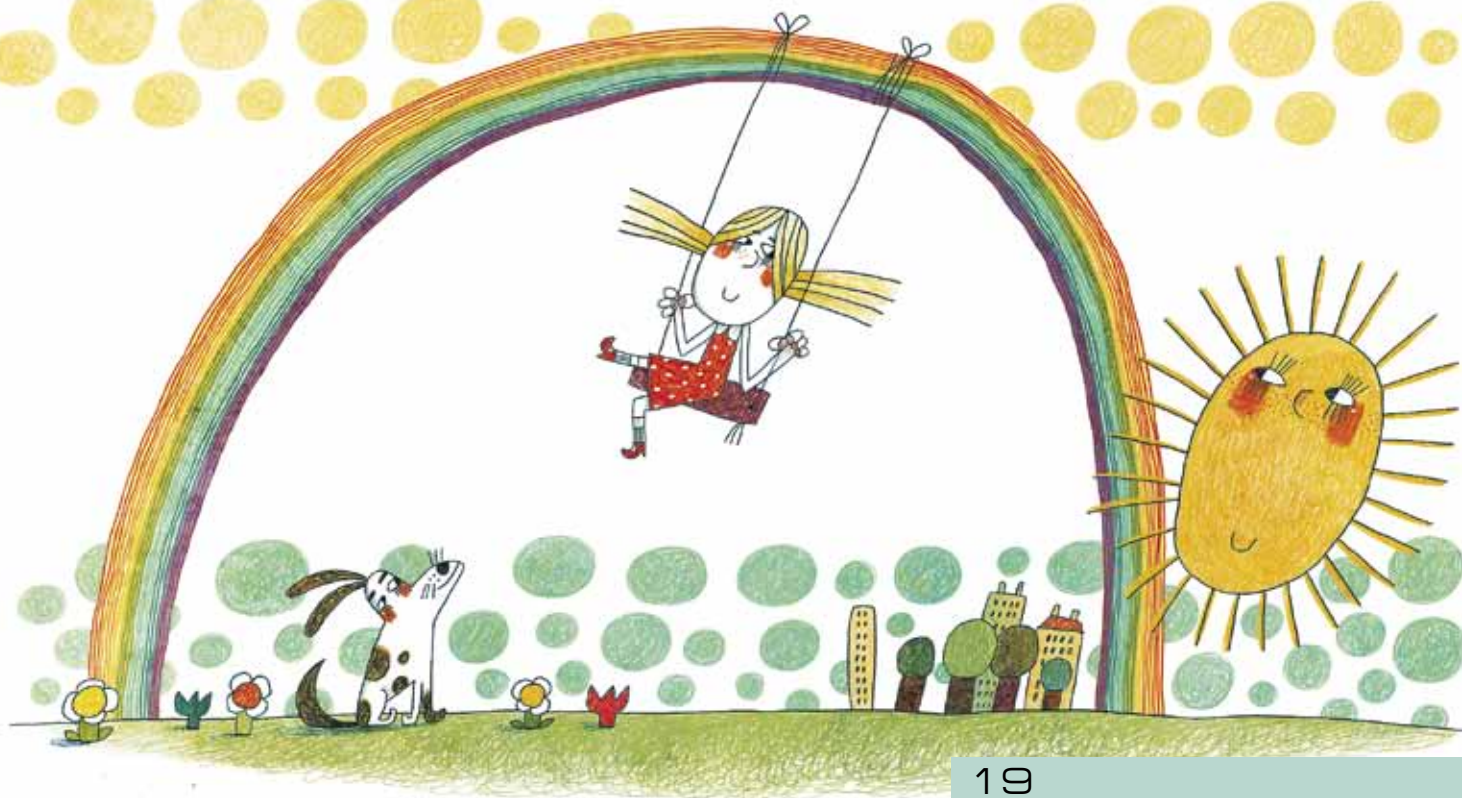


Рис. 3



КАК ЭТО УСТРОЕНО

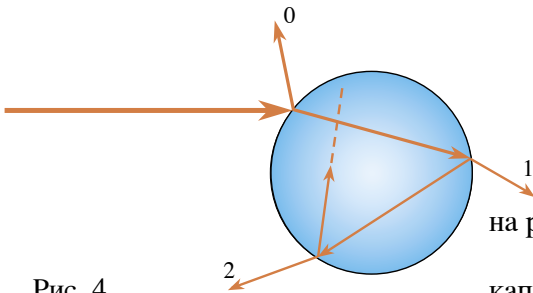


Рис. 4

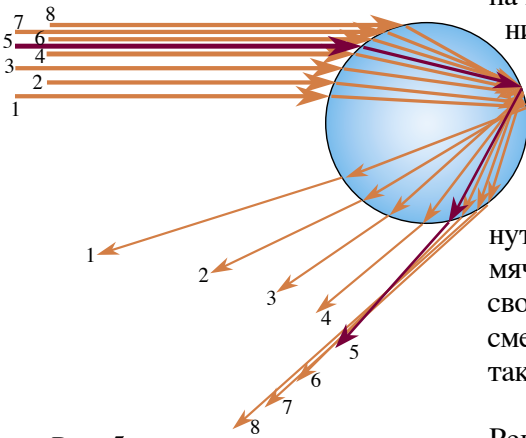


Рис. 5

Как происходит преломление светового луча в капле?

Нарисуем путь какого-нибудь луча, попавшего в круглую каплю. При каждом попадании на границу раздела воды и воздуха, будь то снаружи или изнутри, упавший луч расщепляется на два луча: преломлённый и отражённый, как на рисунке 4.

Рассмотрим теперь много параллельных лучей, падающих на каплю, и проследим за их «потомством» после отражения от внутренней поверхности капли. Обратите внимание на то, что луч номер 5, на входе в каплю ничем не примечательный среди других, на выходе из капли обладает замечательным свойством: он отклонился на самый большой угол (42°) от просто отражённого назад луча. Это значит, что до него этот угол увеличивался при смещении падающего луча, около него оставался почти неизменным, а затем стал уменьшаться. Поэтому количество отброшенных именно в этом направлении лучей значительно больше, чем в любом другом. Сравните преломлённый луч с подкинутым мячиком (он тоже сначала летит вверх, а затем вниз). Этот мячик дольше всего будет находиться в самом верхнем участке своего пути. Там он как будто на некоторое время замирает, чтобы сменить направление скорости, тогда как любой другой участок такой же длины он пролетает со значительной скоростью.

Это объяснение радуги впервые дал французский учёный Рене Декарт в своей знаменитой книге «Рассуждение о методе» (1637) – одном из первых сочинений по новой философии, математике и физике. В честь Декарта световой луч, отклоняющийся при преломлении на каплях жидкости на наибольший угол, называется лучом Декарта.

Заметим ещё, что хотя на рисунке 4 лучи 0 и 1 ярче, чем рассмотренный нами луч 2, радуги они не образуют. Это объясняется тем, что для них нет луча с максимальным углом отклонения (как луч 5 на рисунке 5), они распределены по направлениям равномерно, а потому их яркость в любом направлении сравнительно мала.



Рис. 6



Рис. 7

Фото: Wing-Chi Poon



КАК ЭТО УСТРОЕНО

Семь цветов радуги

Однако, согласно приведённым рассуждениям, мы должны наблюдать вовсе не радугу, а просто светящееся кольцо в небе, белую радугу (сравните рисунки 6 и 7). Причина недоразумения в том, что лучи разного цвета ведут себя при преломлении немного по-разному, и наблюдаемое кольцо синего цвета (синяя часть радуги) немного уже и находится внутри остальных колец (см. рис. 1). «Следующим» идёт зелёное кольцо и так далее. В результате образуется множество вложенных друг в друга колец разного цвета, а это и есть радуга!

Белый солнечный свет содержит все цвета радуги. Это можно показать, разложив солнечный луч на лучи разных цветов с помощью призмы (рис. 8) (но лучше всего это, несомненно, показывает сама радуга, ведь её «цвета радуги» – лишь преломлённые солнечные лучи!). На приведённых выше рисунках мы следили за лучами одного цвета – например, красного. Синие лучи преломляются сильнее всего, красные – слабее всего. По этой причине и в радуге синему лучу соответствует наибольший угол отклонения от исходного направления, красному – наименьший.



Рис. 8

Каждый охотник желает знать, где сидит фазан

Вопросы

1. На рисунке 1 хорошо видно, что небо внутри радуги светлее неба снаружи радуги. Объясните этот эффект.
2. Иногда, когда радуга оказывается особенно яркой, снаружи основной радуги видна ещё одна радуга меньшей интенсивности. Попробуйте понять причину появления таких кратных радуг.

