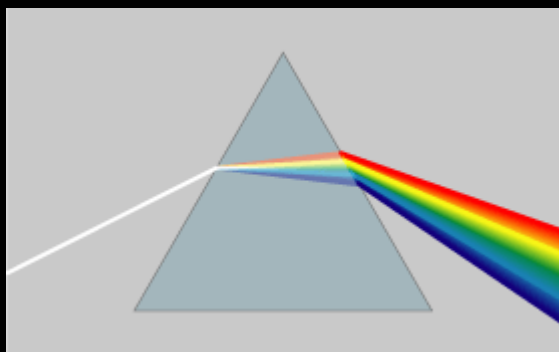


Радуга

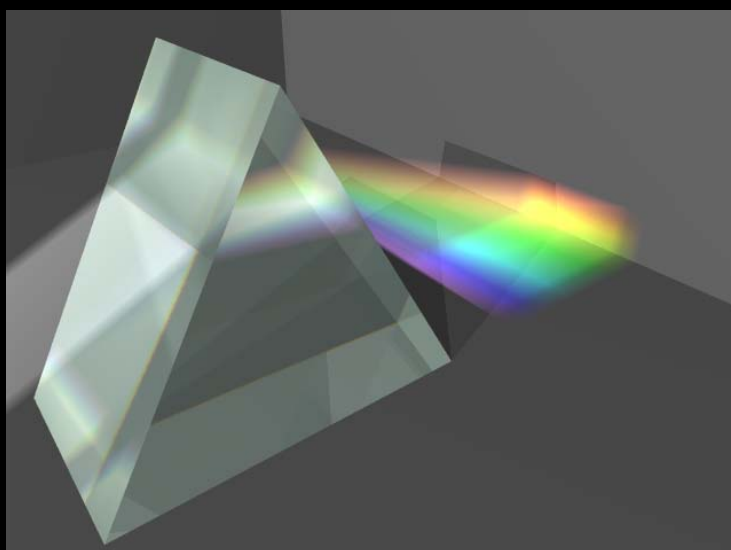
В.Н. Витер

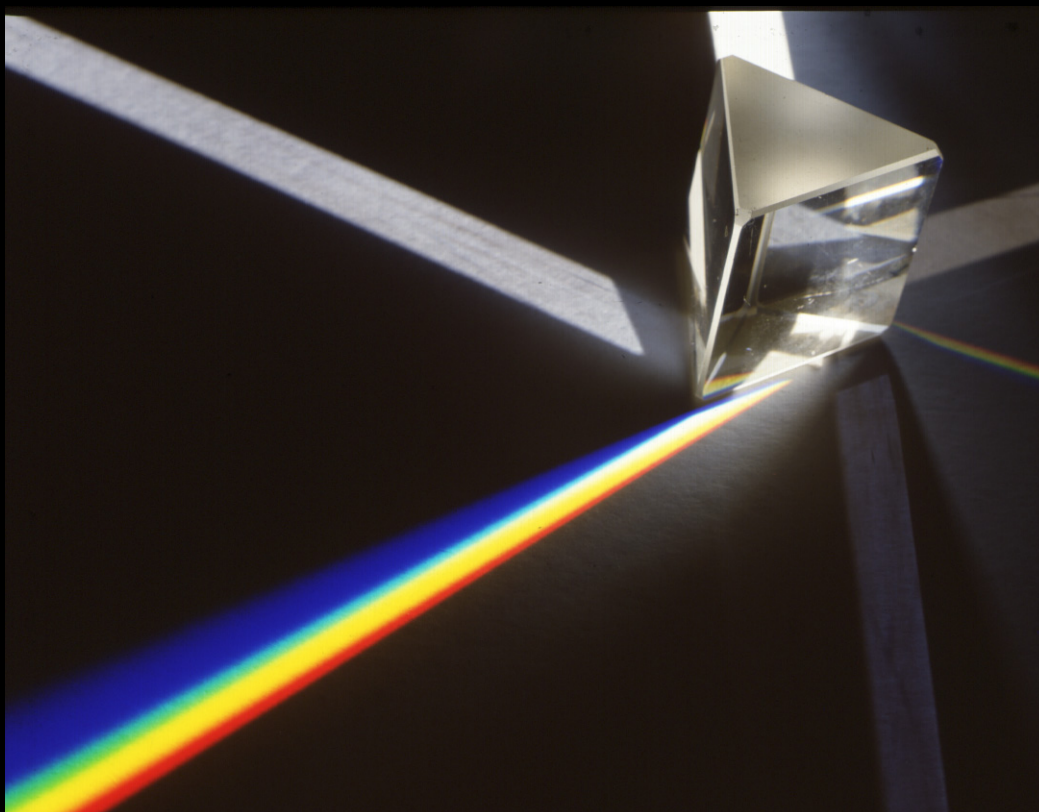
День клонится к вечеру, на небе сгущаются тучи, идет проливной дождь. Фронт дождя уходит вперед, позади нас из-за туч появляется Солнце. Неожиданно впереди вспыхивает красивая дуга, окрашенная во все цвета. Верхняя часть дуги красная, далее красный плавно переходит в оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и, наконец, в фиолетовый цвет. Перед нами появляется радуга. Если повезет, радуга получится яркой и будет простираться через все небо, но значительно чаще приходится наблюдать сравнительно тусклые радуги, которые не касаются обеими сторонами горизонта.

Физическая суть явления очень проста: белый свет отражается и преломляется внутри капель дождя. Угол преломления зависит от длины волны света. Чем меньше длина волны, тем больше угол преломления. Итак, оранжевый свет отклоняется внутри капли сильнее, чем красный, желтый – сильнее, чем оранжевый и т.д. Больше всего отклоняется при прохождении поверхности воздух-вода фиолетовый свет. В результате белый цвет распадается на непрерывный спектр. Такое явление называется дисперсия света. Дисперсию света удобно наблюдать с помощью стеклянной трехгранной призмы.



Дисперсия белого света





Именно благодаря дисперсии света бриллианты и другие драгоценные камни переливаются всем цветами радуги.



Фианит – кубическая модификация диоксида циркония ZrO_2 . По оптическим характеристикам напоминает алмаз

Явление дисперсии света было известно с глубокой древности. Еще тысячи лет назад люди наблюдали разложение белого света на гранях природных кристаллов. Однако научное исследование дисперсии света началось примерно в 17 веке. Большой вклад в эту область внесли работы И. Ньютона. Для опытов Ньютон воспользовался стеклянными призмами и ставней с дыркой, через которую проникал луч света. Вопреки устоявшемуся мнению, Ньютон не был ни первым, ни единственным, кто проделал подобные эксперименты, но его работы оказались наиболее основательными, а главное – получили широкую огласку.



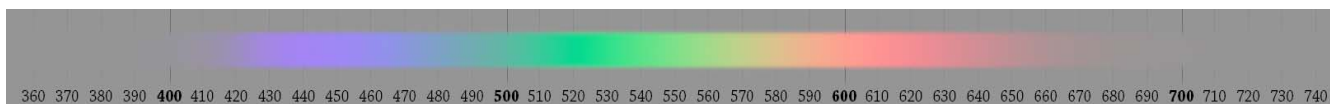
Эксперименты Ньютона

Принято различать семь основных цветов радуги. Однако между этими цветами нет четкой границы: переход между основными цветами в спектре довольно плавный, с множеством промежуточных оттенков. Первоначально Ньютон (1672) выделил только пять цветов радуги: красный, желтый, зеленый, голубой и фиолетовый. И лишь позднее он добавил к ним оранжевый и синий цвета. Так возникло деление видимого спектра семь цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. Запомнить названия цветов очень просто, в этом нам поможет фраза:

Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан

Начальные буквы слов соответствуют цветам спектра.

Не трудно догадаться, что деление видимого света на семь основных цветов достаточно условно. По сути, это обыкновенная договоренность, которая действует в большинстве стран мира. В большинстве, но не во всех, например, в Японии выделяют только шесть основных цветов радуги.



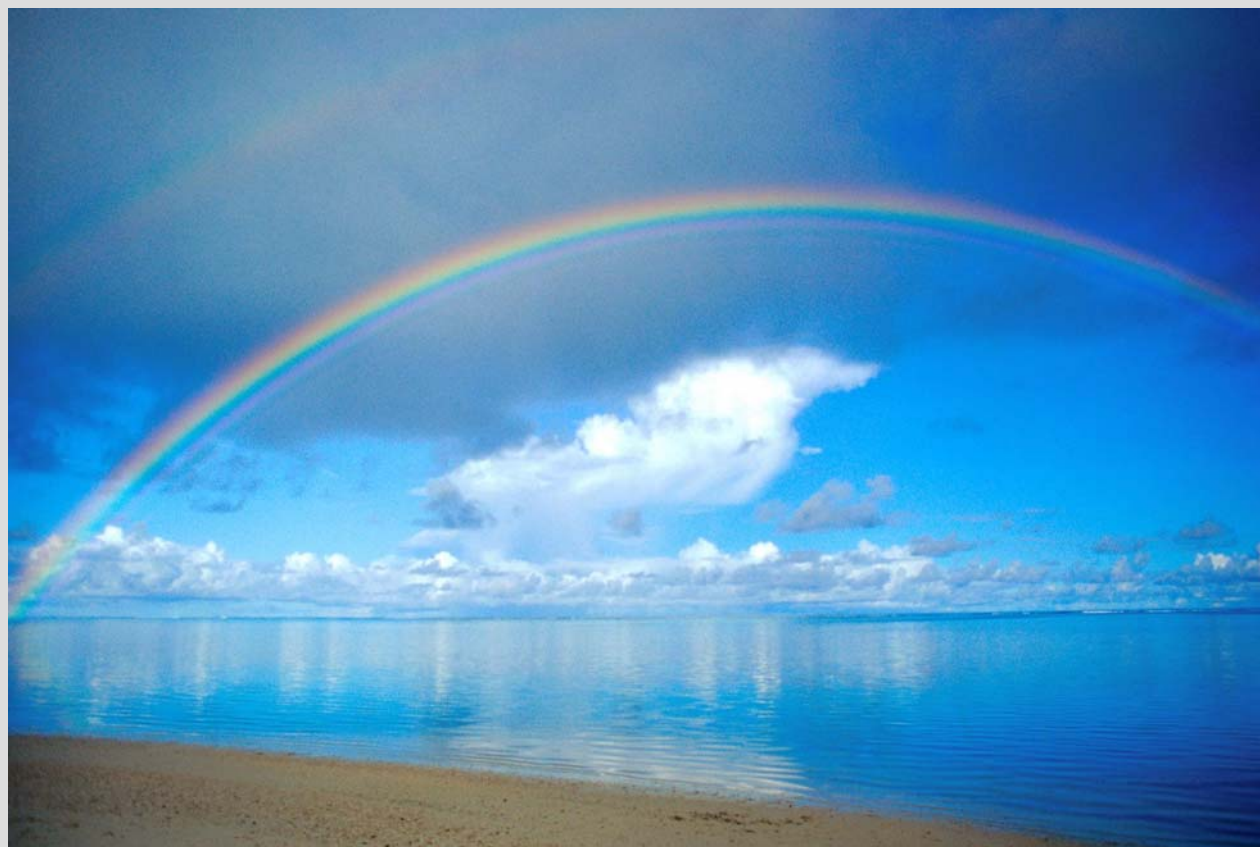
Спектр

Основные цвета видимого спектра

Цвет	Диапазон длин волн, нм	Диапазон частот, ТГц	Диапазон энергии фотонов, эВ
Красный	625—740	480—405	1.68—1.98
Оранжевый	590—625	510—480	1.98—2.10
Желтый	565—590	530—510	2.10—2.19
Зеленый	500—565	600—530	2.19—2.48
Голубой	485—500	620—600	2.48—2.56
Синий	440—485	680—620	2.56—2.82
Фиолетовый	380—440	790—680	2.82—3.26





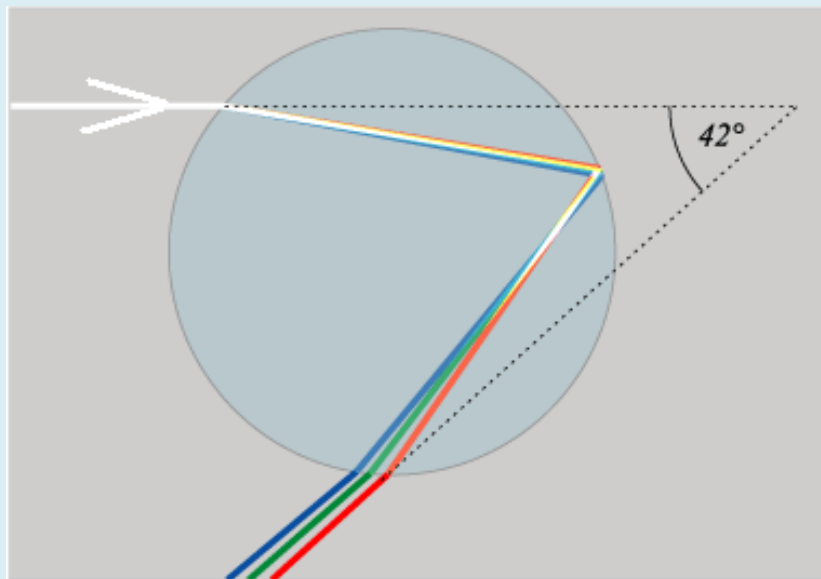




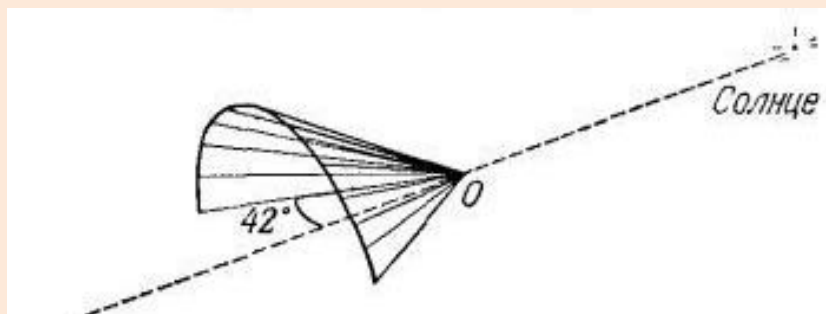




С дисперсией света мы более-менее разобрались, теперь посмотрим, какой путь луч света проходит в капле дождя.



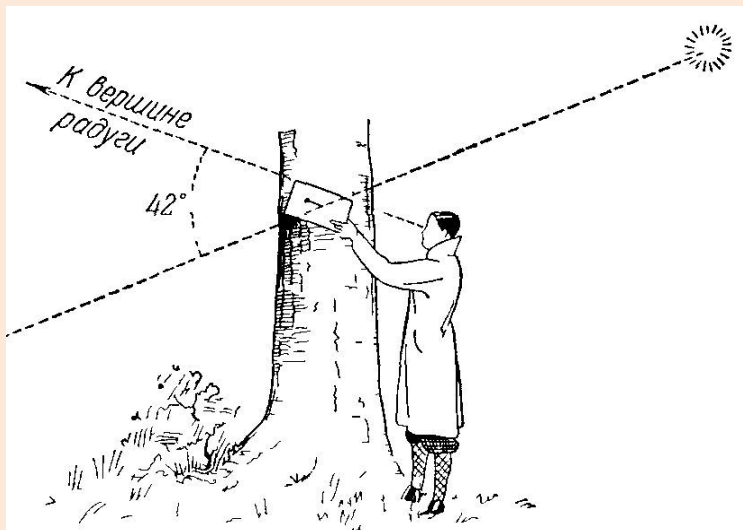
Свет, попадая в каплю дождя, отражается от ее внутренней поверхности под углом 42° . В результате наблюдатель видит радугу именно под этим углом. Радуга представляет собой дугу окружности, причем, чем ниже над горизонтом Солнце, тем большую часть дуги мы видим. Когда Солнце заходит, можно наблюдать радугу в виде полукруга. Линия, проведенная через Солнце и глаз наблюдателя, проходит через центр этой окружности. При этом Солнце находится позади наблюдателя, а радуга впереди. Если вы хотите увидеть одновременно и Солнце и радугу, придется воспользоваться зеркалом.



Относительное расположение радуги, наблюдателя и Солнца

С другой стороны, чем выше Солнце над горизонтом, тем ниже над горизонтом радуга (и тем меньший отрезок дуги мы можем наблюдать). Когда Солнце поднимется выше 42° , радуга скроется за горизонтом, именно поэтому в средних широтах радугу можно наблюдать только вечером или утром.

Измерить положение радуги относительно горизонта и Солнца довольно просто. Прикрепите к дереву булавкой прочный лист бумаги, чтобы его сторона указывала на вершину радуги. Тень от булавки укажет направление линии, которая соединяет Солнце и наблюдателя. Эти прямые образуют между собой угол 42° .



Определение положения радуги относительно Солнца и горизонта

Половина окружности радуги – это максимум, что можно увидеть с поверхности земли, но если наблюдатель находится достаточно высоко над поверхностью (например, в самолете, в горах или в высоком здании) иногда удастся увидеть круглую радугу.





Круглая радуга

Чаще всего мы видим в небе только одну радугу (первичную), однако над ней расположена еще одна радуга – вторичная. Вторичная радуга, как правило, довольно слабая, и ее далеко не всегда можно заметить. Такая радуга образуется в результате двукратного отражения солнечных лучей в капельках дождя. Порядок цветов во вторичной радуге обратный по сравнению с первичной (снаружи фиолетовый, а внутри красный).

Вторичная радуга обращена к наблюдателю под углом примерно $50-53^\circ$.

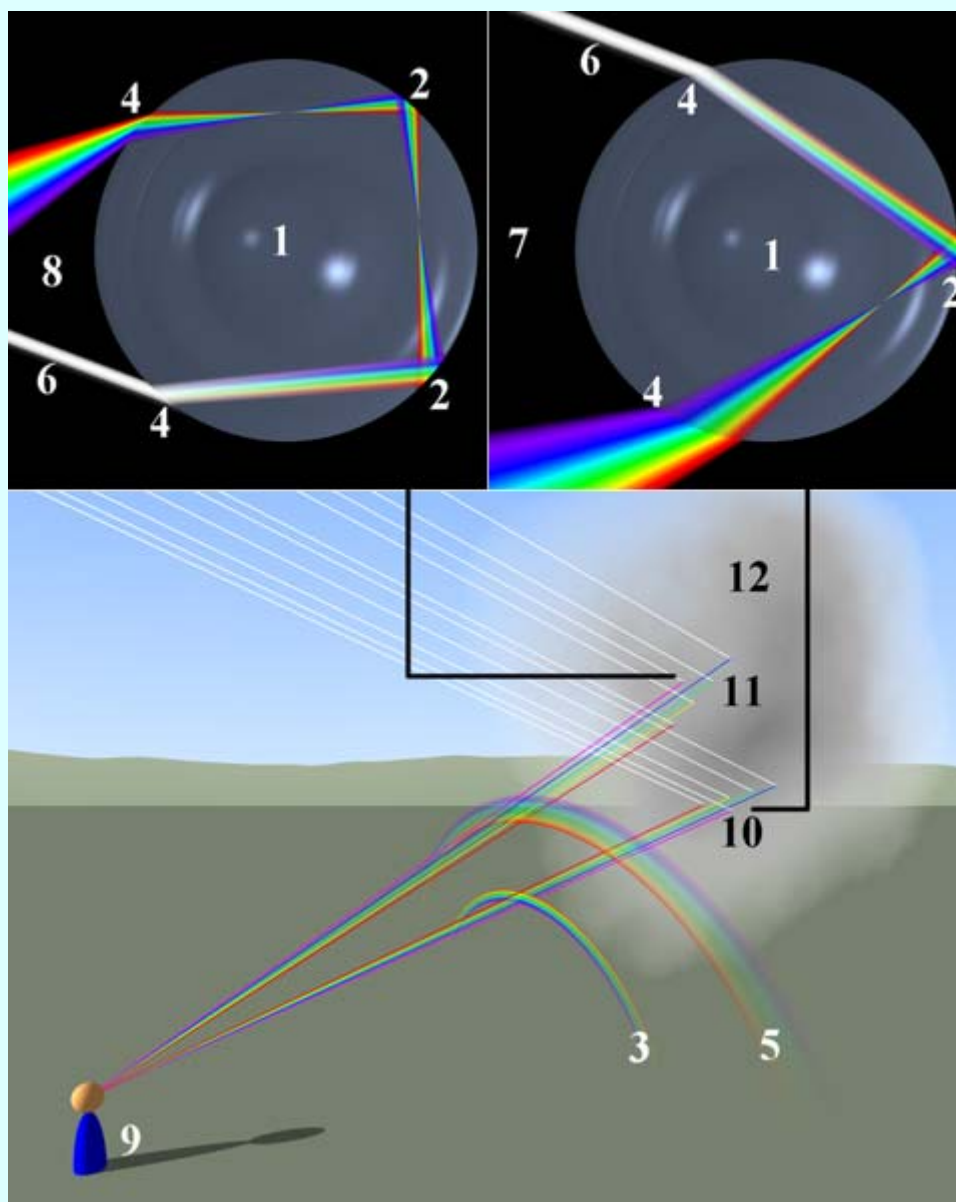


Схема образования первичной (справа) и вторичной (слева) радуги

1 - сферическая капля, 2 - внутреннее отражение, 3 - первичная радуга, 4 - преломление, 5 - вторичная радуга, 6 - входящий луч света, 7 - ход лучей при формировании первичной радуги, 8 - ход лучей при формировании вторичной радуги, 9 - наблюдатель, 10 - область формирования первичной радуги, 11 - область формирования вторичной радуги, 12 - облако капелек



Первичная и вторичная радуга







В большинстве случаев мы наблюдаем радугу с расстояния в 1-2 километра, однако иногда радугу удавалось наблюдать с расстояния в несколько десятков метров, и даже с расстояния 3-4 метра. Есть поверье, что в месте, где радуга касается земли, зарыт горшок с золотом. Проверить это утверждение непросто, поскольку положение радуги зависит от положения наблюдателя.

Существуют также и другие разновидности радуги. Рассмотрим некоторые из них.

Лунная радуга

По своему принципу лунная радуга абсолютно аналогична солнечной, разница состоит в том, что Луна дает значительно меньше света. Практически лунную радугу удастся наблюдать только при полной Луне. Человеческий глаз способен различать цвета лишь при достаточном освещении, поэтому лунная радуга чаще всего белая. Чтобы получить цветное изображение лунной радуги делают фотографии со значительной экспозицией.



Лунная радуга





Туманная радуга

Если капельки воды очень маленькие (сопоставимые с длиной волны света), дисперсия света на них практически не происходит и радуга выглядит белой. Иногда туманная радуга все же слегка окрашена: ее внутренняя сторона может быть немного фиолетовой, а внешняя – оранжевой.

Небольшую туманную радугу можно наблюдать при свете прожекторов, уличных фонарей, иногда даже от керосиновой лампы или свечи.



Туманная радуга

Красная радуга

Если радуга наблюдается перед закатом Солнца, в последние 5-10 минут все цвета радуги начинают исчезать, в результате остается только красный. Иногда такая радуга может быть очень яркой и наблюдаться даже через десять минут после захода Солнца. По мере того, как Солнце уходит все дальше за горизонт, нижняя часть радуги постепенно исчезает.



Красная радуга







Отраженная радуга

Радуга может наблюдаться не только от прямых солнечных лучей, но и от солнечного света, отраженного спокойной поверхностью воды, например, озером. В результате одновременно с нормальной радугой возникнет вторая – «отраженная». «Отраженная» радуга смещена относительно «обычной», и, как правило, видна лишь частично.



Нормальная и «отраженная» радуги над озером

«Маленькие» радуги

Практически каждому из нас приходилось видеть небольшие радуги, которые возникали, когда Солнце освещает брызги от садового шланга, пульверизатора, фонтана, водопада или морских волн. Такие радуги могут значительно различаться по интенсивности: в зависимости от плотности и размера облака водяных брызг, а также от размера самих капель.

По физической сути такие радуги аналогичны «большим» радугам, которые возникают во время дождя. Более того, если брызги от садового шланга дают цветную радугу, то брызги от пульверизатора для комнатных растений часто слишком мелкие и дают туманную (белую) радугу. Цветная радуга от пульверизатора может наблюдаться тогда, когда капельки успеют объединиться в более крупные.









