



ИНФОРМАЦИОННЫЕ
И КОММУНИКАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЕ

Капустина Е.В.

ФИЗИКА

КОНСПЕКТЫ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ

ОПТИЧЕСКИЕ
ЯВЛЕНИЯ

8

Урок №7.

Дисперсия.

1. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ ПО ОПТИКЕ ИСААКА НЬЮТОНА.

*Как неожиданно и ярко,
На влажной неба синеве,
Воздушная воздвиглась арка
В своем минутном торжестве!
Один конец в леса вонзила,
Другим за облака ушла –
Она полнеба охватила
И в высоте изнемогла.*

*О, в этом радужном виденье
Какая нега для очей!
Оно дано нам на мгновенье,
Лови его - лови скорей!
Смотри - оно уж побледнело,
Еще минута, две - и что ж?
Ушло, как то уйдет всецело,
Чем ты и дышишь, и живёшь.*

В этих философских строках русский поэт Фёдор Иванович Тютчев (1803-1873) описывает красоту удивительного физического явления и проводит символические параллели между миром Природы и жизнью Человека. Мы говорим о радуге (рис.1).

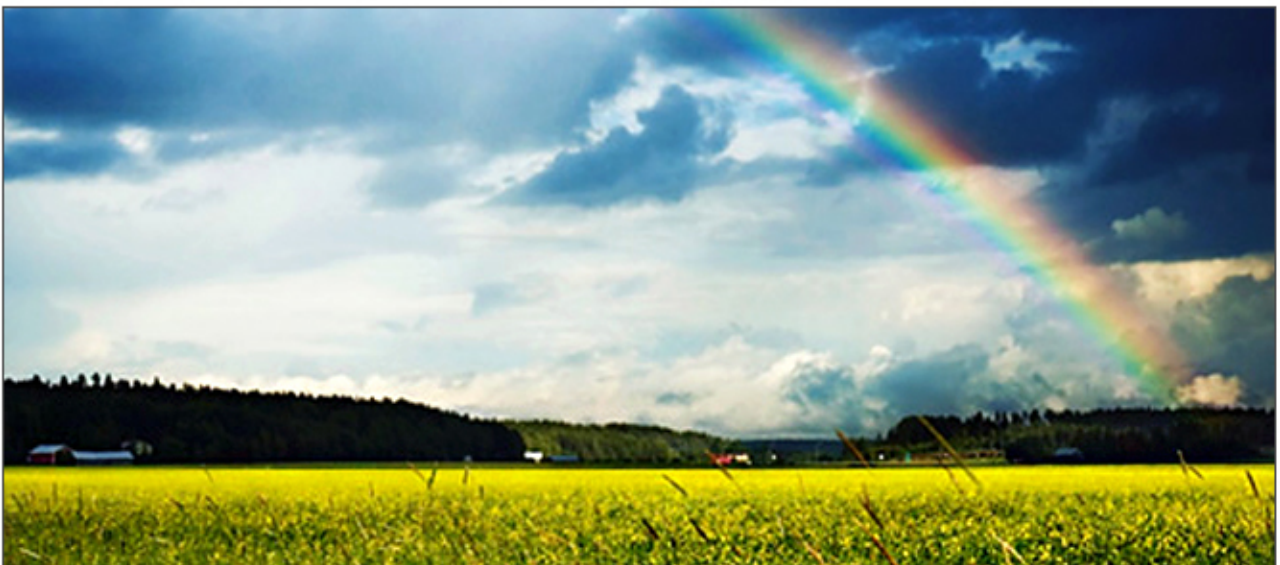


Рис. 1. Радуга

Происхождение радуги объясняется явлением дисперсии света в каплях воды.

Раскроем физический смысл явления дисперсии. Уже в I веке нашей эры было известно, что при прохождении через прозрачный монокристалл с формой шестиугольной призмы солнечный свет разлагается в **цветную полоску** (рис.2). Еще раньше, в IV в. до нашей эры, древнегреческий ученый Аристотель выдвинул свою теорию цветов. Он полагал, что основным является солнечный (белый) свет, а все остальные цвета получаются из него прибавлением различного количества темного цвета. Таким образом, из этой теории следовало, что цвета радуги сложные, а солнечный свет простой. Несмотря на создание стеклянных призм и проведение многочисленных опытов по разложению солнечного света, в науке вплоть до XVII века продолжало господствовать учение Аристотеля о цвете.

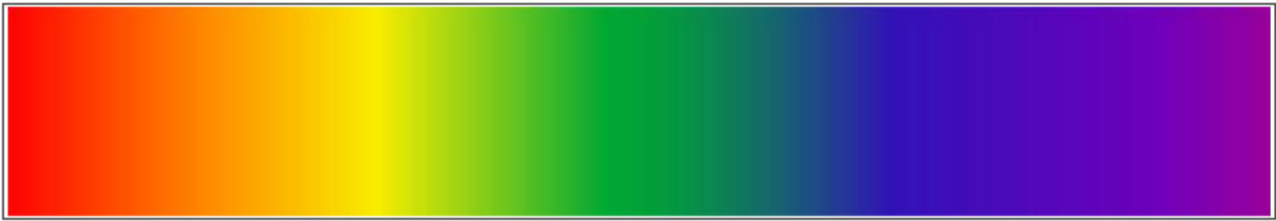


Рис. 2. Сплошной спектр солнечного света

Значительный научно-практический вклад в развитие оптики внес великий деятель науки, английский математик и физик Исаак Ньютон (1643-1727). Занимаясь усовершенствованием телескопов, Ньютон обратил внимание на то, что изображение, даваемое объективом, по краям окрашено. Исследуя природу цветов, Ньютон придумал и выполнил целый комплекс различных оптических экспериментов. Замечательно, что некоторые из них пережили столетия, и их методика без существенных изменений используется в физических лабораториях до сих пор. Рассмотрим некоторые из них.

Первый опыт был проведен в 1666 году. Прodelав небольшое отверстие в ставне окна затемнённой комнаты, Ньютон поставил на пути пучка лучей, проходивших через это отверстие, стеклянную призму. На противоположной стене он получил изображение в виде радужной полосы чередующихся цветов. Стилизованное изображение опыта Ньютона показано на рисунке 3.



Рис. 3. Исаак Ньютон в своей лаборатории изучает разложение пучка

Полученную в ходе эксперимента радужную полоску, в которой цвета плавно переходили друг в друга, Ньютон разделил на семь цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Саму окрашенную цветную полоску Ньютон назвал спектром (рис.2), а наблюдаемое явление – дисперсией.

Дисперсия света – это явление разложения пучка белого света в набор пучков света разных цветов.

Попытки разложить с помощью призмы пучок света красного, зеленого, синего или другого цвета на пучки света ещё какого-то другого цвета оказались безуспешными. Так, закрыв отверстие красным стеклом, Ньютон наблюдал на стене только красное пятно, закрыв зеленым стеклом, наблюдал зеленое пятно и т. д.

На основании выполненных опытов Ньютон пришел к выводу, что белый свет имеет сложную структуру. Из него можно выделить пучки различных цветов, и лишь совместное их действие вызывает у нас впечатление белого цвета. В 1667 году в последующих опытах Ньютону удалось соединить цветные лучи в белый свет. Для этого он пропустил лучи солнечного света сквозь призму, а затем вышедшие из неё цветные лучи собрал с помощью собирающей линзы. Оказалось, что в месте соединения цветных лучей, действительно, луч стал белого цвета (рис. 4). По прохождению этой точки цветные лучи снова расходятся и располагаются в порядке, обратном обычному спектру.

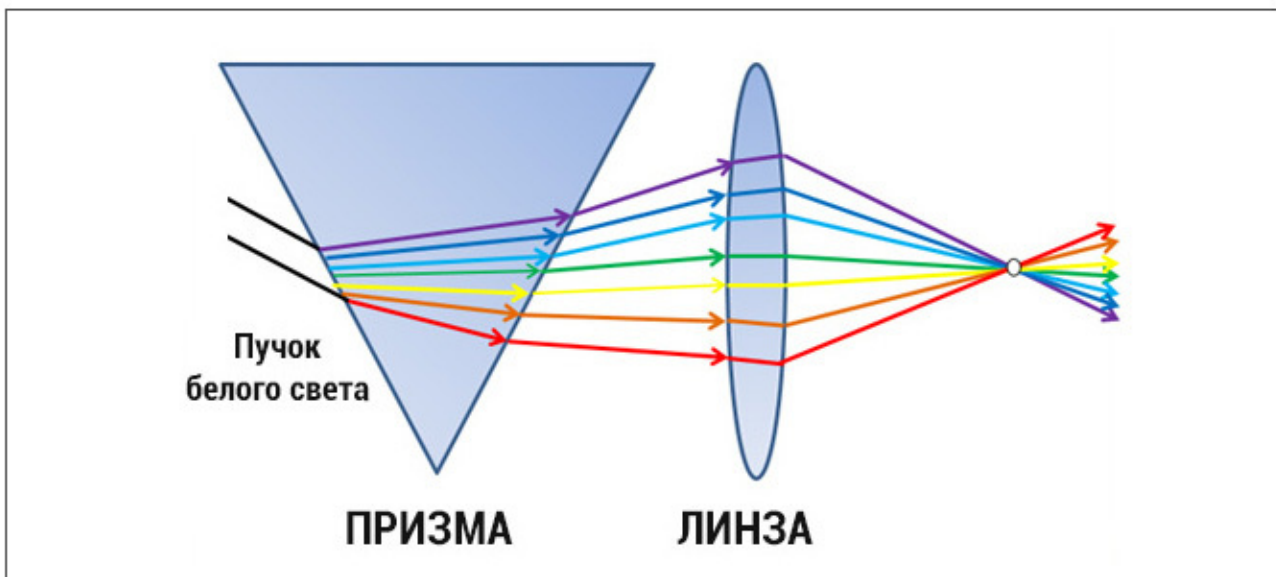


Рис. 4. Синтез белого света

Составление белого света из всех цветных спектральных пучков называется синтезом белого света.

В результате своих исследований Ньютон сформулировал другой важный вывод: все цвета спектра содержатся в самом солнечном свете, а стеклянная призма лишь разделяет их, так как различные цветовые лучи по-разному преломляются стеклом. Наиболее сильно преломляются фиолетовые лучи, меньше других преломляются красные лучи. Таким образом, можно дать ещё одно определение дисперсии.

Дисперсия света - это зависимость показателя преломления света от его цвета.

Среда, в которой наблюдается явление дисперсии, называется диспергирующей средой.

Следует обратить внимание, что разложение белого света на цветные пучки происходит уже на первой грани призмы при переходе света из воздуха в стекло и на второй грани при переходе света из стекла в воздух угол раствора (то есть расхождения) цветных пучков света увеличивается вследствие вторичного преломления (рис.4).

2. ОБЪЯСНЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ДИСПЕРСИИ.

Для объяснения явления дисперсии следует вспомнить следующие научные факты.

Свет — это электромагнитная волна. Физические характеристики световой волны — частота колебаний, длина волны и скорость распространения волны в среде — связаны между собой формулой:

$$v = \lambda \cdot \nu, \text{ где}$$

v — скорость световой волны в среде;








λ — длина световой волны в среде;

ν — частота электромагнитных колебаний в световой волне.

Белый свет представляет собой совокупность световых волн всех цветов – от красного до фиолетового, то есть совокупность электромагнитных волн видимого диапазона частот (от $3,9 \cdot 10^{14}$ Гц до $7,9 \cdot 10^{14}$ Гц).

Световая волна определенного цвета или монохроматический свет – это электромагнитная волна определенной частоты. Монохроматический свет также называют монохроматической волной.

Монохроматический свет – это электромагнитная волна одной определённой и строго постоянной частоты из диапазона частот, непосредственно воспринимаемых человеческим глазом (от $3,9 \cdot 10^{14}$ Гц до $7,9 \cdot 10^{14}$ Гц).

Цвет							
Длина волны в вакууме $\times 10^{-9}$ м	760-620	620-590	590-560	560-500	500-480	480-450	450-380
Частота $\times 10^{14}$ Гц	3,9-4,8	4,8-5,1	5,1-5,4	5,4-6,0	6,0-6,3	6,3-6,7	6,7-7,9

В вакууме или в воздухе белый свет и световая волна любого цвета распространяются со скоростью, равной 300 000 км/с.

Частота колебаний, длина волны и скорость распространения волны в вакууме связаны между собой формулой:

$$c = \lambda \cdot \nu, \text{ где}$$

c – скорость распространения световой волны в вакууме (воздухе);

λ – длина световой волны в вакууме;

ν – частота электромагнитных колебаний в световой волне.

Согласно формуле абсолютный показатель преломления среды равен:

$$n = \frac{c}{v}, \text{ где}$$

n – абсолютный показатель преломления среды;

c – скорость световой волны в вакууме (воздухе);

v – скорость световой волны в среде.

Делаем выводы.

1) Из опытов Ньютона следует, что абсолютный показатель преломления для световой волны фиолетового цвета больше, чем для световой волны красного цвета (рис. 3).

Учитывая, что абсолютный показатель преломления среды обратно пропорционален скорости распространения световой волны в среде ($n = \frac{c}{v}$), можно утверждать, что абсолютный показатель преломления среды уменьшается с увеличением скорости световой волны. Значит, световая волна красного цвета меньше преломляется призмой, чем световая волна фиолетового цвета, потому что скорость распространения световой волны красного цвета в призме больше скорости распространения в ней световой волны фиолетового цвета.

Итак, в диспергирующей среде каждая монохроматическая волна имеет свою определенную скорость распространения. Во время пересечения границы раздела сред скорость монохроматической волны изменяется, в результате чего происходит её преломление.

На этом рассуждения о связи показателя преломления среды и скорости распространения световой волны можно было бы завершить.

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ!

Но почему все-таки световые волны разной частоты распространяются в среде с разными скоростями? Объяснение этого дает теория дисперсии, которую разработал нидерландский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике Хендрик Антон Лоренц (1853 - 1928) на основе электромагнитной теории света и электромагнитного строения вещества. **В теории Лоренца дисперсия света рассматривается как результат взаимодействия электромагнитных волн с заряженными частицами, входящими в состав вещества и совершающими вынужденные колебания в переменном электромагнитном поле волны.**

Во время прохождения электромагнитной волны через диспергирующее вещество (как правило, это прозрачный диэлектрик), на его электроны действует электрическая сила, вынуждающая их совершать колебания. Колебания электронов являются источником вторичных электромагнитных волн, накладывающихся на первичные электромагнитные волны.

Вторичные волны в результате инерции электронов немного запаздывают по времени и, накладываясь на первичные волны, дают результирующие волны. Эти результирующие волны отстают по фазе по сравнению с первичными волнами.

Под фазой понимается состояние волны в данной точке и в данный момент времени, описанное соответствующими параметрами. Сдвиг фаз между первичной и результирующей волнами зависит от частоты колебаний напряженности электромагнитного поля E , то есть свет разных частот (длин волн) будет иметь разные скорости распространения в веществе, а следовательно, и разные значения показателя преломления, поскольку показатель преломления определяется как $n = \frac{c}{v}$

Итак, можно утверждать, что **явление дисперсии света является следствием зависимости скорости распространения световой волны в веществе от частоты световой волны.**

2) Из опытов Ньютона следует, что абсолютный показатель преломления для световой волны фиолетового цвета больше, чем для световой волны красного цвета (рис. 3).

При этом частота фиолетового цвета имеет значения от $6,7 \cdot 10^{14}$ Гц до $7,9 \cdot 10^{14}$ Гц, а красного цвета - от $3,9 \cdot 10^{14}$ Гц до $4,8 \cdot 10^{14}$ Гц, то есть абсолютный показатель преломления возрастает с увеличением частоты световой волны.

Дисперсия света - это зависимость показателя преломления среды от частоты световой волны.

Зная, что длина световой волны в среде обратно пропорциональна частоте световой волны ($\lambda = \frac{v}{\nu}$), можно сделать вывод, что **абсолютный показатель преломления среды уменьшается с увеличением длины световой волны.**

3) В опытах по дисперсии Ньютону не удалось с помощью призмы разложить монохроматический свет на составные цвета. Зеленый цвет, проходя сквозь призму, оставался зеленым, красный цвет - красным и т.д.

Значит, при переходе световой волны любого цвета из одной прозрачной среды в прозрачную среду с другими преломляющими свойствами частота световой волны не изменяется, изменяется скорость волны и длина волны!

3. ЦВЕТ ТЕЛ.

Зная, что белый свет имеет сложный состав, можно объяснить удивительное многообразие красок в природе. Однако, как такового цвета в природе не существует!

Цвет – это физиологическое ощущение человека, воспринимаемое непосредственно сетчаткой глаза. Цвет – продукт умственной переработки информации, которая поступает через глаз в виде световой волны.

Цвет непрозрачных тел.

В ходе экспериментов было выяснено, что сами предметы цвета не имеют. Освещенные светом, они отражают часть световых волн, а часть поглощают, в зависимости от своих физических свойств. Отраженные световые волны и будут цветом предмета.

Цвет непрозрачных предметов возникает, главным образом, в процессе поглощения и отражения световых волн. Предмет, поверхность которого поглощает весь пучок белого света, дает ощущение **черного** цвета (рис.5). Предмет, который отражает все падающие на него световые лучи и при этом их рассеивает, дает ощущение **белого** цвета. Предмет, поверхность которого отражает лучи только определенной длины волн, а все остальные поглощает, дает ощущение определенного цвета.

Итак, цвет предмета зависит от того, какие лучи его поверхность отражает. Красный цветок выглядит красным при освещении белым светом потому, что он отражает только красный цвет и поглощает все остальные цвета пучка белого света. Когда мы говорим: «этот цветок красный», то мы на самом деле имеем в виду, что молекулярный состав поверхности цветка таков, что он поглощает все световые лучи, кроме красных. Цветок сам по себе не имеет никакого цвета, цвет создаётся при его освещении. А если красный цветок освещается зелёным светом, то он покажется нам чёрным. Почему? Потому что зелёный цвет не содержит лучей, отвечающих красному цвету, которые могли быть отражены нашим цветком. Листочки и стебель цветка, конечно же, будут зелеными.

Вывод: непрозрачные цветные тела одну часть падающего на них белого света поглощают, а другую отражают; их цвет соответствует смеси отраженных цветных пучков.

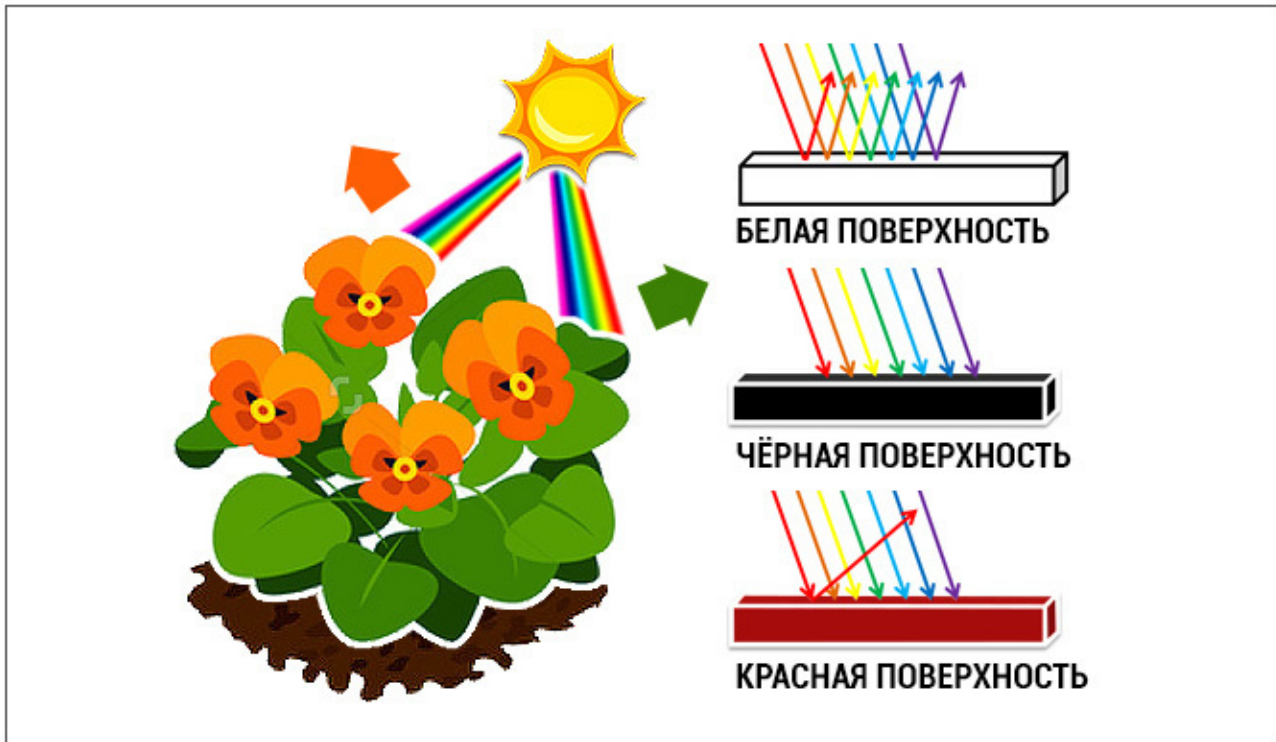


Рис. 5. Цвет различных непрозрачных поверхностей

Цвет прозрачных тел.

Что же происходит, когда пучок белого света попадает на прозрачные предметы – цветные стекла, цветные растворы, прозрачные кристаллы? Попадая на прозрачный предмет, свет частично отражается от его поверхности, частично поглощается его поверхностью, а остальная его часть проходит через более или менее толстый слой вещества предмета. Другими словами, прозрачные тела пропускают свет.

Свойство прозрачных тел пропускать световые пучки определенного цвета нашли широкое применение в различных областях, связанных с использованием оптических приборов, например, в фотографии и кинематографе. Такие прозрачные тела называют светофильтрами или съёмочными светофильтрами (рис. 6). В отличие от линз, светофильтры не изменяют направления световых лучей в оптической системе.

Светофильтр в фотографии и кинематографе, съёмочный светофильтр - это оптическое устройство, которое служит для подавления, выделения или преобразования части светового потока, обычно части спектра.

Светофильтр устанавливается на объектив оптических приборов или фотокамер.

В фотографии светофильтры применяются для корректировки цвета, изменения яркости и контрастности фотографируемых объектов уже в процессе фотографирования. Светофильтры применяются также для воспроизводства различных цветовых и световых эффектов. Кроме того, светофильтры уменьшают долю отраженного от их поверхностей света, увеличивая при этом светопропускание, и повышают качество изображения, устраняя или уменьшая дефекты в виде бликов на изображении.



Рис. 6. Светофильтры

Ещё одним ярким примером использования цветных прозрачных стекол является витраж.

Витраж - вид монументального искусства, произведение изобразительного декоративного искусства или орнаментального характера из цветного стекла, рассчитанное на сквозное освещение и предназначенное для заполнения проёма, чаще всего оконного, в каком-либо архитектурном сооружении.

История цветного стекла насчитывает тысячелетия. Первые упоминания о витражах датируются ещё IV - III веком до нашей эры. Неоценимый научно-практический вклад в создание и развитие стекольного производства в России внес первый русский учёный-естествоиспытатель мирового значения, энциклопедист, химик и физик Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765).

Основным направлением деятельности Ломоносова было влияние металлов на цвет стекла, а также изучение способов получения прозрачного стекла. Великий ученый создал более четырех тысяч образцов цветного стекла.

В современном представлении цветное стекло не вызывает никакого удивления, являясь неотъемлемой частью жизни. Изделия из стекла встречаются не только в качестве декоративных дополнений, но также отлично комбинируются с мебелью, монтируются в двери, оконные проемы. В последние годы именно благодаря стеклу ведущие дизайнеры создают интерьеры, которые вызывают настоящее восхищение. Особенно интересно цветное стекло выглядит в отделке зимних садов, террас, гостиных с выходом на улицу.



Рис. 7. Витраж

Причудливая игра цвета при проникновении в помещение солнечных лучей вносит свою гармонию в отделку помещения, создает яркие акценты и поднимая людям настроение (рис. 7).

Вывод: каждое цветное тело часть цветных пучков из падающего на него белого света поглощает, а другие пучки пропускает; цвет прозрачных тел определяется сложением пропущенных цветных пучков.

Белый свет.

Как было сказано ранее, одновременное воздействие на глаз всех цветов воспринимается как действие белого света. Это утверждение можно доказать экспериментально.

Для этого необходимо изготовить картонный диск, раскрашенный в семь цветов спектра (цветовой круг Ньютона), и привести его в быстрое вращение. При быстром вращении цветной диск будет восприниматься глазом как белый диск (рис. 8).

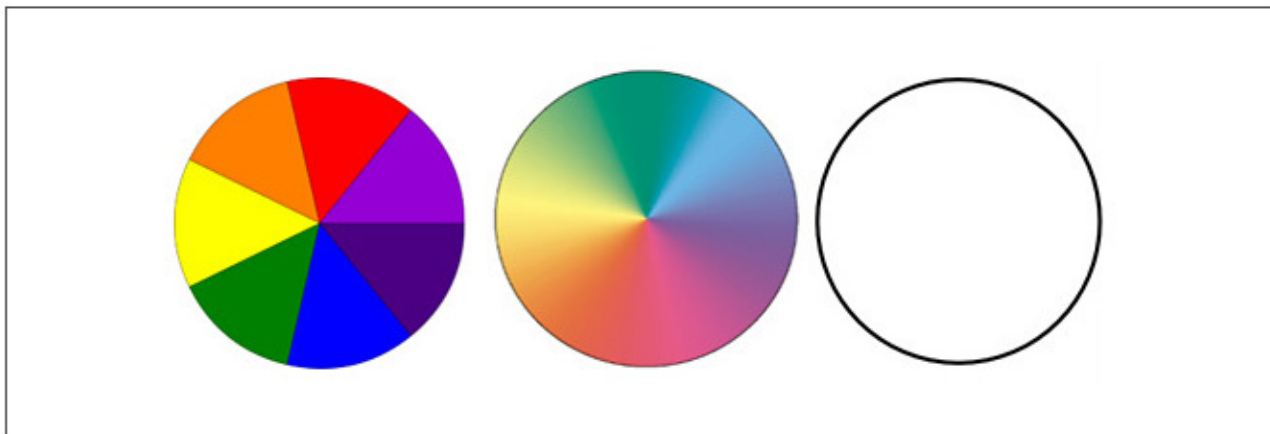


Рис. 8. Получение белого света при сложении семи цветов сплошного спектра

4. ЦВЕТОВОЕ ЗРЕНИЕ.

Как показали опыты, глаз человека воспринимает как белый свет не только одновременное действие всех цветов – от красного до фиолетового, но и действие комбинации света трёх цветов: синего, зеленого и красного (рис. 9).

Рассмотрим этот вопрос подробнее. Световые лучи, проходя через оптическую систему глаза, попадают на сетчатку. Сетчатка – сложная оболочка глаза, состоящая из нескольких слоёв клеток. Рецепторный слой сетчатки образован светочувствительными клетками: колбочками и палочками. Они воспринимают свет и превращают его энергию в нервный импульс. В сетчатке насчитывается более 100 млн. палочек и около 6 млн. колбочек.

Палочки имеют удлинённую форму, цветов не различают, но очень чувствительны к свету и потому реагируют даже на очень малое, так называемое сумеречное освещение.

Колбочки обеспечивают восприятие формы и цвета предмета. Они малочувствительны к свету, возбуждаются только при ярком освещении. Многоцветность воспринимается благодаря тому, что колбочки реагируют на определённую волну изолированно. Существуют три типа колбочек.

Колбочки первого типа реагируют преимущественно на красный цвет, второго – на зеленый цвет, третьего – на синий цвет. Эти цвета называются основными. Оптическим смешиванием основных цветов можно получить все цвета и их оттенки. Если все три типа колбочек раздражаются одновременно и одинаково, то возникает ощущение белого света.

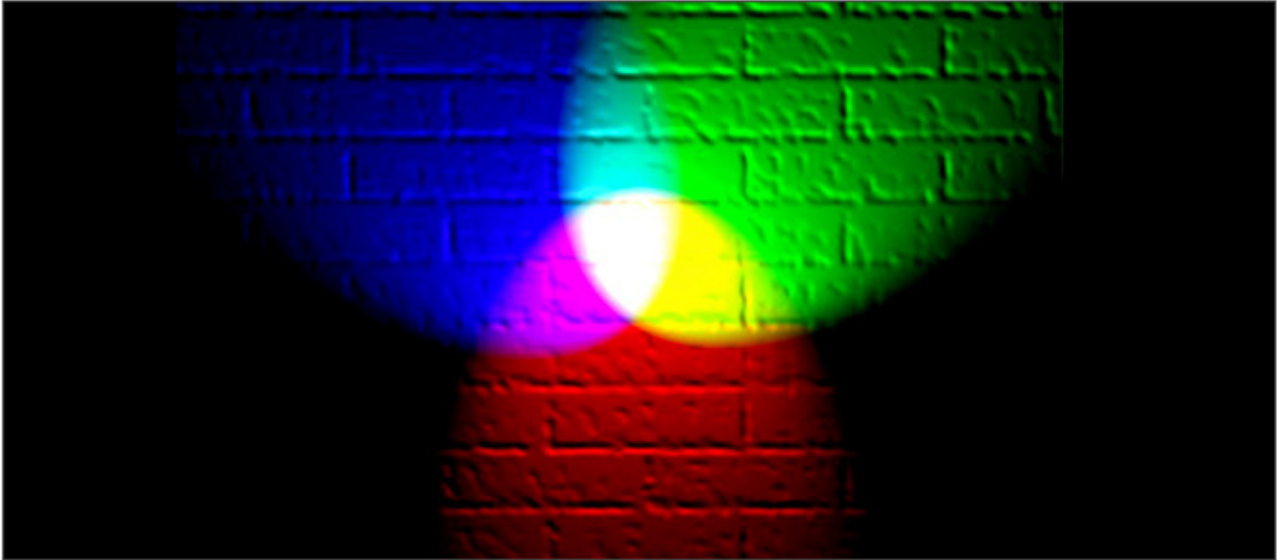


Рис. 9. Получение белого света при сложении трех основных цветов

Цвет окружает и сопровождает человека повсюду. Его эмоциональное воздействие на человека велико и многообразно: различные цвета и их сочетания вызывают различные чувства и ощущения, меняют настроение, навевают определенные образы.

Установлено, что преобладание в цветовой гамме насыщенных красных, оранжевых и желтых тонов обостряет эмоциональные реакции, возбуждающе действует на психику человека, повышает подвижность и даже увеличивает кровяное давление и ритм дыхания. Зеленый, синий и серебристые цвета успокаивают, нормализуют пульс. Цвета первой группы (теплые) как возбуждающие жизнедеятельность организма ученые называют активными, цвета второй группы (холодные), ослабляющие и замедляющие жизненные процессы, — пассивными.

Чем насыщеннее цвет, тем сильнее его психофизиологическое воздействие на человека. Темные, мрачные и тусклые тона удручают, действуют на нас подавляюще, светлые, наоборот, радуют, создают приподнятое настроение. Существуют даже выражения, связанные с цветовой характеристикой: «серая жизнь», «розовые мечты», «светлый разум» и другие.

В заключение несколько слов необходимо сказать о важности цвета в создании документов, публикаций, книг, учебников, журналов. Привнесение даже одного цвета в черно-белый документ не только делает его более привлекательным, но и помогает направить внимание читателя к важным разделам этого документа (книги, учебника, журнала или другого печатного материала). Не следует, однако, размещать слишком много цветных элементов на одной странице.

Кроме того, цвет – не просто украшение. Он имеет чисто практическое значение. Например, цветная разметка, нанесенная у наружного края страницы, и цветная заливка важных информационных и структурных элементов текста значительно упрощают "навигацию" в книге, учебнике, журнале. Цвет также помогает добиться стилистического единообразия в пределах всего документа или крупной публикации. Красивое, яркое, насыщенное современными цветами издание вызывает позитивные эмоции и создает хорошее настроение.

Свет и цвет – это уникальное природное явление, изучаемое в самых разных областях науки.

Цветоведение - это комплексная наука о цвете, включающая систематизированную совокупность данных физики, физиологии и психологии, изучающих природный феномен цвета, а также совокупность данных философии, эстетики, истории искусства, филологии, этнографии, литературы, изучающих цвет как явление культуры.

5. РАДУГА.

Мы рассмотрели основные вопросы, связанные с интересным оптическим явлением – дисперсией света. На основе этого явления дадим объяснение возникновению радуги.

Что такое радуга? Радуга – атмосферное, оптическое и метеорологическое явление, наблюдаемое при освещении Солнцем множества водяных капель дождя или тумана.

Радуга выглядит как разноцветная дуга или окружность, составленная из цветов спектра: красного, оранжевого, жёлтого, зелёного, голубого, синего, фиолетового. Эти семь цветов плавно переходят друг в друга через множество промежуточных оттенков. Центр окружности, которую описывает радуга, лежит на прямой, проходящей через наблюдателя и Солнце. При этом Солнце всегда находится за спиной наблюдателя. Видеть одновременно Солнце и радугу без использования оптических приспособлений невозможно.

Для наблюдателя на Земле радуга обычно выглядит как дуга, часть окружности, и чем выше точка наблюдения, тем она полнее. С высокой горы или самолёта можно увидеть и полную окружность радуги. Когда Солнце поднимается выше 42° над горизонтом, окружность возможного появления радуги оказывается ниже уровня Земли, и наблюдатель, находящийся на её поверхности, увидеть радугу не может.

Почему возникает радуга?

Радуга возникает из-за того, что солнечный свет преломляется и отражается капельками воды дождя или тумана, парящими в атмосфере. Эти капельки по-разному преломляют свет разных цветов. Рассмотрим схематический рисунок разложения белого света на спектр капель дождя (рис. 10). На границе раздела двух сред воздух-вода белый свет преломляется и благодаря дисперсии разлагается в спектр. На границе раздела вода-воздух внутри капли для световых лучей разного цвета происходит полное внутреннее отражение. При вторичном преломлении на границы раздела вода-воздух световые лучи разного цвета выходят из капли в воздух и расходятся под небольшим углом относительно друг друга. Из-за различия показателей преломления лучи красного цвета выходят под углом около 42° к направлению падающих лучей, а фиолетовые - около 41° .

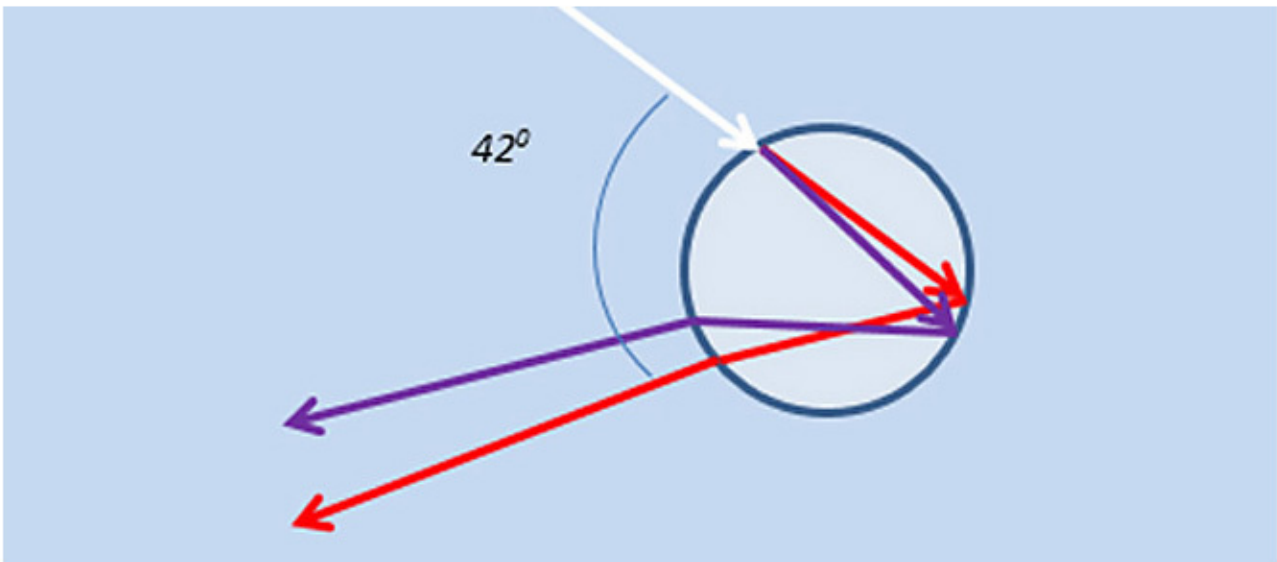


Рис. 10. Разложение белого света на спектр капель дождя

Итак, каждый белый луч, преломляясь в капле, разлагается в спектр, и из капли выходит пучок расходящихся цветных лучей. Свет разного цвета выходит из одной капли в разных направлениях, то есть отдельная капля образует целую радугу. Конечно, радуга от одной капли слабая, и в природе ее невозможно увидеть отдельно, так как капель в завесе дождя много.

Радуга, которую мы видим на небосводе, образована бесчисленным количеством капель. Глаз наблюдателя является общей точкой, в которой пересекаются цветные лучи от множества капель. Свет красного цвета попадает в глаз человека из высоко расположенных капель, свет зеленого цвета — из капель, расположенных ниже, свет фиолетового цвета — из капель, расположенных ниже всех остальных.

В природе можно наблюдать разные виды радуги.

- **Двойная радуга** получается, когда световой луч отражается от внутренней поверхности дождевых капель дважды.
- **Перевернутая радуга** — явление довольно редкое. Она появляется при определённых условиях, когда на высоте 7-8 километров тонкой завесой располагаются перистые облака, состоящие из ледяных кристалликов. Солнечный свет, падая под определённым углом на эти кристаллы, разлагается на спектр и отражается в атмосферу. Цвет в перевернутой радуге располагается в обратном порядке: сверху находится фиолетовый, а снизу — красный.
- **Туманная радуга** или белая радуга появляется при освещении солнечными лучами слабого тумана, состоящего из очень мелких капелек воды. Такая радуга представляет собой дугу, окрашенную в очень бледные цвета, а если капельки совсем мелкие, то радуга окрашена в белый цвет. Туманная радуга может появляться и ночью во время тумана, когда на небе яркая Луна. Туманная радуга довольно редкое атмосферное явление.
- **Лунная радуга** или ночная радуга появляется ночью и порождается Луной. Лунная радуга наблюдается во время дождя, который идёт напротив Луны, особенно хорошо видна лунная радуга во время полнолуния, когда яркая Луна находится невысоко в тёмном небе. Так же лунную радугу можно наблюдать в местностях, где есть водопады.
- **Огненная радуга** — это редкое оптическое атмосферное явление. Огненная радуга появляется, когда солнечный свет проходит сквозь перистые облака под углом 58° над горизонтом. Ещё одним необходимым условием для появления огненной радуги являются шестиугольные кристаллы льда, имеющие форму листа. Солнечные лучи, проходя сквозь грани ледяного кристалла, преломляются и «зажигают» огненную радугу.

- **Зимняя радуга** — это очень удивительное явление. Такую радугу можно наблюдать только зимой, во время сильного мороза, когда Солнце сияет на бледно-голубом небе, а воздух наполнен маленькими кристалликами льда. Солнечные лучи преломляются, проходя сквозь эти кристаллики, и отражаются в холодном небе разноцветной дугой.
- **Бывает ли радуга без дождя?** Радугу можно наблюдать и в солнечный ясный день возле водопадов, фонтанов, в саду при поливе цветов из шланга, зажав отверстие шланга пальцами, создавая водяную дымку и направляя шланг в сторону Солнца.