

Тема 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦВЕТА

1.1. Природа света



В темном помещении наличие и форму предметов мы можем определить только с помощью осязания. Но как только появляется источник света, мы способны видеть и оценивать зрительно величину, форму и цвет предмета.

Какова же природа света?

Еще в древние времена, на заре возникновения научной мысли, возник этот вопрос. Древнегреческие ученые считали, что глаза испускают лучи, которые ощупывают предметы, чтобы узнать их. Наличие свечения глаз у некоторых животных расценивалось как доказательство существования глазных лучей. Аристотель и Демокрит считали, что свет исходит из самих тел, которые мы видим. Гипотеза о глазных лучах господствовала в течение многих столетий. Так, в XVI столетии французский ученый Декард писал: «Подобно тому, как в темноте мы ощупываем перед собой предметы тростью, так днем мы ощупываем их лучами, исходящими из глаз».

В конце XVII столетия были предложены 2 теории, объясняющие сущность и распространение света.

1. Теория Ньютона (корпускулярная теория).

Согласно этой теории, луч света – это поток материальных частиц – корпускул, которые излучаются светящимся телом и, попадая в глаз, вызывают ощущение света. Эта теория имела большое распространение.

2. Теория Гюйгенса (волновая теория).

С точки зрения теории Гюйгенса, вся Вселенная наполнена идеально упругой средой (эфиром). С появлением источника света частицы эфира начинают совершать быстрые колебания. Эти колебания подобны тем, которые получаются при раскачивании веревки, привязанной одним концом к неподвижному предмету. Являясь центром упругой деформации, каждая колеблющаяся частица эфира приводит в колебание соседнюю частицу. Распространение этих колебаний в эфире и представляет собой луч света. В каждый момент времени колеблющиеся частицы располагаются так, что в совокупности образуют кривую линию, напоминающую ряд волн (рис.1.1). В результате вдоль луча бегут волны, причем скорость их

распространения колоссальна – 300000 км/с.

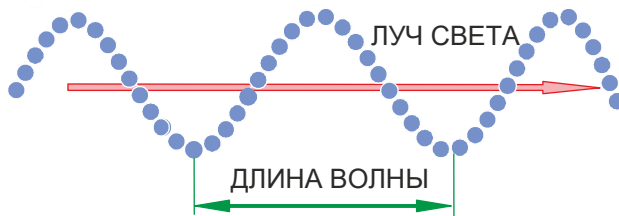


Рис.1.1. Колебания частиц, образующих ряд волн

Подобный процесс распространения волн можно наблюдать, если бросить ветку на поверхность неподвижной воды. От места её падения во все стороны будут расходиться волны, и будет казаться, что

волны бегут, но ветка будет совершать движение только вверх и вниз, не сдвигаясь с места и этим показывать направление колебания частиц воды.

Рассмотрим основные характеристики световой волны.

- **Длина волны** – расстояние между гребнями волны, измеряется в нанометрах. Один нанометр равен миллионной доле миллиметра ($1\text{нм}=0,000001\text{мм}$)
- **Частота** – число колебаний в секунду, измеряется в герцах.
- **Амплитуда волны** - определяет интенсивность светового излучения

Почти 150 лет ученые спорили, является ли свет волнами или корпускулами. Большинство ученых приняло волновую теорию. Но затем последовали новые открытия, которые поставили под сомнение эту теорию.

3. Электромагнитная теория света (теория Максвелла)

В середине XIX столетия было доказано теоретически и экспериментально, что свет – это электромагнитные колебания, т.е. периодические изменения электрического и магнитного полей в пространстве. Эта теория установила, что различные виды энергии излучения (видимые, ультрафиолетовые, инфракрасные излучения солнца, звезд, искусственных источников света, радиоволны, рентгеновские лучи и т.д.) имеют одинаковую природу и отличаются лишь длиной волны. Скорость распространения у них одинакова и составляет 300000 км/с.

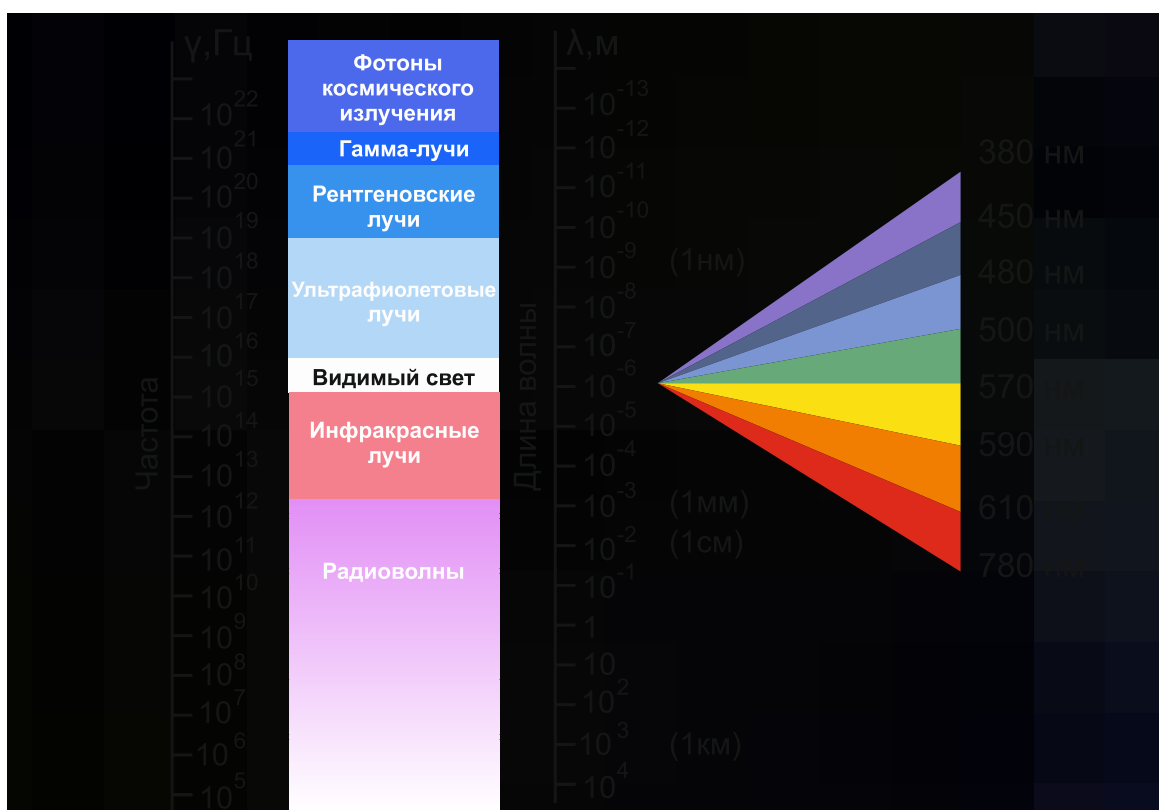


Рис.1.2. Шкала электромагнитных излучений

Энергия излучения солнца, звезд, искусственных источников света воздействует на светочувствительные элементы глаза и вызывает световые и цветовые ощущения. Энергия излучения передающих радиостанций, рентгеновских трубок, ультрафиолетовых и инфракрасных излучений не вызывает у нас зрительных ощущений, но все равно производят на человеческий организм какое-то действие. Ультрафиолетовые излучения вызывают покраснения кожи, инфракрасные излучения – нагревание. Различные виды энергии излучения образуют спектр электромагнитных колебаний (рис.1.2), из которого видно, что

длина волны может составлять от миллионных долей нанометра (космические лучи) до нескольких километров (длинноволновые излучения радиостанций).

Человеческий глаз может воспринимать свет только при длине волн от 400 до 700 нанометров (см. таблицу 1), это мизерная доля всего спектра электромагнитных излучений. Именно эти волны, действуя на глаз, вызывают у нас световые ощущения. Каждой длине видимого излучения соответствует свой цвет. Фиолетовые лучи имеют наименьшую длину волны, а красные – наибольшую.

Таблица 1

Длины волн видимой части спектра

Цвет	Длина волны, нм	Частота колебаний, млрд. в сек.
Красный	800 – 650	400 – 470
Оранжевый	640 – 590	470 – 520
Желтый	580 – 550	520 – 590
Зеленый	530 – 490	590 – 650
Голубой	480 – 460	650 – 700
Синий	450 – 440	700 – 760
Фиолетовый	430 – 390	760 – 800

Развитие идеи электромагнитной теории привело к открытию радио русским ученым-изобретателем А.С. Поповым в 1895 году.

Дальнейшее развитие физики позволило открыть ряд явлений, связанных со светом и которым электромагнитная теория не смогла найти объяснения.

4. Квантовая теория света

В XX столетии немецкий физик М. Планк на основании ряда экспериментальных исследований пришел к заключению, что излучение и поглощение света происходят не непрерывно (как это полагали согласно волновой и электромагнитной теориям), а отдельными порциями. Эти порции были названы квантами света или фотонами, а теория Планка была названа *квантовой теорией света*.

Согласно этой теории, свет – это совокупность мельчайших материальных частиц – фотонов, движущихся со скоростью 300 тыс. км/с и несущих конечное количество энергии.

1.2. Природа цвета

Цветовой спектр людям был не в новинку: северные народы восхищенно наблюдали переливы северного сияния, те, что поужнее — созерцали после дождя семицветную раду (рис. 1.3). Однако до 1676 года все это великолепие воспринималось как чудо природы.

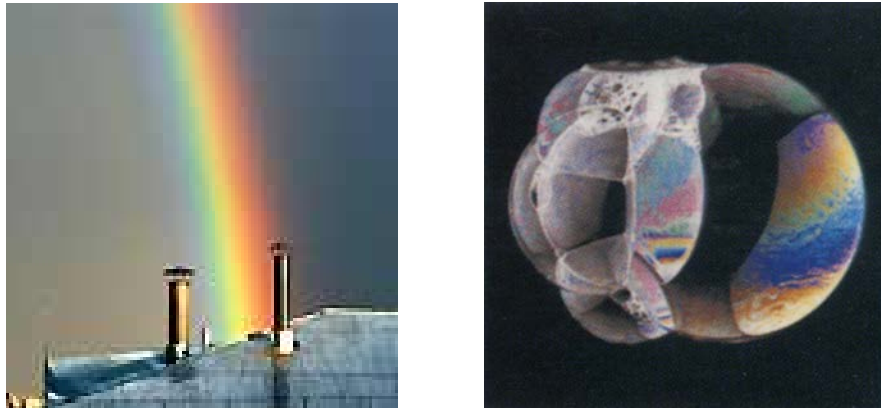


Рис. 1.3. Разложение света в спектр в природных условиях

В 1665 году сэр Исаак Ньютон с помощью трёхгранной призмы разложил белый солнечный свет на цветовой спектр. Подобный спектр содержал все цвета за исключением пурпурного

Солнечный свет пропускался через узкую щель и падал на призму. В призме луч белого цвета расслаивался на отдельные спектральные цвета. Разложенный таким образом он направлялся затем на экран, где возникало изображение спектра.

Непрерывная цветная лента начиналась с красного цвета и через оранжевый, жёлтый, зелёный, синий кончалась фиолетовым. Между крайними цветами спектра примерно 160 различных цветовых оттенков, что затрудняет и усложняет работу по изучению их свойств. Поэтому весь спектр обычно делят на 6 или 8 интервалов. Ньютон различал в спектре семь областей. Если это изображение затем пропускалось через собирающую линзу, то соединение всех цветов вновь давало белый цвет. Эти цвета получаются из солнечного луча с помощью преломления (дисперсия света). Существуют и другие физические пути образования цвета например, связанные с процессами интерференции, дифракции, поляризации и флуоресценции.

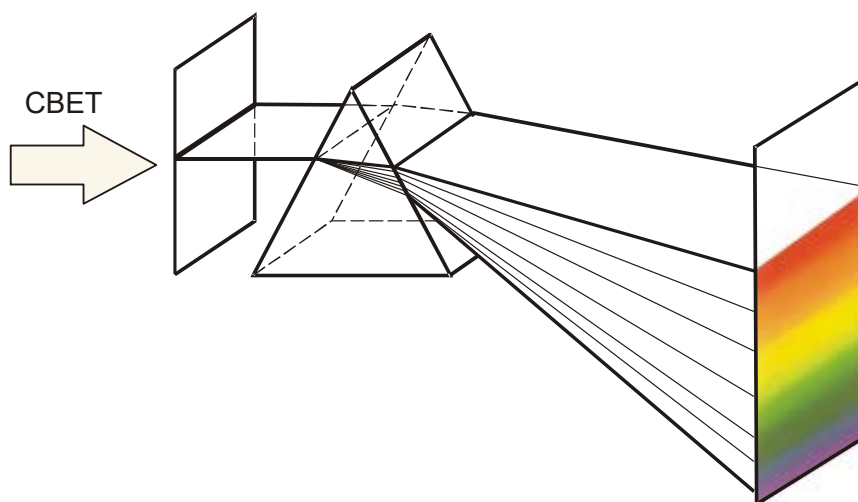


Рис. 1.4. Разложение дневного света с помощью призмы

В результате своих опытов, Ньютон пришел к выводу, что:

Белый свет – сложный, состоит из цветных лучей

Цветные лучи не являются сложными и не разлагаются на составные части.

Эти лучи **монохроматические** – одноцветные (моно – «одно», хрома – «цвет» (греч.)

1.3. Цвет источников света

Свет излучается источниками света, которые бывают естественными и искусственными.

Естественные источники света

Наш основной естественный источник освещения – это солнце. Это тепловой источник освещения, температура его поверхности достигает 6000°C. В его недрах происходят непрерывные ядерные реакции, в результате которых энергия в виде света и тепла распространяется в космос. Все жизненные процессы на земле происходят благодаря этим излучениям. Радуга является спектром солнечного света. Все нагретые тела (тепловые источники) дают спектр одного и того же вида, в котором переход от одного цвета к другому происходит непрерывно, поэтому такие спектры называют *непрерывными*.

Солнечный свет бывает направленным (прямым) и рассеянным атмосферой. Он изменяется по интенсивности и по спектральному распределению энергии излучения в зависимости от высоты солнца над горизонтом и расположения по отношению к нему просматриваемой поверхности, а так же из-за состояния атмосферы (ясно, дождь, туман и т. п.).

Звезды тоже излучают свет, но они расположены от земли на громадном расстоянии и как источники света не имеют значения. Луна и планеты только отражают часть падающего на них солнечного света, а собственного свечения не имеют.

Искусственные источники света.

Самым первым искусственным источником света было пламя костра. Тысячелетиями исчисляется время совершенствования искусственных источников света от костра до электрических источников, которыми мы пользуемся в настоящее время.

Впервые электрический источник света был создан русским ученым академиком В.В. Петровым. Он открыл в 1802 г. явление электрической дуги, возникающей между двумя угольными стержнями при прохождении по ним электрического тока. Так была создана дуговая лампа. В дуговой лампе раскаленные добела концы электродов (угольных стержней) дают около 95% очень яркого света и только 5% исходит от самой дуги.

Другим температурным излучателем является электрическая лампа накаливания, в которой свет излучает вольфрамовая нить, доведенная до раскаленного состояния электрическим током. КПД ламп накаливания составляет всего 2-3%, остальная энергия превращается в тепло.

Люминесцентная лампа работает по принципу газового разряда. Стеклообразная трубка наполняется каким-то газом, например неоном или ртутными парами. По концам трубки впаяны электроды, и под действием электрического тока атомы

ртути начинают светиться в газовой среде. Но т.к. ртуть испускает в основном невидимые коротковолновые лучи, внутренние стенки трубок покрывают специальным веществом – люминофором, который коротковолновое излучение превращает в видимое свечение. Цвет светового потока зависит от вида люминофора. В такой лампе электрическая энергия непосредственно переходит в световую, её КПД 7-8%. Из-за малого теплового излучения этот свет называют холодным.

Галогенные лампы - новейшее поколение светильников. Внутри крохотных колб находится та же вольфрамовая нить, что и у ламп накаливания, но не в вакууме, а в парах галогенов. Световой поток галогенных ламп выше, чем у обычных ламп накаливания, а спектр излучения делает свет искристым, мягким и радостным. Соответственно, цвета предметов в этом освещении становятся сочнее и ярче.



а) дуговая лампа

б) лампа накаливания

в) люминесцентная лампа

г) галогенная лампа

Рис. 1.5. Электрические источники света.

Источники света, называемые лазерами (или оптические квантовые генераторы), можно использовать для получения монохроматического света. В лазерной трубке под воздействием электричества из атомов высвобождаются фотоны. Они вылетают из трубки в виде узкого луча света или в какой-либо другой форме электромагнитного излучения в зависимости от вещества, используемого для получения фотонов. Для воспроизведения лазерного излучения используются различные среды: кристаллы, стекла, газы (например, аргон, криптон, смеси гелия и неона) и растворы красителей.

Лазеры нашли разнообразное применение в науке, медицине и технологии благодаря тому, что в их лучах света, или как их называют лазерных пучках, плотности излучения гораздо выше, чем в лучах света обычных ламп и в солнечных лучах. Поток лазерного излучения состоит из параллельных лучей одной, двух или нескольких длин волн.

Некоторые газовые лазеры применяют в качестве источников света для декоративного освещения. Часто используется гелиево-неоновый лазер, который генерирует поток монохроматического красного света (632,8 нм). Кроме того, имеется информация об использовании аргонового газового лазера с излучением, содержащим в основном свет двух длин волн (488,0 нм – сине-зеленый и 514,5 нм – зеленый). В последнем случае для воспроизведения двух монохроматических лучей различного цвета свет двух длин волн разделялся с помощью дифракционной решетки.

Лазеры на красителях позволяют получить потоки любой желаемой длины волны в диапазоне 400–750 нм. На современной стадии развития лазеры на красителях представляют собой исключительно импульсные устройства; для приведения их в действие необходимо вспомогательное оборудование (электронная вспышка или дополнительный лазер). Особый интерес вызывает способность лазеров на красителях к подстройке, позволяющая воспроизводить монохроматический свет любой длины волны в пределах 30–50 нм или более.

Натриевая газоразрядная лампа низкого давления и ртутная газоразрядная лампа высокого давления имеют отличный от лампы накаливания и солнечного света спектр. Если свет натриевой лампы пропустить через призму, то на экране появится две узкие и очень близко расположенные полосы. Это желтые резонансные линии, которые можно охарактеризовать одной длиной волны 589,3 нм. Свет ртутной лампы дает несколько линий разного цвета – фиолетовую (404,7 нм), синюю (435,8 нм), зеленую (546,1 нм) и желтую (577,4 нм).

Существуют специальные приборы – спектрорадиометры, с помощью которых можно измерить поток излучения источников света в ваттах (т.е. мощность энергии излучения) для различных длин волн их спектра. В этих приборах световой поток исследуемого источника света проецируется на плоскость входной щели, расположенной в фокусе коллиматорного объектива, выходящий из коллиматора параллельный пучок света направляется на диспергирующую призму, после которой он разлагается в спектр. Чтобы выделить различные участки видимого спектра, призма поворачивается и выделенный участок спектра фокусируется на селеновый фотоэлемент, соединенный с гальванометром. По отсчетам гальванометра для всех длин волн видимой области спектра определяют спектральное распределение потока излучения источника света.

По полученным данным можно построить весьма наглядный график зависимости потока излучения от длины волны. Поток излучения откладывают по оси ординат, а длины волн – по оси абсцисс. Такой график называют графиком распределения потока излучения в спектре источника света (рис. 1.6)

Для источников света с непрерывным спектром такой график представляет собой кривую линию, а для источников света с линейчатым спектром – ряд ординат, соответствующих тем длинам волн, которые данный источник излучает. Максимальное значение монохроматического потока излучения принято для всех кривых и ординат за 100%, остальные же значения определены относительно максимального. Из графиков видно, что натриевая лампа излучает только желтый цвет, ртутная лампа излучает различные длины волн в фиолетовой, синей, зеленой и желтой частях видимой области спектра.

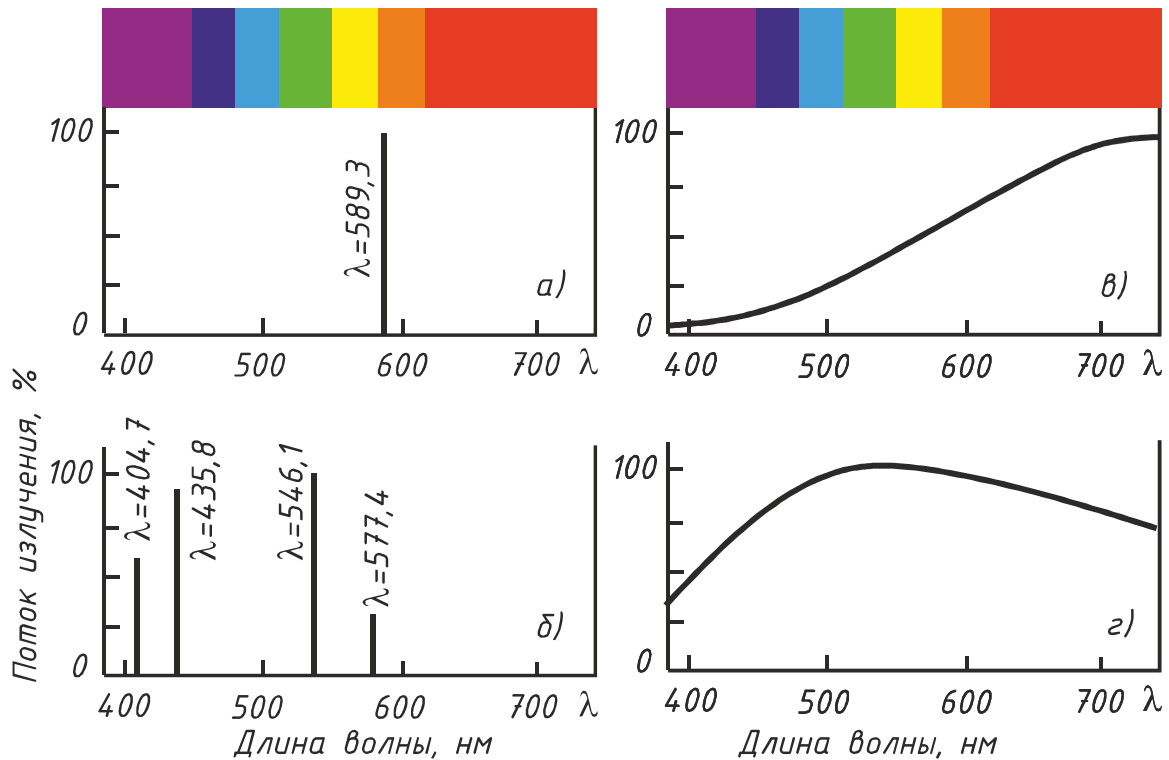


Рис.1.6. Распределение светового потока в спектрах:
 а) – натриевой газоразрядной лампы; б) – ртутной газоразрядной лампы;
 в) - лампы накаливания; г) – прямого солнечного света

Лампа накаливания излучает все длины волн, однако коротковолновых фиолетовых и синих излучений в ее спектре значительно меньше, чем красных и желтых. В спектре солнечного света излучения всех длин волн видимой области спектра распределены более или менее равномерно.

Итак, цвет излучения источника света определяется спектральным составом потока излучения.

1.4. Цвет предметов

С цветом источников света мы разобрались, а вот чем же определяется цвет окружающих нас предметов? Почему мы видим траву зеленой, небо голубым, а яблоки красными?

Из курса физики мы знаем, что если на какое-либо просвечивающее тело падает световой поток, то часть этого светового потока отразится от поверхности (параллельно или диффузно), часть его пройдет через тело и часть поглотится им (рис. 1.7). Отношение отраженного светового потока к падающему световому потоку называется *коэффициентом отражения*. А отношение пропущенного телом светового потока к падающему, называется *коэффициентом пропускания*. Эти коэффициенты выражаются в процентах. Для непрозрачного тела коэффициент пропускания равен нулю, а вот для прозрачного стекла очень мал коэффициент отражения. Так, например, свежесвыпавший снег имеет коэффициент отражения 85, белая бумага 75, а черная кожа 1-2%. Это означает, что снег отражает 85, белая

бумага 75, а черная кожа всего 1-2% падающего на них светового потока. Оконное стекло имеет коэффициент пропускания 92%.

Коэффициенты отражения и пропускания характеризуют способность тела отражать и пропускать свет источника с непрерывным спектром излучения, либо же с линейчатым. Но очень важно знать не общие коэффициенты, а коэффициенты отражения и пропускания телом отдельных монохроматических лучей, из которых состоит падающий поток. Если освещать поверхность каким-либо монохроматическим светом (в пределах от 770 нм до 380 нм), то часть этого монохроматического излучения отразится от освещаемой поверхности, часть пройдет через тело и часть поглотится им. Отношение монохроматического светового потока данной длины волны, отраженного телом к монохроматическому световому потоку, освещающему тело, носит название *спектрального коэффициента отражения*. Соответственно, отношение монохроматического светового потока, пропущенного телом к монохроматическому световому потоку, освещающему тело, носит название *спектрального коэффициента пропускания*.

Если нанести значения спектральных коэффициентов отражения и пропускания по оси ординат в системе прямоугольных координат, а по оси абсцисс – длины волн, то мы получим *кривые спектрального отражения* или *преломления* (рис. 1.8). Эти кривые характеризуют способность тела или среды отражать или пропускать свет разных длин волн.

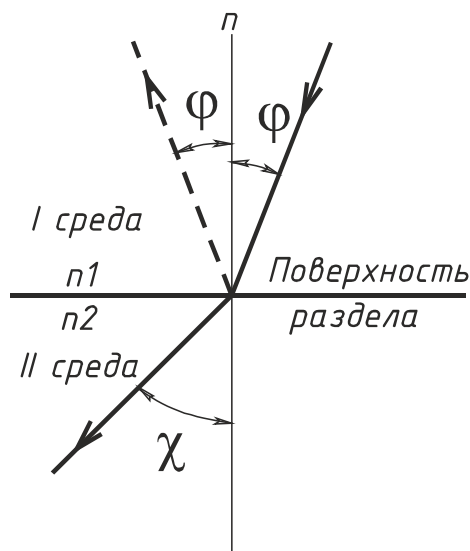


Рис. 1.7. Отражение и пропускание светового потока

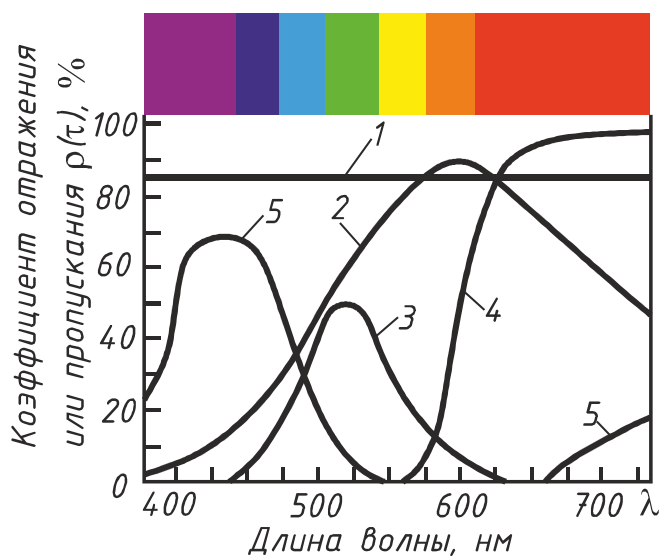


Рис. 1.8. Кривые спектрального отражения поверхностей: 1-свежевывающего снега, 2-желтой бумаги, и кривые спектрального пропускания: 3-зеленого, 4-красного, 5-синего светофильтров

На рисунке 1.8 представлены кривые спектрального отражения и пропускания. Эти кривые показывают, что поверхность свежевывающего снега одинаково отражает лучи всех длин волн света (т.е. неизбирательно, кривая представляет собой прямую линию), желтая бумага хорошо отражает желтые и оранжевые лучи, несколько хуже зеленые и красные и совсем мало синие и фиолетовые. Зеленый светофильтр хорошо пропускает только зеленые лучи, хуже голубые и желтые и почти не пропускает остальные. Красный светофильтр хорошо

пропускает красные лучи, хуже оранжевые и желтые. Синий светофильтр пропускает синие лучи, а так же в меньшей степени голубые и красные.

Поверхность красного цвета мы потому и видим красной, что она хорошо отражает красные, оранжевые и желтые лучи и плохо все остальные. Глядя через синий светофильтр на светящуюся нить лампы накаливания, мы видим её синей, т.к. синий светофильтр пропускает только синие, фиолетовые и голубые лучи из всего спектра лампы накаливания и вызывает у нас ощущение синего цвета.

Тела и среды, которые неодинаково отражают или пропускают свет разных длин волн, имеют при освещении белым светом ту или иную окраску, соответствующую их физическим свойствам, называются цветными.

Всем известно, что окраска комнаты и находящихся в ней предметов воспринимается нами по-разному при дневном естественном освещении и при вечернем искусственном. Причины этого – различное распределение светового потока в спектрах дневного света и лампы накаливания. В спектре дневного света всех видимых излучений почти в равном количестве, а в спектре лампы накаливания почти полное отсутствие синих и фиолетовых лучей (рис. 1.6в). Поэтому при освещении лампами накаливания красные цвета становятся более чистыми, оранжевые краснеют, голубые цвета зеленеют, а синие и фиолетовые несколько краснеют, приобретая при этом пурпурный оттенок, и значительно темнеют.

Итак, цвет предметов зависит:

- 1. от их способности отражать или пропускать падающий на них световой поток;*
- 2. от распределения светового потока в спектре освещающего их источника света.*