

## Тема 19. Световые волны

### 1. Развитие взглядов на природу света

Вспомним, что в природе существует только два способа передачи взаимодействий между телами: 1-ый - путем **переноса вещества** и 2-ой - путем **изменения состояния физической среды**.

В физике, соответственно, долгое время существовали две теории о природе света:

1-ая - **корпускулярная** (основоположник - И. Ньютон);

2-ая - **волновая** (основоположник - Х. Гюйгенс).

По Ньютону свет - это поток частиц, летящих в пространстве от источника света во все стороны по инерции и подчиняющихся законам классической механики. Свет - это перенос частиц (корпускул) от источника к приемнику.

По Гюйгенсу свет - это волны, распространяющиеся от источника во все стороны в особой среде - эфире. Этот эфир пронизывает все мировое пространство, он невидим, никак не ощущается, в нем отсутствует трение. Свет - это волна, изменяющая состояние некой среды - мирового эфира.

Обе теории появились почти одновременно в XVII в. и существовали параллельно. Большинство физиков отдавали предпочтение корпускулярной теории, в основном, благодаря непрерываемому научному авторитету Ньютона. Его теория очень просто объясняла прямолинейное распространение света и образование теней на основе инерции, которой обладают все материальные тела. Волновая теория Гюйгенса объяснить этого не могла. Однако, теория Ньютона также никак не могла объяснить тот факт, что световые лучи, пересекаясь, никак не влияют друг на друга. Они должны рассеиваться! По волновой теории это объяснялось просто - именно так ведут себя волны на поверхности воды.

Такое положение в физике просуществовало до середины XIX в., пока не были открыты дифракция и интерференция света. Эти явления присущи только волновым процессам, и объяснить их корпускулярная теория не могла никак. Казалось, что полностью восторжествовала волновая теория. Уверенность в ее правоте тем более окрепла, когда Максвелл во второй половине XIX в. теоретически показал, что свет - это обычная ЭМВ определенной частоты и длины. Работы Максвелла заложили основы электромагнитной теории света, а после опытов Герца, которые доказали существование ЭМВ, уже не возникало никаких сомнений в том, что **свет при распространении ведет себя как волна**.

Однако, к концу XIX в. накопилось достаточно экспериментальных данных о том, что **свет излучается и поглощается прерывисто (дискретно)** и происходит это микроскопическими порциями энергии - **квантами**. Исходя из этого предположения, немецкий физик Макс Планк в 1900 г. создал квантовую теорию электромагнитных процессов, а Альберт Эйнштейн в 1905 г. разработал квантовую теорию света. Согласно этой теории свет представляет собой **поток световых частиц - фотонов**.

Фотоны существенно отличаются от обычных частиц: они существуют только в движении (со скоростью света) и имеют конечную массу. Фотон не может существовать в состоянии покоя. Фотоны поглощаются атомами, отдавая им свою энергию, и могут излучаться атомами.

В соответствии с современными представлениями, **свет - это совокупность ЭМВ** в диапазоне от **400 нм (фиолетовый)** до **800 нм (красный)** или, соответственно, от **750 ТГц** до **375 ТГц**. Волновая (электромагнитная) и корпускулярная (квантовая) теории не исключают друг друга, а взаимно дополняют.

**Свет обладает дуализмом - двойственностью свойств.**

**Фотон - это одновременно и частица, и волна.**

### 2. Геометрическая оптика. Зеркала

**Геометрическая оптика** - это раздел физики, в котором изучают прямолинейное распространение света в прозрачных средах на основе представления о световом луче.

**Световой луч** - это не тонкий пучок света, а **линия, указывающая направление распространения световой энергии**.



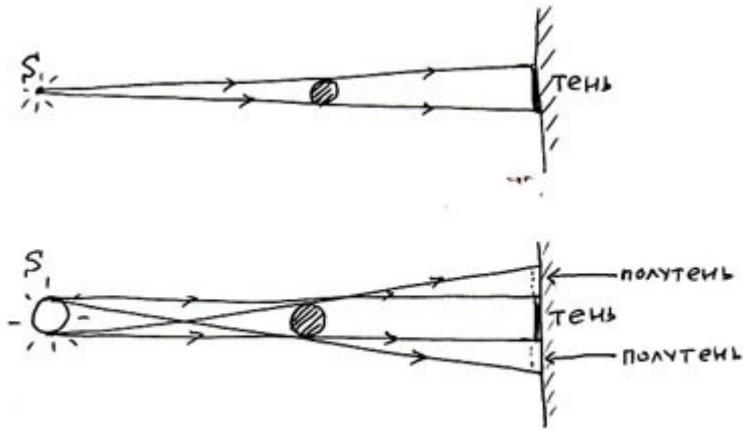
Точечн.

источник

**В однородной среде свет распространяется прямолинейно** - это закон прямолинейного распространения света.

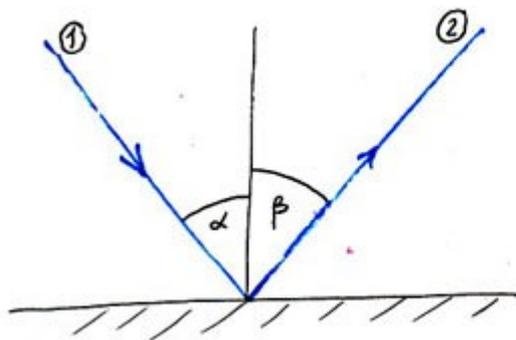
В геометрической оптике используют понятие "точечного источника света". От таких источников образуются резкие тени. Если источник имеет некоторую протяженность в пространстве (объемный

источник), то от него образуются тени и полутени. В итоге общая граница тени не будет резкой.



Закон отражения

**Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Угол падения равен углу отражения.**



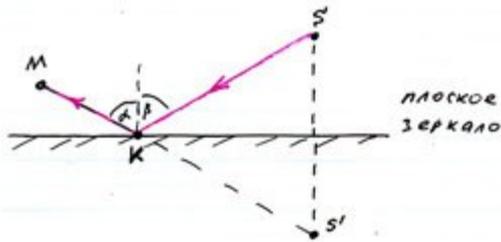
- ① - падающий луч
- ② - отраженный луч

$\alpha = \beta$

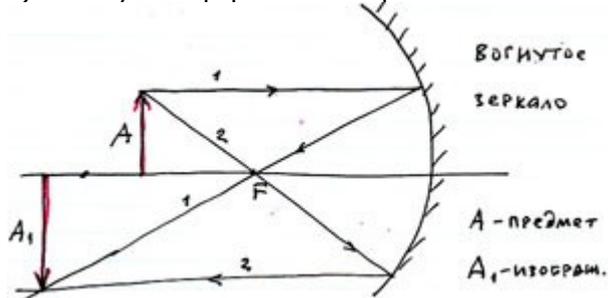
закон отражения

Ниже представлены примеры построения изображений

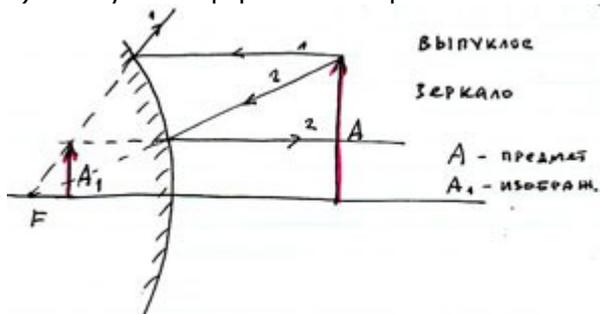
а) в плоском зеркале



б) в вогнутом сферическом зеркале



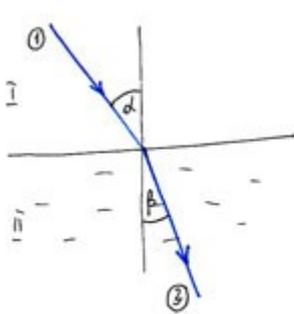
в) в выпуклом сферическом зеркале



### 3. Геометрическая оптика. Призмы

Закон преломления

Луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно отношению скорости света в первой среде к скорости света во второй среде.



① - падающий луч

② - преломленный луч

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \text{ закон преломления}$$

$v_1$  - скор. света в среде I

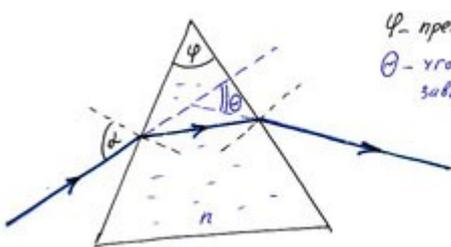
$v_2$  - скор. света в среде II

$$n = \frac{v_1}{v_2} \text{ - относит. показатель преломления}$$

Для воздуха  $n = 1,000292$  - абс. пок. преломления

$n$  - абс. показатель преломления, если среда I - вакуум.

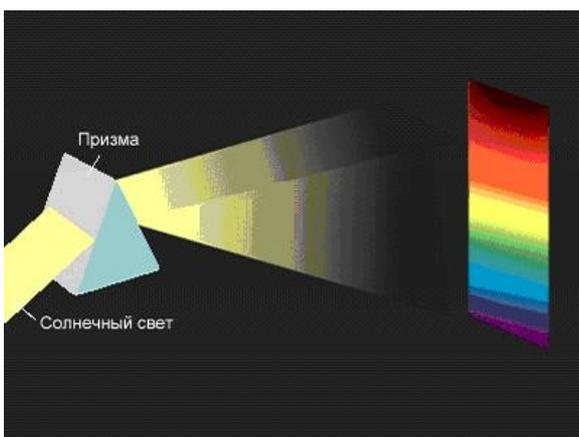
Особый интерес представляет ход луча в призме:



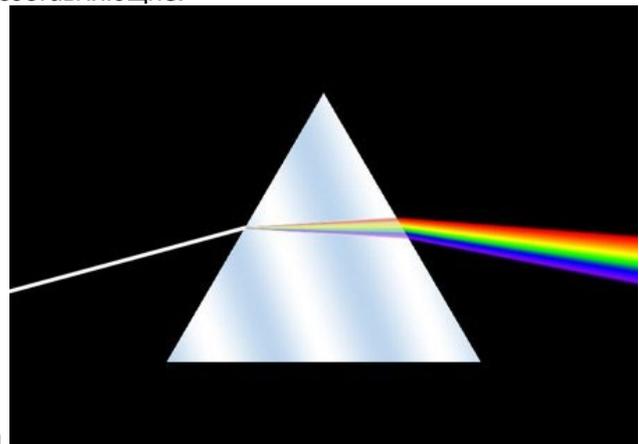
$\varphi$  - преломляющий угол призмы

$\theta$  - угол отклонения луча  
зависит от  $\varphi, n, \alpha$

Поскольку угол преломления зависит от скорости света в среде, а скорость света связана с длиной световой волны (частотой), то свет разного цвета (разной длины волны или частоты) должен преломляться по-разному. Впервые это эффект обнаружил Ньютон, пропуская тонкий солнечный луч через трехгранную призму: белый свет, проходя через призму, распался на радужную полоску, которую принято называть спектром. В спектре выделяют семь основных цветов, однако границы между ними размыты, поэтому полутонов там очень много. Если под одним и тем же углом направить на призму красный и синий лучи, то невооруженным глазом легко заметить, что красный луч преломляется в призме значительно меньше, чем синий. Скорость красного света в веществе больше, чем синего, поэтому таков результат преломления. И именно поэтому призма разлагает белый свет на составляющие.



или

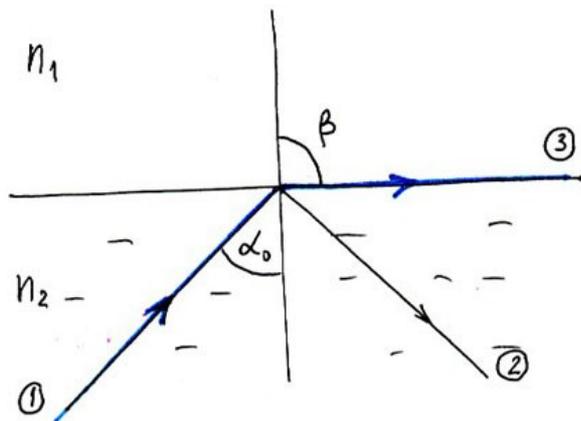


**Дисперсией** называется зависимость показателя преломления света от длины волны (частоты).

**Дисперсионная картина**, которая возникает на экране при прохождении белого света через призму, называется **спектром**. Спектр солнечного света, да и вообще любого источника, который излучает свет в результате нагревания, **сплошной**.

На границе раздела двух сред происходит также частичное отражение падающего луча.

Большое практическое значение имеет **эффект полного отражения**, когда угол преломления равен  $90^\circ$ , и преломленный луч скользит по границе раздела двух сред. Это возможно, если луч падающий попадает на границу раздела двух сред из более плотной среды, например, из воды в воздух.



$$n_2 > n_1$$

$\beta = 90^\circ$  - полное отражение

$\alpha_0$  - предельный угол полного отраж.

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n_2}$$

В геометрической оптике скорость света не имеет значения. Тем не менее, первые способы измерения скорости света были основаны именно на методах геометрической оптики.

Датский астроном Рёмер в 1676 году сделал попытку измерить скорость света по задержке времени выхода спутника Ио из тени планеты - Юпитера. Естественно, точного значения он не получил, но смог оценить порядок: примерно **215 000 км/с**. Это колоссальная скорость!

В 1849 году французский физик Физо с помощью лабораторной установки, которая имела специальный источник света, вращающийся диск с прорезями, полупрозрачное зеркало и обычное зеркало, находящееся на расстоянии 8,6 км, более точно определил величину скорости света: примерно **313 000 км/с**.

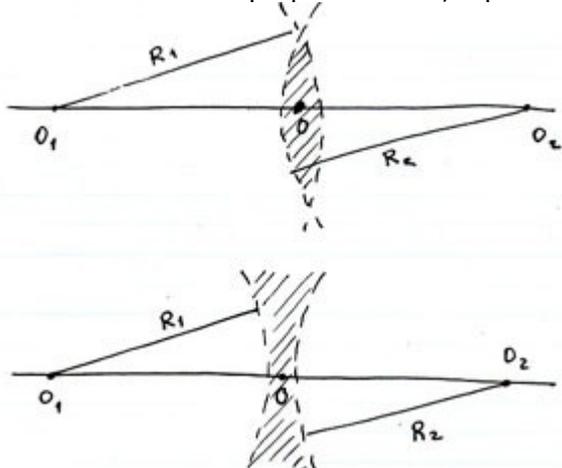
В 1926 году американский физик Майкельсон измерил скорость света с помощью установки, расположенной на двух горных вершинах на расстоянии 35,4 км и содержащей вращающееся зеркало. Значение скорости света, полученное в этом эксперименте, составило **299 796 км/с**.

Наиболее точное значение скорости света было получено в 1972 году: **299 792 456,2 м/с**.

В настоящее время принято, что **скорость света в вакууме** составляет **299 792 458 м/с**

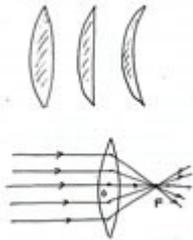
#### 4. Геометрическая оптика. Линзы

**Линзой** называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.



**Выпуклая** линза это такая, у которой толщина в середине больше, чем у краев.

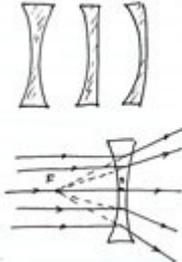
Примеры выпуклых линз:



Выпуклые линзы являются собирающими, т.е направленный на них параллельный пучок лучей они собирают в одной точке - фокусе.

**Вогнутая** линза это такая, у которой толщина в середине меньше, чем у краев.

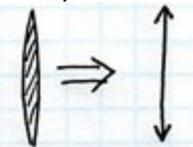
Примеры вогнутых линз:



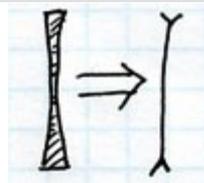
Вогнутые линзы являются рассеивающими, т.е направленный на них параллельный пучок лучей они рассеивают, а в одной точке - мнимом фокусе - собираются их продолжения.

**Тонкая** линза - это такая линза, толщина которой пренебрежимо мала по сравнению с радиусом кривизны.

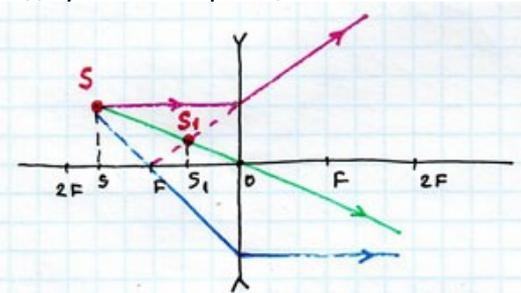
схем рис тонкой выпуклой линзы



схем рис тонкой вогнутой линзы

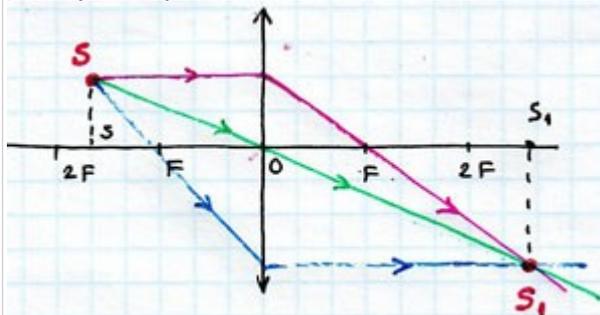


Ход лучей в собирающей линзе:



**S** - источник света  
**d = SO** - расстояние от предмета до линзы  
**f = OS1** - расстояние от изображения до линзы

Ход лучей в рассеивающей линзе:



**S** - источник света  
**d = SO** - расстояние от предмета до линзы  
**f = OS1** - расстояние от изображения до линзы

Примеры построения изображений в собирающей линзе:

1. Если предмет находится на расстоянии  $d > 2F$ , то его изображение - действительное, обратное, уменьшенное
- 2.

2. Если предмет находится на расстоянии  $F < d < 2F$ , то его изображение - действительное, обратное, увеличенное

3. Если предмет находится на расстоянии  $d < F$ , то его изображение - мнимое, прямое, увеличенное

Примеры построения изображений в рассеивающей линзе:

Если предмет находится на любом расстоянии  $d$  по отношению к  $F$ , то его изображение всегда мнимое, прямое, уменьшенное

### 3. Волновые свойства света

Явление наложения световых волн, в результате которого наблюдается устойчивое ослабление или усиление интенсивности света, называется **интерференцией**. Это явление наблюдается, если источники света **когерентны**.

Когерентными являются источники, у которых:

- а) частоты испускаемых ими волн одинаковы;
- б) разность фаз между ними со временем не меняется.

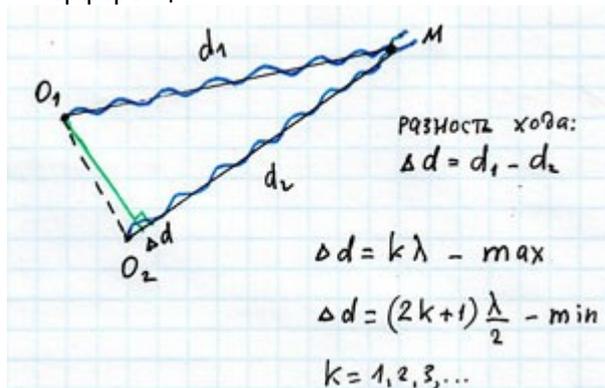
Реальные источники света всегда излучают некогерентные световые волны, поскольку примерно через каждые  $0,00000001$  с ориентировка световой волны, излучаемой атомом, меняется. Именно поэтому нельзя получить когерентные световые волны от двух обычных источников. Два лазера одинаковых длин волн всегда создают когерентные лучи.

Для получения когерентных волн разделяют волны, идущие от одного источника. При этом возникает постоянная разность фаз.

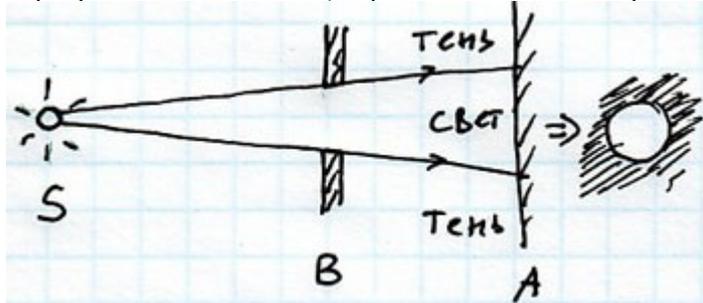
Интерференционная картина представляет собой (для монохроматического света) чередование темных и светлых полос, что соответствует минимуму и максимуму интенсивности.

Для того, чтобы определить, каков будет результат интерференции - максимум или минимум, необходимо знать разность хода волн.

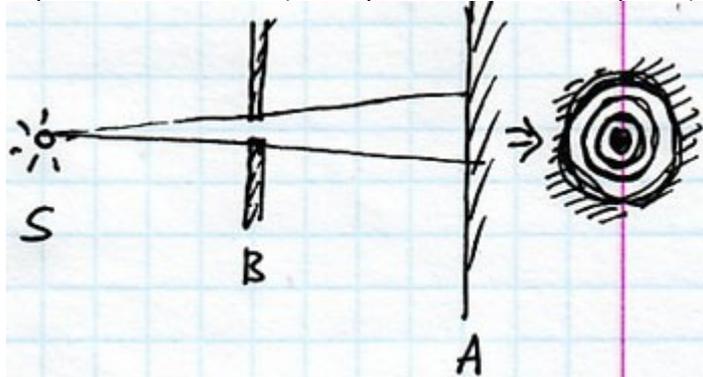
**Разность хода** волн - это разность расстояний от источников волн до точки, где происходит интерференция:



Если между экраном А и источником света S поместить другой экран В с отверстием, то на экране А образуется светлое пятно, ограниченное тенью. Границу тени легко найти геометрическим методом.



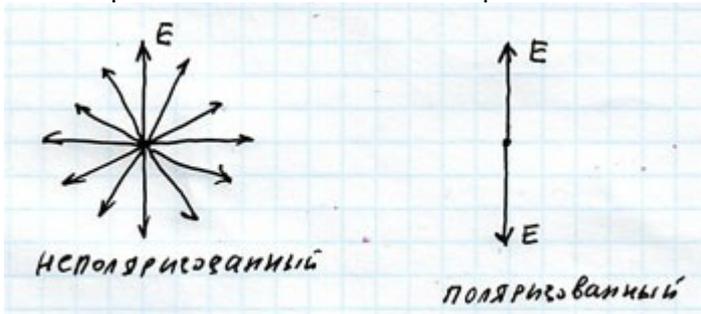
Если же размер отверстия постепенно уменьшать, то граница тени становится все более размытой и, в определенный момент, на экране А возникает картина, несколько не похожая на геометрическую:



Частично светлые круги заходят даже в область тени, что говорит о *непрямолинейном* распространении света вблизи преграды - огибание световым лучом преграды. Данное явление называется **дифракцией света**, а соответствующая картина - дифракционной. Отчетливые дифракционные картины получаются тогда, когда на пути света встречаются преграды, соизмеримые с длиной световой волны.

Если на поверхности стекла нанести ряд тонких непрозрачных штрихов, расположенных параллельно друг другу на очень малых расстояниях - получится так называемая **дифракционная решетка**, которая используется во многих оптических измерительных приборах. Расстояние между соседними щелями решетки называют **d** периодом решетки, а саму решетку - *регулярной*.

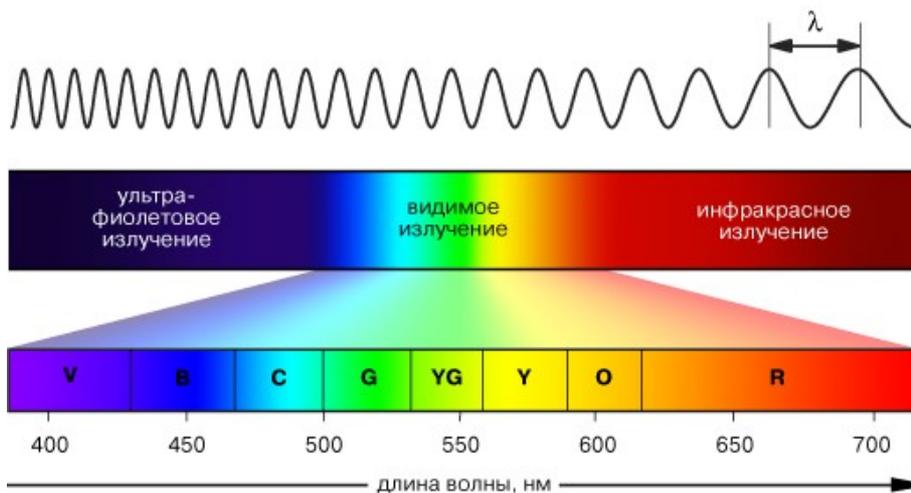
В световой волне, излучаемой одним атомом, векторы **E** и **B** колеблются каждый в своей плоскости. Луч света, в котором колебания вектора **E** совершаются в одной плоскости, называется **поляризованным**. Мы видим световой поток от множества атомов. Световые колебания накладываются друг на друга и вектор **E** в них совершает колебания по всем направлениям:



Такой луч света является *неполяризованным* и называется естественным лучом (светом). Человеческий глаз не отличает поляризованный луч от неполяризованного, однако в некоторых технических устройствах поляризованный свет играет очень важную роль.

#### 4. Излучение и спектры

**Видимый свет** - это электромагнитные волны с длиной волны от **400 нм** до **800 нм**.



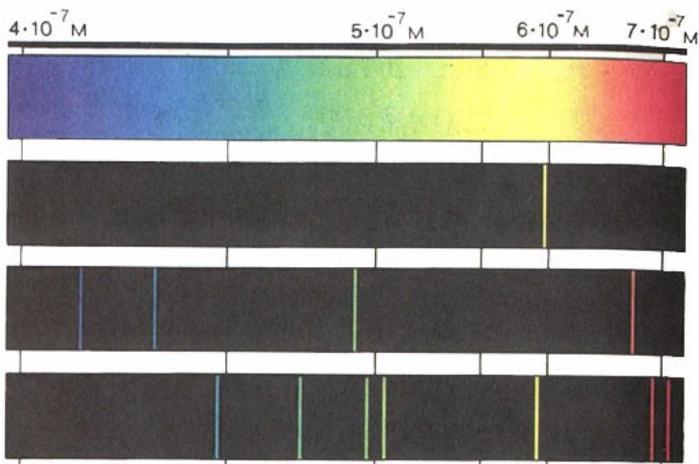
Понятно, что свет излучают атомы. Но в самих атомах света нет, как нет звука в гитаре, пока не трогают струны. Значит, чтобы атомы начали излучать свет, их надо возбудить, т.е. сообщить некоторую энергию. Это можно сделать нагреванием. Излучая электромагнитные волны, атом теряет энергию.

Источники света:

- \* Лампа накаливания - тепловой источник, т.к. свет получается за счет накаливания вольфрамовой нити до высокой температуры. Любое пламя (свечи, керосиновой лампы) - это также тепловой источник света.
- \* Электрорлюминисценция - создание света при газовом разряде. Полярное сияние также относится к этому типу.
- \* Катодоллюминисценция - свечение твердых тел при бомбардировке их электронами.
- \* Хемилюминисценция - свечение за счет химических реакций (гнилушки, светлячки, глубоководные обитатели океана).
- \* Фотоллюминисценция - свечение после поглощения света (светящиеся краски, кнопки пультов ДУ).

Ни один источник не дает **монохроматического** света, т.е. света **одной** определенной длины волны. Та энергия, которую несет свет, определенным образом распределена по волнам всех длин (или по частотам), входящим в состав светового пучка. Солнечный спектр или спектр электрической дуги является непрерывным или сплошным. Это значит, что в таком спектре представлены длины всех волн (частоты).

**Непрерывные** спектры дают твердые, жидкие тела и газы под большим давлением. Вещества в газообразном атомарном (но не молекулярном!) состоянии дают **линейчатые** спектры. В этом случае свет излучают атомы, которые практически не взаимодействуют друг с другом. Изолированные атомы излучают строго определенные длины волн.



Длина ЭМВ может быть очень разной - от тысяч метров (радиоволны) до миллиардных долей метра (рентгеновские лучи). Далее приведена **шкала электромагнитных волн**. Принято выделять низкочастотное излучение, радиоизлучение, инфракрасные лучи, видимый свет, ультрафиолетовые лучи, рентгеновские лучи и гамма-излучение. Самое коротковолновое гамма-излучение испускают атомные ядра. Главное различие между длинноволновыми и коротковолновыми излучениями заключается в том, что при уменьшении длины волны все более явными становятся свойства частиц, а при увеличении - свойства волн.

### Контрольные вопросы:

1. Какие два способа передачи взаимодействий существуют в природе?
2. Опишите суть корпускулярной теории о природе света.
3. Опишите суть волновой теории о природе света.
4. Как изменились взгляды на природу света в конце XIX – начале XX века?
5. Что такое «свет»? Каким свойствами он обладает?
6. Дайте определение светового луча.
7. Когда от предмета образуется тень, а когда – полутень?
8. Сформулируйте первый закон геометрической оптики.
9. Сформулируйте закон отражения света.
10. Изобразите рисунок, иллюстрирующий закон отражения света.
11. Сформулируйте закон преломления света.
12. Изобразите рисунок, иллюстрирующий закон преломления света.
13. Запишите формулу закона преломления. Какие величины входят в нее?
14. Каковы особенности прохождения световых лучей разного цвета через призму?
15. Что такое «дисперсия света»?
16. В чем заключается эффект полного отражения света?
17. Что называется линзой?
18. Какие виды линз вы знаете? Перечислите их.
19. Как вы охарактеризуете прохождение параллельного светового пучка через выпуклую линзу?
20. Как вы охарактеризуете прохождение параллельного светового пучка через вогнутую линзу?
21. Каким может быть изображение предмета в выпуклой линзе?
22. Каким может быть изображение предмета в вогнутой линзе?
23. Что такое «интерференция света»?
24. Какие источники света считаются когерентными?
25. От чего и как именно зависит результат интерференции световых волн в данной точке?
26. Что такое «дифракция света»?
27. Какой свет называют поляризованным?
28. Что представляет собой видимый свет?
29. Какова природа света?
30. Назовите несколько разных источников света.
31. Что значит «монохроматический свет»?
32. Какие источники дают непрерывный спектр?
33. Как возникает линейчатый спектр?
34. Что вы можете сообщить об ультрафиолетовом излучении?
35. Что вы можете сообщить об инфракрасном излучении?