

ПРЕДМЕТ НА ОПТИКАТА



Лектор: проф. д-р Т. Йовчева

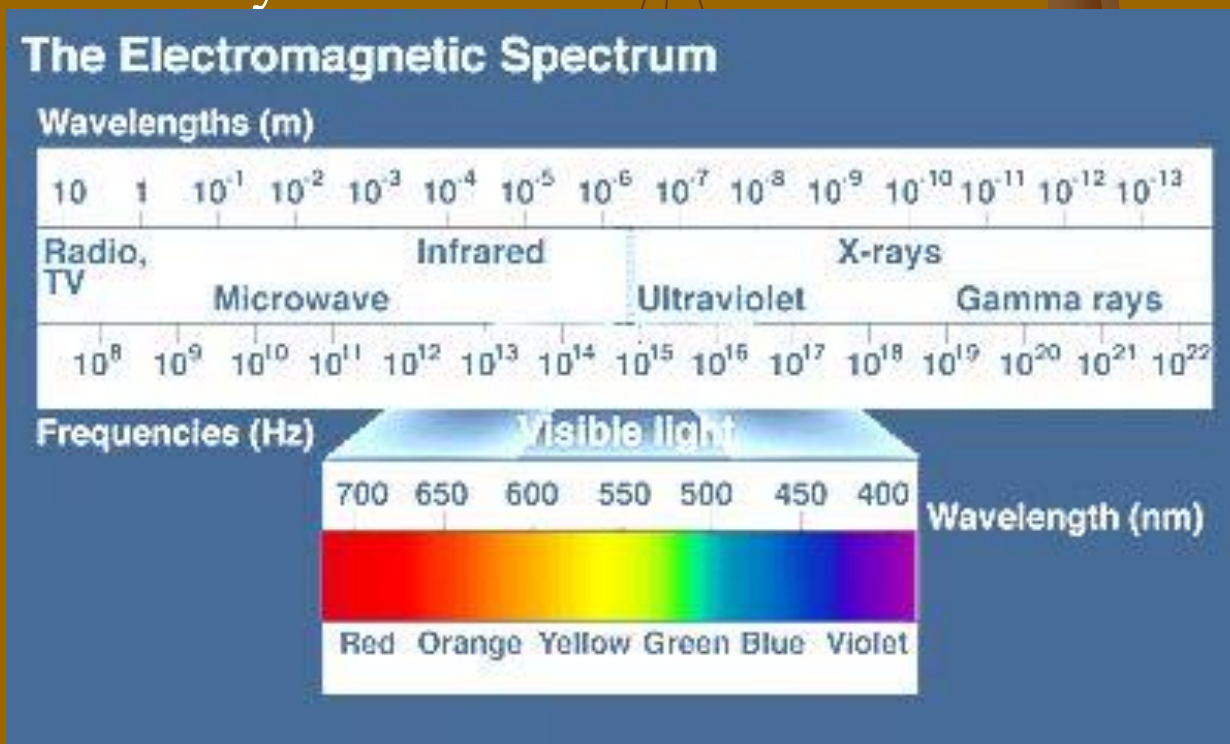
1. Предмет на оптиката

Оптика – учение за светлината.

Раздел от физиката, изучаващ свойствата и физичната природа на светлината, взаимодействието на светлината с веществото, получаването на образи в оптичните прибори.

*Светлина – оптичната област на спектъра на ЕМВ:
УВ, видим, ИЧ*

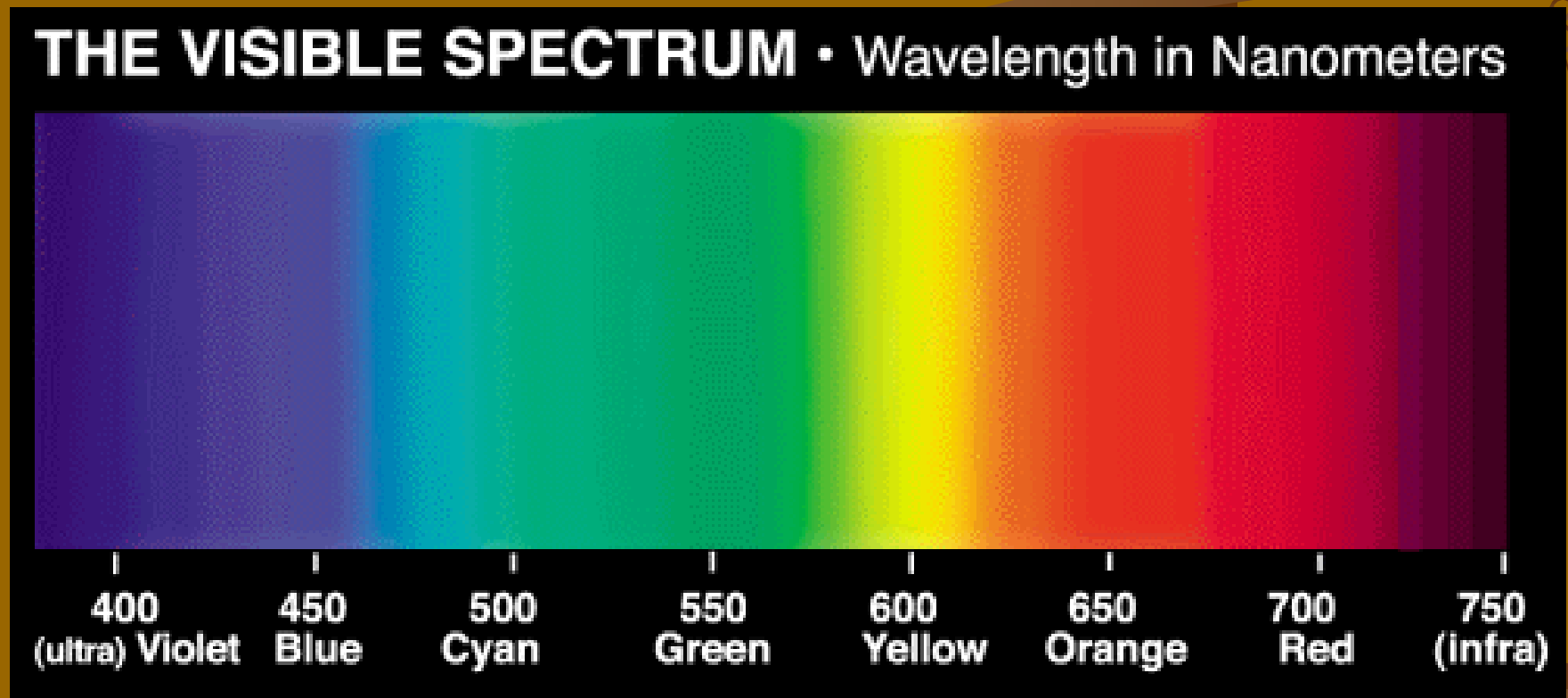
- сходство на методите и приборите за изследване
- начин на получаване



$$\lambda = c/\nu, c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Оптичен диапазон – 10nm - 1 mm; $3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$ - $3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$

Видим диапазон – (400 - 760) nm; $(7,5 - 4) \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

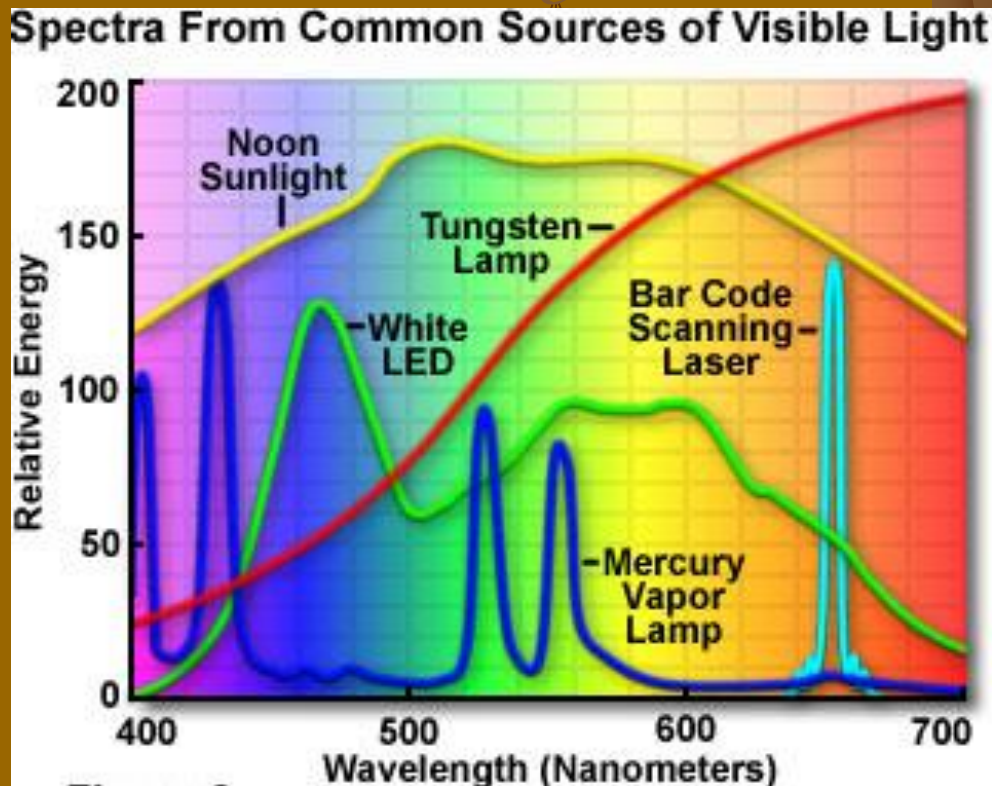


Видима светлина

Излъчва се от:

- Слънце
- Светодиоди
- Различни видове газонапълнени лампи
- Лазери

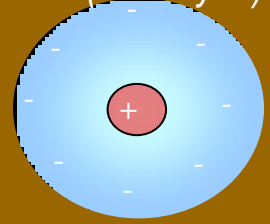
Разпространява се лесно през чиста атмосфера.



Представите за оптиката са *класически* или *квантови* в зависимост от теорията, която описва процеса на излъчване на светлината и взаимодействието ѝ с веществото.

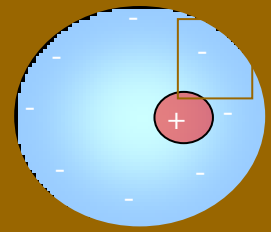
■ **Класически представи за светлината. Електричен дипол и ЕМВ**

Невъзбуден атом (молекула)

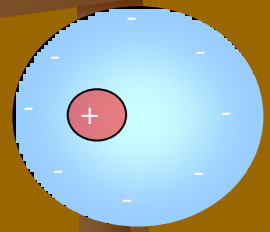


$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_0 \cos(\omega t)$$

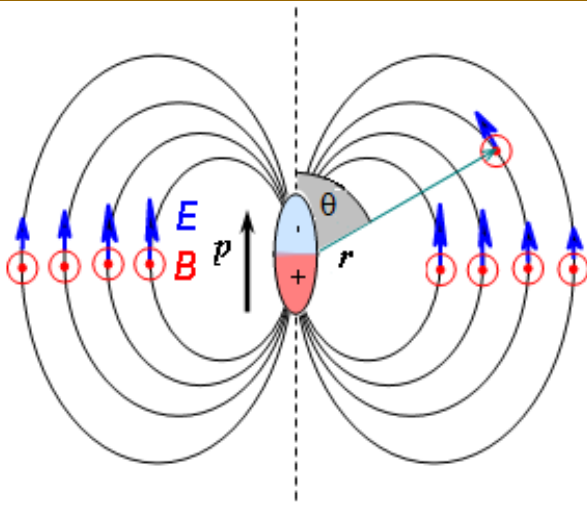
Възбуден атом ДИПОЛ



Възбуден атом ДИПОЛ



Трептящ ДИПОЛ



Полетата \mathbf{E} и \mathbf{B} на трептящ дипол

EM вълна

Вълнов фронт

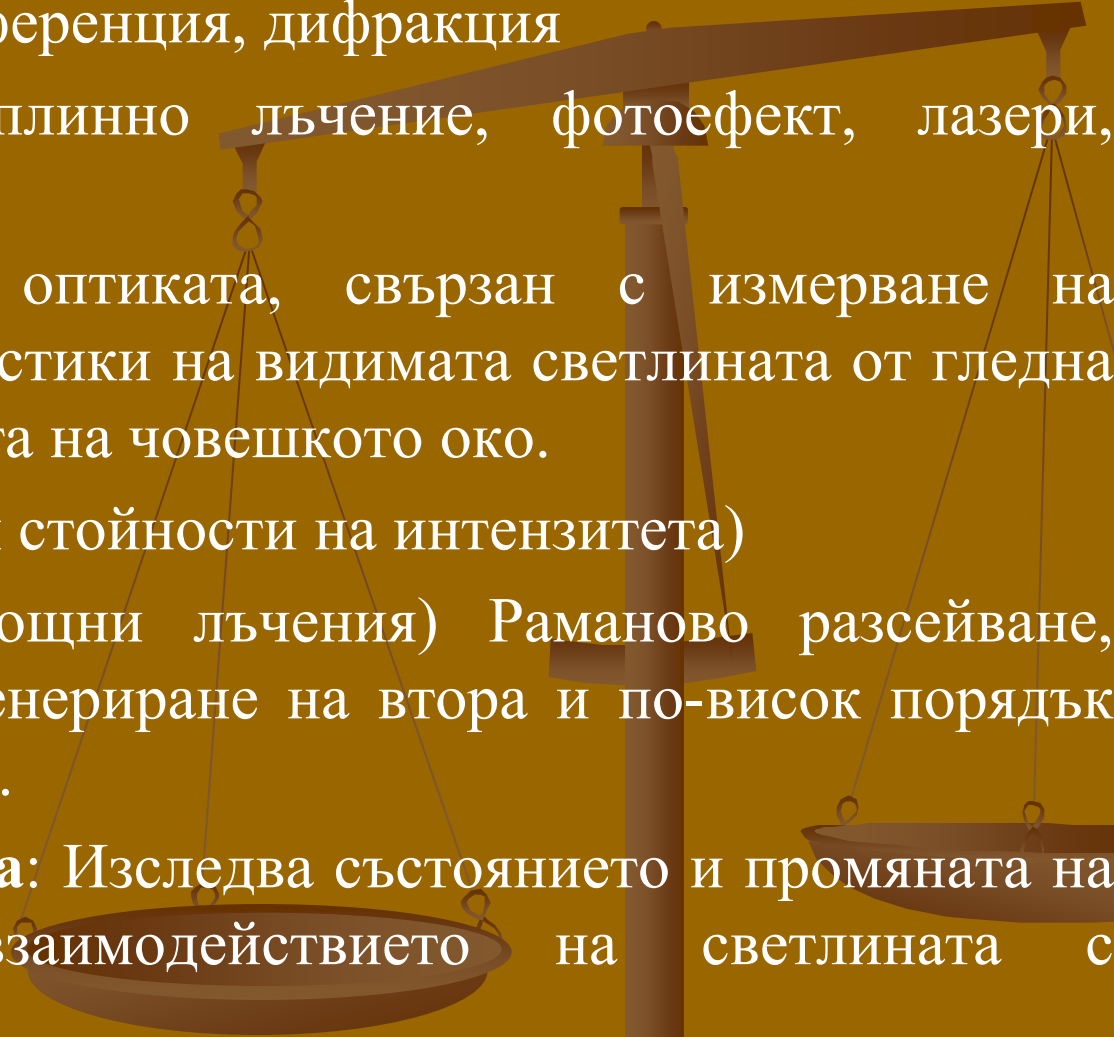
$\mathbf{S} = \frac{1}{\mu} \mathbf{E} \times \mathbf{B}$

Положение, z

2. *Геометрична оптика* ($\lambda \rightarrow 0$) ; език на геометрията

- оптични елементи (огледала, лещи, призми), оптични инструменти, аберации

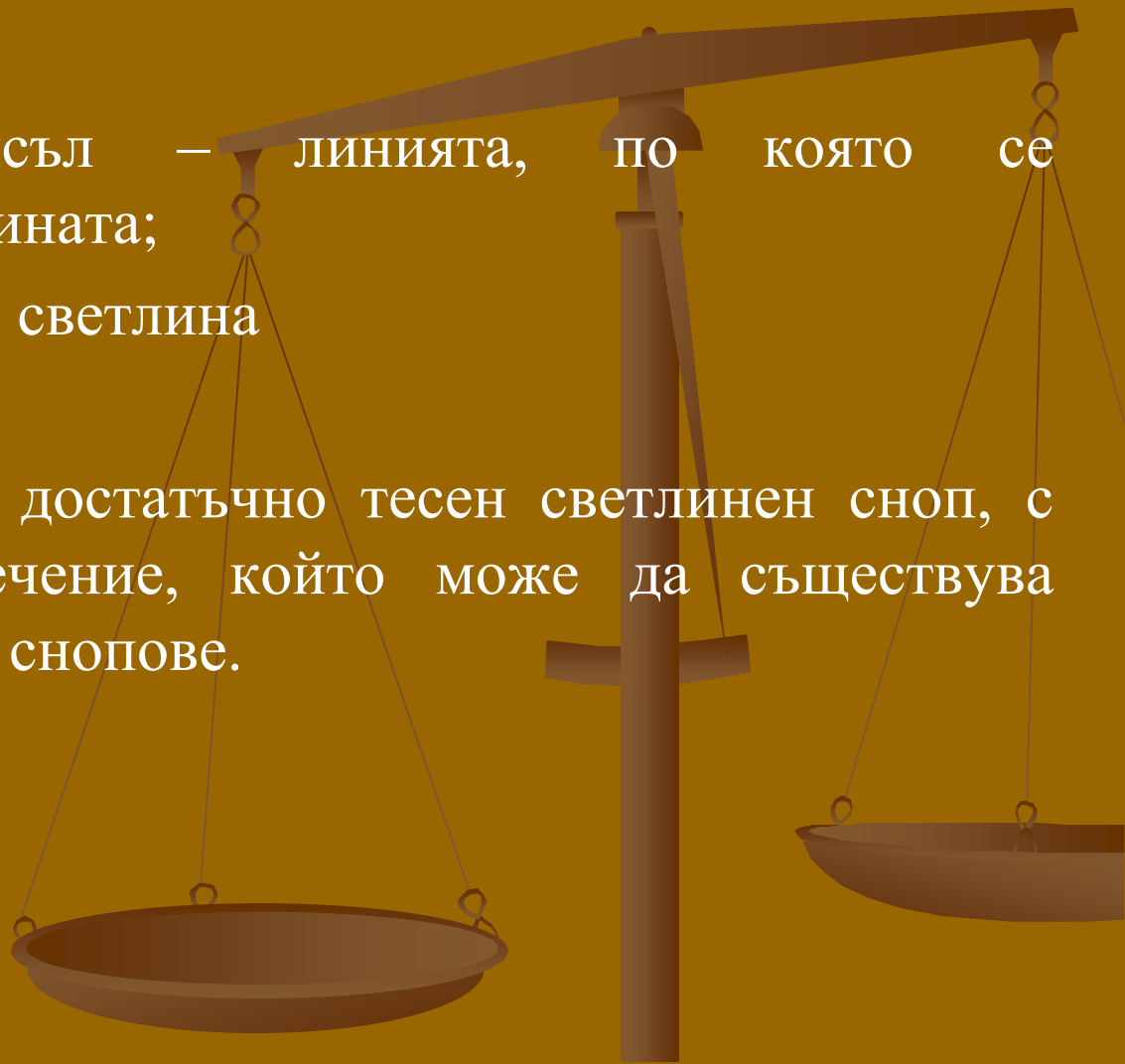
3. *Физическа оптика* - Физическа природа на светлината

- **Вълнова оптика:** интерференция, дифракция
 - **Квантова оптика:** топлинно лъчение, фотоефект, лазери, квантови ефекти
 - **Фотометрия:** дял от оптиката, свързан с измерване на енергетичните характеристики на видимата светлината от гледна точка на чувствителността на човешкото око.
 - **Линейна оптика** (малки стойности на интензитета)
 - **Нелинейна оптика** (мощни лъчения) Раманово разсейване, двуфотонно смесване, генериране на втора и по-висок порядък хармонични честоти и др.
 - **Поляризационна оптика:** Изследва състоянието и промяната на поляризацията при взаимодействието на светлината с веществото.
- 

4. Основни закони на геометричната оптика (лъчева оптика)

Светлинен лъч:

- математически смисъл — линията, по която се разпространява светлината;
- безкрайно тънък сноп светлина
- физически смисъл — достатъчно тесен светлинен сноп, с крайно напречно сечение, който може да съществува изолирано от другите снопове.



а) **Закон за праволинейното разпространение на светлината, (Евклид, 300 г.пр.н.е.)**

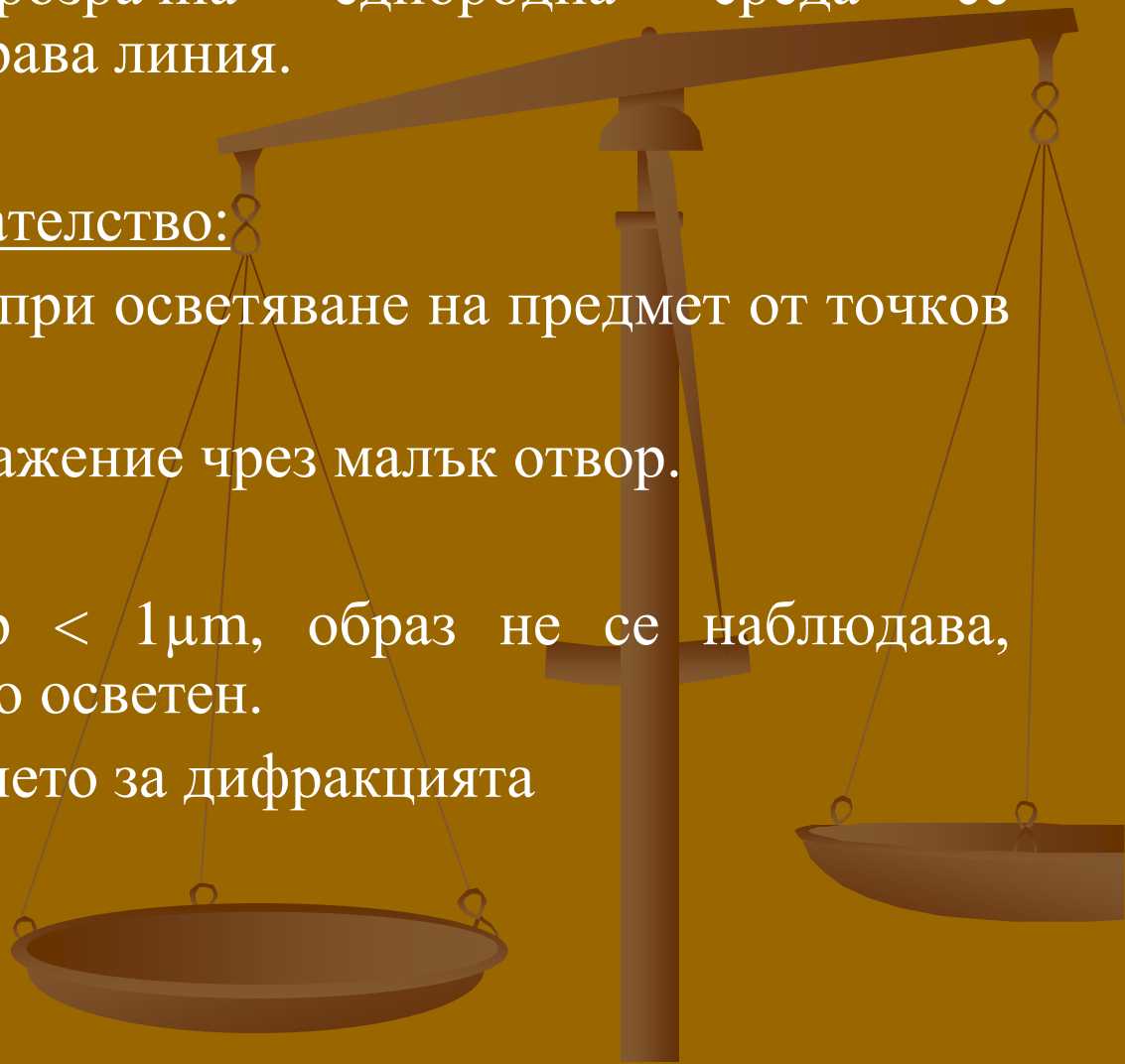
Светлината в прозрачна еднородна среда се разпространява по права линия.

Експериментално доказателство:

- образуване на сянка при осветяване на предмет от точков източник;
- получаване на изображение чрез малък отвор.

Нарушение: При отвор $< 1\mu\text{m}$, образ не се наблюдава, екранът е равномерно осветен.

Обяснява се от учението за дифракцията



б) Закон за независимостта на светлинните снопове (лъчи)

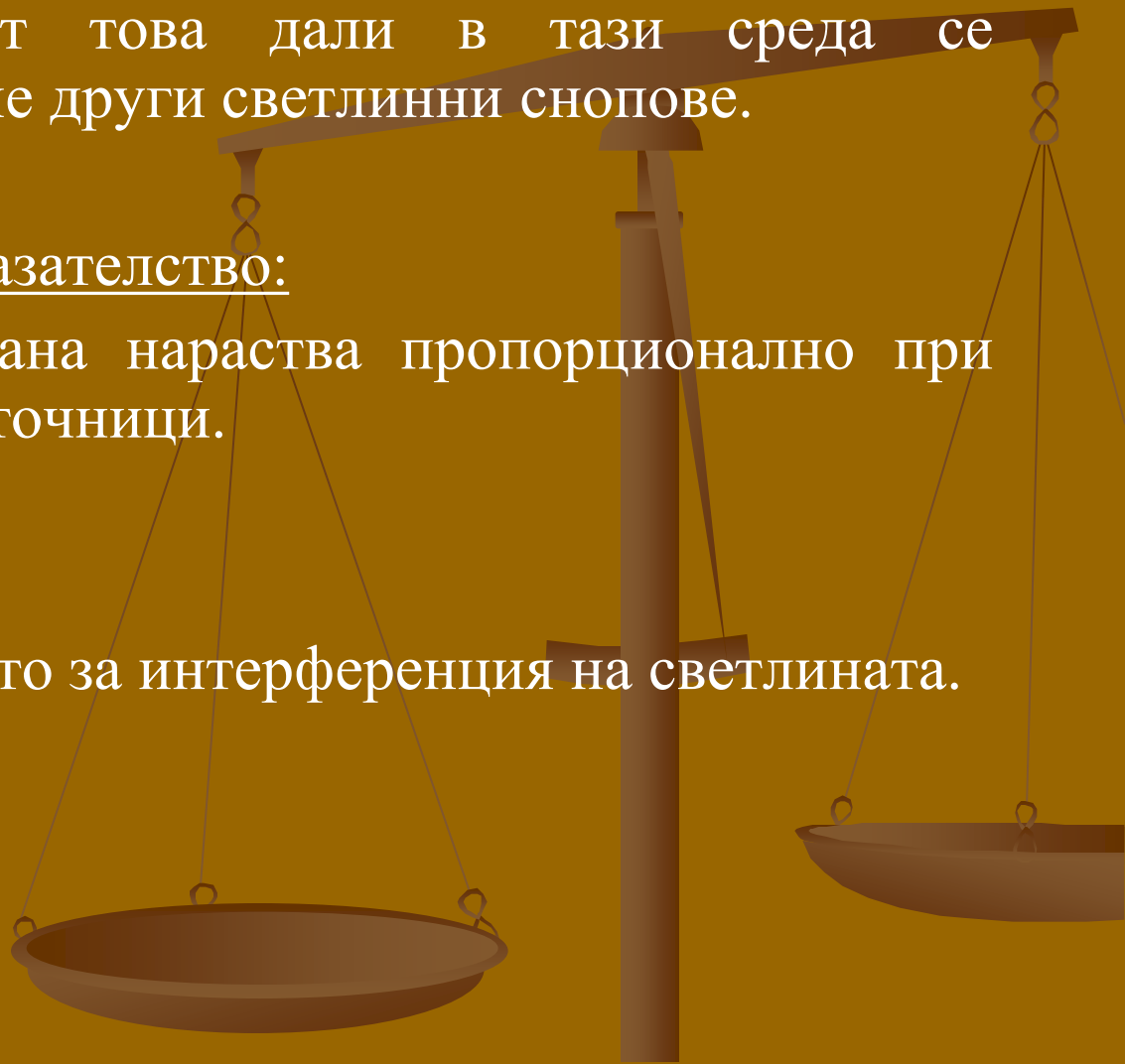
Разпространението на всеки светлинен сноп в дадена среда не зависи от това дали в тази среда се разпространяват или не други светлинни снопове.

Експериментално доказателство:

Осветлението на екрана нараства пропорционално при включване на нови източници.

Нарушение:

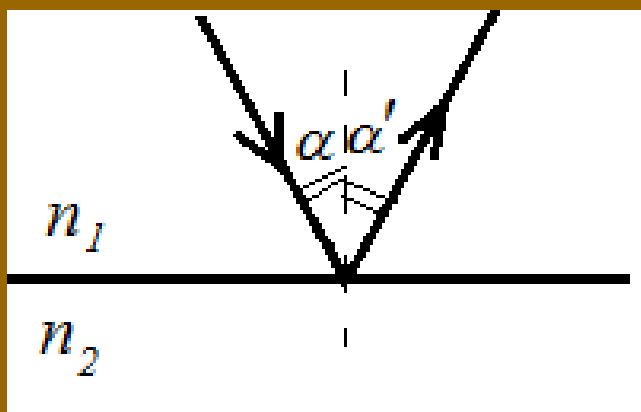
Изяснява се от учението за интерференция на светлината.



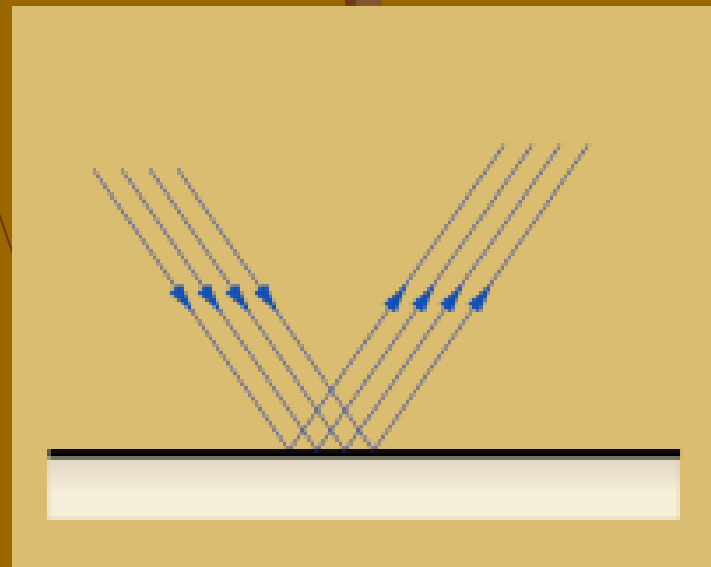
в) Закон за отражение на светлината (Евклид, 300 г.пр.н.е.)

На границата на две среди падащият лъч, отразеният лъч и нормалата в точката на падане лежат в една равнина. Ъгълът на падане е равен на ъгъла на отражение.

$$\alpha = \alpha'$$

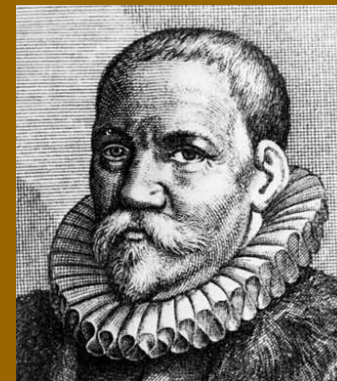


n_1 – показател на пречупване на първата среда,
 n_2 – показател на пречупване на втората среда.

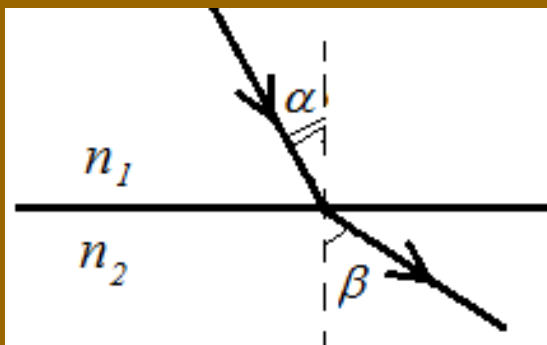


г) Закон за пречупване на светлината

Открит от холандски учен
Вилеброрд Снелиус (1580–1626)



Пречупеният лъч лежи в равнината на падане и ъглите са свързани така:



$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$$

n_1 – показател на пречупване на първата среда,
 n_2 – показател на пречупване на втората среда.

Относителен (коефициент) показател на пречупване: $n_{21} = n_2 / n_1$

Абсолютен (коефициент) показател на пречупване: $n_2 = n_2 / n_0$

n_0 – показател на пречупване във вакуум

ПЪЛНО ВЪТРЕШНО ОТРАЖЕНИЕ

Наблюдава се при разпространение от оптически по-плътна към оптически по-рядка среда:

$$n_1 > n_2$$

$$\sin \alpha_{gp} = n_2 / n_1 \leq 1$$

При $\alpha = \alpha_{gp}$, $\beta = 90^\circ$

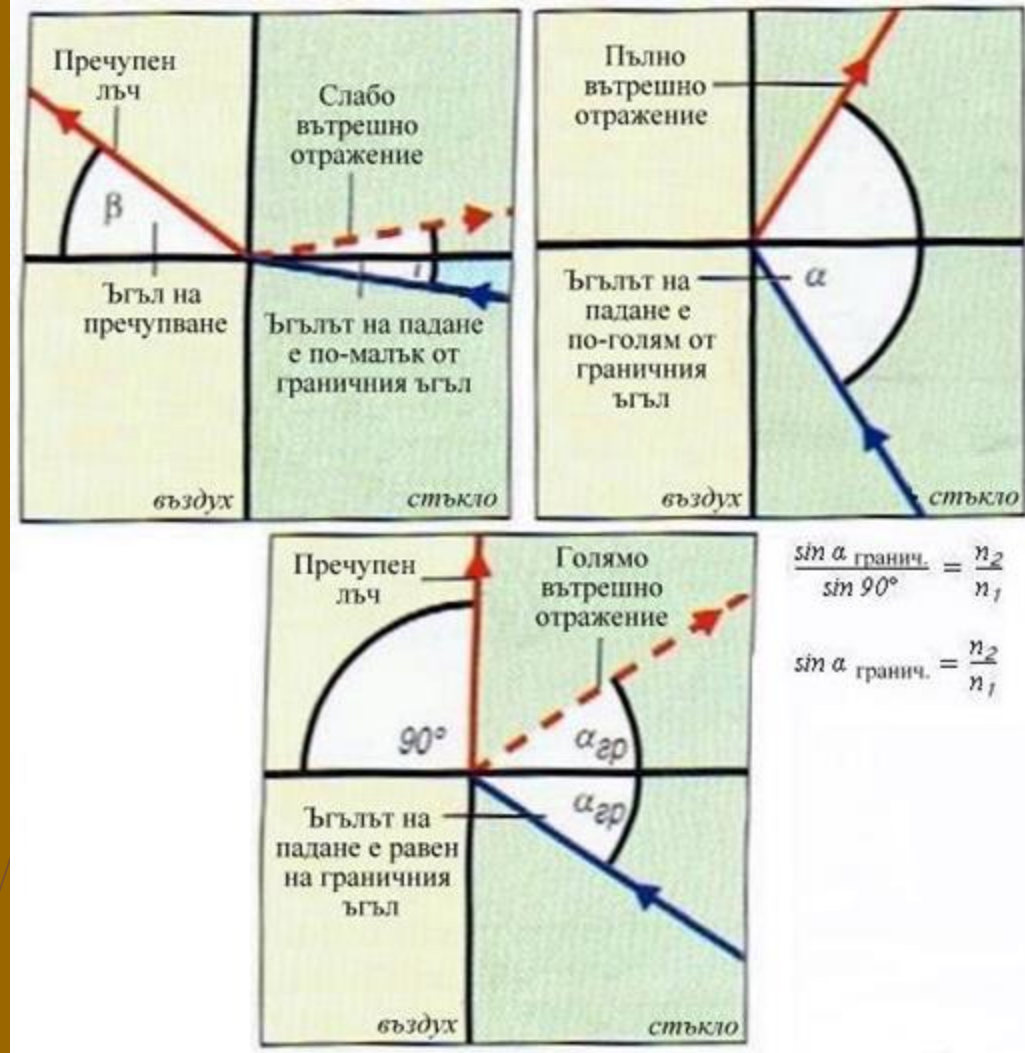
Например:

СТЪКЛО - ВЪЗДУХ

Граничен ъгъл $\alpha_{gp} = 42^\circ$

Нарушение (в, г):

При малка разделителна повърхност - обяснява се от учението за дифракция.



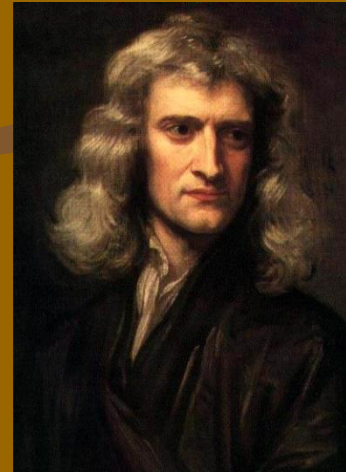
5. Развитие на възгледите за природата на светлината

а) Корпускулярна теория –
Исак Нютон, края на 17 век

Английски физик
(4.01.1643 – 31.03.1727)

Светлината представлява поток от светлинни частици – корпускули, които се изпускат от телата.

Използват се законите на механиката, за обяснение на основните геометрични закони.



1. Обяснява праволинейното разпространение на светлината със *закона за инерцията*;
2. Обяснява независимостта на светлинните лъчи с това, че *корпускулите не взаимодействат помежду си*;
3. Обяснява закона за отражението на светлината чрез *отражение на еластични топки*;
4. *Не обяснява правилно* законът за пречупване на светлината.

Допуска се, че се изменя само нормалната компонента на скоростта на светлината, т.к. светлинните корпускули взаимодействат с частиците на среда 2 само по нормалата.

$$v_{1\tau} = v_{2t}$$

Получава се, че в оптически по-плътна среда светлината се разпространява по-бързо, а това не е вярно.

$$n_1/n_2 = v_1/v_2$$

б) Вълнова теория

Кристиан Хюйгенс
Нидерландски физик
(14.04.1629 – 8.07.1695)



В “Трактат за светлината” (1690 г.) са изложени схващанията му за вълновата теория на светлината.

Светлината представлява еластична вълна, разпространяваща се в еластична хипотетична среда – етер, запълващ цялото пространство и проникващ във всички тела.

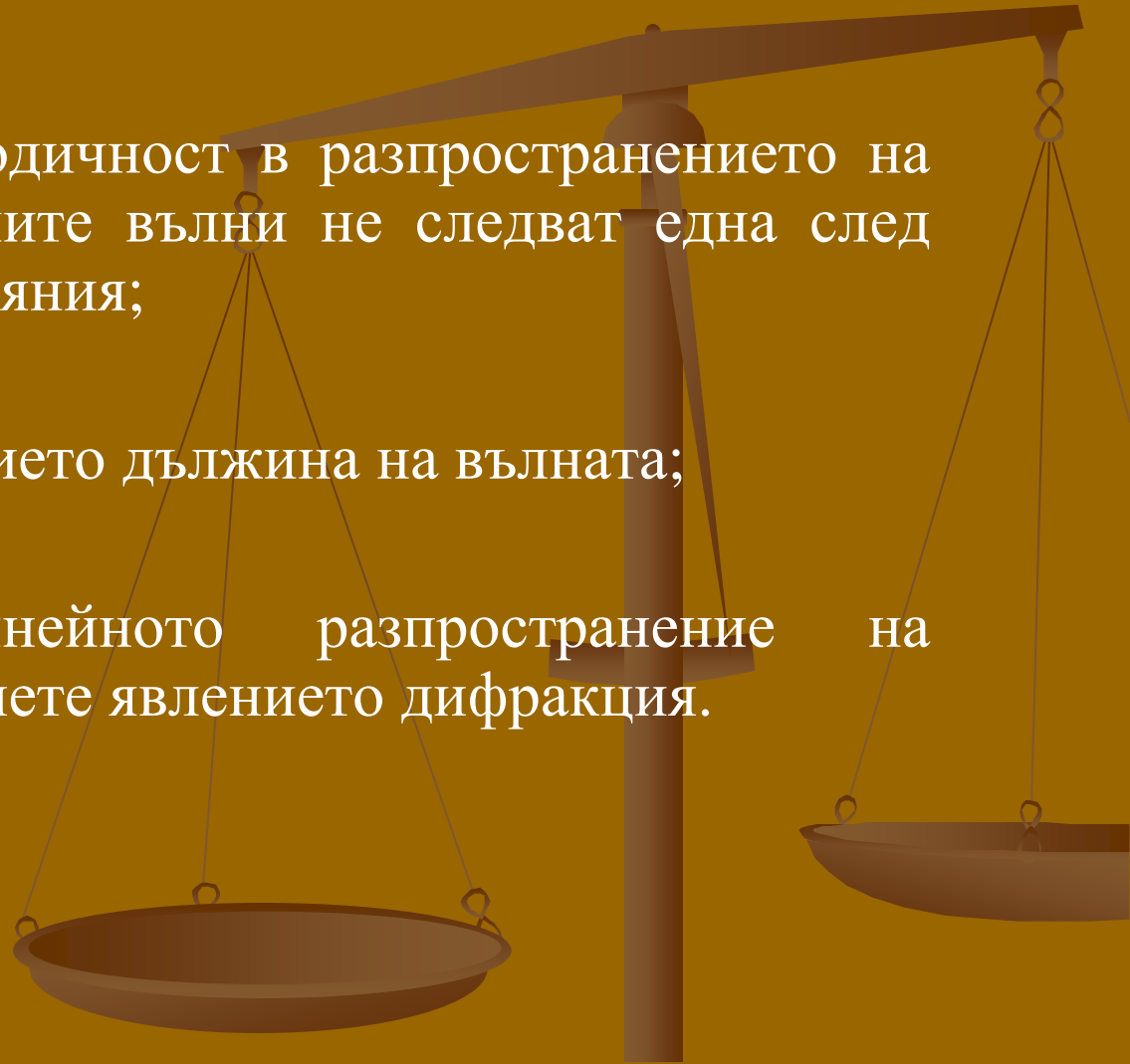
Принцип на Хюйгенс: Всяка точка, до която е достигнал вълновият фронт е източник на елементарни сферични вълни, разпространяващи се във всички посоки. Обвивките на тези вълни представляват новия фронт на вълната.

Отнася се до направлението на разпространение на вълновия фронт, който се отъждествява с геометрична повърхност, а не с разпространение на вълната, това по същество е принцип на геометричната оптика и правилно обяснява четвъртия закон.

б) Вълнова теория – Хюйгенс, 1678г.

Недостатъци:

- Не предполага периодичност в разпространението на вълната, т.е сферичните вълни не следват една след друга на равни разстояния;
- Не се използва понятието дължина на вълната;
- Разглежда праволинейното разпространение на светлината, без да отчете явлението дифракция.



Развитие на вълновата теория – 19 век

- Исак Нютон (17в.) – нютонови пръстени, наблюдава ги и предполага *периодичност на светлинните процеси*. Въвежда понятията за пристъп на леко отражение и леко преминаване.



Исак Нютон
Английски физик
(4.01.1643 – 31.03.1727)

- Томас Юнг – В «Теория на светлината и цветовете» (1801г.) обяснява нютоновите пръстени и *оцветяването на тънки пластинки* на основата на принципа на интерференция.

Прави първи опити за определяне *дължината на вълната*.



Томас Юнг
Английски физик
(13.06.1773 – 10.05.1829)

Развитие на вълновата теория – 19 век

- Огюстин Френел - Допълва принципа на Хюйгенс с принципа на интерференция на Юнг (1815г.).

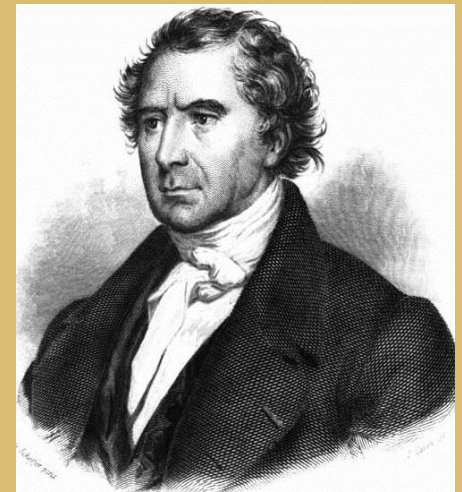
Обяснява не само праволинейното разпространение на светлината, но и *разпределението на интензивността на светлината* при преминаване покрай препятствие и разработва теорията на дифракция на светлината (1818г.).

Извежда законите за изменение на поляризацията на светлината при отражение и пречупване (1823г.).

- Опит на Френел и Араго – изучава се поляризацията на светлината и *интерференцията на поляризираната светлина*. Допускат, че *светлинната вълна е напречна*.



Огюстин Френел
Френски физик
(10.05.1788 – 14.07.1827)

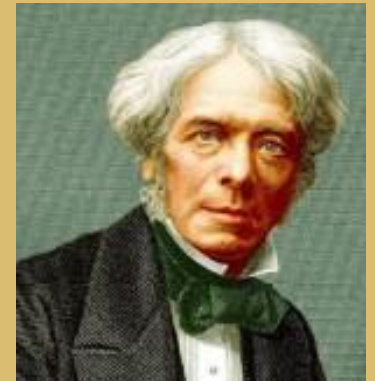


Франсоа Араго
Френски физик
(26.02.1786 – 2.10.1853)

Развитие на вълновата теория – 19 век

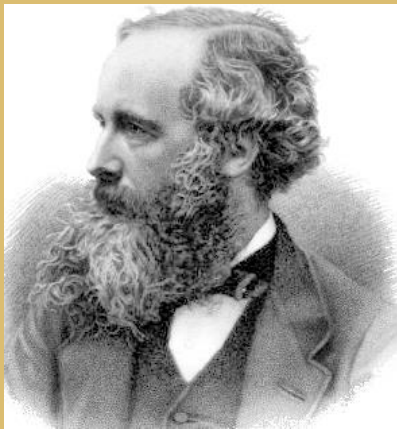
■ Майкъл Фарадей

Открива *въртенето на плоскостта на поляризация в магнитно поле* (1846г.).



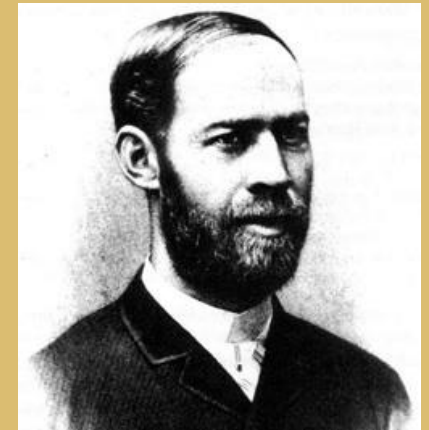
Майкъл Фарадей
Английски физик
(22.09.1791 – 25.08.1867)

■ Джеймс Кларк Максуел – теоретически доказва, че измененията на (ЕМП) не са локализирани в пространството, а се *разпространяват със скоростта на светлината във вакуум.*



Джеймс Кларк Максуел
Английски физик
22.09.1791 – 25.08.1867

■ Хайнрих Херц – 1888г. – потвърждава опитно това заключение.



Хайнрих Херц
Немски физик
(22.02.1857 – 1.01.1894)

$$v(\text{емп. вакуум}) = c(\text{светлината}) = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

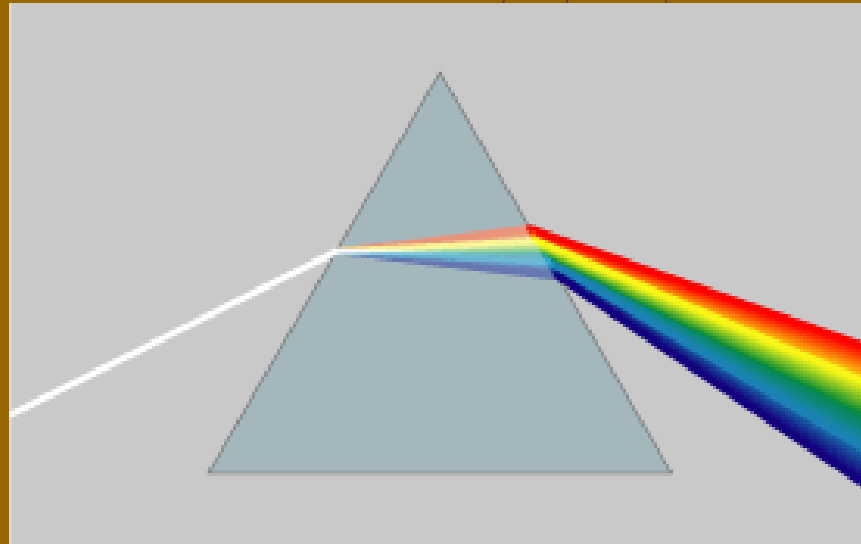
в) Електромагнитна теория – Джеймс Максвел, 1868г.

Светлината е електромагнитно явление, т.е. тя е електромагнитна вълна с определена дължина и се разпространява с определена скорост. Това не са механични, еластични вълни.

Обяснява добре разпространението на светлината.

Недостатъци:

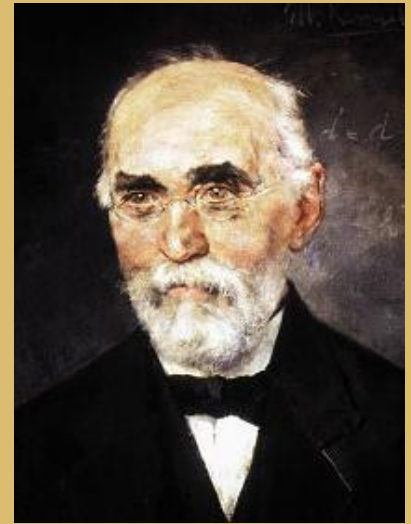
- не обяснява дисперсията на светлината;
- не обяснява взаимодействието на светлината с веществото.



г) Електронна теория – Хендрих Лоренц

Развива електромагнитната теория на светлината и електронната теория на веществата.

Трептенията на електроните с различни честоти обясняват дисперсията на светлината (1896г.).



Хендрих Лоренц
Холандски физик
(18.07.1853 – 4.02.1928)

д) Релативистка електродинамика

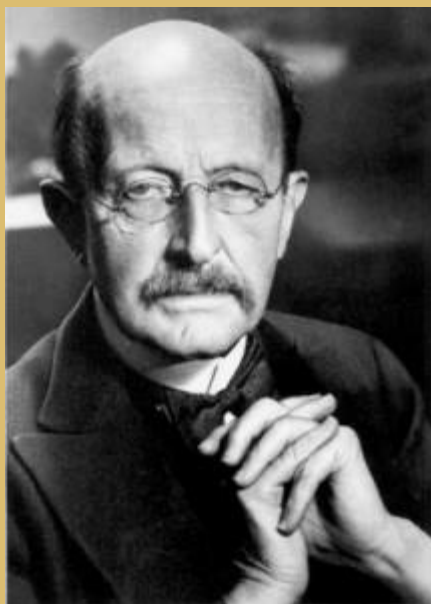
Светлината (ЕМП) и веществото са две различни форми на материята.

Пример:

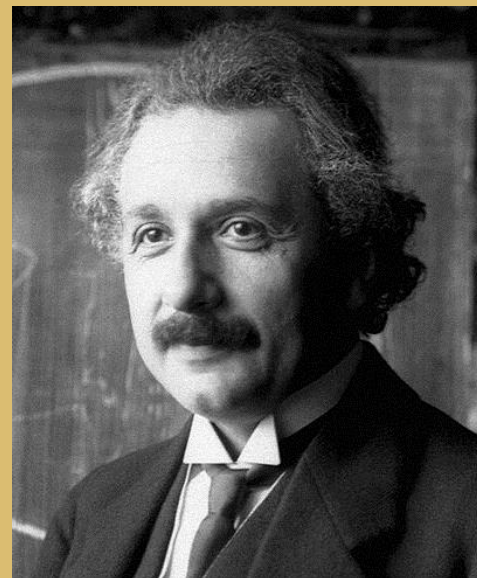
Превръщане на квант светлина в двойка електрон – позитрон и обратно.

е) Квантова теория - Според квантовите представи светлината:

- се излъчва във формата на дискретни пакети (фотони) (Макс Планк),
- се разпространява под формата фотони с дискретна енергия (Айнщайн),
- се поглъща под формата на фотони с дискретна енергия (Айнщайн).



Макс Планк
Немски физик
(23.04.1858 — 4.10.1947)



Алберт Айнщайн
Немски физик
(14.03.1879 — 18.08.1955)

Светлината се излъчва, разпространява и поглъща не непрекъснато, а на определени порции или кванти – фотони. Квазичастицата фотон носи определена енергия $E = \hbar \cdot \omega$

Корпускулярно-вълнов дуализъм

Светлината притежава едновременно както вълнови, така и корпускулярни свойства.

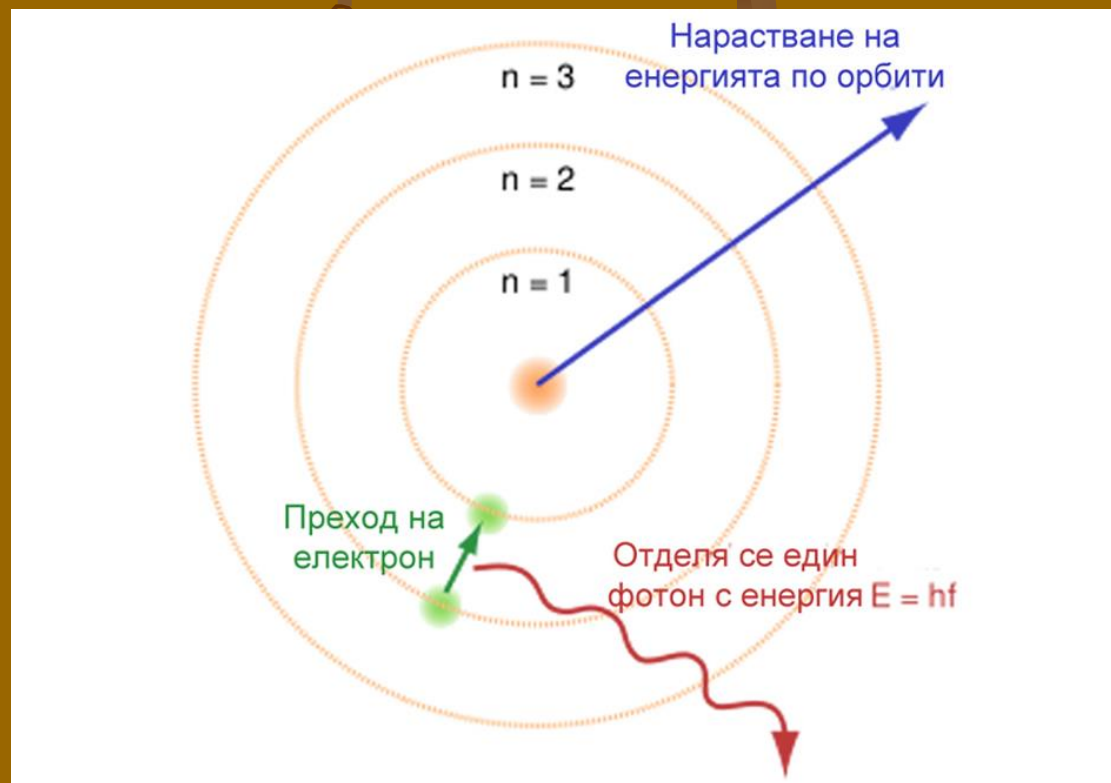
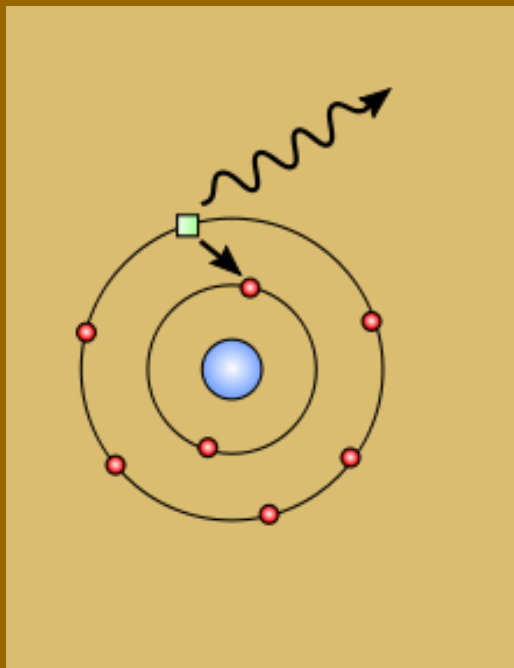
В много физични явления светлината се проявява като поток от частици - **фотони**, например при фотоефекта и в ефекта на Комптон,

докато в други има свойства на **електромагнитна вълна**, например при дифракция и интерференция, дори от единичен фотон, когато големината на процеп е сравним с дължината на вълната.

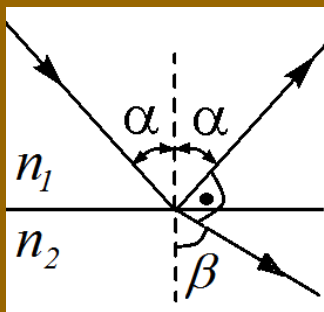
Тази двойственост е присъща и за поток елементарни частици – атоми, електрони, позитрони и др.

Електронът преминава от едно възбудено състояние E_1 в друго E_2 , като излъчва един светлинен импулс или квант (фотон) електромагнитно лъчение със строго определени честота, амплитуда, начална фаза, равнина на поляризация.

Естествената (бяла) светлина може да се разглежда като съвкупност от такива невзаимодействащи се фотони.



Задача 1. Светлинен лъч пада на плоската граница на две прозрачни среди, като частично се отразява и частично се пречупва. Показателите на пречупване на двете среди са съответно n_1 и n_2 . Определете ъгъла на падане α , при който отразеният лъч е перпендикулярен на пречупения лъч.



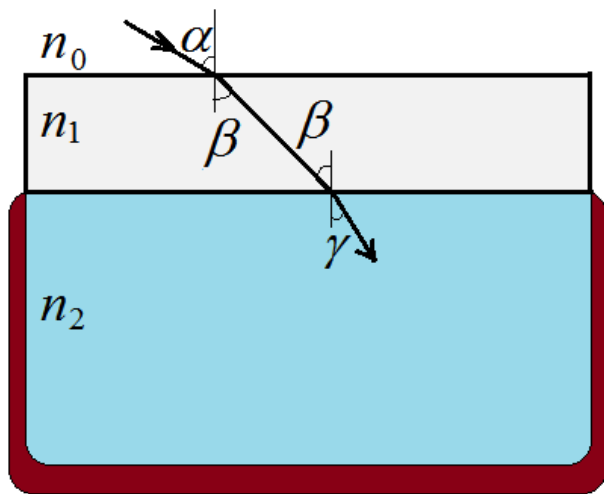
$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

$$\alpha + \beta = \pi / 2$$

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin(\pi / 2 - \alpha) = n_2 \cos \alpha$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

Задача 2. Върху чаша пълна с вода с показател на пречупване $n_2 = 1,33$ е поставена плоскопаралелна стъклена пластинка с показател на пречупване $n_1 = 1,5$. Под какъв ъгъл трябва да пада на пластинката светлинен лъч, за да може на границата стъкло-вода да се наблюдава пълно вътрешно отражение?



$$n_0 \sin \alpha = n_1 \sin \beta$$

$$n_0 = 1$$

$$\sin \alpha = n_1 \sin \beta$$

$$\sin \alpha = n_2 \sin \gamma$$

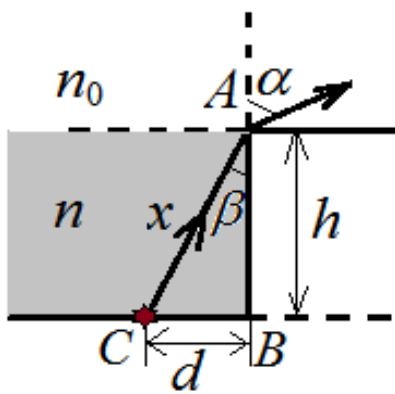
$$n_1 \sin \beta = n_2 \sin \gamma$$

При пълно вътрешно отражение: $\sphericalangle \gamma = \frac{\pi}{2}$: $\sin \alpha = n_2$.

Това равенство е невярно, т.к $n_2 = 1,33$, а трябва $\sin \alpha \leq 1$.

Невъзможно е да се наблюдава пълно вътрешно отражение на границата стъкло-вода при така подредените среди вещество.

Задача 3. В басейн на дълбочина $h = 2,3$ m и на разстояние $d = 1,2$ m от единия му край се намира източник на светлина. Определете под какъв ъгъл спрямо нормалата ще излезе светлината от водата в този край на басейна, ако се предположи, че той е пълен до горе с вода. Показателят на пречупване на водата е $n = 1,33$.



$$x^2 = d^2 + h^2 \Rightarrow x = \sqrt{d^2 + h^2}$$

$$\sin \beta = \frac{d}{x}$$

$$\sin \beta = \frac{d}{\sqrt{d^2 + h^2}}$$

$$n_0 \sin \alpha = n \sin \beta$$

$$n_0 = 1$$

$$\sin \alpha = n \sin \beta$$

$$\alpha = \arcsin \frac{nd}{\sqrt{d^2 + h^2}}$$

$$\sin \alpha = \frac{nd}{\sqrt{d^2 + h^2}}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{1,33 \cdot 1,2}{\sqrt{1,2^2 + 2,3^2}} = 38^\circ$$