ОПТИКА

Геометрична оптика

1. Теории за природата на светлината

а) корпускулярна теория, създадена от Нютон. Корпускула означава частица (от латински). Различни цветове – различни видове частици. Отражение – частиците отскачат от огледалата като еластични топчета. Недостатък – не може да обясни явленията интерференция и дифракция.

б) вълнова теория, създадена от Хюйгенс. Светлината е вид вълна, по-късно е установено – електромагнитна вълна. Различни цветове – различна дължина на вълната в интервала от 400 до 780 nm (1 nm = 10^{-9} m). Например: 400 nm – виолетов цвят, 555 nm – зелен, 780 nm – червен. Смес на няколко вълни с различни дължини окото възприема като един цвят. Например: в мониторите на компютрите всички цветове се получават от смесване само на три цвята – червен (R-red), зелен (G-green) и син (B-blue), накратко означавани като RGB. Тази теория обяснява явленията интерференция и дифракция, но не може да обясни излъчването и поглъщането.

в) квантова теория, създадена от Планк и Айнщайн. В някои явления светлината се проявява като поток от частици, наречени кванти или фотони, в други явления – като електромагнитна вълна. Затова говорим за корпускулярно-вълнов дуализъм (двойственост).

Скорост на светлината. Исторически първо измерване – от датския астроном Рьомер в 1676 г. Скоростта на светлината във вакуум е една от най-важните физични константи. Означава се с буквата c и има стойност $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

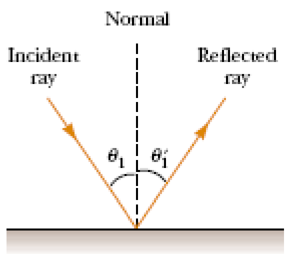
2. Основни закони

Това са опитни закони, известни до установяване на природата на светлината.

а) Принцип на Ферма: Светлината се разпространява по такъв път, за изминаването на който е необходимо минимално време.

б) Закон за праволинейното разпространение в еднородни среди. Това е пряко следствие от принципа на Ферма. Светлината ще измине разстоянието между две точки за най-кратко време, ако се движи по права линия.

в) Закон за независимото разпространение на лъчите. Всеки лъч се разпространява независимо от това, дали се разпространяват и други лъчи. Този закон е в сила само в линейната оптика (има вещества, в които не е в сила, особено при голям интензитет на лъчите).



г) Закон за отражение: Ъгълът на падане е равен на ъгъла на отражение:

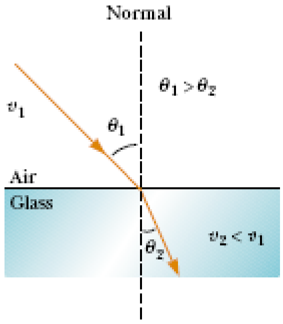
$$\theta_1' = \theta_1$$

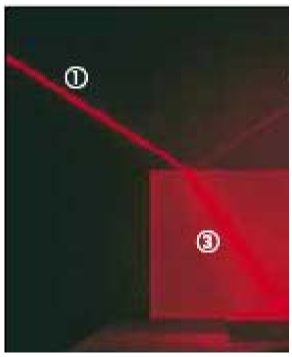
д) показател на пречупване n на дадена среда наричаме отношението на скоростта на светлината във вакуум към скоростта на светлината във средата: $n = \frac{c}{v}$.

Пример: Стъклена пластинка има показател на пречупване 1,5. Да се намери скоростта на светлината в стъкло.

$$n = \frac{c}{v} \qquad v = \frac{c}{n} = \frac{3.10^8}{1,5} = 2.10^8 \text{ m/s}$$

е) Закон за пречупване (закон на Снелиус). Когато светлината преминава от една среда в друга среда, където скоростта й е различна, например от въздух в стъкло, тя променя посоката си. Това явление се нарича пречупване.

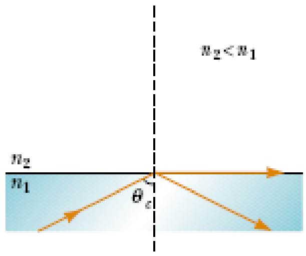


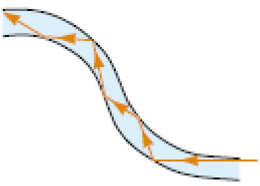


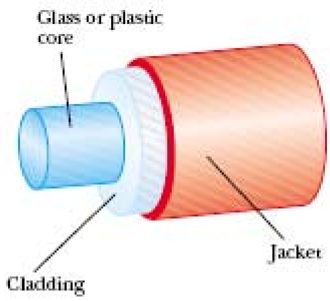
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \text{ или } \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Тук v_1 и v_2 са скоростите на светлината в първата и втората среда. Ако първата среда е вакуум $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = n$, като n е показателят на пречупване на втората среда.

ж) Пълно вътрешно отражение. Ако светлината преминава от среда с по-голям показател на пречупване към среда с по-малък показател на пречупване (например от стъкло към въздух) ъгълът θ_2 е по-голям от θ_1. При някакъв достатъчно голям ъгъл θ_1, θ_2 става равен на $90°$, т.е. светлината не преминава във втората среда, а се отразява изцяло в първата. Това явление се нарича пълно вътрешно отражение. Използва се в съвременните телекомуникации за пренос на информация с помощта на оптични влакна.



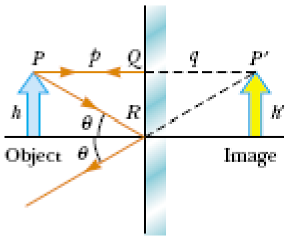


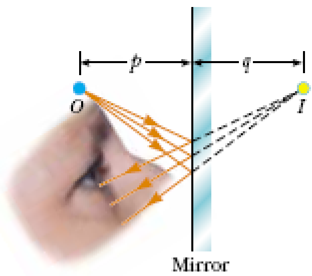


3. Образи при отражение и пречупване на светлината.

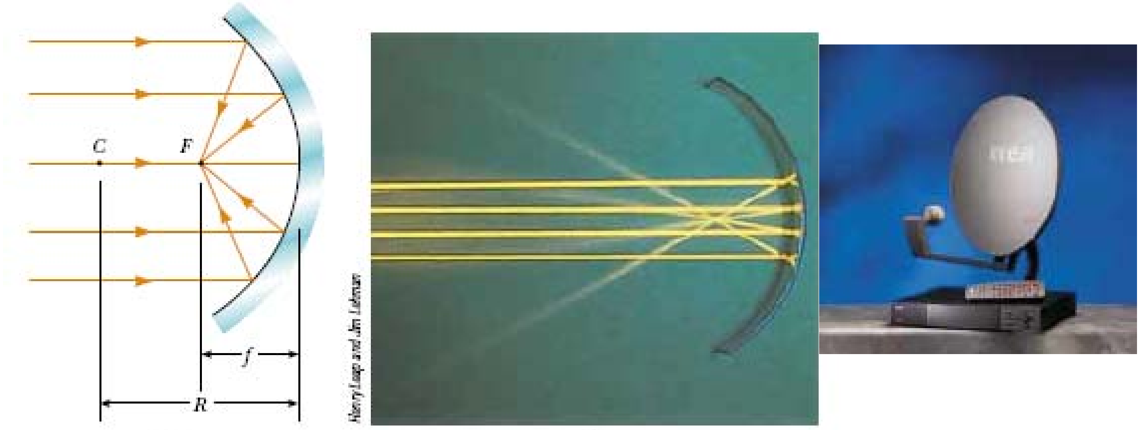
а) Отражение от плоско огледало

Лъчите, които се излъчват от точка P се отразяват от огледалото съгласно закона за отражение. Ние наблюдаваме тези отразени лъчи. За нас те все едно идват от точка P’. Точка P’ се нарича образ на точка P.



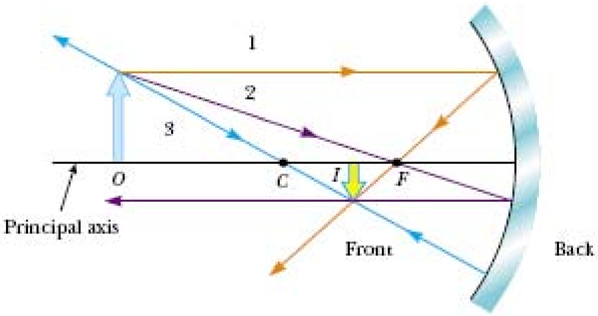


б) Сферично огледало. Огледалната повърхност е част от сфера. Ако пуснем успореден сноп лъчи върху тази повърхност, те се отразяват към една точка F наречена фокус. Разстоянието *f* от фокуса до огледалото се нарича фокусно разстояние. Сателитните антени работят на същия принцип, но във фокуса им се събира не светлина, а радиовълни.

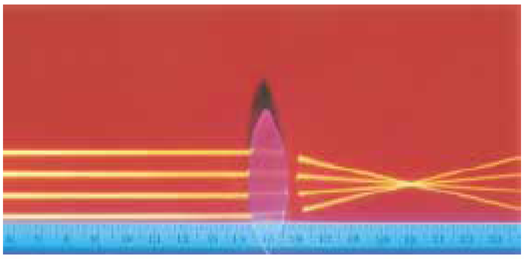


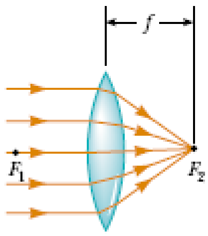
(a) (b)

При построяване на образ от сферично огледало може да се използва един лъч, успореден на оптичната ос, който след отражение ще мине през фокуса, и един лъч през центъра на окръжността, който след отражение се връща обратно. Образът се получава, където се пресекат тези два лъча.

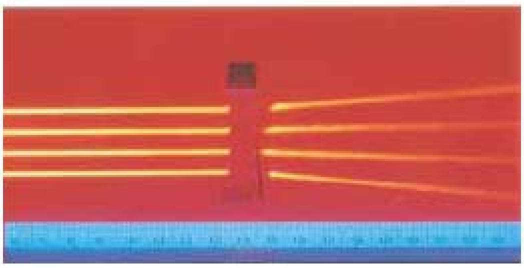


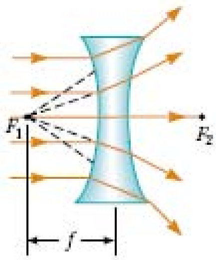
в) Събирателна леща. Успореден сноп лъчи се събират в една точка, наречена фокус на лещата.





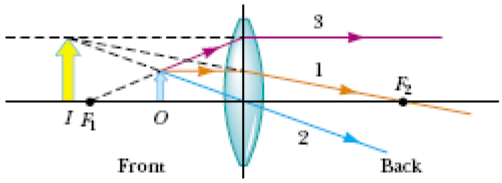
г) Разсейвателна леща. Продълженията на лъчите се събират в една точка, наречена фокус на лещата.



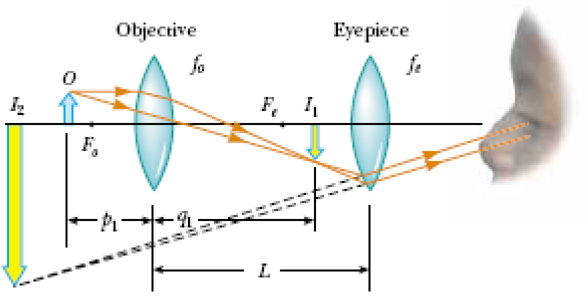


д) Построяване на образ от лещи. Пуска се един лъч, успореден на оста, който след пречупване преминава през фокуса. Вторият лъч се пуска през центъра на лещата и се разпространява без пречупване.

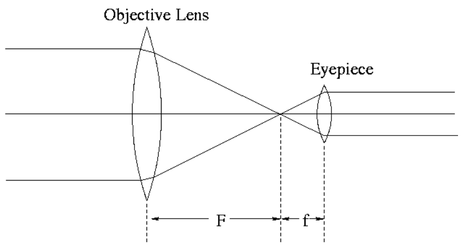
е) Лупа. Вижда се, че образът (жълтата стрелка) е по-голям от предмета (синята стрелка)



ж) Ход на лъчите в микроскоп.



з) Ход на лъчите в телескоп.



е) Аберации. В реалните оптични системи се проявяват различни изкривявания на образа, наречени аберации. За тяхното отстраняване се използват по-сложни обективи и окуляри, състоящи се от няколко лещи, а не само от две лещи като в горните примери за микроскоп и телескоп.

Интерференция на светлината.

1. Дефиниция.

Разглеждаме две светлинни вълни:

$y_1 = A\cos(\omega t - k_1 x_1)$ и $y_2 = A\cos(\omega t - k_2 x_2)$.

Двете вълни се наслагват в една точка. За трептенията в тази точка имаме (Тук сме използвали, че $\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha-\beta}{2}\cos\frac{\alpha+\beta}{2}$.):

$$y = y_1 + y_2 = 2A\cos\left(\frac{k_2 x_2 - k_1 x_1}{2}\right)\cos\left(\omega t - \frac{k_2 x_2 + k_1 x_1}{2}\right)$$

Този израз може да се разглежда като една вълна с амплитуда $2A\cos\left(\frac{k_2 x_2 - k_1 x_1}{2}\right)$, която зависи от разликата $\frac{k_2 x_2 - k_1 x_1}{2}$. В някои точки, в зависимост от стойностите на разликата $\frac{k_2 x_2 - k_1 x_1}{2}$, cos ще заеме максималната си стойност ± 1, а в други точки ще заеме стойност 0. Следователно амплитудата на светлинната вълна ще е различна в различните точки.

Интерференция на светлината наричаме наслагването на светлинни вълни, при което в едни точки на пространството възникват минимуми на интензитета на светлината, а в други точки – максимуми.

2. Условия за минимум и максимум.

По-подробно, като имаме предвид, че $k = \frac{\omega}{v}$ и $n = \frac{c}{v}$ получаваме $\frac{k_2 x_2 - k_1 x_1}{2} = \frac{1}{2}\frac{\omega}{c}(n_2 x_2 - n_1 x_1) = \frac{1}{2}\frac{\omega}{c}\Delta$. Изразът $\Delta = (n_2 x_2 - n_1 x_1)$ се нарича разлика в оптичните пътища.

От свойствата на $\cos$ знаем, че $\cos\alpha = \pm 1$, когато $\alpha = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, ...$ или по-общо записано, на цяло число π, $\alpha = m\pi$, където m е някакво цяло число: $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$ Максимум ще имаме, ако $\frac{1}{2}\frac{\omega}{c}\Delta = m\pi$ или $\Delta = 2m\frac{c}{\omega}\pi$. Като използваме, че $\frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$, където λ е дължината на вълната във вакуум, получаваме $\Delta = 2m\frac{\lambda}{2\pi}\pi$ или $\Delta = m\lambda$. *Това е условието за интерференчен максимум.*

Аналогично знаем, че $\cos\alpha = 0$, когато $\alpha = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, ...$ или по-общо записано, на полуцяло число π, $\alpha = \frac{(2m+1)\pi}{2}$, където m е някакво цяло число: $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$ (забележете, че $(2m+1)$ е винаги нечетно число). От $\frac{1}{2}\frac{\omega}{c}\Delta = \frac{(2m+1)\pi}{2}$ получаваме *условието за интерференчен минимум* $\Delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$.

Запомнете:
условие за интерференчен максимум $\Delta = m\lambda$
условие за интерференчен минимум $\Delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$ $\qquad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$

Пример. От точка А се излъчват две светлинни вълни с дължина на вълната $\lambda = 500\,\mathrm{nm}$. Те се разпространяват във вакуум и достигат т. В от екран, като едната вълна изминава път $x_1 = 1\,\mathrm{cm}$, а другата $x_2 = 1{,}01\,\mathrm{cm}$. Определете дали в т. В ще се наблюдава интерференчен минимум или максимум.
Решение:
$\lambda = 500\,\mathrm{nm} = 500.10^{-9}\,\mathrm{m}$; $x_1 = 1\,\mathrm{cm} = 0{,}01\,\mathrm{m}$; $x_2 = 1{,}01\,\mathrm{cm} = 0{,}0101\,\mathrm{m}$; за вакуум показателят на пречупване е $n = 1$.
Определяме разликата в оптичните пътища
$\Delta = (n_2 x_2 - n_1 x_1) = (1.x_2 - 1.x_1) = 0{,}0101 - 0{,}01 = 0{,}0001\,\mathrm{m}$
Заместваме в условието за интерференчен максимум $\Delta = m\lambda$:
$0{,}0001 = m\,500.10^{-9}$ и получаваме $m = 200$.
Заместваме в условието за интерференчен минимум $\Delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$:
$0{,}0001 = (2m+1)\frac{500.10^{-9}}{2}$ и получаваме $m = 195{,}5$.
Знаем, че m трябва да е цяло число. Това е изпълнено при условието за интерференчен максимум и следователно в т. В ще се наблюдава интерференчен максимум.
(Забележка: Ако и в двата случая m не беше цяло число, нямаме нито минимум нито максимум)

Пример. От точка А се излъчват две светлинни вълни с дължина на вълната $\lambda = 500\,\mathrm{nm}$, които достигат до т. В от екран, разположен на разстояние $x_1 = x_2 = 1\,\mathrm{cm}$. Първата вълна се разпространява във вакуум, а втората в газ с показател на пречупване $n_2 = 1{,}000125$. Определете дали в т. В ще се наблюдава интерференчен минимум или максимум.

Решение:

$\lambda = 500\,\mathrm{nm} = 500.10^{-9}\,\mathrm{m}$; $x_1 = x_2 = 1\,\mathrm{cm} = 0{,}01$ m; $n_1 = 1$ (вакуум); $n_2 = 1{,}000125$

Определяме разликата в оптичните пътища

$\Delta = (n_2 x_2 - n_1 x_1) = (1{,}000125.0{,}01 - 1.0{,}01) = 0{,}00000125\,\mathrm{m}$

Заместваме в условието за интерференчен максимум $\Delta = m\lambda$:

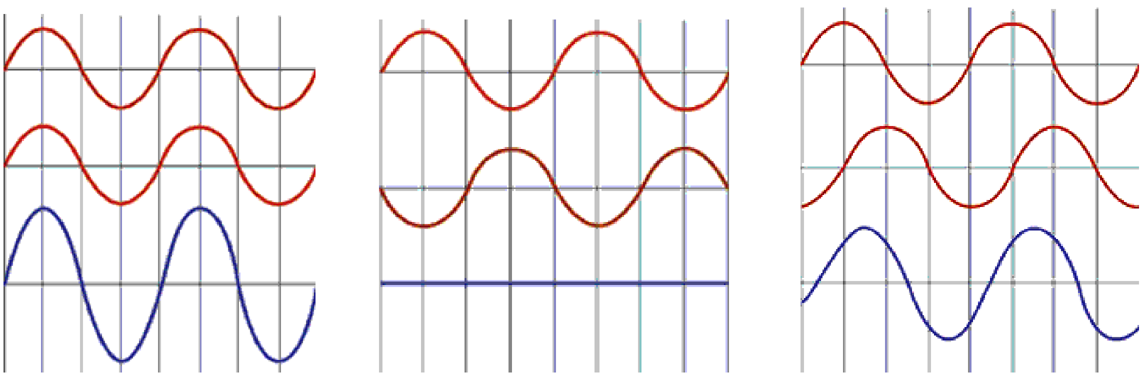
$0{,}00000125 = m\,500.10^{-9}$ и получаваме $m = 2{,}5$.

Заместваме в условието за интерференчен минимум $\Delta = (2m+1)\dfrac{\lambda}{2}$:

$0{,}00000125 = (2m+1)\dfrac{500.10^{-9}}{2}$ и получаваме $m = 2$.

Условието, че m трябва да е цяло число се изпълнява само при интерференчен минимум. В т. В ще се наблюдава интерференчен минимум.

фигурите). На лявата фигура се наблюдава интерференчен максимум и се получава вълна с двойно по-голяма амплитуда (със син цвят на фигурата). На средната фигура се наблюдава интерференчен минимум и амплитудата на получената вълна е нула. На дясната фигура не е изпълнено нито едно от условията за интерференчен максимум или минимум.



3. Кохерентност

За да се наблюдава интерференция на светлината от два източника е необходимо тези източници да излъчват съгласувано. Такива източници наричаме кохерентни.

Дефиниция: Две вълни са кохерентни, ако разликата на техните фази остава постоянна във времето.

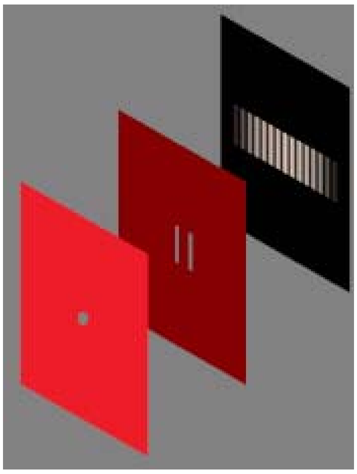
(Напомням, че за вълна, описвана с $y = A\cos(\omega t - kx + \varphi)$, фаза се нарича изразът $\omega t - kx + \varphi$.)

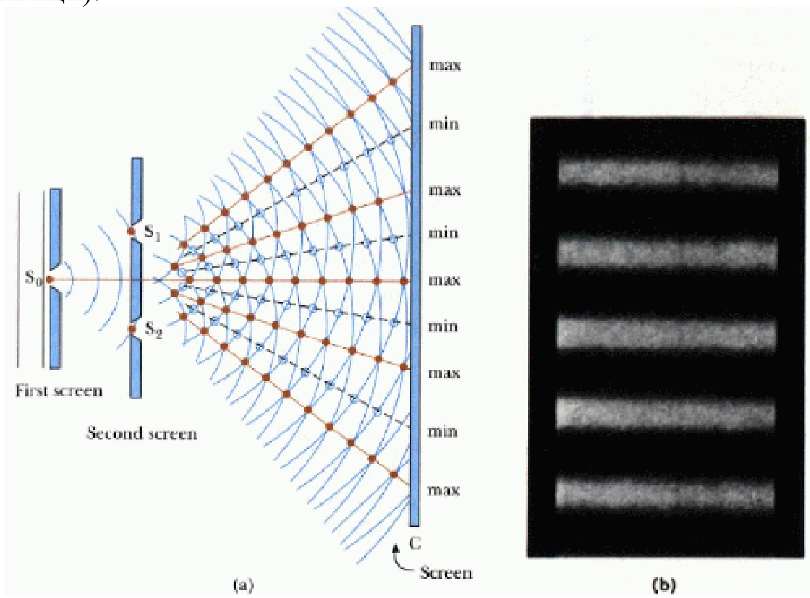
На практика обикновено две кохерентни светлинни вълни се получават, като светлината от един източник по някакъв начин се раздели на два снопа.

Светлинните вълни излъчвани от два независими източника (например две електрически крушки) не са кохерентни и затова не интерферират.

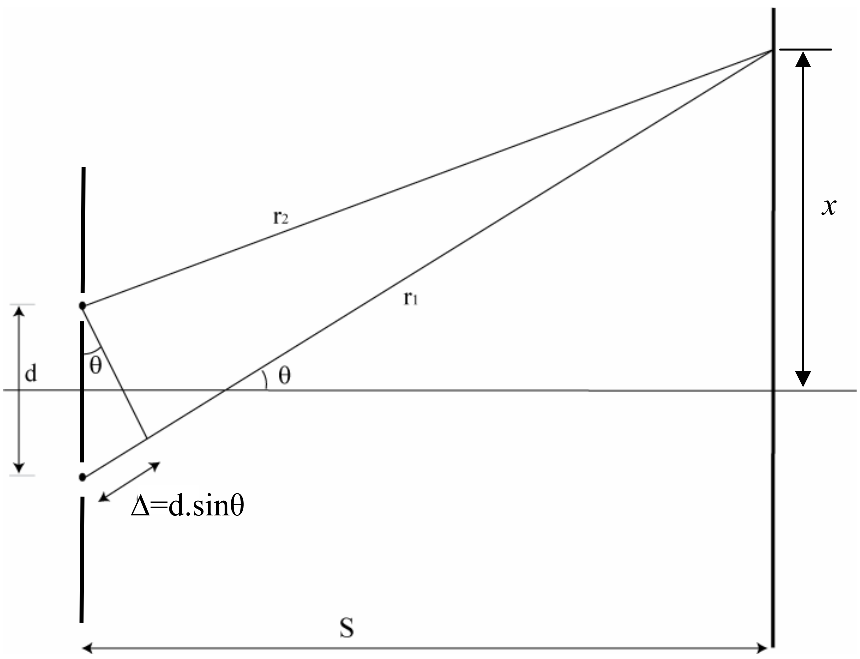
4. Опит на Юнг

Експеримент, който е доказал интерференцията на светлината, е бил проведен през 1801 г. от английския учен Thomas Young (в българската литература името традиционно се превежда като Томас Юнг). Светлината минава през малък отвор S_0, който играе ролята на точков източник на светлина (виж фигурата по-долу). След това достига до пластинка, в която има направени два процепа S_1 и S_2. Вълните, излизащи от процепите интерферират и на екрана се наблюдават интерференчни максимуми (светли ивици) и минимуми (тъмни ивици).





Сега ще определим положението на максимумите и минимумите на екрана. d е разстоянието между двата процепа, x е разстоянието от центъра на екрана до точката, в която ни интересува дали има минимум или максимум, S е разстоянието от процепите до екрана, r_1 и r_2 са разстоянията от всеки процеп до точката от екрана.



От малкия триъгълник до процепите се вижда, че разликата в оптичните пътища на двете вълни е $\Delta = d.\sin\theta$. От чертежа също се вижда, че приблизително $\mathrm{tg}\theta = \frac{x}{S}$. В опита на Юнг $x << S$, т.е. ъгъл θ е малък. За малки ъгли $\sin\theta \approx \mathrm{tg}\theta$. (Например ако $\theta = 0{,}1$ rad, sin(0,1) = 0,0998, а tg(0,1) = 0,1003.) Тогава можем да запишем $\frac{\Delta}{d} \approx \frac{x}{S}$ или $x = \frac{\Delta}{d} S$.

От условието за максимум $\Delta = m\lambda$ и $x_{\max} = \frac{m\lambda}{d} S$. От условието за минимум $\Delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2}$ $x_{\min} = \frac{(2m+1)\lambda}{2d} S$.

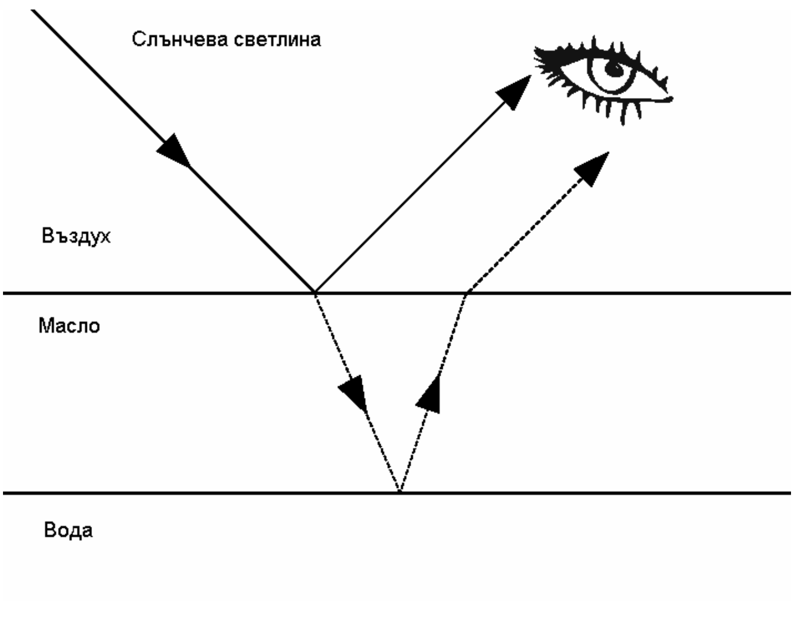
Следователно на екрана ще се наблюдават светли и тъмни ивици при следните условия:

Светла ивица (интерференчен максимум): $x_{\max} = \frac{m\lambda}{d} S$

Тъмна ивица (интерференчен минимум): $x_{\min} = \frac{(2m+1)\lambda}{2d} S$

5. Интерфернция от тънък слой

Друг случай на наблюдаване на интерференция е при отражение на светлината от двете повърхности на тънък слой от някаква прозрачна среда. Като пример ще разгледаме тънък слой машинно масло, разлято върху мокър асфалт. Част от светлината се отразява от границата между въздуха и машинното масло. Останалата светлина преминава в маслото и част от нея се отразява от границата между маслото и водата. Към окото на наблюдателя отиват две вълни, които интерферират. Може да се покаже, че условието за получаване на максимум в този случай се дава от израза:

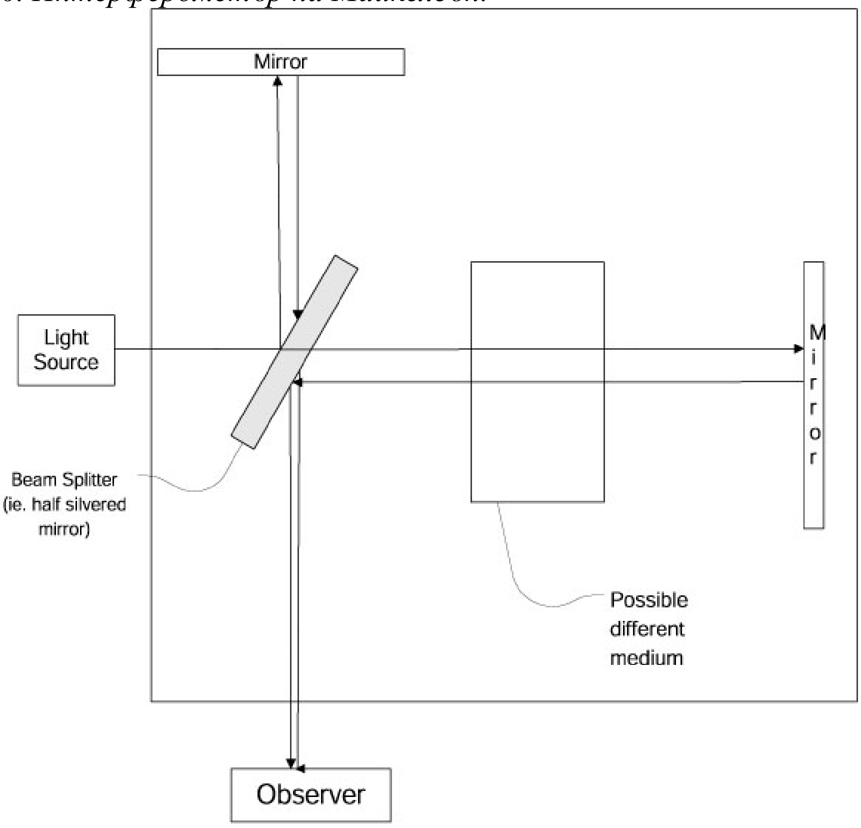


$$2nd\cos\theta - \frac{\lambda}{2} = m\lambda$$

Тук няма да разглеждаме как се извежда тази формула, ще направим само някои изводи от нея. Дължината на вълната λ, при която се наблюдава максимум зависи от дебелината на слоя d и от ъгъла, под който пада светлината. Например на фигурата по-горе светлината от различни части на петното пада под различен ъгъл и съответно, за различни части от петното условието за максимум се изпълнява за различна дължина на вълната (различен цвят). Затова различни части от петното са оцветени различно. Същото явление се наблюдава и като погледнете едно CD – при осветяване то изглежда оцветено в различни цветове.

Един пример за практическо приложение – в качествените фотообективи (просветлена оптика). Лещата на обектива се покрива с тънък слой, така че да се получи интерференчен минимум. Щом отразената светлина е минимална, то се увеличава преминалата през лещата светлина и в крайна сметка повече светлина влиза във фотоапарата. Това позволява правенето на по-качествени снимки.

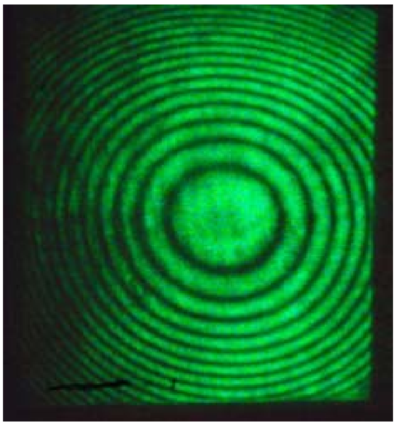
6. Интерферометър на Майкелсън.



При интерферометъра на Майкелсън светлината от източника достига до една стъклена пластинка и се разделя на две като част от вълната преминава през пластинката към едно огледало, а друга част се отразява към другото огледало. След отражение от огледалата двете вълни се насочват към екран (или наблюдател), където интерферират. Ако на пътя на едната вълна се постави среда с някакъв показател на пречупване това ще промени оптичния път на тази вълна и оттам ще се променят условията за минимум и максимум. По тази промяна може с много голяма точност да се определи показателят на пречупване на средата. Също така уредът позволява много точно измерване на разстоянието, на което е преместено едно от огледалата (това също води до промяна на оптичния път на една от вълните).

Исторически, интерферометърът на Майкелсън е изиграл много важна роля при създаването на Теорията на относителността от Айнщайн, тъй като с негова помощ е било доказано постоянството на скоростта на светлината във всяка отправна система.

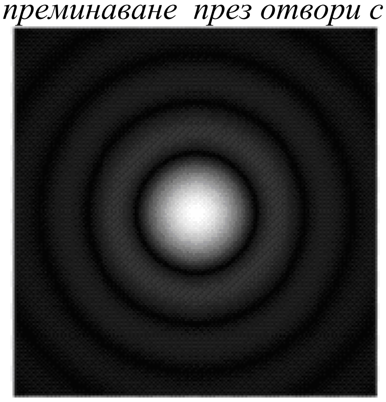
На фигурата по-долу е показана една интерференчна картина от интерферометъра на Майкелсън.



Дифракция на светлината.

1. Дефиниция.

Дифракция на светлината наричаме отклонението на светлината от праволинейното разпространение в еднородна среда при среща на прегради и преминаване през отвори с размери съизмерими с дължината на вълната.



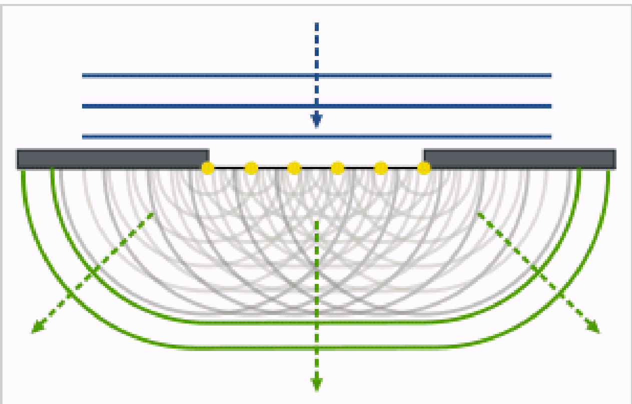
На фигурата: Дифракция на светлината при преминаване през малък кръгъл отвор. Ако светлината се разпространяваше само праволинейно, на екрана щеше се види светло кръгче с размерите на отвора. В резултат на дифракцията на екрана се виждат редуващи се светли и тъмни пръстени.

Дифракцията е:

- характерна само за вълни; щом се наблюдава при светлината, това доказва, че светлината е вид вълна.
- тъй като дължината на светлинната вълна е малка (от порядъка на нанометри) дифракцията се наблюдава само при преминаване през малки отвори и около малки прегради.

Видове:

- Френелова: при разпространение на сферични вълни (излъчени от точков източник)
- Фраунхоферова: при разпространение на плоски вълни



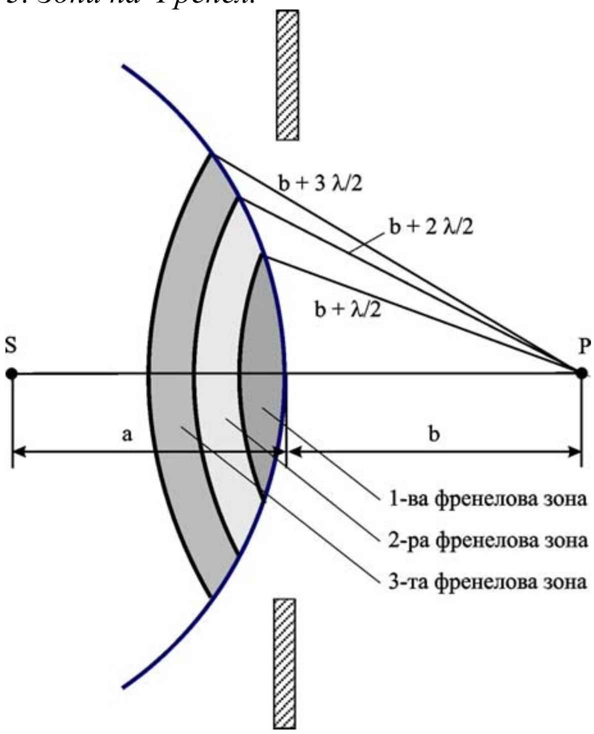
2. Принцип на Хюйгенс (в някои учебници на Хюйгенс-Френел)

Всяка точка от вълновия фронт на една вълна се разглежда като точков източник на вторични сферични вълни. Вълновият фронт в един по-късен момент се получава, като се построи допирателната към тези вторични сферични вълни.

На фигурата: Светлината достига до преграда с малък отвор (сините линии).

Точките от вълновия фронт (жълтите точки на фигурата) стават източници на сферични вълни (сивите полуокръжности). Тяхната допирателна дава вълновия фронт (зелената линия) на вълната след отвора. Вижда се, че светлината не се разпространява само праволинейно, но навлиза и зад преградата.

3. Зони на Френел.



Точков източник S излъчва сферична вълна с дължина на вълната λ. На разстояние a от източника е поставена преграда с малък отвор. Наблюдаваме светлината в точка P, разположена на разстояние b зад преградата. Построяваме сфери с център т. P и радиуси $b+\lambda/2$, $b+2\lambda/2$, $b+3\lambda/2$ и т.н. Всеки следващ радиус е по-голям от предишния с $\lambda/2$. Тези сфери разделят вълновия фронт на области, наречени френелови зони.

От казаното дотук става ясно, че разликата в оптичните пътища на две вълни, идващи от съседни зони в т. P, е $\lambda/2$. Това е условието за интерференчен минимум и следователно двете вълни ще се погасяват. Нека отворът в преградата е с размерите на първите две зони. Ако означим с A_1 амплитудата на вълната идваща в т. P от първата зона, с A_2 амплитудата на вълната идваща в т. P от втората зона за сумарната амплитуда на вълната в т. P ще получим: $A = A_1 - A_2$. Знакът е минус, защото двете вълни се погасяват. Ако отворът е с размерите на първите три зони, за сумарната амплитуда на вълната в т. P ще получим: $A = A_1 - A_2 + A_3$. Знакът пред A_3 е плюс, защото разликата в оптичните пътища на вълните от първата и третата зона е λ, това е условието за интерференчен максимум, т.е. вълните се усилват. Ако отворът е с размерите на n на брой зони

$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \cdots \pm A_n,$$

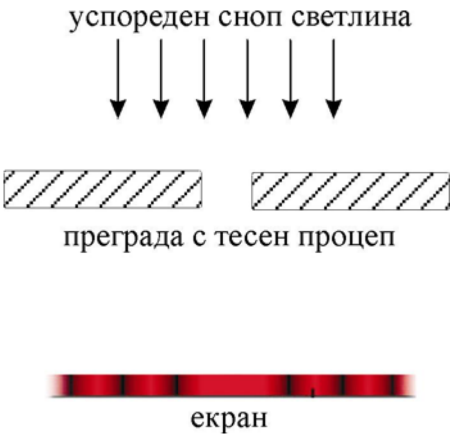
като знакът пред A_n се определя от това, дали n е четно или нечетно.

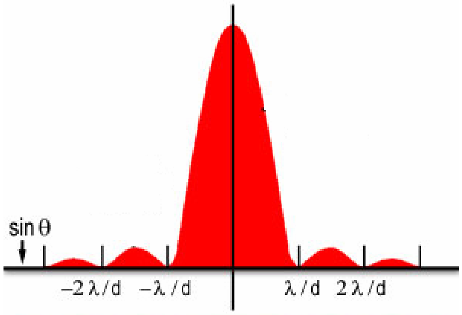
От формулата се вижда, че ако се закрият четните зони, които са с отрицателен знак, амплитудата на вълната ще нарасне: $A = A_1 + A_3 + \cdots + A_n$. Това се прави с помощта на зонни пластинки.

4. Дифракция на плоска вълна от процеп.

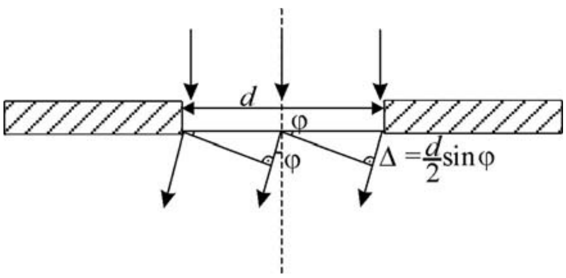
Тук ще разгледаме пример за Фраунхоферова дифракция. Плоска светлинна вълна може да се създаде с помощта на оптична система, създаваща успореден сноп светлина (например точков източник на светлина поставен във фокуса на събирателна леща). Светлината, идваща от Слънцето също с известно приближение може да се разглежда като плоска вълна.

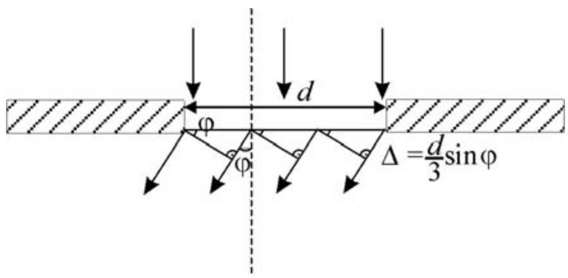
Когато на преграда с тесен процеп пада успореден сноп светлина, на екрана се наблюдават редуващи се светли и тъмни ивици (лявата фигура). Разпределението на интензитета на светлината е показано на дясната фигура.





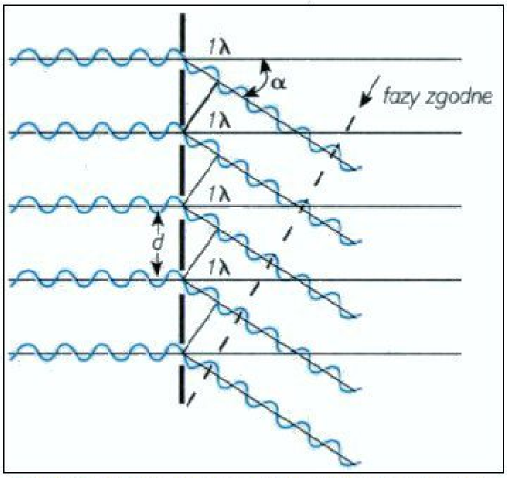
Вълновият фронт в този случай се разделя на френелови зони, като отново разликата в пътя на светлинните вълни от две съседни зони е $\Delta = \lambda / 2$. В зависимост от ъгъла, на който се отклонява светлината, са открити различен брой зони (фигурите по-долу). Когато са открити четен брой зони (лявата фигура), вълните от две съседни зони се погасяват и в това направление имаме интерференчен минимум (тъмна линия на екрана). При две зони условието за минимум е $\Delta = \lambda / 2 = d / 2 \sin\varphi$ или $d \sin\varphi = \lambda$. Когато са открити три зони (дясната фигура), вълните от две от зоните се погасяват, а светлината от третата зона достига до екрана и създава там светла област (интерференчен максимум). При три открити зони условието за максимум е $\Delta = \lambda / 2 = d / 3 \sin\varphi$ или $d \sin\varphi = 3/2\lambda$. По аналогичен начин могат да се изведат и условията за минимум и максимум при друг брой открити зони.



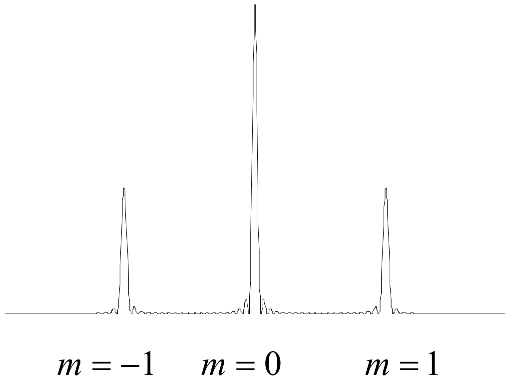


5. Дифракционна решетка

В практиката не се използват единични процепи, а пластинки с голям брой процепи, разположени на равни разстояния, които се наричат дифракционни решетки. Процепите са прозрачни участъци върху непрозрачен материал. Те са много малки и броят им може да достигне хиляди на един милиметър. Вълните от различните процепи интерферират и на екрана се наблюдават редуващи се светли и тъмни ивици, като максимумите са много по-добре изразени отколкото при единичен процеп.



The diffraction grating and spectrum on screen
d grating constant, λ wave length, α angle of deflection,



Подобно на разглежданията по-горе може да се получи условието за интерференчен максимум:

$$d\sin\varphi = m\lambda\,,\qquad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3\ldots$$

В горната формула разстоянието между два процепа d (константа на решетката) е известно от производителя на дифракционната решетка, ъгълът φ може да се измери. Така от горната формула може да се определи дължината на светлинната вълна.

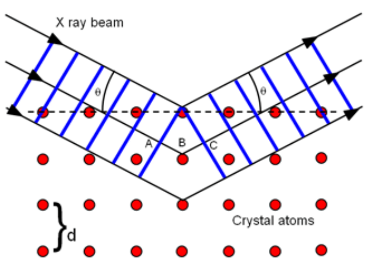
Пример. Дифракционна решетка има 100 процепа на милиметър. Максимумът от втори порядък (m = 2) се наблюдава под ъгъл φ = 5,74°. Определете дължината на светлинната вълна.
Решение:
Като знаем, че на един милиметър има 100 процепа, можем да намерим разстоянието между два процепа: $d = \dfrac{1\ \text{mm}}{100} = \dfrac{0{,}001\ \text{m}}{100} = 0{,}00001\ \text{m}$.

$\sin 5{,}74 = 0{,}1$

От $d\sin\varphi = m\lambda$ намираме $\lambda = \dfrac{d\sin\varphi}{m} = \dfrac{0{,}00001.0{,}1}{2} = 5.10^{-7}\,\text{m} = 500\,\text{nm}$

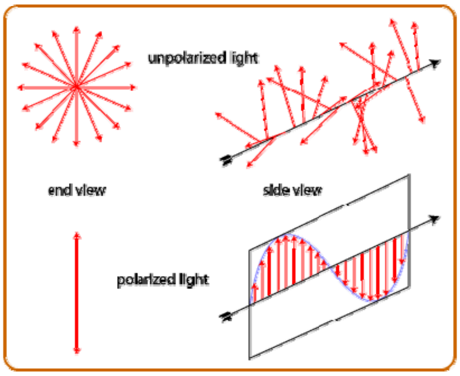
Едно CD действа подобно на дифракционна решетка, като пътечките, на които е записана информацията играят ролята на разположени на равни разстояния процепи. Разликата е, че тук наблюдаваме отразена от диска светлина, а не преминала през решетката както по-горе.

6. Дифракция на рентгенови лъчи



Рентгеновите лъчи, подобно на светлината са електромагнитни вълни, но с много по-малка дължина на вълната. За да се наблюдава дифракция при тях е необходима дифракционна решетка с много малко разстояние между процепите. Толкова малки процепи не могат да бъдат направени и затова вместо дифракционна решетка се използва кристал, като разстоянието между атомите играе роля на процепи. От получената дифракционна картина могат да бъдат направени изводи за строежа на кристала.

Поляризация на светлината

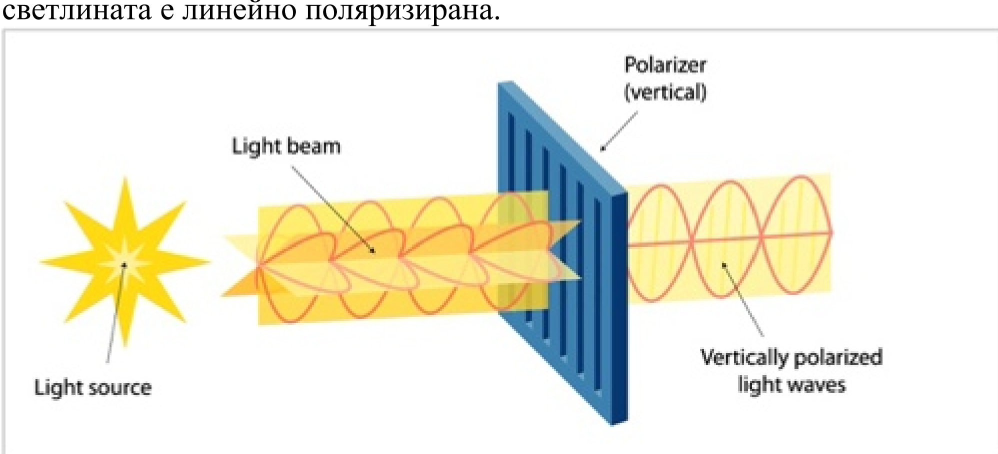


1. Естествена и поляризирана светлина

Светлината е напречна електромагнитна вълна. При *естествената светлина* (например слънчевата) векторът на електричното поле непрекъснато променя направлението си, оставайки перпендикулярен на посоката на разпространение. Ако в резултат на взаимодействие на светлината с вещество *векторът на електричното поле трепти само в едно направление, такава светлина се нарича линейно поляризирана*.

2. Получаване на поляризирана светлина

А. При преминаване през някои анизотропни кристали (например турмалин). Тези кристали имат различни свойства в различни направления. Те пропускат светлина с една посока на вектора на електричното поле и поглъщат светлина с всички останали посоки на вектора полето. Такъв кристал се нарича поляризатор (поляроид в някои учебници). Когато естествена светлина се пропусне през такъв кристал, за кристала светлината е линейно поляризирана.



Ако поставим два поляризатора един след друг, като равнините им на пропускане сключват ъгъл α помежду си, само част от светлината преминала през първия поляризатор ще премине и през втория. На фигурата по-долу с червена стрелка е показана равнината на пропускане на първия поляризатор, а със синя стрелка равнината на пропускане на втория поляризатор. На долния ред на фигурата е показана светлината, пропускана след първия поляризатор (черната стрелка) и след втория поляризатор (жълта стрелка). Когато двете равнини на пропускане са успоредни, светлината, която преминава през първия поляризатор преминава и през втория (фиг. (a)). Когато двете равнини на пропускане сключват някакъв ъгъл (фиг. (b), (c)), векторът на интензитета на електричното поле на светлината, минала през първия поляризатор E_0 се разлага на две компоненти – хоризонтална и вертикална на фигурата. Тъй като равнината на пропускане на втория поляризатор е вертикална (синята стрелка на фигурата), само вертикалната компонента на вектора на интензитета на електричното поле на светлината E ще премине и през него. От фигурата се вижда, че $E = E_0 \cos\alpha$. Тъй като интензитетът на светлината е пропорционален на квадрата на интензитета на електричното поле $I \sim E^2$, като вдигнем предното равенство на квадрат $E^2 = E_0^2 \cos^2\alpha$ може да запишем:

$$I = I_0 \cos^2\alpha$$

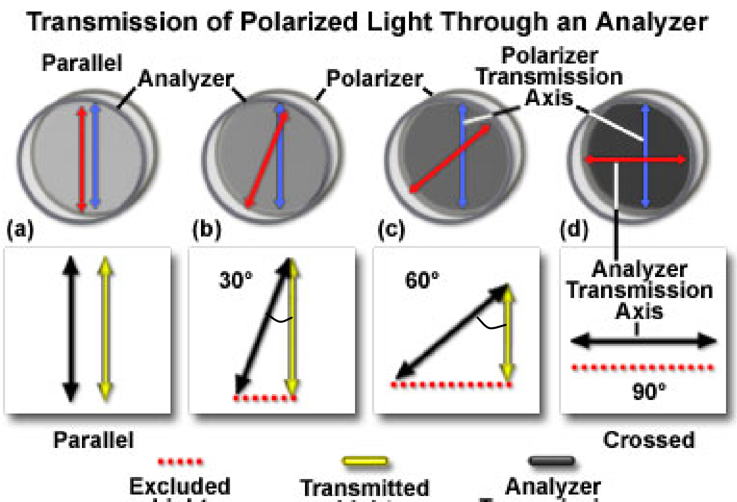
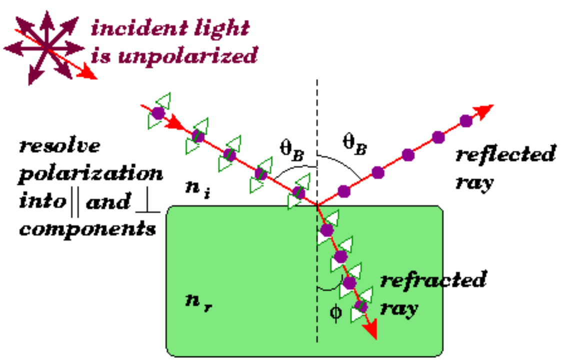


Figure 6

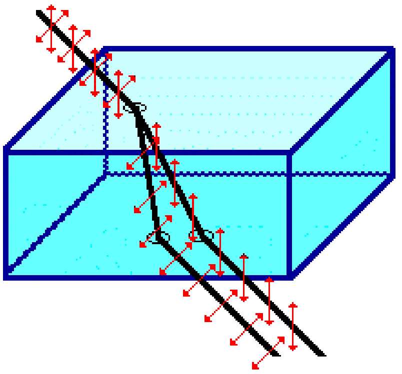
Това равенство се нарича *закон на Малюс*. Вижда се, че ако ъгъл α е равен на 90°, през втория поляризатор няма да премине светлина (фигура (d)).

Пример. Равнините на пропускане на два поляризатора сключват ъгъл 60°. Намерете каква част от светлината, преминала през първия поляризатор ще премине и през втория.
Решение:
$\cos 60° = 0{,}5$
$I = I_0 \cos^2\alpha = I_0 0{,}5^2 = 0{,}25 I_0$
През втория поляризатор ще премине 1/4 от светлината преминала през първия



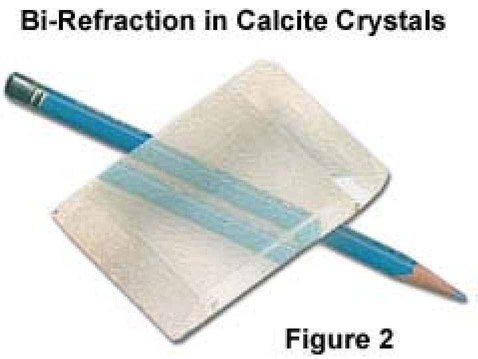
Б. При отражение и пречупване на границата на две среди. Когато светлината се пречупва или отразява, отразеният и пречупеният лъч са частично поляризирани. При ъгъл на падане θ_B, за който е изпълнено условието $\mathrm{tg}\theta_B = n$, където n е показателят на пречупване на средата, отразеният лъч е напълно поляризиран с направление на трептенията перпендикулярно на листа на чертежа. Ъгъл θ_B се нарича *ъгъл на Брюстер*.

В. Двойно лъчепречупване. Някои кристали пречупват по различен начин светлина с различна поляризация. Това явление се нарича *двойно лъчепречупване*.



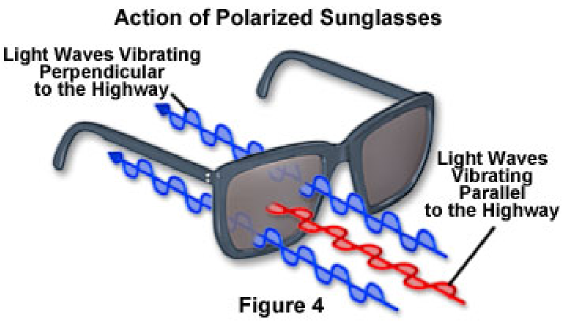
The two refracted rays passing through the Iceland Spar crystal are polarized with perpendicular orientations.

Когато се наблюдава предмет през такъв кристал, той изглежда двоен, тъй като наблюдателят вижда двата лъча с различна поляризация, пречупени под различен ъгъл.



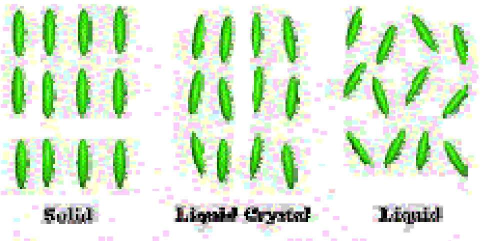
Г. Някои източници на светлина, например лазери, излъчват поляризирана светлина.

3. Някои приложения.

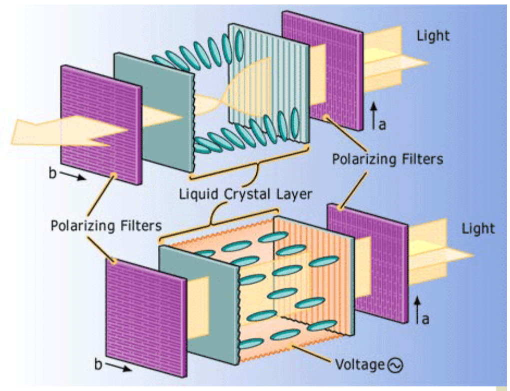


При поляризационните слънчеви очила, равнината на пропускане е вертикална (светлинните вълни, нарисувани със син цвят на чертежа се пропускат, а тези с червен цвят се поглъщат). От казаното по-горе при поляризация при отражение е ясно, че отразената светлина например от морската повърхност или от мокър асфалт е поляризирана предимно в хоризонтална равнина, т.е. тя няма да бъде пропусната от очилата. Така тези очила могат да предпазят шофьор от заслепяване от светлината на фарове, отразена от асфалта.

Някои вещества имат свойството да въртят равнината на поляризация. Като пример ще разгледаме течните кристали, които в намират приложение в LCD екраните на телевизори и монитори. Течните кристали заемат междинно място между кристалите



и течностите. При кристалите градивните частици са правилно подредени (лявата фигура), при течностите се движат хаотично (дясната фигура), а при течните кристали има някакъв ред (средната фигура), които може да зависи и от различни външни условия, като например подадено напрежение и др.



A pair of polarizing filter layers work with the liquid crystals to control emitted light. As light passes through the first filter (a), only vertically aligned light waves remain. If the liquid crystals are in their natural state, they are twisted--which causes the light wave to turn horizontally. If an electric field is applied, the liquid crystals straighten and the cell doesn't bend the light. Since the second filter (b) only lets horizontal light waves through, light that passes through the straight liquid crystals is blocked by the second filter.

Illustration by Steve McGuire

В един пиксел от екраните течните кристали се поставят между два поляризатора с взаимно перпендикулярни равнини на пропускане. (През тях нормално не преминава светлина – виж закон на Малюс). Течните кристали завъртат равнината на поляризираната светлина на 90°, в резултат на което светлината преминава и през втория поляризатор (горната фигура). Точката от екрана е светла. Ако на течните кристали се подаде напрежение, молекулите им се подреждат по друг начин и губят свойството си да въртят равнината на поляризация и след втория поляризатор не преминава светлина (долната фигура). Точката от екрана е тъмна. Така чрез подаване на напрежение се управлява интензитета на излъчваната от дадена точка от екрана светлина.