



Нормална и аномална дисперсия на светлината. Поглъщане и разсейване на светлината

- 1. Нормална и аномална дисперсия на светлината**
- 2. Поглъщане на светлината. Закони на Бугер и Бугер-Ламберт-Беер**
- 3. Разсейване на светлината. Закон на Рейли. Молекулярно разсейване. Ефект на Ми**

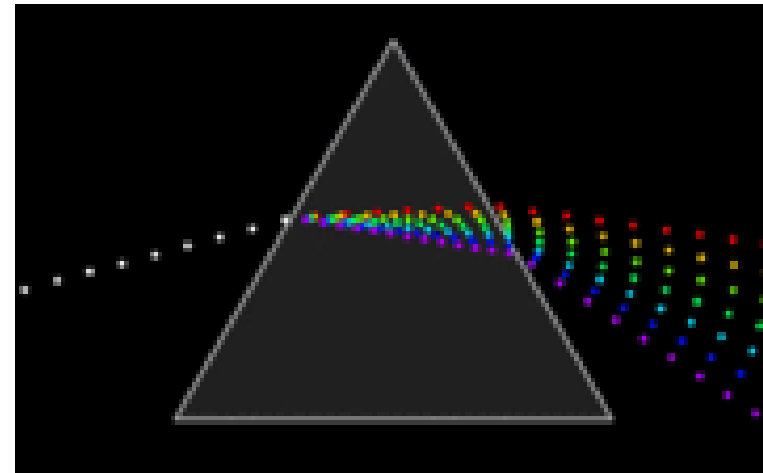
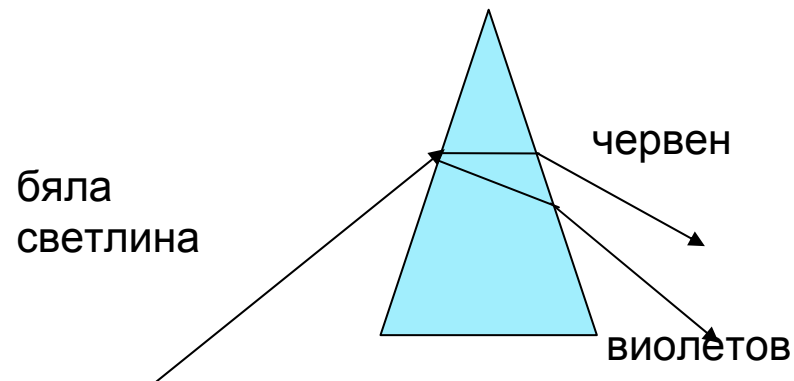


1. Нормална и аномална дисперсия на светлината

Дисперсия на светлината се нарича зависимостта на показателя n на пречупване на веществото, в което се разпространява, от дължината на вълната λ .

Явлението дисперсия е наблюдавано от Леонардо да Винчи, Галилео Галилей и Исак Нютон.

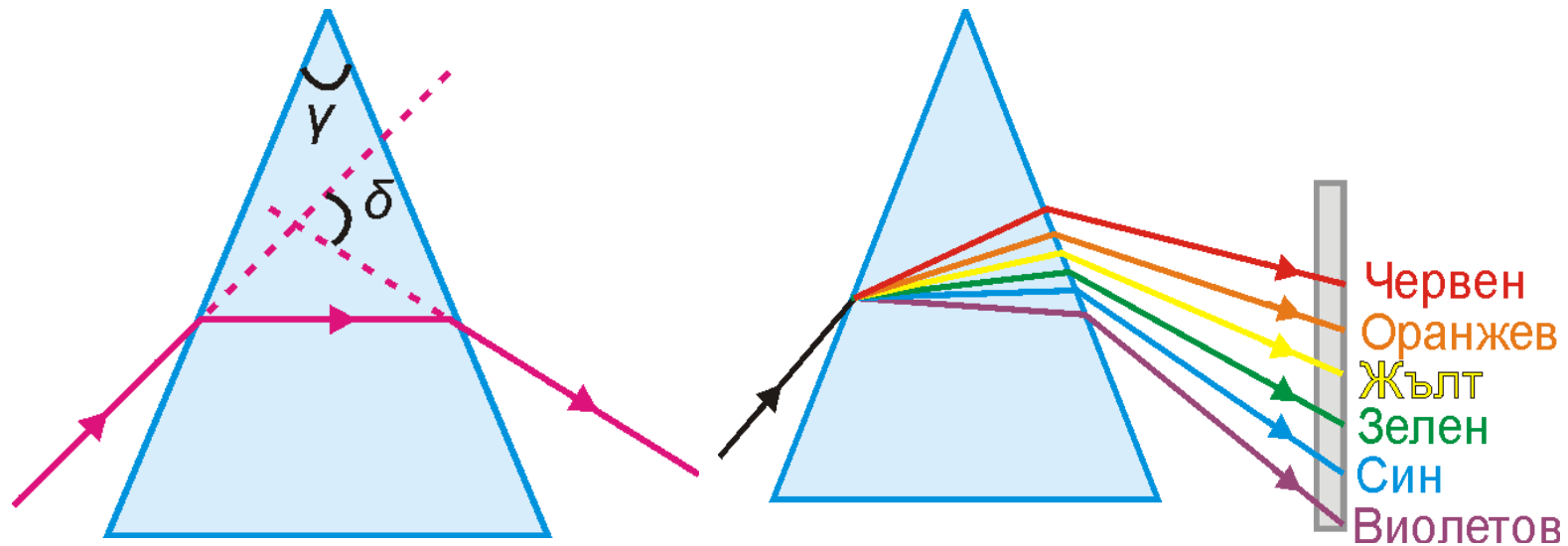
Те установяват, че когато слънчева светлина премине през призма, тя се разлага на седем основни цвята - червен, оранжев, жълт, зелен, яносин, тъмносин и виолетов. Те не се разлагат, ако се пропуснат след това през призма.





Разлагане на светлината от призма

Бяла светлина преминава през призма с пречупващ ъгъл γ . Светлината се пречупва от призмата и излиза от нея под някакъв ъгъл δ , наречен ъгъл на девиация. $\delta = (n - 1)\gamma$



Бяла светлина върху призма – дисперсия – разлагане.

- n е най-малък за червената светлина и нейните лъчи се отклоняват най-малко.
- n е най-голям за виолетовите лъчи и ъгълът на девиация за тях е максимален.

Дисперсионни и дифракционни спектри

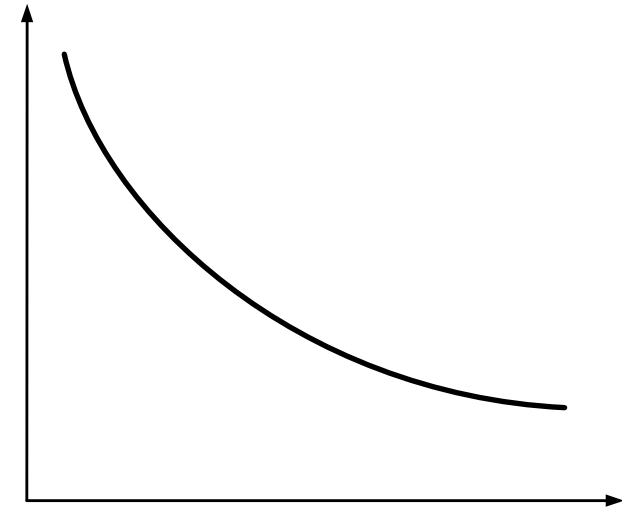


Дисперсионните и дифракционните спектри имат различно поведение относно ъгъла на отклонение. При дисперсионните спектри най-малко се отклоняват червените лъчи, а най-много - виолетовите лъчи. При дифракционните спектри най-малко се отклоняват виолетовите лъчи, които са с най-малка дължина на вълната и най-много - червените лъчи, които имат най-голяма дължина на вълната.



При разпространение на светлината в прозрачни вещества с увеличаване на дължината на вълната λ се наблюдава намаляване на показателя на пречупване. Дисперсията на тези вещества се нарича нормална. За нея

е в сила $\frac{dn}{d\lambda} < 0$.

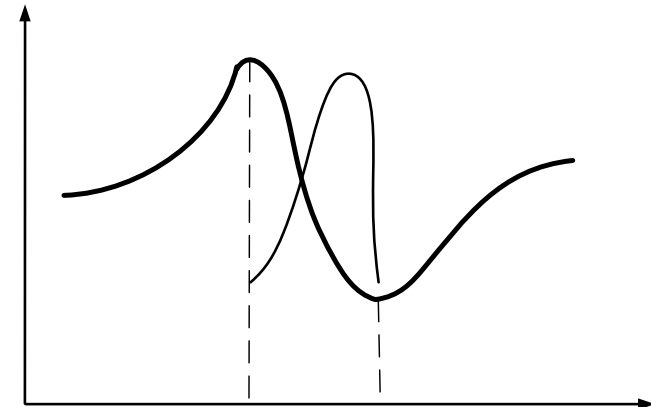




В някои вещества за част от спектъра се наблюдава силно поглъщане α . В тази област с увеличаване на кръговата честота ω се наблюдава намаляване на показателя на пречупване,

$$\text{т.е. } \frac{dn}{d\lambda} > 0.$$

Нарича се аномална дисперсия.





За слабо поглъщащи среди зависимостта $n = n(\lambda)$ се дава с израза

$$n(\lambda) = n_0 + \frac{a}{\lambda^2} + \frac{b}{\lambda^4} + \frac{c}{\lambda^6} + \dots \approx n_0 + \frac{a}{\lambda^2}$$

където n_0 , a , b и c са константи, характерни за дадената среда.

След диференциране по λ се получава

$$\frac{dn}{d\lambda} = -\frac{2a}{\lambda^3} < 0$$

т. е. резултатът съответства на нормална дисперсия.



Дисперсията на светлината се обяснява електромагнитната теория на светлината електронната теория за строежа на веществото. Електричните заряди от веществото извършват принудени трептения вследствие действието на променливото електромагнитно поле на светлината. Те стават източник на вторични електромагнитни вълни. Получената резултантна вълна във веществото е суперпозиция от светлинната вълна и вторичните електромагнитни вълни на трептящите заряди.

В класическата електронна теория за дисперсията на светлината за слабо поглъщащи среди се показва, че връзката между показателя на пречупване на веществото n и относителната диелектрична проникваемост ϵ_r се дава с израза

$$n = \sqrt{\epsilon_r}$$



Относителната диелектричната проницаемост ϵ_r , която характеризира поляризацията на диелектриците в електростатични полета, се нарича статична.

Когато се използва високочестотно електромагнитно поле, каквото е на светлинната вълна, относителната диелектрична проницаемост на веществото силно зависи от кръговата честота на светлинната вълна. В сила е зависимостта

$$n(\omega) = 1 + \frac{Ne^2}{2m_e \epsilon_0} \cdot \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2},$$

където N е концентрацията на осцилаторите, ω_0 е собствена честота на трептене на електроните, m_e и e са масата и заряда на електрона, а ϵ_0 е електричната константа.

2. Поглъщане на светлината

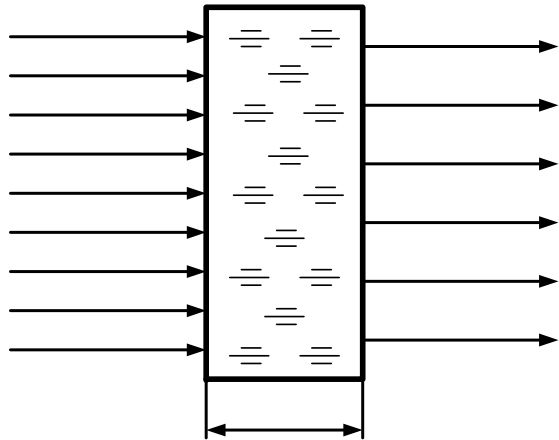


При преминаване на светлина през вещество интензитетът ѝ намалява вследствие на поглъщане.

През 1727 г. френският физик Пиер Бугер открива, че при разпространение на монохроматична светлина в еднородна среда интензитетът ѝ намалява по закона

$$I = I_0 e^{-\alpha d},$$

където I_0 е интензита на светлината преди да премине през веществото, I е интензитета, след като светлината премине през слой вещество с дебелина d , α - коефициент на поглъщане на веществото.



I_0



Коефициентът на поглъщане на светлината не зависи от нейния интензитет, а от дължината на вълната и природата на веществото.

Като количествена характеристика на поглъщането се използва величината дълбочина на проникване δ - разстоянието, което изминава светлината във веществото при намаляване на интензитета ѝ e пъти.

Връзката между дълбочината на проникване δ и коефициента на поглъщане α е

$$\delta = \frac{1}{\alpha}$$

Дълбочината на проникване се изменя в твърде широки граници: За диелектрици $\sim 10 \div 10^3$ m,
За метали $\sim 10^{-7} \div 10^{-5}$ m.



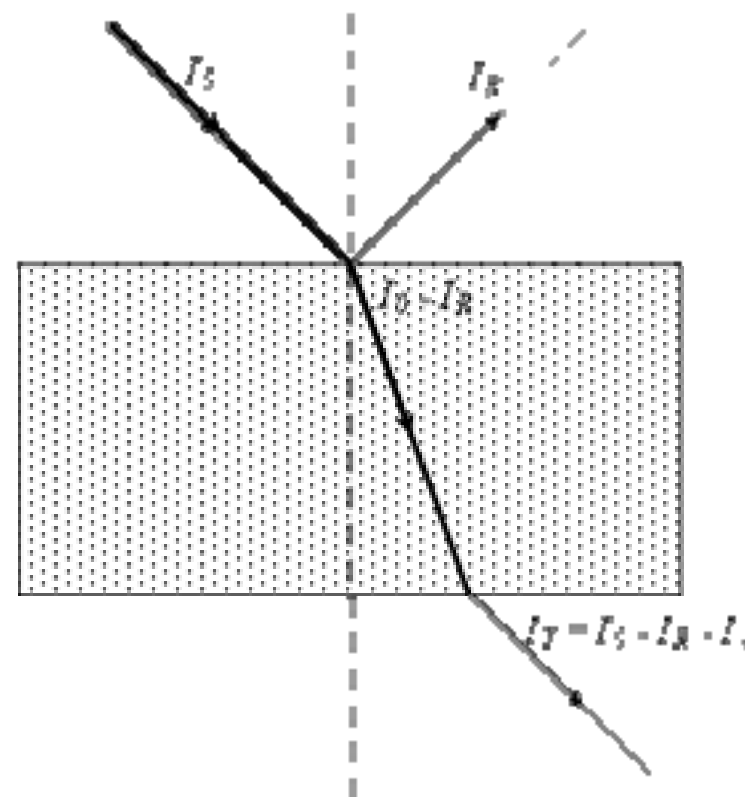
За изясняване на взаимодействието на светлината с веществото се използват оптически величини: отражателна способност R , абсорбционна способност A , коефициент на пропускане T .

При попадане на светлинен лъч върху прозрачна или полупрозрачна пластина една част от него се отразява, друга част се поглъща, а трета част преминава.

За интензитета на падналата светлина е в сила равенството

$$I_0 = I_R + I_A + I_T$$

където I_R е интензитета на отразената светлина, I_A - интензитета на погълнатата светлина, I_T - интензитета на преминалата светлина.





$$R = \frac{I_R}{I_0}$$

$$A = \frac{I_A}{I_0}$$

$$T = \frac{I_T}{I_0}$$

$$R + A + T = 1$$

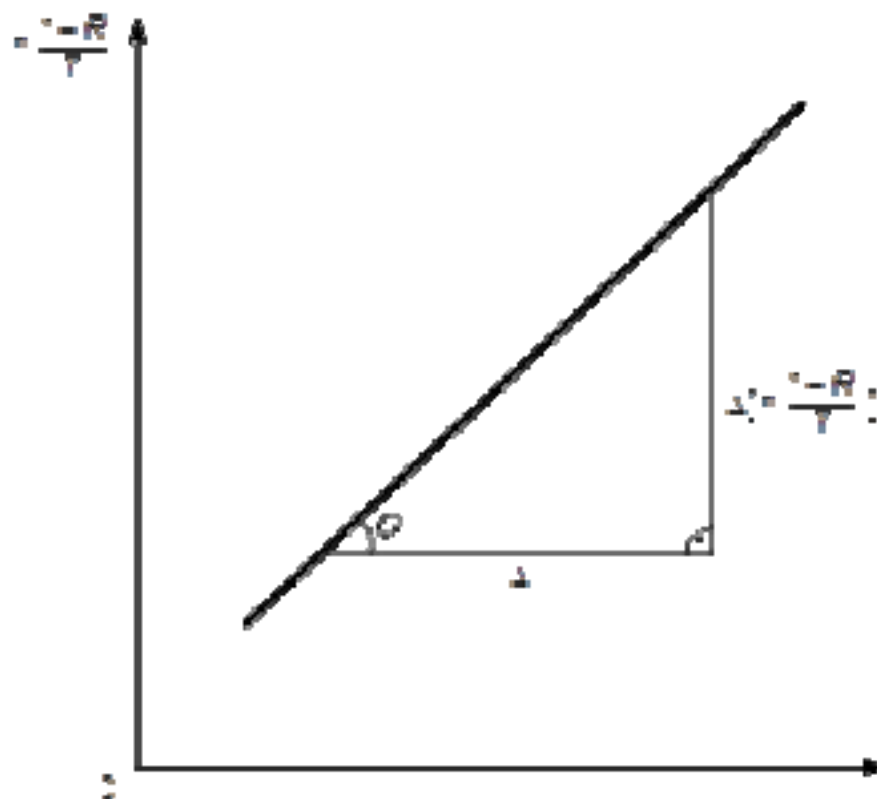
$$I_T = I' e^{-\alpha x}$$

$$I' = I_0 - I_R$$

$$\frac{I_0 - I_R}{I_T} = e^{\alpha x}$$

$$\ln\left(\frac{1-R}{T}\right) = \alpha x$$

$$\alpha = \operatorname{tg}(\varphi)$$



$$\alpha = \frac{\Delta\left[\ln\left(\frac{1-R}{T}\right)\right]}{\Delta x}$$



Количествена характеристика, определяща степента на поглъщане на светлината е и величината оптична плътност D на веществото

$$D = \lg \frac{I_0}{I}$$

За слаби разтвори коефициентът на поглъщане α е пропорционален на концентрацията на разтвора C

$$\alpha = bC,$$

където b е константа.

Използва се зависимостта

$$I = I_0 e^{-bCd},$$

известна като закон на Бугер-Ламберт-Беер.

Поглъщането на светлината има широко практическо приложение за определяне на концентрацията на разтвори, химическата структура на веществата и изясняване на зонната структура на полупроводниците.



3. Разсейване на светлината

- оптично еднородна среда - светлината се разпространява праволинейно.
- оптично нееднородна среда - разсейване на светлината, изразяващо се в отклонение на част от нея от първоначалната посока на разпространение.

мътни среди – матовите стъкла, аерозолите, емулсиите, мъглата, димът и др.

- **Джон Рейли** (1842-1919) .

Интензитетът на разсеяната светлина е обратнопропорционален на четвъртата степен на дължината на вълната, т.е.

$$I \sim \frac{1}{\lambda^4} \quad I = I_0 e^{-(\alpha+k)x}$$

Разсейване на на светлината. Молекулярно разсейване.



- С молекулярното разсейване на светлината се обяснява **синия цвят на небето**. Вследствие на хаотичното топлинно движение на молекулите в атмосферата непрекъснато възникват места на сгъстяване и на разреждане на въздуха, които разсейват слънчевата светлина. Според закона на Рейли сините лъчи се разсейват по-силно, отколкото жълтите и червените.
- Флуктуациите на плътността нарастват с увеличаване на температурата. Затова в ясен горещ летен ден небето е по-наситено синьо, отколкото в ясен студен зимен ден.
- Когато Слънцето е ниско над хоризонта (при изгрев и залез) разпространяващите се от него лъчи изминават значително разстояние през долните по-плътни слоеве на атмосферата, където разсейването е по-силно, в резултат на което до нас достигат лъчи, обогатени с по-големи дължини на вълните и небето изглежда **червено**.

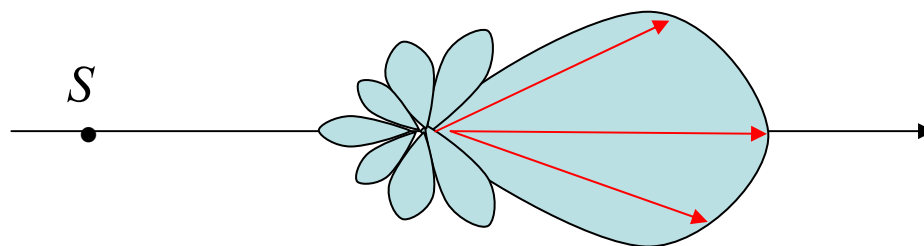
Разсейване на на светлината



Ефект на Ми

Освен това когато $d \sim 0,1\lambda$ разсейването е най-интензивно в направление на неразсеяната светлина (по посока на разпространението ѝ и в обратна посока). Когато е изпълнено условието $d \sim \lambda$ се получава, че разсейването по посока на неразсеяната светлина е по-силно отколкото в противоположна посока. Тази закономерност се нарича ефект на Ми.

$$d \sim \lambda$$



$$I_{\text{разс}} \sim \frac{1}{\lambda^p}$$

$$p < 4; d \uparrow, p \downarrow$$



Естествена и поляризирана светлина. Поляризация на светлината при отражение и пречупване. Поляризация при двойно пречупване на светлината

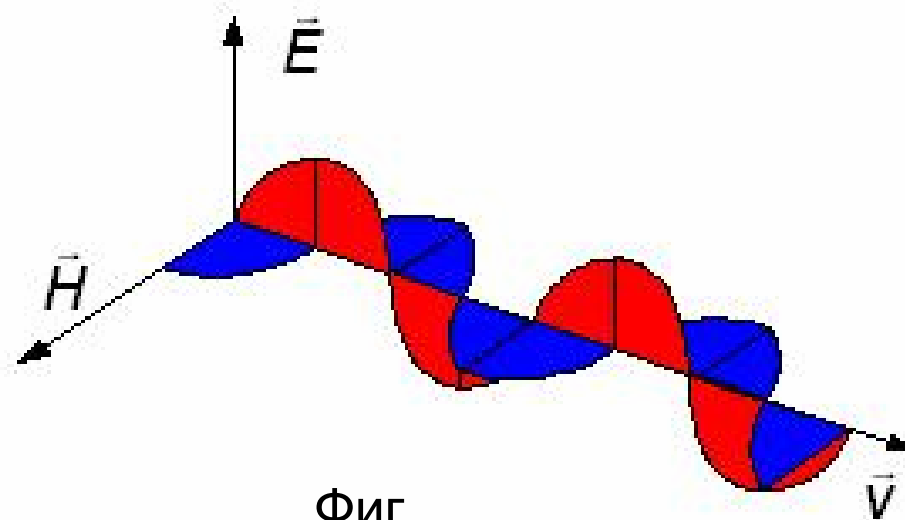
- 1. Естествена и поляризирана светлина**
- 2. Закон на Малюс**
- 3. Поляризация на светлината при отражение и пречупване. Закон на Брюстер**
- 4. Поляризация при двойно пречупване на светлината**
- 5. Завъртане на равнината на поляризация**



1. Естествена и поляризирана светлина

При определени условия всеки отделен атом може да излъчва електромагнитни трептения.

От теорията на Максвел произлиза, че електромагнитните вълни са напречни, като векторите на интензитетите на електричното и магнитното поле са взаимно перпендикулярни и трептят в равнина, перпендикулярна на посоката на разпространение, т. е. перпендикулярно на лъча.



Фиг.
1

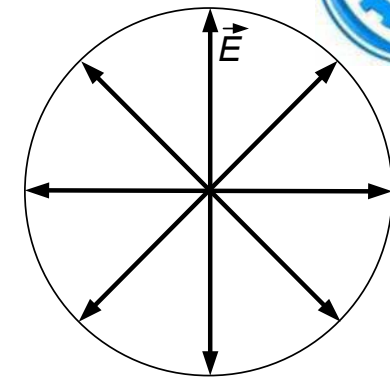


За слънчевата светлина всички направления на трептене на светлинния вектор са равновероятни. Естествената светлина е неполяризирана (фиг. 2.а).

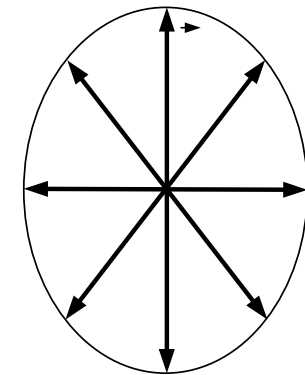
Светлинна, за която направленията на трептене на светлинния вектор са с различни амплитуди и/или не са равновероятни, се нарича частично поляризирана (фиг. 2б).

В случай на едно привилегировано направление, в което се извършват трептенията на светлинния вектор, светлинната вълна е линейно (плоско) поляризирана (фиг. 2в).

Когато направлението на трептенията на светлинния вектор се върти около посоката на разпространение на светлинната вълна, се получава кръгово или елиптично поляризирана светлина.



а



б



в



При пропускане на частично поляризирана светлина през анализатор интензитетът на преминалата светлина се изменя от някаква минимална стойност до максималната си стойност, т.е. се намира в интервала $I \in [I_{min}, I_{max}]$. Като количествена характеристика на поляризацията се използва величината степен на поляризация

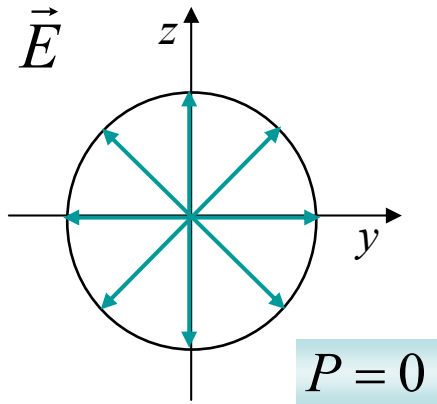
$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} .$$

За частично поляризирана светлина степента на поляризация се изменя в интервала $P \in (0, 1)$.

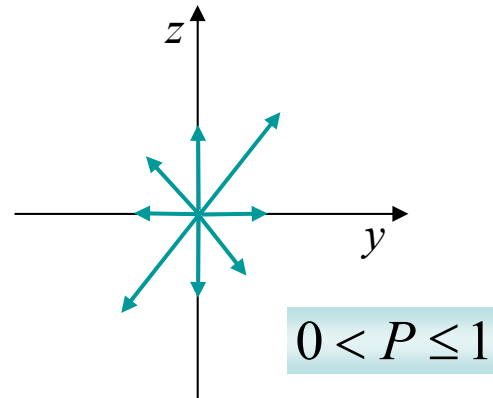
Когато светлината е естествена $I_{max} = I_{min}$ и $P = 0$, а за линейно поляризирана светлина $I_{max} = I$, $I_{min} = 0$ и $P = 1$.

Степен на поляризация

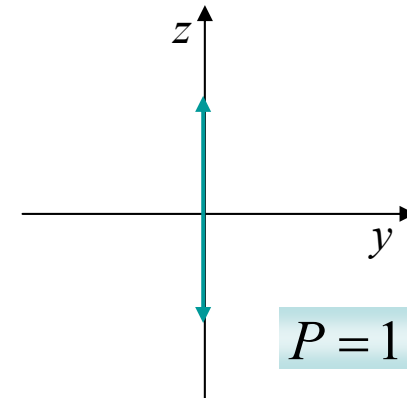
$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$



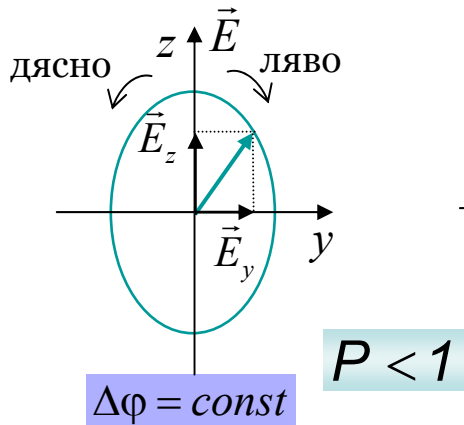
Естествена светлина
- неполяризирана



Преобладаващо направление –
частична поляризация

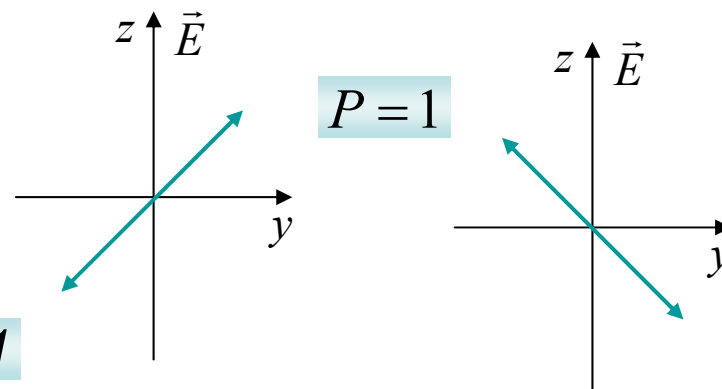


Линейна поляризация

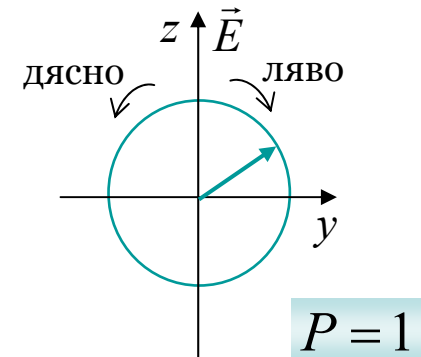


Елиптическа поляризация

11/10/2018



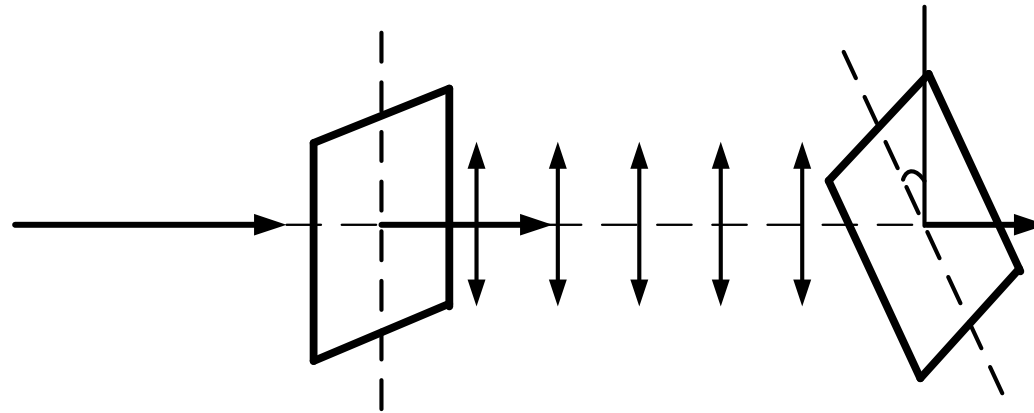
Частен случай $\Delta\varphi = 0; \pi$
Линейна поляризация



Частен случай $\Delta\varphi = \pm\pi/2$
Кръгова поляризация



Когато светлината премине през прозрачни анизотропни кристали, светлинната вълна се разпространява в тях с нееднакви скорости в различните направления. Трябва да се отбележи, че при преминаване на естествена светлина през природните анизотропни кристали турмалин, херапатит, тя става линейно поляризирана. Те поглъщат трептенията на електричния вектор във всички направления освен едно, в което я пропускат. Пластинките от тези кристали се наричат поляризатори и анализатори.



O'

Фиг.

4

На фиг. 4 е показана опитната постановка, с която френския физик Етиен Малюс изследва явлението I_0 поляризация. Той използва две турмалинови пластини като ги поставя успоредно една на друга на известно разстояние помежду им. Първата пластина е поляризатор. След нея се получава линейно поляризирана светлина като трептенията са по оста O'O. След това светлината преминава през втората турмалинова пластина, наречена анализатор. Когато осите на анализатора и поляризатора са успоредна една на друга, интензитетът на преминалата светлина е максимален, а когато сключват прав ъгъл – минимален.

I_P



Анализирайки експериментални резултати Малюс открива зависимостта

$$I_A = I_P \cos^2 \alpha \quad , \quad (1.50)$$

където I_A е интензитетът на светлината, преминала през анализатора, I_P – интензитетът на светлината, преминала през поляризатора, α – ъгъл между осите на поляризатора и анализатора.

(1.50) се нарича закон на Малюс.

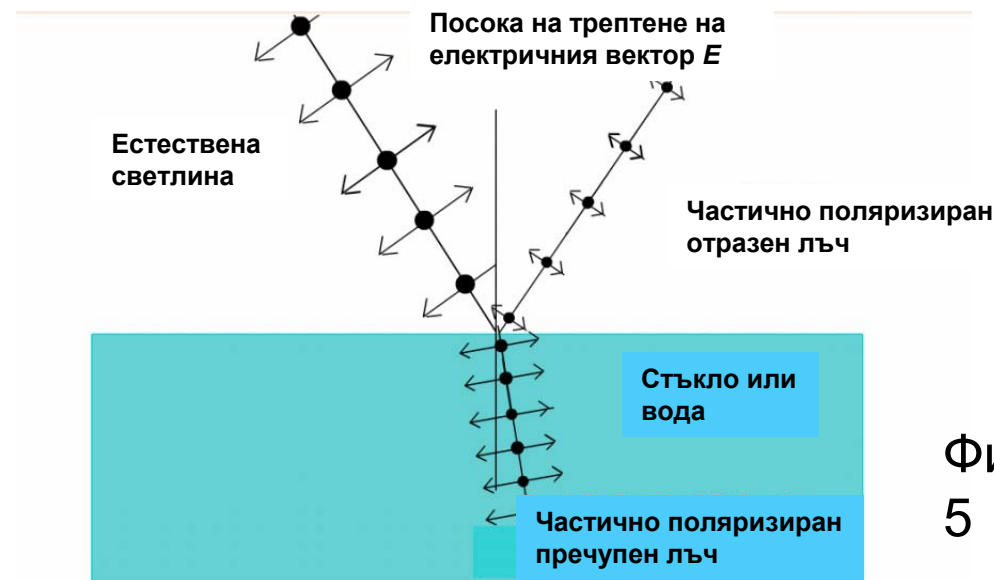
Ако върху поляризатора пада естествена светлина и интензитетът на погълнатата от него светлина е I_0 , (1.50) добива вида

$$I_A = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha \quad . \quad (1.51)$$



2. Поляризация на светлината при отражение и пречупване

Ако светлината достигне границата на две среди (например въздух и вода или въздух и стъкло), една част от нея се отразява, а друга се пречупва и започва да се разпространява във втората среда (фиг. 5). Опитно е установено, че отразените и пречупените компоненти на светлината са частично поляризирани.

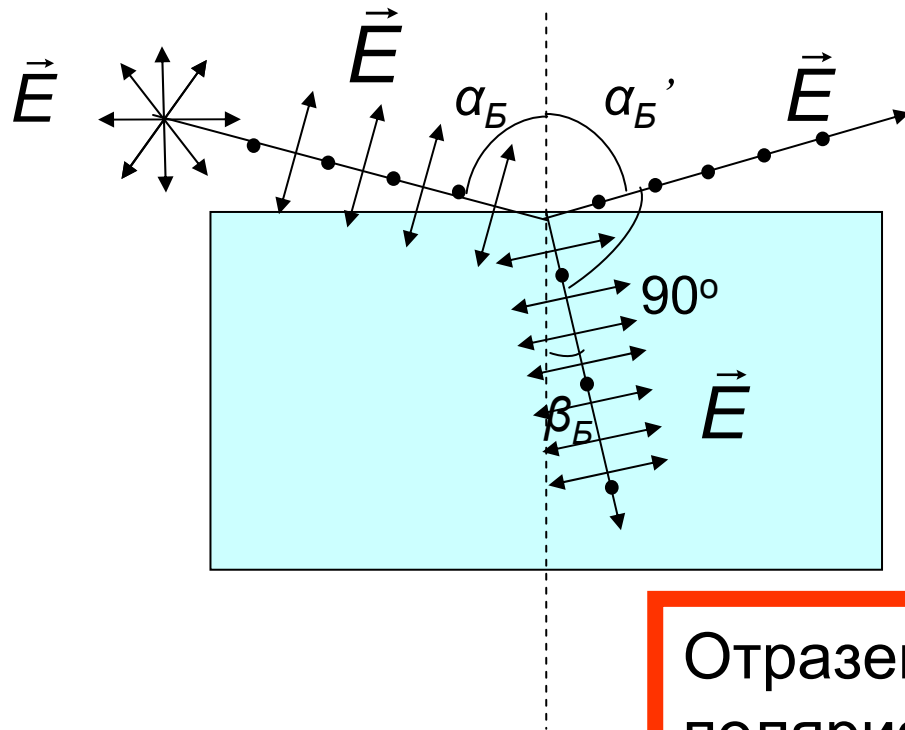


Фиг.
5

ПОЛЯРИЗАЦИЯ



Изследвайки това явление шотландския физик Д. Брюстер установява, че степента на поляризация зависи от ъгъла на падане α и от показателите на пречупване на двете среди.



Закон на Брюстер.

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n_{21},$$

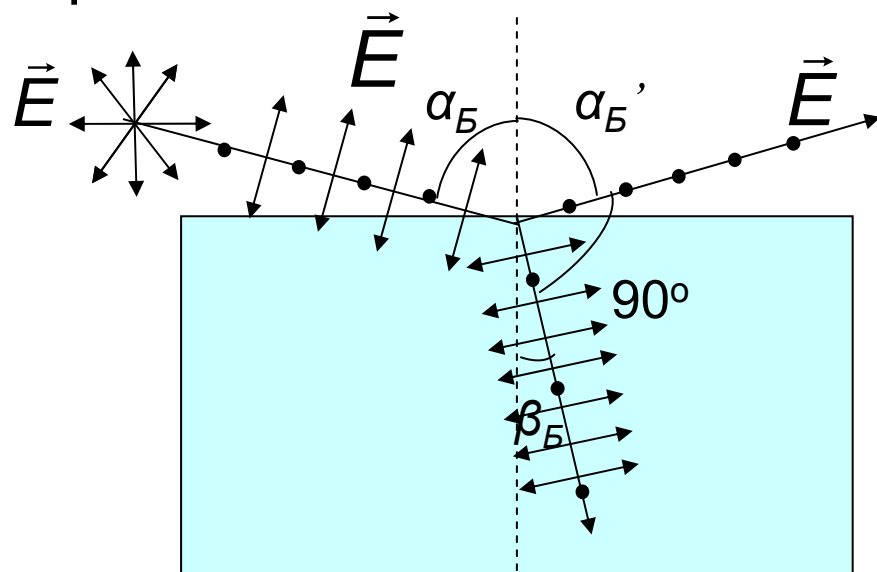
където n_{21} е коефициент на пречупване на втората среда спрямо първата.

Отразената светлина е напълно поляризирана.



ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Ако ъгълът, под който електромагнитната вълна пада към граничната повърхност, е равен на ъгъла на Брюстер α_B , то направленията на отразената вълна и на пречупената вълна сключват помежду си ъгъл равен на $\pi/2$ rad.



$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = n_{21}$$

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta_B} = n_{21}$$

$$\cos \alpha_B = \sin \beta_B$$

$$\cos \alpha_B = \cos \left(\frac{\pi}{2} - \beta_B \right)$$

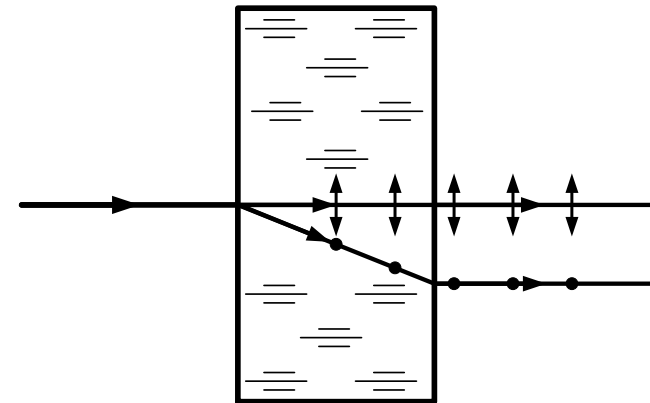
Фиг.
5

Последното равенство е възможно само, ако $\alpha_B + \beta_B = 90^\circ$ или $\alpha_B' + \beta_B = 90^\circ$.



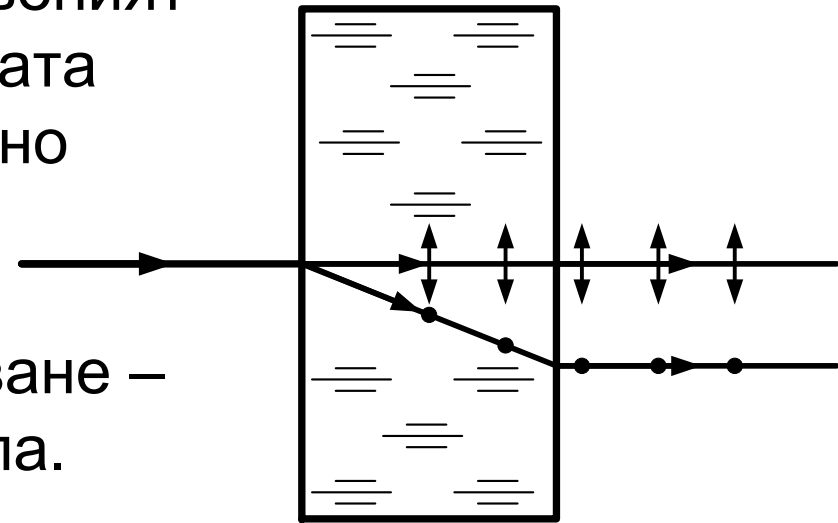
3. Поляризация при двойно пречупване на светлината.

Както бе споменато, някои кристали като исландски шпат, кварц, турмалин, калцит са анизотропни. Скоростта на светлинната вълна в тях е различна в отделните направления, а следователно е различен и показателя на пречупване на кристала за тези направления. В някои направления в тях настъпва двойно лъчепречупване – светлинният лъч F се раздвоява на два лъча – обикновен (O) и необикновен (N).





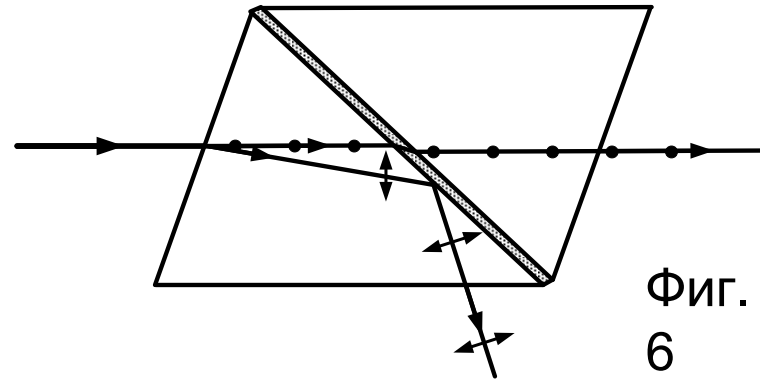
Когато кристала се завърти около падащия лъч, обикновеният лъч остава неподвижен, а необикновеният се върти около обикновения. Двата лъча излизат от кристала линейно поляризирани. В него има направление, в което не се наблюдава двойно лъчепречупване – нарича се оптична ос на кристала. Падащият лъч и оптичната ос определят главно сечение на кристала за този лъч. Обикновеният и необикновеният лъч лежат в това сечение.





В някои кристали се наблюдава явлението дихроизъм – единият от лъчите се поглъща по-силно от другия. Когато пластината има необходимата дебелина, единият лъч напълно се поглъща, а другият излиза от кристала линейно поляризиран. Такива кристали се използват за поляризатори и анализатори.

Призма на Никол

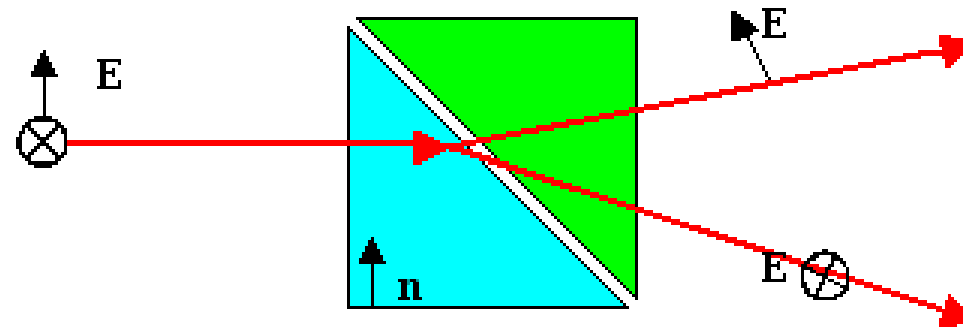


В практиката като поляризатор се използва и призмата на Никол. Тя е направена от две подходящо изрязани призми от исландски шпат – 1 и 2 съответно, които са слепени с канадски балсам. За показателите на пречупване на исландския шпат и канадския балсам е изпълнено условието $n_{иш} > n_{кб}$. Когато светлинният лъч F падне върху призмата, той се раздвоява на обикновен лъч O и необикновен лъч N . Обикновенният лъч попада на границата на двете среди под ъгъл по-голям от този на пълно вътрешно отражение и се отразява напълно. Необикновенният лъч преминава през двете части от исландски шпат и тази от канадски балсам и излиза от призмата линейно поляризиран. Втората призма има спомагателно значение – тя просто изправя пречупения лъч.

Ако върху призмата пада естествена светлина с интензитет I_0 , от нея излиза светлина с двойно по-нисък интензитет.



Призма на Воластон



Фиг.
7

Съставена е от две призми, съединени по диагоналните си стени.

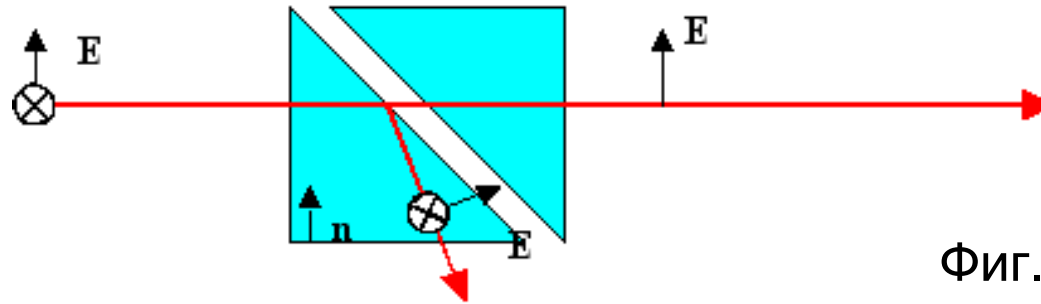
Първата е от исландски шпат ($n_e = n_o - 0,2$).

Втората е от оптично стъкло с n равен на средното геометрично от n_e и n_o .

При нормално падане на лъчите, нито една от поляризационните компоненти не изпитва пълно вътрешно отражение. И двете компоненти преминават през призмата, но на излизане са разделени пространствено, тъй като се пречупват в различни посоки



Призма на Глан



Фиг.
8

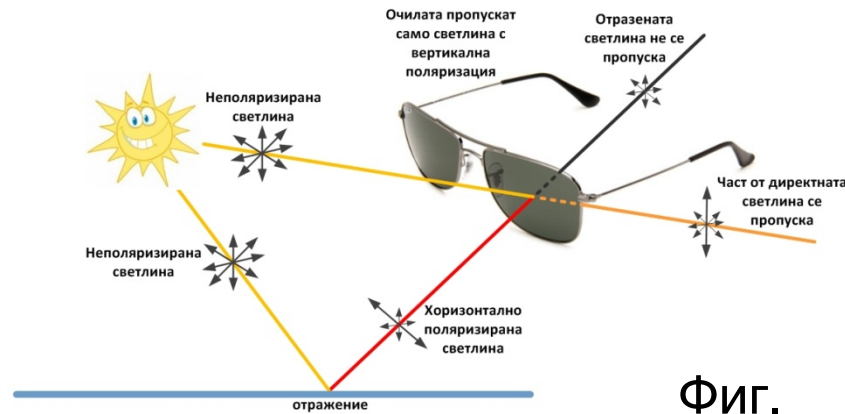
Съставена е от две еднакви призми от исландски шпат, съединени с тънък въздушен промеждутък с плоскопаралелни стени.

Обикновеният лъч изпитва пълно вътрешно отражение, а необикновения преминава през въздушния промеждутък без отклонение от първоначалното направление.

Изходящият лъч е напълно линейно поляризиран и съответства на необикновения лъч.

Използва се като поляризатор на излъчването на мощните импулсни лазерни източници в оптичeskия диапазон и в различни поляриметри.

Поляризационни очила



БЕЗ ПОЛЯРИЗАЦИЯ

С ПОЛЯРИЗАЦИЯ

Фиг.
9

Поляризационни филтри

- Фотография
- Видеонаблюдение

Фиг.
10

- Автомобилисти
- Мотоциклетисти
- Велосипедисти
- Летци
- Скиори
- Летовници на море
- За риболов
- За водни спортове



БЕЗ ПОЛЯРИЗАЦИОНЕН ФИЛТЪР

С ПОЛЯРИЗАЦИОНЕН ФИЛТЪР

Концентрация на разтвори
Например при глюкомерите

Фиг.
11



В МЕДИЦИНАТА

Облъчване на тъкани

- Прониква на около 2,5 cm под кожата;
- Полихроматична;
- Ниски стойности на енергията

Повишава се енергийната активност на клетъчната мембрана

Повишава се абсорбцията на кислород в тъканите

Стимулиране на обмяната на веществата

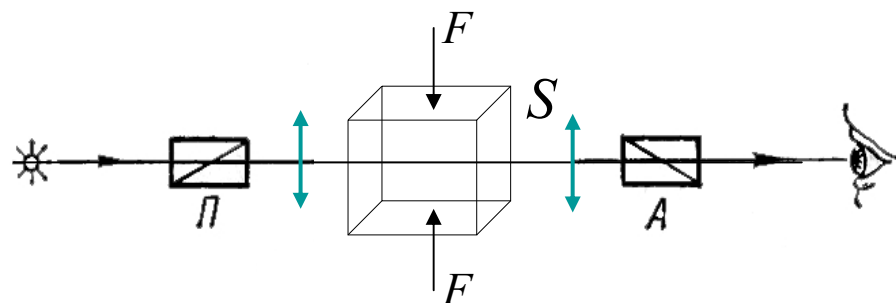
Стимулиране на процесите на регенерация и възстановяване на тъканите

Подсилващо и общоукрепващо въздействие върху организма

Въздействие върху нервната система и намаляване на болкоусещането



Изкуствена анизотропия



Фиг.
11

Едностранны деформация (свиване или разтягане) е причина за възникване на двойно пречупване. Степента на анизотропията се измерва с разликата в показателите на пречупване за обикновения и необикновения лъч – тя се оказва пропорционална на големината на напрежението:

$$\Delta n = n_o - n_e = k \frac{F}{S}$$

Разликата в

оптичните пътища:

$$\Delta \ell = \ell \Delta n$$

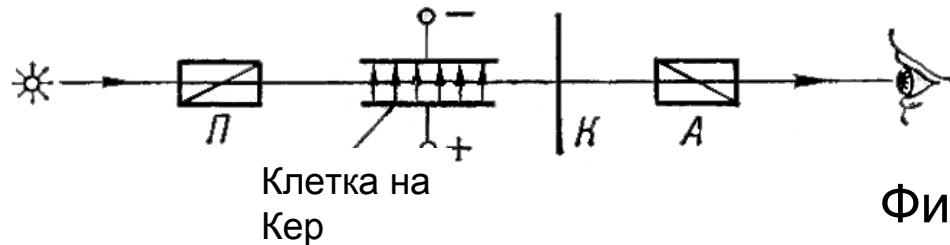
Фазова разлика:

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta \ell$$



Изкуствена анизотропия – ефект на Кер

Ефект на Кер (1985 г): възникване на двойно пречупване в оптически изотропни вещества. Например под въздействието на еднородно електрическо поле течностите и газовете придобиват свойства на едноосни кристали с оптична ос насочена по посока на електричното поле.



Клетка на Кер

Фиг. 12

$$\Delta n = n_e - n_o$$

$$\Delta n = kE^2$$

$$k \sim 10^{-15} \div 10^{-12}$$

Ако към плочите на кондензатора приложим напрежение, то поляризираната светлинна вълна ще се разпадне на две вълни: едната - поляризирана по направление на полето – необикновен лъч, а втората под прав ъгъл към ел. поле – обикновен лъч, които ще се разпространяват с различна скорост. Поради тази разлика при излизане от клетката фазите на двете вълни няма да съвпадат и резултантната вълна се оказва елиптично поляризирана и преминава частично през анализатора. Ако между клетката на Кер и анализатора поставим компенсатор К, преобразуващ елиптично поляризираната светлина в линейно поляризирана, то с въртенето на компенсатора може да се постигне пълно гасене на светлината след анализатора. Знаейки ъгъла на завъртане на компенсатора, може да се изчисли големината на двойното пречупване.



Изкуствена анизотропия – ефект на Котон-Мутон

Ефектът е аналогичен на ефекта на Кер, с разлика, че веществото става двойно пречупващо под влияние на магнитно поле.

$$\Delta n = kH^2$$

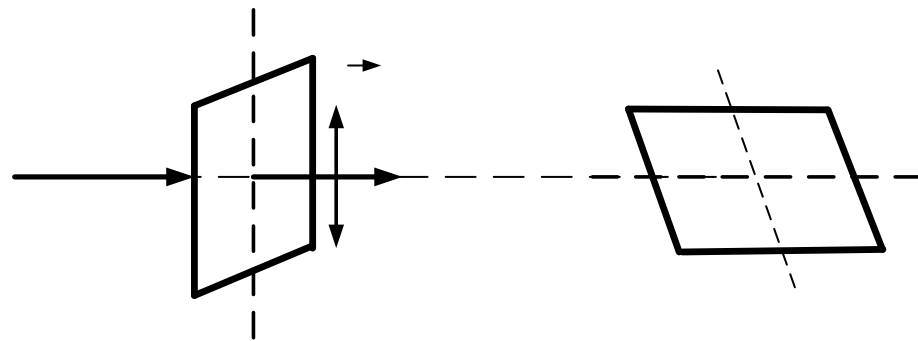
k е константа на Котон-Мутон и зависи от веществото.



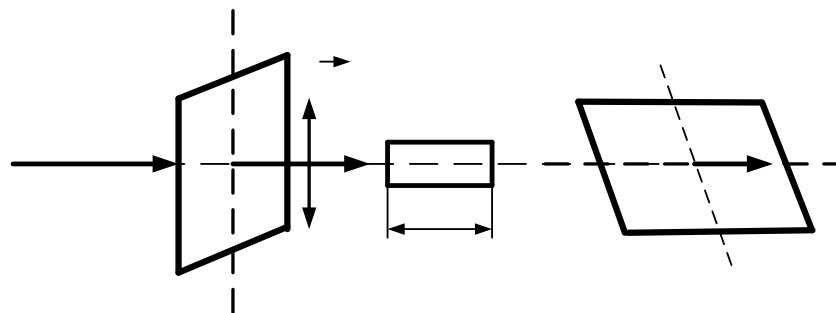
Завъртане на равнината на поляризация

При преминаване на линейно поляризирана светлина през пластина от кварц по направление на оптичната ос, светлинният лъч се завърта около нея. Такива вещества се наричат оптически активни.

ОПИТНА ПОСТАНОВКА



Фиг. 13



P O'

E
 L



Завъртане на равнината на поляризация

$$\alpha = \alpha_{\text{спеу}} \ell$$

$\alpha_{\text{спеу}}$ - специфичен ъгъл на въртене на равнината на поляризация, $[\alpha_{\text{спеу}}] = \text{rad/m}$.

При някои оптически активни вещества се получава ляво завъртане на равнината на поляризация, а при други – дясно.

Ако оптически активното вещество е разтвор

$$\alpha = \alpha_{\text{спеу}} \ell C$$

C – концентрация на разтвора.



Ефект на Фарадей

Представлява завъртане на равнината на поляризация на светлина, разпространяваща се във вещество по направление на силовите линии на постоянно магнитно поле. Открит от Фарадей през 1845 г.

Намагнитеното вещество има различен показател на пречупване за ляво и дясно поляризираната светлина. Така двата лъча се разпространяват с различна фазова скорост и се получава разлика в ходовете, зависеща линейно от оптичния път. В резултат, плоскополяризирана монохроматична вълна с дължина λ след изминаване на път ℓ във веществото, се завърта на ъгъл θ , който зависи линейно от големината на магнитния интензитет

$$\theta = \pi \ell (n_+ - n_-) / \lambda = V H \ell$$

(V – константа на Верде – относително завъртане, [rad/A])

Лазери и приложението им



1. Видове лазери
2. Приложението на лазерите в учебния процес
3. Лазерни технологии в индустрията
 - Лазерно маркиране
 - Лазерно гравирание
 - Лазерно рязане
 - Лазерно заваряване
 - Лазерно пробиване на отвори
 - Лазерно синтероване
 - Лазерно закаляване
4. Приложение на лазерите във военното дело
5. Приложение на лазерите в медицината