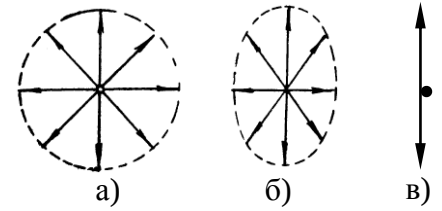


Поляризация на светлината при преминаване през поляризиращи кристали, при отражение и пречупване. Закони на Малюс и Брюстер

Поляризация на светлината при преминаване през поляризиращи кристали. Закон на Малюс

Поляризацията на светлината е процес, който се наблюдава при взаимодействие на светлинните вълни с веществата. Според електромагнитната теория на Максвел светлинните вълни са електромагнитни напречни вълни: трептенията на електричния и магнитния вектор се извършват в направления, перпендикулярни на посоката на разпространение на светлината.

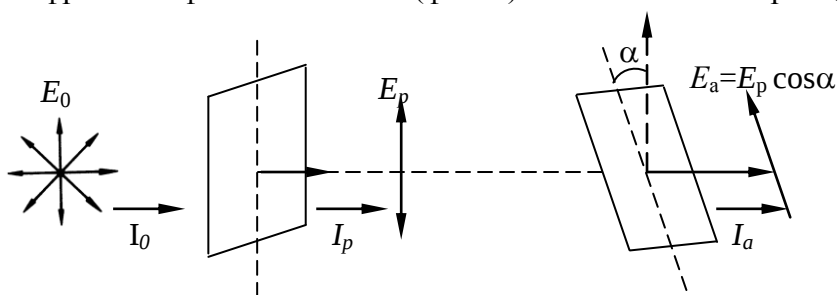
Светлината може да се разглежда като сумарно електромагнитно излъчване от голям брой атоми, принадлежащи на даден източник. Тъй като всеки атом от източника излъчва трептения независимо от другите, това сумарно електромагнитно излъчване се характеризира с всевъзможни равновероятни ориентации на електричния вектор E , който се нарича още светлинен вектор (тъй като в тази част от спектъра на електромагнитните вълни амплитудата на магнитния вектор H е много по-малка от тази на електричния). Такава светлина, при която светлинният вектор има всевъзможни посоки, се нарича неполяризирана или естествена (фиг. 1а). Ако в резултат на някакво външно въздействие сред всевъзможните ориентации на вектора E се получи едно преобладаващо направление, светлината се нарича частично поляризирана (фиг. 1б). Светлина, при която светлинният вектор има едно определено направление, се нарича линейно- или плоскополяризирана (фиг. 1в). Равнината, в която се извършват трептенията на вектора E , се нарича равнина на поляризация. Тя се определя от двата вектора – вектора E и вектора на скоростта v , задаващ посоката на разпространение на светлинните вълни.



фиг. 1

Естествената светлина може да се преобразува в поляризирана при взаимодействие с определени вещества. Съществуват няколко начина за получаване на поляризирана светлина. Ще се спрем на по-важните от тях.

В природата съществуват прозрачни кристали, които се характеризират с това, че светлината в тях се разпространява с различни скорости в различните им направления. Тези кристали се наричат анизотропни. Някои от анизотропните кристали, като турмалин, херапатит и др., притежават свойството при преминаване на светлина през тях да поглъщат трептенията на електричния вектор във всички направления освен в едно, което пропускат, т.е. преобразуват естествената светлина в плоскополяризирана. Пластинки от такива кристали служат за получаване на поляризирана светлина и се наричат поляризатори. Ако например върху пластинка от турмалин с дебелина **1 mm** пада лъч естествена светлина, от пластинката излиза напълно поляризиран лъч. Такива експерименти са правени от френския физик Е. Малюс (фиг. 2). Той е поставял перпендикулярно на пътя на тесен сноп естествена



фиг. 2

светлина с амплитуда E_0 (интензитет I_0) пластинка от турмалин – поляризатор, която пропуска само тези трептения на електричния вектор, които са по направлението на оста на поляризатора (пунктирната линия). Преминалата през пластинката светлина е поляризирана. Човешкото око не различава поляризираната от неполяризираната светлина. За да се определи каква част от

падналата върху поляризатора светлина е поляризирана, е необходимо на пътя на поляризираните лъчи да се постави втора пластинка със същите свойства, която се нарича анализатор. Малюс установява, че когато осите на поляризация на двете пластинки са успоредни (ъгълът α между направленията на осите е 0), интензитетът на преминалата през анализатора светлина е максимален, а когато осите са кръстосани (ъгълът α между направленията на осите е $\pi/2$), интензитетът е минимален. Следователно амплитудата (и интензитетът) на преминалата през анализатора светлина зависи от $\cos \alpha$ т.е. ако амплитудата на преминалата през анализатора светлина е E_a , а амплитудата на преминалата през поляризатора светлина – E_p , връзката между тях е:

$$(1) E_a = E_p \cos \alpha .$$

Интензитетът на светлината е пропорционален на квадрата на амплитудата на трептенията на

електричният вектор $\vec{E}$ ($I \sim E^2$). Следователно зависимостта (1), записана за интензитетите I_a и I_p на светлината преминала съответно през анализатора и поляризатора, ще бъде:

$$(2) I_a = I_p \cos^2 \alpha,$$

т.е. интензитетът на преминалата през анализатора поляризирана светлина I_a е пропорционален на интензитета на попадналата върху него поляризирана светлина I_p и $\cos^2 \alpha$. Зависимостта (2) е опитно установена от Малюс и се нарича закон на Малюс. Експериментално е установен и фактът, че интензитетът на преминалата през поляризатора светлина намалява два пъти спрямо интензитета на падналата върху него естествена светлина, т.е. ако интензитетът на падащата върху поляризатора естествена светлина е I_0 , то $I_p = I_0/2$. В такъв случай законът на Малюс може да се запише във вида:

$$I_a = \frac{I_0}{2} \cos^2 \alpha.$$

Освен естествено срещаните в природата кристали с поляризационни свойства съществуват и изкуствени поляризатори, наречени полароиди. Те представляват изкуствено получени пластинки с ориентирана структура, които имат същите, а в някои случаи и по-добри поляризационни свойства. Полароидите намират все по-голямо приложение в най-различни области.

Поляризация на светлината при отражение и пречупване. Закон на Брюстер

Освен при преминаване през поляризиращи кристали, светлината може да се поляризира и при отражение и пречупване от диелектрични повърхности. Нека върху граничната повърхност, разделяща две диелектрични среди (например въздух и стъкло или въздух и слюда), пада лъч естествена светлина (фиг. 3). Според законите на геометричната оптика една част от лъча се отразява, като ъгълът на падане α е равен на ъгъла на отражение α' ($\alpha = \alpha'$), а друга част се пречупва под ъгъл β (при преход от въздух в по-плътна среда е изпълнено $\alpha > \beta$) и се разпространява във втората среда. За падащия и пречупения лъч е в сила законът на Снелиус:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Тъй като в разглеждания случай (фиг. 3) първата среда е въздух ($n_1=1$), а $n_2=n$, законът придобива вида:

$$(3) \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n.$$

Ако на пътя на отразения и пречупения лъч се постави анализатор, се оказва, че те са частично поляризирани. В отразения лъч преобладават трептения на електричния вектор, които са перпендикулярни на равнината на падане (на фигурата са изобразени с точки), а в пречупения – трептения, успоредни на равнината на падане (изобразени са със стрелки). Степента на поляризация зависи от ъгъла на падане α и от коефициента на пречупване n . Шотландският физик Д. Брюстер е установил опитно, че при ъгъл на падане α_B , наречен ъгъл на Брюстер и удовлетворяващ условието

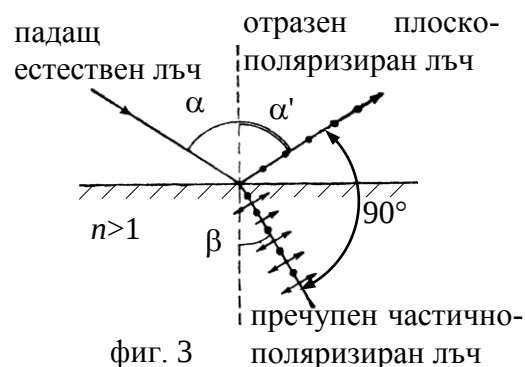
$$(4) \tan \alpha_B = n,$$

отразеният лъч е напълно поляризиран, а пречупеният – частично, като степента му на поляризация при ъгъл α_B е максималната възможна за него поляризация. Тази зависимост (4) между ъгъла на Брюстер (ъгъла на пълна поляризация на отразения лъч) и коефициента на пречупване на средата, от която се отразява лъчът, се нарича закон на Брюстер.

Нека определим ъгъла на пречупване β_B , който съответства на α_B . Като използваме (3) и (4) получаваме:

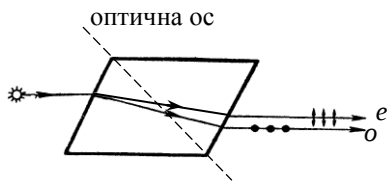
$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta_B} = n = \tan \alpha_B = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} \Rightarrow \sin \beta_B = \cos \alpha_B \Rightarrow \alpha_B + \beta_B = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \alpha'_B + \beta_B = \frac{\pi}{2},$$

тъй като от закона за отражение на светлината (17 въпрос) следва че $\alpha_B = \alpha'_B$. В такъв случай, ако светлината пада върху пречупващата повърхност под ъгъл на Брюстер (фиг. 3), ъгълът между отразения и пречупения лъч е 90° ($\pi/2$). Ако е изпълнено условието (4), можем да получим плоскополяризирана светлина при отражение от различни диелектрични пластинки, като слюда, стъкло и др. Недостатък на този метод е малката ефективност. Например от стъклена пластинка се отразява 3÷5% от падащата естествена светлина.

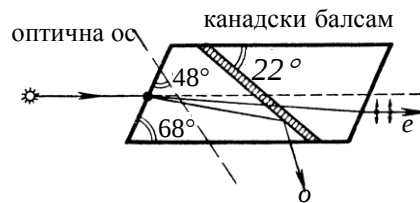


Двойно лъчепречупване

Друг начин за получаване на поляризирана светлина се основава на явлението *двойно лъчепречупване*. То е характерно за всички прозрачни анизотропни кристали, като например исландски шпат, кварц, апатит и др. Когато върху стената на такива кристали попадне лъч естествена светлина, след навлизане в кристала лъчът се разделя на два лъча (фиг. 4). Единият преминава през кристала, като не се подчинява на законите на геометричната оптика. По тези причини той се нарича *необикновен лъч* (бележи се с e). Вторият лъч се подчинява на законите на геометричната оптика и се нарича *обикновен лъч* (бележи се с o). Двата лъча се оказват поляризирани в две взаимноперпендикулярни равнини. Направлението в анизотропния кристал, по което светлината се разпространява, без да изпитва двойно



фиг. 4



фиг. 5

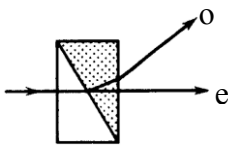
лъчепречупване, се нарича *оптична ос*. Оптичната ос на даден кристал характеризира избрано направление в него и може да се построи през всяка негова точка. Различното пречупване на двата лъча показва, че за всеки от тях кристалът има различен коефициент на пречупване. Следователно двата лъча се

разпространяват с различна скорост в анизотропните кристали. Обикновените лъчи се подчиняват на законите за пречупване и имат постоянна скорост на разпространение във всички направления на даден кристал ($v_o = c/n_o$, $n_o = \text{const}$). Необикновените лъчи не се подчиняват на законите за пречупване и се разпространяват в различните направления на кристала с различни скорости ($v_e = c/n_e$, $n_e \neq \text{const}$).

От двойнолъчепречупващите кристали се изработват специални призми, които изпълняват ролята на поляризационни прибори. Призмите биват два вида: *поляризационни призми*, чрез които се получава един вид поляризирана светлина, и *двойнолъчепречупващи призми*, чрез които се получават два лъча, поляризирани в две взаимноперпендикулярни равнини.

Най-разпространената поляризационна призма е тази на Никол. Тя дава възможност да се получат само един вид поляризирани лъчи, като за другия вид се създават условия за пълно вътрешно отражение (фиг. 5). Призмата на Никол се състои от две триъгълни призми от исландски шпат, които са слепени една с друга с канадски балсам. Ъглите в призмите са подбрани така, че обикновеният лъч да претърпи пълно вътрешно отражение от повърхността на канадския балсам.

Двойнолъчепречупващите призми не намират много широко приложение, тъй като двата поляризирани лъча излизат от кристала много близко един до друг и това затруднява разделното им използване. Проблемът при тези призми е двата поляризирани лъча (обикновеният и необикновеният) да се отместят един спрямо друг колкото е възможно повече. Пример за такава призма са две триъгълни призми от исландски шпат и стъкло, които се слепват една с друга (фиг. 6). По такъв начин се създават условия за двойно пречупване на обикновения лъч – от исландския шпат и от стъклото, вследствие на което той се отклонява по-силно и се отдалечава от необикновения.



фиг. 6