

ДВОЈНО ПРЕКРШУВАЊЕ. КРУЖНО ПОЛАРИЗИРАНА СВЕТЛИНА

НАДА СПАСОВА

Развитокот на науката за светлината почнува доста касно. Првите теории за природата на светлината се поставени во втората половина на XVII век. Околу седумдесете години на XVII век Newton ја поставува еманационата теорија на светлината, со која успева да ги објасни скоро сите дотогаш познати појави во светлината. Скоро по истото време холандецот Huygens, спроти еманационата теорија ја поставува ундулационата теорија на светлината, според која на светлината ѝ се припишува таласна природа, а пред него, уште Hooke го застапува истото гледиште, макар во недоволно јасна форма. Интерференцијата на светлината која беше позната во времето на Newton, не можеше да се објасни со еманационата теорија, макар да бранителите на оваа теорија се опитуваа тоа да го сторат. Дури во почетокот на XIX век, Thomas Young, со својот обид за интерференцијата на светлината даде одлучен доказ во прилог на таласната теорија, а откритието на поларизацијата на светлината потврди не само дека е таа таласна појава, ами дека претставува трансверзален талас.

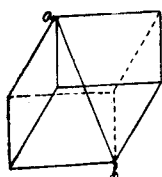
Поларизацијата на светлината претставува едно извонредно интересно и многу опширно подрачје во физиката, за чие целосно и опстојно разгледување е потребно многу повеќе простор. Целта на овој приказ е да го изнесе во најкуси црти и на елементарен начин она кое е потребно за разбирање на двојното прекршување и за добивањето на кружно поларизирана светлина, со претпоставка дека добивањето и особините на линеарно поларизираната светлина се познати.

Добивањето на линеарно поларизирана светлина најповеќе е сврзано со двојното прекршување на светлината, а истата се добива и при обичното прекршување како и при незиното одбивање од неметални поврнини. При одбивањето на светлината од метални поврнини редовно се добива елиптично поларизирана светлина, а во специјални случаи и кружно поларизирана светлина. При двојното прекршување на светлината се добива елиптично и кружно поларизирана

светлина со нарочна изработка на кристалот, во кој се врши двојното прекршување, што ќе биде предмет на овој приказ.

Двојното прекршување на светлината станува при незиното преминување низ кристали од која и да е кристална система, освен кристалите од тесералната система кои покажуваат особини на изотропни тела. Останатите пет кристални системи покажуваат двојно прекршување. Кристалите од хексагоналната система се едноосни кристали и во нив постои само еден правец во кој нема двојно прекршување — правец на оптичката ос на кристалот. Кристалите од ромбичната, моноклиничната и триклиничната система се двоосни кристали и во нив постоат два правци во кои нема двојно прекршување.

Исландскиот калцит спаѓа во едноосните кристали. Тој се јавува во природата во провидни кристали од хексагоналната система во таква форма, да може да се цепи во ромбоедри кои претставуваат хемиедарска форма од хексагонална бипирамида и се ограничени со шест ромбови. На



Сл. 1

сл. 1 е претсавен еден таков ромбоедар. Правата ab е кристалографската ос на кристалот¹⁾. Секоја права повлечена паралелно со кристалографската ос се вика оптичка ос на кристалот. Главен пресек на кристалот се вика секоја рамнина која минува низ нормалната спуштена во точката на паѓањето на зракот и низ оптичката ос повлечена во таа точка. Нормалата овде ја има истата улога како и при изотропните тела и спрема неа

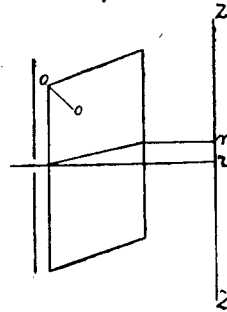
се определува агалот на паѓањето на зракот.

Двојното прекршување на светлината во исландскиот калцит го откри Erasmus Bartolinus во 1670 год. Подоцна, 1690 год. Huygens ја испитува појавата теориски и експериментално, а Malus 1808 год. ја испитува експериментално. Fresnel во својата теорија ги дава законите за одбивањето, прекршувањето и интерференцијата на поларизираната светлина.

Ако еден предмет се гледа низ кристал од исландски калцит кој не е исечен нормално на оптичката ос, тој ќе се види удвоен. Зраците што идат од една точка на предметот, во кристалот се делат на два дела и секој дел различно се прекршува. Тоа може да се покаже со овој обид: на заклон се проектира една осветлена дијафрагма која носи мал отвор. На заклонот се добива еден лик на отворот. Ако на патот на зраците се стави кристал од исландски

¹⁾ Ромбовите што го ограничуваат кристалот имаат тупи агли од 102° . Во точките a и b се составуваат страните со своите тупи агли.

калцит така, да светлината паѓа нормално на неговата поврвнина, на заклонот ќе се добијат два лика на отворот. Едниот лик стои во правецот на упадниот зрак, а другиот е одместен на страна. Ако кристалот започне да се врти околу упадниот зрак како околу ос, ликот кој е во правецот на упадниот зрак, стои на место, а другиот лик се врти околу него. При ова треба упадниот зрак стално да стои нормално на поврвнината на кристалот. На сл. 2 правата OO го претставува правецот на оптичката ос, а рамнината на хартијата се поклопува со главниот пресек на кристалот. Зракот означен со r се вика редовен зрак, а оној означен со n се вика нередовен зрак. Фактот што при вртењето на кристалот се врти само нередовниот зрак покажува, дека тој стално останува во рамнината на главниот пресек на кристалот.



Сл. 2

Природата на овие зраци може да се испита со николова призма, на која се пуштаат да паднат, пред да дојдат до заклонот. Ликовите на отворот стануваат различно осветлени. При вртењето на николот осветленоста им се менува наизменично; кога е едниот максимално осветлен, другиот е сосем темен; кога другиот добие максимум осветленост, првиот е сосем темен. Оваа промена во осветленоста настапува при секое вртење на николот за 90° . Од ова се заклучува дека се двата зраци линеарно поларизирани во рамнини кои што стоат нормално една на друга. Со николова призма, или со рамно огледало поставено под агол на тотална поларизација, може да се докаже дека редовниот зрак е поларизиран во рамнината на главниот пресек на кристалот, а трептенијата му се вршат нормално на главниот пресек; нередовниот зрак е поларизиран во рамнина нормална на главниот пресек, а трептенијата му се вршат во главниот пресек на кристалот.

Двојното прекршување на светлината е последица од различната брзина на простирање на овие зраци во кристалот. Таа брзина зависи од правецот на нивното ширење во однос на оптичната ос на кристалот. Редовниот зрак во сите правци се шири со иста брзина, а нередовниот зрак во различните правци во исландскиот калцит има различна брзина. Во правецот на оптичната ос неговата брзина е еднаква со брзината на редовниот зрак и поради тоа во тој правец нема двојно прекршување. Во правец нормален на оптичната ос, нередовниот зрак има најголема брзина од сите можни брзини. Ако со v_r се означи брзината на редовниот зрак, а со v_n брзината на нередовниот зрак во

правец нормален на оптичноста ос, тогај брзината на нередовниот зрак во различните правци на ширење се менува од v_r до v_n , каде е v_r неговата брзина во правец на оптичната ос, а v_n брзината во правец нормален на оптичната ос.

Освен исландскиот калцит постоат и други едноосни кристали во кои нередовниот зрак има најголема брзина во правец нормален на оптичната ос, меѓу кои се зелениот турмалин, берилиот, апатитот, корундот. Вакви кристали се викаат негативни кристали. При позитивните кристали, како што се горскиот кристал, циноберот, цирконот, рутилот, нередовниот зрак има најмала брзина во правец нормален на оптичната ос на кристалот.

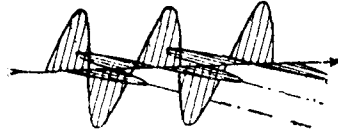
Поради различната брзина и индексите на прекршување на овие зраци не се еднакви. Индексот на прекршување на редовниот зрак е непроменлив, а индексот на прекршување на нередовниот зрак зависи од правецот на неговото ширење во кристалот. За редовниот зрак важи секоја Snell-овиот закон за прекршување, т. ј. $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$. Како индекс на

прекршување за нередовниот зрак се зема односот на неговата брзина во воздухот кон неговата брзина во кристалот. Односот на синусите за нередовниот зрак важи само кога упадната рамнина на зракот се поклопува со главниот пресек на кристалот. Во исландскиот калцит индексот на прекршување е најмал кога зракот се простира нормално на оптичната ос, зошто во тој правец брзината му е најголема. За жолтата спектрална линија $n_n = 1,49$, а $n_r = 1,66$ за истата линија. Значи индексот на прекршување на нередовниот зрак во различните правци на ширење се менува од 1,49 до 1,66, која вредноста ја добива при ширењето во правец на оптичката ос. Во тој правец индексот на прекршување на нередовниот зрак е еднаков со индексот на прекршување на редовниот зрак.

Ако од еден едноосен кристал се исечи плочка паралелно со оптичката ос на кристалот и се пушти светлосен зрак да падни нормално на незината поврнина, нема да се јави двојно прекршување во досегашниот смисол на зборот, т. ј. зракот нема да се дели на два одделни зраци, ами редовниот и нередовниот зрак ќе се движат во ист правец, правец нормален на оптичката ос. Бидејќи брзината на простирањето им е различна, при излегувањето од кристалот меѓу трептенијата на двата зраци ќе има извесна фазна разлика која зависи од дебелината на плочката. Оваа чињеница се употребува за добивање на кружно поларизирана светлина. Ако е дебелината на плочката така избрана да фазите на двете компоненти бидат одместени за една четвртина трептение (сл. 3), тоа значи фазната разлика ќе биде

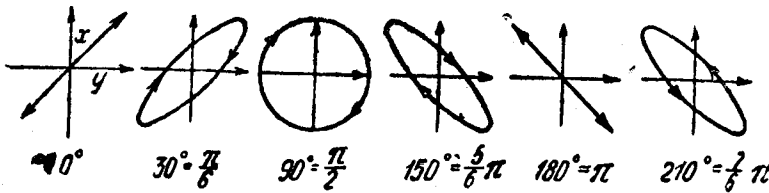
$\frac{\pi}{2}$, што одговара на патна разлика $\frac{\lambda}{4}$. Вакви плочки се викаат $\frac{\lambda}{4}$ - плочки (ламбда - четвртина - плочки) и се прават обично од гипс или момирок кои се оптички двоосни кристали.

За да биде појасно добивањето на кружно поларизирана светлина, ќе се послужи́ме со собирањето на нормални трептенија во механиката. Во механиката се покажува дека при собирањето на две нормални трептенија со иста фреквенција, во општ случај се добива елиптично трептение. Кругот и правата претставуваат гранични случаи.



Сл. 3

На сл. 4 е претставено собирањето на нормални трептенија со иста фреквенција и иста амплитуда, а при различна фазна разлика. Трептенијата се вршат во смер на осите x и y . Предходи трептението во смер на осата x .

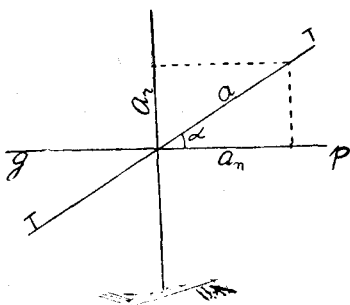


Сл. 4

Обид за собирање на нормални трептенија може да се направи ако една мала топка се пушти да осцилира во една рамнина и по извесно време ѝ се дава импулс во рамнина нормална на првата. Второто трептение започнува со извесно закаснение, значи меѓу двете трептенија постои извесна фазна разлика, од која ќе зависи резултантното трептение на топката. Ако се двете трептенија со различни амплитуди, тогаш топката ќе се движи по права линија ако е фазната разлика $0, \pi, 2\pi \dots n\pi$. Ако фазната разлика има некоја друга вредност, движењето на топката ќе се врши по елипса. Ако пак двете нормални трептенија се со еднаква амплитуда, топката ќе се движи по круг ако е фазната разлика $\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2} \dots \frac{n\pi}{2}$. По права ќе се движи ако е фазната разлика $0, \pi, 2\pi \dots n\pi$. За други фазни разлики ќе се движи по елипса. Положението на правите, елипсите и кругот за овој случај на собирање се покажани на сл. 4.

Ако на една ламбда — четвртина — плочка, се пушти да паѓа линеарно поларизиран зрак, добиен на пр. преку

една николова призма и ако рамнината на неговото трептение затвора некој агол α со главниот пресек на плочката, упадниот поларизиран зрак ќе се раздели на редовен и нередовен само во поглед на амплитудата на трептението. Збирот од јачините на светлината на двете компоненти е равен на јачината на светлината на упадниот зрак, а јачината



Сл. 5

на светлината на секоја компонента е равна на квадратот на незината амплитуда. На сл. 5 a_r и a_n ги означават амплитудите на редовниот и нередовниот зрак. Упадниот поларизиран зрак има правец нормален на рамнината на хартијата; ТТ е рамнината на неговото трептение, а во gp лежи оптичната ос на плочката. Јачините на светлината на редовниот и нередовниот зрак ги имаат овие вредности:

$$i_r = a_r^2 = a^2 \sin^2 \alpha, \quad i_n = a_n^2 = a^2 \cos^2 \alpha$$

Од формулите се гледа дека јачината на светлината на компонентите зависи од аголот што затвора рамнината на трептението на упадниот поларизиран зрак со главниот пресек на плочката; кога слаби јачината на светлината на редовниот зрак, се зголемува јачината на нередовниот зрак и обратно. Ако упадниот поларизиран зрак паѓа под агол $\alpha = 0^\circ$, тој од плочката со целата своја јачина ќе излезе како нередовен зрак. Ако пак паѓа под агол $\alpha = 90^\circ$, тој од плочката со целата своја јачина ќе излезе како редовен зрак.

Кружно поларизирана светлина се добива ако рамнината на трептението на упадниот зрак затвора со главниот пресек на плочката агол од 45° . Двете компоненти тогај имаат еднакви амплитуди:

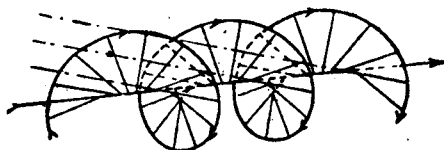
$$a_r = a_n = \frac{a \sqrt{2}}{2}$$

Јачината на светлината на двете компоненти е иста и равна на квадратот на нивната амплитуда: $i_r = i_n = \frac{a^2}{2}$. При излегувањето од кристалот меѓу нив постои патна разлика $\frac{\lambda}{4}$ (фазна разлика $\frac{\pi}{2}$) и тие се слагаат во едно кружно трептение.

Така од плочката излегува кружно поларизирана светлина која се простира со брзина c во смер на зракот.

Основната карактеристична разлика за кружно поларизираната светлина во однос на линеарно поларизираната светлина е во тоа што во неа трептенијата на светлосниот вектор не се вршат со променљива елонгација. Напротив светлосниот вектор овде има постојана елонгација a_c еднаква со амплитудите на трептенијата на компонентите: $a_c = a_r = a_n$; но ако замислиме да го наблудуваме положението на тој вектор во некоја дадена точка P на зракот на кружно поларизираната светлина во времето T на траењето на трептението, тоа положение се менува така да изгледа како да светлосниот вектор во таа точка направи цел обрт во времето T . Ако пак замислиме да во еден ист момент го наблудуваме положението на сите светлосни вектори по должината на зракот на кружно поларизираната светлина светлина, тогај светлосните вектори по должината на зракот лежат на една завојна поврвнина, така да нивните врвои прават една завојна линија¹⁾ (сл. 6). Таласната должина на ваков кружно поларизиран зрак е рамна на растојанието меѓу два вектори кои имаат ист смер (одговара на она кое при винтот го викаме висина на винтовиот ход).

Ако на патот на кружно поларизираната светлина ставиме една николова призма како анализатор, при вртењето на николот не се менува јачината на светлината. Но ваква особина има и природната светлина кога



Сл. 6

се пропушти низ една николова призма; при вртењето на призмата и таа не си го менува интензитетот. Но ако на патот на кружно поларизираната светлина, пред анализаторот ставиме втора ламбда — четвртина — плочка, таа ќе сов-

даде меѓу компонентите уште една патна разлика од $\frac{\lambda}{4}$, значи вкупната патна разлика ќе биде $\frac{\lambda}{2}$ и при излегувањето од

оваа втора ламбда — четвртина — плочка, двете компоненти ќе се сложат во линеарно поларизиран зрак; овој зрак ќе покаже промена во интензитетот при вртењето на анализаторот. Неговите трептенија се вршат во рамнина која е нормална на рамнината на трептението од упадниот поларизиран зрак. Овде во сушност имаме собирање на нормални трептенија со фазна разлика π , што беше споменато напред при собирањето на нормални трептенија во механиката.

¹⁾ Ваква линија би опишала споменатата мала топка која се врти, а истовремено се движи равномерно во правец нормален на рамнината на вртењето.