

Група 309 17.03.2020

Практична робота №5 «Вивчення явища поляризації світла.»

Мета роботи: Вивчити явища поляризації світла. Перевірити закон Малюса, виходячи з експериментальних результатів роботи.

Прилади: Гелій-неоновий лазер, поляризатор, фотоприймач.

I. Теоретична частина

Вивчити та написати в зошит основні відомості про поляризацію світла та поляризаційні прилади.

1. Лінійно, циркулярно та еліптично поляризоване світло. Поляризатори.
2. Поляризація світла при відбиванні та заломленні.
3. Закон Брюстера. Виведення формули.
4. Закон Малюса. Виведення формули.
5. Подвійне променезаломлення.
6. Поляризаційні прилади на основі подвійного променезаломлення (призма Ніколя, Волластона, Рошона).

Короткі теоретичні відомості

Явища інтерференції та дифракції світла підтверджують його хвильову природу, але не дають відповіді на питання: світлові хвилі повздовжні чи поперечні? Однозначну відповідь на це питання дає електромагнітна теорія світла. Із законів електромагнетизму і електромагнітної індукції випливає, що зміна в часі вектора напруженості електричного поля в даній точці простору супроводжується появою змінного магнітного поля напруженістю, напрямленою перпендикулярно до вектора, і навпаки, зміна в часі напруженості магнітного поля приводить до виникнення електричного поля. Вектори напруженостей і завжди перпендикулярні. Ця зміна напруженостей електричного і магнітного полів поширюється у просторі вздовж лінії, перпендикулярної до векторів і, утворюючи електромагнітну хвилю (рис.1). Швидкість, з якою поширюються електромагнітна хвиля:

(1)

де ϵ – діелектрична і магнітна проникність середовища, відповідно.

Отже, три вектора $\vec{E}$, $\vec{B}$ і $\vec{k}$ взаємно перпендикулярні, і електромагнітна хвиля, а отже і світлова, яка є її окремим випадком, – поперечна.

Поширення електромагнітної хвилі

Будь-яке джерело світла є сукупністю великої кількості окремих атомів. Кожний атом випромінює хвилю, в якій вектори $\vec{E}$ і $\vec{B}$ коливаються в певному напрямі, перпендикулярному до напрямку поширення (вектора $\vec{k}$). В результаті від джерела одержуємо сукупність світлових хвиль з усіма можливими напрямками коливань, перпендикулярними до напрямку поширення хвилі. Таке

світло називається *природним*, або *звичайним*. Зображено схему розміщення векторів окремих хвиль, що утворюють промінь природного світла, яким його можна бачити при спостереженні вслід за променем

Із сукупності коливань природного світла завжди можна яким-небудь чином виділити коливання, що відбуваються в одній площині, яка проходить через напрям поширення світла. Світло, для якого коливання електричного вектора відбуваються в одній фіксованій площині називається *плоскополяризованим*, а сама площина () називається *площиною коливань*. Площина , перпендикулярна до площини коливань, називається *площиною поляризації*. Світло, в якому який-небудь напрям коливань вектора є переважаючим, але не єдиним, називається *частково поляризованим* світлом.

Схема розміщення векторів : а) природного світла; б) плоскополяризованого світла	Поляризація світла відбувається при відбитті і заломленні природного світла на поверхні діелектрика (скла, води та ін.). Світлові коливання природного променя завжди можна розкласти в двох взаємно перпендикулярних площинах. Тому природний промінь, що падає на поверхню прозорого ізотропного діелектрика задається двома коливаннями: коливаннями вектора в площині рисунка(рисочками) і коливаннями, перпендикулярними до цієї площини (точками) (рис.3, а). Відбитий і заломлений промені на межі діелектрика
---	--

стають частково поляризованими: у заломленому промені переважають коливання, що відбуваються в площині падіння (у площині рисунка), а у відбитому – коливання перпендикулярні до цієї площини. Для будь-якого діелектрика є певний кут падіння, при якому поляризація відбитого променя стає повною (рис.3, б). Такий кут падіння називають *кутом повної поляризації*. Величина цього кута визначається законом Брюстера:

(2)

де – кут повної поляризації; – абсолютний показник заломлення речовини. При повній поляризації відбитого променя заломлений промінь має найбільшу ступінь поляризації, а відбитий і заломлений промені взаємно перпендикулярні.

а) б)

Поляризація світла на поверхні діелектрика: а) часткова; б) повна

Поляризується світло також при проходженні через анізотропні середовища (наприклад, через прозорі кристали, за винятком кристалів кубічної системи). При цьому відбувається явище *подвійного променезаломлення*. Якщо на кристал ісландського шпату (CaCO_3) під деяким кутом падає вузький паралельний пучок світла, то з кристала (при достатній його товщині) виходять два

просторово розділені повністю поляризовані промені із взаємно перпендикулярними площинами коливань (рис.4). Промінь ВС, в якому світлові коливання перпендикулярні до головного перерізу кристала, поширюється в усіх напрямках з однаковою швидкістю. Цей промінь підлягає законам заломлення і характеризується сталим показником заломлення. Його називають *звичайним променем*. Промінь ВD, в якому коливання відбуваються в площині головного перерізу кристала, поширюється в кристалі в різних напрямках з різною швидкістю. Він не підлягає законам заломлення, його показник заломлення не є величиною сталою, а залежить від кута падіння. Його називають *незвичайним променем*. Швидкість поширення незвичайного променя всередині кристала залежить від напрямку.

Кристали, в яких () називають *додатними*, кристали, в яких () – *від'ємними*.

. Явище подвійного променезаломлення в кристалі ісландського шпату

Дослідження показали, що у всякому кристалі є один напрям (іноді два), по якому не відбувається подвійного променезаломлення. Цей напрям називається *оптичною віссю* кристала. Напрями оптичних осей у кристалах точно визначені. Для кристала ісландського шпату, який кристалізується у формі ромбоєдра, оптичною віссю буде напрям АА, паралельний діагоналі, що сполучає тупі тілесні кути (рис.4). Будь-яка площина, в якій лежать падаючий промінь і оптична вісь, називається *головною площиною*, або *головним перерізом* кристала відносно цього променя.

Для більшості прозорих одновісних кристалів яскравість звичайного і незвичайного променів однакова. Але є такі кристали, в яких один з поляризованих променів вбирається значно сильніше, ніж другий. Наприклад, кристал турмаліну завтовшки 1 мм практично пропускає лише незвичайний промінь. Явище неоднакового вбирання променів з різними напрямками площин коливання відносно оптичної осі кристала називається *дихроїзмом*.

Прилади, за допомогою яких утворюється поляризоване світло, називаються *поляризаторами*. В них використовують так звані поляроїди і спеціальні поляризаційні призми.

Поляроїд представляє собою тонку поляризаційну плівку, дія якої ґрунтується на явищі дихроїзму. Поляроїди мають велике поле зору, їх легко виготовляти, тому вони широко використовуються в техніці там, де високий ступінь поляризації не є обов'язковим. Недоліком поляроїдів є неоднакова прозорість їх для променів різної довжини хвилі.

Найпоширенішою *поляризаційною призмою* є призма Ніколя або просто «ніколь», що виготовляється з ісландського шпату. Призма складається з двох частин, склеєних по діагональній площині канадським бальзамом, лляною олією, гліцерином або будь-якою іншою речовиною, показник заломлення якої лежить між і . Довжина призми приблизно в 4 рази більша її ширини. Падаючий промінь у призмі розділяється на два: звичайний (о) і незвичайний (е). Звичайний промінь, досягаючи межі ісландського шпату ($n = 1,65$) з канадським бальзамом ($n = 1,54$), зазнає повного внутрішнього відбивання, а

потім вибирається зачорненою гранню АС. Показник заломлення ісландського шпату для незвичайного променя ($n = 1,51$) менший від показника заломлення бальзаму, тому незвичайний промінь проходить через усю призму.

Недоліками призми Ніколя є послаблення світлового променя і результаті часткового відбивання і поглинання; канадський бальзам поглинає ультрафіолетове проміння. Модифікацією призми Ніколя є призма Глана-Томсона, в якій торцеві грані паралельні оптичній осі кристала і розміщені нормально до осі симетрії призми, що виключає паралельне зміщення падаючого променя та дещо зменшує втрати інтенсивності світла.

Крім призм типу «ніколь», виготовляються також поляризаційні призми, які дають два поляризовані промені – звичайний і незвичайний (призми Волластона, Рошона та ін.). Виготовити поляризаційні призми досить складно, тому їх використовують тільки в установках для фізичних досліджень, у поляризаційних мікроскопах, у цукрометрах тощо.

Поширеним поляризаційним приладом є стопа. Стопа складається з 8-10 складених разом плоскопаралельних пластинок. При падінні під кутом Брюстера (θ_B) поляризація заломлених променів для звичайного скла максимальна, але далеко не повна і становить близько 15%. Отже, якщо тепер частково поляризовані промені, що пройшли через одну скляну пластинку, примусити пройти через другу, третю і т.д., то ступінь поляризації заломлених променів зросте.

а) б)

Поляризатори: а) призма Ніколя; б) стопа

Прилади, за допомогою яких можна виявити ступінь і орієнтацію площини поляризації світла, називають *аналізаторами*. Аналізатором може бути будь-який поляризатор, стопа скляних паралельних пластинок, закріплених під кутом повної поляризації, поляроїди, кристал ісландського шпату, поляризаційні призми.

Якщо на шляху променя, що вийшов з поляризатора поставити аналізатор, то інтенсивність світла, яке пройшло через аналізатор, залежить від взаємної орієнтації площин пропускання світлових хвиль поляризатора і аналізатора. Нехай на аналізатор АА перпендикулярно до площини падає повністю поляризований промінь з світловими коливаннями в площині РР (рис.6). Аналізатор пропускає лише ті коливання, що відбуваються в площині АА.

Закон Малюса стверджує: *інтенсивність плоскополяризованого світла, що проходить через аналізатор, пропорційна квадрату косинуса кута між напрямом коливань, які пропускає аналізатор без послаблення, і напрямом коливань у поляризованому світлі, що падає на аналізатор.*

Зазначимо, що в ряді приладів доводиться оцінювати ослаблення природного променя, який спочатку падає на поляризатор, а потім вже поляризованим проходить через аналізатор. У цьому випадку інтенсивність природного променя зменшується вдвічі внаслідок поляризації і, крім того, ще зменшується через поглинання світла в товщі поляризаційної призми.

Відео урок додається

Домашнє завдання

1. Підручник «Фізика і астрономія 11 клас», автор М.В. Головкин, Київ Педагогічна думка 2019 рік: стр.145-146, опрацювати практичну роботу самостійно, переглянути відео урок (всі відео уроки є на моїй сторінці в Фейсбук, дописати формули.