

Тема 18: Штучне подвійне променезаломлення. Обертання площини поляризації.

Питання лекції:

1. Штучна анізотропія. Ефект Керра.
2. Ефект Коттона-Мутона.
3. Оптична активність речовини. Обертання площини поляризації.
4. Ефект Фарадея.

1. Штучна анізотропія. Ефект Керра

Подвійне променезаломлення виникає тільки в оптично анізотропних середовищах. Такі речовини, наприклад, як вода чи скло є оптично ізотропними і для них у звичайних умовах подвійне променезаломлення не спостерігається. Однак можна викликати штучну анізотропію шляхом деформації тіла або впливом електричного чи магнітного полів.

Виникнення оптичної анізотропії в ізотропних твердих тілах під дією механічних напруг називається фотопружністю. Фотопружність була відкрита у 1813 р. німецьким вченим Зеєбеком і англійським вченим Брюстером. Фотопружність є наслідком залежності діелектричної проникності речовини від деформації і обумовлена деформацією електронних оболонок атомів і молекул. При одноосному розтягу чи стискуванні ізотропне тіло набуває властивості анізотропного кристала з оптичною віссю, яка паралельна напрямку розтягу чи стиску. Використовується штучна анізотропія при дослідженні напруг у механічних конструкціях, для модуляції лазерних променів, у наукових дослідженнях.

Виникнення анізотропії в деяких рідинах під дією електричного поля було виявлено в 1875 р. шотландським фізиком Керром і пізніше дістало назву ефекту Керра. Спостерігати ефект Керра можна у нітробензолі, воді, сірководні і інших рідинах, молекули яких мають дипольні моменти. У звичайних умовах дипольні моменти розподілені хаотично і анізотропія відсутня. Якщо ж таку рідину помістити в електричне поле, то відбувається орієнтація диполів і середовище стає анізотропним. Для дослідження анізотропних властивостей і рідини використовується комірка Керра (рис. 18.1).

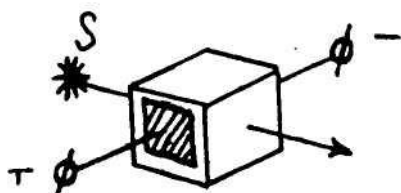


Рис. 18.1

В анізотропній рідині плоско поляризоване світло розділяється на дві хвилі, які поляризовані у взаємно перпендикулярних напрямках. В результаті із комірки Керра виходить еліптично поляризоване світло. Тобто, вектор E , коливаючись, повертається і займає різне положення.

Якщо комірку Керра помістити між двома схрещеними поляризаторами, то при відсутності поля світло не проходить (рис. 18.2).

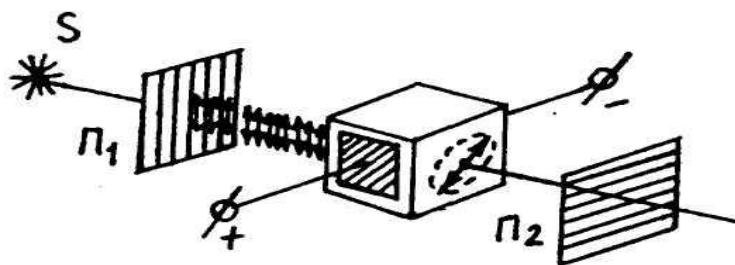


Рис. 18.2

При створенні електричного поля схрещені поляризатори Π_1 і Π_2 частково пропускають еліптично поляризоване світло. Оскільки час, протягом якого молекули орієнтуються в зовнішньому електричному полі, дуже малий ($\sim 10^{-10}$ с), комірку Керра можна застосовувати як практично безінерційний затвор при швидкісних зйомках.

Ефект Керра виникає також у склі або в ізотропних кристалах. В анізотропних же кристалах, які мають подвійне променезаломлення, в електричному полі відбувається зміна величини подвійного променезаломлення. Цей ефект має назву ефекту Поккельса. Ефект Поккельса використовується в лазерних системах зв'язку.

2. Ефект Коттона-Мутона

Штучна анізотропія анізотропія і подвійне промене- заломлення виникає також в ізотропній речовині у магнітному полі в результаті орієнтації магнітних моментів молекул. Ефект Коттона-Мутона полягає в тому, що в таких умовах плоско поляризований промінь розділяється на два промені – звичайний і незвичайний, які мають різні показники заломлення і різні швидкості поширення. Оскільки звичайний і незвичайний промені мають взаємно перпендикулярні коливання, світло стає еліптично поляризованим.

Для спостереження ефекту Коттона-Мутона речовина поміщається в досить сильне магнітне поле (рис. 18.3).

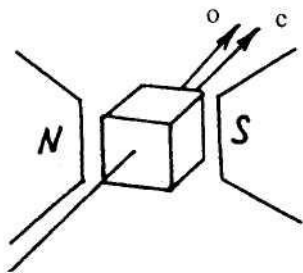


Рис. 18.3

Ефект характеризується величиною $n_e - n_o = cH^2\lambda$, де n_e , n_o – показники заломлення звичайного і незвичайного променів; c – константа, яка залежить від речовини; λ – довжина хвилі світла.

Ефект Коттона-Мутона проявляється також при поширенні електромагнітних хвиль в іоносфері, яка поводить себе як анізотропне середовище. В результаті подвійного променезаломлення з'являються дві хвилі – звичайна і незвичайна, які зсунуті за фазою, що призводить до "замирання" сигналу (рис. 18.4).



Рис. 18.4

3. Оптична активність речовини. Обертання площини поляризації

Явище повертання площини поляризації вперше було виявлене в 1811 році французьким вченим Араго при вивченні подвійного променезаломлення у кварці. Світло проходило через два поляризатори N_1 і N_2 (рис. 18.5). При схрещеному положенні поляризаторів світло не проходить. Однак, якщо між поляризаторами помістити кристал кварцу, то настає просвітлення, яке викликане поворотом площини коливань на деякий кут α при проходженні через кварц.



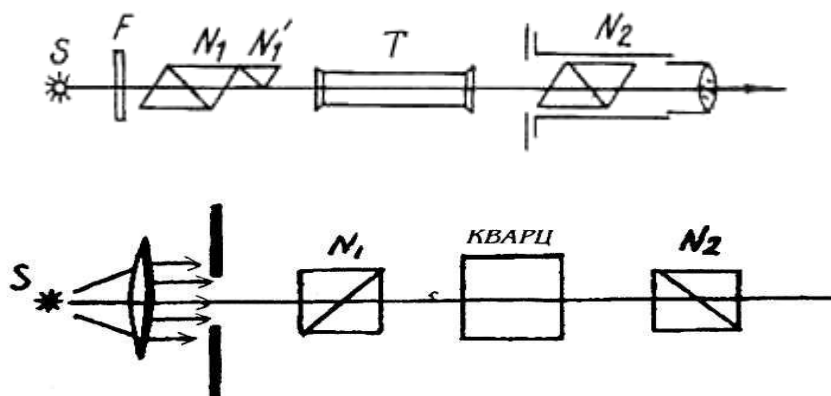


Рис. 18.5

Якщо ж повернути другий поляризатор на такий же кут, то знову відбудеться затемнення поля зору.

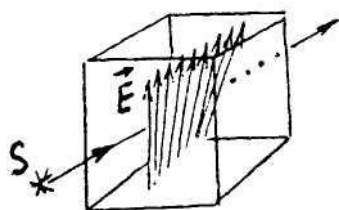


Рис. 18.6

На рис. 18.6 схематично показано, як відбувається поворот площини коливань вектора \vec{E} при проходженні світла через кристал кварцу.

Речовини, які здатні повертати площину коливань без зовнішнього впливу, називаються оптично активними. Якщо дивитись назустріч променю, то обертання площини поляризації може відбуватись вліво (тоді кристали називаються лівими, рис. 18.7а), або вправо (праві кристали, рис. 18.7б). В природі існують як праві, так і ліві модифікації кварцу і інших оптично активних речовин.

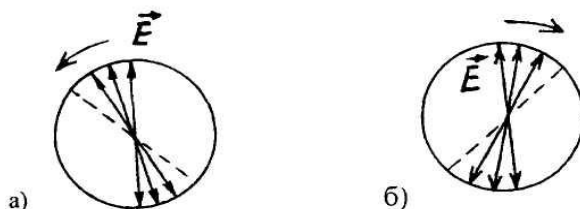


Рис. 18.7

Пояснення явища обертання площини поляризації дав Френель. Він допустив, що плоскополяризований промінь, входячи в речовину, розпадається на два промені, поляризовані по колу – з правою і лівою поляризацією. Швидкос-

ті поширення цих хвиль неоднакові і одна хвиля відстає від другої за фазою (рис. 18.8).

Якщо до входження в речовину фази обох променів однакові ($\varphi_{\perp} = \varphi_{\parallel}$), то результуючий вектор \vec{E} коливається в площині $A-A$.

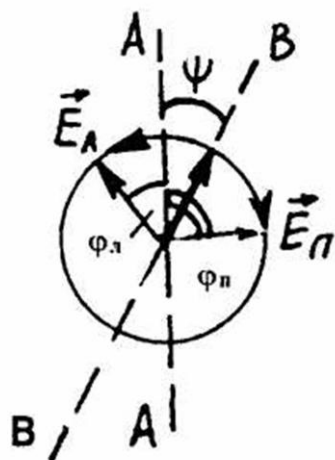


Рис. 18.8

При проходженні речовини, наприклад, вектор \vec{E} для хвилі з лівою поляризацією нехай повернутий на кут φ_{\perp} , а для правої – на φ_{\parallel} . При додаванні цих векторів площина коливань проходитьме посередині між E_{\parallel} і E_{\perp} (положення $B-B$), тобто вона повернеться на кут ψ , який залежить від товщини шару речовини: $\psi = \alpha \cdot l$, де α – стала поворотання, l – товщина речовини, яку пройшов промінь

Властивість повертати площину коливань мають також деякі розчини, наприклад розчин цукру. Кут повороту площини поляризації пропорційний концентрації c : $\psi = \alpha \cdot c \cdot l$, де α – питома стала поворотання.

Знаючи кут повороту площини коливань, можна визначити концентрацію цукру у розчині, для чого існують прилади – цукрометри.

4. Ефект Фарадея

Речовини, які не є оптично активними, набувають властивості повертати площину поляризації під впливом магнітного поля. Це явище було відкрите Фарадеєм. Воно спостерігається при поширенні світла вздовж ліній напруженості магнітного поля.

На рис. 18.9 зображена схема установки для дослідження ефекту Фарадея.

Досліджувана речовина поміщається між полюсами магніту, в яких зроблено отвір для проходження плоско поляризованого світла.



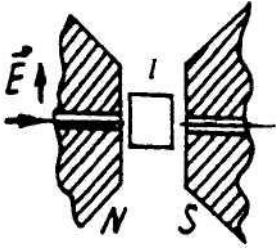


Рис. 18.9

У речовині відбувається повертання площини поляризації на кут φ , який пропорційний товщині l і напруженості магнітного поля H : $\Psi = V \cdot l \cdot H$. Коефіцієнт V називається сталою магнітного повороту (стала Верде).



Магнітне повертання площини поляризації зумовлене прецесією електронних орбіт, яка виникає в магнітному полі. В результаті швидкість поширення променів з правою і лівою коловою поляризацією стає різною, що й призводить до повертання площини поляризації.

Ефект Фарадея має малу інерційність ($\tau \sim 10^{-9}$ с), що зумовлює його застосування для модуляції світла, для створення оптичних затворів і ін.

Питання для контролю

1. Пояснити, як можна створити штучно анізотропію речовини.
2. Що таке фотопотужність ?
3. В чому полягає ефект Керра ? Наведіть приклади його застосування.
4. В чому полягає ефект Коттона-Мутона ? Яке його пояснення ?
5. Що таке природна оптична активність ?
6. Яке пояснення дав Френель повертання площини поляризації ?
7. В чому полягає ефект Фарадея і яке його пояснення ?

ЛІТЕРАТУРА

1. *Малинко В.Н., Сусь Б.А.* Курс фізики, т. 2, ч. 2. – Київ: КВВИУС, 1987. – §78-80.
2. *Савельєв И.В.* Курс общей физики, т. 2. – М.: Наука, 1978. – § 140, 141.