

Лабораторна робота № 3-5

ВИВЧЕННЯ ПОЛЯРИЗОВАНОГО СВІТЛА

Мета роботи: експериментально перевірити формули Френеля, досліджуючи відбиття поляризованого світла від скляної пластинки, визначити кут Брюстера, показник заломлення скла та площину коливань світлового вектора \vec{E} .

Короткі теоретичні відомості

1. Природне та поляризоване світло. Поляризатори

Як відомо [2, §10], світло являє собою поперечну електромагнітну хвилю. Світлові хвилі бувають природними та поляризованими, тобто такими, в яких (на відміну від природних) коливання вектора \vec{E} певним чином упорядковані. Способи впорядкування, а у відповідності до них і види поляризації проаналізовано у [2, §134]. Оптичні пристрої, за допомогою яких світло поляризується, називаються поляризаторами. Їх будову розглянуто у [2, §136 і 3, §77].

2. Відбивання лінійно-поляризованої хвилі від діелектричної пластинки

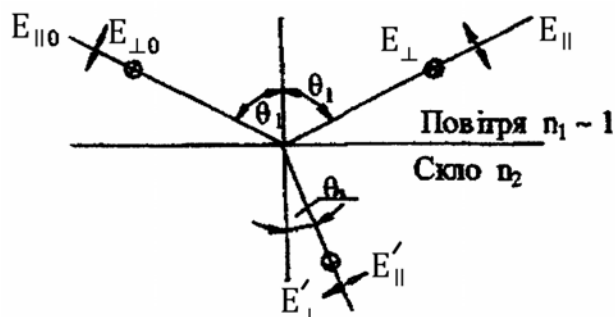


Рис.5.1. Тут n_1 і n_2 – абсолютні показники заломлення повітря й скла; θ_1 і θ_2 – кути падіння і заломлення хвилі.

Під час розгляду даного питання хвилю, що падає, представляють у вигляді суперпозиції двох хвиль $E_{\parallel 0}$ і $E_{\perp 0}$, електричні вектори яких коливаються відповідно у площині падіння хвилі та перпендикулярно до неї (рис.5.1). Залежить амплітуди відбитої й заломленої хвиль від кута падіння описується формулами Френеля. Так, наприклад, амплітуди відбитих хвиль E_{\parallel} і E_{\perp} , відповідно до цих формул

$$\begin{aligned} E_{\parallel} &= \frac{E_{\parallel 0} \operatorname{tg}(\theta_1 - \theta_2)}{\operatorname{tg}(\theta_1 + \theta_2)} \\ E_{\perp} &= \frac{E_{\perp 0} \sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \end{aligned} \quad (5.1)$$

по різному залежать від кута падіння θ_1 .

З формул Френеля (5.1) видно, що за умови $\theta_1 + \theta_2 = \frac{\pi}{2}$ амплітуда відбитої хвилі стає рівною нулю, а відбите світло містить лише компонент E_{\perp} , тобто є повністю поляризованим. Величина кута падіння, за якого це відбувається, знаходиться з умови

$$\operatorname{tg} \theta_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (5.2)$$

Останнє співвідношення носить назву закону Брюстера. Тракткування цього закону на підставі електронної теорії наведено в [4, §1,3,5].

Оскільки кути θ_1 і θ_2 , які фігурують у (5.1), пов'язані законом заломлення світла

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (5.3)$$

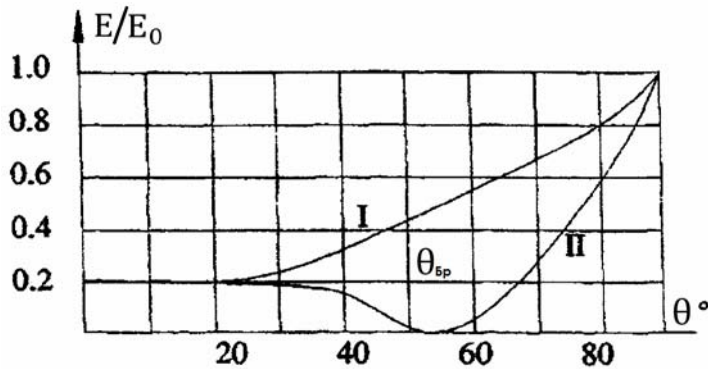
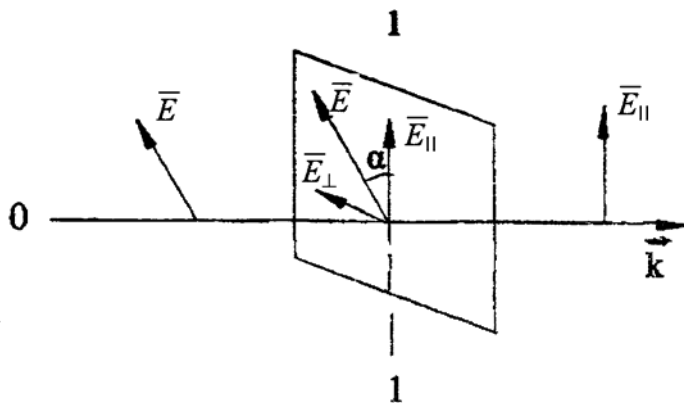


Рис. 5.2.

θ_2 можна виразити через θ_1 і, таким чином, амплітуди відбитих хвиль можна подати як функції кута падіння θ_1 . На рис 5.2 показані графіки залежностей $\frac{E_{\parallel}}{E_0}$ та $\frac{E_{\perp}}{E_0}$ від θ_1 розраховані для випадку, коли $n_1 = 1$ і $n_2 = 1,5$.

Як видно з рис.5.2, криві залежностей для перпендикулярної та паралельної поляризації вектора напруженості E суттєво різняться, що дозволяє за результатами експерименту визначити площину поляризації хвилі, яка падає на скло, величину кута Брюстера і показник заломлення скла.

3. Проходження лінійно поляризованої хвилі через поляризатор. Закон Малюса



Розглянемо випадок, коли лінійно поляризована світлова хвиля падає перпендикулярно на поляризатор таким чином, що площина коливань вектора \vec{E} цієї хвилі складає з площиною Π поляризатора кут α (рис.5.3). У цьому раз інтенсивність I хвилі, що прийшла крізь поляризатор, визначається виразом [2, §13]

$$I = I_0 \cos^2 \alpha \quad (5.4)$$

де I_0 – інтенсивність світла, що падає. Співвідношення (5.4) називається законом Малюса. Знаючи площину поляризатора Π та оцінюючи інтенсивність світла, що пройшло, можна за законом Малюса визначити площину коливань лінійно поляризованого світла, яке досліджується

Методика вимірювань

1. Вимірювання інтенсивності та амплітуди світлової хвилі

Під інтенсивністю I розуміють [2, §110] усередину величину модуля густини потоку енергії світлової хвилі

$$I = \langle |\vec{S}| \rangle = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \right) E_m^2 \quad (5.5)$$

де ε_0 і μ_0 відповідно електрична і магнітна сталі, E_m – амплітуда світлової хвилі.

Інтенсивність та амплітуда світлової хвилі у цій роботі вимірюється за допомогою приймача випромінювання, в якому використовується вентильний фотоефект.

Приймач складається з фотоелектричного датчика, що перетворює світловий потік у фото-ЕРС, і вольтметра для вимірювання останньої. Пропорційність між фото-ЕРС та інтенсивністю світлової хвилі (за малих інтенсивностей) забезпечується законами внутрішнього фотоефекту [5. §65, §6.4]. Таким чином, інтенсивність світлової хвилі виявляється пропорційно показанням вольтметра, а її амплітуда – кореню квадратному з показань приладу $E_m \sim \sqrt{U}$.

2. Визначення виду поляризації світлової хвилі.

Методику встановлення виду поляризації світлової хвилі викладено в [2, §138]. Для прикладу розглянемо методику ідентифікації лише лінійно поляризованої хвилі.

Лінійно поляризована хвиля легко пізнається, якщо пропускати її через поляризатор. Як відмічалось раніше, інтенсивність хвилі, що пройшла, у цьому випадку підпадає під закон Малюса: $I = I_0 \cos^2 \alpha$. Обертаючи аналізатор у площині, перпендикулярній до напрямку поширення хвилі, можна знайти два його характерні положення: у першому інтенсивність світла, що пройшло крізь аналізатор, максимальна, у другому положенні аналізатора, яке відрізняється на 90° від першого, – нульова. Для більшої переконливості закон (5.4) може бути перевіреном в повному обсязі.

Опис експериментальної установки

Основу експериментальної установки складає вимірювальна головка з оптичними елементами та лімбом 1 (рис.5.4). Вона може бути встановлена у двох положеннях:

- а) вертикально для зняття залежності амплітуди відбитої хвилі від кута падіння (завдання 1);
- б) горизонтально для перевірки закону Малюса і виду поляризації світлової хвилі (завдання 2).

У верхній частині головки встановлені плоско-паралельна пластинка 2, перший фотоприймач 3, екран 4. У нижній її частині – поляроїд 6 та другий фотоприймач 5. Фотоприймачі з'єднані з вольтметром 10.

Джерелом поляризованого світла є He-Ne лазер, що складається з джерела живлення 7, газорозрядної трубки 8 і дзеркал резонатора 9.

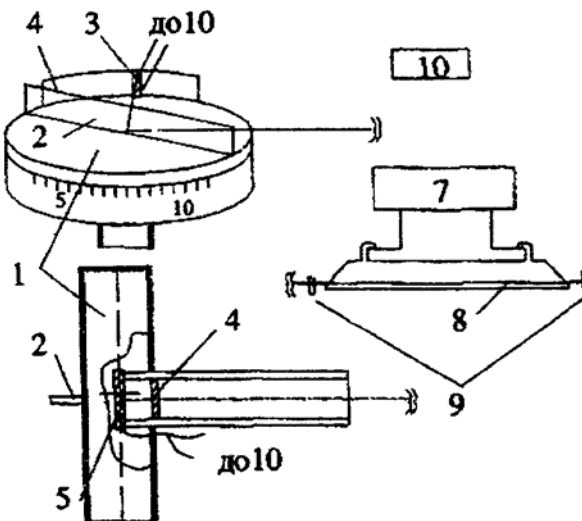


Рис.5.4.

Принцип дії та будова лазера коротко викладені у [3, §120, §122]. Довжина хвилі лазерного випромінювання $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$, розходження пучка $30''$, потужність 1 МВт .

На передньому торці лазера намальовані взаємно перпендикулярні лінії \parallel та \perp . Вздовж першої з них відбувається коливання світлового вектора \vec{E} . В установці передбачена можливість зміни напрямку коливань світлового вектора відносно діелектричної пластинки (скло) шляхом обертання лазера навколо своєї осі.

Увага! Попадання в очі прямого лазерного пучка небезпечно для зору! Світло лазера можна спостерігати лише після відбиття від поверхонь, що розсіюють.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Ототожити компоненти поляризованого випромінювання і зробити висновок відносно площини коливань вектора \vec{E} лазерного пучка (скористатись рис.5.2).

Відповідно до інструкції на робочому місці, зняти експериментальні залежності $\frac{E_{\parallel}}{E_0}$ та $\frac{E_{\perp}}{E_0}$

від кута падіння θ_1 . Результати вимірювань занести до табл. 5.1

Завдання 2. Відповідно до інструкції на робочому місці знати залежність інтенсивності лінійно поляризованого світла, що пройшло крізь поляризатор, від кутового положення поляризатора. Результати вимірювань занести до таблиці 5.2.

Обробка експериментальних даних

1. За показаннями реєструючого приладу знайти відносні амплітуди світлових хвиль.
2. За формулами Френеля (5.1), використовуючи закон заломлення світла, розрахувати теоретичну залежність амплітуди коливань хвиль від кута падіння. Результати розрахунків занести до відповідного розділу табл.5.1.

Контрольні питання

1. Як можна уявити світлову хвилю? Основні характеристики монохроматичної хвилі.
2. Яке світло називається природним, поляризованим? Чи може бути поляризованою повздовжня хвиля?
3. Які види поляризації світла ви знаєте? Що таке площина коливань?
4. Які ви знаєте поляризаційні пристрої? Що таке площина поляризатора?
5. Поясніть принцип роботи поляризатора на основі явищ дихроїзму.
6. Яке світло називають частково-поляризованим?
7. Ступінь поляризації світла. Який смисл мають I_{\max} та I_{\min} ?
8. Особливості проходження світла крізь поляризатор. Закон Малюса.
9. Що таке E_{\parallel} і E_{\perp}
10. Звідки випливають формули Френеля?
11. Формули Френеля для відбитих і заломлених хвиль.
12. Закон Брюстера. Його пояснення з точки зору електронної теорії.
13. Фазові співвідношення між хвилею, що падає, відбитою та заломленою хвилями.
14. Що таке звичайна та незвичайна хвиля? Покажіть площини їх коливань.
15. Сформулюйте принцип роботи оптичного квантового генератора.
16. Поясніть будову та принцип дії He-Ne лазера.

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. У 3 т. Оптика. Квантова механіка.-К.:Техніка, 2001.
2. Савельєв И.В. Курс общей физики. Т.2.-М.:Наука, 1982.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. – М.: 1985.
4. Борн М., Вольф Е. Основі оптики. – М.: Наука, 1972.
5. Савельєв И.В. Курс общей физики. Т.3.-М.: Наука, 1982.