

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЇ СВІТЛА

**Сусь Б.А.,**

*доктор пед. наук, професор,*

*Національний технічний університет України «КПІ»*

**Шут А.М.,**

*кандидат фіз.-мат. наук, доцент,*

*Київський національний університет технологій та дизайну*

Розроблена лабораторна робота по дослідженню поляризації світла при відбиванні від діелектрика, знаходженню кута Брюстера, показника заломлення і діелектричної сталої. Робота вирізняється наочністю представлення явища поляризації.

Разработана лабораторная работа по исследованию поляризации света при отражении от диелектрика, нахождению угла Брюстера, показателя преломления и диелектрической постоянной. Работа отличается наглядностью представления явления поляризации.

The laboratory work investigation is developed on the study of polarized light by reflection from dielectric, and finding Brewster angle, refractive index and dielectric constant. The lab investigation is very clearly presenting the phenomenon of polarization.

**Мета роботи:** Дослідити поляризацію світла, яке відбивається від діелектрика. Визначити показник заломлення і діелектричну проникність діелектрика.

**Теоретична частина.** З рівнянь Максвела випливає, що електромагнітні хвилі – це синфазні коливання взаємно перпендикулярних векторів  $\vec{E}$  і  $\vec{H}$ , які відбуваються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі [1].

На рис.1 представлено графічне зображення електромагнітної хвилі, що поширюється в напрямку осі  $X$  зі швидкістю  $v$  (для певного моменту часу).

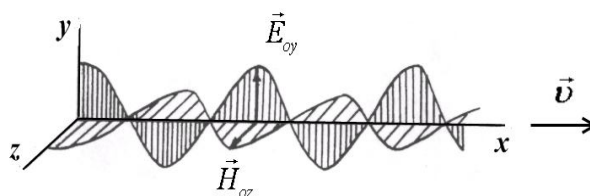


Рис. 1

Така електромагнітна хвиля плоско (лінійно) поляризована, оскільки коливання вектора  $\vec{E}$  відбуваються тільки в одній площині  $YOX$ . У природному світлі коливання вектора  $\vec{E}$  в електромагнітній хвилі не впорядковані і відбуваються в усіх напрямках перпендикулярно до осі  $OX$  (рис. 2 а).



Рис. 2

Коли ж за величиною вектор  $\vec{E}$  в якомусь напрямку більший, ніж в інших, то таке світло частково (рис. 2 б) або плоско (лінійно) поляризоване (рис. 2 в).

Згідно з теорією електромагнітних хвиль Максвелла швидкість хвиль в середовищі

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{n}, \quad (1)$$

де  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$  – швидкість електромагнітної хвилі у вакуумі,  $n = \sqrt{\epsilon \mu}$  – показник

заломлення середовища.

Таким чином, показник заломлення середовища виражається через електричні ( $\epsilon$ ) і магнітні ( $\mu$ ) характеристики речовини.

Нас цікавлять електромагнітні світлові хвилі, що поширюються у прозорих середовищах, для яких  $\mu \approx 1$ ,

тому показник заломлення

$$n = \sqrt{\epsilon}. \quad (2)$$

Під час проходження електромагнітної хвилі із одного середовища в інше відбувається її відбивання і заломлення. Виходячи з теорії електромагнітних хвиль Максвелла, можна отримати формули для інтенсивності відбитих і заломлених хвиль. Вперше такі формули були виведені Френелем у 1923 році. Формули Френеля встановлюють зв'язок між складовими амплітуд падаючої хвилі  $E_{\parallel}$  і  $E_{\perp}$ , відбитої  $E_{\parallel}^{відб}$  та заломленої  $E_{\perp}^{зал}$ :

$$E_{\perp}^{відб} = -E_{\perp} \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (3)$$

$$E_{\parallel}^{відб} = E_{\parallel} \frac{\text{tg}(\alpha - \beta)}{\text{tg}(\alpha + \beta)}, \quad (4)$$

$$E_{\perp}^{зал} = E_{\perp} \frac{2 \sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (5)$$

$$E_{\parallel}^{зал} = E_{\parallel} \frac{2 \sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta)}, \quad (6)$$

де  $\alpha$  – кут падіння,  $\beta$  – кут заломлення променя.

Розглянемо детальніше питання відбивання і заломлення електромагнітних хвиль на границі двох діелектриків на основі аналізу формул Френеля. Нехай промінь природного світла, падає під кутом  $\alpha$  на межу двох діелектриків (наприклад скло-повітря), які

характеризуються показниками заломлення  $n_1$  і  $n_2$  (чи відповідно діелектричними проникностями  $\varepsilon_1 = n_1^2$ ,  $\varepsilon_2 = n_2^2$ ) (рис. 2). У випадку природного світла вектор  $\vec{E}$  зручно розкласти на два взаємно перпендикулярні вектори – один в площині падіння  $\vec{E}_{\parallel}$  (на рисунку позначений стрілкою  $\square$ ), а другий – перпендикулярний до цієї площини  $\vec{E}_{\perp}$ .

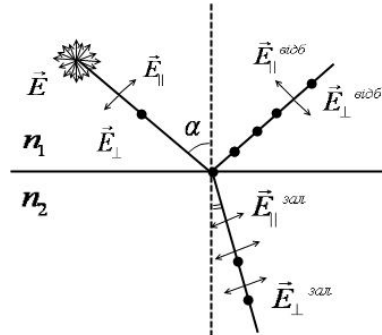


Рис. 3

Співвідношення між кутами  $\alpha$  і  $\beta$  визначається законом заломлення:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta. \quad (7)$$

У відбитій хвилі переважають коливання вектора напруженості, перпендикулярні до площини падіння ( $E_{\perp}^{відб}$ ). Тобто, відбите світло поляризоване. При цьому існує кут падіння  $\alpha = \alpha_B$  (так званий кут Брюстера), при якому світло повністю поляризоване (див. [1, с.170]). Крім того, для кута Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n_2 / n_1 = n_2. \quad (8)$$

Таким чином, при падінні природного світла на межу двох середовищ під кутом Брюстера  $\alpha_B$ , відбите світло теоретично повинно бути повністю поляризованим. Однак реальні відбиваючі поверхні не є ідеальними, тому поляризація не повна.

Для характеристики поляризації світла вводиться поняття ступеня поляризації:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (9)$$

де  $I_{\max}$  і  $I_{\min}$  – максимальне і мінімальне значення інтенсивності поляризованого світла, якщо на нього дивитися через аналізатор, який обертається в межах  $0^\circ - 360^\circ$ .

Природне світло неполяризоване,  $E_{\parallel} = E_{\perp}$ ,  $I_{\max} = I_{\min}$  і  $P = 0$ . Для світла плоскополяризованого  $I_{\min} = 0$ ,  $P = 1$ . Це значить, що відбитий під кутом Брюстера промінь (рис. 3) повністю поляризований.

**Експериментальне дослідження поляризації світла при відбиванні від діелектрика** (визначення кута Брюстера, показника заломлення і діелектричної проникності діелектрика)

Суть лабораторної роботи полягає в експериментальному дослідженні ступеня поляризації світла, відбитого від діелектрика при різних кутах падіння  $\alpha$ , і визначенні за

максимальним ступенем поляризації кута Брюстера  $\alpha_B$ . За формулами (8) і (2) знаходиться показник заломлення діелектрика  $n_2$  і  $\varepsilon$ :

$$n_2/n_1 = n_2 = \operatorname{tg}\alpha_B; \quad \varepsilon = n_2^2.$$

**Опис установки.** Для дослідження поляризації світла при відбиванні сконструйована і виготовлена лабораторна установка, схема якої зображена на рис. 4.

Досліджуваний діелектрик  $D$  закріплюється на плоскій підставці і може повертатися навколо вертикальної ( $O$ ) і горизонтальної ( $O-O'$ ) осей. Джерело світла  $S$  і приймач  $Pr$  можуть обертатися навколо спільного центра  $O$ , на місці якого закріплений діелектрик. Через трубку  $T_1$  на діелектрик направляється світло від джерела  $S$ . Кут падіння відраховується за шкалою, нанесеною на підставці між трубками  $T_1$  і  $T_2$ , через які проходить промінь світла. Відбитий промінь проходить через аналізатор  $A$  і потрапляє на приймач світла  $Pr$  (фотоопір). За величиною струму в колі фотоопору можна судити про величину інтенсивності світла.

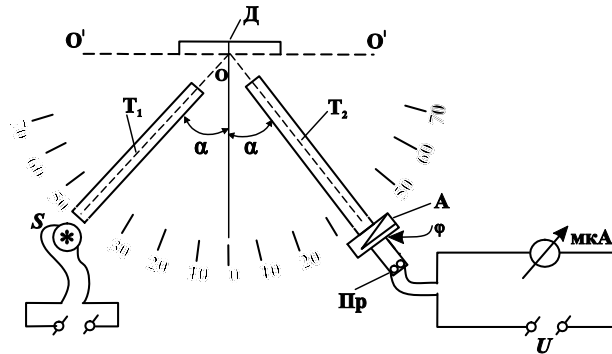


Рис. 5

Аналізатором  $A$  є поляроїдна плівка, закріплена в оправу зі шкалою для відліку кута повертання аналізатора.

**Порядок проведення дослідження.** Увімкнути джерело світла  $S$  і направити промінь за допомогою трубки  $T_1$  під кутом  $\alpha$  на досліджуваний діелектрик  $D$ . Трубку  $T_2$  з фотоприймачем встановити під таким самим кутом  $\alpha$  і, рухаючи діелектрик  $D$ , направити відбитий промінь у трубку  $T_2$ , добившись максимального значення фотоструму. Обертаючи аналізатор  $A$ , виміряти максимальне  $I_{\max}$  і мінімальне  $I_{\min}$  значення фотоструму для визначення ступеня поляризації. Аналогічно зробити виміри  $I_{\max}$  і  $I_{\min}$  для інших кутів падіння і відбивання.

2. Закрити від світла трубку  $T_2$  і виміряти темновий струм  $I_T$ . За формулою (9) визначити ступінь поляризації світла:

$$P = \frac{(I_{\max} - I_T) - (I_{\min} - I_T)}{(I_{\max} - I_T) + (I_{\min} - I_T)} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min} - 2I_T}. \quad (10)$$

3. Побудувати графік залежності ступеня поляризації світла від кута падіння  $P = f(\alpha)$ . За графіком визначити кута Брюстера  $\alpha_B$ , при якому поляризація максимальна.
4. За формулами (8), (2) розрахувати показник заломлення і діелектричну проникність досліджуваного діелектрика.
5. Дані вимірювання і розрахунків занести в таблицю робочого журналу.

### Контрольні питання

1. Яке світло називається поляризованим? Які є види поляризації світла?
2. Що таке ступінь поляризації?
3. Чому природне світло неполяризоване?
4. Які поляризаційні прилади ви знаєте?
5. Які фізичні явища лежать в основі роботи поляризаційних приладів?
6. Будова і принцип дії призми Ніколя.
7. Будова і принцип дії поляроїдів.
8. Як поляризуються відбиті від діелектрика хвилі?
9. Як поляризуються заломлені діелектриком хвилі?
10. Що встановлюють формули Френеля?
11. Що таке кут Брюстера?
12. Як визначити кут Брюстера?
13. Сформулювати і пояснити закон Малюса.
14. Як проявляється і використовується явище поляризації у техніці зв'язку?

### Список використаної літератури

1. Сусь Б.А. Коливання і хвилі: навчальний посібник для самостійної роботи студентів з електронним представленням / Сусь Б.А., Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А. –К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2008.– 170–178.
2. Савельев И.В. Курс физики, т. 2. / Савельев И.В. – М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. лит. 1982. – §§134.