

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗАЦІЇ СВІТЛА

Мета роботи:

1. Дослідити поляризацію світла при відбиванні від діелектрика. Визначити показник заломлення і діелектричну проникливість діелектрика.

Завдання

Дослідити поляризацію світла при відбиванні від діелектрика (визначення кута Брюстера, показника заломлення і діелектричної проникливості діелектрика).

Теоретична частина

З рівнянь Максвела випливає, ^{що} електромагнітні хвилі являють собою синфазні коливання взаємно перпендикулярних векторів E і B , які відбуваються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі.

На рис. 1 представлений графік електромагнітної хвилі, що поширюється в напрямку x зі швидкістю V (для певного моменту часу).

Розглянемо проходження електромагнітної хвилі в середовищі, яке характеризується діелектричною проникливістю ϵ і магнітною

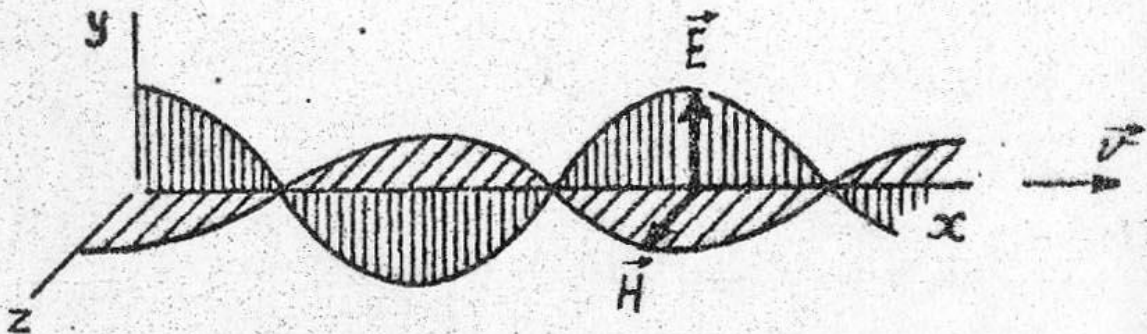


рис. 1

проникністю μ .

Згідно з теорією електромагнітних хвиль Максвела швидкість хвиль в середовищі

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

де $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ - швидкість електромагнітної хвилі у вакуумі (швидкість світла).

З (1) маємо

$$\sqrt{\epsilon \mu} = \frac{c}{V} = n, \quad (2)$$

де n - показник заломлення середовища відносно вакууму.

Таким чином, показник заломлення середовища виражається через електричні (ϵ) і магнітні (μ) характеристики речовин.

Нас цікавлять електромагнітні світлові хвилі, що поширюються у прозорих середовищах, для яких $\mu \approx 1$, тому для показника заломлення (2)

$$n = \sqrt{\epsilon}. \quad (3)$$

Під час проходження електромагнітної хвилі із одного середовища в інше відбувається її відбивання і заломлення. Виходячи з теорії електромагнітних хвиль Максвела і враховуючи, що на границі $E_{t1} = E_{t2}$; $H_{n1} = H_{n2}$, можна отримати формули для інтенсивності відбитих і заломлених хвиль. Вперше такі формули були введені Френелем у 1923 році.

Розглянемо детальніше питання відбивання і заломлення електромагнітних хвиль на границі двох діелектриків на основі аналізу формул Френеля.

Нехай плоска електромагнітна хвиля падає під деяким кутом на межу двох діелектриків (наприклад, скло-повітря), які характеризуються показниками заломлення n_1 і n_2 (чи відповідно діелектричними проникностями $\epsilon_1 = n_1^2$ і $\epsilon_2 = n_2^2$) (рис.2). У випадку природного

світла вектор \vec{E} зручно розкласти на взаємно перпендикулярні вектори - один в площині падіння ($\vec{E}_{||}$), другий - перпендикулярно до

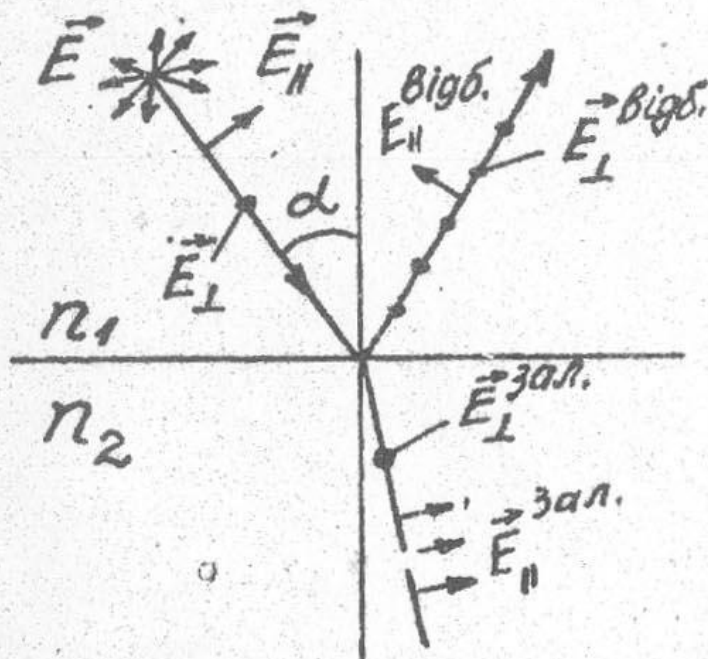


рис. 2

цієї площини (\vec{E}_{\perp}). На рис.2 ці вектори зображені для падаючого (\vec{E}), відбитого ($\vec{E}^{вигб.}$) і заломленого ($\vec{E}^{зал.}$) променів.

$$\vec{E} = \vec{E}_{||} + \vec{E}_{\perp},$$

$$\vec{E}^{вигб.} = \vec{E}_{||}^{вигб.} + \vec{E}_{\perp}^{вигб.},$$

$$\vec{E}^{зал.} = \vec{E}_{||}^{зал.} + \vec{E}_{\perp}^{зал.}.$$

Формули Френеля встановлюють зв'язок між амплітудами падаючої (\vec{E}), відбитої ($\vec{E}^{вигб.}$)

і заломленої ($\vec{E}^{зал.}$) хвиль:

$$E_{\perp}^{вигб.} = -E_{\perp} \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (4a)$$

$$E_{||}^{вигб.} = E_{||} \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}, \quad (4b)$$

$$E_{\perp}^{зал.} = E_{\perp} \frac{2 \sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad (4c)$$

$$E_{||}^{зал.} = E_{||} \frac{2 \sin \beta \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta)}. \quad (4d)$$

У відбитій хвилі переважають коливання вектора напруженості, перпендикулярні до площини падіння ($E_{\perp}^{вигб.}$). При цьому існує кут падіння $\alpha = \alpha_B$, для якого

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} = n \quad (5)$$

де n_1 і n_2 - показники заломлення середовищ відносно повітря (рис.2), n - показник заломлення другого середовища відносно першого.

Формула (5) має назву закону Брюстера, а кут α_B називається

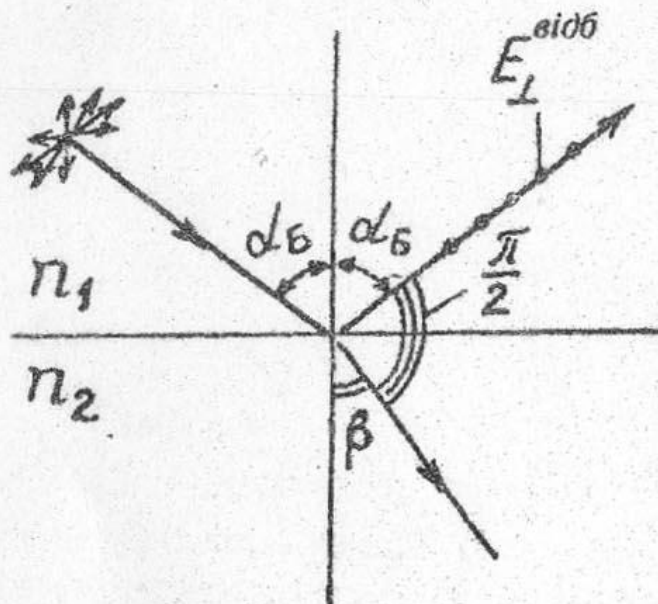


рис. 3

кутом Брюстера. При куті Брюстера відбитий і заломлений промені взаємно перпендикулярні, у чому не важко переконатись. Однак для нас цікава та обставина, що при куті Брюстера відбиті хвилі містять тільки перпендикулярні до площини падіння складові напруженості електричного поля (тобто E_{\perp}^{vidob}). А це означає, що при куті Брюстера відбита хвиля є лінійно поляризованою (рис.3). Щоб

переконатись в цьому, підставимо у формулу (46) Френеля значення $\alpha = \alpha_B$:

$$E_{\parallel}^{vidob} = E_{\parallel} \frac{\operatorname{tg}(\alpha_B - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha_B + \beta)} \quad (6)$$

Оскільки, згідно з рис.3,

$$\alpha_B + \frac{\pi}{2} + \beta = \pi,$$

то

$$\alpha_B + \beta = \frac{\pi}{2}.$$

Тому (6) запишемо:

$$E_{\parallel}^{vidob} = E_{\parallel} \frac{\operatorname{tg}(\alpha_B - \beta)}{\infty} = 0,$$

тобто, у відбитій хвилі при куті Брюстера складова E_{\parallel}^{vidob} , що знаходиться у площині падіння, відсутня. Отже, залишається тільки складова E_{\perp}^{vidob} .

Таким чином, при куті Брюстера відбите світло поляризоване максимально, точніше - повністю.

Ступінь поляризації, як відомо, визначається формулою:

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (7)$$

де I_{\max} і I_{\min} - максимальне і мінімальне значення інтенсивності світла, яке проходить через поляризатор (аналізатор), що обертається в межах 0° - 360° , знаходячись в площині, перпендикулярній напрямку падаючого променя.

З формули (7) випливає, що ступінь поляризації природного світла дорівнює нулю, оскільки: $I_{\max} = I_{\min}$,

$$P = \frac{1-1}{1+1} = 0.$$

Для світла лінійно поляризованого ступінь поляризації дорівнює одиниці:

$$P = \frac{I_{\max} - 0}{I_{\min} + 0} = 1,$$

тобто, лінійно поляризоване світло є поляризованим повністю (100%). При куті Брюстера ступінь поляризації відбитих хвиль теж повинен бути максимальним.

Дослідивши експериментально залежність ступеня поляризації відбитих електромагнітних хвиль від кута падіння, можна визначити кут Брюстера (за максимальним ступенем поляризації) і розрахувати показник заломлення і діелектричну проникність. Дійсно, згідно з (3) $n = \sqrt{\epsilon}$, тому закон Брюстера можемо записати:

$$\operatorname{tg} \alpha_s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1}}, \quad (8)$$

де ϵ_2 - діелектрична проникність досліджуваного діелектрика, ϵ_1 - діелектрична проникність повітря ($\epsilon_1 = 1$). З врахуванням цього

$$\operatorname{tg} \alpha_s = n_2 = \sqrt{\epsilon_2} = \sqrt{\epsilon}, \quad (9)$$

де ϵ - відносна діелектрична проникність досліджуваного діелектрика.

Опис установки.

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

На досліджуваній діелектриці D направляється світло від джерела S . Відбитий промінь проходить через аналізатор A і потрапляє на приймач світла Pr (фотоопір ФСК-1, ФСК-2). За величиною струму

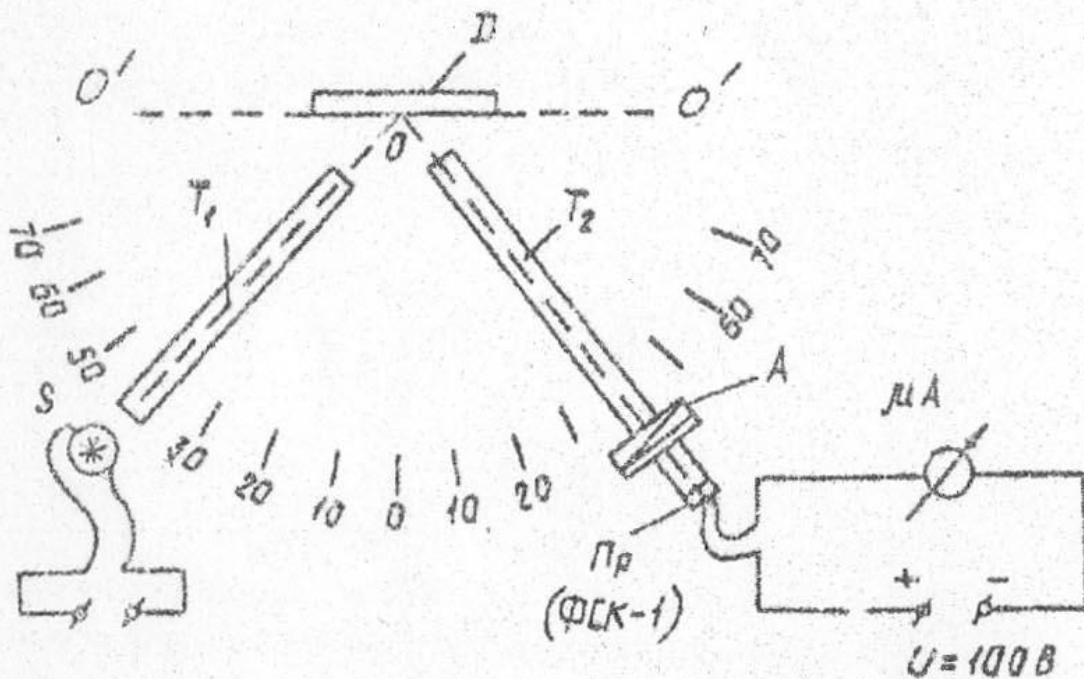


рис. 4

в колі фотоопору можна судити про величину інтенсивності світла. В якості аналізатора використовується поляроїдна плівка, закріплена в оправі зі шкалою для відліку кута.

Джерело світла S і приймач Pr можуть обертатись навколо спільного центра O , на місці якого закріплений діелектрик. Кут падіння відраховується за шкалою, що нанесена на установку між трубками T_1 і T_2 , через які проходить промінь світла. Діелектрик D закріплюється на підставці, що може повертатись навколо вертикальної (O) і горизонтальної ($O'-O'$) осей.

Порядок виконання завдання

1. Увімкнути джерело світла S і направити промінь за допомогою трубки T_1 під кутом α на досліджуваний діелектрик D . Трубку T_2 з фотоприймачем встановити під таким самим кутом α 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. Перекрити джерело світла S , виміряти темновий струм I_T , значення якого треба відняти від значень I_{\max} та I_{\min} . За формулою (9) визначити ступінь поляризації світла. Ця формула із врахуванням I_T матиме вигляд:

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

3. Побудувати графік залежності ступеня поляризації світла від кута падіння $P = f(\alpha)$. За графіком визначити значення кута Брюстера α_B , при якому поляризація максимальна.

4. За формулою (8) розрахувати показник заломлення, а за формулою (2) діелектричну проникність досліджуваного діелектрика (скла).

5. Дані вимірювання і розрахунків занести до таблиці 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?
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. Чи використовується явище поляризації у техніці зв'язку?

Література

1. Сусь Б.А., Заболотний В.Ф., Мисліцька Н.А. Коливання і хвилі: навчальний посібник для самостійної роботи студентів з електронним представленням.–К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2008.– 170–178.