

## ОТРИМАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯРИЗОВАНОГО СВІТЛА.

**Мета роботи:** ознайомлення з методами одержання та аналізу поляризованого світла.

**Теоретичний вступ**

Світло являє собою складне явище: в одних випадках воно поводить себе як електромагнітна хвиля, в інших - як потік особливих частинок (фотонів).

Відповідно до хвильового трактування, в біжучій електромагнітній хвилі

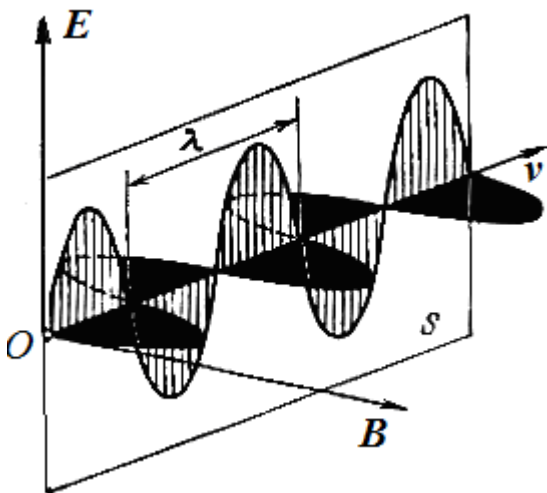


Рис. 1.

вектори напруженості електричного  $E$  і магнітної індукції магнітного  $B$  полів в кожній точці простору в даний момент часу взаємно перпендикулярні і перпендикулярні до напрямку поширення хвилі. Оскільки в біжучій хвилі зміна електричного і магнітного полів відбувається в однаковій фазі, то «миттєва картина» векторів електричного і магнітного полів у різних точках вздовж лінії поширення монохроматичної плоскої хвилі виглядає так, як показано на рис. 1.

Властивості світлових хвиль залежать від орієнтації векторів  $E$  та  $B$ , що характеризується поняттям поляризації. **Поляризацію**

світла пов'язують із напрямом коливань електричного вектора  $E$ . Якщо вектор  $E$  (а з ним і  $B$ ) у цій точці при проходженні хвилі здійснює коливання вздовж однієї прямої лінії в одній і тій же площині, хвилю називають **лінійно поляризованою** (або плоско поляризованою) (рис. 1).

Світло, що випускається окремим атомом (або молекулою, вузлом кристалічної решітки тощо), зазвичай поляризоване лінійно. Але джерела світла (розжарені тіла, гази, що світяться) складаються з величезної кількості таких частинок-випромінювачів. У сумарному випромінюванні коливання вектора  $E$  відбуваються в різних напрямках, перпендикулярних до променя (рис. 2), орієнтація векторів  $E$  при цьому змінюється хаотично.

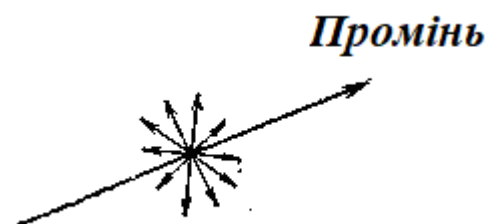


Рис. 2.

Світло, в якому представлені електромагнітні хвилі зі всілякими напрямками коливань вектора  $E$  (рис. 2) називають **неполяризованим, або природним**.

За допомогою спеціальних пристроїв (**поляризаторів**), природне світло може бути перетворене на лінійно поляризоване.

Дію поляризаторів можна пояснити механічною аналогією. Якщо на мотузці створити поперечну плоско поляризовану хвилю і пропустити мотузку через дві щілини  $P_1$  і  $P_2$ , пропиляні в дошках, то при паралельних щілинах (рис. 3 а) хвиля проходить, а при перпендикулярних щілинах (рис. 3 б) - гаситься, мотузка за другою дошкою буде нерухомою.

Поляризатори пропускають коливання, спрямовані паралельно до однієї (головної) площини, і повністю затримують коливання, перпендикулярні до цієї площини.

Площина, в якій лежить вектор напруженості електричного поля хвилі  $E$  називають площиною коливань або **площиною поляризації**.

Щоб дослідити, чи є світло після проходження поляризатора дійсно плоскополяризованим, на шляху променів ставлять *другий поляризатор*, який називається *аналізатором*, вказуючи цим, що він використовується не для отримання, а для аналізу поляризованого світла.

Пропустимо природне світло через два поляризатори  $\Pi_1$  та  $\Pi_2$ . Оскільки поляризатор  $\Pi_1$  пропускає світлові коливання лише одного напрямку (рис. 4), то після його проходження світлова хвиля стає плоско поляризованою. Якщо розмістити другий поляризатор

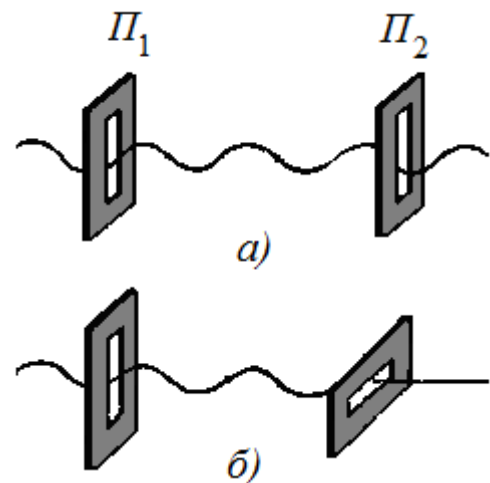


Рис. 3.

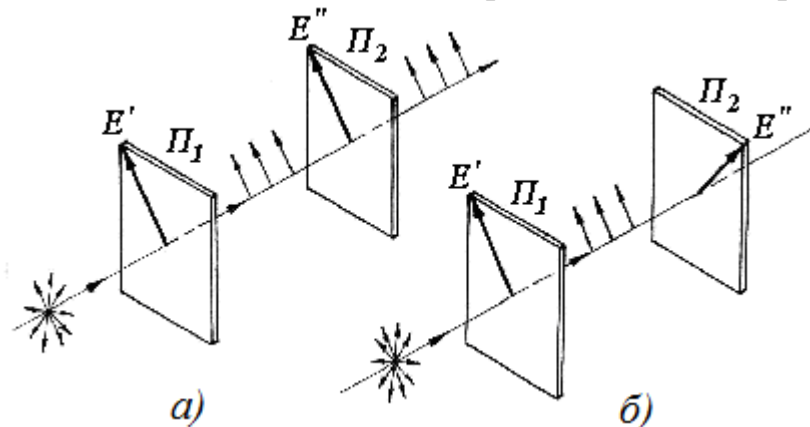


Рис. 4.

так, щоб напрями світлових коливань  $E'$  і  $E''$ , що пропускаються першим і другим поляризаторами, були паралельні один одному (рис. 4 а), то другий поляризатор пропускає світлову хвилю без змін.

Але якщо поляризатори розмістити так, щоб напрями коливань  $E'$  та  $E''$  були перпендикулярними один до одного, то другий поляризатор повністю погасить коливання, які пройшли через перший поляризатор (рис. 4, б). Такі поляризатори називають *схрещеними*.

Нехай тепер амплітуда  $A$  поляризованого світла утворює із площиною поляризатора кут  $\varphi$  (рис. 5). Таке коливання можна розкласти (рис. 6) на таке, що є паралельне площині поляризатора коливання з амплітудою

$$A_{\parallel} = A \cos \varphi,$$

та таке, що є перпендикулярне до площини коливання з амплітудою

$$A_{\perp} = A \sin \varphi.$$

Перше коливання пройде через поляризатор, друге буде затримано (поглинено).

Площина

поляризатора

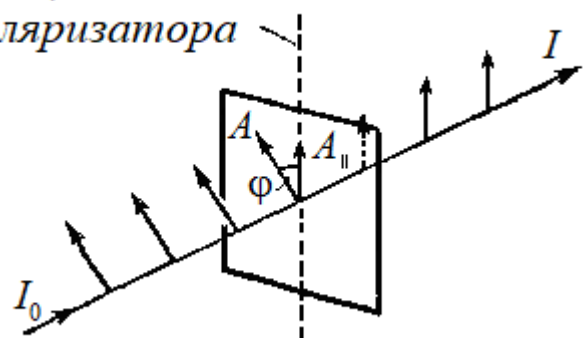


Рис. 5.

Оскільки інтенсивність хвилі, яка пройшла, пропорційна квадрату амплітуди, то при попаданні плоско поляризованого світла на поляризатор інтенсивність світла, яке проходить, пропорційна квадрату косинуса кута між площиною поляризатора і напрямом коливань в поляризованому світлі:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (1)$$

(закон *Малюса*).

Тут  $I_0$  та  $I$  – інтенсивності поляризованого світла, що падало і пройшло поляризатор, відповідно.

### Завдання 1. Вивчення розподілу інтенсивності світла, що пройшло через два поляризатори. Перевірка закону Малюса.

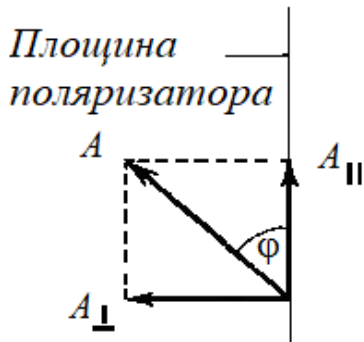
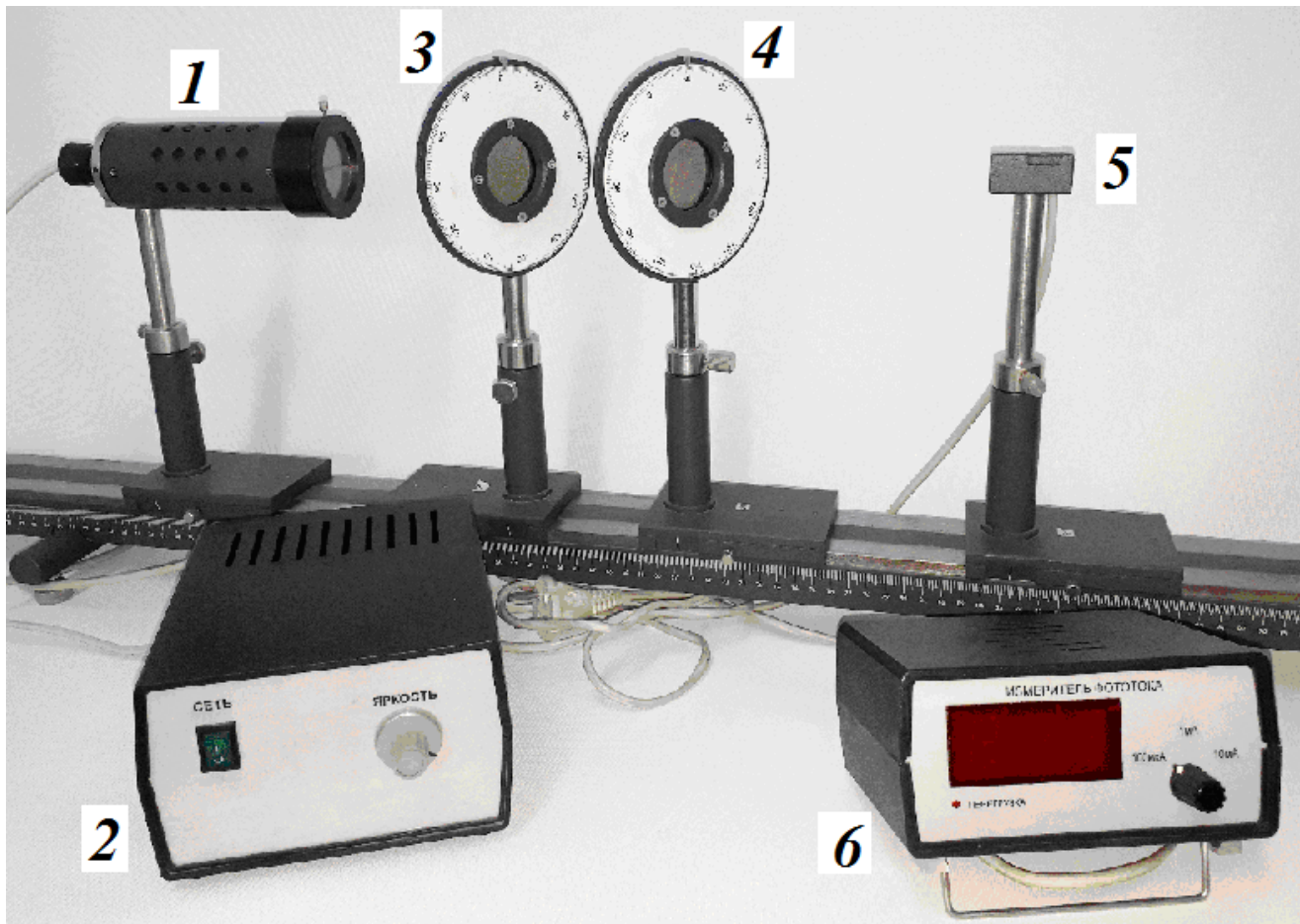


Рис. 6.

**Прилади:** оптична лавка, джерело світла 1 з джерелом живлення 2, два поляризатори 3, 4, фотореєстратор - фоторезистор 5 з цифровим амперметром 6, тримачі рейтерів з колонками, всередині яких закріплюються стійки приладів.



1. Розмістити на оптичній лавці в рейтерах освітлювач, два поляроїди (поляризатор і аналізатор) і фоторезистор. Підключити освітлювач до блока живлення, а фоторезистор до цифрового міліамперметра.

2. Лімба поляризатора встановити у положення "0". Повільно повертати лімба аналізатора до отримання мінімального сигналу. Записати значення струму  $I_{\min}$ . Повертаючи лімба аналізатора, отримати і записати максимальний сигнал  $I_{\max}$ .

3. Повертаючи лімба аналізатора, знімати через кожні  $10^\circ$  показання міліамперметра  $I_{\rightarrow}$  аж до  $180^\circ$ . Потім, обертаючи лімба у зворотному напрямку, зняти значення струму  $I_{\leftarrow}$  через ті самі  $10^\circ$ .

4. Обчислити  $\langle I \rangle = \frac{I_{\rightarrow} + I_{\leftarrow}}{2}$  для кожного значення кута  $\varphi$ . Знайти різницю

$I = \langle I \rangle - I_{\min}$  для всіх значень  $\varphi$ , Всі вимірювання та обчислення занести до таблиці 1.

5. За вимірними даними побудувати графік, відкладаючи по осі абсцис кут  $\varphi$  і по осі ординат відповідне значення  $I$ .

6. На тій самій координатній площині побудувати розрахункову криву

$$I_{\text{розрах}} = I_0 \cos^2 \varphi$$

За  $I_0$  прийняти  $I_0 = I_{\max} - I_{\min}$ , Порівняти обидві криві і зробити висновки.

Таблиця 1.

φ, град	10	20	30	40	50	60	70	80	90	...	...	180
$I_{\min}$												
$I_{\max}$												
$I_{\rightarrow}$												
$I_{\leftarrow}$												
$\langle I \rangle$												
$I = \langle I \rangle - I_{\min}$												
$I_0 = I_{\max} - I_{\min}$												
$\cos^2 \varphi$	0,97	0,89	0,76	0,60	0,43	0,27	0,13	0,04	0			
$I_{\text{розрах}} = I_0 \cos^2 \varphi$												

### Завдання 2, 3 (виконуються за наявності навчального часу за вказівкою викладача)

#### Теоретичний вступ

Якщо спрямувати частково поляризоване світло на поляризатор, то при обертанні поляризатора навколо напрямку променя інтенсивність світла буде змінюватися в межах від  $I_{\max}$  до  $I_{\min}$ , причому перехід від максимуму до мінімуму (або навпаки) буде здійснюватися при повороті на кут, рівний  $\pi/2$ . Ступенем поляризації світла називається вираз

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

Для природного світла  $I_{\max} = I_{\min}$  та  $P = 0$ ; для плоскополяризованого  $I_{\min} = 0$  та  $P = 1$ ; для частково поляризованого  $0 < P < 1$ .

При падінні природного світла на межу поділу двох діелектриків (наприклад, на поверхню скляної пластинки) відбитий і заломлений промені виявляються частково поляризованими. У відбитому промені переважають коливання, перпендикулярні до площини падіння (позначені точкою), а в заломленому промені – коливання, що лежать у площині падіння (позначені рискою) (рис. 7).

Можна підібрати такий кут падіння  $i = i_B$ , за якого відбите світло виявиться повністю поляризованим, а коливання вектора  $E$  у відбитій хвилі перпендикулярні до площини падіння.

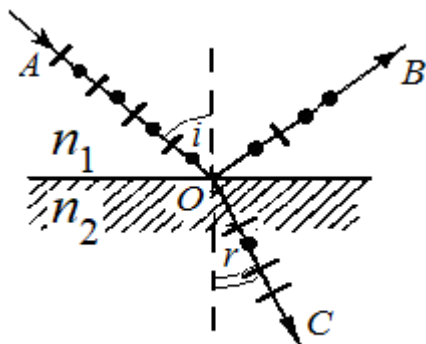


Рис. 7.

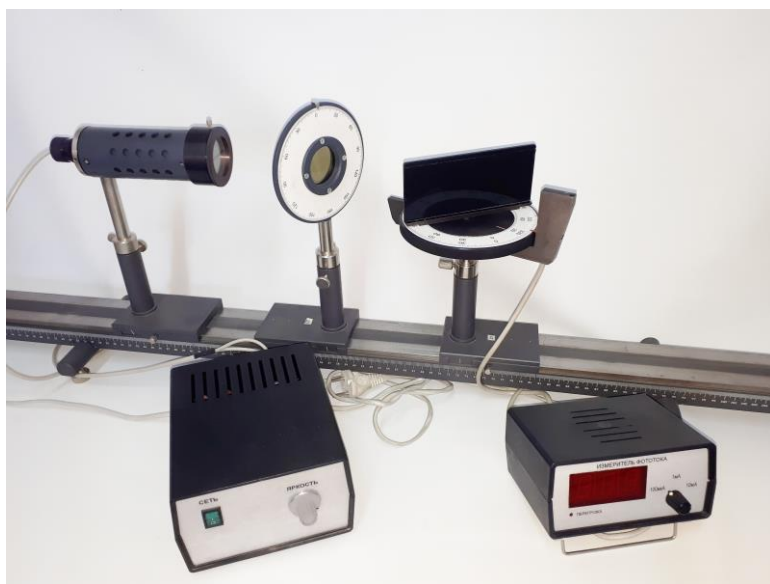
$$\operatorname{tg} i_B = n_2/n_1 \quad (3)$$

Вираз (3) виражає закон Брюстера. Кут  $i_B$  називають кутом Брюстера або кутом повної поляризації.

Оскільки відбите від діелектричної пластинки світло частково (або навіть повністю) поляризоване, то світло, що проходить, також поляризується. Коливання у світлі, яке пройшло, відбуватимуться у площині падіння.

Для збільшення ступеня поляризації світла, яке пройшло, використовують систему паралельних скляних пластин (так звану *стопу*). У цьому випадку можна отримати практично повністю поляризоване світло, яке пройшло, якщо число пластин досить велике.

## Завдання 2. Визначення ступеня поляризації світла при відбиванні від темного дзеркала з діелектричного матеріалу



кала світлової хвилі.

3. Змінюючи кут падіння  $i$ , через кожні  $10^\circ$  до  $90^\circ$ , вимірювати значення  $I_{\perp}$  та  $I_{\parallel}$ , як у п. 2. При цьому приймач випромінювання (фоторезистор) встановлювати кожен раз у напрямку відбитого променя ( $i = i'$ ). За формулою (2) розраху-

1. На оптичній лаві за освітлювачем встановити поляроїд-поляризатор та темне дзеркало. Дві світлі риси на підставі, відносно якої обертається дзеркало, зафіксувати вздовж оптичної осі гвинтом рейтера. Приєднати фоторезистор до міліамперметра.

2. Дзеркало встановити перпендикулярно до оптичної осі ( $i = 0$ ). При двох положеннях поляризатора  $\varphi = 0^\circ$  і  $\varphi = 90^\circ$  записати показання приладу. Вони відповідають інтенсивностям  $I_{\perp}$  та  $I_{\parallel}$  у відбитій від дзер-

вати ступінь поляризації  $P = f(\varphi)$ , вважаючи  $I_{\max} = I_{\perp}$ ,  $I_{\min} = I_{\parallel}$ . Побудувати графік.

4. Поставити поляризатор у положення  $\varphi = 90^\circ$ , а темне дзеркало перпендикулярно до оптичної осі. Обертаючи темне дзеркало навколо вертикальної осі, візуально спостерігати зміну інтенсивності відбитого світла. Зафіксувати кут падіння світла на дзеркало (кут Брюстера), при якому відбите світло ( $I_{\parallel}$ ) зникає. За формулою (3) обчислити показник заломлення матеріалу темного дзеркала.

5. Усі виміряні та обчислені значення величин занести до таблиці 2.

Таблиця 2.

$i^0$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$I_{\perp}$										
$I_{\parallel}$										
$P$										
$i_B$										
$n$										

### Завдання 3. Визначення ступеня поляризації світла, що пройшло через стопу.



1. На оптичній лаві за освітлювачем встановити поляроїд-поляризатор та стопу. Дві світлі риси на підставі, відносно якої стопа обертається, зафіксувати вздовж оптичної осі гвинтом рейтера. Приєднати фоторезистор до міліамперметра. Фоторезистор встановлюється вздовж оптичної осі, тобто. у напрямку падаючого на стопу світла.

2. Стопу встановити перпендикулярно до оптичної осі ( $i = 0$ ). При двох положеннях поляризатора  $\varphi = 0^\circ$  і  $\varphi = 90^\circ$  записати показання приладу. Вони відповідають інтенсивностям  $I_{\perp}$  та  $I_{\parallel}$  в заломленій світловій хвилі.

3. Змінюючи кут падіння  $i$ , через кожні  $10^\circ$  до  $90^\circ$ , вимірювати значення  $I_{\perp}$  та  $I_{\parallel}$ , як у п. 2.

За формулою (2) розрахувати ступінь поляризації заломленого стопою світла для всіх кутів падіння, вважаючи  $I_{\min} = I_{\perp}$ ,  $I_{\max} = I_{\parallel}$ . Побудувати графік залежності  $P = f(\varphi)$ .

4. Виміряні значення величин занести до таблиці 3.

Таблиця 3.

$i^0$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$I_{\perp}$										
$I_{\parallel}$										
$P$										

### **Контрольні питання**

1. Що таке електромагнітна хвиля?
2. Яке світло називається поляризованим? Навіщо служить поляризатор? Аналізатор? Сформулюйте закон Малюса.
3. Як змінюється стан поляризації світла під час взаємодії з речовиною? Сформулюйте закон Брюстера.
4. Як визначити ступінь поляризації світла?
5. На скляну пластину ( $n = 1,6$ ) падає природний промінь світла. Визначити кут між падаючим та відбитим променями, якщо відбитий промінь максимально поляризований.

### **Література**

1. Кучерук І. М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики. У 3 т. Т.3: Оптика. Квантова фізика. Навчальний посібник для студентів вищих технічних та педагогічних закладів освіти – К.; "Техніка", 2006, -520 с
2. Курс фізики (під редакцією Лопатинського І.Є).. – Львів. – "Бескід Біт". – 2002.
3. Гаркуша І.П., Курінний В.П. Фізика. Навчальний посібник у 7 частинах. Ч. 5. - Хвильова оптика. - Д. НТУ «Дніпровська політехніка», 2020. - 58 с. -

Склав І.П.Гаркуша