

Тема 17: Подвійне променезаломлення

Питання лекції:

1. Явище подвійного променезаломлення.
2. Визначення напрямків звичайного і незвичайного променів.
3. Поляризаційні прилади.

1. Явище подвійного променезаломлення

Явище подвійного променезаломлення полягає в тому, що анізотропні кристали здатні роздвоювати промінь на два промені, які поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах. Це відбувається навіть тоді, коли промінь падає на кристал нормально.

На рис. 17.1 зображено хід променя в кристалі ісландського шпату.

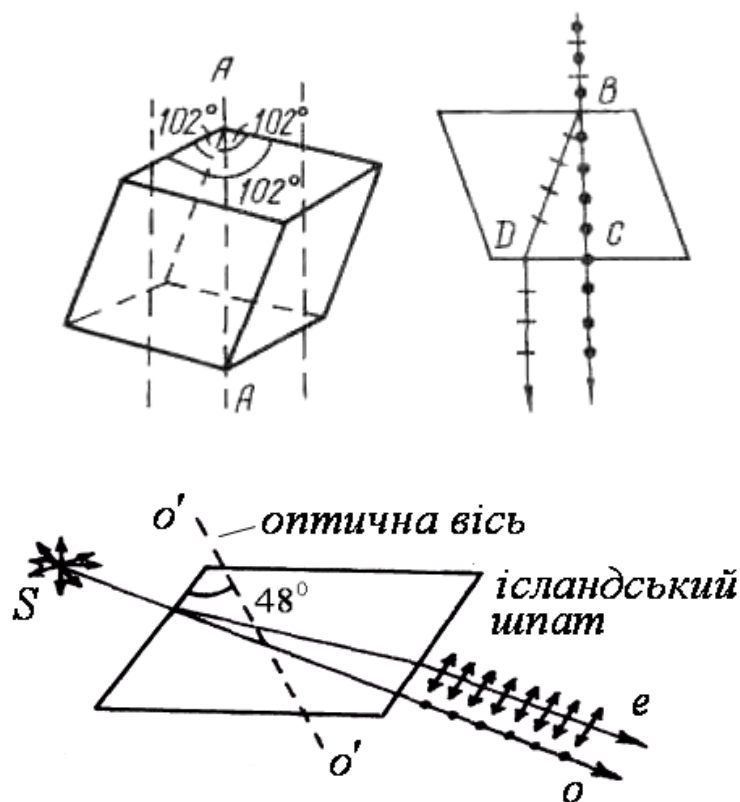


Рис.17.1

Один промінь підлягає звичайним законам заломлення і його називають звичайним (o). У звичайному промені коливання вектора \vec{E} відбуваються у напрямку, перпендикулярному до головної площини кристала, яка проходить через промінь і оптичну вісь.



Для звичайного променя показник заломлення у всіх напрямках однаковий (n_o), тоді як незвичайний промінь (e) не підлягає законам заломлення (при нормальному падінні він відхиляється в бік). Для незвичайного променя показник заломлення n_e залежить від напрямку. У напрямку оптичної осі $n_o = n_e$. Це означає також, що швидкості поширення звичайного (v_o) і незвичайного (v_e) променів різні.

Для пояснення подвійного променезаломлення розглянемо поширення хвилі в середині кристалу.



Рис. 17.2

Припустимо, що в анізотропному кристалі знаходиться точкове джерело S (рис. 17.2). Тоді фронт хвилі (хвильова поверхня) для звичайного променя буде сферичним, оскільки хвилі поширюються однаково у всіх напрямках. А для незвичайного променя фронт хвилі буде мати вигляд еліпсоїда, тому що швидкість хвилі в різних напрямках різна.

Відзначимо, що можливий випадок, коли $v_o > v_e$ ($n_o < n_e$). Тоді кристали називаються додатними (кварц, лід). Фронти хвиль для променів в цих кристалах мають вигляд, представлений на рис 3. Якщо ж $v_o < v_e$ ($n_o > n_e$), то кристали від'ємні (ісландський шпат). Для них фронти хвиль мають вигляд стиснутого еліпсоїда (рис. 17.4).

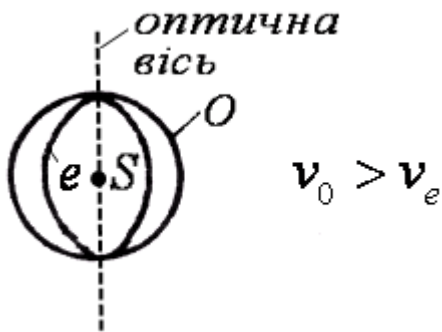


Рис. 17.3

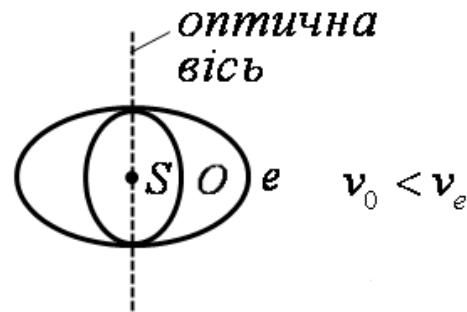


Рис. 17.4

2. Визначення напрямків звичайного

і незвичайного променів

Хід звичайного і незвичайного променів у кристалі можна визначити за допомогою принципу Гюйгенса. Нехай на поверхню кристала падає плоска хвиля з фронтом AB (рис. 17.5). Доки промінь 2 дійде до точки B' , промінь 1 пошириться у кристалі на деяку відстань.

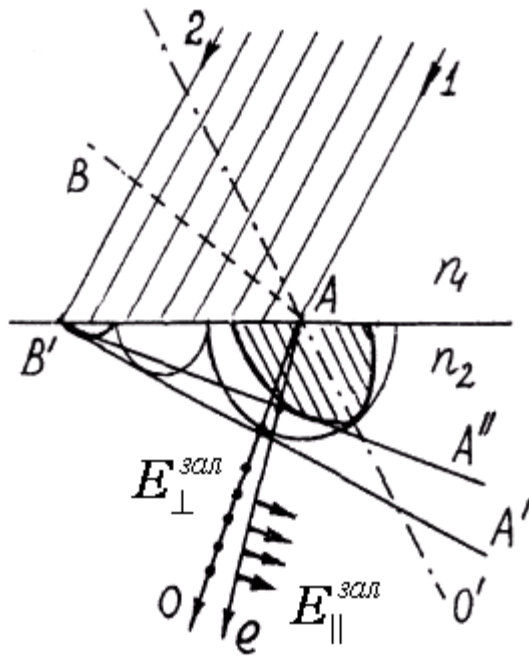


Рис. 17.5

На рисунку:

$O'O'$ – оптична вісь кристала,
 $B'A''$ – фронт хвилі для незвичайного променя в кристалі, $B'A'$ – фронт хвилі для звичайного променя в кристалі.



Однак промінь 1 роздвоюється на два промені – звичайний і незвичайний. Фронт хвилі звичайного променя буде сферичним, а фронт всієї плоскої хвилі у кристалі ($B'A'$) визначиться як дотична до елементарних сферичних хвиль.

Для незвичайного променя фронт хвилі визначатиметься еліпсом, орієнтованим за оптичною віссю. Відповідною дотичною ($B'A''$) визначиться і фронт плоскої хвилі у кристалі. Поширення хвиль відбувається перпендикулярно до їх хвильових поверхонь.

Таким чином, промінь 1 із точки A поширюється в напрямі $A-o$ (звичайний промінь) і в напрямі $A-e$ (незвичайний промінь).

При нормальному падінні світла на поверхню кристала,

наприклад, коли вісь паралельна до поверхні, звичайний і незвичайний промені поширюються в одному і тому ж напрямі з різною швидкістю, внаслідок чого між ними виникає різниця фаз (рис. 17. 6).

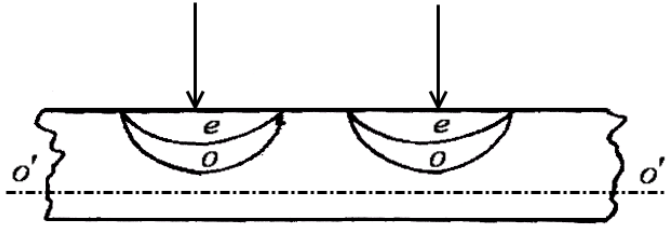


Рис. 17.6

В такому випадку просторового розділення променів немає, але виникає еліптична поляризація, оскільки складаються хвилі із взаємно перпендикулярними коливаннями.

3. Поляризаційні прилади

Для перетворення природного світла в плоско поляризоване використовуються поляризаційні прилади.

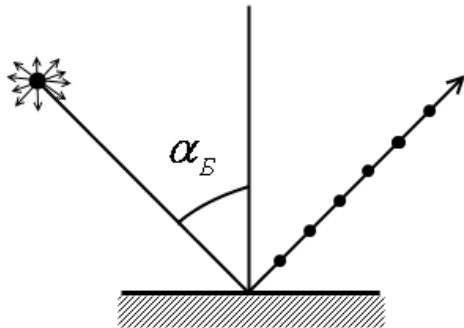


Рис. 17.7

Одним з таких приладів є **діелектричне дзеркало**, яке відбиває світло під кутом Брюстера (рис. 17.7). Промінь, відбитий під кутом Брюстера, повністю поляризований. Коливання вектора \vec{E} відбуваються в площині, перпендикулярній до площини падіння. Для скла з $n = 1,5$ кут Брюстера $\alpha_B = 56^\circ$.

Заломлений промінь, як ми знаємо, теж виявляється частково поляризованим. Якщо змусити промінь багато разів заломлюватися, то ступінь поляризації зростає.

Набір пластинок зі скла, орієнтованих під кутом Брюстера, називається стопою Столетова (рис. 17.8).

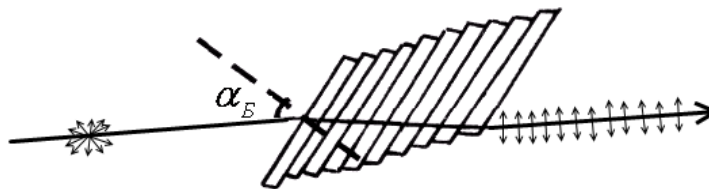


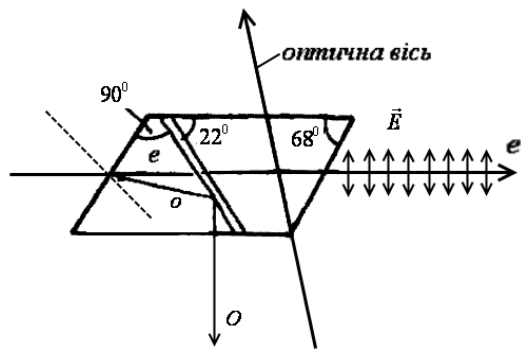
Рис. 17.8

В результаті багаторазових заломлень промінь, який виходить із стопи Столетова, практично повністю поляризований у площині коливань, яка співпадає з площиною падіння. Однак такий промінь буде сильно послабленим.

Частіше для поляризації променів використовується явище подвійного променезаломлення.



Призма Ніколя сконструйована в 1928 році шотландським фізиком з ісландського шпату. Вона складається з двох частин, склеєних канадським бальзамом, показник заломлення якого n_6 знаходиться між показниками заломлення звичайного n_o і незвичайного n_e променів (рис. 17.9).



$$\begin{aligned} n_o &= 1,658 \approx 1,66, \\ n_6 &= 1,55 \approx 1,55, \\ n_e &= 1,486 \approx 1,49. \end{aligned}$$

$$n_o \approx 1,66,$$

$$n_6 \approx 1,55,$$

$$n_e \approx 1,49$$

Рис. 17.9

В цих умовах звичайний промінь має повне внутрішнє відбивання і виводиться за межі кристала. Він поляризований у площині, яка перпендикулярна до оптичної осі. Незвичайний промінь (e) проходить через призму. Коливання вектора \vec{E} в ньому відбуваються у площині, яка паралельна до оптичної осі.

Поляризаційні призми бувають і інших типів (рис. 17.10), коли кристали ісландського шпату склеюються певним чином.

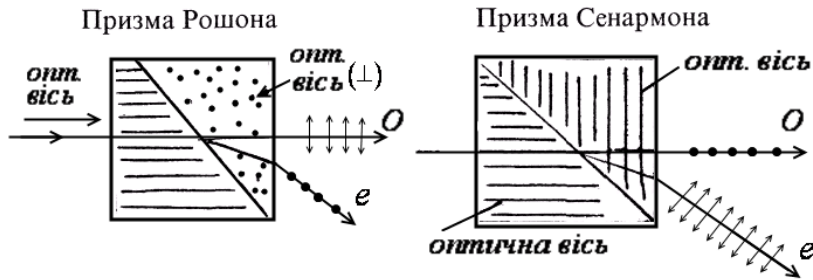


Рис. 17.10

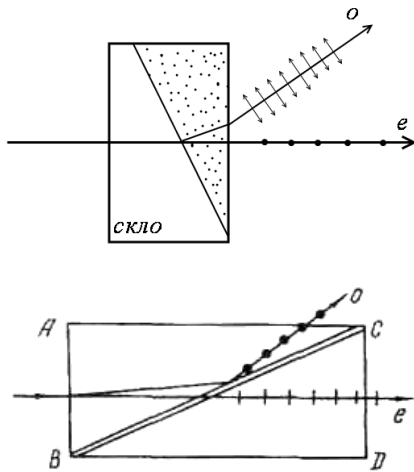
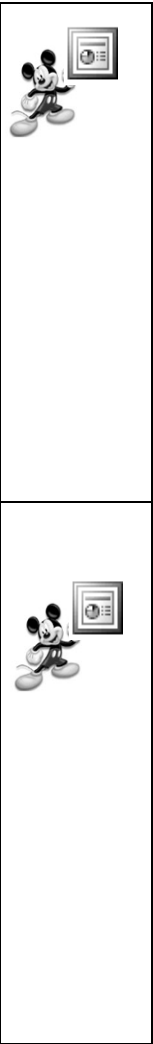


Рис. 17.11

Призма з ісландського шпату і скла. Показник заломлення скла приблизно дорівнює показнику заломлення незвичайного променя: $n_e \approx n_{ск}$. Тому незвичайний промінь проходить через призму і не відхиляється, тоді як звичайний промінь двічі заломлюється і сильно відхиляється (рис. 17.11).



Турмалін – це теж монокристал з подвійним променезаломленням, однак він відрізняється тим, що звичайний промінь у ньому сильно поглинається і через пластинку проходить тільки незвичайний промінь, який плоско поляризований. Прилади з турмаліну зручніші в роботі, бо при цьому непотрібно користуватися вузькими пучками світла. Однак вони мають ту особливість, що неоднаково поглинають промені різних довжин хвиль, і світло, яке проходить, стає жовто-зеленим.

Полярійди. Полярійди являють собою плівку з тонкими кристаликами герпатиту (сірчано-кислий йодхінін) (добутий в 1852 р.), які відрізняються сильним селективним поглинанням. Плівка товщиною 0,1 мм практично поглинає один із променів, а промінь, який проходить – поляризує. Такі полярійди легко виготовляються, мають велику апертуру ($\sim 180^\circ$). Однак вони недостатньо прозорі. Їх можна використовувати для захисту очей від сліпучого світла.

Питання для контролю

1. В чому полягає явище подвійного променезаломлення ?
2. Який промінь називають звичайним, незвичайним ?
3. Які показники заломлення звичайного і незвичайного променів у напрямку оптичної осі анізотропного кристала ?
4. На основі якого принципу і як можна визначити хід звичайного і незвичайного променів у кристалі ?
5. Які поляризаційні прилади ви знаєте ?

ЛІТЕРАТУРА

1. *Малинко В.Н., Сусь Б.А.* Курс фізики, т. 2, ч. 2. – Киев: КВВИУС, 1987. – § 72, 75-77.
2. *Савельев И.В.* Курс общей физики, т. 2. – М.: Наука, 1978. – § 134, 136.