План уроку 107

Тема: Коливальні хвилі

Тема уроку: Поширення світла в різних середовищах. Ефект Допплера.

Мета уроку:

Досі ми розглядали поширення світла в якомусь одному середовищі (зазвичай — у повітрі). Проте світло може переходити з одного середовища в інше: сонячне світло зараз доходить до нас через віконне скло, освітлює дно неглибоких водоймищ. Виявляється, що такі переходи світла спричиняють багато цікавих явищ.

Що ж відбувається, коли світловий промінь падає під певним кутом на межу поділу двох прозорих середовищ? Такий промінь «ділиться» на два: перший (відбитий) промінь повертається до першого середовища, а другий переходить через межу та потрапляє до іншого середовища. При цьому цей промінь змінює напрямок поширення. Тому його називають заломленим, а явище — заломленням.

Спочатку з'ясуємо, що таке різні середовища для світла. Сьогодні відомо, що головна відмінність між двома оптичними середовищами — це різні швидкості поширення світла. Найбільшу швидкість світло має у вакуумі (тобто у просторі, де практично немає частинок речовини). Ця швидкість дорівнює приблизно 300 000 км/с. Розігнатися до такої швидкості не може жодне фізичне тіло! А в прозорій речовині швидкість світла завжди менша, ніж у вакуумі.

Швидкість поширення світла різна в різних середовищах. Унаслідок цього промінь змінює свій напрямок коли переходить із одного середовища в інше. Наприклад, у воді швидкість поширення світла в 1,33 рази менша, ніж у вакуумі, а у склі — ≈ у 1,6 рази. Часто вживають термін «оптична густина середовища». Що менша швидкість поширення світла в даному середовищі, то більша його оптична густина.

Повітря має більшу оптичну густину, ніж вакуум, оскільки в повітрі швидкість поширення світла дещо менша, ніж у вакуумі. Оптична густина води менша, ніж оптична густина алмазу, оскільки швидкість світла у воді більша, ніж в алмазі.

Що більше відрізняються оптичні густини двох середовищ, то більше заломлюється світло на межі їхнього поділу. Інакше кажучи, що більше змінюється швидкість поширення світла на межі поділу двох середовищ, то сильніше воно заломлюється.

Якщо джерело світла і спостерігач рухаються одне відносно одного, частота світла, що сприймає спостерігач, не збігається із частотою джерела світла. Це явище має назву **ефект Допплера**.

Світлові хвилі поширюються в однорідному середовищі зі сталою швидкістю, яка залежить тільки від властивостей середовища. Проте довжина хвилі і частота світла можуть істотно змінюватися під час руху джерела світла і спостерігача.

Нехай частота коливань світла ν_0, його швидкість поширення v, отже

$$\lambda = \frac{v}{\nu_0}.$$

Якщо приймач рухається зі швидкістю v' до джерела світла, тоді швидкість поширення світла відносно приймача u = v + v', а оскільки довжина світлової хвилі є сталою, то за одиницю часу до рухомого приймача прийде більша кількість хвиль, ніж до нерухомого, тому:

$$\nu' = \frac{v + v'}{\lambda} = \nu_0 \frac{v + v'}{v} = \nu_0 \left(1 + \frac{v'}{v}\right).$$

Звідки видно, що частота сприйнятих коливань буде більшою, ніж випромінювана джерелом.

Якщо приймач рухається зі швидкістю v' від джерела світла, то, аналогічно міркуючи, одержимо

$$\nu' = \nu_0 \left(1 - \frac{v'}{v}\right),$$

тобто в цьому випадку приймач реєструє меншу частоту, ніж випромінює джерело.

Розглянемо випадок, коли джерело світла рухається відносно середовища зі швидкістю u, а приймач — нерухомий.

Якщо джерело світла наближається до приймача, то за період коливань хвиля поширюється на відстань vT, а джерело світла за цей час переміститься на відстань uT. При цьому довжина хвилі λ' = vT - uT = (v - u)T, тому приймач реєструє частоту:

$$\nu' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{(v - u)T} = \nu_0 \frac{1}{1 - \frac{u}{v}},$$

більшу за частоту випромінювання

Коли джерело світла віддаляється від приймача, то частота зменшується: $\nu' = \nu_0 \frac{1}{1 + \frac{u}{v}}$. Під час одночасного руху джерела та приймача можна використовувати зведену формулу: $\nu' = \nu_0 \frac{1 \pm \frac{v}{v'}}{1 \mp \frac{u}{v}} = \nu_0 \frac{v \pm v'}{v \mp u}$.

Якщо приймач чи джерело світла рухаються не вздовж прямої, що сполучає їх, то ефект Доплера визначається проекціями швидкостей руху на напрямок цієї прямої.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

• *Ефект Доплера використовують в радіолокації для розпізнавання рухомих об'єктів (літаків, на фоні нерухомих (гір, хмар)). За червоним зміщенням світла від астрономічних об'єктів, вимірюється їхня швидкість і розраховується відстань до них. Поліція використовує ефект Доплера для визначення швидкості автомобілів шляхом випромінювання довжини хвилі відбитого від них радіосигналу.*

• *Ефект Доплера широко використовують в медицині. На базі ефекту створено комп'ютерні комплекси ультразвукової доплерографії. Зміна характеристик ультразвуку при проходженні через судини дає змогу визначати стан кровообігу в поверхневих і внутрішніх судинах.*

ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

- 1. Як поширюється світло в різних середовищах?
- 2. У чому полягає ефект Доплера?