Фізика 11
Урок 64 Дифракція світла
Мета уроку:
Навчальна. Ознайомити учнів з явищем дифракції світла й умовами її спостереження.
Розвивальна. Розвивати пізнавальні навички учнів; вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задач; вміння стисло і грамотно висловлювати свої міркування та обґрунтовувати їхню правильність.
Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.
Тип уроку: урок вивчення нового матеріалу.
Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

1. Провести бесіду за матеріалом § 30

Бесіда за питаннями

1. Дайте означення інтерференції.
2. Які хвилі називають когерентними?
3. Назвіть умову інтерференційного максимуму й умову інтерференційного мінімуму.
4. Чому в оптичному діапазоні важко створити джерела когерентних хвиль?
5. Опішить дослід Т. Юнга з отримання когерентних світлових хвиль. У чому суть його методу?
6. Чому тонкі плівки мають райдужне забарвлення?
7. У чому полягає метод просвітлення оптики за допомогою інтерференції?
8. Як за допомогою інтерференції перевірити якість шліфування поверхонь виробів?
9. Назвіть приклади виникнення інтерференційних картин у природі.

2. Перевірити виконання вправи № 30: завдання 2, 3.

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Що таке дифракція? За яких умов спостерігається дифракція?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Дифракція

Дифракція – це явище обгинання хвилями перешкод.

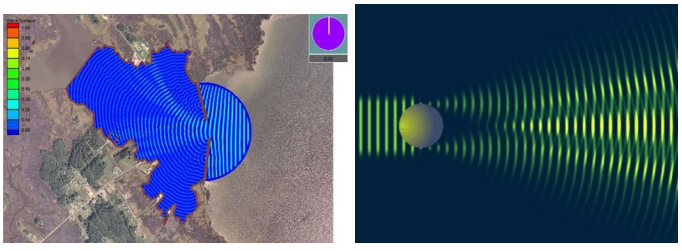
Дифракція спостерігається у двох випадках:

1) коли лінійні розміри перешкод, на які падає хвиля (або розміри отворів, через які хвиля поширюється), порівнянні з довжиною хвилі;
2) коли відстань від перешкоди до місця спостереження набагато більша за розмір перешкоди.

Хвилі, що обгинають перешкоду, когерентні, тому дифракція завжди супроводжується інтерференцією.

Дифракційна картина – це інтерференційна картина, отримана внаслідок дифракції.

Дифракція механічних хвиль



На отворі *На перешкоді*

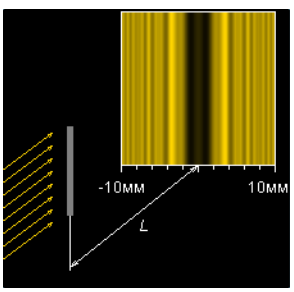
Проблемні питання

• Чи може світло обгинати перешкоди?

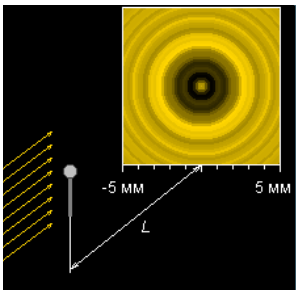
Світло є хвилею, в разі виконання зазначених вище умов можна спостерігати і дифракцію світла. Але світло – це дуже коротка хвиля (400-760 нм), тому дифракцію на предметі розміром, наприклад, 10 см можна помітити лише на відстанях у декілька кілометрів. Якщо ж розміри перешкоди менші за 1 мм, дифракцію можна спостерігати й на відстанях у кілька метрів.

Дифракція світла – це обгинання світловими хвилями межі непрозорих тіл і проникнення світла в ділянку геометричної тіні.

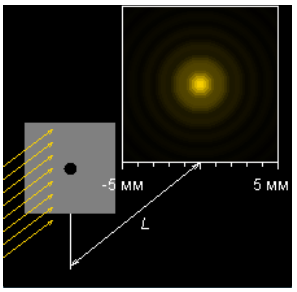
Дифракція світлових хвиль на різних перешкодах, що освітлюються монохроматичним світлом



На тонкому дроті



На невеликому непрозорому круглому екрані



На невеликому круглому отворі

Тінь від тонкого дроту з обох боків оточена світлими і темними смугами, а в центрі тіні розташована світла смуга.

Тінь від невеликого непрозорого круглого екрана оточена світлими і темними концентричними кільцями; у центрі тіні – світла кругла пляма (пляма Пуассона).

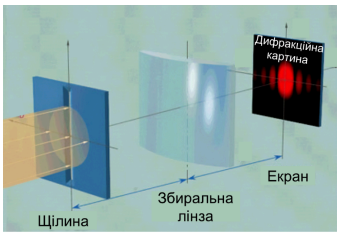
Так само оточена світлими і темними кільцями кругла пляма світла, якщо світло надходить від потужного точкового джерела і проходить крізь *невеликий круглий отвір*; зменшуючи діаметр отвору, можна отримати в центрі картини й темну пляму.

2. Принцип Гюйґенса – Френеля

Кількісну теорію дифракції світла побудував французький фізик Оґюстен Жан Френель (1788-1827), сформулювавши принцип, який із часом отримав назву принцип Гюйґенса – Френеля.

Принцип Гюйґенса – Френеля:

Кожна точка хвильової поверхні є джерелом вторинної хвилі, ці вторинні хвилі є когерентними; хвильова поверхня в будь-який момент часу є результатом інтерференції вторинних хвиль.



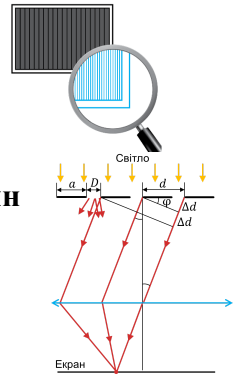
Дифракція паралельного пучка світла на вузькій щілині:

Якщо на вузьку щілину падає плоска світлова хвиля, то на екрані, який розташований на досить великій відстані від щілини, можна спостерігати дифракційну картину.

Згідно з принципом Гюйґенса-Френеля, освітлену щілину можна розглядати як велику кількість вторинних джерел світла, від кожного з яких в усіх напрямках поширюються когерентні хвилі. Різниця ходу вторинних хвиль, що падають перпендикулярно до екрана (хвилі позначені червоним), дорівнює нулю (лінза не дає додаткової різниці ходу). Тому всі вторинні хвилі, що потрапляють у точку O, посилюють одна одну. Для інших точок екрана різниця ходу падаючих хвиль уже не дорівнюватиме нулю, тому в цих точках можуть спостерігатися інтерференційні максимуми або мінімуми, створюючи дифракційну картину.

3. Дифракційна ґратка

Дифракційна ґратка – це оптичний пристрій, дія якого заснована на явищі дифракції світла і який являє собою сукупність великої кількості паралельних штрихів, нанесених на певну поверхню на однаковій відстані один від одного.



Період ґратки (стала ґратки) d – це загальна ширина непрозорої та прозорої ділянок дифракційної ґратки.

$$d = a + D \qquad d = \frac{l}{N}$$

a – ширина непрозорої ділянки (у прозорих ґратках) або смуги, що розсіює світло (у відбивних ґратках);

D – ширина прозорої ділянки (або смуги, що відбиває світло);

N – кількість штрихів на відрізку довжиною l.

Якщо на ґратку падає плоска світлова хвиля, то кожна щілина стає джерелом вторинних хвиль, які є когерентними і поширюються в усіх напрямках. Якщо на шляху цих хвиль розмістити збиральну лінзу, то промені, паралельні один одному, збиратимуться на екрані, розташованому у фокальній площині лінзи.

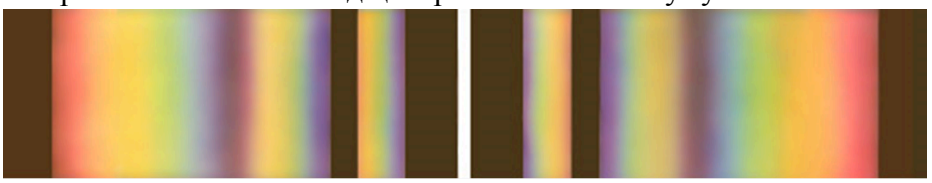
Із рисунка бачимо, що різниця ходу Δd для двох хвиль, що поширюються від сусідніх щілин під кутом φ, дорівнює: $\Delta d = d \sin sin \varphi$.

Щоб у точці екрана спостерігався інтерференційний максимум, різниця ходу Δd має дорівнювати цілому числу довжин хвиль: $\Delta d = k\lambda$.

Формула дифракційної ґратки:

$$d \sin sin \varphi = k\lambda$$

k – ціле число: $k = 0$ – відповідає центральному (нульовому) максимуму ($\Delta d = 0$), $k = \pm 1$ – відповідає максимумам першого порядку ($\Delta d = \lambda$) і т. д. Максимуми одного порядку розташовані симетрично з обох боків від центрального максимуму.



Зверніть увагу!

- Кут (φ, за якого спостерігається інтерференційний максимум, залежить від довжини хвилі, тому *дифракційні ґратки розкладають немонохроматичне світло у спектр. Такий спектр називають* **дифракційним**.
- Довжина хвилі червоного кольору більша за довжину хвилі фіолетового кольору, тому *в дифракційному спектрі червоні лінії розташовані далі від центрального максимуму, ніж фіолетові.*
- Для центрального максимуму різниця ходу хвиль будь-якої довжини дорівнює нулю, тому він завжди має колір світла, що освітлює ґратку.
- Вимірюючи кут φ, за якого спостерігається інтерференційний максимум k –го порядку, і знаючи період дифракційної ґратки, можна виміряти довжину світлової хвилі, що падає на ґратку:

$$\lambda = \frac{d \sin sin \varphi}{k}$$

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Чому навіть у потужний телескоп ми не можемо побачити предмети поверхні Місяця?

Предмети на поверхні Місяця не можна побачити в потужний телескоп через явище дифракції – світло від предметів буде відхилятися від прямолінійного поширення.

2. Визначте період дифракційної ґратки, якщо на 2,5 см ґратки нанесено 12500 штрихів.

Дано:	***Розв'язання***
$l = 2,5$ мкм $= 2,5 \cdot 10^{-2}$ м	$d = \frac{l}{N}$ $\quad [d] =$ м $\quad d = \frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{12500} = 2 \cdot 10^{-6}$ (м) ***Відповідь:*** $d = 2$ мкм.

$N = 12500$

$d - ?$

3. Визначте довжину хвилі монохроматичного світла, що падає на ґратку з періодом 3,33 мкм, якщо максимум першого порядку видно під кутом 10°.

Дано:

$d = 3,33$ мкм

$= 3,33 \cdot 10^{-6}$ м

$k = 1$

$\varphi = 10°$

$d - ?$

Розв'язання

Формула дифракційної ґратки має вигляд:

$$d \sin sin\, \varphi = k\lambda \quad => \quad \lambda = \frac{d \sin sin\, \varphi}{k} \qquad [\lambda] = \text{м}$$

$$\lambda = \frac{3,33 \cdot 10^{-6} \bullet \sin sin\, 10°}{1} \approx 0,579 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}$$

Відповідь: $\lambda \approx 579$ нм.

4. На дифракційну ґратку, що містить 200 штрихів на 1 мм, падає плоска монохроматична хвиля довжиною 500 нм. Визначте: а) кут, за якого спостерігається максимум другого порядку; б) найбільший порядок спектра, який можна спостерігати за нормального падіння променів на ґратку.

Дано:

$N = 200$

$l = 1$ мм

$= 1 \cdot 10^{-3}$ м

$\lambda = 500$ нм

$= 500 \cdot 10^{-9}$ м

$k = 2$

$\varphi - ?$

$k_{max} - ?$

Розв'язання

Формула дифракційної ґратки має вигляд:

$$d \sin sin\, \varphi = k\lambda \qquad d = \frac{l}{N}$$

$$\frac{l}{N} \sin sin\, \varphi = k\lambda \qquad \sin sin\, \varphi = \frac{Nk\lambda}{l} \qquad [\sin sin\, \varphi] = \frac{\text{м}}{\text{м}} = 1$$

$$\sin sin\, \varphi = \frac{200 \cdot 2 \cdot 500 \cdot 10^{-9}}{1 \cdot 10^{-3}} = 0,2$$

$$\varphi = \arcsin\, arcsin\, 0,2 \approx 12°$$

Максимальному k відповідає $\sin sin\, \varphi = 1$

$$d = k_{max}\lambda \qquad k_{max} = \frac{d}{\lambda} = \frac{l}{N\lambda} \qquad \left[k_{max}\right] = \frac{\text{м}}{\text{м}} = 1$$

$$k_{max} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 500 \cdot 10^{-9}} = 10$$

Відповідь: $\varphi \approx 12°$; $k_{max} = 10$.

5. Для вимірювання довжини світлової хвилі застосовано дифракційну ґратку, що має 1000 штрихів на 1 мм. Максимум першого порядку на екрані отримано на відстані 24 см від центрального максимуму. Визначте довжину хвилі, якщо відстань від дифракційної ґратки до екрана 1 м.

Дано:

$N = 1000$

$l = 1$ мм $= 1 \cdot 10^{-3}$ м

$k = 1$

$x = 24$ см $= 0,24$ м

Розв'язання

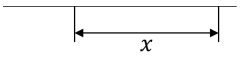
Формула дифракційної ґратки:

$$d \sin sin\, \varphi = k\lambda \qquad d = \frac{l}{N}$$

$$\sin sin\, \varphi = \frac{x}{c} = \frac{x}{\sqrt{L^2 + x^2}}$$

$L = 1$ м

$\lambda - ?$



$$\frac{l}{N} \bullet \frac{x}{\sqrt{L^2+x^2}} = k\lambda$$

$$\lambda = \frac{lx}{Nk\sqrt{L^2+x^2}}$$

$$\lambda = \frac{1\cdot10^{-3}\bullet0{,}24}{1000\cdot1\cdot\sqrt{1^2+0{,}24^2}} \approx 230\cdot10^{-9} \text{ (м)}$$

Відповідь: $\lambda \approx 230$ нм.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Дайте означення дифракції.
2. За яких умов спостерігається дифракція?
3. Чому в повсякденному житті ми нечасто спостерігаємо дифракцію світла?
4. Сформулюйте принцип Гюйгенса – Френеля.
5. Опишіть дифракційні картини від різних перешкод.
6. Що таке дифракційна ґратка? Яка фізична величина її характеризує?
7. Які фізичні величини пов'язує формула дифракційної ґратки?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ Повторити § 31, Вправа № 31 (2, 3)

Додаткові задачі

1. Знайдіть кількість штрихів, нанесених на дифракційну ґратку, якщо її період 0,01 мм, а довжина 2 см.

Дано:

$d = 0{,}01$ мм $= 1\cdot10^{-5}$ м

$l = 2$ см $= 2\cdot10^{-2}$ м

$N - ?$

Розв'язання $d = \frac{l}{N}$ $\Rightarrow$ $N = \frac{l}{d}$

$$[N] = \frac{\text{м}}{\text{м}} = 1 \qquad N = \frac{2\cdot10^{-2}}{1\cdot10^{-5}} = 2000$$

Відповідь: $N = 2000$.

4. Дифракційна ґратка освітлюється монохроматичним світлом. Спектр першого порядку спостерігається під кутом 3°. Під яким кутом спостерігається спектр третього порядку?

Дано:

$\varphi_1 = 3°$

$k_1 = 1$

$k_2 = 3$

$\varphi_2 - ?$

Розв'язання

Формула дифракційної ґратки:

$d \sin\varphi_1 = k_1\lambda \qquad d \sin\varphi_2 = k_2\lambda$

$$\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2} = \frac{k_1}{k_2} \quad \Rightarrow \quad \sin\varphi_2 = \frac{k_2}{k_1}\sin\varphi_1$$

$$\sin\varphi_2 = \frac{3}{1}\sin 3° = 0{,}157 \qquad \varphi_2 = \arcsin 0{,}157 \approx 9°$$

Відповідь: $\varphi_2 \approx 9°$.

5. При освітленні дифракційної ґратки світлом з довжиною хвилі 590 нм спектр третього порядку видно під кутом 10°. Визначте довжину хвилі, для якої спектр другого порядку, отриманий з тієї ж дифракційної ґратки, буде видно під кутом 6°.

Дано:

$\lambda_1 = 590$ нм $= 590\cdot10^{-9}$ м

$\varphi_1 = 10°$

$k_1 = 3$

Розв'язання

Формула дифракційної ґратки:

$d \sin\varphi_1 = k_1\lambda_1 \qquad d \sin\varphi_2 = k_2\lambda_2$

$$\frac{\sin\varphi_1}{\sin\varphi_2} = \frac{k_1\lambda_1}{k_2\lambda_2} \qquad \sin\varphi_1\, k_2\lambda_2 = \sin\varphi_2\, k_1\lambda_1$$

$$\lambda_2 = \frac{k_1\lambda_1\sin\varphi_2}{k_2\sin\varphi_1} \qquad [\lambda_2] = \text{м}$$

$k_2 = 2$ $\varphi_2 = 6°$	$\lambda_2 = \frac{3{\cdot}590{\cdot}10^{-9}{\bullet}\sin\sin 6°}{2{\cdot}\sin\sin 10°} \approx 534{\cdot}10^{-9}$ (м) ***Відповідь:*** $\lambda_2 \approx 534$ нм.
$\lambda_2 - ?$	

8. Знайдіть найбільший порядок спектра для жовтої лінії натрію (λ = 589 нм), якщо стала дифракційної решітки дорівнює 2 мкм.

Дано: $\lambda = 589$ нм $= 589{\cdot}10^{-9}$ м $d = 2$ мкм $= 2{\cdot}10^{-6}$ м	***Розв'язання*** Формула дифракційної ґратки має вигляд: $d \sin\sin \varphi = k\lambda$ Максимальному k відповідає $\sin\sin \varphi = 1$ $d = k_{max}\lambda \quad k_{max} = \frac{d}{\lambda} \quad k_{max} = \frac{2{\cdot}10^{-6}}{589{\cdot}10^{-9}} \approx 3$
$k_{max} - ?$	***Відповідь:*** $k_{max} \approx 3$.

9. На дифракційну ґратку, що має 500 штрихів на міліметр, падає плоска монохроматична хвиля. Довжина хвилі 500 нм. Визначте найбільший порядок спектра, який можна спостерігати при нормальному падінні променів на решітку.

Дано: $N = 500$ $l = 1$ мм $= 1{\cdot}10^{-3}$ м $\lambda = 500$ нм $= 500{\cdot}10^{-9}$ м	***Розв'язання*** Формула дифракційної ґратки має вигляд: $d \sin\sin \varphi = k\lambda$ Максимальному k відповідає $\sin\sin \varphi = 1$ $d = k_{max}\lambda \quad d = \frac{l}{N} \quad k_{max} = \frac{d}{\lambda} = \frac{l}{N\lambda} \quad \left[k_{max}\right] = \frac{\text{м}}{\text{м}} = 1$ $k_{max} = \frac{1{\cdot}10^{-3}}{500{\cdot}500{\cdot}10^{-9}} = 4$
$k_{max} - ?$	***Відповідь:*** $k_{max} = 4$.