

Фізика 11

Урок 44 Електромагнітні хвилі. Властивості електромагнітних хвиль. Досліди Герца

Мета уроку:

Навчальна: Формувати знання учнів про електромагнітні хвилі, джерела та властивості електромагнітних хвиль, способи їх отримання; формувати вміння учнів аналізувати та пояснювати фізичні процеси, розуміти важливість використання електромагнітних хвиль у сучасності.

Розвивальна. Розвивати пізнавальні навички учнів; вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задачі; вміння стисло і грамотно висловлювати свої міркування та обґрунтовувати їхню правильність.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: комбінований.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Що таке електромагнітні хвилі?

Хто передбачив існування електромагнітних хвиль?

Якими є властивості електромагнітних хвиль?

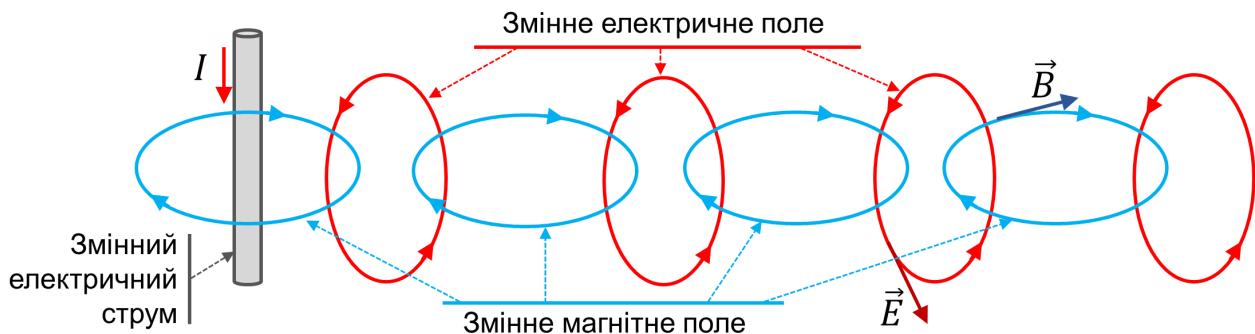
III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Утворення електромагнітної хвилі

Електромагнітна хвиля – це поширення в просторі коливань електромагнітного поля.

Електромагнітні хвилі теоретично передбачив британський фізик та математик Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879) у 1873 р. Проаналізувавши всі відомі на той час закони електродинаміки, він суто математично дійшов висновку, що в природі мають існувати електромагнітні хвилі. Німецький фізик Генріх Рудольф Герц (1857-1894) у 1888 р. продемонстрував випромінювання і прийом електромагнітних хвиль.

Згідно з теорією Максвелла, якщо пропускати по провіднику змінний струм, то навколо провідника періодично змінюватиметься магнітне поле. Змінне магнітне поле створить змінне електричне поле, яке, у свою чергу, створить змінне магнітне, і т. д. Отже, одержимо *поширення коливань електромагнітного поля – електромагнітну хвилю. Провідник зі змінним струмом є джерелом електромагнітної хвилі.*



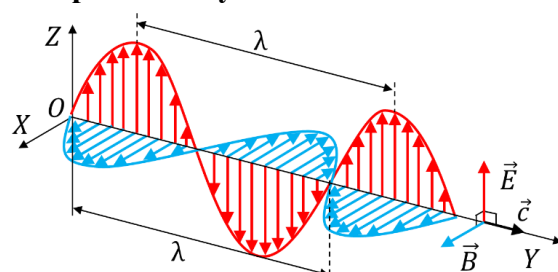
За теорією Максвелла, *джерелом електромагнітної хвилі може бути будь-яка заряджена частинка, що рухається з прискоренням.* Якщо ж частинка нерухома або рухається з незмінною швидкістю, біля неї існує електромагнітне поле, проте електромагнітну хвилю частинка не випромінює.

2. Фізичні величини, що характеризують електромагнітну хвилю

За теорією Максвелла:

- Електромагнітна хвиля – це поперечна

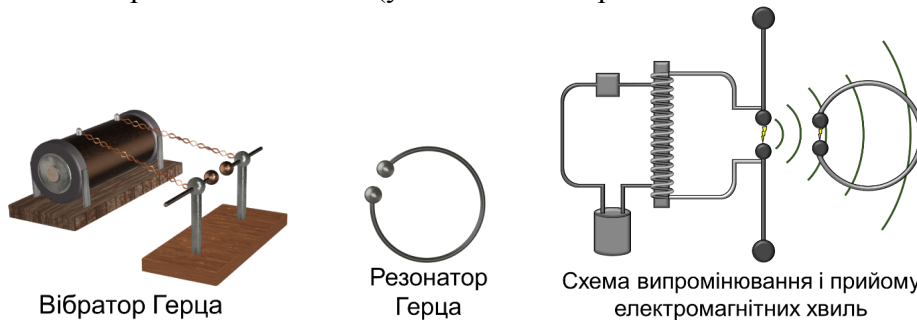
хвиля: $\vec{E} \perp \vec{B}$, $\vec{E} \perp \vec{v}$, $\vec{B} \perp \vec{v}$.



- Вектори $\vec{E}$ і $\vec{B}$ одночасно сягають максимального значення й одночасно перетворюються на нуль.
- Швидкість поширення електромагнітної хвилі (v), її довжина (λ) і частота (ν) пов'язані формулою хвилі: $v = \lambda\nu$.
- Для поширення електромагнітних хвиль не потрібне середовище. Найкраще й найшвидше електромагнітні хвилі поширюються у вакуумі. Швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі є однаковою для будь-яких електромагнітних хвиль і дорівнює швидкості світла: $v = c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Світло є різновидом електромагнітних хвиль. Для вакууму формула хвилі має вигляд: $c = \lambda\nu$. Під час переходу з одного середовища в інше швидкість поширення електромагнітної хвилі змінюється, змінюється і довжина хвилі, а от ν частота залишається незмінною.
- Електромагнітні хвилі, як і механічні, переносять енергію. Енергія W електромагнітної хвилі прямо пропорційна її частоті ν в четвертому степені: $W \sim \nu^4$

3. Досліди Герца з вивчення властивостей електромагнітних хвиль

Багато вчених піддавали сумніву правильність теорії електромагнітного поля Максвелла. 1888 р. Генріх Герц вирішив поставити дослід з метою спростувати теорію Максвелла. Він сконструював випромінювач, який згодом отримав назву *вібратор Герца*. Коли обидві латунні кульки заряджались до високої різниці потенціалів, між ними проскакувала іскра і в довкіллі випромінювалась електромагнітна хвиля (у дослідах Г. Герца частота хвиль сягала 500 МГц).



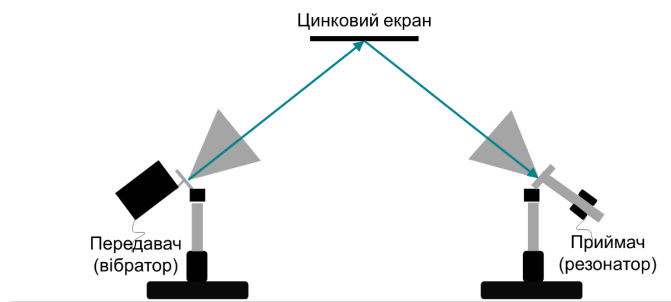
Щоб уловлювати випромінювані хвилі, Герц зробив *резонатор*. Змінюючи розмір іскрового проміжку, вчений настроював резонатор на частоту коливань вібратора. У ті моменти, коли між кульками вібратора відбувався розряд, в іскровому проміжку резонатора проскакували ледь помітні іскорки, які можна було побачити в лупу і тільки в темряві.

Герц не тільки одержав електромагнітні хвилі, а й експериментально підтвердив їхні властивості, передбачені свого часу Дж. Максвеллом.

Властивості електромагнітних хвиль і досліди Г. Герца з вивчення цих властивостей:

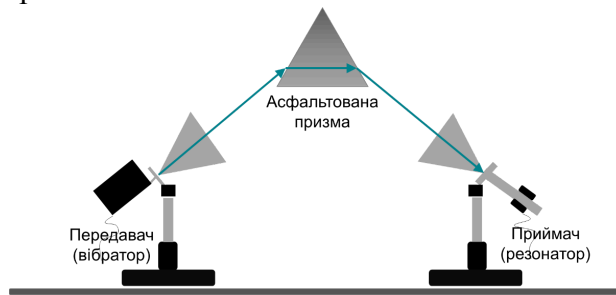
- **Електромагнітні хвилі відбиваються від провідних предметів.**

На стіні лабораторії Г. Герц закріпив цинковий екран розміром 4×2 м. За допомогою вібратора і параболічного дзеркала, виготовленого з листа заліза розміром 2×1,5 м, створив пучок електромагнітних хвиль і спрямував їх під кутом до екрана. Виявилось, що *кут відбивання електромагнітної хвилі дорівнює куту її падіння*.



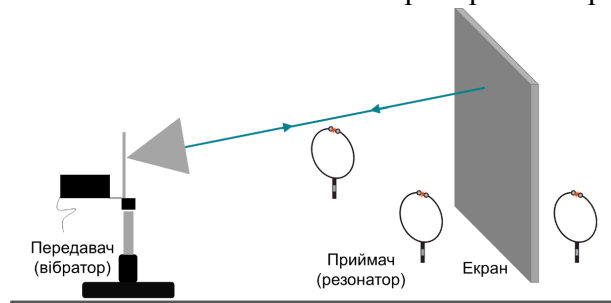
- **Електромагнітні хвилі заломлюються на межі з діелектриком.**

Для вивчення заломлення електромагнітних хвиль Г. Герц виготовив асфальтову призму заввишки 1,5 м і масою 1200 кг. Помістивши призму між вібратором і резонатором, учений помітив, що іскра в резонаторі зникла. Іскроутворення відновлювалося, коли резонатор переміщували до основи призми.



• Електромагнітні хвилі обгинають перешкоди, розміри яких порівнянні з довжиною хвилі (явище дифракції); накладаючись, електромагнітні хвилі можуть як посилювати, так і послаблювати одна одну (явище інтерференції).

Для спостереження цих явищ Г. Герц переміщував резонатор відносно вібратора й екрана та спостерігав посилення, послаблення або зникнення іскри в резонаторі.



Підсумовуючи свої досліди, Г. Герц писав: «...описані досліди доводять ідентичність світла, теплових променів і електродинамічного хвильового руху».

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Що змінюється: довжина хвилі чи частота під час переходу електромагнітної хвилі з одного середовища в інше?

Змінюється довжина хвилі і швидкість, частота залишається сталою.

2. Обчисліть довжину електромагнітної хвилі у вакуумі, якщо частота коливань у ній $4 \cdot 10^{11}$ Гц.

Дано:

$$\nu = 4 \cdot 10^{11} \text{ Гц}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\lambda = ?$$

Розв'язання

$$c = \lambda \nu \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$[\lambda] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Гц}} = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\frac{1}{\text{с}}} = \text{м}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{11}} = 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Відповідь: $\lambda = 0,75 \text{ мм}$.

3. Яка частота електромагнітної хвилі, що поширюється у воді, якщо у цьому середовищі вона має довжину $5 \cdot 10^{-4}$ м і швидкість $2,5 \cdot 10^8$ м/с.

Дано:

$$\lambda = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Розв'язання

$$\nu = \lambda \nu \quad \Rightarrow \quad \nu = \frac{v}{\lambda}$$

$v = 2,5 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$[v] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{м}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц} \quad v = \frac{2,5 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-4}} = 0,5 \cdot 10^{12} (\text{Гц})$
$v - ?$	Відповідь: $v = 0,5 \cdot 10^{12} \text{Гц}$.

4. Світлова хвиля поширюється в повітрі і має частоту $4 \cdot 10^{14}$ Гц і довжину 0,75 мкм. Яка швидкість поширення світла в повітрі?

Дано:

$$\nu = 4 \cdot 10^{14} \text{Гц}$$

$$\lambda = 0,75 \text{ мкм}$$

$$= 0,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$v - ?$$

Розв'язання

$$v = \lambda \nu \quad [\nu] = \text{м} \cdot \text{Гц} = \text{м} \cdot \frac{1}{\text{с}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = 0,75 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{14} = 3 \cdot 10^8 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Відповідь: $v = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

5. Радіосигнал, відправлений на планету Венера, повернувся після відбиття від її поверхні через 5 хв. Якою була відстань від Землі до Венери в момент радіолокації?

Дано:

$$t = 5 \text{ хв} = 300 \text{ с}$$

$$= 3 \cdot 10^2 \text{ с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$s - ?$$

Розв'язання

$$s = \frac{c \cdot t}{2} \quad [s] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с}}{1} = \text{м}$$

$$s = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 3 \cdot 10^2}{2} = 4,5 \cdot 10^{10} (\text{м})$$

Відповідь: $s = 4,5 \cdot 10^{10} \text{м}$.

6. Скільки коливань відбувається в електромагнітній хвилі з довжиною хвилі 300 м за час, який дорівнює періоду звукових коливань з частотою 2000 Гц?

Дано:

$$\lambda_{\text{ел.}} = 300 \text{ м}$$

$$\nu_{\text{зв.}} = 2000 \text{ Гц}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$N - ?$$

Розв'язання

$$T_{\text{зв.}} = N T_{\text{ел.}} \Rightarrow N = \frac{T_{\text{зв.}}}{T_{\text{ел.}}} = \frac{\nu_{\text{ел.}}}{\nu_{\text{зв.}}} \quad \nu_{\text{ел.}} = \frac{c}{\lambda_{\text{ел.}}}$$

$$N = \frac{c}{\lambda_{\text{ел.}} \nu_{\text{зв.}}} \quad [N] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{м} \cdot \text{Гц}} = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{м} \cdot \frac{1}{\text{с}}} = 1$$

$$N = \frac{3 \cdot 10^8}{300 \cdot 2000} = 500$$

Відповідь: $N = 500$.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Дайте означення електромагнітної хвилі.
2. Як утворюється електромагнітна хвиля? Які об'єкти можуть її випромінювати?
3. Доведіть, що електромагнітна хвиля – це поперечна хвиля.
4. Як пов'язані між собою довжина, частота і швидкість поширення електромагнітної хвилі?
5. Як енергія електромагнітної хвилі залежить від її частоти?

6. Опишіть будову пристроїв, за допомогою яких Г. Герц створював і реєстрував електромагнітні хвилі.

7. Які властивості електромагнітних хвиль було встановлено в ході дослідів Г. Герца? Опишіть ці досліді.

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 22, Вправа № 22 (2, 5, 6)

Додаткові задачі

1. У випадку якого руху — рівномірного або рівноприскореного — електричний заряд буде випромінювати електромагнітні хвилі?

У разі рівноприскореного руху.

2. Які коливання відбуваються в середовищі у випадку поширення в ньому електромагнітних хвиль?

Коливання напруженості електричного поля й індукції магнітного поля.

3. Чи залежить швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі від: а) частоти коливань; б) напрямку поширення хвиль? Не залежить

4. Обчисліть довжину електромагнітної хвилі з частотою $7 \cdot 10^{14}$ Гц у склі, якщо швидкість електромагнітної хвилі у цьому середовищі $2,1 \cdot 10^8$ м/с.

Дано:

$$\nu = 7 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$$

$$\nu = 2,1 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

λ — ?

Розв'язання

$$\nu = \lambda \nu \Rightarrow \lambda = \frac{\nu}{\nu}$$

$$[\lambda] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Гц}} = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\frac{1}{\text{с}}} = \text{м}$$

$$\lambda = \frac{2,1 \cdot 10^8}{7 \cdot 10^{14}} = 0,3 \cdot 10^{-6} (\text{м})$$

Відповідь: $\lambda = 0,3 \text{ мкм}$.

5. Довжина хвилі світла зеленого кольору у вакуумі – 530 нм. Визначте частоту цієї хвилі.

Дано:

$$\lambda = 530 \text{ нм}$$

$$= 530 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

ν — ?

Розв'язання

$$c = \lambda \nu \Rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$[\nu] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{м}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц}$$

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^8}{530 \cdot 10^{-9}} \approx 0,0057 \cdot 10^{17} (\text{Гц})$$

Відповідь: $\nu \approx 5,7 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$.

6. Визначте довжину випромінюваної електромагнітної хвилі, якщо зміна сили струму в антені передавача відбувається, як показано на графіку (див. рисунок).

Дано:

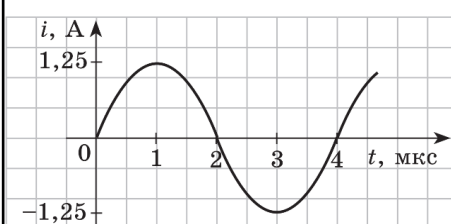
$$T = 4 \text{ мкс}$$

$$= 4 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

λ — ?

Розв'язання



$$c = \lambda \nu = \frac{c}{T} \Rightarrow \lambda = cT$$

$$[\lambda] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \text{м}$$

$$\lambda = 3 \cdot 10^8 \cdot 4 \cdot 10^{-6}$$

$$= 1200 (\text{м})$$

Відповідь: $\lambda = 1200 \text{ м.}$

7. На рисунку наведений графік коливань сили струму в коливальному контурі генератора радіопередавача. На якій довжині хвилі можна приймати його передачі?

Дано:

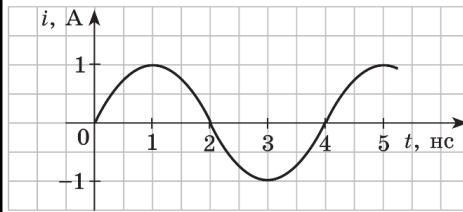
$$T = 4 \text{ нс}$$

$$= 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\lambda - ?$$

Розв'язання



$$c = \lambda \nu = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow \lambda = cT$$

$$[\lambda] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \text{м}$$

$$\lambda = 3 \cdot 10^8 \cdot 4 \cdot 10^{-9}$$

$$= 1,2 \text{ (м)}$$

Відповідь: $\lambda = 1,2 \text{ м.}$

8. Через який проміжок часу на Землі прийняли сигнал, переданий міжпланетним кораблем, що перебував на орбіті Юпітера? Відстань між планетами прийміть за 630 млн км.

Дано:

$$s = 630 \text{ млн км}$$

$$= 630 \cdot 10^9 \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t - ?$$

Розв'язання

$$s = c \cdot t \quad t = \frac{s}{c} \quad [t] = \frac{\text{м}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \text{с}$$

$$t = \frac{630 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} = 2100 \text{ (с)}$$

Відповідь: $t = 35 \text{ хв.}$

9. Через який мінімальний проміжок часу можна одержати відповідь на питання ЦПЦу від екіпажа космічного корабля, що проводить дослідження на поверхні Місяця?

Дано:

$$s = 384400 \text{ км}$$

$$= 3,844 \cdot 10^8 \text{ м}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t - ?$$

Розв'язання

$$s = \frac{c \cdot t}{2} \Rightarrow t = \frac{2s}{c} \quad [t] = \frac{\text{м}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \text{с}$$

$$t = \frac{2 \cdot 3,844 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8} \approx 2,56 \text{ (с)}$$

Відповідь: $t \approx 2,56 \text{ с.}$

10. Коливання напруженості електричного поля в електромагнітній хвилі виражені рівнянням $E = 10 \sin \sin \left(\pi \cdot 10^8 t + \pi \right) \left(\frac{\text{В}}{\text{м}} \right)$. Визначте частоту хвилі.

Дано:

$$E = 10 \sin \sin \left(\pi \cdot 10^8 t + \pi \right) \left(\frac{\text{В}}{\text{м}} \right)$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\nu - ?$$

Розв'язання

$$\omega = 10^8 \pi \text{ с}^{-1} \quad \omega = 2\pi \nu \Rightarrow \nu = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$[\nu] = \text{с}^{-1} = \text{Гц}$$

$$\nu = \frac{10^8 \pi}{2\pi} = 5 \cdot 10^7 \text{ (Гц)}$$

Відповідь: $\nu = 50$ МГц.

11. Як зміниться напруженість електричного поля випромінюваної зарядом хвилі, якщо прискорення заряду збільшиться в п'ять разів? Збільшиться у 5 разів

12. Чи випромінює електромагнітну хвилю заряд, який рухається в даній системі відліку рівномірно прямолінійно? Ні.

13. У якому напрямку вібратор Герца не випромінює хвилі? Уздовж своєї осі.

14. Передавальні й приймальні вібратори розташовані взаємно перпендикулярно. Чи виникнуть коливання в приймальному вібраторі? Ні.

15. Скільки коливань відбувається в електромагнітній хвилі довжиною 70 см протягом одного періоду звукових коливань з частотою 1500 Гц?

Дано:

$$\lambda_{\text{ел.}} = 70 \text{ см} = 0,7 \text{ м}$$

$$\nu_{\text{зв.}} = 1500 \text{ Гц}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$N = ?$

Розв'язання

$$T_{\text{зв.}} = NT_{\text{ел.}} \Rightarrow N = \frac{T_{\text{зв.}}}{T_{\text{ел.}}} = \frac{\nu_{\text{ел.}}}{\nu_{\text{зв.}}} \quad \nu_{\text{ел.}} = \frac{c}{\lambda_{\text{ел.}}}$$

$$N = \frac{c}{\lambda_{\text{ел.}} \nu_{\text{зв.}}} \quad [N] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{м} \cdot \text{Гц}} = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{м} \cdot \frac{1}{\text{с}}} = 1$$

$$N = \frac{3 \cdot 10^8}{0,7 \cdot 1500} \approx 285714$$

Відповідь: $N \approx 2,9 \cdot 10^5$.

16. Протягом одного періоду звукових коливань частотою 160 Гц в електромагнітній хвилі відбувається $2,5 \cdot 10^5$ коливань. Визначте довжину цієї хвилі.

Дано:

$$\nu_{\text{зв.}} = 160 \text{ Гц}$$

$$N = 2,5 \cdot 10^5$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$\lambda_{\text{ел.}} = ?$

Розв'язання

$$T_{\text{зв.}} = NT_{\text{ел.}} \Rightarrow N = \frac{T_{\text{зв.}}}{T_{\text{ел.}}} = \frac{\nu_{\text{ел.}}}{\nu_{\text{зв.}}} \quad \nu_{\text{ел.}} = \frac{c}{\lambda_{\text{ел.}}}$$

$$N = \frac{c}{\lambda_{\text{ел.}} \nu_{\text{зв.}}} \quad \lambda_{\text{ел.}} = \frac{c}{N \nu_{\text{зв.}}} \quad [\lambda_{\text{ел.}}] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Гц}} = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}}}{\frac{1}{\text{с}}} = \text{м}$$

$$\lambda_{\text{ел.}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,5 \cdot 10^5 \cdot 160} = 7,5 \text{ (м)}$$

Відповідь: $\lambda_{\text{ел.}} = 7,5 \text{ м}$.