

Урок 24 Розв'язування задач

Мета уроку:

Навчальна. Закріпити знання за темою «Сила Лоренца», продовжити формувати навички та вміння розв'язувати фізичні задачі, застосовуючи отримані знання.

Розвивальна. Розвивати уміння правильно розподіляти час; самостійність у навчанні; вміння самостійно застосовувати правила, закони.

Виховна. Виховання дисципліни, чесності, відповідальності.

Тип уроку: урок застосування знань, умінь, навичок.

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

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

1. Провести бесіду за матеріалом § 12

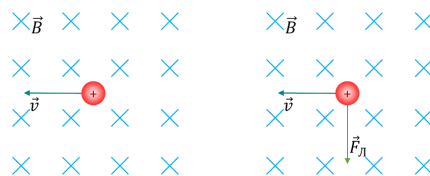
Бесіда за питаннями

1. Дайте означення сили Лоренца. За якою формулою її визначають? Виведіть цю формулу.
 2. Як визначити напрямок сили Лоренца, яка діє на позитивно заряджену частинку? на негативно заряджену частинку?
 3. Як рухатиметься заряджена частинка в магнітному полі, якщо її початкова швидкість напрямлена паралельно лініям магнітної індукції? перпендикулярно до ліній магнітної індукції? під кутом до ліній магнітної індукції?
 4. Виведіть формули для визначення радіуса траєкторії руху та періоду обертання зарядженої частинки в магнітному полі, якщо швидкість її руху перпендикулярна до вектора магнітної індукції поля.
 5. Наведіть приклади застосування сили Лоренца.
2. Перевірити виконання вправи № 12: завдання 2, 4.

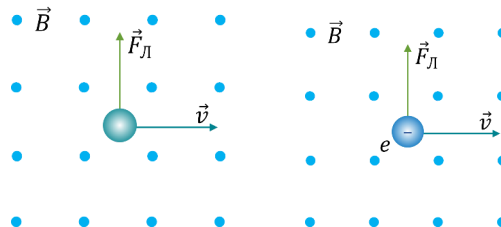
II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

III. РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

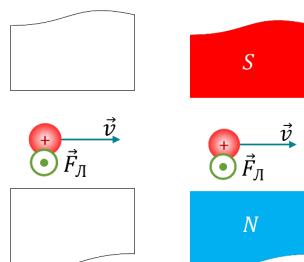
1. На рисунку зображені частинки, які рухаються в магнітному полі. Сформулюйте задачу до кожного з наведених випадків і розв'яжіть її.



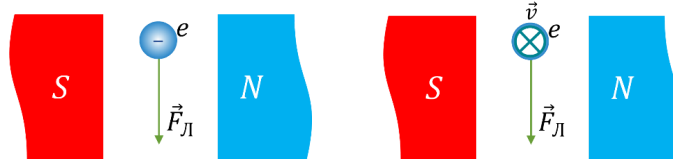
а) У якому напрямку відхилиться заряджена частинка, рухаючись у магнітному полі? (униз)



б) Який заряд має заряджена частинка, рухаючись у магнітному полі? (негативний)



в) Між якими полюсами знаходиться заряджена частинка? (вгорі – південь; внизу – північ)



г) Який напрямок руху зарядженої частинки? (від нас)

2. У просторі одночасно існують однорідні постійні поля: магнітне з індукцією 0,2 Тл і перпендикулярне до нього електричне, напруженість якого становить 200 кН/Кл. Якими повинні бути напрямок і модуль швидкості електрона, щоб він в цьому просторі рухався прямолінійно?

Дано:

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$$E = 200 \frac{\text{кН}}{\text{Кл}}$$

$$= 2 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$v = ?$$

Розв'язання

Частинка рухається рівномірно і прямолінійно, якщо сума всіх діючих сил дорівнює нулю. Тому, вектори напруженості електричного поля й індукції магнітного поля взаємно перпендикулярні й перпендикулярні до вектора швидкості частинки.

$$\begin{aligned} \vec{F}_L &= F_L \\ \vec{E} &= E \\ \vec{v} &= v \\ \vec{F}_{\text{ел}} &= F_{\text{ел}} \\ \vec{B} &= B \end{aligned}$$

$$F_{\text{ел}} = F_L$$

$$F_{\text{ел}} = E|q|$$

$$\vec{F}_L = |q|Bv \sin \alpha = |q|Bv \quad (\sin \alpha = 1)$$

$$E|q| = |q|Bv \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

$$[v] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}}{\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}} = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{с}}}{\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad v = \frac{2 \cdot 10^5}{0,2} = 1 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

$$\text{Відповідь: } v = 1 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}.$$

3. Пройшовши різницю потенціалів 2 кВ, електрон влітає в однорідне магнітне поле з індукцією 150 мкТл і рухається в ньому по колу радіусом 1 м. Визначте за цими даними відношення заряду електрона до його маси.

Дано:

$$\Delta \phi = 2 \text{ кВ}$$

$$= 2 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$B = 150 \text{ мкТл}$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$$

$$R = 1 \text{ м}$$

$$\frac{q}{m} = ?$$

Розв'язання

Під час руху електрона в електричному полі це поле виконує роботу: $A = q\Delta\phi$

Кінетична енергія електрона збільшується:

$$A = \Delta E_k = E_k - E_{k0} = \frac{mv^2}{2}$$

$$q\Delta\phi = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v^2 = \frac{2q\Delta\phi}{m}$$

У магнітному полі під дією сили Лоренца електрон рухається по колу, згідно з другим законом Ньютона:

$$F_L = ma_{\text{дц}} = m \frac{v^2}{R}$$

$$F_L = qBv \sin \alpha = qBv \quad (\sin \alpha = 1)$$

$$qBv = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \frac{qBR}{m} \quad v^2 = \left(\frac{qBR}{m} \right)^2$$

$$\frac{2q\Delta\varphi}{m} = \left(\frac{qBR}{m}\right)^2 \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{2\Delta\varphi}{(BR)^2}$$

$$\frac{q}{m} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^3}{(1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1)^2} \approx 1,8 \cdot 10^{11} \left(\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}\right)$$

Відповідь: $\frac{q}{m} \approx 1,8 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$.

4. В однорідному магнітному полі під дією сили Лоренца рухаються по колових траєкторіях протон і електрон. Визначте відношення їх кутових швидкостей. Маса протона в 1836 разів більше маси електрона.

Дано:

$$\frac{m_p}{m_e} = 1836$$

$$\frac{\omega_e}{\omega_p} - ?$$

Розв'язання

$$F_L = ma_{\text{дц}} = m \frac{v^2}{R}$$

$$F_L = qBv \sin \alpha = qBv \quad (\sin \alpha = 1)$$

$$qBv = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \frac{qBR}{m} \quad v = \omega R$$

$$\omega R = \frac{qBR}{m} \Rightarrow \omega = \frac{qB}{m}$$

$$\omega_e = \frac{q_e B}{m_e} \quad \omega_p = \frac{q_p B}{m_p}$$

$$\frac{\omega_e}{\omega_p} = \frac{\frac{q_e B}{m_e}}{\frac{q_p B}{m_p}} = \frac{m_p}{m_e} = 1836$$

Відповідь: $\frac{\omega_e}{\omega_p} = 1836$.

5. Електрон влітає в однорідне магнітне поле під кутом 60° до ліній магнітної індукції і рухається гвинтовою лінією діаметром 10 см. Визначте швидкість руху електрона, магнітну індукцію поля та крок гвинтової лінії, якщо період обертання електрона 60 мкс.

Дано:

$$\alpha = 60^\circ$$

$$d = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$T = 60 \text{ мкс} = 60 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

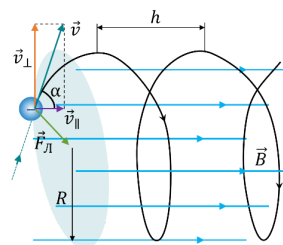
$$q = e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$v - ?$$

$$B - ?$$

Розв'язання



$$v_{\parallel} = v \cos \alpha \quad v_{\perp} = v \sin \alpha$$

1) Електрон рівномірно рухається по колу зі швидкістю:

$$v_{\perp} = v \sin \alpha \quad v_{\perp} = \frac{2\pi R}{T}$$

$$v \sin \alpha = \frac{2\pi R}{T} \Rightarrow v = \frac{2\pi R}{T \sin \alpha} = \frac{\pi d}{T \sin \alpha}$$

$$[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad v = \frac{3,14 \cdot 0,1}{60 \cdot 10^{-6} \cdot \sin 60^\circ} \approx 6,2 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

h – ?

2) Сила Лоренца діє на електрон у площині, перпендикулярній до вектора $\vec{B}$, і надає йому доцентрового прискорення.

$$F_L = |q|Bv \sin \alpha$$

$$F_L = ma_{\text{дц}} = m \frac{v_{\perp}^2}{R} = \frac{mv^2 \alpha}{R}$$

$$|q|Bv \sin \alpha = \frac{mv^2 \alpha}{R}$$

$$B = \frac{mvs \sin \alpha}{|q|R} = \frac{2mvs \sin \alpha}{|q|d}$$

$$[B] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}}{\frac{\text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{м} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{с}}}} = \frac{\text{Н}}{\frac{\text{м} \cdot \text{Кл}}{\text{с}}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл}$$

$$B = \frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 6,2 \cdot 10^3 \cdot \sin 60^\circ}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,1} \approx 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ (Тл)}$$

3) Оскільки у випадку руху частини вздовж лінії індукції поля сила Лоренца на частинку не діє, то складова швидкості $v_{\parallel}$ руху електрона залишається незмінною.

У результаті накладення зазначених рухів електрон буде описувати в просторі гвинтову лінію. Крок даної лінії – це відстань, на яку зміщується електрон уздовж магнітних ліній за один оберт:

$$h = v_{\parallel} T = v T \cos \alpha$$

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

$$h = 6,2 \cdot 10^3 \cdot 60 \cdot 10^{-6} \cdot \cos 60^\circ = 18,6 \cdot 10^{-2} \text{ (м)}$$

Відповідь: $v \approx 6,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$; $B \approx 0,6 \text{ мТл}$; $h = 18,6 \text{ см}$.

IV. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Повторити § 12, Вправа № 12 (5, 6)

Додаткові задачі

1. Протон влітає зі швидкістю 2 Мм/с у ділянку простору, де одночасно існують взаємно перпендикулярні однорідні постійні електричне й магнітне поля, і рухається рівномірно прямолінійно. Визначте напруженість електричного поля, якщо модуль вектора магнітної індукції 20 мТл.

Дано:

$$v = 2 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$$

$$= 2 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

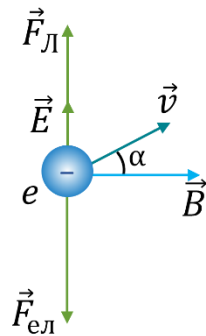
$$B = 20 \text{ мТл}$$

$$= 20 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$E = ?$$

Розв'язання



Частинка рухається рівномірно і прямолінійно, якщо сума всіх діючих сил дорівнює нулю. Тому, вектори напруженості електричного поля й індукції магнітного поля взаємно перпендикулярні й перпендикулярні до вектора швидкості частинки.

$$F_{\text{ел}} = F_L$$

$$F_{\text{ел}} = E|q|$$

$$F_L = |q|Bv \sin \alpha = |q|Bv \quad (\sin \alpha = 1)$$

$$E|q| = |q|Bv \Rightarrow E = Bv$$

$$[E] = \text{Тл} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

$$E = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^6 = 4 \cdot 10^4 \left(\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \right)$$

Відповідь: $E = 40 \frac{\text{кН}}{\text{Кл}}$.

2. Прискорений в електричному полі різницею потенціалів 150 кВ протон влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно до вектора магнітної індукції й рухається по колу радіусом 60 см. Визначте швидкість руху протона, модуль вектора магнітної індукції й силу, з якою магнітне поле діє на протон.

Дано:

$$\Delta\phi = 150 \text{ кВ}$$

$$= 1,5 \cdot 10^5 \text{ В}$$

$$R = 60 \text{ см} = 0,6 \text{ м}$$

$$q = q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$v = ?$$

$$B = ?$$

$$F_L = ?$$

Розв'язання

Під час руху електрона в електричному полі це поле виконує роботу:

$$A = q\Delta\phi$$

Кінетична енергія електрона збільшується:

$$A = \Delta E_k = E_k - E_{k0} = \frac{mv^2}{2}$$

$$q\Delta\phi = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2q\Delta\phi}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{В}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}}}$$

$$= \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,5 \cdot 10^5}{1,67 \cdot 10^{-27}}} \approx 5,36 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

У магнітному полі під дією сили Лоренца електрон рухається по колу, згідно з другим законом Ньютона:

$$F_{\text{Л}} = ma_{\text{дц}} = m \frac{v^2}{R}$$

$$F_{\text{Л}} = qBv \sin \alpha = qBv \quad (\sin \alpha = 1)$$

$$qBv = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow B = \frac{mv}{qR}$$

$$[B] = \frac{\frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{С}}}{\text{КЛ} \cdot \text{М}} = \frac{\frac{\text{КГ} \cdot \text{М}}{\text{С}}}{\text{А} \cdot \text{С} \cdot \text{М}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{М}}$$

$$B = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 5,36 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,6} \approx 9,3 \cdot 10^{-2} \text{ (Тл)}$$

$$F_{\text{Л}} = qBv \quad [F_{\text{Л}}] = \text{КЛ} \cdot \text{Тл} \cdot \frac{\text{М}}{\text{С}} = \text{А} \cdot \text{С} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{М}} \cdot \frac{\text{М}}{\text{С}} = \text{Н}$$

$$F_{\text{Л}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9,3 \cdot 10^{-2} \cdot 5,4 \cdot 10^6 \approx 8 \cdot 10^{-14} \text{ (Н)}$$

Відповідь: $v \approx 5,36 \frac{\text{ММ}}{\text{С}}$; $B \approx 93 \text{ мТл}$;

$$F_{\text{Л}} \approx 8 \cdot 10^{-14} \text{ Н.}$$

3. Протон, швидкість руху якого 20 км/с, влітає в однорідне магнітне поле, індукція якого 3 мТл, під кутом 30° до напрямку ліній магнітної індукції поля. Визначте радіус і крок гвинтової лінії, по якій рухатиметься протон.

Дано:

$$v = 20 \frac{\text{КМ}}{\text{С}} = 2 \cdot 10^4 \frac{\text{М}}{\text{С}}$$

$$B = 3 \text{ мТл}$$

$$= 3 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

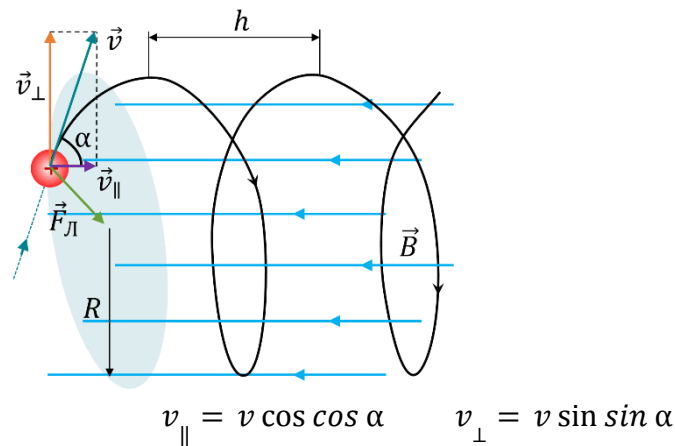
$$q = q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$R - ?$$

$$h - ?$$

Розв'язання



$$F_{\text{Л}} = |q|Bv \sin \alpha$$

$$F_{\text{Л}} = ma_{\text{дц}} = m \frac{v_{\perp}^2}{R} = \frac{mv_{\perp}^2}{R}$$

$$|q|Bv \sin \alpha = \frac{mv_{\perp}^2}{R}$$

$$R = \frac{mv \sin \alpha}{|q|B}$$

$$[R] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Кл} \cdot \text{Тл}}}{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А} \cdot \text{м}}}} = \frac{\text{В} \cdot \text{м}}{\text{В}} = \text{м}$$

$$R = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot \sin 30^\circ}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^{-3}} \approx 0,035 \text{ (м)}$$

Оскільки у випадку руху частини вздовж лінії індукції поля сила Лоренца на частинку не діє, то складова швидкості $v_{\parallel}$ руху протона залишається незмінною.

У результаті накладення зазначених рухів протон буде описувати в просторі гвинтову лінію. Крок даної лінії – це відстань, на яку зміщується протон уздовж магнітних ліній за один оберт:

$$h = v_{\parallel} T = v T \cos \alpha$$

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi}{v \sin \alpha} \cdot \frac{mv \sin \alpha}{|q|B} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

$$h = \frac{2\pi m v \cos \alpha}{|q|B}$$

$$[h] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Кл} \cdot \text{Тл}}}{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А} \cdot \text{м}}}} = \frac{\text{В} \cdot \text{м}}{\text{В}} = \text{м}$$

$$h = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot \cos 30^\circ}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^{-3}} \approx 0,38 \text{ (м)}$$

Відповідь: $R \approx 3,5 \text{ см}$; $h \approx 38 \text{ см}$.