

Тема: Дія магнітного поля на провідник зі струмом

Рухомі заряджені частинки в магнітному полі

Як визначити силу Лоренца

Кількість N частинок дорівнює добутку їх концентрації n на об'єм V провідника: $N = nV = nSl$. Силу струму в провіднику можна визначити за формулою $I = |q|nvS$. Отже, $F_{\text{л}} = \frac{B \cdot |q|nvS \cdot l \cdot \sin \alpha}{nSl}$. Після скорочення на nSl отримуємо формулу для визначення модуля **сили Лоренца**: Магнітне поле діє на провідник зі струмом із певною силою – силою Ампера: $F_A = BIl \sin \alpha$. Оскільки електричний струм – це напрямлений рух заряджених частинок, виникнення сили Ампера є результатом дії магнітного поля на окремі заряджені частинки, що рухаються в провіднику.

Силою Лоренца називають силу з якою магнітне поле діє на рухому заряджену частинку.

Ця сила названа на честь нідерландського фізика Гендріка Антона Лоренца (1853-1928), який вивів формулу для її обчислення. Для визначення модуля сили Лоренца знайдемо силу Ампера, яка припадає на кожну із заряджених частинок, що створюють струм у провіднику: $F_{\text{л}} = \frac{F_A}{N} = \frac{BIl \sin \alpha}{N}$.

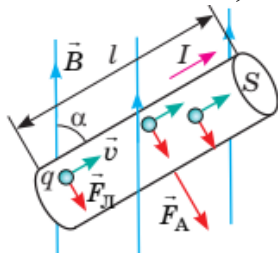


Рис. 12.1. До визначення модуля сили Лоренца: q — заряд частинки; $\vec{v}$ — швидкість руху частинки; $\vec{F}_{\text{л}}$ — сила Лоренца; S — площа поперечного перерізу провідника; l — довжина провідника

$$F_{\text{л}} = |q|Bv \sin \alpha,$$

де α - кут між напрямком руху частинки та напрямком магнітної індукції магнітного поля.

Напрямок сили Лоренца визначають за **правилом лівої руки**: *лінії магнітної індукції «ловимо» в долоню, чотири витягнуті пальці спрямовуємо за напрямком руху позитивно зарядженої частинки (або протилежно до руху негативно зарядженої), і тоді відігнутий на 90° великий палець вкаже напрямок сили Лоренца* (рис. 12.2).

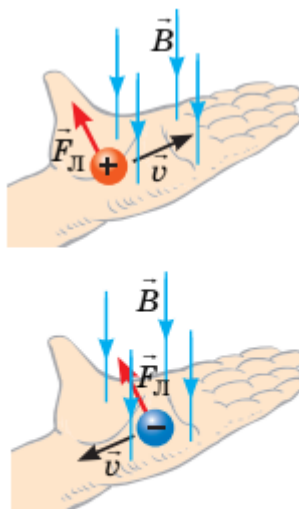
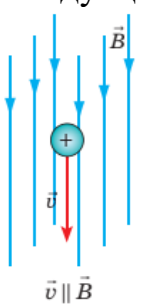
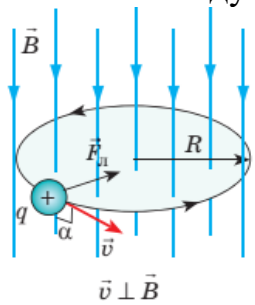
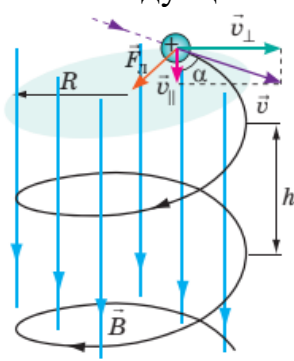


Рис. 12.2. Визначення напрямку сили Лоренца за допомогою лівої руки

Як рухаються заряджені частинки під дією сили Лоренца

Сила Лоренца завжди перпендикулярна до швидкості руху частинки, тому вона не виконує роботу і не змінює кінетичну енергію частинки, - під дією сили Лоренца заряджена частинка рухається рівномірно. Проте траєкторія руху частинки буде різною — залежно від того, під яким кутом частинка влетіла в магнітне поле і чи є магнітне поле однорідним.

Можливі випадки руху зарядженої частинки в однорідному магнітному полі.		
1. Частинка влітає в магнітне поле паралельно лініям магнітної індукції.  $\vec{v} \parallel \vec{B}$ У цьому випадку кут α між вектором швидкості	2. Частинка влітає в магнітне поле перпендикулярно до ліній магнітної індукції.  $\vec{v} \perp \vec{B}$ У цьому випадку $\alpha = 90^\circ$ ($\vec{v} \perp \vec{B}$), тому $F_{\text{Л}} = q Bv$	3. Частинка влітає в магнітне поле під деяким кутом до ліній магнітної індукції.  У цьому випадку

$\vec{v}$ і вектором магнітної індукції $\vec{B}$ дорівнює нулю (або 180°). Оскільки $\sin\alpha = 0$, то дорівнює нулю і сила Лоренца: $F_{\text{л}} = q Bv \sin\alpha = 0$ Отже, магнітне поле не діє на частинку, тому, якщо немає інших сил, частинка рухатиметься рівномірно прямолінійно вздовж ліній магнітної індукції.	адже $\sin\alpha=1$. Частинка рухається рівномірно по колу перпендикулярно до ліній магнітної індукції, а сила Лоренца надає частинці доцентрового прискорення. За другим законом Ньютона: $ q Bv = m \frac{v^2}{R}.$ тому Звідси визначимо радіус R траєкторії руху частинки і період T її обертання: $R = \frac{mv}{ q B};$ $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{ q B}.$ Період обертання частинки не залежить від швидкості її руху та радіуса траєкторії.	швидкість $\vec{v}$ руху частинки можна розкласти на дві складові: перша складова $\vec{v}_1$ паралельна лініям магнітної індукції поля, вона забезпечує рух частинки вздовж цих ліній; друга складова $\vec{v}_2$ перпендикулярна до ліній магнітної індукції поля, і поле змушує частинку рухатися по колу з періодом $T = \frac{2\pi R}{v_1}$. Таким чином, траєкторія руху частинки – гвинтова лінія, крок h (відстань між сусідніми витками) якої визначається складовою $\vec{v}_1$: $h = \vec{v}_1 T$, а радіус витка – складовою $\vec{v}_2$: $R = \frac{mv_2}{ q B}$.
---	--	--

Де застосовують силу Лоренца

Той факт, що період обертання зарядженої частинки в однорідному магнітному полі не залежить ані від швидкості її руху, ані від радіуса траєкторії, використовують у циклотронах (рис. 12.3). По суті циклотрон являє собою вакуумну камеру, розміщену між полюсами сильного електромагніту. У камері розташовано два порожнисті металеві півциліндри (дуанти).

На дуанти подається змінна напруга, яка періодично прискорює частинки. Період зміни напруги дорівнює періоду обертання частинки в магнітному полі.

На русі зарядженої частинки в однорідному магнітному полі базується дія мас-спектрометрів - пристроїв, за допомогою яких можна виміряти питомий заряд частинки $\frac{|q|}{m}$, а потім її ідентифікувати.

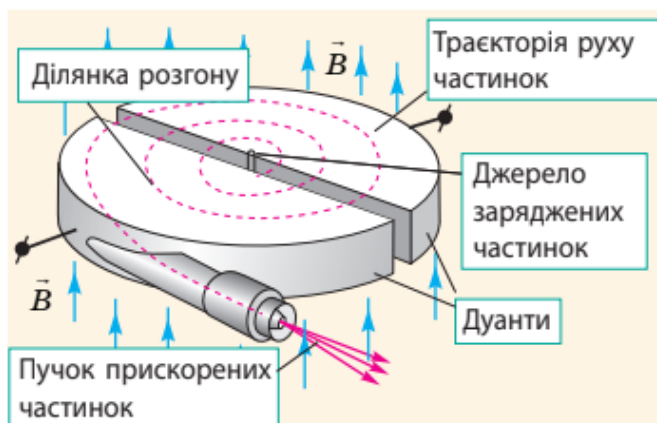


Рис. 12.3. Будова і принцип дії циклотрона — прискорювача важких заряджених частинок (протонів, йонів)

- Частинки, які випромінює джерело, потрапляють усередину дуантів і рухаються по півколах під дією сили Лоренца.
- У проміжку між дуантами частинки розганяються електричним полем.
- Що швидше рухається частинка, то більше півкола вона описує: $R = \frac{mv}{|q|B}$, проте час проходження півкола $t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{|q|B}$ зі збільшенням швидкості не змінюється.
- Якщо періодично змінювати напругу на дуантах, то частинки, яким «пощастило» потрапити в резонанс, щоразу будуть прискорюватися.

Закріплення вивченого матеріалу

Якісні задачі

1. Визначте: напрямок руху частинки (рис. 1); знак заряду частинки (рис. 2); напрямок магнітного поля, в якому рухається частинка (рис. 3).

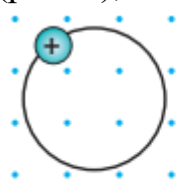


Рис. 1

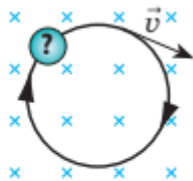


Рис. 2

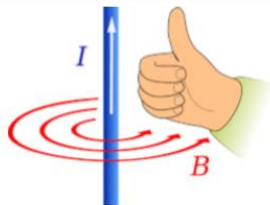


Рис. 3

Розрахункові задачі

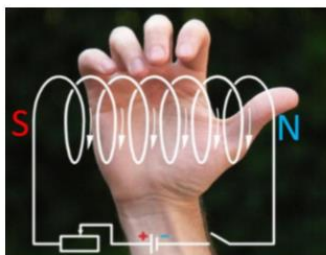
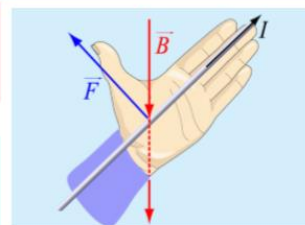
1. Протон у магнітному полі індукцією 1 мТл описав коло радіусом 1 см. Обчисліть швидкість руху протона.
2. В однорідне магнітне поле індукцією 10 мТл перпендикулярно до ліній індукції влітає електрон кінетичної енергії 7,5 кеВ. Обчисліть радіус кола, по якому рухається електрон.

«Обери пару»



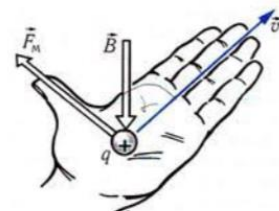
Правило правої руки для визначення полюсів електромагніту

Правило правої руки для визначення напрямку ліній магнітного поля



Правило лівої руки для визначення напрямку сили Лоренца

Правило лівої руки для визначення напрямку сили Ампера



«Розшифруй формулу»

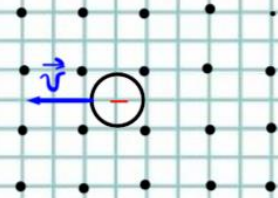
$$F_l = qvB \sin \alpha$$

Сховати пояснення

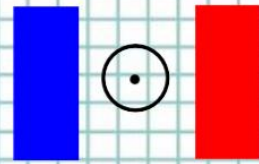
A screenshot of a presentation slide. The formula $F_A = I l B \sin \alpha$ is displayed in a pink rectangular box. Five question marks in colored circles (red, purple, green, red, yellow) are connected by lines to different parts of the formula: the first red circle points to F_A , the purple circle to I , the green circle to l , the second red circle to B , and the yellow circle to $\sin \alpha$. In the top right corner, there are icons for a speaker, a refresh symbol, and a pencil. In the bottom right corner, there are icons for a document with a red '0' and a blue star. At the bottom left, there is a blue button labeled "Сховати пояснення".

Розв'язування задач

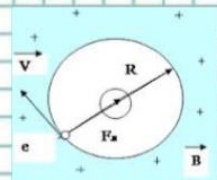
В однорідне магнітне поле з індукцією 10 мТл перпендикулярно до ліній індукції влітає електрон з кінетичною енергією 30 кВ. Який радіус кривизни траєкторії руху електрона в полі?



Провідник по якому проходить струм 20 А, висить у полі електромагніту. Маса провідника становить 0,1кг на 1 м довжини. Визначити індукцію магнітного поля між полюсами магніту.



Знайдіть кінетичну енергію електрона , що рухається по дузі кола радіусом 8 см у однорідному магнітному полі, індукція якого дорівнює 0,2 Тл. Напрямок індукції магнітного поля перпендикулярний до площини кола.



Домашнє завдання: підготувати повідомлення «Застосування дії сили Ампера та сили Лоренца»