

Урок 23 Сила Лоренца

Мета уроку:

Навчальна: Формувати знання учнів про дію магнітного поля на рухомі заряджені частинки; ознайомити учнів із застосуванням сили Лоренца та ефектами, пов'язаними дією цієї сили в природних умовах.

Розвивальна. Розвивати вміння узагальнювати і систематизувати знання; з метою розвитку мислення розвивати вміння: пояснювати подібні матеріали; виявляти аналогії; розкривати загальне і конкретне; встановлювати закономірності; встановлювати головне, суттєве у матеріалі, що вивчається.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: комбінований.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник, прилади і матеріали для демонстрації відхилення електронного пучка магнітним полем.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Усі ви чули про Великий адронний колайдер, розташований на кордоні Швейцарії і Франції на глибині 100 м. Великий – тому що довжина його основного кільця становить близько 27 км; *колайдер* (англ. collide — зіштовхуватися) – тому що основне його завдання – розганяти *адрони* (а саме протони) та йони до швидкостей, які наближаються до швидкості світла, і влаштовувати їхні зіткнення.

Як прискорюють заряджені частинки?

Чому прискорювач має форму кільця і до чого тут магнітне поле?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Сила Лоренца

Сила Лоренца $\vec{F}_L$ – це сила, з якою магнітне поле діє на рухому заряджену частинку.

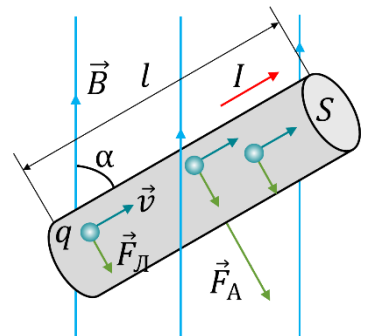
Ця сила названа на честь нідерландського фізика Гендріка Антона Лоренца (1853-1928), який вивів формулу для її обчислення.

Для визначення модуля сили Лоренца знайдемо силу Ампера, яка припадає на кожну із заряджених частинок, що створюють струм у провіднику.

$$F_L = \frac{F_A}{N} \quad F_A = BIl \sin \alpha \quad I = |q|nvS \quad N = nV = nSl$$

$$F_L = \frac{B \cdot |q|nvS \cdot l \sin \alpha}{nSl} = |q|Bv \sin \alpha$$

Формула для визначення модуля сили Лоренца: $F_L = |q|Bv \sin \alpha$



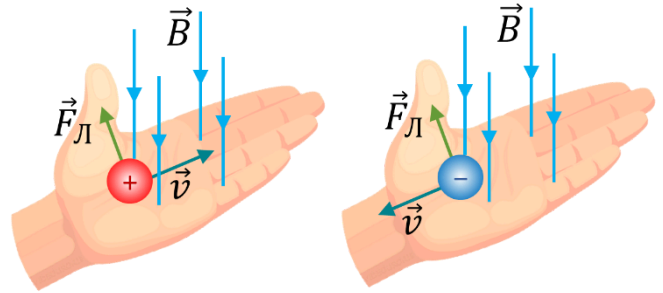
q – заряд частинки; B – магнітна індукція поля, у якому рухається частинка; v – швидкість руху частинки; α – кут між напрямком руху частинки та напрямком магнітної індукції магнітного поля.

Проблемне питання

- Як визначити напрямок сили Лоренца?

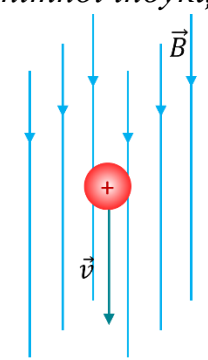
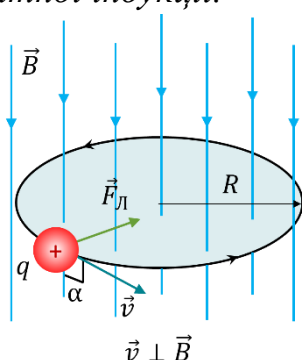
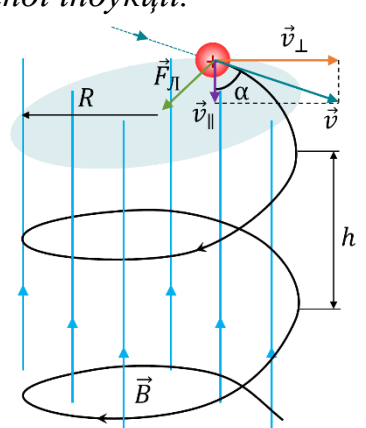
Правило лівої руки (для сили Лоренца):

Якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітної індукції входили в долоню, а напрямок чотирьох пальців збігався з напрямком швидкості руху позитивно зарядженої частинки (або протилежно до руху негативно зарядженої частинки), то відігнутий на 90° великий палець вкаже напрямок сили Лоренца.



2. Рух заряджених частинок під дією сили Лоренца

Залежно від того, під яким кутом заряджена частинка влітає в магнітне поле і чи є магнітне поле однорідним, траєкторія руху частинки буде різною

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 $\vec{v}$ і вектором магнітної індукції $\vec{B}$ дорівнює нулю (або 180°). Оскільки $\sin \alpha = 0$, то дорівнює нулю і сила Лоренца: $F_L = q Bv \sin \alpha$	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 $F_L = q Bv$, адже $\sin \alpha = 1$. Частинка рухається рівномірно по колу перпендикулярно до ліній магнітної індукції, а сила Лоренца надає частинці доцентрового прискорення $\vec{a}_{\text{дц}}$. За другим законом Ньютона: $F_L = m a_{\text{дц}}$, тому $q Bv = m \frac{v^2}{R}$.	3. Частинка влітає в магнітне поле під деяким кутом α до ліній магнітної індукції.  У цьому випадку швидкість $\vec{v}$ руху частинки можна розкласти на дві складові: перша складова $\vec{v}_{\parallel}$ паралельна лініям магнітної індукції поля, вона забезпечує рух частинки вздовж цих ліній; друга складова $\vec{v}_{\perp}$ перпендикулярна до ліній магнітної індукції поля, і поле змушує частинку рухатися по колу з періодом $T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}}$

Отже, магнітне поле не діє на частинку, тому, якщо немає інших сил, частинка рухатиметься рівномірно прямолінійно вздовж ліній магнітної індукції.	Звідси визначимо радіус R траєкторії руху частинки і період T її обертання: $R = \frac{mv}{ q B}; \quad T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{ q B}$ Період обертання частинки не залежить від швидкості її руху та радіуса траєкторії.	Таким чином, траєкторія руху частинки – гвинтова лінія, крок h (відстань між сусідніми витками) якої визначається складовою $\vec{v}_{\parallel}$: $h = v_{\parallel} T, \text{ а радіус витка – складовою } \vec{v}_{\perp}: R = \frac{mv_{\perp}}{ q B}$
---	--	---

3. Застосування сили Лоренца

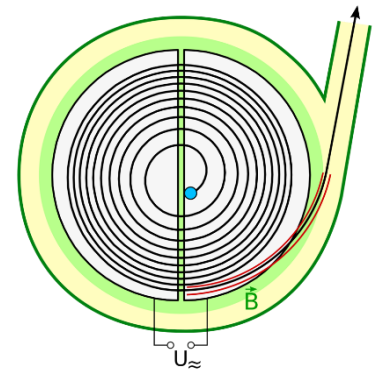
Проблемне питання

- Де застосовують силу Лоренца?

Той факт, що період обертання частинки в однорідному магнітному полі не залежить від швидкості її руху та радіуса траєкторії, використовують у циклотронах

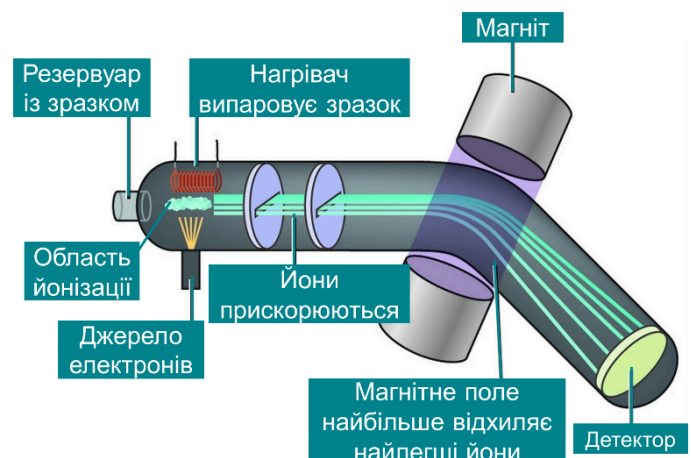
Циклотрон – прискорювач важких частинок (протонів, йонів).

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.



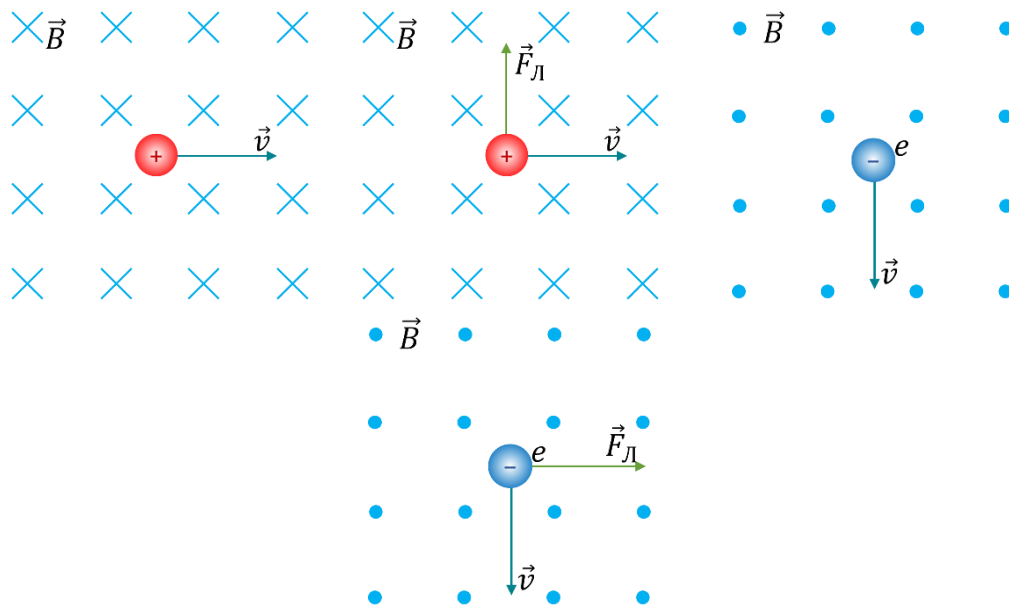
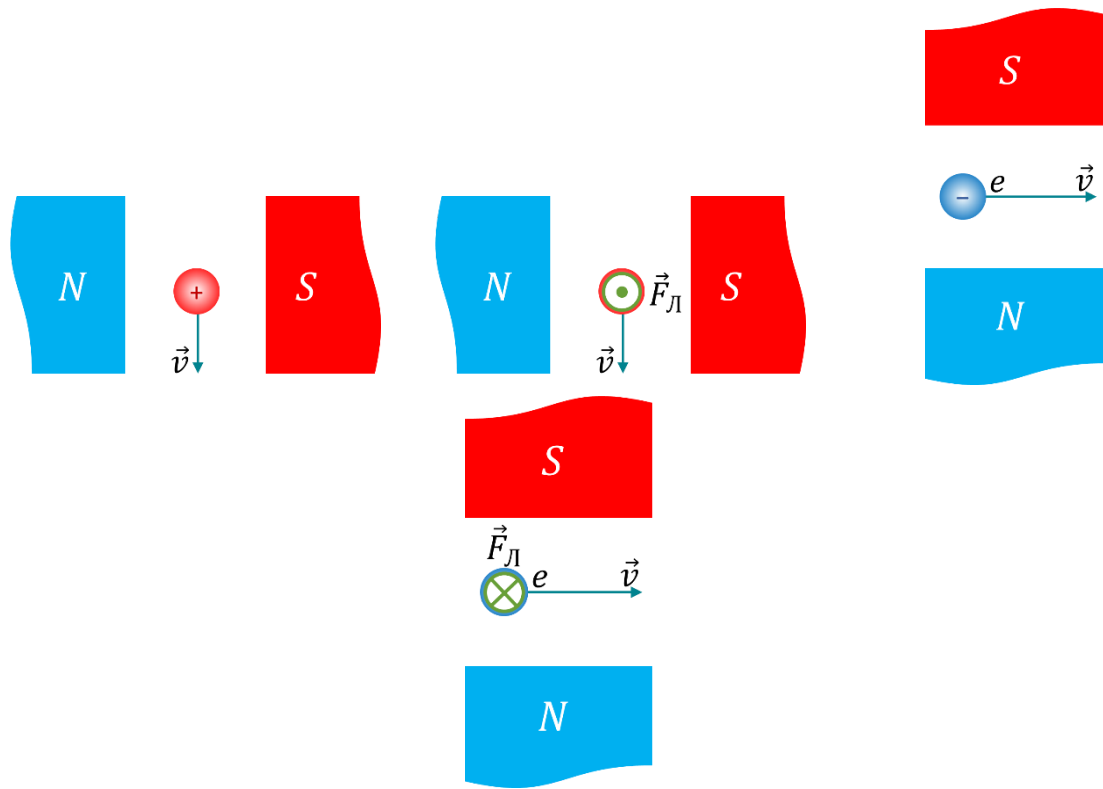
На русі зарядженої частинки в однорідному магнітному полі базується дія мас-спектрометрів.

Мас-спектрометр – пристрій, за допомогою якого можна виміряти питомий заряд частинки, а потім її ідентифікувати.

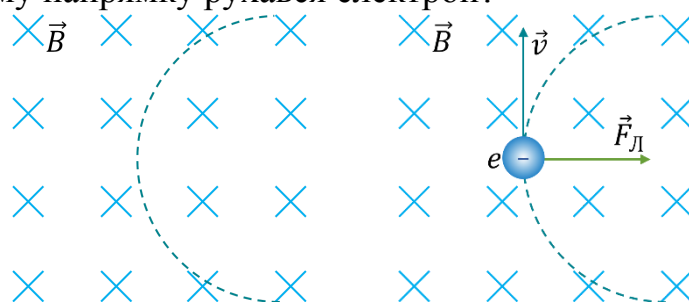


IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. У якому напрямку відхилиться заряджена частинка, рухаючись у магнітному полі, як показано на рисунку?



2. На рисунку зображений трек електрона в камері Вільсона, поміщений в магнітне поле. У якому напрямку рухався електрон?



На рухомий електрон в магнітному полі, діє сила Лоренца. Судячи з траєкторії руху (дуга кола), сила Лоренца спрямована зліва направо. Напрямок сили Лоренца для негативно зарядженої частинки визначається правилом лівої руки. Електрон рухався знизу вгору.

3. Електрон влітає зі швидкістю 500 км/с в однорідне магнітне поле з індукцією 1,4 мТл перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Визначте силу, що діє на електрон, і радіус кривизни траєкторії руху електрона.

Дано:

$$v = 500 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$B = 1,4 \text{ мТл}$$

$$= 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

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

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

$$F_L - ?$$

$$R - ?$$

Розв'язання

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

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

$$F_L = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^5 = 1,12 \cdot 10^{-16} \text{ (Н)}$$

$$F_L = ma_{\text{дц}} = m \frac{v^2}{R} \quad F_L = |q|Bv$$

$$|q|Bv = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{|q|B}$$

$$[R] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Кл} \cdot \text{Тл}} = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}} = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}}} = \frac{\text{Н}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}}} = \text{м}$$

$$R = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 5 \cdot 10^5}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}} \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Відповідь: $F_L = 1,1 \cdot 10^{-16} \text{ Н}$; $R \approx 2 \text{ мм}$.

4. Протон рухається по коловій траєкторії в однорідному магнітному полі з індукцією 4 мТл. Визначте частоту й період обертання протона.

Дано:

$$B = 4 \text{ мТл}$$

$$= 4 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

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

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

$$T - ?$$

Розв'язання

$$R = \frac{mv}{|q|B} \quad T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

$$[T] = \frac{\text{кг}}{\text{Кл} \cdot \text{Тл}} = \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{с}$$

$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^{-3}} \approx 1,64 \cdot 10^{-5} \text{ (с)}$$

$$\nu = \frac{1}{T} \quad [\nu] = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}$$

$v = ?$	$v = \frac{1}{1,64 \cdot 10^{-5}} \approx 6,1 \cdot 10^{-6} \text{ (с}^{-1}\text{)}$ Відповідь: $T \approx 16,4 \text{ мкс}$; $v \approx 6,1 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$.
---------	---

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

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.

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 12, Вправа № 12 (2, 4)

Додаткові задачі

2. Під яким кутом протон, швидкість руху якого $4 \cdot 10^5 \text{ м/с}$, влітає в однорідне магнітне поле з індукцією 10 мТл , якщо з боку поля на нього діє сила Лоренца $3,2 \cdot 10^{-16} \text{ Н}$.

Дано:

$$v = 4 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$B = 10 \text{ мТл}$$

$$= 10 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$F_{\text{л}} = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ Н}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$\alpha = ?$$

Розв'язання

$$F_{\text{л}} = |q|Bv \sin \alpha \Rightarrow \sin \alpha = \frac{F_{\text{л}}}{|q|Bv}$$

$$[\sin \alpha] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл} \cdot \text{Тл} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 1$$

$$\sin \alpha = \frac{3,2 \cdot 10^{-16}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^5} = 0,5$$

$$\alpha = \arcsin 0,5 = 30^\circ$$

Відповідь: $\alpha = 30^\circ$.