**Лекція 7. Рух заряджених частинок в магнітному полі. Прискорювачі елементарних частинок. Закон повного струму**

Вираз для сили Лоренца:

дозволяє знайти ряд закономірностей руху заряджених частинок в

магнітному полі. Ці закономірності наступні:

1. Напрямок сили Лоренца **F**, що викликається відхилення зарядженої частинки в магнітному полі, залежить від знака заряду Q (див формулу) частинки. На цьому засновано визначення знаку заряду частинок, що рухаються в магнітних полях.
2. Для отримання загальних закономірностей будемо вважати, що магнітне поле є однорідним і на частинки електричні поля не діють. Якщо заряджена частинка рухається в магнітному полі зі швидкістю **v** уздовж ліній магнітної індукції, то кут а між векторами **v** і **В** дорівнює 0 або sin a = 0. Тоді сила Лоренца дорівнює нулю, тобто магнітне поле на частку не діє і вона рухається рівномірно і прямолінійно.
3. Якщо заряджена частинка рухається в магнітному полі зі швидкістю v, перпендикулярній до вектору **В**, то сила Лоренца **F** = Q [**vB**] постійна по модулю і нормальна до траєкторії частинки. Згідно з другим законом Ньютона, ця сила створює доцентрове прискорення. Звідси випливає, що частка буде рухатися по колу, радіус г якої визначається з умови



Звідки

  
4. Якщо швидкість v зарядженої частинки спрямована під кутом а до вектора **В** (рис.), То її рух можна уявити як накладення двох рухів:  
а) рівномірного прямолінійного руху вздовж поля зі швидкістю vy =  
= V cos a; б) рівномірного руху зі швидкістю vy = Vsin а по колу в

площині, перпендикулярній полю.

Радіус кола визначається попередньою формулою (в даному випадку треба тільки виконати заміну v на vy = Vsin а ). Тому траєкторія зарядженої частинки - спіраль, вісь якої паралельна магнітному полю



**Таким чином, в загальному випадку заряджена частинка рухається в магнітному полі по спіралі.**

**Прискорювачі заряджених частинок**

Прискорювачами заряджених частинок називаються пристрої, в яких під  
дією електричних і магнітних полів створюються і формуються пучки високоенергетичних заряджених частинок (електронів, протонів, мезонів і т.д.).

Найбільш просто розглянути основні принципи дії прискорювачів частинок на прикладі циклотрону.

**Циклотрон** - циклічний резонансний прискорювач важких частинок  
(протонів, іонів). Його принципова схема наведена на рис.



Між полюсами сильного електромагніту ( див. рис.) розміщено вакуумну камеру, в якій знаходяться два електроди (1 і 2) у вигляді порожніх металевих напівциліндрів, або дуантів. До дуантів прикладено змінне електричне поле.

Магнітне поле, створюване електромагнітом, однорідне і перпендикулярно площині дуантів.

Якщо заряджену частку ввести в центр зазору між дуантами, то вона,  
прискорюється електричним і відхиляється магнітним полями, увійшовши до дуанту 1, опише півколо, радіус якої пропорційний швидкості частинки. До моменту її виходу з дуанту 1 полярність напруги змінюється (при відповідному підборі зміни напруги між дуантами), тому частинка знову прискорюється і, переходячи в дуант 2, описує там вже півколо більшого радіусу і т.д.

Для безперервного прискорення частинки в циклотроні необхідно виконувати умова синхронізму (умова «резонансу») - періоди обертання частинки в магнітному полі і коливань електричного поля повинні бути  
рівні. При виконанні цієї умови частинка буде рухатися по спіралі, що розгортається, отримуючи при кожному проходженні через зазор додаткову енергію. На останньому витку, коли енергія частинок і радіус орбіти доводять до максимально допустимих значень, пучок частинок за допомогою відхиляючого електричного поля виводять з циклотрону.

Повернемося до теоретичного аналізу можливостей розрахунків магнітних полів в складних системах. В таких випадках використовують інші методи розрахунків. Вони основуються на наступних теоретичних міркуваннях.

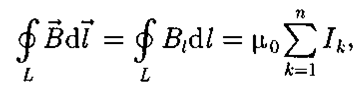
**Циркуляція вектора в магнітного поля в вакуумі та закон повного току.**

Циркуляцією вектора **В** по заданому замкнутому контуру називається інтеграл :



де d**l** - вектор елементарної довжини контуру, спрямованої уздовж обходу контуру; Bl = В cos a - складова вектора **В** в напрямку дотичної до контуру (з урахуванням обраного напрямку обходу); а - кут між векторами **В** і **dl**.

**Закон повного струму для магнітного поля у вакуумі (теорема про циркуляцію вектору В):** циркуляція вектора **В** за довільним замкнутим контуром дорівнює добутку магнітної постійної на алгебраїчну суму струмів, які охоплюються цим контуром:



Теорема про циркуляцію вектора **В** має в навчанні про магнітне поле таке ж значення, як теорема Гауса в електростатиці, так як дозволяє знаходити магнітну індукцію поля без застосування закону Біо - Савара -Лапласа. Нагадаємо, що розраховувати інтеграл в законі Біо - Савара –Лапласа сумісно з принципом суперпозицій магнітних полів є дуже важкою математичною проблемою.

ЗАСТОСУВАННЯ законів руху частинок в магнітному полі та формул для розрахунків магнітної індукції в складних системах, присвячено відповідні розділи завдання в пропонованому методичному посібнику.

Детально теоретичний матеріалу по темі магнітне поле може буті знайдено в рекомендованій літературі (Трофімова).