



ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Физика-техникалық факультеті

Плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасы



ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

Дәріс 10.

**Магнит және электр өрістеріндегі зарядталған
бөлшектердің қозғалысы**

қауымдастырылған профессор: Туреханова К.М.

e-mail: turekhanova.kunduz@kaznu.kz



Дәріс мақсаты Зарядталған бөлшектердің біртекті электр және магнит өрістеріндегі қозғалыс заңдылықтарын түсіндіру; траектория түрлерін (тік, параболалық, шеңберлік, винт тәрізді) шығарып көрсету;

Қарастырылатын мәселелер:
Электр және магнит өрістеріндегі зарядталған бөлшек қозғалысы

Лоренц күші – негізгі теңдеу

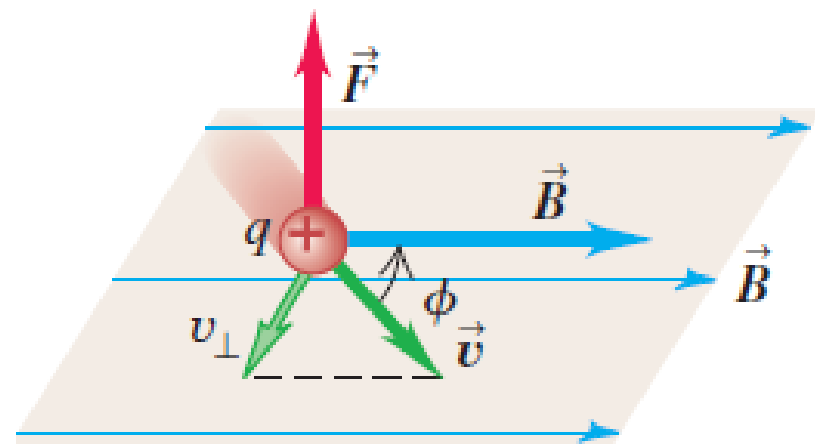
Зарядталған бөлшекке (заряды q , жылдамдығы $\vec{v}$) электр $\vec{E}$ және магнит $\vec{B}$ өрістері бір мезгілде әсер етсе, оған түсетін толық күш **Лоренц күші** деп аталады:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

- $q\vec{E}$ – электр күші (Ньютонның екінші заңы сияқты, энергияны өзгертеді);
- $q\vec{v} \times \vec{B}$ – магнит күші (жылдамдық бағытын өзгертеді, жұмыс атқармайды).

Қозғалыс теңдеуі:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$



Біртекті электр өрісіндегі қозғалыс

Егер $\vec{B} = 0$, тек электр өрісі бар:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E}$$

Біртекті $\vec{E} = \text{const}$ болса, үдеу тұрақты:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

Егер бастапқы жылдамдық өріс бағытымен бағыттас болса (1D қозғалыс):

$$v(t) = v_0 + \frac{qE}{m}t, \quad x(t) = x_0 + v_0t + \frac{qE}{2m}t^2$$

Егер $\vec{v}_0$ өріске көлденең бағытталса:

- Бір бағытта – бірқалыпты қозғалыс (өріске перпендикуляр),
- Екінші бағытта – үдеумен қозғалыс.

Нәтиже – **параболалық траектория** (электрондық-сәулелік түтікше, осциллограф, ЭЛТ мониторларындағы электрон шоқтарының ауытқуы).

Біртекті магнит өрісіндегі қозғалыс

Енді $\vec{E} = 0$, тек магнит өрісі бар деп алайық.

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

Күштің модулі:

$$F = |q|vB \sin \alpha$$

мұндағы α – $\vec{v}$ мен $\vec{B}$ арасындағы бұрыш.

- $\vec{F} \perp \vec{v}$, сондықтан жұмыс атқармайды:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{mv^2}{2} \right) = \vec{F} \cdot \vec{v} = 0 \Rightarrow v = \text{const}$$

Магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалысы

$$\vec{v} \perp \vec{B}$$

Тек магнит өрісі әсеріндегі зарядталған бөлшектр әрдайым тұрақты жылдамдықпен қозғалады.

$$F = |q|vB = m\frac{v^2}{R}$$

Radius of a circular orbit
in a magnetic field

Particle's mass

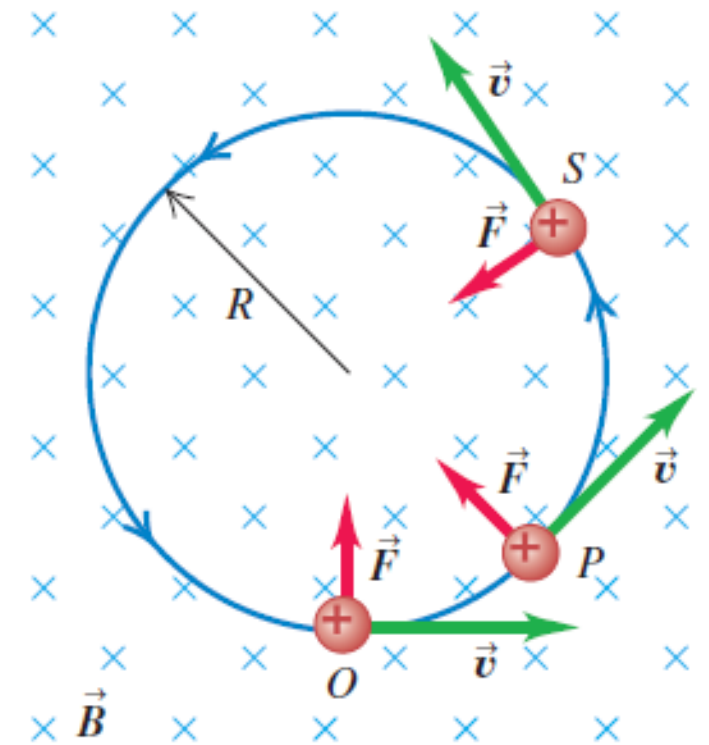
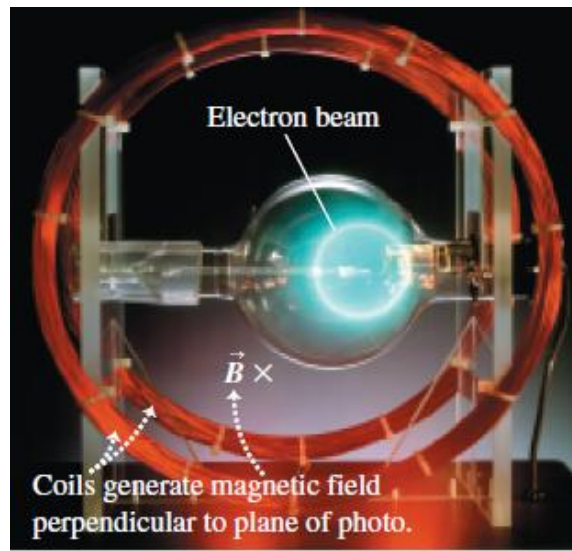
Particle's speed

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

Magnetic-field
magnitude

Particle's charge

$$\omega = \frac{v}{R} = v \frac{|q|B}{mv} = \frac{|q|B}{m}$$



Егер $\vec{v}$ $\vec{B}$ -мен бұрыш жасаса

Жылдамдықты екіге жіктейміз:

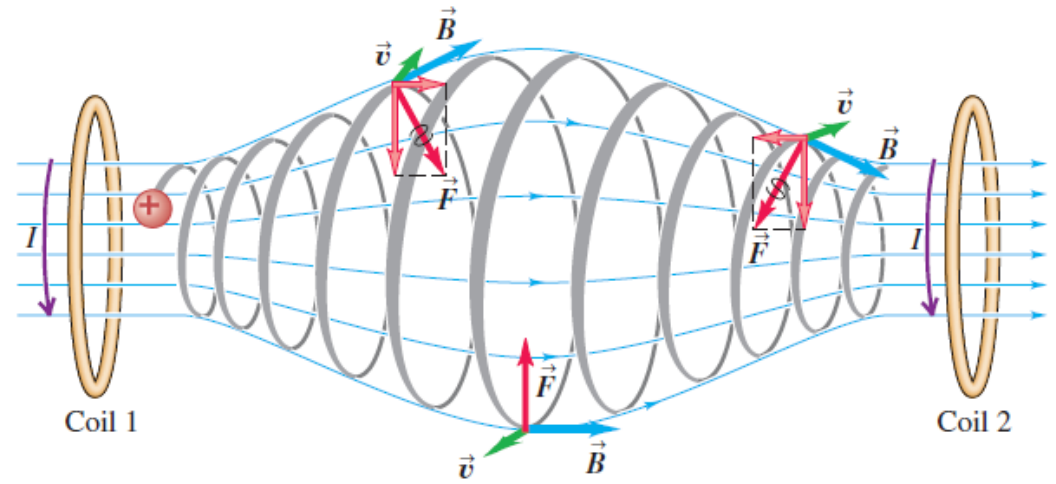
- $v_{\parallel}$ – $\vec{B}$ бойымен,
- $v_{\perp}$ – $\vec{B}$ -ға перпендикуляр.

$$\vec{v} = \vec{v}_{\parallel} + \vec{v}_{\perp}$$

- $v_{\parallel}$ өзгермейді – өріс бойымен **бірқалыпты қозғалыс**;
- $v_{\perp}$ – шеңбер бойынша қозғалыс туғызады.

Нәтиже – $\vec{B}$ бағытына **винттәрізді (спираль) траектория**.

Қолданылуы: зарядталған бөлшектердің траекторияларын магнит өрісте майыстыру (ЦЕРН, синхротрондар, масс-спектрографтарда, полярлық сәулелерде, Аврора Бореалис/Аустралис құбылысы).



Электр және магнит өрістеріндегі қозғалыс

Лоренц күші:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$$

Егер бөлшек тұрақты жылдамдықпен күшсіз жүрсін десек, яғни $\vec{F} = 0$:

$$q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = 0$$

$\vec{E} \perp \vec{B}$, ал $\vec{v}$ үшін арнайы шешім бар:

$$\vec{v} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$$

Модуль бойынша (қарапайым геометрияда) жиі қолданылатын шарт:

$$v = \frac{E}{B}$$

Яғни, жылдамдығы $v = E/B$ болатын бөлшектерге электр және магнит күштері **бағыты бойынша қарама-қарсы, модулі бойынша тең**, сондықтан $\vec{F} = 0$ – түзу сызықпен өтеді.

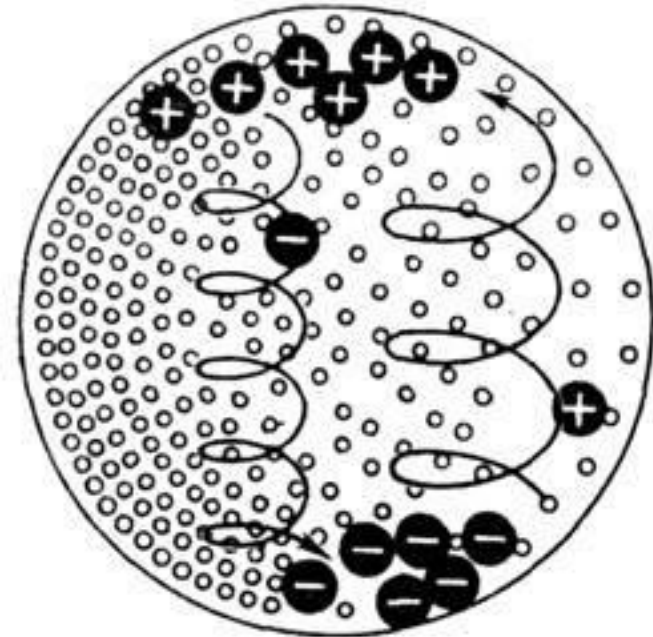
Жылдамдығы басқа бөлшектер бұрылады → **скоростной фильтр** (Wien фильтрі, масс-спектрографтар).

E×B-дрейф (плазма физикасында):

Плазмада зарядталған бөлшектердің орташа қозғалысы:

$$\vec{v}_{\text{дрейф}} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{B^2}$$

Бұл дрейф зарядтың таңбасына тәуелсіз, сондықтан электрондар мен иондар бір бағытта бірге «ығысады».



Практикалық қолданылуы (қысқаша мысалдар)

1. Электрондық-сәулелік түтікше (ЭЛТ, осциллограф):

- Электрондар электр өрісімен үдетіліп, біртекті $\vec{E}$ мен $\vec{B}$ өрістерінде ауытқып, экранда жарық нүкте береді.

2.

Масс-спектрометр / масс-спектрограф:

- Иондалған бөлшектер разрядта алынады,
- Біртекті магнит өрісіне түсіп, траекториялары майысады,
- Радиус $R = \frac{mv}{|q|B}$ бойынша массаларды ажыратуға болады.

3.

Циклотрон:

- Бөлшектер магнит өрісінде шеңбер бойымен қозғалады,
- Электр өрісі резонанстық режимде бөлшекті үдетеді,
- Циклотрон жиілігі $\omega = |q|B/m$ – жылдамдыққа тәуелсіз (релятивистік емес жағдайда).

4. Жердің магнит өрісі және ғарыш сәулелері:

- Жоғары энергиялы зарядталған бөлшектер Жердің магнитосферасында майысып, планета айналасында тороидтық белдеулер құрайды (Ван-Аллен белдеулері),
- Полярлық сәулелер (аврора) – магнит өрісі бойымен атмосфераға енген бөлшектер әсерінен.



Бақылау сұрақтары:

1. Біртекті электр өрісіндегі зарядталған бөлшектің қозғалыс теңдеуін жазыңыз. Неліктен траекториясы параболалық болуы мүмкін?
2. Лоренц күшінің формуласын жазыңыз. Бұл күш не себепті жылдамдыққа перпендикуляр болады?
3. Неліктен магнит өрісі зарядталған бөлшектің энергиясын өзгертпейді?

Пайдаланылған әдебиеттер:

1. Бәйімбетов Ф.Б., Рамазанов Т.С. Электр және магнетизм. – Алматы: Қазақ университеті, 2011. – 199 б.
2. Бәйімбетов Ф.Б., Аймауытов Д., Құрманбеков А. Физика есептері (Электр және магнетизм). – Алматы: Қазақ университеті, 2005. – 216 б.
3. Архипов Ю.В. Краткий конспект лекций по курсу "Электричество и магнетизм" : учеб.-методическое пособие КазНУ 2009
4. Габдуллина Г.Л., Қисан А., Абыканова Б.Т. Электр және магнетизм курсы бойынша қысқаша дәрістер мен есептер жинағы : оқу-әдістемелік құрал, Әл-Фараби атын. ҚазҰУ. - Алматы : Қазақ ун-ті, 2017. - 161 б.
5. Туреханова К.М. Электр және магнетизм курсы бойынша есептер жинағы/ Оқу құралы, әл-Фараби атын. ҚазҰУ. - Алматы : Қазақ ун-ті, 2017. – 191 б.
6. Raymond A. Serway, John W. Jewett, Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics 9th ed. – Cengage Learning, 2014. – 1622 p.