

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

Физика-техникалық факультеті

**Плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика
кафедрасы**

Туреханова К.М.

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

пәні бойынша дәрістер жинағы

«6B05306 Физика және астрономия» білім беру бағдарламасы
бойынша білім алушы студенттерге арналған

Алматы, 2025

Дәріскер: Туреханова К.М. turekhanova.kunduz@kaznu.kz



ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ



Дәріс 8.

Вакуумдағы магнит өрісі. Магнит өрісінің сипаттамалары. Ампер заңы. Лоренц күші. Био-Савар-Лаплас заңы. Магнит индукциясы векторының циркуляциясы туралы теорема.

Дәріс мақсаты: Вакуумдағы магнит өрісінің физикалық табиғатын түсіндіру, магнит өрісін сипаттайтын негізгі шамаларды (магнит индукциясы, магнит ағыны, өріс сызықтары) енгізу; Лоренц күшін, Ампер заңын және Био-Савар-Лаплас заңын қолдана отырып, токтар жүйесінің тудырған магнит өрісін есептеуге үйрету

Қарастырылатын мәселелер: Магнит өрісі ұғымы және оның вакуумдағы қасиеттері; Магнит өрісінің сипаттамалары: магнит индукциясы векторы $\vec{B}$, магнит ағыны Φ , өріс сызықтары; Қозғалыстағы зарядқа және тоққа әсер ететін Лоренц күші; Тұрақты ток тудыратын магнит өрісі. Био-Савар-Лаплас заңы. Ампер заңы.

Қысқаша конспект:

Электр және магнит өрістері бір-біріне тек статикалық жағдайда ғана тәуелсіз болады. Стационар емес процестерде электр және магнит өрістерін сипаттайтын шамалар өзара тәуелді. Қозғалмайтын нүктелік зарядтардың өзара әсері толықтай Кулон заңы арқылы сипатталады. Алайда қозғалатын зарядтардың әрекеттесуін талдау үшін Кулон заңы жеткіліксіз; бұл кеңістік пен уақыттың релятивистік қасиеттерімен және релятивистік қозғалыс теңдеуімен байланысты. Релятивистік инвариантты қозғалыс теңдеулері бойынша әртүрлі инерциялық санақ жүйелерінде мынадай қорытынды шығады: тыныштықтағы жүйемен салыстырғанда, қозғалып тұрған санақ жүйесінде қосымша — магниттік күш пайда болады.

Тыныштықтағы санақ жүйесінде нүктелік q заряды мен бірдей таңбалы зарядтардың көлемдік тығыздығы ρ бар шексіз ұзын сымның бір-бірін Кулон күшіне сәйкес тебетінін көрсетуге болады.

$$F_y' = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{q\rho S_0}{y_0}$$

мұндағы параметрлер тыныштықтағы санақ жүйесінде анықталады. S_0 жіптің (сымның) көлденең қима ауданы; y_0 — зарядтан жіпке дейінгі ең

кіші қашықтық; ϵ_0 — вакуумның электр тұрақтысы. Қозғалатын санақ жүйесінде Кулон күші мына түрде жазылады:

$$f_y = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{q\rho S_0}{y_0}$$

Қозғалатын санақ жүйесінде ұзындықтың қысқаруына байланысты $\rho = \rho' / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ қатынасы орындалады, сондықтан $f_y = F_y' / \sqrt{1 - v^2/c^2}$. тыныштық күйдегі және қозғалатын санақ жүйесіндегі уақыт қалыстарының $dt' = dt \sqrt{1 - v^2/c^2}$ қатынасын және қозғалыс тендеулерін қолдану арқылы толық күштердің арасындағы байланысты $F_v = F_v' \sqrt{1 - v^2/c^2}$ табамыз. Сонда толық күшпен Кулон күші арасындағы байланыс $F_y = f_y(1 - v^2/c^2)$.

Бұл Кулондық тебілу күші f_y қозғалыстағы зарядқа әсер ететін толық күштен F_y -дан үлкен екенін білдіреді. Демек, Кулондық тебілу күшінен бөлек, тартылыс күші (магниттік күш) бар. Оның шамасы $f_y \frac{v^2}{c^2}$ -ға тең болады.

Ток элементтерінің өзара әрекеттесу заңы Эрстедтің (1820 ж. — магнит тілшесінің өткізгіштен өтетін токпен өзара әсері), Ампердің (1820 ж. — параллель өткізгіштердің өзара әсері), сондай-ақ Био мен Савардың тәжірибелеріне сүйеніп, эксперименттік түрде ашылды. Өзара әсер күші қашықтыққа r^{-2} заңымен тәуелді екендігі Лаплас тарапынан теориялық түрде негізделіп, расталды.

Грассман жазбасы
$$d\vec{F}_{12} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{J_2 d\vec{l}_2 \times (J_1 d\vec{l}_1 \times \vec{r}_{12})}{r_{12}^3}$$

Ток элементтерінің өзара әсерлесуі лезде емес, жақын әсер ету теориясына сәйкес жарық жылдамдығымен жүзеге асады.

Алынған токтардың өзара әрекеттесу заңынан екі маңызды қатынасты: Био–Савар–Лаплас және Ампер заңдарын алуға болады.

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{J d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3},$$

$$dF = J d\vec{l} \times \vec{B} = \vec{j} \times \vec{B} dV.$$

Осыдан тогы бар шексіз жіптің магнит өрісін табуға болады:

$$B = \frac{\mu_0 J}{2\pi r}$$

Ампер заңы бойынша екі шексіз ұзын, параллель өткізгіштің (токтары I_1, I_2 , өзара арақашықтығы r) бірлік ұзындыққа келетін өзара әсер күші:

$$dF_{12} = -\frac{\mu_0}{2\pi} \frac{J_1 J_2}{r} dx_2$$

Био–Савар–Лаплас заңының көмегімен ұзындығы l болатын ток жүретін өткізгіштің одан b қашықтықтағы магнит индукциясын анықтауға болады.

$$B = \frac{\mu_0 J}{4\pi b} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)$$

мұнда өріс анықталатын нүктеден ток жүретін кесіндіге түсірілген перпендикулярдың кесіндімен қиылысу нүктесі мен кесіндінің ұштары арасындағы бұрыштар ескеріледі.

Шеңбер бойымен қамтылған ток:

$$B = \frac{\mu_0 J}{2r}$$

Соленоид ішіндегі өріс:

$$B = \frac{\mu_0 n J}{2L} \left[\frac{-z + L/2}{[(z - L/2)^2 + r^2]^{1/2}} + \frac{z + L/2}{[(z - L/2)^2 + r^2]^{1/2}} \right]$$

мұндағы L, r, n - соленоидтың ұзындығы, радиусы және орам саны.

Ампер күшінің қатынасын пайдалана отырып, магнит өрісінің шамасына қарай орын ауыстыратын ток өтетін рамканы (ілімек) электр құрылғыларын жасауға болады.

Магнит өрісінде қозғалатын зарядталған бөлшектерге Лоренц күші әсер етеді.

$$\vec{F} = e[\vec{v} \times \vec{B}]$$

Бұл қатынасты Ампер күшінің формуласынан оңай қорытуға болады:

$$d\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B} dV = en\vec{v} \times \vec{B} dV = dq\vec{v} \times \vec{B}$$

Осыдан Лоренц күші үшін өрнек шығады. Лоренц күші қозғалыс бағытына да, магнит өрісіне де перпендикуляр әсер етеді.

Магниттік индукцияның $\vec{B}$ векторының тұйық контур бойымен циркуляциясының өрнегін жазайық. Тогы бар шеңбер пішіндес контурдағы $\vec{B}$ векторының циркуляциясы мына түрде болады:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l}$$

Циркуляция контуры ретінде өткізгішті қамтитын, одан r қашықтықта орналасқан шеңберді таңдайық; онда түзу токтың өрісіне арналған қатынасты пайдаланып, мынадай нәтижені аламыз.

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L \frac{\mu_0 J}{2\pi r} dl = \mu_0 J$$

Бұл өрнек ток заңы деп аталады; ал оң жағына молекулалық токтарды (өткізгіштік тоғынан бөлек) қоссақ, толық ток заңын аламыз. Циркуляция контуры ретінде өткізгішті қамтитын кез келген контурды алуға болады.

Ток заңынан магнит өрісінің құйынды сипатын болады:

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 J = \mu_0 \int_S \vec{j} d\vec{S}$$

Осыдан Стокс теоремасын қолдансақ, онда

$$\text{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$$

Магнит индукция векторының роторы нөлге тең еместігін байқаймыз, яғни

магнит өріс құйынды болып табылады және магнит зарядтары $\text{div} \vec{B} = 0$ болмайды.

Бақылау сұрақтары:

1. Магнит өрісінің табиғатын түсіндіріңіз.
2. Магнит өрісінің құйынды сипатын түсіндіріңіз.
3. Тогы бар өткізгішке магнит өрісі тарапынан әсер ететін күшті қорытыңыз..
4. Қозғалыстағы зарядталған бөлшекке әсер ететін күшті қорытыңыз.

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.