

7 – дәріс

Тақырып: Магнит өрісі. Ампер заңы. Био-Савар-Лаплас заңы

Дәріс мазмұны: 1. Магнит өрісі. Магнит өрісінің тоғы бар өткізгіштерге әсері. Ампер заңы. Параллель токтардың әсерлесуі. 2. Био-Савар-Лаплас заңы және оны қолдану. 3. Вакуумдағы магнит өрісі үшін \vec{B} векторының циркуляциясы. Толық ток заңы. 4. Магнит индукциясы векторының ағыны. Магнит өрісі үшін Гаусс теоремасы. 5. Магнит өрісінде тоғы бар өткізгішті. Орын ауыстырғанда атқарылатын жұмыс

1. Магнит өрісі. Магнит өрісінің тоғы бар өткізгіштерге әсері. Ампер заңы. Параллель токтардың әсерлесуі.

Тәжірибе, тоғы бар өткізгішке магнит өрісі тарапынын күш әсер ететіндігін көрсетеді. Магнит өрісінде орналасқан dl ток элементіне әсер етуші күш Ампер ашқан заңмен өрнектеледі. Ампер заңының математикалық өрнегі:

$$d\vec{F} = I \left[d\vec{\ell} \cdot \vec{B} \right], \quad (7.1)$$

мұндағы I – ток күші, \vec{B} – $d\vec{\ell}$ элементі орналасқан нүктедегі магнит индукциясы. Ампер күші әруақытта $d\vec{\ell}$ және \vec{B} векторлары жатқан жазықтыққа перпендикуляр болады. Ампер күшінің бағытын жалпы векторлық көбейту ережесі (бұрғы ережесі) бойынша анықтауға болады. Практикада Ампер күшінің бағытын сол қол ережесімен анықтайды. Сол қол ережесі бойынша: *сол қолымыздың алақанына \vec{B} векторы перпендикуляр кіретіндей етіп, ал тік төрт саусақтың бағытын тоқтың бағытына бағыттасақ, онда тік бұрышқа бұрылған бас бармақ Ампер күшінің бағытын көрсетеді.*

Ампер күшінің модулі, яғни оның скалярлық түрі мына формуламен өрнектеледі:

$$dF = I B dl \sin \alpha, \quad (7.2)$$

мұндағы α – $d\vec{\ell}$ және \vec{B} векторлары арасындағы бұрыш. Ампер заңының көмегімен екі параллель, шексіз ұзын, түзу токтардың әсерлесу күшін төмендегі өрнек арқылы анықтауға болады:

$$dF = \frac{\mu_0 2I_1 I_2}{4\pi R} dl. \quad (7.3)$$

Бұл формула Бірліктердің Халықаралық Жүйесіндегі (БХЖ) негізгі электрлік өлшем бірлігі – амперді анықтау үшін негізгі өрнек болып табылады. Ампер – екі шексіз ұзын, түзу, параллель өте кіші дөңгелек қимасы бар, вакуумда ($\mu=1$) бір-бірінен 1 метр қашықтықта орналасқан және әр метр ұзындығында $2 \cdot 10^{-7}$ Н күшімен әсерлесетін өткізгіштер арқылы ағатын, өзгермейтін ток күшіне тең шама. Магнит тұрақтысы μ_0 -дің сандық

мәнін есептеп шығарайық. Екі параллель өткізгіш вакуумда ($\mu=1$) орналасатын болса, онда өткізгіштің бірлік ұзындығындағы әсерлесу күші:

$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{R} . \quad (7.4)$$

Ампердің анықтамасына сәйкес, $I_1 = I_2 = 1 \text{ А}$ және $R = 1 \text{ м}$ үшін $\frac{dF}{dl} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ болады. Осыларды (1.9) формулаға қоятын болсақ:

$$2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{м}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{1\text{А} \cdot 1\text{А}}{1\text{м}} .$$

Бұдан:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{А}^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}, \quad (7.5)$$

мұндағы генри (Гн) – индуктивтіліктің өлшем бірлігі. Ампер заңы сонымен бірге, магнит индукциясының (В) өлшем бірлігін анықтауға мүмкіндік береді. Егер тогы бар өткізгіштің элементі магнит өрісінің бағытына перпендикуляр ($\alpha = \frac{\pi}{2}$) болса, онда Ампер заңы былай жазылады:

$$dF = IBdl,$$

бұдан:

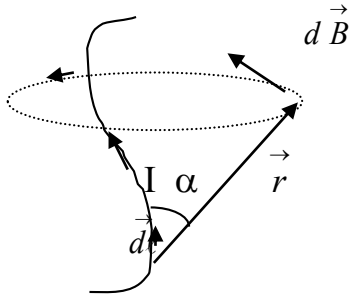
$$B = \frac{dF}{Idl} . \quad (7.6)$$

Магнит индукциясының өлшем бірлігі – тесла (Тл). 1 Тл - өріс бағытына перпендикуляр орналасқан түзу сызықты өткізгіш арқылы 1 А ток ағатын болса, сол өткізгіштің әрбір метр ұзындығына 1 Н күшпен әсер ететін біртекті магнит өрісінің индукциясы:

$$1\text{Тл} = \frac{1\text{Н}}{(\text{А} \cdot \text{м})} .$$

2. Био-Савар-Лаплас заңы және оны қолдану

1720 жылы дат физигі Х. Эрстед тогы бар өткізгіштердің магнит стрелкасына әсерін байқап, оны магнит өрісі деп атады. Бұл өріс оған енгізілген магнит стрелкалары мен тогы бар өткізгіштерге бағыттаушы әсер етеді. 1720 жылы француз ғалымдары Био және Савар әртүрлі пішінді токтар үшін магнит өрістерін зерттеді. Бұл ғалымдардың зерттеулері бойынша, барлық жағдайларда магнит өрісінің индукциясы \vec{B} , осы өрісті тудыратын токқа I тура пропорционал, ал индукциясы анықталатын нүктеге дейінгі арақашықтықтың квадратына кері пропорционал болады екен. Тәжірибеден алынған нәтижелерді тұжырымдап, Лаплас ұзындығы dl ток элементінен пайда болатын магнит өрісінің индукциясын анықтайтын өрнекті тапты.



7.1-сурет. $d\vec{B}$ векторының бағытын анықтау.

Өрнекті жазу түрі оны интегралдағанда тәжірибе нәтижелерімен сәйкес келетін магнит өрісінің мәні шығатындай етіп алынған:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I \left[d\vec{\ell} \cdot \vec{r} \right]}{r^3}, \quad (7.1)$$

мұндағы $d\vec{\ell}$ – токтың элементар бөлігімен бірдей болатын және ток жүретін бағыт бойынша алынған вектор, \vec{r} – токтың элементар бөлігінен магнит индукциясы \vec{B} анықталатын нүктеге жүргізілген радиус-вектор. (7.1) өрнегі Био-Савар-Лаплас заңының векторлық түрі болып табылады. $d\vec{B}$ векторы $d\vec{\ell}$ мен \vec{r} векторлары арқылы өтетін жазықтыққа перпендикуляр. Магнит индукциясы векторының модулі келесі өрнекпен анықталады:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Id\ell}{r^2} \sin \alpha, \quad (7.2)$$

мұндағы α – $d\vec{\ell}$ мен \vec{r} арасындағы бұрыш.

(7.2) өрнегі Био-Савар-Лаплас заңының скалярлық түрі. Магнит өрісі үшін суперпозиция принципі орындалады: берілген нүктедегі бірнеше токтардың тудыратын магнит өрісінің қорытқы индукция векторы осы нүктедегі әрбір ток тудыратын өрістердің магнит индукцияларының векторлық қосындысына тең:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i. \quad (7.3)$$

1. Био-Савар-Лаплас заңын пайдаланып тогы бар шексіз ұзын түзу өткізгіштің төңірегіндегі магнит өрісінің индукциясын анықтауға болады. *Тогы бар шексіз ұзын түзу өткізгіштің центрінен өткізгішке перпендикуляр R қашықтықтағы нүктедегі магнит индукциясы:*

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R}. \quad (7.4)$$

2. Дөңгелек токтың центріндегі магнит өрісінің индукциясы:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}. \quad (7.5)$$

3. Вакуумдағы магнит өрісі үшін \vec{B} векторының циркуляциясы. Толық ток заңы

Берілген тұйық контур бойымен \vec{B} векторының циркуляциясы деп мына интегралды айтады:

$$\oint \vec{B} d\vec{\ell} = \oint B_{\ell} dl \quad (7.6)$$

мұндағы $B_{\ell} = B \cos \alpha$ - контурға жанама бағытындағы \vec{B} векторының құраушысы, $d\vec{\ell}$ - контурдың элементар ұзындық векторы (контурды айналып өту бағытындағы), α - \vec{B} және $d\vec{\ell}$ векторлары арасындағы бұрыш. Бұл интеграл тогы бар түзу өткізгіштің магнит өрісі үшін оңай есептелінеді. Бұл контурдың әрбір нүктесінде \vec{B} векторы модуль бойынша бірдей, шеңберге жанама бойымен бағытталған. \vec{B} векторының циркуляциясы мынаған тең:

$$\oint B_{\ell} dl = \oint B dl = B \oint dl = B \cdot 2\pi r = \mu_0 I \quad (7.7)$$

Егер контур токты қамтымаса, \vec{B} векторының циркуляциясы нөлге тең болады. Кез келген пішінді өткізгіш арқылы жүретін ток үшін де бұл теңдеуді пайдалануға болатынын дәлелдеуге болады. Вакуумдағы магнит өрісі үшін толық ток заңын тұжырымдайық: кез- келген тұйық контур бойынша \vec{B} векторының циркуляциясы магнит тұрақтысын μ_0 осы контурды қамтитын токтардың алгебралық қосындысына көбейткенге тең болады:

$$\oint \vec{B} d\vec{\ell} = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k, \quad (7.7)$$

мұндағы n – пішіні еркін алынған контурмен қамтитын тогы бар өткізгіштердің жалпы саны.

4. Магнит индукциясы векторының ағыны. Магнит өрісі үшін Гаусс теоремасы

dS ауданы арқылы өтетін магнит индукциясының ағыны (не магнит ағыны) деп \vec{B} магнит индукциясын ds ауданы мен ауданға түсірілген нормаль және магнит индукциясы векторының арасындағы α бұрышының косинусына көбейткенге тең скаляр физикалық шаманы айтады:

$$d\Phi = \vec{B} d\vec{S} = B_n dS = B S \cos \alpha, \quad (7.1)$$

мұндағы $B_n = B \cos \alpha$ – \vec{B} векторының dS ауданына түсірілген нормаль бағытына түсірілген проекциясы, α – \vec{n} мен \vec{B} векторларының арасындағы бұрыш, $d\vec{S} = dS \cdot \vec{n}$ – бағыты ауданға түсірілген нормальдің \vec{n} бағытымен бағыттас бірлік аудан векторы, вектордың модулі dS -ке тең.

Магнит ағыны – алгебралық шама, ол оң ($d\Phi > 0$) және теріс ($d\Phi < 0$) болуы мүмкін. Ағынның таңбасы $\cos\alpha$ -нің таңбасына тәуелді және нормальдің оң бағытын таңдап алынумен анықталады. Егер ағын ток жүретін контурмен байланысты болса, контурға түсірілген нормальдің оң бағыты ток бағытымен оң бұрғы ережесі бойынша байланысқан. Бұл кезде $\cos\alpha > 0$ және магнит ағыны $d\Phi > 0$.

Еркін алынған бет S арқылы өтетін магнит индукциясы векторының ағыны:

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int_S B_n dS. \quad (7.2)$$

Өріс біртекті болса ($\vec{B} = \text{const}$), ал бет жазық болып және \vec{B} векторына перпендикуляр орналасса, онда $B_n = B = \text{const}$ және

$$\Phi = B \cdot S. \quad (7.3)$$

Магнит ағынының өлшем бірлігі – «Вебер»

(Вб): 1 Вб – индукциясы 1 Тл біртекті магнит өрісіне перпендикуляр орналасқан ауданы 1 м^2 жазық бетті қиып өтетін магнит ағыны ($1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2$).

Магнит индукциясы векторының ағыны контур ауданын қиып өтетін магнит өрісі күш сызықтарының санына тең.

Магнит өрісі \vec{B} үшін Гаусс теоремасы: кез келген тұйық бет арқылы өтетін магнит индукция векторының ағыны нөлге тең:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \oint_S B_n dS = 0. \quad (7.4)$$

Бұл тұжырым табиғатта магнит зарядтарының жоқ екендігін және магнит индукция сызықтарының тұйықталғандығын көрсетеді.

5. Магнит өрісінде тогы бар өткізгішті. Орын ауыстырғанда атқарылатын жұмыс

Қозғалмайтын сымдар мен олардың үстімен жылжитын сым бөлігінен тұратын тогы бар контурды қарастырайық. Егер мұндай контур оның жазықтығына перпендикуляр болатын біртекті магнит өрісінде орналасатын болса, онда сым бөлігі Ампер күші әсерінен орын ауыстыра бастайды. Демек, магнит өрісі - тогы бар өткізгіш орын ауыстырғанда жұмыс атқарады.

Өткізгіш бөлігіне әсер ететін күш \vec{F} оңға қарай бағытталған, ол $F = Il$, мұндағы l – өткізгіш бөлігінің ұзындығы.

Өткізгіш бөлігі dx -қа орын ауыстырғанда, Ампер күші оң жұмыс атқарады:

$$dA = F dx = I B l dx = I B dS = I d\Phi,$$

мұндағы $dS = l dx$ – магнит ағыны қиып өтетін аудан, $d\Phi = B \cdot dS$ – dS ауданын қиып өтетін магнит индукциясы векторының ағыны.

Сонымен, магнит өрісінде тогы бар өткізгішті орын ауыстырғанда істелетін жұмыс - ток күшін қозғалатын өткізгішті қиып өтетін магнит ағынына көбейткенге тең:

$$dA = Id\Phi . \quad (7.5)$$

Бұл формуланы бағыты еркін алынған \vec{B} векторы үшін де қолдануға болады.

Әдебиеттер:

Нег. 2[114-147], 7[226-245], 7 [204-22].

Қос. 22 [133-153], 47 [173-194].

Бақылау сұрақтары:

1. Тұрақты ток өрісінің магниттік индукциясы қалай есептеледі?
2. Толық ток заңына сүйеніп, қандай жағдайларда магнит индукциясын табу ыңғайлы болып табылады?
3. Орам саны бар дөңгелек токтың центріндегі магнит өрісінің индукциясы неге тең?