

Лекция 8. Магнит өрісі. Магнит өрісінің табиғаты. Тұрақты магнит өрісі. Био-Савар заңы.

1. Тұрақты магнит

Тұрақты магниттер –өзінің магниттелу қасиетін ұзақ сақтайтын денелерді айтады. Магниттердің негізгі қасиеті – ол темірден немесе оның қоспасынан жасалған денелерді тарту. Тұрақты магнит әрдайым екі полюсі бар: солтүстік (N) және оңтүстік (S). Тұрақты магниттің ең күшті магнит өрісі оның полюстерінде. Тұрақты магниттерді көбіне темірден, шойыннан және т.б. темір құймаларынан, сонымен қатар никельден, кобальттан және т.б. дайындайды. Магниттер табиғи (темір рудаларынан) немесе жасанды (темірге магнит өрісінде магниттеу арқылы) болады.

Магниттердің өзара әсерлесуі: аттас тебіледі, әр аттас полюстер тартылады. Магниттердің өзара әсерлесуі кез-келген магниттің магнит өрісінің болуымен және олардың өзара әсерлесуімен түсіндіріледі.

Тұрақты магниттің магнит өрісі. Темірдің магниттелу себебі қандай? Француз ғалымы Ампердің гипотезасына байланысты әр заттың ішінде элементар тоқтар болады (Ампер тогы) – олар атомдағы электрондардың ядроны және өз өстерін айналып қозғалуынан пайда болады. Электрондар қозғалғанда элементар магнит өрістері пайда болады. Темір кесегін сыртқы магнит өрісіне әкелгенде барлық элементар магнит өрістері бұл темірде сыртқы магнит өрісімен бірдей бағытталады да, өзіндік магнит өрісін құрайды.

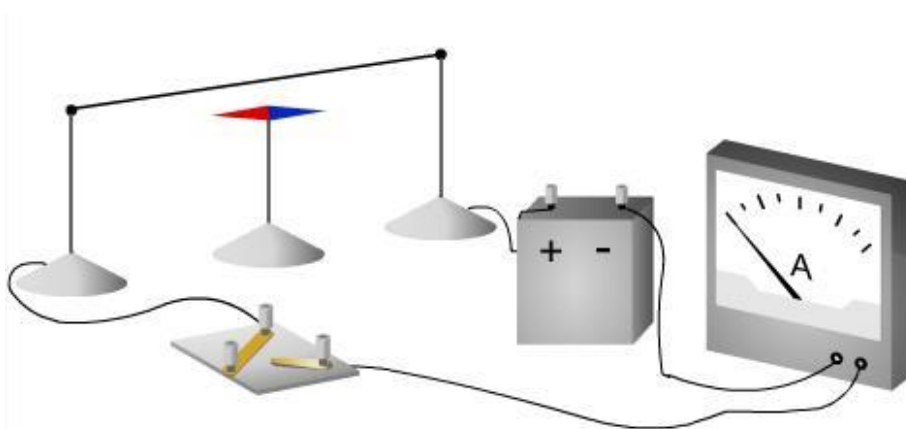
Тұрақты магниттің магнит өрісі қалай көрінеді?

Магнит өрісінің түрін темір ұнтақтары арқылы елестетуге болады. Қағаз үстіне магнитке темір ұнтақтарын себу арқылы көруге болады.

1600 жылы Уильям Гильберт “Магнит, магниттік заттар және үлкен магнит-Жер туралы” деп аталатын шығармасында магнит және электр құбылыстарына жасаған өз зерттеулерін (600-дей тәжірибе) жазды және электр және магнетизмнің алғашқы теориясын құрастырды. Ол мынаны анықтады: магниттің әрдайым екі полюсі болатынын – сол және оң; магнитті бөлгенде ортасынан ешқашан бір полюсті магнит алынбайтынын; аттас полюстер тебілетінін, ал әр аттас полюстер тартылатынын; темір заттар магниттің арқасында магниттік қасиеттерге ие болатынын. Магниттелген шардың магниттік қасиеттерін магниттік тілше арқылы зерттей отырып, мынадай қорытындыға келді: олардың Жердің магнит қасиеттеріне сәйкес келетіндігін. Осыдан, магниттік тілшенің бұрылуын түсіндірді.

2. Эрстед тәжірибесі

Эрстед тәжірибесі электр және магнит құбылыстарын байланысты көрсетеді. Мұндай байланыстың бар екенін оған дейінгі зерттеушілер айтқан болатын. Мысалы, электростикада аттас зарядтардың мен әр аттас зарядтардың, магнетизмде полюстердің тартылуы мен тебілуі. Негізгі қиындық осы екі құбылысты байланыстыратын тәжірибенің болмауынан. Вольт тәжірибесінен (Вольт батареясы пайда болғаннан соң) кейін ғана мүмкіндік пайда болды. Вольт батареясы тәжірибесінде екі бағанға тартылған металл өткізгіш пайдаланды. Өткізгіш астына магниттік тілше орнатылды, ол магнит өрісімен бағыттас қойылды, яғни солдан оңға қарай. Өткізгіш кілт арқылы ток көзі қосылған. Басында тізбекте ток болған жоқ. Ал өткізгіш бағыттауыш тілшеге параллель орналастырылды.



Сурет 1 — Эрстед тәжірибесінің схемасы

Тәжірибеден, тізбекке ток қосқанда магниттік бағыттауыш 90 градус бұрышқа, яғни өткізгішке перпендикуляр бұрылатынын көруге болады. Сонымен қатар бірнеше рет тербеліс жасап барып тоқтайтынын байқаймыз. Токты өшіргенде магниттік бағыттауыш орнына, яғни жер өрісінің бағытына қайтып келеді. Бұл тәжірибе тогы бар өткізгіштің айналасында магниттік тілшенің қозғалысын туғызатын күш пайда болады да ол магнитке әсер етеді.

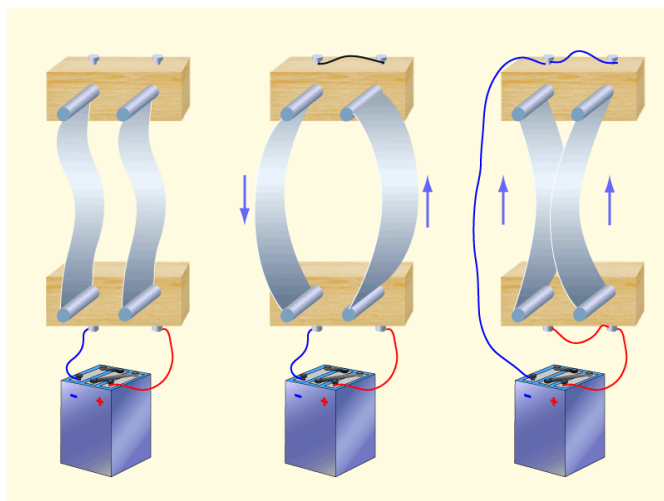


Сурет 2 — Магниттік бағыттауыштың өткізгіш бойымен ток өткенде бұрылуы

Сонымен, Эрстед тәжірибесі тогы бар өткізгіштің айналасында магнит өрісі болатынын көрсетеді.

3. Ампер тәжірибесі.

Ампер электр және магнит құбылыстарының арасындағы байланыс бар екенін көрсетті. Екі параллель өткізгіш бойымен ток өткізеді. Егер токтардың бағыттары бағыттас болса, параллель токтар бір-біріне тартылады; токтардың бағыттары қарама-қарсы болса, өткізгіштер бір-бірінен тебіледі; Яғни токтардың айналасында магнит өрісі пайда болады.



Сурет 3- Ампер тәжірибесі

4. Магнит өрісі.

Магнит өрісі — материяның ерекше бір түрі және келесі қасиеттерге ие:

Қозғалыстағы зарядтардың әсерінен электр тогы пайда болады. Ендеше магнит өрісі дегеніміз – электр тогы тудыратын өріс. Ол өріс – электр тогының өзара әсерін жүзеге асырады. Қозғалмайтын электр зарядтары арасында Кулон заңы бойынша анықталатын күштер әсер етеді. Жақыннан әсер ету теориясына сәйкес бұл өзара әсер былай жүзеге асады: зарядтардың әрқайсысы екінші зарядқа әсер ететін электр өрісін тудырады және керісінше.

Ток өткен өткізгіштердің өзара әсерін, яғни қозғалыстағы электр зарядтарының арасындағы өзара әсерлерді *магниттік өзара әсер* деп атайды. Ток өткен өткізгіштердің бір-біріне әсер ету күштерін *магниттік күштер* деп атайды.

Жақыннан әсер ету теориясы бойынша өткізгіштердің біреуіндегі ток басқа токқа тікелей әсер ете алмайды. Магнит өрісі дегеніміз материяның ерекше бір түрі – электрлі зарядталып, қозғалысқа түскен бөлшектердің өзара әсері сол өріс арқылы жүзеге асырылады.

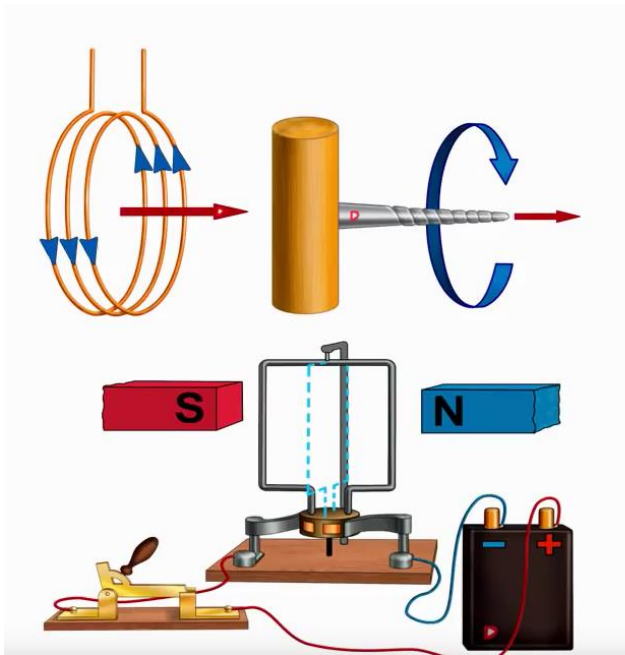
Магнит өрісінің тәжірибе жүзінде тағайындалған негізгі қасиеттері мыналар:

1. Магнит өрісін электр тогы (қозғалысқа түскен зарядтар) тудырады.

2. Магнит өрісі электр тогына (қозғалысқа түскен зарядтарға) тигізетін әсерден барып байқалады.

Магнит өрісін тек электр тогы ғана емес тұрақты магниттер де тудырады. Егер біз иілгіш өткізгішке тогы бар раманы магнит полюстарының арасына келтіріп іліп қойсақ, онда рама, өз жазықтығы магнит полюстарын қосатын сызыққа перпендикуляр болғанша бұрыла береді. Сонымен, магнит өрісінің тогы бар рамаға тигізер әсері тек бағдар жөнінен ғана екен. Егер де электростатикалық өрістің бар жоғы оған әкелінген зарядталған денелерге әсер етуші күш арқылы білінсе, магнит өрісі осы өріске әкелінген тогы бар өткізгішке әсер ететін күш арқылы білінеді. Сөйтіп, электрлік және магниттік құбылыстардың осындай өзара байланысын бірінші рет 1820 ж. дат физигі Эрстед (1777-1851) ашқан болатын. Яғни ағатын ток маңына магнит стрелкасын қойсақ, онда стрелканын ток бағытына қарай бағытын біршама өзгерткендігін байқаған. Эстердің бұл жаңалығы көптеген физиктерді қызықтырып, осыдан бастап олар электромагниттік құбылыстарды кеңінен зерттей бастады. Солардың бірі француз физигі Ампер болды. Ампердің болжауынша магнит стрелкасын тек ток қана емес, ток жүріп тұрған өткізгіш те әсер ете алады деді. Сөйтіп ол мынадай тәжірибе жасады. Тұрақты магнит өрісіне тогы бар өткізгішті алып келгенде, онда өткізгішке магнит тарапынан күш әсер етіп, өткізгіштің қозғалатындығын байқады. Сонымен, магнит стрелкасының тогы бар өткізгіштің маңында бағдарлануы, өткізгіштің пішініне, оның орналасуына және токтың шамасы мен бағытына байланысты болады. Бірақ, магнит стрелкасының электр зарядына ешқандай әсер етпейтінін айта кетуіміз керек. Бұдан мынадай қорытынды шығады: тек қана қозғалыстағы электр зарядтары өздерінің маңында магнит өрісін тудырады да, қозғалмайтын зарядтардың маңында тек электр өрісі пайда болады. Магнит өрісін сипаттау үшін оның тек белгілі бір токқа әсерін ғана қарастыру керек.

Магнит өрісінің қасиеттерін зерттеу үшін, оның тогы бар жазық тұйықталған контурға тигізетін әсерін пайдаланамыз. Мұндай контурды рамка деп атайды. Бұл контурдың өлшемдері магнит өрісін жасайтын тогы бар өткізгіштерге дейінгі қашықтықпен салыстырғанда кіші болуы тиіс. Мұндай рамкада тұрақты ток ұдайы жүріп тұруы үшін, оған өткізгіштер арқылы ток жіберіп тұру керек. Рамка арқылы ток жүргенде, ол белгілі бір бұрышқа бұрылады, сөйтіп *магнит өрісі рамкаға бағыттаушы күшпен әсер етеді*. Ал рамканың айналу бағыты бойынша магнит өрісінің бағытын да анықтай аламыз. Магнит өрісінің рамкаға бағдарлаушы әсері, рамкада қос күшті тудырады. Магнит өрісін тудырушы токтың күштері мен олардың орналасуына және рамканың өлшемдері мен бағытына, сол сияқты ондағы токтың күшіне де тәуелді.

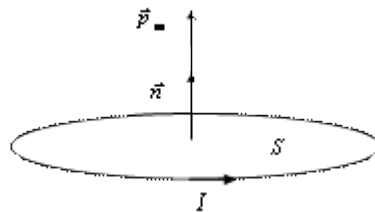


Рамка арқылы ток жүргенде, ол белгілі бір бұрышқа бұрылады, сөйтіп магнит өрісі рамкаға бағыттаушы күшпен әсер етеді.

Оң бұранда ережесі:

Егер бұранданың басын контурдағы ток бағытымен бұратын болса, онда бұранда ұшы оң нормаль бағытын береді

Магнит өрісі тогы бар контурға бағыттаушы күшпен әсер етеді.



Магнит өрісіне енгізілген тогы бар контурдың магниттік моменті келесі формуламен анықталады:

$$p_m = I \cdot S$$

5. Магнит индукциясының векторы

Электр өрісі векторлық шамамен, яғни электр өрісінің кернеулігімен сипатталады. Магнит өрісін сан жағынан сипаттау үшін физикалық ерекше шаманы енгізу қажет. Магнит өрісі магниттік индукция векторымен (B) сипатталады. B -ның мәні магнит моменті бар қозғалыстағы электр зарядына және денелерге өрістің берілген нүктесінде әсер етуші күшті анықтайды. Магнит өрістерін бейне түрінде кескіндеу үшін магнит индукциясы сызықтарын пайдаланады. "Магнит өрісі" терминін 1845 ж. ағылшын физигі [М.Фарадей](#) енгізген. Ол электр өзара әсер сияқты магнит өзара әсер де бірыңғай материялық өріс арқылы беріледі деп санаған.

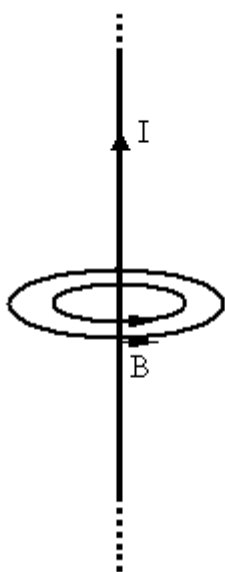
Магнит өрісінің көздері — магниттелген денелер, тогы бар өткізгіштер және қозғалыстағы зарядталған денелер. Бұл көздердің табиғаты бір: Магнит өрісі зарядталған микробөлшектердің (электрон, протон, ион), сондай-ақ,

микробөлшектердің меншікті (спиндік) магнит моменті болуының нәтижесінде пайда болады.

Айнымалы магнит өрісі электр өрісінің, ал электр өрісі магнит өрісінің уақыт бойынша өзгерісі нәтижесінде пайда болады. Электр және магнит өрістері, олардың бір-бірімен өзара әсерлері Максвелл теңдеуімен толық сипатталады. Магнит өрісінің кернеулік (H) мен магнит индукциясы (B) — өрістің күштік сипаттамасы. Кернеулік векторы өріс пайда болған орта қасиетіне тәуелсіз шама болса, индукция векторы қарастырылатын денедегі қорытқы өрісті сипаттайды. Сондай-ақ, индукция векторы магнит өрісінде қозғалған зарядқа әсер ететін күшті, магнит моменті бар денеге магнит өрісінің тигізетін әсерін, өріс тарапынан байқалатын басқа да әсерлерді анықтайды.

Кез-келген электр тогының немесе қозғалыстағы зарядталған бөлшектердің айналасында магнит өрісі болады. Магнит өрісін сандық сипаттау үшін физикалық векторлық шама магнит өрісінің индукция векторы енгізілген. Магнит өрісінің индукция векторы магнит өрісінің күштік сипаттамасы болып табылады. Өлшем бірлігі $[B] = 1Tл$.

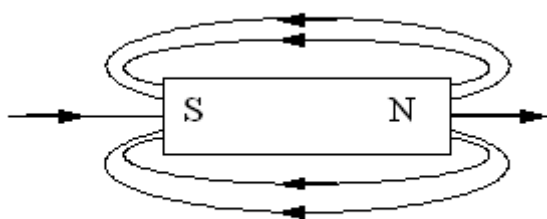
Бағыты мен шамасы өзгермейтін магнит өрісін біртекті магнит өрісі деп атайды.



Магнит өрісін көрнекті түрде бейнелеу үшін магнит өрісінің күш сызықтары немесе индукция сызықтары енгізілген. Әрбір нүктесіне жүргізілген жанама сол нүктедегі индукция векторының бағытымен сәйкес келетіндей магнит өрісінде жүргізілген сызықтарды магнит өрісінің күш сызықтары деп атайды.

Күш сызықтарының жиілігі — магнит өрісінің шамасына тура пропорционал.

Магнит өрісінің индукция векторының бағыты бұрғы ережесімен анықталады.



Магнит өрісінің күш сызықтары — тұйықталған сызықтар, яғни магнит өрісі — құйынды өріс болып табылады. Тұрақты магнитте екі полюс болады. Оның солтүстік полюсін - N, оңтүстік полюсін - S деп белгілейді. Тұрақты магниттің магнит өрісі оңтүстік полюстен солтүстік полюске қарай бағытталады.

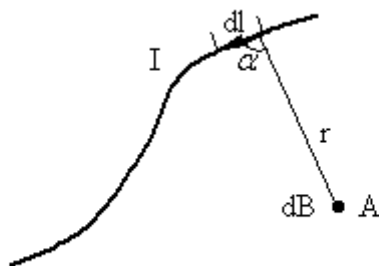
6. Био – Савар – Лаплас заңы

Кез-келген пішіндегі тоғы бар өткізгіштің магнит өрісі Био-Савар-Лаплас заңымен анықталады. Суреттегі A нүктесіндегі токтың элементі тудыратын $d\vec{B}$ магнит өрісінің индукциясы Био – Савар – Лаплас заңымен анықталады. Био – Савар – Лаплас заңын векторлық немесе скаляр түрлерде жазып көрсетуге болады:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I [d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{4\pi \cdot r^3} \quad \text{- векторлық түрде жазылған Био – Савар – Лаплас заңы,}$$

$$dB = \frac{\mu_0 I dl \sin \alpha}{4\pi \cdot r^2} \quad \text{- скалярлық түрде жазылған Био – Савар – Лаплас заңы.}$$

мұндағы: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma\kappa}{\mathcal{M}}$ - магнит тұрақтысы.



Токтың тудыратын толық магнит өрісінің индукциясы магнит өрісінің суперпозиция принципімен анықталады.

Магнит өрісінің суперпозиция принципі бойынша:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_N,$$
$$\vec{B} = \int d\vec{B}.$$

Магнит өрісін сипаттау үшін индукция векторымен қатар магнит өрісінің кернеулік векторы енгізілген. Магнит өрісінің кернеулігі ортаның қасиеттеріне байланыссыз, ол магнит өрісін туғызатын токтың шамасына тікелей байланысты болады.

Кернеулік векторының өлшем бірлігі $[\vec{H}] = 1 \frac{A}{M}$.

Магнит өрісінің кернеулік векторы арқылы жазылған Био – Савар –

Лаплас заңы: векторлық түрі - $d\vec{H} = \frac{I[d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{4\pi \cdot r^3}$, скаляр түрі - $dH = \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi \cdot r^2}$.

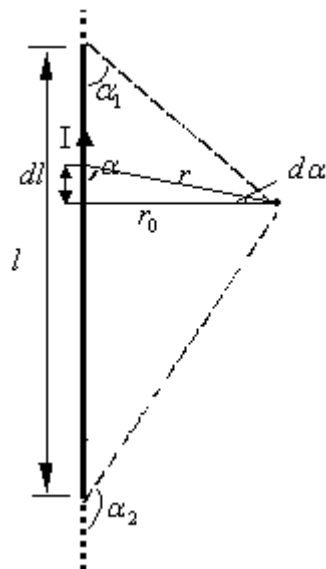
Вакуумдегі магнит өрісінің индукция векторы мен кернеулік векторы арасындағы байланыс келесі түрде жазылады:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}.$$

1) Ұзындығы l -ға тең тогы бар түзу өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы мен кернеулігін анықтайық.

Био – Савар – Лаплас заңы бойынша $dB = \frac{\mu_0 Idl \sin \alpha}{4\pi r^2}$,

мұндағы: $dl = r d\alpha$, $r = \frac{r_0}{\sin \alpha}$.



$$dB = \frac{\mu_0 I \sin \alpha d\alpha}{4\pi r_0}$$

$$B = \int dB = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\mu_0 I \sin \alpha d\alpha}{4\pi r_0} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

Сонымен ұзындығы l -ге тең тогы бар түзу өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы мен кернеулігі келесі формулалармен анықталады:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi \cdot r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

$$H = \frac{I}{4\pi \cdot r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

2) Шексіз ұзын түзу өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы және кернеулігін анықтайық. Егер өткізгіш шексіз ұзын болса, онда

Бұл жағдайда шексіз ұзын түзу өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы және кернеулігі келесі формулалармен анықталады:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}, \quad H = \frac{I}{2\pi r}.$$

3) Тоғы бар орамның центріндегі магнит өрісінің индукциясы және кернеулігі келесі формулалармен анықталады:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}, \quad H = \frac{I}{2R}.$$

4) Соленоидтың осіндегі магнит өрісінің индукциясы және кернеулігі келесі формулалармен анықталады:

$$B = \mu_0 n I, \quad H = n I,$$

мұндағы: $n = \frac{N}{l}$ - соленоидтың бірлік ұзындығындағы орам саны.

5) Қозғалыстағы зарядтың тудыратын магнит өрісінің индукциясы және кернеулігі келесі формулалармен анықталады:

$$B = \frac{\mu_0 q \langle v \rangle}{4\pi r^2} \sin \beta, \quad H = \frac{q \langle v \rangle}{4\pi r^2} \sin \alpha.$$

7. Ампер заңы

Магнит өрісінде орналасқан тоғы бар өткізгішке магнит өрісі тарапынан әсер ететін күшті Ампер күші деп атайды.

Магнит өрісі біртекті болған жағдайда тоғы бар өткізгішке әсер ететін Ампер күші келесі өрнекпен анықталады:

$$F_A = I B l \sin \alpha.$$

Ампер күшінің бағыты сол қол ережесімен анықталады. Сол қолдың төрт саусағын өткізгіштегі токтың бағытымен бағыттас етіп бағыттап, индукция векторы алақанды тесіп өтетін болса, 90° -қа қайырылған басбармақ Ампер күшінің бағытын көрсетеді.

Ампер түзу токтардың өзара әсерінен келесі заңдылықтар ашты:

1. Бағытталған параллель токтар бір-біріне тартылады;
2. Бағыттары қарама-қарсы токтар бір-бірімен тебіледі;
3. Параллель емес токтар бағыттары бірдей әрі параллель болуға ұмтылады.

Бір бірінен d қашықтықта орналасқан екі түзу шексіз ұзын тогы бар өткізгіштердің әрбір бірлік ұзындықтарына келетін өзара әсерлесу күші

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$

1 Ампер ток күші деп вакуумде бір-бірінен 1 метр ара қашықтықта орналасқан шексіз ұзын параллель екі өткізгіштен ток өткенде, олардың арасында әрбір 1 метр ұзындықтарына магнит өрісі тарапынан $2 \cdot 10^{-7}$ Ньютонға тең күш әсерін туғызатындай ток күшін айтады.

8. Лоренц күші

Магнит өрісінде қозғалатын зарядталған бөлшектерге магнит өрісі тарапынан әсер ететін күшті Лоренц күші деп атайды.

$$\vec{F}_L = q[\vec{B} \vec{v}] \quad - \text{ Лоренц күшінің формуласының векторлық түрі.}$$

$$F_L = qBv \sin \alpha \quad - \text{ Лоренц күшінің формуласының скаляр түрі.}$$

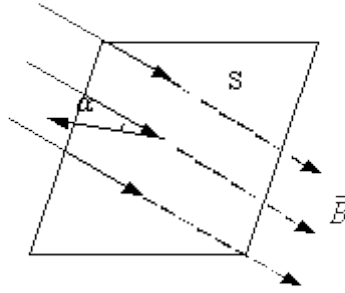
Лоренц күшінің бағыты сол қол ережесімен анықталады.

Лоренц күші қозғалыстағы зарядталған бөлшектің тек қана қозғалыс бағытын өзгертеді. Ал оның жылдамдығын және кинетикалық энергиясын өзгертпейді. Электр және магнит өрісінде қозғалатын зарядталған бөлшектерге әсер ететін Лоренц күші келесі өрнекпен анықталады:

$$\vec{F}_L = q[\vec{B} \vec{v}] + q\vec{E}$$

9. Магнит индукция векторының ағыны және циркуляциясы

Біртекті магнит өрісінің индукция векторының күш сызықтары параллель болып келеді. Осы өрісте ауданы S бет орналасса, онда магниттік индукция векторының жазық беттің ауданына көбейтіндісі осы бет арқылы өтетін магнит ағыны деп атайды.



Егер ауданы S жазық бетке \vec{n} нормаль мен индукция векторы α бұрыш жасай отырып орналасса, онда магнит ағыны келесі өрнекпен анықталады:

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

Магнит ағыны скаляр шама. Магнит ағыны $\cos \alpha$ байланысты таңбасы оң немесе теріс бола алады. Кез-келген S бет арқылы өтетін магнит ағыны келесі түрде жазылады:

$$\Phi = \int_S B_n dS.$$

Магнит өрісі үшін Остроградский-Гаусс теоремасы:

$$\oint_S B_n dS = 0.$$

Кез-келген тұйық бет арқылы өтетін магнит ағыны нольге тең болады.

Магнит ағыны 1 Вебермен (Вб) өлшенеді.

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2.$$

Вакуумдегі магнит өрісі үшін толық ток заңы:

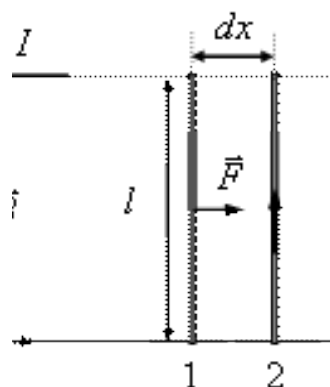
$$\oint_B B dl = \mu_0 \sum_{k=1}^N I_k.$$

Тұйық контур арқылы өтетін магнит индукциясы векторының циркуляциясы магнит тұрақтысын контур арқылы өтетін токтардың алгебралық қосындысына көбейткенге тең.

10. Магнит өрісінде тогы бар өткізгішті орын ауыстырғанда атқарылатын жұмыс

Тогы бар өткізгішке магнит өрісінің тарапынан күш әсер еткендіктен, өткізгішті магнит өрісінде қозғағанда жұмыс атқарылады.

Ұзындығы l -ге тең өткізгіш тізбекке суретте көрсетілгендей түрде қосылған және өз-өзіне параллель орын ауыстырсын.



Магнит индукциясының бағыты l мен dx -ке перпендикуляр бағытталған. Өткізгішке магнит өрісі тарапынан $F = IlB$ күші әсер етеді. Сондықтан магнит өрісінің атқаратын жұмысы келесі формуламен анықталады:

$$dA = IlBdx = IBdS,$$

мұндағы: dS - өткізгіштің магнит өрісінде қиятын ауданы.

$d\Phi = BdS$ екенін ескере отырып, магнит өрісінің атқаратын жұмысын келесі түрде өрнектеуге болады:

$$dA = Id\Phi.$$

Егер өткізгіш өрістің 1-нүктесінен 2-нүктесіне орын ауыстыратын болса, онда

$$A = I(\Phi_2 - \Phi_1).$$