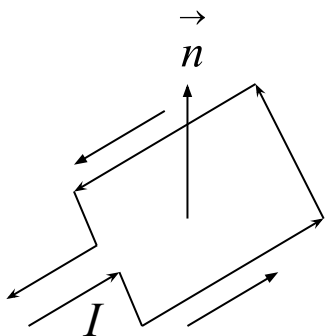


1. МАГНИТ ӨРІСІ

1820 жылы дат физигі Х.Эрстед тогы бар өткізгіштердің магнит стрелкасына әсерін байқап, оны **магнит өрісі** деп атады. Магнит өрісін тогы бар раманың көмегімен зерттеуге болады. Нормальдің оң бағыты токпен оң бұрғы ережесі бойынша анықталады.



Тогы бар раманы магнит өрісіне енгізгенде, магнит өрісі мен нормаль бағыттары бір-бірімен дәл келмесе, контурды тепе-теңдік жағдайға әкелуге тырысатын раманы айналдыратын **күш моменті** пайда болады. Айталу күш моментінің шамасы нормаль мен магнит өріс бағыты арасындағы α - бұрышына тәуелді.

Бұл момент $\alpha = \frac{\pi}{2}$ болғанда, максималь мәнге ие болады. $M_{max} \sim IS$.

Контурдың **магнит моменті** : $P = I \cdot S$,

векторлық түрде

$$\vec{P}_m = IS \cdot \vec{n}. \quad (1.1)$$

Күштердің айналдыру моменті :

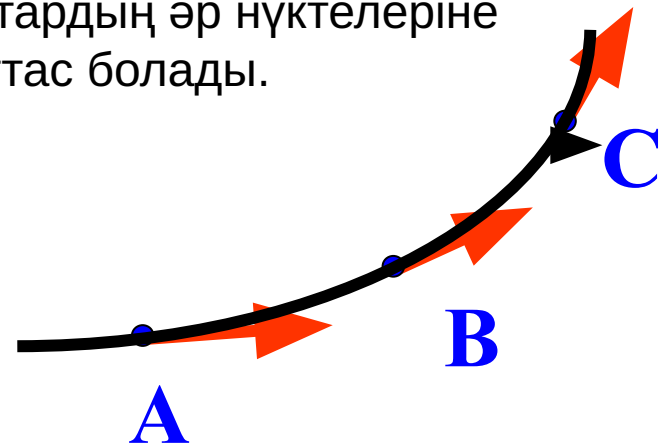
$$\vec{M} = \left[\vec{P}_m \cdot \vec{B} \right], \quad (1.2)$$

мұндағы \vec{B} – магнит индукция векторы, ол өрісті сандық мөлшер түрінде сипаттайды. Берілген өріс нүктесінде әртүрлі контурға мөлшерлері әртүрлі айналдырушы моменттер әсер етеді, бірақ та $B = M/P_m$ қатынасы барлық контурлар үшін бірдей шама, сондықтан ол шама магнит өрісінің сипаттамасын беретін **магнит индукциясы** деп аталады:

*Магнит өрісінің берілген нүктедегі **магнит индукциясы** деп магнит моменті бірге тең рамаға әсер етуші **максималды айналдырушы моментті** айтады.*

Магнит өрісі - күш өрісі болып табылады, сондықтан оны магнит индукция сызықтарымен өрнектеуге болады, ол сызықтардың әр нүктелеріне жүргізілген жанамалар \vec{B} векторымен бағыттас болады.

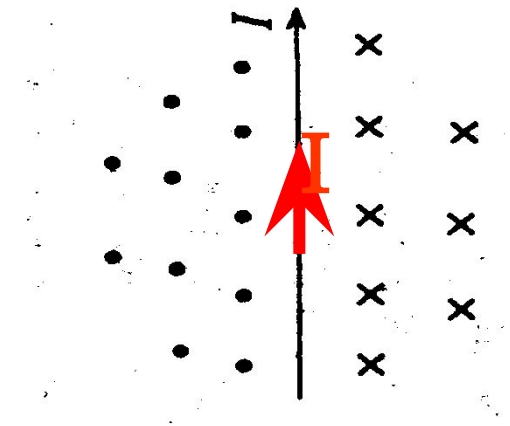
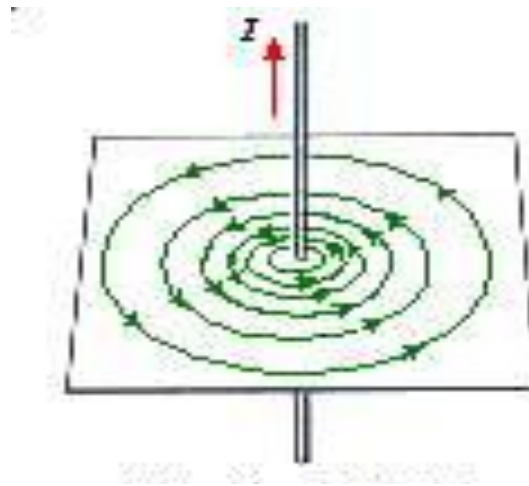
Индукция сызықтарының бағытын өзімізге белгілі **бұрғы ережесі** немесе **оң қол ережесі** бойынша анықтауға болады.



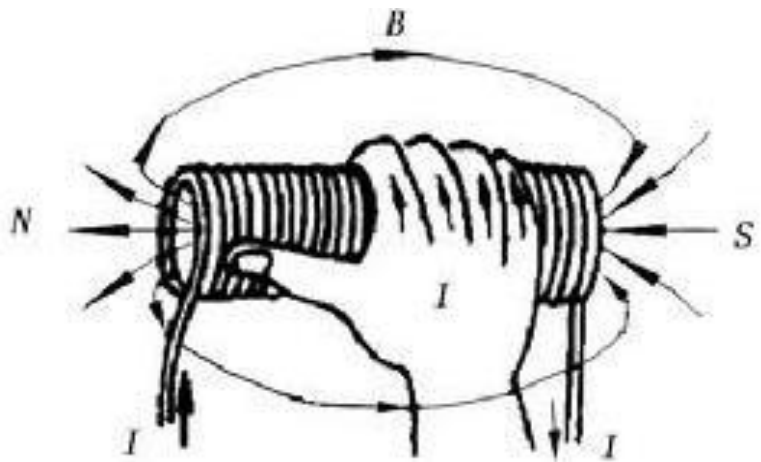
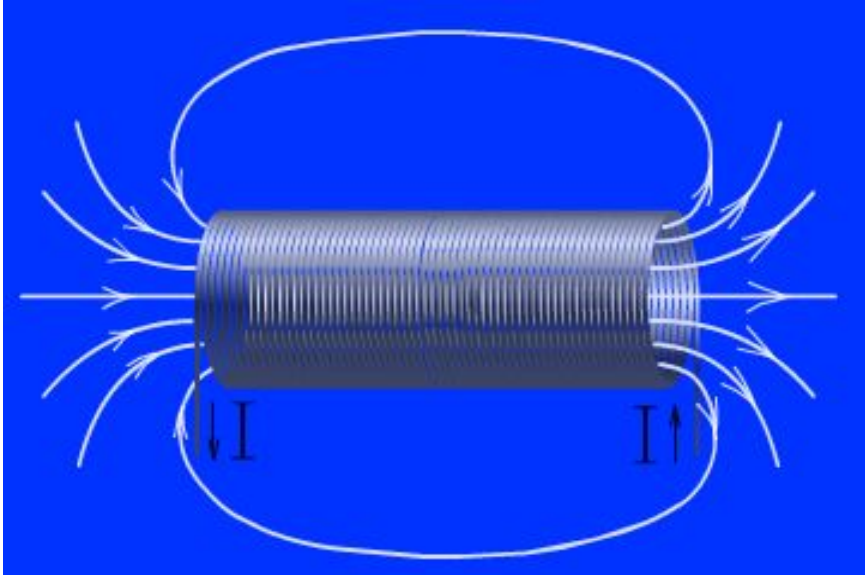
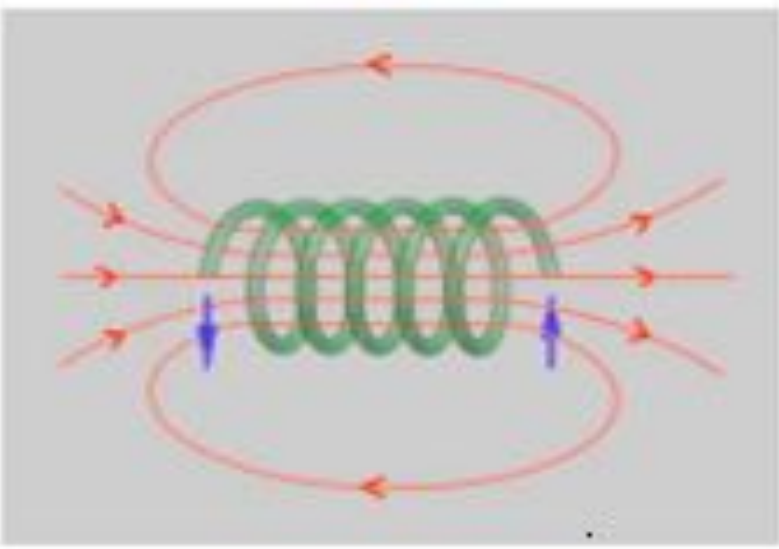
Бұрғы ережесі: егер токтың бағыты бұрғының ілгерілемелі қозғалыс бағытымен бағыттас болса, онда бұрғы сабының айналу бағыты магнит индукциясы сызықтарының бағытын көрсетеді.

Оң қол ережесі : бас бармақ токтың бағытын көрсететіндей етіп оң қолымызбен өткізгішті ұстасақ төрт саусағымыз магнит индукциясының күш сызықтарының бағытын көрсетеді.

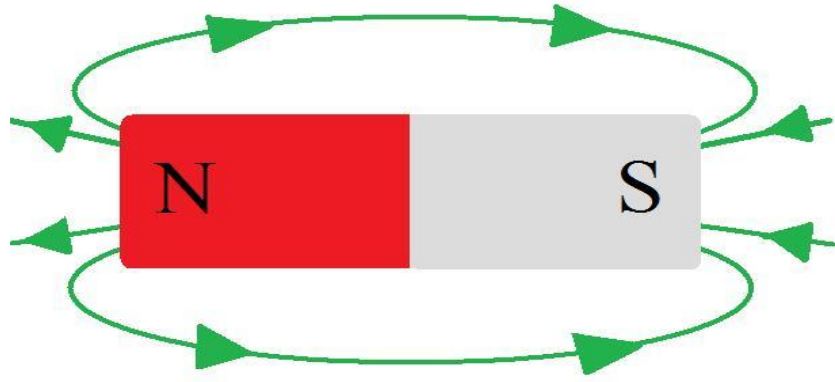
Төмендегі суреттерде тура токтың индукция сызықтары көрсетілген.



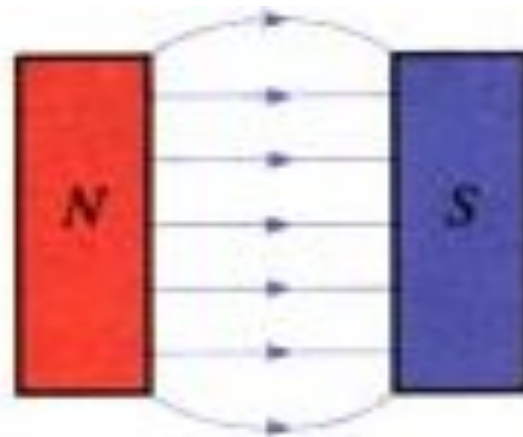
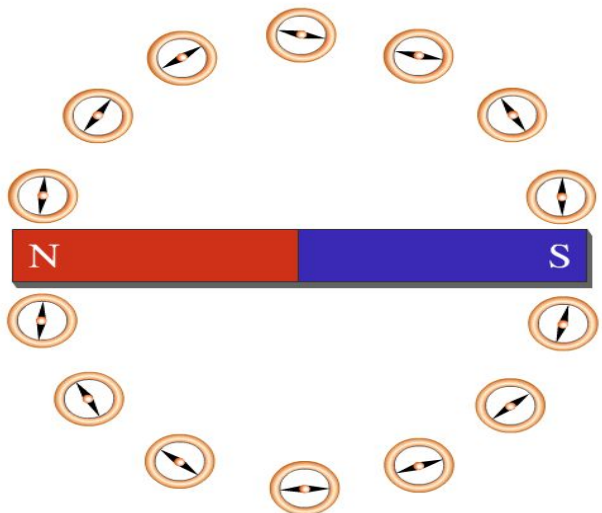
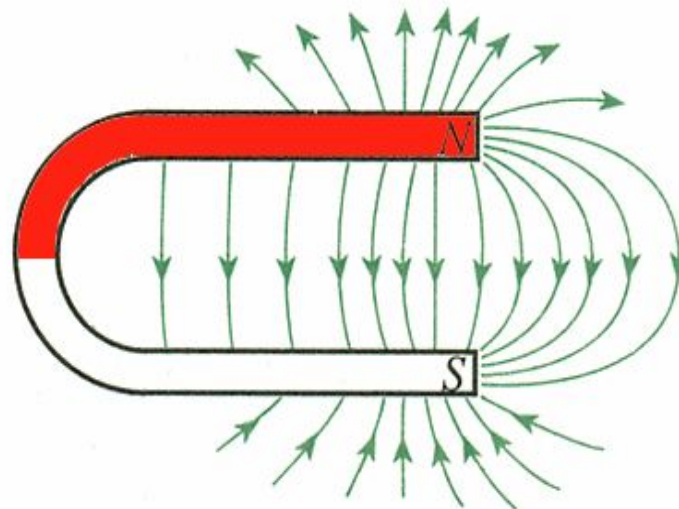
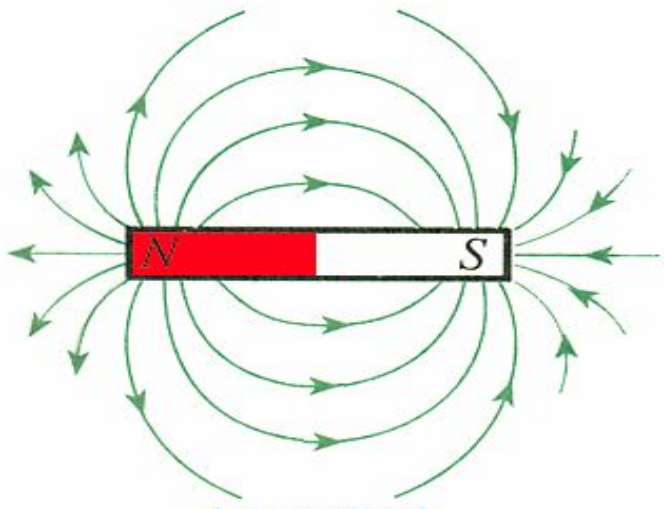
Төмендегі суреттерде соленоидтың индукция сызықтары берілген.



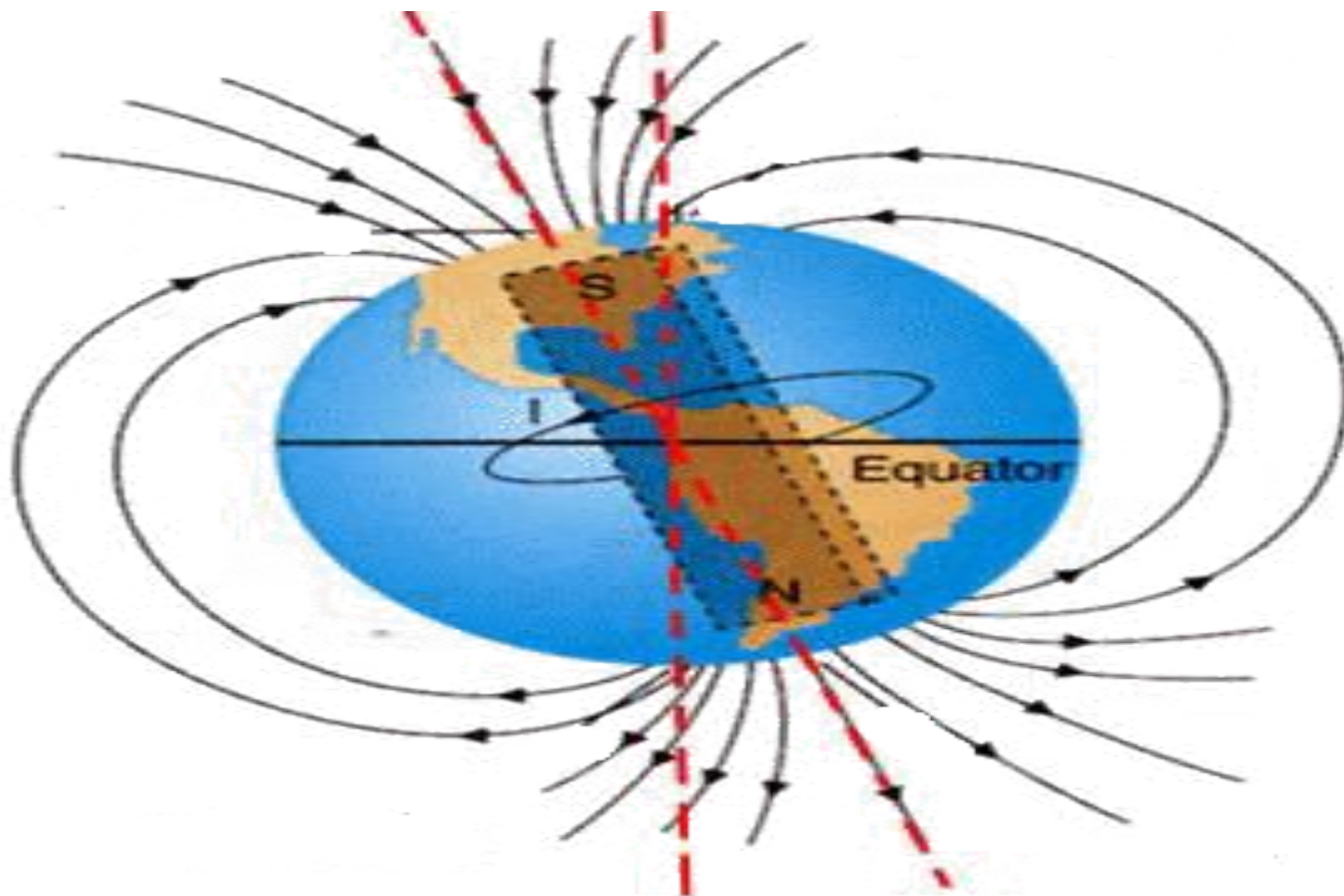
=



Төмендегі суреттерде тура және таға пішінде магниттің индукция сызықтары берілген.



Жер шарының магнит өрісі



Магнит өрісінің күш сызықтары тұйық болады, күш сызықтары тұйық өріс **құйынды өріс** деп аталады. Электр өрісі – потенциалды өріс (электр өрісінің сызықтары оң электр зарядтарында басталып, теріс зарядтарда аяқталады). Магнит өрісінің күш сызықтарының тұйық болуы - табиғатта магнит зарядтарының жоқ екенін көрсетеді.

Магнит өрісін сипаттау үшін магнит индукциясы векторымен бірге, магнит өрісінің кернеулігі деп аталатын шама енгізіледі. Біртекті, изотроп орта үшін олар мына өрнек бойынша байланысты:

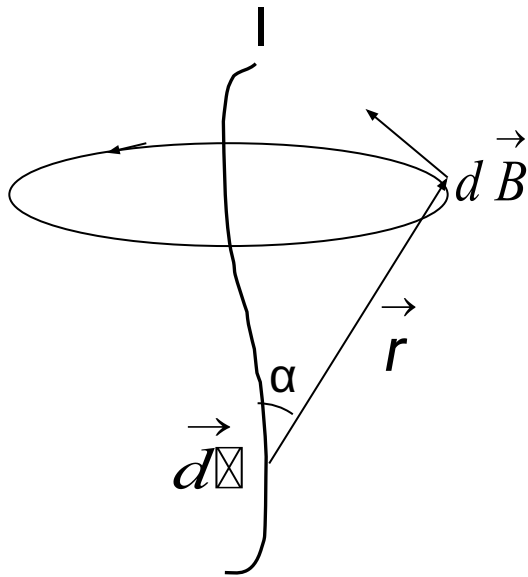
$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H} \quad (1.3)$$

мұндағы μ_0 – магнит тұрақтысы, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{A^2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м}$

μ – ортаның магнит өтімділігі. Вакуум үшін $\mu = 1$ -ге тең.

1.1 Био-Савар-Лаплас заңы және оны қолдану

1820 жылы француз ғалымдары **Био** және **Савар** әртүрлі пішінді токтардың магнит өрістерін зерттеу арқылы, магнит өрісінің индукциясы B өрісті туғызатын токқа I тура пропорционал болып, индукциясы анықталатын нүктеге дейінгі арақашықтыққа тәуелді болатынын анықтады. Тәжірибеден алынған нәтижелерді тұжырымдап, **Лаплас** ұзындығы dl ток элементі туғызатын өріс индукциясын анықтайтын өрнекті тапты.



$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I \left[\vec{dl} \times \vec{r} \right]}{r^3} \quad (1.1.1)$$

мұндағы $d\vec{l}$ - токтың элементар бөлігімен бірдей болатын және ток ағатын бағыт бойынша бағытталған элементар ұзындық.

\vec{r} - магнит индукциясы анықталатын нүктеге ток элементінен жүргізілген радиус-вектор .

Магнит индукция векторын модулі бойынша жазатын болсақ:, онда

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha, \quad (1.1.2)$$

мұндағы α – \vec{dl} мен \vec{r} арасындағы бұрыш.

Био-Савар-Лаплас заңы тогы бар өткізгіштің маңындағы кез келген нүктенің магнит өрісінің шамасын анықтайтын заң болып табылады.

Магнит индукция векторының \vec{B} бағыты оң қол ережесі немесе бұрғы ережесі бойынша анықталады.

Магнит өрісі үшін **суперпозиция принципі**: бірнеше токтар туғызған магнит өрісінің қорытқы мәні әрбір ток туғызған өрістердің магнит индукцияларының векторлық қосындысына тең:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

1. Шексіз ұзын түзу тогы бар өткізгіш туғызатын магнит өрісінің индукциясы

Тогы бар өткізгіштен R қашықтықта орналасқан A нүктедегі индукцияны анықтайық. Индукция векторы бағыты тақта жазықтығына перпендикуляр (“бізге қарай”) болады(оң қол ережесі бойынша).

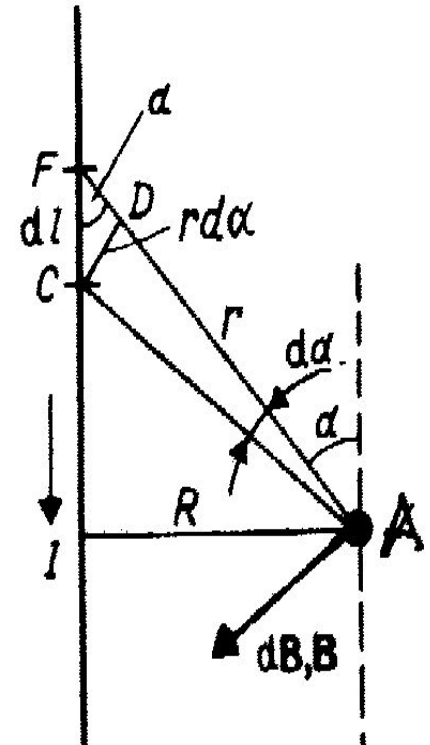
$$r = \frac{R}{\sin \alpha}, \quad dl = \frac{rd\alpha}{\sin \alpha}$$

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

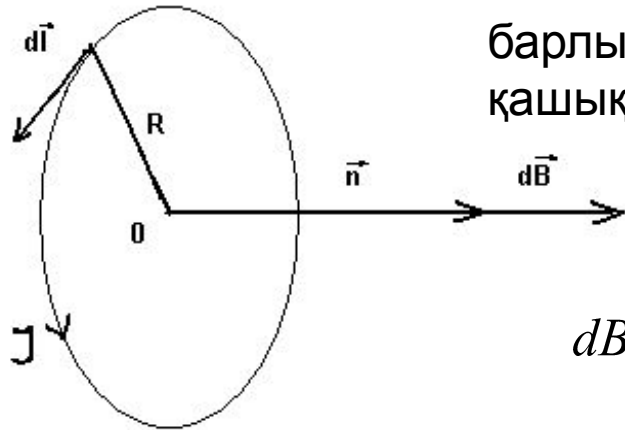
Өрнегін Био-Савар-Лаплас теңдеуіне қойсақ, және Шексіз ұзын, тура токтың барлық элементтері үшін \square бұрышы 0 -ден π -ге дейін өзгереді, сондықтан:

$$B = \int dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} \int_0^\pi \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu\mu_0 2I}{4\pi R}$$

Сонымен, тура токтың магнит индукциясы: $B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R}$ (1.1.3)



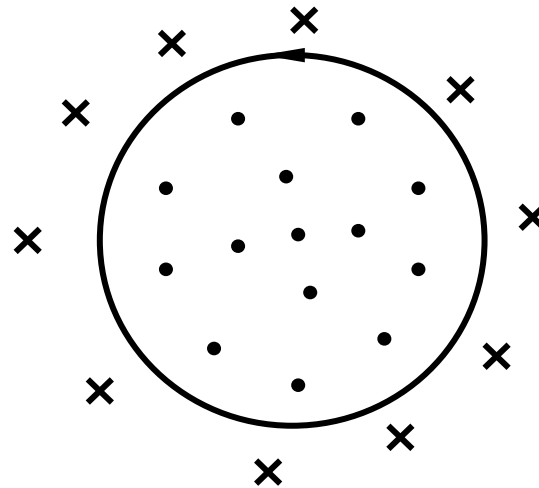
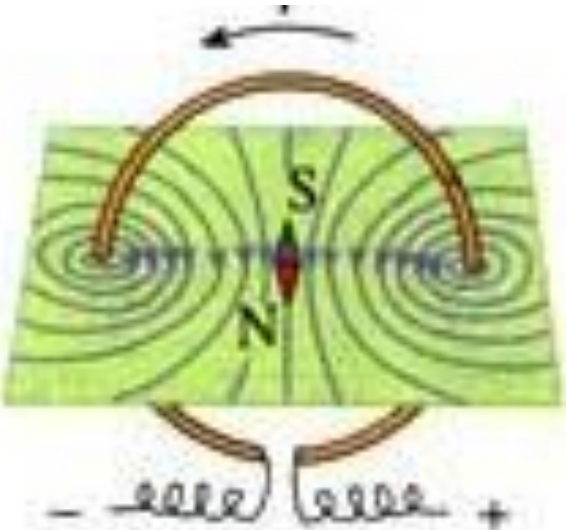
2. Тоғы бар дөңгелек өткізгіштің центріндегі магнит индукциясы



барлық ток элементтерінің дөңгелек ток центріне дейінгі қашықтығы бірдей және ол R радиусқа тең.

Био-Савар-Лаплас заңы бойынша :

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} dl, \quad B = \int dB = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}$$



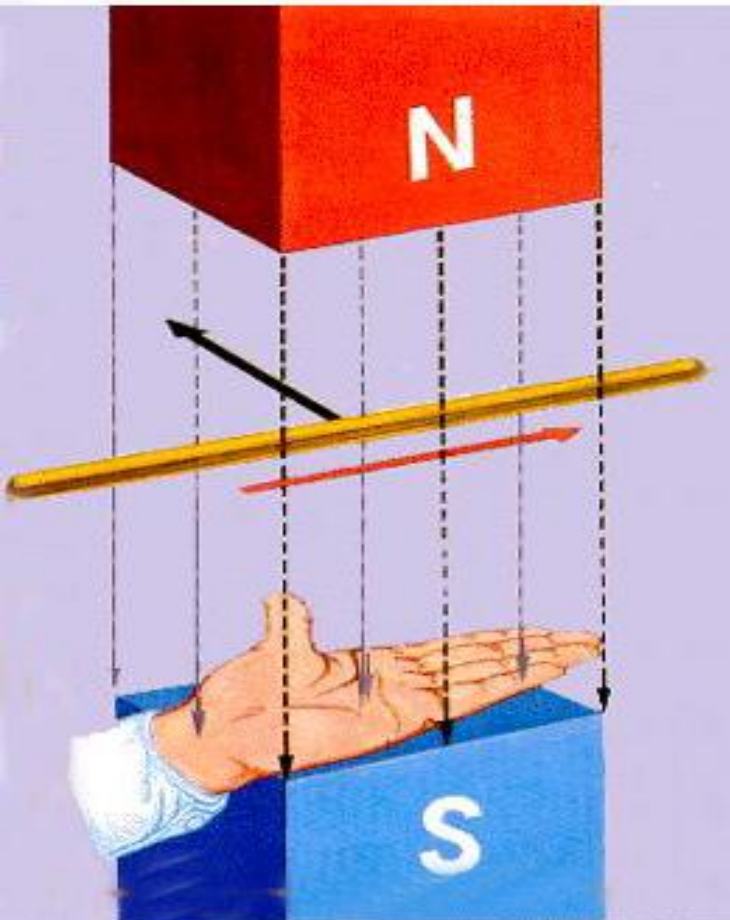
Дөңгелек ток центріндегі магнит индукциясы:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R} \quad (1.1.4)$$

1.2 Магнит өрісінің тогы бар өткізгіштерге әсері (Ампер заңы)

Магнит өрісінің тогы бар өткізгішке әсер ететін күшін **Ампер күші** деп атайды. Ампер заңының математикалық өрнегі:

$$d\vec{F} = I \left[d\vec{l} \vec{B} \right] \quad (1.2.1)$$



мұндағы I – ток күші, \vec{B} – $d\vec{l}$ элементі орналасқан нүктедегі магнит индукциясы. Ампер күші $d\vec{F}$ және $d\vec{l}$ векторлары жатқан жазықтыққа перпендикуляр болады.

Сол қол ережесі: Егер \vec{B} векторы сол қолдың алақанына перпендикуляр еніп, төрт саусақ өткізгіштегі ток бағытымен бағыттас болса, онда бас бармақ Ампер күшінің бағытын көрсетеді.

Ампер күшінің модулі былай

болады: $dF = IdlB \sin \alpha \quad (1.2.2)$

мұндағы α - $d\vec{l}$ және \vec{B} векторлары арасындағы бұрыш.

Ампер заңының көмегімен екі параллель, шексіз ұзын тура токтардың әсерлесу күшін анықтауға болады .

$$df_1 = B_2 I_1 dl_1$$

$$df_2 = B_1 I_2 dl_2$$

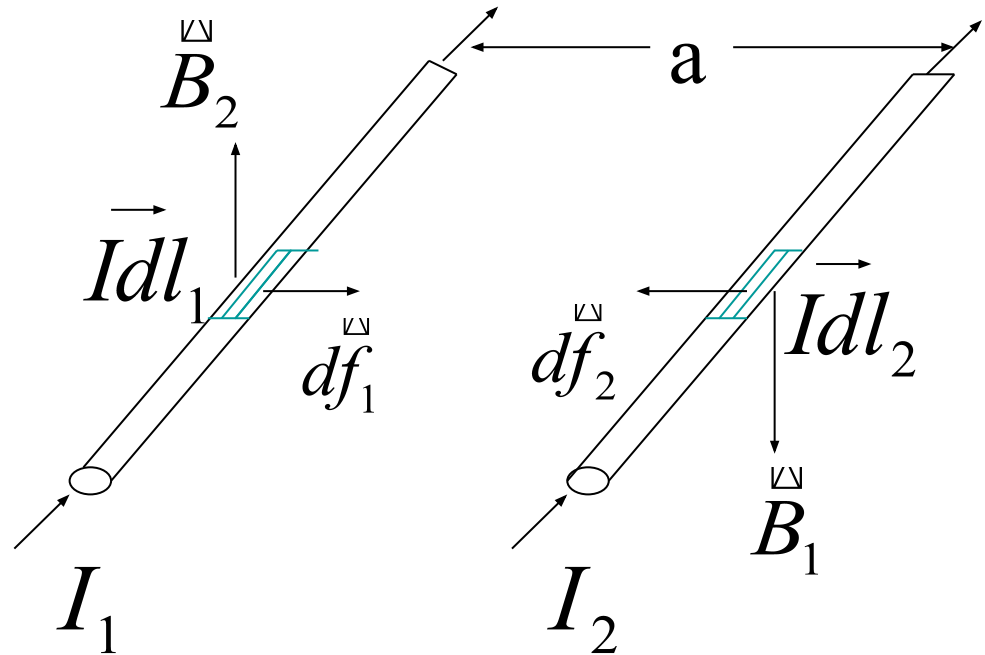
$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}$$

Екі токтың dl элементар бөлігіне әсер ететін күштер $df_1 = df_2$

$$\frac{df_1}{dl_1} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

$$\frac{df_2}{dl_2} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$



Ампер заңы сонымен бірге, магнит индукциясының (B) өлшем бірлігін анықтауға мүмкіндік береді. Егер тогы бар өткізгіштің элементі магнит өрісінің бағытына перпендикуляр болса, онда Ампер заңы былай жазылады: $dF = I \cdot B \cdot dl$ бұдан

$$B = \frac{dF}{I dl} \qquad 1 \text{Тл} = \frac{1 \text{Н}}{(A \cdot m)}$$

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

1.3 Магнит өрісінің қозғалыстағы зарядқа әсері (Лоренц күші)

Индукциясы \vec{B} магнит өрісінде \vec{v} жылдамдықпен қозғалатын зарядқа белгілі бір бағытта күш әсер етеді. Бұл әсер **Лоренц күші** деп аталады. Бұл күш зарядқа q , жылдамдыққа \vec{v} және индукция векторы \vec{B} шамаларына тәуелді болады, оның бағыты \vec{v} және \vec{B} векторлары арқылы анықталады.

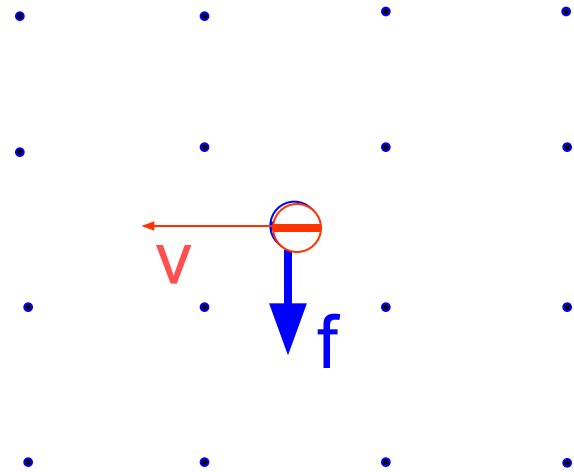
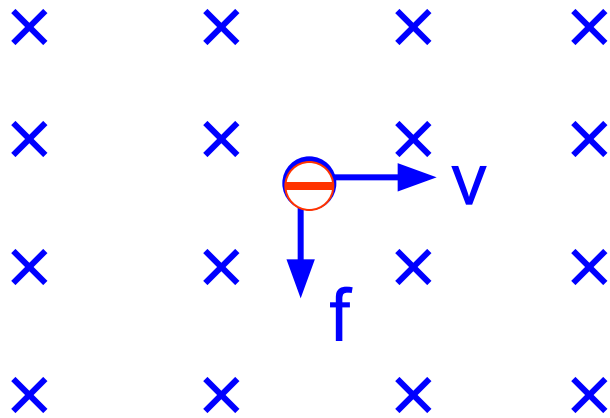
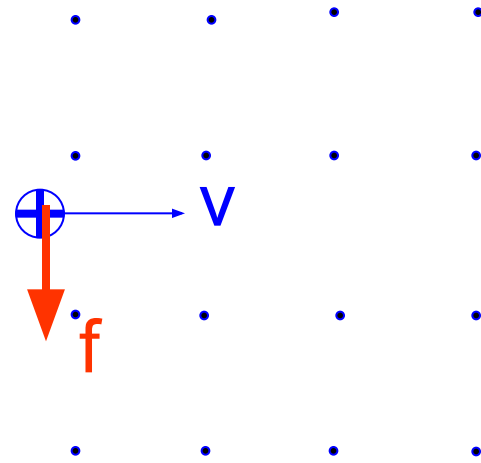
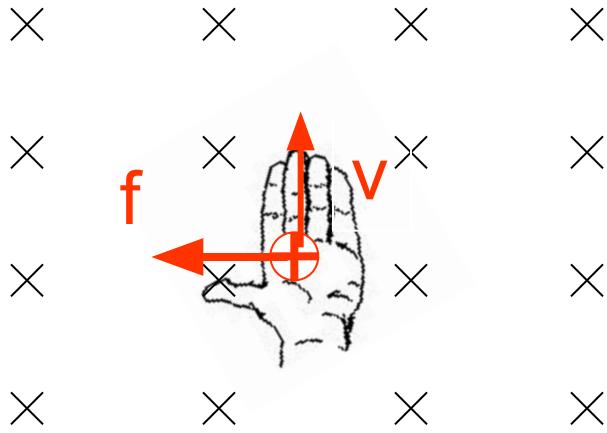
$$\vec{F}_e = q \left[\vec{v}, \vec{B} \right] \quad (1.3.1)$$

Лоренц күшінің модулі: $F_e = qvB \sin \alpha,$ (1.3.2)

мұндағы α – \vec{v} және \vec{B} векторларының арасындағы бұрыш.

Егер зарядталған бөлшек тыныштық қалыпта ($v = 0$) болса, онда оған магнит өрісі тарапынан ешқандай күш әсер етпейді. Магнит өрісі тек қана қозғалатын зарядтарға әсер етеді.

Лоренц күшінің бағыты **сол қол ережесі** бойынша анықталады (ток пен оң заряд бағыты бірдей деп есептегенде). **Зарядтың шамасы теріс болса, Лоренц күші басбармаққа қарама-қарсы бағытталған болады.**



Зарядталған бөлшектің жылдамдығы индукция векторына перпендикуляр болса, Лоренц күші бөлшектің траекториясына нормаль бағытталады да центрге тартқыш үдеу пайда болады, бөлшек шеңбер бойлап қозғалады. Траекторияның радиусы бұл күштердің теңдігімен анықталады:

$$F_{\ddot{e}} = F_{\ddot{o}.\dot{o}}, \Rightarrow qvB = \frac{m v^2}{R}, \Rightarrow R = \frac{m}{q} \cdot \frac{v}{B} \quad (1.3.3)$$

Бөлшектің шеңбер бойымен қозғалысындағы айналу периоды:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi \frac{m}{qB} \quad (1.3.4)$$

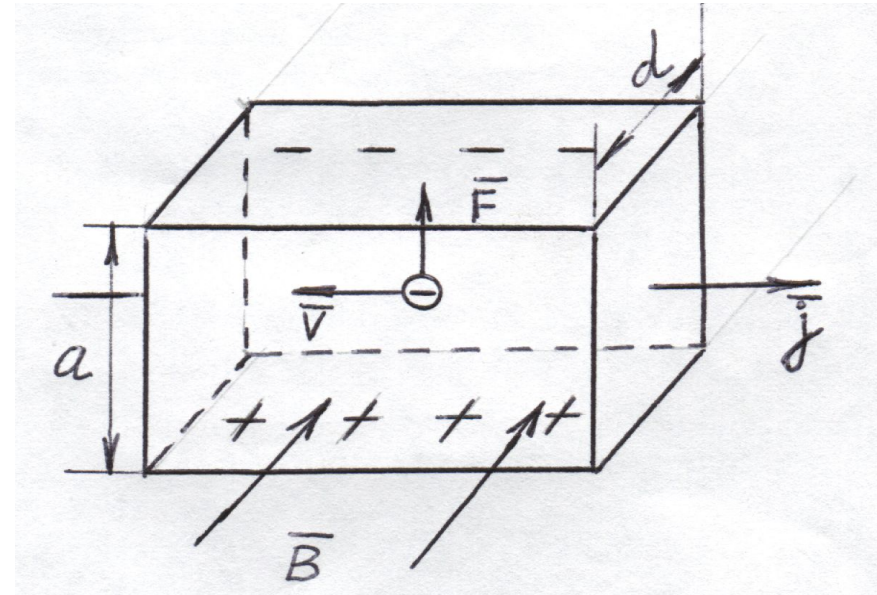
демек, айналу периоды жылдамдыққа тәуелсіз ($v \ll c$ үшін), тек қана магнит индукциясы мен меншікті зарядқа кері байланысты.

Егер электр мен магнит өрістері бір мезетте болса, зарядталған бөлшекке әсер ететін Лоренц күші былай болады:

$$\vec{F}_e = q \vec{E} + q \left[\vec{v}, \vec{B} \right] \quad (1.3.5)$$

1.4 ХОЛЛ ЭФФЕКТИСІ

Сыртқы магнит өрісінің индукция сызықтарына перпендикуляр орналастырылған өткізгіш пластинаның бойымен тығыздығы j ток жүргенде, пластинаның шеткі жақтары арасында потенциалдар айырымы пайда болады, яғни бағыттарына перпендикуляр бағытта электр өрісі пайда болады. Бұл құбылыс **Холл эффектісі** деп аталады.



Ток тығыздығының j бағыты суреттегідей белгілі болса, оңнан солға қарай қозғалыс жасайтын электронға әсер ететін Лоренц күші жоғары қарай бағытталады. Пластинаның жоғарғы жағында – электрондардың молдығы, ал пластинаның төменгі жағында – электрондардың жетіспеушілігі болады. Сонымен, пластиналардың арасында төменнен жоғары қарай бағытталған көлденең электр өрісі пайда болады. Бұл өрістің кернеулігі төмендегідей:

$$eE = \frac{e \cdot \Delta\varphi}{a} = e\nu B \quad \text{немесе} \quad \Delta\varphi = \nu Ba \quad (1.4.1)$$

мұндағы $\Delta\varphi$ Холл эффектiсi нәтижесiнде пайда болатын көлденең потенциалдар айырмасы; a – пластинаның ені; ν – электрондардың реттелген қозғалысының орташа жылдамдығы.

$$I = a \cdot d \cdot n \cdot e\nu, \quad \Rightarrow \quad \nu = \frac{I}{adne} \quad (1.4.2)$$

мұндағы d – пластина қалыңдығы, n – электрондар концентрациясы.

Жылдамдықтың U бұл мәнін жоғарғы теңдеуге қоятын болсақ:

$$\Delta\varphi = \frac{IBa}{adne} = \frac{1}{ne} \frac{IB}{d} \quad \frac{1}{ne} = R \quad \text{– затқа тәуелді Холл тұрақтысы .}$$

$$\Delta\varphi = R \frac{IB}{d} \quad (1.4.3)$$

Көлденең потенциалдар айырымы $\Delta\varphi$ ток күшіне I , магнит өрісі индукциясына B тура пропорционал да, пластина қалыңдығына d кері пропорционал.

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

Вакуумдағы магнит өрісі үшін толық ток заңы: кез- келген тұйық контур бойынша \vec{B} векторының циркуляциясы магнит тұрақтысын μ_0 осы контурды қамтитын токтардың алгебралық қосындысына көбейткенге тең болады:

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^n I_k, \quad (1.5.1)$$

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

1.6 Магнит индукциясы векторының ағыны. Магнит өрісі үшін Гаусс теоремасы

dS ауданы арқылы өтетін магнит индукциясының вектор ағыны:

$$d\Phi = \vec{B} d\vec{S} = B_n dS \quad (1.6.1)$$

мұндағы $B_n = B \cos \alpha$ - векторы dS ауданының нормаль бағытына түсірілген проекциясы,

Еркінше алынған бет S арқылы магнит индукциясы векторының ағыны:

$$\hat{O} = \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B_n dS = \int_S B dS \cos \alpha.$$

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

$$\Phi = B \cdot S \quad (1.6.2)$$

Ағын өлшеміне вебер (Вб) алынады: 1 Вб – индукциясы 1 Тл біртекті магнит өрісіне перпендикуляр орналасқан ауданы 1 м^2 жазық бетті қиып өтетін магнит ағыны.

Магнит өрісі үшін Гаусс теоремасы: кез келген тұйық бет арқылы магнит индукциясы векторының ағыны нөлге тең:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = \oint_S B_n dS = 0 \quad (1.6.3)$$

Бұл тұжырым табиғатта магнит зарядтарының жоқ екендігін және магнит индукциясы сызықтарының тұйықтығын көрсетеді.

Магнит өрісінде тогы бар өткізгішті орын ауыстыруда атқарылатын жұмыс

$$dA = Fdh = IB\Delta dh = IBdS, \quad (1.6.4)$$

Өткізгіш бөлігі dh -қа орын ауыстырғанда, Ампер күші оң жұмыс атқарады. мұндағы $dS = \Delta dh$ (суретте штрихталған), $d\Phi = B \cdot dS$ ауданын қиып өтетін магнит индукциясы векторының ағыны.

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

$$dA = Id\Phi . \quad (1.6.5)$$

1.7 ЗАТТАҒЫ МАГНИТ ӨРІСІ

Магнетиктер деп - магниттік қасиеттері қарастырылатын кез-келген денелерді айтады .

Магнетиктің бірлік көлеміндегі магнит моментін магниттеліну деп атайды:

$$\vec{j} = \frac{\vec{P}_m}{V} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{\delta}_{m_i}}{V} \quad (1.7.1)$$

мұндағы \vec{P}_m – магнетиктің магнит моменті, ол сан жағынан жеке молекулалардың магнит моменттерінің қосындысына тең. Әлсіз өрістерде магниттелу берілген сыртқы өрістерінің кернеулігіне тура пропорционал:

$$\vec{j} = \chi \vec{H} \quad (1.7.2)$$

мұндағы χ – заттың **магнит сезімталдығы**, ол магнетикті сипаттайтын өлшемсіз шама.

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi) \vec{H} \quad \text{бұдан} \quad \vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0(1 + \chi)} \quad (1.7.3)$$

($1 + \chi$) өлшемсіз шаманы μ әрпімен белгілеу қабылданған, оны ортаның **магнит өтімділігі** деп атайды. $1 + \chi = \mu$ -ті жоғарғы өрнекке қойсақ:

$$\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}. \quad (1.7.4)$$

Магнит сезімталдығы $\chi < 0$ және абсолют шамасы жағынан аз магнетиктер **диамагнетиктер** деп аталады. Олар үшін $\mu < 1$.

Магнит сезімталдылығы $\chi > 0$ ($\mu > 1$) және шама жағынан аз болатын магнетиктер **парамагнетиктер** деп аталады.

Магнетиктердің тағы бір түрі – **ферромагнетиктер**, олар үшін $\chi > 0$ және $\mu \gg 1$ өте үлкен мәнге ие бола алады.

Диамагнетиктер деп - сыртқы магнит өрісі болмаған жағдайда атомдары мен молекулаларының магнит моменттері нөлге тең заттарды айтады. Сыртқы магнит өрісі болмаған кезде атомдардың магнит моменттері нөлге тең болмаса **парамагнетиктер** деп аталады. **Ферромагнетиктерге** сыртқы магнит өрісі жоқ болған кездің өзінде магниттелінуге ие болатын заттар жатады.

Ферромагнетиктің магниттік қасиеттері жоғалатын температура **Кюри температурасы** деп аталады.