

## 8-Маъруза.

### МОДДАЛАРНИНГ МАГНИТ ХОССАЛАРИ.

#### Режа:

1. Магнит майдон энергияси.
2. Магнетиклар.
3. Диамагнетиклар, парамагнетиклар ва ферромагнетиклар.
4. Гистерезиси доменлар назарияси.
5. Магнит сингдирувчанлик

- **Магнит майдоннинг энергияси.** Биламиз-ки магнит майдони электр токи билан узвий боғланган: ток пайдо бўлса, магнит майдони ҳам пайдо бўлади, ток йўқолса, магнит майдони ҳам йўқолади. Демак, ток энергиясининг бир қисми магнит майдонини ҳосил қилишга кетар экан. Бошқача айтилганда, магнит майдони уни ҳосил қилишга кетган электр энергиясига тенг энергияга эга бўлиши керак. Бундан шундай хулоса чиқариш мумкин-ки, агар магнит майдони йўқолса, унинг энергияси йўқолмайди, бу энергия ўзиндукция токининг энергиясига айланади.

- Демак, электромагнит индукция ходисаси электр ва магнит энергияларининг бир-бирига айланиш жараёнига асосланган. Фараз қилайлик, бир контурда (индуктивлиги  $L$ ) ток оқа бошласин. Ток, нолдан максимал  $I$  қийматига кўтарилгунча,  $\Phi$  магнит оқимини ҳосил қилади:

$$\bullet \quad \Phi = LI \quad (8.1)$$

- Ток кичик  $dI$  қийматга ўзгарса оқим ҳам кичик  $d\Phi$  қийматга ўзгаради.

$$\bullet \quad d\Phi = LdI$$

- Лекин биламиз-ки магнит оқими  $d\Phi$  га ўзгариши учун ток  $dA$  ишини бажариш керак.

$$\bullet \quad dA = Id\Phi = LI dI$$

- У ҳолда, ток 0 дан  $I$  гача ўзгарганда  $A$  ишини бажаради

$$\bullet \quad A = \int_0^I LI dI = \frac{LI^2}{2} \quad (8.2)$$

- а. Демак, контур билан боғлиқ магнит энергия баробар

$$\text{b. } W = \frac{LI^2}{2} \quad (8.3)$$

- Биз конденсаторларни кўриб чиққанимизда кўрган эдик-ки, электр энергиясининг зичлиги  $\omega_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$ ; Аналогия сифатида айтиш мумкин-ки, магнит майдонининг зичлиги  $\omega_m = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2}$ ; Демак, фазода электр ва магнит майдонлари бир пайтда бўлса, у ҳолда электромагнит энергиясининг зичлиги  $\omega_{эм} = \frac{1}{2}(\epsilon_0 E^2 + \mu_0 \mu H^2)$  бўлади.

- Электромагнит энергия фазода тўлқин кўринишда тарқлади, тарқалиш тезлиги тенг:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu}} \quad (5.4)$$

- Бу формулага  $\epsilon_0$  ва  $\mu_0$  ларнинг қийматини қўйсақ:  $v = \frac{3 \cdot 10^8}{\sqrt{\epsilon \mu}} \text{ м/с}$
- Вакуум учун  $\epsilon = \mu = 1$  бўлгани учун электромагнит тўлқининг вакуумдаги тезлиги  $v = c = 300000 \text{ км/сек}$  га тенг бўлади.

- **Магнетиклар.** Тажриба ва назария шуни кўрсатади-ки агар жисмни ташқи магнит майдонига жойлаштирилса бу жисм магнит хоссаларига эга бўлиб қолар экан. Бунда баъзи жисмлар ташқи майдонни сусайтирар эканлар, бошқалари кучайтирар эканлар. Сусайтирдиганлари диамагнит, кучайтирадиганлари парамагнитлар деб аталади. Агар кучайтириши жуда катта бўлса, бундай жисмлар ферромагнетиклар деб аталади. Диа-пара ва ферромагнетизм сабаблари қандай.

- Ҳар қандай атом ва молекулаларда ўз орбиталарида айланаётган электронларни айлана ёки орбитал ток деб қараш мумкин. Ҳар бир орбитал токнинг орбитал магнит моменти бўлади:  $P_m = IS$ , бу ерда

$$I = \frac{e}{T}, \quad e - \text{электрон заряди, } T - \text{айланиш даври.}$$

Магнит момент вектор қийматига эга бўлиб, айланиш текислигига перпендикулярдир. Бундан ташқари электрон ўз ўқи атрофида айланиши билан боғлиқ бўлган спин магнит моменти эга. Спин моменти яна ядро ҳам эга бўлади. Электроннинг орбитал ва спин моментларининг ва ядронинг спин моментларининг геометрик йигиндиси атомнинг (молекуланинг) магнит моментини ҳосил қилади.

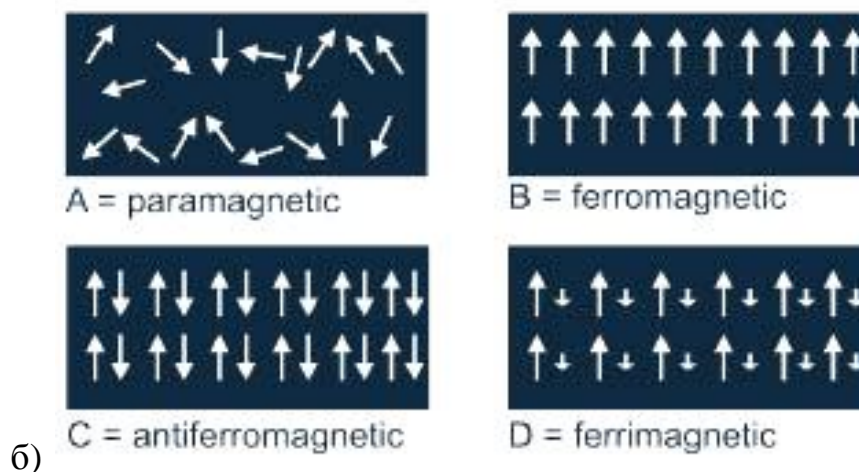
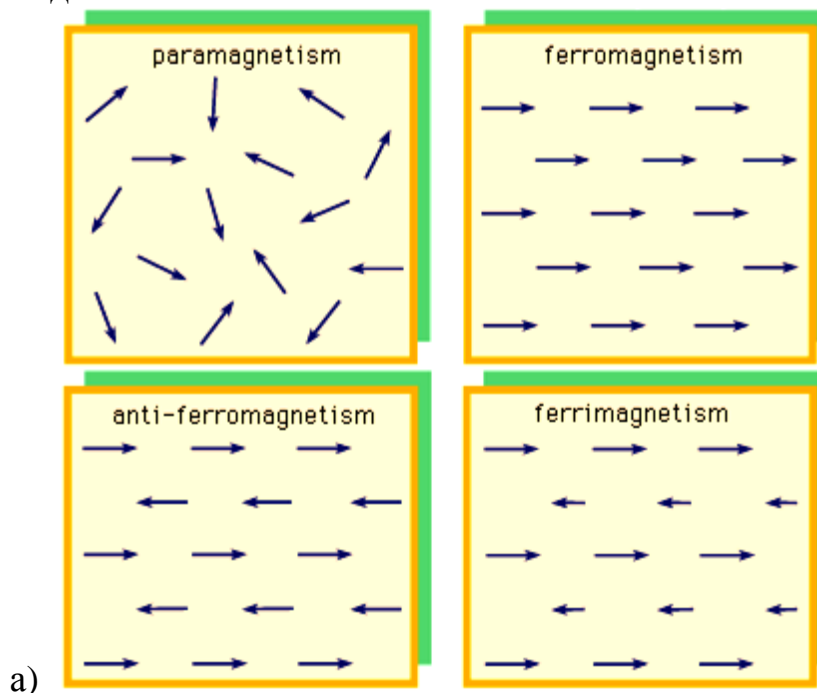
- Диамагнетикларда  $\chi < 0$  бўлади. Бу синфга оид бўлган моддалар

(фосфор, олтингурут, суръма, углерод, симоб, олтин, кумуш, мис каби элементлар сув ва кўпчилик органик бирикмалар)да магнит майдон бир оз сусаяди ( $\mu = 1 + \chi < 1$ ).

- Парамагнетикларда  $\chi > 0$  бўлади. Бу синфга кирувчи кислород, азот,

алюминий, платина, вольфрам каби элементларда магнит майдон бир оз кучаяди. ( $\mu = 1 + \chi > 1$ )

• Ферромагнетикларда  $\chi \gg 0$  бўлади. Бу синфга кирувчи темир, никел, кобальт каби металлларда ва уларнинг қотишмаларида магнит майдон жуда зўрайиб кетади.



**8.1-расм. Модданинг турли магнит хоссаларида диполар ҳосил қилган ички магнит майдонлари.**

### 1. Диамагнетизм ва парамагнетизм.

Табиатда мавжуд ҳамма элементлар магнит хоссаларига эга. Юқорида моддаларнинг магнит хоссаларига кўра уч гуруҳи кўрсатилган. Шулардан  $\mu < 0$  *юки*  $\chi < 0$  бўлган моддалар –диамагнетиклар деб юритилади.

Диамагнетиклар ва парамагнетиклар бир- биридан фарқини молесулар сатҳларида модда молекуласи диполе магнит момент бор ёки йўқлиги билан фарқ қилади. Парамагнетларнинг молекула (ёки ионлари) дипол магнит

моментиға эга экан<sup>1</sup>. Ташқи магнит майдони молекулалар ихтиёрий жойлашади ва магнит таъсирлар мавжуд эмас. Агар модда ташқи магнит майдонига жойлаштирилса (масалан, соленоидда), бу майдон магнит диполларида айлантирувчи момент ҳосил қилади ва уларни майдон бўйича жойлаштиради. Тўла магнит майдон индуксияси (Ташқи магнит майдон индуксияси ва тартибли жойлашган магнит диполларининг йиғиндиси),  $B_0$  ни бироз кўчайтиради. Аммо молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати магнит диполлари тартибини бузиб туради. Модданинг магнитланганлик вектори (модданинг магнит қабул қилувчанлиги)  $\chi$  ни қулай кўринишдаги характеристикаси бирлик ҳажмдаги магнит диполи моменти билан аниқланади:

$\chi =$  Модданинг магнитланганлик вектори (модданинг магнит қабул қилувчанлиги)  $\chi$  ни қулай кўринишдаги характеристикаси бирлик ҳажмдаги магнит диполи моменти билан аниқланади:

$$\chi = \frac{M}{V}, (2)$$

Бу ерда  $M$ - намунанинг магнит диполи момент,  $V$  -модда ҳажми.  $\frac{M}{V}$ , (2)

Бу ерда  $M$ - намунанинг магнит диполи момент,  $V$  -модда ҳажми.

Экспериментларнинг тасдиқлашича модданинг магнитланганлик вектори  $\chi$  ташқи магнит майдонига тўғри пропорционал (диполларни тартибга солувчи майдон индуксияси) ва абсолют ҳарорат  $T$  га тесқари пропорционал (диполар жойлашувини ихтиёрий бўлишини характерловчи катталиқ). Бу боғланишни биринчи бўлиб аниқлаган Пьер Кюри (1859-1906) шарафига Кюри қонуни дейилади:

$$\chi = C \frac{B}{T}, (3)$$

Бу ерда  $C$ -Кюри доимийси.  $B/T$  нинг катта қийматларида Кюри қонуни

бажарилмайди (яъни  $B$  нинг жуда катта қийматларида ёки  $T$  нинг жуда кичик қийматларида.  $B$  нинг қиймати ошиб борса (ёки  $T$  нинг қиймати камайиб борса, бирор нуқтада магнитланганлик қиймати  $\chi$  ўқининг максимал қийматига эришади ва бу қиймат ўзгармайди.

Диаманетиклар доимий магнит диполи моментларига эга бўлмаган моддалардир. Ташқи магнит майдон таъсирида ҳосил бўлган магнит диполи момент ташқи майдонга қарама-қарши таъсир кўрсатади. Шунинг учун модда ичида магнит майдони ташқи магнит майдонига қараганда анча кучсизроқ. Диаманетизмнинг ҳамма моддаларга хос, аммо парамагнетиклар ва ферромагнетикларда парамагнет ва ферромагнит таъсирлар (еффеқтлар) билан кучли ниқобланган. Ҳар қандай модданинг температурасини пасайтириб диаманетикка айлантириш мумкин [2].

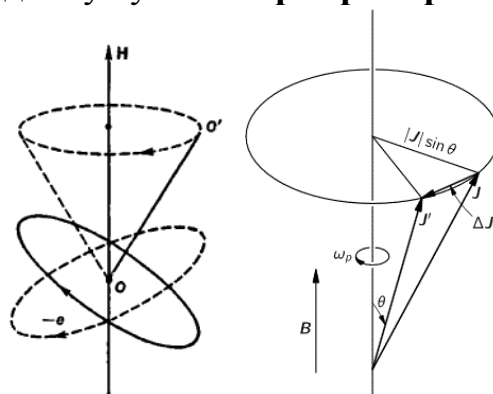
Ташқи магнит майдон таъсири остида атомнинг электрон орбиталари айланма токка эквивалент бўлувчи претсессин ҳаракат содир қилади. Чунки индуксия вектори орбита текислигига нисбатан пастга ёки юқорига

<sup>1</sup> Ba'zan tabiatda boshqa turdagi paramagnetlar, ya'ni ko'p miqdorda elektronlari mavjud bo'lganlari ham uchrab turadi.

йўналишидан қатъий назар, электроннинг орбитал ҳаракатида  $F = m_e \omega_0^2 r$  билан аниқланадиган частота ўзгариши содир бўлади. Агар электроннинг орбитал магнит момент вектори  $\vec{P}_m$  ташқи магнит майдон индукция вектори  $\vec{B}$  билан  $\alpha$  бурчак ҳосил қилса, орбита бўйлаб ҳаракат қилаётган электронга қиймати  $M = P_m B \sin \alpha$  бўлган айлантирувчи момент таъсир этади. Натижада  $\vec{P}_m$  векторнинг  $\vec{B}$  атрофида протсессияон ҳаракати вужудга келади. Бу ҳаракатнинг бурчак тезлиги **Лармор частотаси** дейилади.

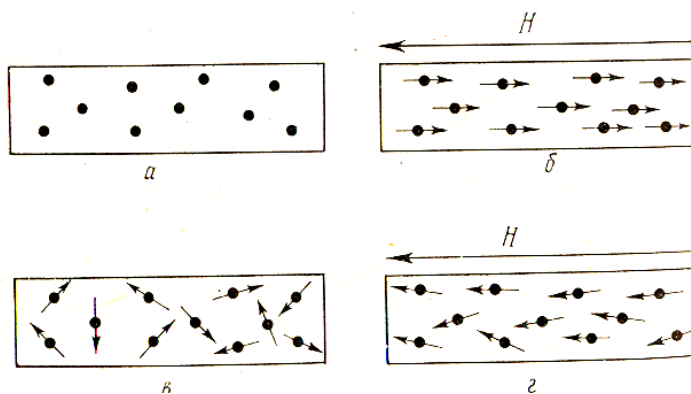
$$\omega_L = \frac{eB}{2m_e} = \frac{e\mu_0 H}{2m_e} \quad (4)$$

Демак, электроннинг магнит momenti фазода қандай жойлашишидан қатъий назар, ташқи магнит майдон таъсирида электроннинг орбитал магнит momenti ядро марказидан ўтган ўққа нисбатан  $\omega_L$ -доиравий частота билан протсессияон ҳаракат қилади. Бу хулоса **Лармор теоремаси** деб аталади.



**8.2-расм. Ташқи магнит майдон таъсирида электроннинг орбитал магнит momenti ядро марказидан ўтган ўққа нисбатан ҳаракати.**

Электроннинг ҳаракати туфайли ҳосил бўлувчи микро ток ташқи магнит майдонининг таъсирида индукциялангани сабабли, Лентс қоидасига биноан амалда ташқи майдонга қарама-қарши йўналадиган майдон пайдо бўлади. Шу тариқа орбита бўйлаб ҳаракат қилаётган электрон ташқи магнит майдон таъсирида  $\vec{B}$  векторга тесқари йўналган қўшимча магнит momentини вужудга келтиради (8.3-расм).



**8.3-расм. Моддалардаги диамагнетик эффект, яъни элестрон ташқи магнит майдон таъсирида  $\vec{B}$  векторга тескари йўналган қўшимча магнит моментини вужудга келтириши.**

Бу ҳодиса **диамагнит эффект** деб аталади. Диамагнит эффект атомларининг магнит моментлари 0 га тенг бўлган моддаларда намоён бўлади. Ташқи магнит майдони бўлмаган тақдирда бундай моддалар атомлари таркибидаги электронларнинг магнит моментлари ўзаро бир-бирини компенсациялайди. Бундай моддаларнинг қабул қилувчанлиги манфий бўлади. Уларни **диамагнетиклар** деб айтилади. Энг кучли диамагнетик ҳисобланган висмут учун  $\chi = 1,4 \cdot 10^{-6}$  га тенг.

Ташқи майдон бўлмаган тақдирда модда атомларининг магнит momenti 0 дан фарқли бўлса, магнит майдон бундай модда атомларининг магнит моментларини майдон бўйлаб йўналтиришга ҳаракат қилади. Натижада ташқи магнит майдони кучаяди. Бу ҳодисани **парамагнит эффект** унга мос келувчи моддаларни эса **парамагнетиклар** деб аталади.

- Диамагнетизм барча жисмларга бирдай тааллуқли хусусият ҳисобланади, чунки у ташқи магнит майдонининг модда атом ва молекулалардаги электрон орбиталашга таъсирини намоён қилади.

- Орбиталардаги электрон ҳаракат тезлигининг ўзгариши оқибатида ташқи майдонга тескари йўналиб, уни сусайтирадиган қўшимча магнит майдони ҳосил бўлади (Ленте қонуни). Шундай қилиб, ҳар қандай модда унинг ичига магнит майдони кириб келишига тўсқинлик қилади.

- Диамагнит эффект орбиталар жойлашувининг тартибланиши билан боғлиқ эмас. Шунинг учун диамагнит қабул қилувчанлик  $\chi$  температурага фарқсиз.

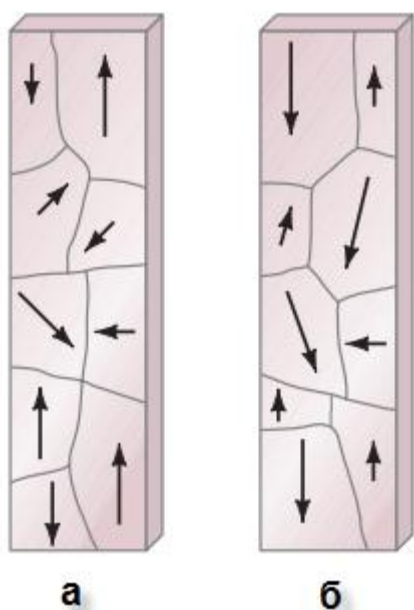
- Модданинг атом ва молекулалари хусусий магнит моментига эга бўлмаган тақдирдагина у диамагнит бўла олади. Бу ҳолда модданинг унга таъсир қилувчи ташқи магнит майдонига кўрсатадиган бирдан-бир реакцияси фақат диамагнит эффектдан иборат бўлади.

### **Ферромагнетизм: Доменлар ва Гистерезис**

**Биз темирдан (ва бирнеча бошқа материаллар) кучли магнитлар тайёрлана олинишини ўтган дарсларда да кўрдик. Бу материаллар ферромагнетикдеб айтилади.**

#### **Ферромагнетизмнинг манбалари**

**Мисроскопик кузатувлар шуни кўрсатадики, темир парчаси узунлиги ёки кенглиги 1 ммдан кам бўлган доменларкичик муҳитда тайёрланади. Ҳар бир домен шимолий ва жанубий қутби билан кичик магнит ҳарактерига эга. Магнитланмаган темир парчасида, доменлари тасодифий жойлашган бўлади, 8-4а шакл.**

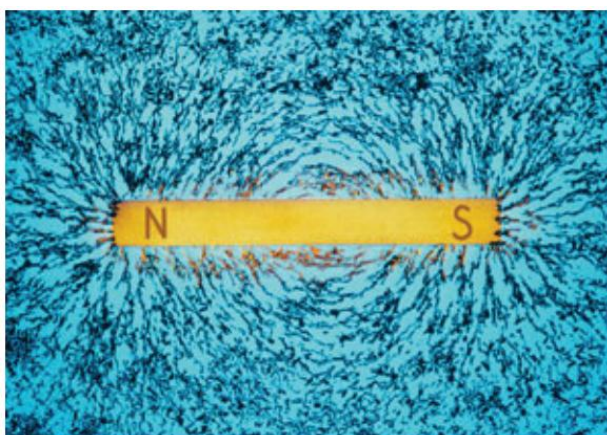


8-4 шакл (а) темирнинг магнитланмаган парчаси тасодифий жойлашган доменлардан ташкил топган. Ҳар бир домен кичик магнит ҳисобланади; векторлар магнитланиш йўналишини кўрсатади, яни вектор учи N қутб бўлади. (б) магнитда доменлар бир йўналишда тартибланган (бу ҳолатда пастга йўналган) ва магнитланиш жараёни бўйича ўлчамда

ўзгара олади.

Доменларнинг магнит эффектлари ҳар бири тартибсиз жойлашади, шунинг учун бу темир парчаси магнит эмас. Магнитда доменлар 8-4б шаклда кўрсатилгандек (пастга йўналган бу ҳолатда) бир йўналишда йўналган бўлади. Магнит магнитланмаган темир парчасидан кучли магнит майдонда жойлаштириш орқали тайёрланади. (Сиз игна магнетик тайёрлай оласиз, масалан, кучли магнитнинг бир қутби теккизиш орқали). Доменларнинг магнитланиш йўналиши ташқи майдонга деярли параллел бўлиб секин бурилади ва доменларнинг чегаралари кўча олади, шунинг учун ташқи майдонга параллел йўналган магнетик билан доменлар каттароқ ўсади (8-4а ва б ларни солиштиринг).

Биз нозир қандай қилиб магнит магнитланмаган темир парчаларини ҳудди қоғоз қисқичдек йиға олишини тушинтира оламиз. Магнитнинг майдони магнитланмаган объектдаги доменларнинг кам бошқа ҳолатда қўйилишига сабаб бўлади, шунинг учун у доимий магнит жанубий қутби унинг шимолий қутби юзлаштириш билан вақтинчалик магнит бўлади; бинобарин, таъсир натижалари. Шунга ўхшаш, магнит майдонда чўзилган темир парчалари магнит майдон шаклига мос тартибли доменлар ва ўзлари тартибланишга еришади, 8-5 шакл.



## 8-5 шакл. Доимий майдон атрофида магнит майдон чизиқлари

Темир магнит узоқ вақт магнитланган ҳолатда сақланади ва “доимий магнит” деб айтилади. Лекин, агар сиз магнитни полга ташлам юборсангиз ёки уни болға билан урсангиз, сиз доменларни тартиблантасиз ва магнит магнетизмнинг ҳаммасини ёки бир қисмини йўқотади. Доимий магнитни қиздириш магнетизмнинг йўқолишига сабаб бўлади, температура ошгани учун тартибсизланишга интилган домен атомларнинг тасодифий иссиқлик ҳаракати ошади. Юқорида тақидланган температура Күре температураси (темир учун 1046 К) дейилади, бу ҳолатда магнит тайёрлана олинмайди.

Магнит бўлаги ва электр ток ҳалқаси орқали ҳосил бўлган майдонлар орасидаги ўхшашлик шундай ҳулосага олиб келадики, эҳтимол эллектр токи орқали ҳосил бўлган магнит майдонлар ферромагнетизм билан қилинилади. Замонавий атом назариясига кўра, атомлар марказий нувлионлар атрофидаги электронлар деярли визуал бўлади. Электронлар зарядланган, шунинг учун электр ток вужудга келади ва магнит майдон ҳосил бўлади. Лекин, майдонлар орбитал электронлар охирига ҳеч нарса қўшилмаслигига сабаб бўлади. Электронларнинг ўзлари қўшимча магнит майдон ҳосил қилади, агар улар ва уларнинг электр заряди уларнинг хусусий йўналишларида айланаса. Бу магнит майдон электрон спинитуфайлидир, яни у асосий ферромагнетик материалларда ферромагнетизм ҳосил қилиш саналади.

Бугунги кунда, барча магнит майдонлар электр токи орқали ҳосил қилинади. Бу магнит майдон чизиқлари ҳамма вақт электр майдонга ўхшамаган ва ҳалқага яқин бўлади, яни мусбат заряддан бошланиб, манфий зарядда тугайди.

### Магнит сингдирувчанлик

Агар темирга ўхшаш ферромагнетик материал парчаси электромагнитланган соленоид ичига жойлаштирилса, магнит майдон соленоид ичидаги ток орқали 100 ёки 1000 марта ошади. Бунинг сабаби, темир ичидаги доменлар соленоид ғалтак ток туфайли ҳосил бўлган ташқи майдон орқали тартибланган бўлади.

Умумий  $\vec{B}$  магнит майдони, икки атамани йигиндисига тенг,

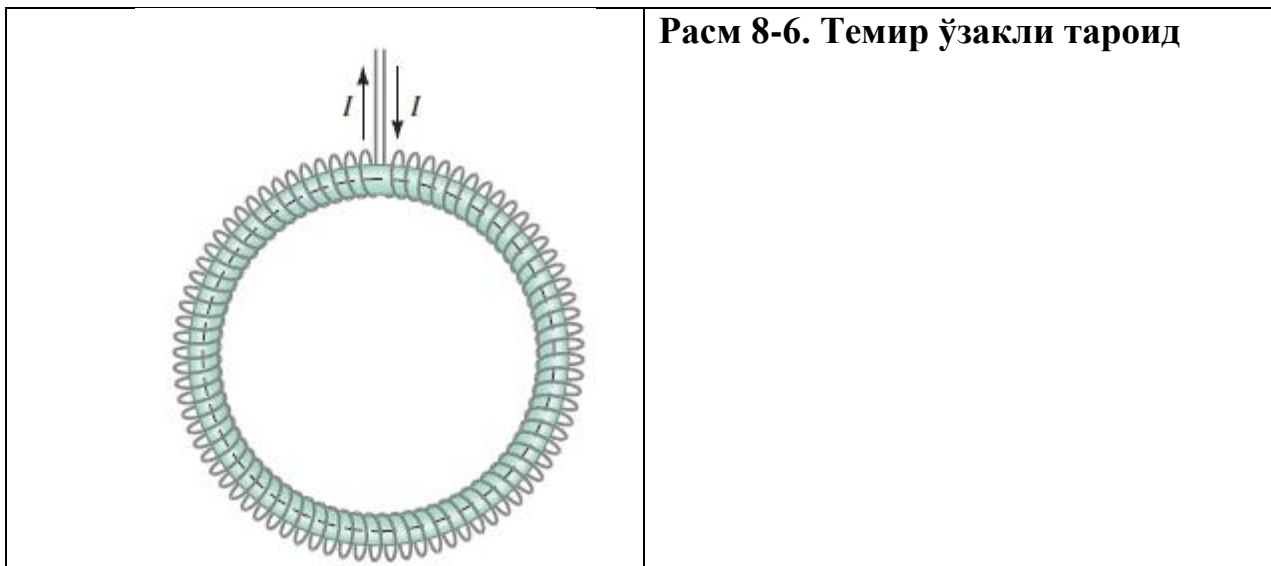
$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_M.$$

$B_0$  бу соленоид ғалтакдаги ток майдони,  $B_M$  эса темир сабабли қўшимча майдон. Одатда  $B_M \gg B_0$  тенглик булади. Умумий майдонни, 20-8 тенгламадаги (соленоидлар учун  $B = \mu_0 NI/\ell$ ) константа  $\mu_0$  ни бошка, ғалтакни ичидаги материални хусусияти булмиш, магнит



утказувчанлиги номли константа  $\mu$  билан алмаштириб ҳам езишимиз мумкин.

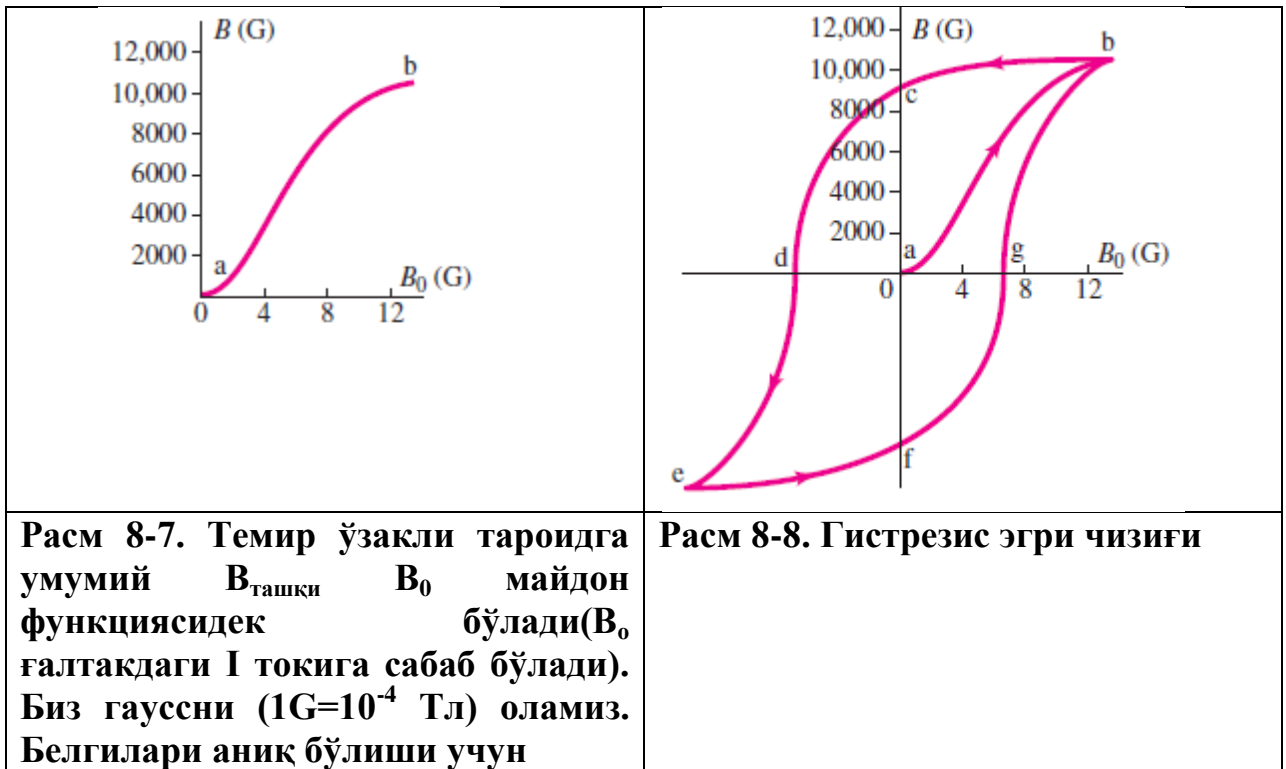
Шундан сунг  $B = \mu NI/\ell$  тенглик чикади. Ферромагнетик материаллар учун  $\mu$  анча катта булади  $\mu_0$  га караганда. Бошка ҳамма материаллар учун,  $\mu$  киймати  $\mu_0$  кийматига жуда якин булади. Аммо ферромагнетик материаллар учун  $\mu$  киймати доимий эмас, куйидаги тажрибада берилганидек  $\mu$  ташки майдон кучига боглик.



Расм 8-6. Темир ўзакли тароид

### Гистерезис

Магнит материаллар улчовида кўпинча торус еки тороиддан фойдаланилади, кайсики худди узун тешик кулча куринишга келган соленоид шаклида булади, (8-6 расм), шунинг учун деярли  $\vec{B}$  нинг барча чизиклари тороид ичида булади. Бошланишида магнитланмаган, темир узакка эга булган ва сим халкасида ток булмаган тороидни тасаввур килинг. Кейин  $I$  токи секин узишни бошлайди, ва  $B_0$  (факатгина  $I$ га боглик)  $I$  билан чизикли узиб боради. Умумий  $B$  майдон ҳам усади, лекин  $B$  ва  $B_0$  умумий графиги 8-7 расмда тасвирлаган эгри чизикка эргашади. Дастлаб, а нуктасида, майдон тасодифий йуналган булади.  $B_0$  узиб боргани сари,  $b$  нуктага етиб боргунча майдон яна ва яна текисланиб бораверади, деярли хаммаси текисланади. Темир туйинишга караб борилади деб ҳам айтилади.



Кейинги ҳолатда ғалтакдаги токни камайди деб тасаввур қилайлик,  $B_0$  майдон ҳам камаяди.

Агар ток (ва  $B_0$ ) нолгача тушса, 8-8 расмдаги с нукта, майдонлар бутунлай тасодифий бўлмайди. Бунинг урнига баъзи доимий магнитланиш темир узагида қолади. Агар ток тескари йуналишга усса, етарлича майдонлар орқага қайрилиб, d нуктада, умумий  $B$  нолга тенг бўлиб қолади. Тескари ток усиб боргани сари, карама қарши йуналишда, e нуктада, темир туйиниб боради.

Охир оқибат ток яна нол нуктага тушса (f нуктада), ва кейин асл йуналишида ошса, умумий майдон efgb нукталари йулини босиб утади, ва яна b нуктада туйинишга яқинлашади.

Ушбу сиклда майдон бошлангич (a нукта) нуктадан утмаганлигига ахамият беринг. Эгри чизикни босган йулини яна қайтиб босмаслиги гистрезис деб аталади. bcdefgb эгри чизиғи гистрезис халқаси дейилади. Шундай даврда, майдонларнинг қайта текисланишига кетган энергия иссиқлик (ишқаланиш) энергиясига айланади. с ва f нукталарда темир узаги магнитланган бўлади гарчи ғалтакларда ҳеч қандай ток бўлмасада. Бундай нукталар доимий магнит нуктасига тегишли бўлади.

1. Ҳар бир ферромагнетик **Кюри нуктаси**  $T_k$  деб аталувчи аниқ бир температурада ўзининг ферромагнетиклик хусусиятларини йўқотади. Бунда у оддий парамагнитга айланади. Магнит қабул қилувчанлик  $\mu$  нинг абсолют температурага боғлиқлигини **Кюри-Вейсс қонуни** ифодалайди:

$$\chi = \frac{C}{T - T_k} \quad (6)$$

бунда *C*-доимий микдор (айни шу берилган модда учун).

## 2. Ферритлар

Доменли тузилиш фақат ферромагнитларга хос бўлган хусусиятдир. Ферромагнит кристалл панжарасидаги атомлар бир-бирига жуда яқин жойлашган. Икки қўшни атомдаги валент электрон орбиталарининг устма-уст тушиши туфайли улар ўзаро электрон алмашилиб турадилар. Бундаги алмашинув кучлари атом магнит моментларини бир-бирига параллел ёки антипараллел жойлаштириши мумкин. Биринчи ҳолда намуна ферромагнит, иккинчи ҳолда эса антиферромагнит тузилишга эга бўлади. Антиферромагнитларнинг ферромагнитлардан фарқи, уларнинг таркибида ўз-ўзидан магнитланган доменларнинг йўқлигидир. Бу хусусият билан антиферромагнит парамагнитга ўхшашдир. Лекин антиферромагнитлар учун **Нейл температураси** деб аталувчи критик  $T_n$  температура мавжуд бўлиб, бу ҳароратда антиферромагнит парамагнитдан бутунлай фарқ қилади. Хусусан,  $T < T_n$  шартни қаноатлантирганда унинг солиштирма магнит қабул қилувчанлиги кескин ошади. Аксинча  $T > T_n$  бўлганида эса, у парамагнит табиатига эга бўлиб қолади ва Кюри қонунига бўйсунди.

$MnO$ ,  $MnF$ ,  $FeO$ ,  $FeCl_2$ ,  $CoO$  каби бирикмалар антиферромагнетикларга мисол бўла оладилар. Уларнинг температураси ошганида магнит қабул қилувчанлиги ҳам дастлаб ошади,  $T = T_n$  да максимал қийматга эришади ва сўнгра камаяди.

Агар антиферромагнетикларнинг айрим панжараларининг магнит моментлари ўзаро тенг бўлмаса, улардаги умумий магнит момент  $0$  дан фарқли бўлиб, унинг қиймати ферромагнетик магнит моментининг қийматига яқинлашиб қолади. Бундай моддаларни **ферритлар** деб аталади. Ферритлар-ярим ўтказгичлар бўлиб, уларнинг солиштирма электр қаршиликлари металлларникидан миллиардлаб марта катта бўлади. Масалан, темирнинг солиштирма қаршилиги  $8,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$  бўлса, ферритларнинг солиштирма қаршилиги  $10^4$  дан  $10^7 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  гача ўзгаради.

$MeO \cdot Fe_2O_3$  -типидаги кимёвий бирикмалар ферритларни ташкил этади. Бунда *Me* ИИ валентли металл (*Mn*, *Co*, *Ni*, *Su*, *Mg*, *Zn*, *Gd*, *Fe*) нинг иони. Ферритлардан доимий магнитлар, ферритли антеналар, радиочастотали контурларнинг ўзаги, ҳисоблаш техникасида оператив хотира элементларини ясашда фойдаланилади.

### **ТАЯНЧ СЎЗ ВА ИБОРАЛАР**

Магнит оқими, магнит майдон энергияси, энергия зичлиги, токли ўтказгич, модда, муҳит, диамагнит, майдон, парамагнит, ферромагнит, микроток, конвекцион тоқлар, магнитланиш, магнитланиш вектори, магнит қабул қилувчанлик, магнит индукцияси, магнит доимийси.

### **НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ**

1. Магнит майдон энергияси қандай аниқланади.
2. Магнит майдон индукцияси ва кучлаганлик ўзаро қандай боғланган.
3. Микротоқлар қандай ток.
4. Магнитланувчи вектор қандай аниқланади.
5. Магнит қабул қилувчанликнинг мазмунини тушунтиринг.
6. Магнит сингдирувчанликнинг физик маъносини тушунтиринг.
7. Магнит майдонига қўйилган модданинг электрони магнит майдонида қандай таъсирланади.
8. Диамагнит эффект қандай эффект.
9. Парамагнит эффект қандай ҳодиса.
10. Диамагнит жисмларнинг парамагнит жисмлардан асосий фарқи нимада.
11. Компас стрелкаси Ер сатҳи бўйлаб ҳар доим ҳам баланс ҳолда параллел эмас, бир учи пастга огиб туриши мумкин. Тушунтиринг.
12. Тақасимон магнит шимол кутби чапга ва жануб кутби уннга қараган ҳолда вертикал турибти. Сим кутблар орасидан утмоқда, тенг масофада, сиздан тугридан тугри кочган ҳолатда. Симдаги куч каекка йуналган булади? Тушунтиринг.
13. Магнит алюмин еки мисдан қилинган метал жисмни узига тортадими? Уриниб қуринг. Нима учун шундай?
14. Икки темир устун учлари қандай бир бирига яқин жойлашганидан қатъий назар тортишяпти. Иккалари ҳам магнитми? Тушунтиринг.
15. Уйингиздаги симлардаги ток сабаб магнит майдон компасга таъсир этиши мумкин. Таъсирни тоқлар орқали тушунтиринг, агар улар узгарувчан еки узгармас ток булса.
16. Агар манфий зарядланган заррача доимий магнит майдон кучасига қирса ва магнит майдон заррача тезлигига перпендикуляр булса, заррачанинг кинетик энергияси ошадими, қамаядими еки узгармас буладими? Жавобингизни тушунтиринг.
17. Фараз қилинг сизда учта темир тақчалари мавжуд, иккитаси магнитлашган ва биттаси магнитлашмаган. Сиз қандай қилиб бошқа қушимча асбобларни ишлатмасдан иккитаси магнитлигини аниқлайсиз?
18. Сиз тинч етган электронни магнит майдони ердамида ҳаракатга қелтира оласизми? Электр майдони ердамидачи? Тушунтиринг.

## МАВЗУГА ОИД АМАЛИЙ ТОПШИРИҚЛАР

1. (I) (a)  $0.90\text{-T}$  доимий магнит майдонга перпендикуляр булган  $6.40\text{-A}$  ток ташувчи симга таъсир киладиган куч/метр нимага тенг? (b) Агар майдон ва симнинг орасидаги бурчак  $35^\circ$  булсачи?
2. (I)  $4.80\text{м}$  узунликдаги симдан канча ток окиб утади, агар  $0.0800\text{-T}$  доимий майдонга  $0.625\text{N}$  максимум куч таъсир килса?
3. (I)  $240\text{м}$  узунликдаги сим икки минора буйлаб тортиб куйилди ва  $120\text{A}$  ток утказилди. Кучнинг симга булган кийматини аниқланг, агар Ернинг магнит майдони  $5.0 \times 10^{-5}\text{T}$  булса ва сим билан  $68^\circ$  бурчак хосил килса.
4. (I) Узунлиги  $2.6\text{м}$  булган горизонтал сим  $4.5\text{-A}$  токни жанубга ташийди. Ернинг магнит майдони ва сим орасидаги оғиш бурчаги  $41^\circ$  тенг. Симга таъсир килаётган магнит кучининг кийматини аниқланг, агар Ер магнит майдони  $5.5 \times 10^{-5}\text{T}$  булса.
5. (I) Магнит кучининг сим метрига нисбатан киймати максимум мумкин булган кийматининг  $45\%$  ташкил килади. Сим ва магнит майдон орасининг бурчаги нимага тенг?
6. (II)  $6.45\text{ A}$  ток ташиётган симга таъсир килаётган  $1.28\text{N}$  куч уз кийматига магнитнинг кутблари орасида эришди. Агар кутблар диаметри  $55.5\text{ см}$  булса, тахминий магнит майдон кучи нимага тенг?
7. (II) Симга таъсир килаётган  $8.50 \times 10^{-2}\text{N}$  куч уз кийматига магнитнинг кутблари орасида эришди. Ток унғ томонга горизонтал оқади ва магнит майдони вертикал. Ток екилган пайтда, томошабин йуналиши буйлаб сим худди сакрагандек булди.  
(a) Юқори кутб кандай магнит кутб турига киради? (b) Агар кутблар диаметри  $10\text{см}$  булса, симдаги токнинг кийматини аниқланг, майдон  $0.220\text{T}$  га тенг. (c) Агар сим горизонт билан  $10^\circ$  ташкил килса, кандай кучни хис килади? (Ердам: энди майдонда сим узунлиги канча булди?)
8. (II) Тасаввур килинг,  $1\text{мм}$  диаметрлик мис сими Ернинг магнит майдон  $\mathbf{B}$  (горизонтал, симга перпендикуляр,  $5.0 \times 10^{-5}\text{T}$ ) ердамидаги кучи таъсирида хавода горизонтал йуналишда сузиб юрибди. Сим канача улчамда ток ташийди? Жавоб реал куринишга эгами? Тулик тушунтиринг.

9. II) Массаси  $6,6 \times 10^{-27}$  кг бўлган гелий иони ( $Q = +2e$ ) 3700 В кучланишда тезлатилган. (а) Унинг тезлиги нимага тенг? (б) 0,340 Т бўлган магнит майдонда ҳаракатланиш радиусини топинг. (в) Унинг айланишлар даври нимага тенг?

10. (II) В магнит майдонида айлана бўйлаб ҳаракатланаётган массаси  $m$  ва заряди  $q$  бўлган заррача учун, (а) кинетик энергияси айлана радиусининг квадрати  $r^2$  га пропорционал эканлигини кўрсатинг. (б) айлана марказига нисбатан айланма моменти  $L = qBr^2$  эканлигини кўрсатинг.

11. (II) Кинетик энергияси 1,5 МэВ бўлган протон 0,30 Тл майдонга перпендикуляр равишда киради. Унинг траекториясининг радиуси нимага тенг? 17-4 бўлимга қаранг.

12. (II) Магнит майдон ичида шимолга томон  $2,8 \times 10^6$  м/с тезлик билан ҳаракатланаётганда электронга максимал куч таъсир қилади. Куч вертикал юқорига йўналган бўлиб, қиймати  $6,2 \times 10^{-13}$  Н га тенг. Магнит майдоннинг йўналиши ва қиймати нимага тенг?

13. (II) Протон ва электрон магнит майдонига кираётганда бир хил кинетик энергияга эга. Уларнинг айланма траекториялари радиусларининг нисбати нимага тенг?

\*14. (III) Ток ўтказувчи материалдан ташкил топган тўғри тўртбурчак шаклидаги пластинка кўринишидаги Холл наъмунаси қиймати 0,10 Тл бўлган магнит майдонда калибрланган. Магнит майдон пластинканинг сиртига перпендикуляр йўналганда унинг четида ҳосил бўлган Холл ЭЮК 12 мВ эканлиги ўлчанди. Кейин пластина номаълум В магнит майдонига киритилди ва 63 мВ бўлган Холл ЭЮК ўлчанди. Агар В магнит майдон билан пластина орасидаги бурчак (а)  $\theta = 90^\circ$ , ва (б)  $\theta = 60^\circ$  бўлса, В ни топинг.

\*15. (III) Холл эффекти қон оқиш даражасини ўлчашга ёрдам беради, чунки қон электр токини ташувчи ионлардан ташкил топган. (а) Ионларнинг ишораси ЭЮК га таъсир қиладими? Нима учунлигини тушунтириинг? (б) Агар артерия қалинлиги бўйлаб ЭЮК 0,13 мВ ва  $B = 0,070$  Тл бўлса, диаметри 3,3 мм артериядаги оқим тезлигини топинг. (Амалда алтернатив магнит майдон қўлланилади.)

\*16. (III) Узунлиги 1,8 см ва қалинлиги 1,0 мм бўлган мис лента 1,2 Тл магнит майдонда 20-21а расмдагидек жойлаштирилган. Агар ундан 15 А турғун ток ўтса, Холл ЭЮК 1,02 мкВ эканлиги ўлчанди. (а) электронлар оқим тезлигини ва (б) мисдаги эркин (ўтказувчи) электронлар зичлигини (ҳажм бирлигидаги сони) аниқланг. (Эслатма: 18-8 Бўлимга қаранг.)

\*17. (I) Протонлар 0,566 Тл бўлган магнит майдонда 6,10 см радиусли айлана бўйлаб ҳаракатланади. Электр майдонининг қандай қийматида улар тўғри чизик бўйлаб ҳаракатланади? Электр майдони қайси йўналишда бўлиши лозим?

\*18. (I) Масс спектрометрда германий атомлари эгрилик радиуслари 21,0; 21,6; 21,9; 22,2; ва 22,8 см га тенг. Энг катта радиус атом массаси 76 б га тўғри келади. Бошқа изотопларнинг атом массалари қандай?

\*19.(II) 20-41 Расмдаги масс спектрометрда электр пластиналар орасидаги электр майдон  $2,88 \times 10^4 \text{В/м}$  ва магнит майдон  $B = B' = 0,68 \text{Тл}$  га тенг. Манба узок хтмишда нобуд бўлган дарахтнинг масса сонлари 12, 13, ва 14 бўлган углерод изотопларидан иборат. (Атом массаларини ҳисоблаш учун  $1,67 \times 10^{-27} \text{кг}$  га кўпайтиринг.) Бир зарядли ионларнинг фотоплёнкада ҳосил қилган чизиқлари орасидаги масофа қанча? Агар ионлар икки зарядли бўлса-чи?

\*20.(I) Узун ингичка пўлат ўзакли соленоид ҳар метрида 380 ўрамга эга ва ундан 350 мА ток ўтмоқда. Агар пўлатнинг сингдирувчанлиги  $3000\mu_0$  бўлса, соленоид ичидаги умумий магнит майдон  $B$  нимага тенг?

\*21.(II) Пулат ўзакли соленоид узунлиги 38 см, диаметри 1,8 см ва 780 ўрамга эга. Соленоид ичидаги магнит майдон ундан 48 А ток ўтганида 2,2 Тл га тенг. Бундай юқори майдонда магнит сингдирувчанлик  $\mu$  нимага тенг?

мати ва йўналишини топинг.

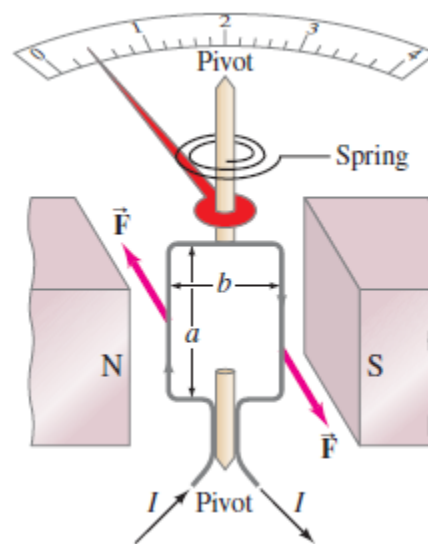
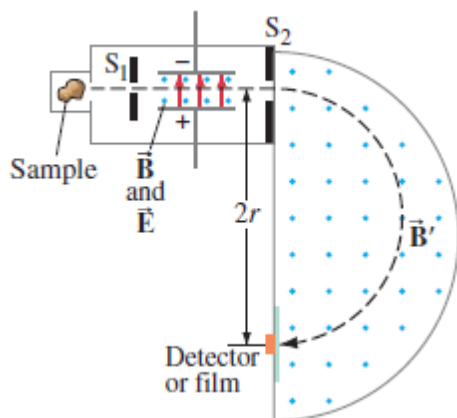
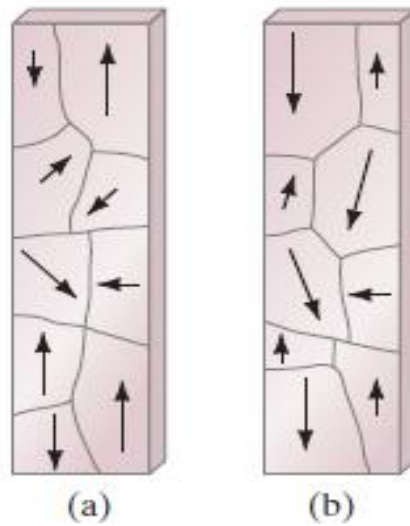
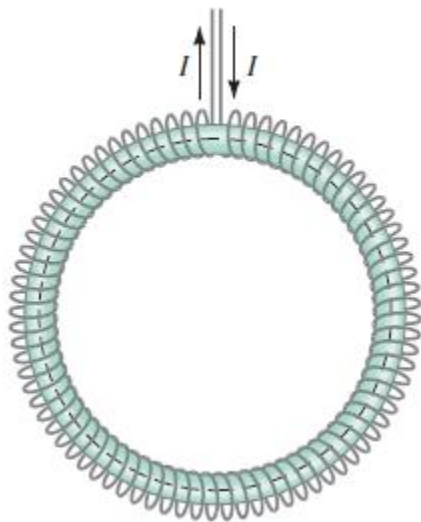
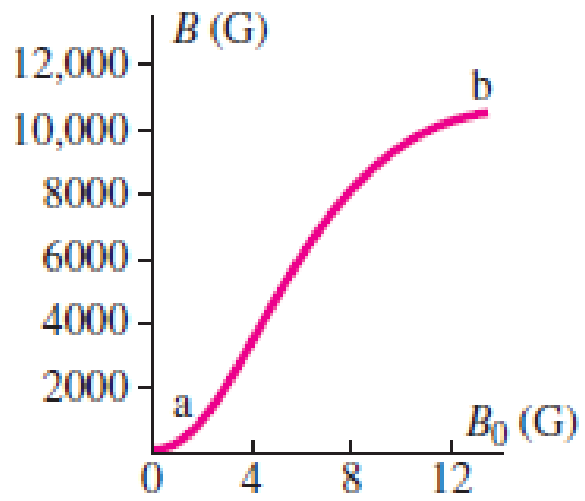
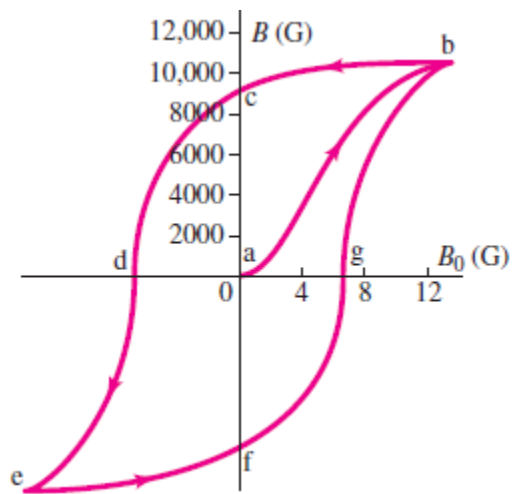
### ГИЛОСАРИЙ

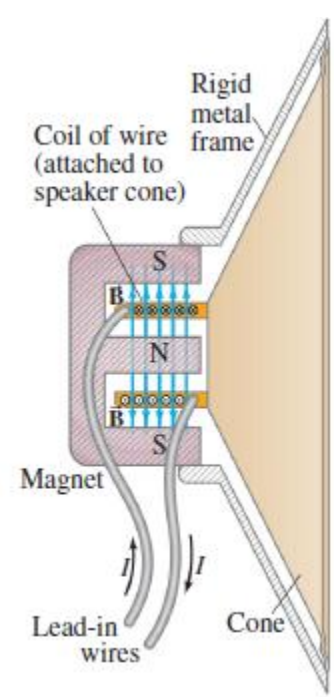
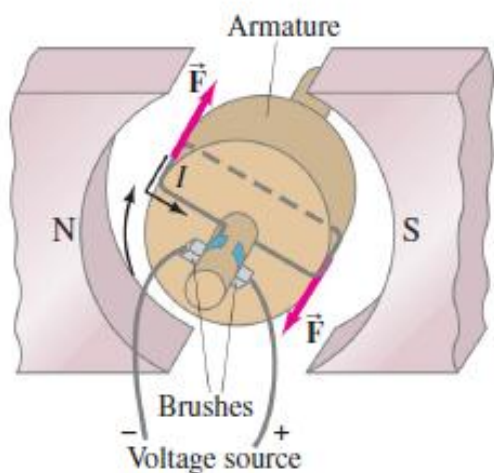
Физикавий тушинчалар	тарифи		
Magnit maydon energiyasi	Magnit maydon energiyasi shu maydonni hosil qiluvchi tokning bajargan ishiga tengdir: $W_m = \frac{LI^2}{2} ; W_m = \frac{\Phi I}{2}$		
Magnit maydon energiyasi zichligi	$w = \frac{W_m}{V} ;$ $w = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_0} ;$ $w = \frac{1}{2} \mu\mu_0 n^2 I^2$		
диомагнитлар	Бунда баъзи жисмлар ташқи майдонни сусайтирар эканлар, . Сусайтирдиганлари диамагнит,		
парамагнитлар	Бунда баъзи жисмлар кучайтирар эканлар., кучайтирадиганлари парамагнитлар деб аталади.		
ферромагнитлар	Агар кучайтириши жуда катта бўлса, бундай жисмлар ферромагнетиклар деб аталади.		

Гистрезис			
Кюри ҳарорати	<p>1. Ҳар бир ферромагнетик <b>Кюри нуқтаси</b> <math>T_k</math> деб аталувчи аниқ бир температурада ўзининг ферромагнетиклик хусусиятларини йўқотади. Бунда у оддий парамагнитга айланади.</p>		
доменлар	ўз-ўзидан магнитланиб қолган ва домен деб аталади		
Магнит сингдрукчанлик	Модданинг магнитланиш даражасини кўрсатади		
<b>Кюри-Вейс қонуни</b>	<p>Магнит қабул қилувчанлик <math>\mu</math> нинг абсолют температурага боғлиқлигини</p> $\chi = \frac{C}{T - T_k} \quad (6)$		

### Тарқатма Материаллар







1.	Muhitning magnit singdiruvchanligi	Konturning bir jinsli muhitdagi induktivligi $L$ ning uning vakuumdagi induktivligi $L_0$ ga nisbati bilan aniqlanadi: $\mu = L/L_0$
2.	O'zinduksiya hodisasi.	Zanjirdagi tokning o'zgarishi natijasida shu zanjirning o'zida induksiyalangan EYuK ning vujudga kelishiga o'zinduksiya hodisasi deyiladi. Bu hodisa elektromagnit induksiya hodisasining xususiy holidir, ya'ni konturdagi xususiy magnit oqimining o'zgarishi natijasida o'zinduksiya EYuK vujudga keladi. Konturda hosil bo'lgan o'zinduksiya EYuK: $\varepsilon_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ yoki $\varepsilon_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ .
3.	O'zaro induksiya hodisasi	Ikkita bir-biriga yaqin joylashgan g'altaklarning biridan o'zgaruvchan tok o'tayotgan bo'lsa, ikkinchi g'altakda induksiyalangan EYuK vujudga keladi. Bunga sabab birinchi g'altakdan o'zgaruvchan tok oqishi natijasida hosil bo'lgan o'zgaruvchan magnit maydonning uyurmali elektr maydonni vujudga keltirishi va bu maydon o'z navbatida ikkinchi g'altakda induksiya EYuK ni hosil qilishidir.
4.	Transformator va uning ishlash prinsipi (4 va 5 - rasmlar)	Transformator – bu keng diapazonda o'zgaruvchan kuchlanishni (tokni) kuchaytirish yoki pasaytirishda ishlatiladigan qurilmadir. Transformatorlarning ishlash prinsipi o'zaro induksiya hodisasiga asoslangan. $I_1$ o'zgaruvchan

		<p>tok birlamchi o'ramda o'zgaruvchan magnit hosil qiladi. Bu esa, ikkilamchi o'ramda o'zaro induksiya EYuKni hosil etadi. Transformatorning ikkilamchi o'ramida birlamchi o'ramiga nisbatan EYuK necha marta katta yoki kichikligini ko'rsatadigan koeffisient <i>o'zgartirish koeffisienti</i> deb ataladi.</p> <p><math>K &gt; 1</math> da – kuchaytiruvchi transformator.  <math>K &lt; 1</math> da – pasaytiruvchi transformator.</p>
5.	Magnit maydon energiyasi	<p>Magnit maydon energiyasi shu maydonni hosil qiluvchi tokning bajargan ishiga tengdir: <math>W_m = \frac{LI^2}{2}</math></p> <p>; <math>W_m = \frac{\Phi I}{2}</math></p>
6.	Magnit maydon energiyasi zichligi	<p><math>w = \frac{W_m}{V}</math>;      <math>w = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_0}</math>;      <math>w = \frac{1}{2} \mu\mu_0 n^2 I^2</math></p>
7.	Elektr toki generatori (6, 7, 8 - rasmlar)	<p>50 Gs chastotali o'zgaruvchan tok olish uchun, ramka bir jinsli magnit maydonda sekundiga 50 marta aylanishi kerak. Ikki qutbli doimiy magnit yoki elektromagnitlar ham shu chastota bilan aylanadilar. Qutblar soni bir necha juftga oshirish bilan aylanish tezligini kamaytirish mumkin.</p>