

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALARI VAZIRLIGI

NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH
INSTITUTI

Q.B.UMAROV, M.G.DADAMIRZAYEV, M.O.QOSIMOVA

F I Z I K A

(M A G N E T I Z M)

O'QUV QO'LLANMA

(710000 – Muxandislik ishi: 60710600 – Elektr energetikasi (elektr ta'minoti), 60711000 – Muqobil energiya manbalari va 60710700 – Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari)

NAMANGAN - 2024

UO‘K: 537.6

KBK: 22.334

U-44, D-11, Q-76

Fizika (Magnetizm) / O‘quv qo‘llanma / Q.B.Umarov, M.G.Dadamirzayev, M.O.Qosimova, Namangan: «SUNRISE-PRO», 2024. – 148-b.

KBK: 22.334

O‘quv qo‘llanmada «Fizika kursi»ning “Magnetizm” qismiga tegishli bo‘lgan mavzular: vakuumda magnit maydoni, vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyasiyasi va oqimi, elektromagnit induksiya hodisasi, moddalarning magnit xususiyatlari, elektromagnit maydon, elektromagnit tebranishlar va to‘lqinlariga doir nazariy ma’lumotlar va shu mavzular bo‘yicha, masalalarni yechish namunalari, mustaqil yechish uchun masalalar va laboratoriya ishlari keltirilgan.

Ushbu o‘quv qo‘llanma oliy ta’lim muassasalarining “Muxandislik ishi” ta’lim sohasi, 60710600 – Elektr energetikasi (elektr ta’minoti), 60711000 – Muqobil energiya manbalari va 60710700 – Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari) ta’lim yo‘nalishlari bo‘yicha bakalavrlar tayyorlash uchun ishlab chiqilgan fizikadan o‘quv dasturiga moslab tuzilgan.

Ma’sul muharir:

S.Boydedayev – NamMQI – f-m.f.n.

Taqrizchilar:

A. Mamadjanov – NamMQI f.-m.f.n.

B.Abdulazizov – NamDU f.-m.f.d.

Mazkur o‘quv qo‘llanma O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligining 04.03.2024-yildagi 55-sonli buyrug‘iga asosan № 729064-raqamli nashr ruxsatnomasiga ega.

ISBN: 978-9910-710-13-1

© Q.B.Umarov, M.G.Dadamirzayev, M.O.Qosimova, 2024.
© «SUNRISE-PRO», 2024.

MUNDARIJA

SO'Z BOSHI	6
1.VAKUMDA MAGNIT MAYDONI.....	7
1.1. Magnit maydoni va uning xarakteristikalarini	7
1.2. Bio – Savar – Laplas qonuni.....	13
1.3 Magnit maydonida joylashgan tokli o'tkazgichga.....	17
ta'sir etuvchi kuch. Amper qonuni	17
1.4. Magnit maydonida harakatlanuvchi zaryadli zarrachalarga.....	21
ta'sir etuvchi kuchlar. Lorens kuchi.	21
1.5. Xoll effekti	24
1.6. Zaryadli zarrachaning magnit maydonidagi harakati.....	22
Tezlatgichlar (Siklotron).....	22
1.7. Magnit oqimi. Gauss teoremasi	24
1.8. Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajarilgan ish.	33
Mavzuni mustahkamlash uchun savollar	35
LABORATORIYA ISHLARI.....	42
Mavzu: Taqasimon magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni o'lchash	42
Mavzu: Voltengofen mayatnigi: Aylanma tokning kamayishini.....	50
namoyish etish.....	50
Mavzu: To'g'ri o'tkazgich va aylanma halqaning magnit maydonini o'lchash.....	53
2. Vakuumdagi magnit maydon induksiya vektorining sirkulyasiyasi va oqimi.	26
2.1. Solenoid maydonining magnit induksiya. Ошибка! Закладка не определена.	
2.2.Torroid o'qidagi magnit maydon kuchlanganligi.....	31
2.3. Bir jinsli magnit maydoniga kiritilgan tokli ramka.	19
Mavzuni mustahkamlash uchun savollar. Ошибка! Закладка не определена.	

LABORATORIYA ISHI	Ошибка! Закладка не определена.
<i>Mavzu: Magnit o'zakka ega bo'lmagan induktiv g'altakning magnit maydonini o'lchash</i>	63
3.Elektromagnit induksiya hodisasi	Ошибка! Закладка не определена.
3.1. Faradey tajribalari	69
3.2. O'zinduksiya hodisasi.	72
3.3. O'zaro induksiya hodisasi.....	73
3.4. Magnit maydon energiyasi. Energiya zichligi.	78
<i>Mavzuni mustahkamlash uchun savollar</i>	80
LABORATORIYA ISHI	82
<i>Mavzu: Yer magnit maydonini aylanuvchi induksion g'altak yordamida o'lchash</i>	82
<i>Mavzu: Yer magnit maydon kuchlanganligining gorizontal tashkil etuvchisini tangensbussol yordamida aniqlash</i>	92
<i>Mavzu: G'altakning o'zinduksiya koeffitsientini aniqlash</i>	96
4. Moddalarning magnit xususiyatlari	100
4.1. Moddadagi magnit maydon	100
4.2. Magnetiklar. Gisterezis hodisasi.	104
<i>Mavzuni mustahkamlash uchun savollar</i>	112
LABORATORIYA ISHI	114
<i>Mavzu: Ferromagnitning magnitlanish egri chizig'ini va gisterzis halqasini o'lchash</i>	114
5. Elektromagnit to'liqlar va elektromagnit maydon	118
5.1. Elektromagnit induksiya hodisasining Faradey-Maksvell talqini.....	118
5.2 Siljish toki.....	122
5.3. Maksvell tenglamalari.....	126
5.4. Erkin fazodagi elektromagnit maydon uchun to'liq tenglamasi.....	128
<i>Mavzuni mustahkamlash uchun savollar</i>	134
6. Elektromagnit tebranishlar va to'liqlar.	135

<i>6.1. Tebranish konturidagi fizik jarayonlar</i>	<i>135</i>
<i>6.2. So`nuvchi elektr tebranishlar.....</i>	<i>137</i>
<i>Mavzuni mustaxkamlash uchun savollar</i>	<i>141</i>
<i>LABORATORIYA ISHI</i>	<i>142</i>
<i>Mavzu: Erkin elektromagnit tebranishlar</i>	<i>142</i>
<i>Foydalanilgan adabiyotlar</i>	<i>147</i>
<i>Elektron resurslar.....</i>	<i>147</i>

SO'Z BOSHI

Hozirgi kunda oliy ta'lim muassasalarida mutaxassislar tayorlashda asosiy e'tibor innovasion yondashuv asosida ta'lim sifatini oshirishga qaratilmoqda. Buning uchun, talabalar mustaqil ishlarini sifatli tashkil etishda o'quv uslubiy majmualar xalqaro talablarga javob beradigan darajada yaratilishi zarur. Oliy ta'lim muassasalarida o'qitiladigan fanlarning mazmunini tubdan qayta ko'rib chiqishni taqozo etadi. Zamonaviy muhandisdan fizikani o'qitishda faqat klassik fizikadagina emas, balki hozirgi zamon fizikasi (kvant fizikasi va elektronikasi, qattiq jisimlar fizikasi va boshqalar) dan ham chuqur bilimlar talab qilinmoqda. Biroq davrimizning asosiy xususiyati — axborotlar texnologiyasi va ko'lamining tez kengayib borishi, vaqt tanqisligi esa katta hajmdagi o'quv adabiyotlariga ehtiyojni kamaytirib, asosiy ma'lumotlarni mujassamlashtirgan ixcham va uslubiy jihatdan yuqori did bilan tuzilgan qo'llanmalarga zaruriyat tug'ilmoqda.

Shu munosabat bilan mualliflar uzoq yillar mobaynida muhandislikning turli yo'nalishlari bo'yicha tahsil olayotgan talabalarga o'qigan ma'ruzalari va o'tkazgan amaliy va laboratoriya mashg'ulotlari asosida ushbu «Fizika (Magnetizm)» o'quv qo'llanmasini yaratdi. U oliy ta'lim muassasalari bakalavr ta'lim yo'nalishlarining «Muxandislik ishi» ta'lim sohasiga mo'ljallangan bo'lib, fizika fanining «Magnetizm» bo'limida o'qitiladigan ma'lumotlar asosida fizikaning o'quv dasturlariga mos holda tuzilgan.

Qo'llanmani tayyorlashda mualliflar o'zlarining ko'p yillik tajribalariga tayanib, fizik tushunchalar va kattaliklar, hodisalar va qonunlarning fizik mohiyatlarini sodda va ravon tilda bayon qilishga harakat qilgan.

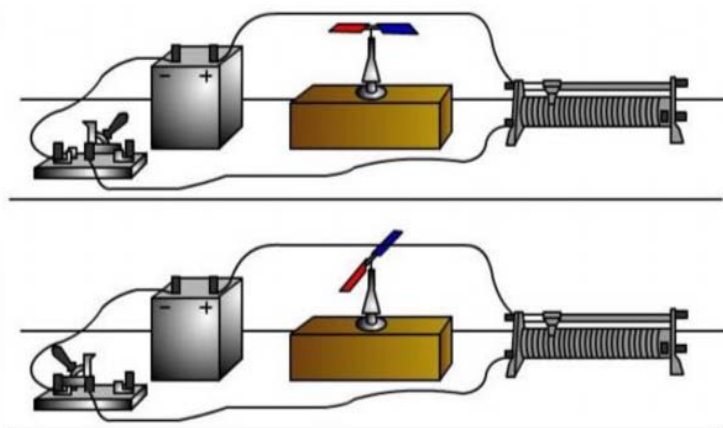
Ushbu o'quv qo'llanmada «Fizika kursi» ning «Magnetizm» bo'limiga bag'ishlangan ma'ruza matnlari, masalalar to'plami, laboratoriya ishlari, mustaxkamlash uchun savollar va asosiy adabiyotlar ro'yxati keltirilgan.

Muallifkar.

1.VAKUMDA MAGNIT MAYDONI

1.1. Magnit maydoni va uning xarakteristikalar.

Magnit maydoni. XIX asrda tajriba yo'li bilan doimiy magnit va tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'sir qonunlari o'rganilgan. 1820 yilda daniya fizigi X. Ersted tokli o'tkazgichning atrofida magnit maydoni bor ekanligini tajribada aniqladi. Ersted tajribasining mohiyati quyidagidan iborat. U to'g'ri chiziqli o'tkazgich olib, undan ma'lum masofada magnit strelkasini joylashtirgan vaqtda uning burilishini kuzatdi. Bu burilish to'g'ri chiziqli o'tayotgan tokning yo'nalishiga bog'liq ekanligini va magnit strelkasining burilishi o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchining kattaligiga bog'liq ekanligini isbotladi. Shu bilan birga tokli o'tkazgich va magnit strelkasining o'zaro ta'siri masofaga teskari proporsional ekanligini ham aniqladi.

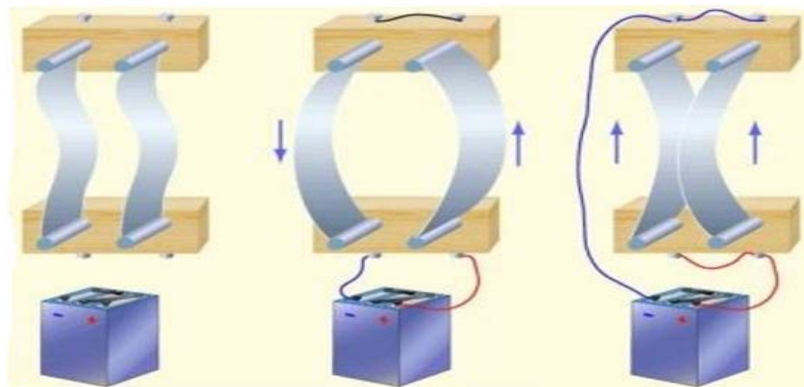


1.1-rasm. O'zgarmas tok atrofida magnit maydoni hosil qilish bo'yicha Ersted tajribasi

Tajribalarda, bu o'zaro ta'sir tokning yo'nalishiga bog'liq ekanligi, ya'ni bu o'zaro ta'sirning vektor xarakterga ega ekanligini isbotladi. Shuningdek, bu o'zaro ta'sirning kattaligi tok va maydonning ta'siri o'rganilayotgan nuqtagacha bo'lgan masofaga bog'liq ekanligi aniqlandi.

Keyinchalik Amper doimiy magnitning tokli o'tkazgichga ta'sirini o'rganib, ular o'rtasida ham o'zaro ta'sir kuchi bor ekanligini aniqladi. Amper yana bir tajribasida parallel va antiparallel joylashgan tokli o'tkazgichlarning bir-birini

tortishini va itarishini kuzatgan edi. Ma'lumki, bir xil qutbdagi doimiy magnitlar bir-birini itarishini va har xil qutbli doimiy magnitlar bir-birini tortishishini bilamiz. Bu o'zaro ta'sirlarni magnit maydoni orqali tushuntirilgan (1.2 rasm).



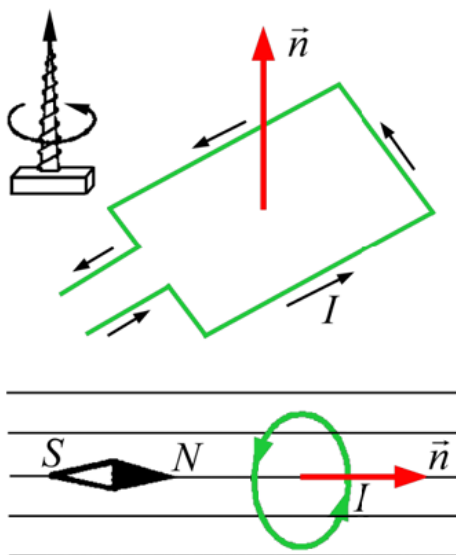
1.2-rasm. Parallel joylashgan tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'siri

Tokli o'tkazgich o'z atrofida magnit maydoni hosil qiladi, u shu maydonda joylashgan har qanday o'tkazgichga ta'sir ko'rsatadi. Agar o'tkazgichlardagi tok doimiy bo'lsa va o'tkazgichlar qo'zg'almas bo'lsa, u vaqtda ular hosil qilgan magnit maydoni fazoning har bir nuqtasida vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydi. Bunday magnit maydoni *doimiy magnit maydoni* deyiladi.

Demak, tajriba natijalariga ko'ra, qo'zg'lmas elektr zaryadlari atrofidagi fazoda elektr maydoni paydo bo'lgani kabi, elektr toklari, ya'ni harakatlanayotgan elektr zaryadlari atrofidagi fazoda magnit maydoni hosil bo'ladi. Magnit maydoni harakatlanayotgan elektr zaryadlariga ta'sir qiladi. Tokli o'tkazgich bilan magnit maydonining o'zaro ta'siri xarakteri o'tkazgich shakliga, tok kuchiga, o'tkazgichning uzunligiga, masofaga bog'liq bo'ladi.

Magnit maydonidagi tokli berk kontur. Magnit maydoni yo'nalishi. Maydon nazariyasida elementar manba eng muhim rol o'ynaydi. Xuddi shunday rolni magnit maydon nazariyasida tok elementi o'ynaydi. Tok elementi bu vektor bo'lib, uning absolyut kattaligi tok kuchi I ning o'tkazgichning dl qismiga ko'paytmasi bilan aniqlanadi (Idl) va yo'nalishi esa tokning yo'nalishi bilan mos keladi.

Elektrostatik maydonni o'rganishda sinash zaryadi q ni maydonga kiritish orqali amalga oshirilgan edi. Magnit maydonini o'rganish uchun o'lchamlari magnit maydoni sezilarli o'zgaradigan masofalarga nisbatan kichik bo'lgan berk kontur olinadi. Konturning fazodagi joylashuvini shu konturga o'tkazilgan normalning yo'nalishi orqali xarakterlanadi. Normalning musbat yo'nalishi 1.3-rasmda ko'rsatilgan. Uning yo'nalishini o'ng vint qoidasi orqali aniqlanadi. Vint dastasining yo'nalishini tok yo'nalishiniga moslashtirilsa, vintning ilgariylanma harakat yo'nalishini normal yo'nalishini beradi. Berilgan nuqtadagi magnit maydon yo'nalishi sifatida, shu nuqtaga joylashtirilgan tok konturining musbat yo'nalishi olinadi, ya'ni magnit maydonning musbat yo'nalishi sifatida magnit strelkasini janubiy qutbi S dan shimoliy qutbi N ga yo'nalishi qabul qilingan.



1.3 –rasm. Konturning fazodagi joylashuvini shu konturga o'tkazilgan normalning yo'nalishi

Ramkadan elektr toki o'tkazganda ramka burilib, doimiy magnit hosil qilayotgan maydon yo'nalishida vertikal joylashadi. Magnit maydoni tokli konturga aylantiruvchi, juft kuch sifatida ta'sir qilib, uni ma'lum bir yo'nalish bo'yicha joylashishga majbur qiladi.

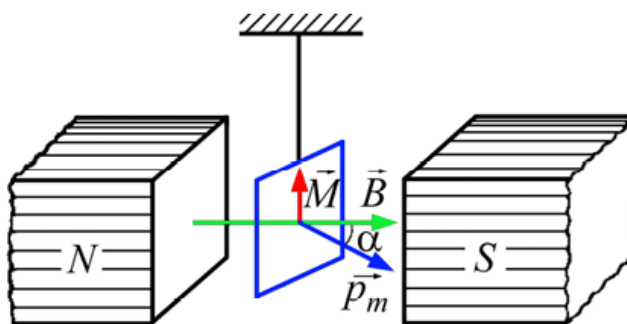
Magnit maydon induksiyasi. Agar magnit maydonning tanlab olingan nuqtasiga magnit momentlari (P_m) turlicha bo'lgan sinov konturlarini kiritsak,

ularga ta'sir etuvchi aylanma momentlarning maksimal qiymatlari (M_{max}) ham turlicha bo'ladi. Lekin har bir sinov konturiga ta'sir etuvchi maksimal aylanma momenti (M_{max}) ning P_m ga nisbati magnit maydonning shu nuqtasi uchun o'zgarmas kattalik bo'ladi, ya'ni

$$\frac{M_{max}}{P_m} = const \quad (1.1)$$

Bu nisbat magnit maydonning miqdoriy xarakteristikasini ifodalaydi va magnit induksiya vektori (B) deb ataladi.

Magnit maydonning biror nuqtasidagi induksiya vektori deb, maydonning shu nuqtasiga kiritilgan magnit momenti bir birlikka teng bo'lganda "sinov konturi"ga ta'sir qiluvchi maksimal aylantiruvchi kuch momentiga miqdor jixatdan teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi.



1.4 - rasm. Magnit maydonnida tokli ramka

Magnit induksiya vektor kattalik bo'lib, uning yo'nalishi maydonning tekshirilayotgan nuqtasiga kiritilgan "sinov konturi"ning muvozanat vaziyatdagi musbat normalining yo'nalishi bilan, qiymati esa sinov konturiga maydon tomonidan ta'sir etuvchi aylanma momentining maksimal qiymatini sinov konturining magnit momentiga bo'lgan nisbati bilan aniqlanadi.

$$\vec{B} = \frac{\vec{M}_{max}}{P_m} \quad (1.2)$$

SI da magnit induksiyaning birligi qilib *tesla* qabul qilingan.

$$[B] = \left[\frac{M_{max}}{P_m} \right] = \frac{N * m}{A * m^2} = T \text{ (Tesla)}$$

1 tesla (1T) magnit maydon shunday nuqtasining magnit induksiyasiki bu nuqtaga kiritilgan magnit momenti $IA * m^2$ bo'lgan yassi konturga magnit maydon tomonidan ta'sir etadigan aylantiruvchi momentning maksimal qiymati $IN * m$ ga teng bo'lishi lozim.

Kuchning aylantiruvchi momenti - maydonning shu nuqtasidagi xossalarga hamda konturning xossalarga bog'liq bo'ladi.

$$\overline{M} = [\overline{P}_m \overline{B}] \quad (1.3)$$

bunda $\overline{B}$ - magnit induksiyasi vektori bo'lib, u magnit maydoninig kuch xarakteristikasi hisoblanadi, $\overline{P}_m$ - tokli konturning magnit momenti vektori.

Konturning magnit momenti ($\overline{P}_m$) deb, konturdan o'tayotgan tok kuchining kontur yuzi S ga ko'paytmasiga teng bo'lgan fizik kattalikka aytiladi, yani:

$$P_m = IS \quad (1.4)$$

Konturning magnit momenti $\overline{P}_m$ vektor kattalik bo'lib, uning yo'nalishi kontur sirtiga o'tkazilgan musbat normal $\overline{n}$ ning yo'nalishiga mos tushganligi uchun:

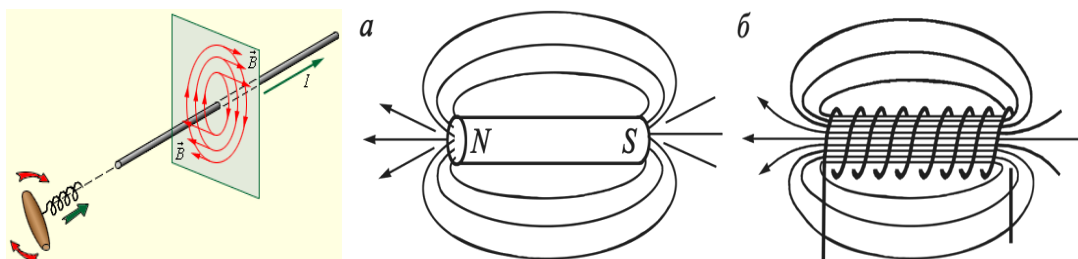
$$\overline{P}_m = IS \overline{n} \quad (1.5)$$

bunda S -kontur sirti yuzasi, $\overline{n}$ -kontur sirtiga o'tkazilgan normalning birlik vektori.

Tokli ramka joylashgan nuqtadagi magnit induksiya vektorining yo'nalishi sifatida bu ramkaga o'tkazilgan perpendikulyarning ($\overline{n}$ ning) yo'nalishi qabul qilinadi. Bu perpendikulyar ramkadagi tok yo'nalishida burilgan parma (*o'g'ng vint*) suriladigan tomonga o'tkaziladi, ya'ni parmaning ilgarilanma harakati yo'nalishi tok yo'nalishiga mos tushsa, u holda parmaning aylanma harakati magnit induksiya vektori yo'nalishini beradi.

Magnit induksiya chiziqlari. Magnit induksiya chiziqlari orqali magnit maydonining ko'rgazmali manzarasini hosil qilish mumkin. Magnit induksiya

chiziqlari deb shunday chiziqlarga aytiladiki, ularga o'tkazilgan urinmalar maydonning tayinli nuqtasida magnit induksiyasi vektori bilan bir xil yo'nalgan bo'ladi. Magnit induksiyasi vektorining chiziqlari yopiq kuch chiziqlardan iborat bo'lganligi uchun magnit maydonni *uyurmali maydon* deb ataladi (1.5 rasm).



1.5- rasm. Magnit maydon kuch chiziqlari

Magnit maydon kuchlanganligi. Magnit maydonni tavsiflashda magnit maydon induksiyasi B bilan birgalikda magnit maydonning kuchlanganligi deb ataluvchi H fizik kattalikdan foydalaniladi. Agar berilgan muhitda magnit maydonning biror nuqtasidagi induksiyasi B bo'lsa u holda shu nuqtada magnit maydonning kuchlanganligi H quyidagicha bo'ladi:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu} \text{ yoki } B = \mu_0 \mu H \quad (1.6)$$

Bunda, μ – muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi, o'lchovsiz kattalik bo'lib moddaning magnit xossalarini xarakterlaydi va u moddaning turiga hamda uning holatiga (masalan, temperaturasiga) bog'liq, μ_0 esa magnit doimiy bo'lib, uning SI dagi qiymati:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}.$$

SGSM absolyut birliklar sistemasida μ_0 birga teng bo'lgan o'lchamsiz kattalik. Shuning uchun bu sistemada vakuumda B va H bir-biriga mos keladi. SI sistemasida B va H hatto vakuumda ham turli o'lchamlikka ega bo'lib, bir-biridan farq qiladi.

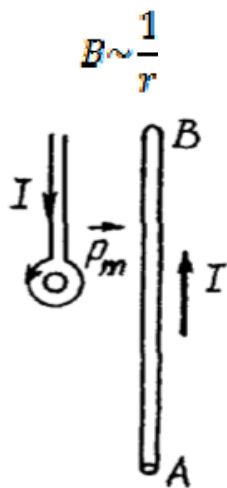
1.2. Bio – Savar – Laplas qonuni.

1820 yili fransuz olimlari J.Bio va F.Sarvar o'zgarmas tok hosil qilgan magnit maydonni hisoblashga imkon beradigan formulani aniqlash maqsadida quyidagi tajribani o'tkazishadi. Ular uzun to'g'ri tokli o'tkazgich hosil qilgan magnit maydonni "sinov kontur" yordamida tekshirishdi.

Tajribada magnit maydon induksiyasi B ning yo'nalishi va kattaligi magnit moment P_m ma'lum bo'lgan "sinov konturi"ga ta'sir etayotgan kuchlar momenti orqali aniqlangan, chunki, (1.2) ifodaga asosan tokli konturni aylantiruvchi moment M magnit maydon induksiyasi B ga proporsionaldir. "Sinov konturi" ning magnit momenti $P_m = \text{const}$ bo'lganda, unga ta'sir qiluvchi kuch momenti M ning qiymati o'tkazgichdan o'tayotgan tokning kuchi I ga proporsionalligi ma'lum bo'ldi. Binobarin, magnit maydonning induksiyasi B ham shu maydonni hosil qilayotgan tok kuchi I ga proporsional bo'ladi, y'ani:

$$B \sim I$$

Ikkinchidan, "sinov konturi" ni tokli AB o'tkazgichdan (1.6-rasm) turli r masofalarga joylashtirilganda konturga ta'sir qiluvchi kuch momenti M ning, ya'ni magnit maydonining shu nuqtadagi induksiyasi B ning qiymatini r masofaga teskari proporsionalligi aniqlandi, ya'ni:



1.6-rasm. Uzun to'g'ri tokli o'tkazgich hosil qilgan magnit maydonni "sinov kontur" yordamida tekshirish

Bio va Savar bu tajriba natijalari asosida tokli o'tkazgich magnit maydonini hisoblashga imkon beradigan formulani chiqara olishmadi, chunki ular olgan tajriba natijalari faqat to'g'ri tokli o'tkazgich uchungina o'rinli edi.

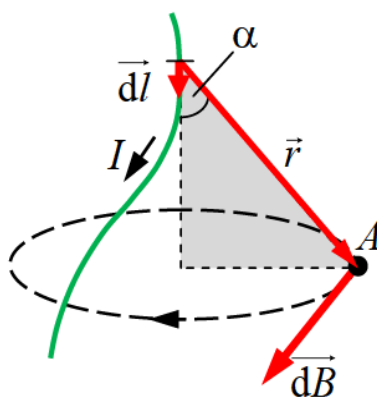
Keyinchalik Bio va Savarning taklifiga binoan, ularning tajriba natijalariga asoslangan holda fransuz fizigi va matematigi P. Laplas ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgich atrofidagi magnit maydonining induksiyasi $\vec{B}$ ni aniqlash imkonini beradigan formulani keltirib chiqaradi. Bunda Laplas *maydonning superpozitsiyasi prinsipidan* foydalandi. Bu prinsipga asosan, ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgich hosil qilgan magnit maydonining biror nuqtasidagi induksiyasi $\vec{B}$, uning elementar toklari – ($I d\vec{l}$) hosil qilgan magnit maydonlarining elementar induksiyasi $d\vec{B}_i$ larining geometrik yig'indisiga tengdir:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \quad (1.7)$$

Laplas har bir elementar tok ($I d\vec{l}$) hosil qilgan magnit maydoni uchun (1.7-rasm)

$$dB = k' \cdot \frac{I[dl \cdot r]}{r^3} \quad (1.8)$$

formulani tavsiya qildi, bunda k' – muhitga bog'liq bo'lgan proporsionallik koeffitsiyenti,



1.7-rasm. Elementar tok hosil qilgan magnit maydoni

I - tok kuchi, dl – tok o'tayotgan tomonga yo'nalgan elementar o'tkazgich uzunligi bo'lib, $I d\vec{l}$ ga elementar tok deyiladi, r – elementar tokdan magnit

induksiya aniqlanadigan nuqtagacha yo'nalgan radius – vektor. k' proporsionallik koeffitsiyenti faqat o'lchov birliklar sistemasiga bog'liq bo'lgan k proporsionallik koeffitsiyenti orqali

$$k' = k\mu \quad (1.9)$$

bog'lanishga ega, bunda μ – muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi. U vaqtda (1.8) ifodani

$$dB = k\mu \cdot \frac{I[dl \cdot r]}{r^3} \quad (1.10)$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bundagi k proporsionallik koeffitsiyentining SI dagi ifodasi:

$$k = \frac{\mu_0}{4\pi} \quad (1.11)$$

(1.10) ga asosan elementar tok (Idl) hosil qilgan magnit maydon induksiya dB va kuchlanganligi dH quyidagiga teng bo'ladi:

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{Idl}{r^2} \sin a \quad (1.12)$$

$$dH = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{Idl}{r^2} \sin a \quad (1.13)$$

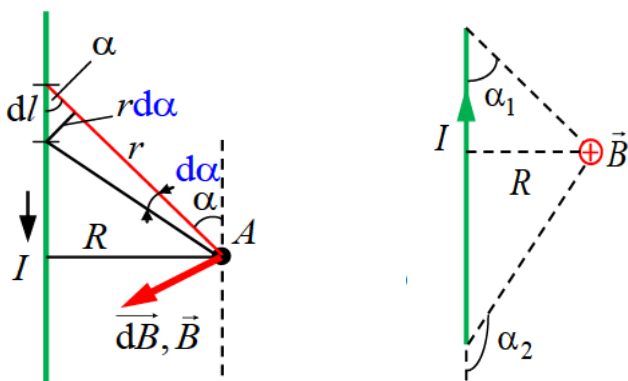
Shunday qilib, Bio – Savar – Laplas qonunini quyidagicha ta'riflash mumkin.

Elementar toklar hosil qilgan magnit maydonining biror nuqtasidagi induksiya va kuchlanganligi elementar tokka, o'tkazgich bilan radius-vektor orasidagi burchakning sinusiga to'g'ri va o'tkazgichdan maydon nuqtasigacha bo'lgan masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir.

Bio – Savar – Laplas qonunining tadbirlari. a) *To'g'ri tokli o'tkazgich magnit maydoni.*

Kuzatilayotgan nuqta o'tkazgichdan R – uzoqlikda (1.8–rasm). Barcha tok elementlaridan A – nuqtada hosil bo'layotgan magnit induksiya vektorlari bilan to'g'ri chiziq ustida yotib, bir tomonga yo'nalgan bo'ladi (o'ng vint qoidasiga

muvofig). Shu tufayli dB – vektorining yig'indisini ularning moduli yigindisi bilan almashtirish mumkin.



1.8-rasm. To'g'ri tokli o'tkazgich magnit maydoni.

1.8 - rasmdan

$$r = \frac{R}{\sin a}; dl = \frac{r da}{\sin a} = \frac{R da}{\sin^2 a} \quad (1.14)$$

Buni (1.11) ga qo'yib:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R} \sin a da \quad (1.15)$$

(1.14) ni a – ning o'zgarish sohasi ($0 - \pi$) da integrallaymiz:

$$B = \int_0^\pi \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R} \sin a da = \frac{\mu_0 2I}{4\pi R};$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (1.16)$$

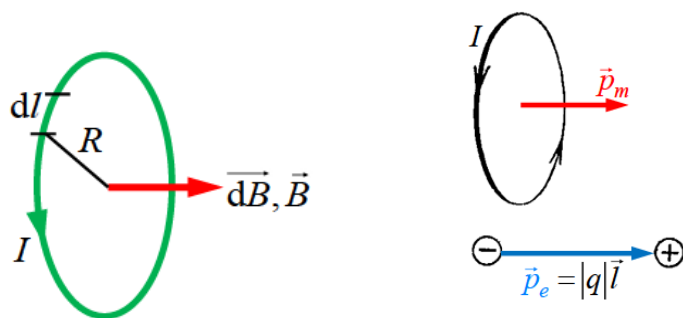
Bu to'g'ri tokli o'tkazgich magnit maydoni induksiyasining ifodasidir. Bu maydon o'tkazgich va R kesma bo'lgan tekislikka perpendikulyar yo'nalgan.

b) Doiraviy tokli o'tkazgich markazidagi magnit maydoni. Doiraviy tokli o'tkazgichning barcha elementlari normal vektor bilan bir xil yo'nalgan magnit induksiya vektori ($d\vec{B}$) ni hosil qiladi (9- rasm).

Rasmdan:

$$a = \pi/2 \quad \sin a = 1$$

Bio–Savar–Laplas qonuniga asosan:



1.9-rasm. Doiraviy tokli o'tkazgich markazidagi magnit maydoni

$$dB = \frac{\mu_o}{4\pi} \cdot \frac{Idl}{R^2} \quad (1.17)$$

(1.17) ni integrallab, quyidagini hosil qilamiz.

$$B = \frac{\mu_o}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \int dl = \frac{\mu_o}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \cdot 2\pi R$$

$$B = \frac{\mu_o I}{2R} \quad (1.18)$$

Bu ifoda doiraviy tokli o'tkazgich markazidagi magnit induksiyasining ifodasidir. Magnit maydon yo'nalishini o'gng vint qoidasiga ko'ra aniqlanadi.

1.3 Magnit maydonida joylashgan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuch.

Amper qonuni

Elektr tokidan amalda foydalanishda magnit maydonining tokka va tok hosil qilayotgan maydonning boshqa toklarga ta'sir kuchlarini e'tiborga olish katta rol o'ynaydi. Magnit maydonida joylashgan tokli o'tkazgichga maydon tomonidan ta'sir etuvchi kuchni *Amper kuchi* deb ataladi.

Amper qonuni. Bir jinsli magnit maydondagi tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi F_A kuch o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchi I ga, o'tkazgichning uzunligi l ga, magnit maydon induksiyasi B ga va B vektor bilan o'tkazgich orasidagi burchak sinusiga to'g'ri proporsional bo'ladi, ya'ni

$$F_A = IlB \sin \alpha \quad (1.19)$$

Umumiy holda, ya'ni ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgich bir jinsli bo'lmagan magnit maydonda ($B \neq \text{const}$) joylashgan bo'lsa, o'tkazgichni hayolan kichik dl elementlarga ajratiladi va har bir kichik element joylashgan sohadagi magnit maydon induksiyasini o'zgarmas deb hisoblab o'tkazgichning dl elementiga ta'sir etuvchi kuchni

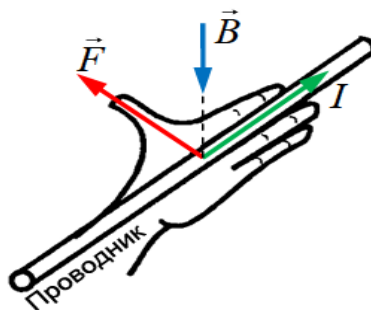
$$d\vec{F} = I[d\vec{l} * \vec{B}] \quad (1.20)$$

ifoda bilan, uning modulini esa

$$dF = IBdl\sin\alpha \quad (1.21)$$

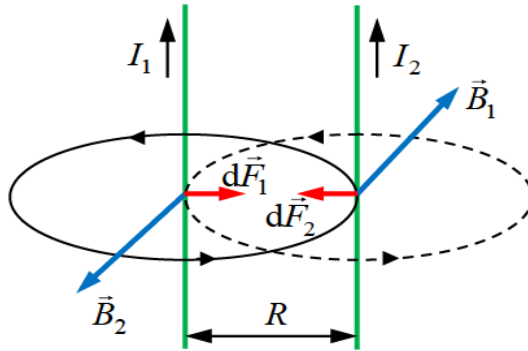
ifoda bilan aniqlanadi. Bu ifodalar *Amper qonunini* xarakterlaydi.

Ta'sir etuvchi kuchning (odatda bu kuchni Amper kuchi deb ham ataladi) yo'nalishi chap qo'l qoidasi bo'yicha topiladi. Buning uchun chap qo'limizni shunday joylashtirishimiz kerakki, bunda B vektor kaftimizga tik kiradigan va uzatilgan to'rtta barmog'imiz tokning yo'nalishi bilan mos tushadigan bo'lsa, u holda ochilgan bosh barmog'imiz Amper kuchini yo'nalishini ko'rsatadi (1.10-rasm).



1.10-rasm. Magnit maydonida joylashgan tokli o'tkazgichga magnit maydoni tomonidan ta'sir qiluvchi kuch yo'nalishi

Parallel toklarning o'zaro ta'siri. Endi bir-biridan b masofada joylashgan cheksiz uzun parallel tokli o'tkazgichlarning o'zaro ta'sirini ko'rib chiqaylik (1.11-rasm).



1.11– rasm. Parallel tokli o'tkazgichlar

Buning uchun ikkinchi tok I_2 hosil qilayotgan magnit maydon induksiyasi B_2 desak, ya'ni

$$B_2 = \frac{\mu_o}{4\pi} \cdot \frac{2I_2}{b} \quad (1.22)$$

I_1 va I_2 toklar bitta tekislikda joylashgan bo'lsa ($\sin(I_1 \wedge B_2) = 1$), u holda birinchi tok I_1 ga ta'sir etayotgan kuchni (1.21) ga (1.22) ni qo'yib, parallel toklarning o'zaro ta'siri qonunini keltirib chiqarish mumkin:

$$F_{21} = I_1 B_2 dl = \frac{\mu_o}{4\pi} \cdot \frac{2I_1 I_2}{b} dl \quad (1.23)$$

Parallel tokli o'tkazgichlar uzunlik birligiga ta'sir etuvchi kuch har bir o'tkazgichdan o'tayotgan tok kuchiga to'g'ri proporsional bo'lib, ular orasidagi masofaga esa teskari proporsional bo'ladi, ya'ni

$$F_b = \frac{F}{dl} = \frac{\mu_o}{4\pi} \cdot \frac{2I_1 I_2}{b} \quad (1.24)$$

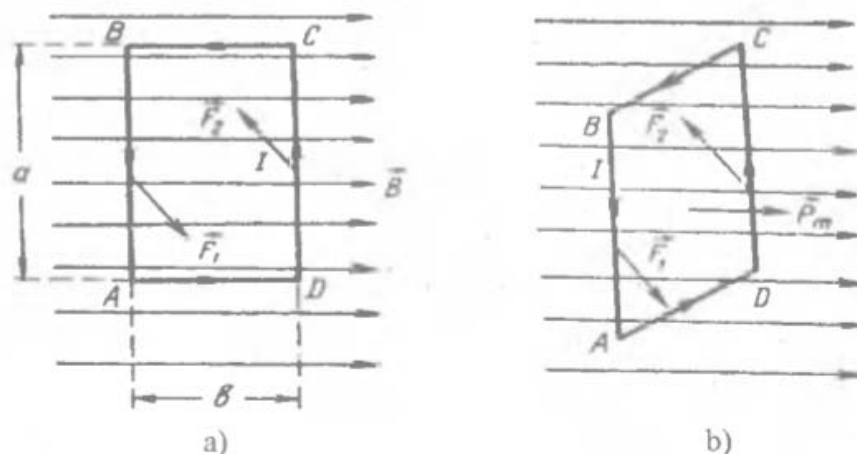
Birinchi tok I_1 ning ikkinchi tok I_2 ga ta'sir etayotgan kuchi xuddi (1.23) ga o'xshash bo'ladi.

Bir jinsli magnit maydoniga kiritilgan tokli ramka. Ma'limki magnit maydondagi tokli o'tkazgichga magnit maydon tomonidan Amper kuchi ta'sir qiladi. Magnit maydonning tokli ramkaga ta'siri amalda muhim rol o'ynaydi. I tok o'tayotgan ABCD to'g'ri burchakli ramka bir jinsli magnit maydonda

joylashtirilgan bo'lsin. Agar magnit induksiya vektori kontur tekisligiga parallel yo'nalgan bo'lsa, (1.19) formulaga asosan ($\sin\alpha = 0$ bo'lganligi uchun), uning AD va BC tomonlariga kuch ta'sir qilmaydi (2.5a-rasm). Ramkaning AB tomoniga Amper qonuniga asosan, rasmdan kitobxonga qarab yo'nalgan F_1 kuch, CD tomonga esa aksincha, kitobxondan rasm tomonga tik yo'nalgan F_2 kuch ta'sir etadi. AB tomonining uzunligi a ga teng bo'lsa, bu tomonga ta'sir etuvchi kuch quyidagicha bo'ladi:

$$F_1 = IBa \quad (2.17)$$

Ammo kuchlar son jixatdan teng, lekin qarama qarshi yo'nalgan bo'ladi. Bunday hosil bo'lgan kuchlarga *juft kuchlar* deyiladi.



2.5-rasm. Magnit maydoniga kiritilgan tokli ramka

Shunday qilib, ramkaning AB va CD tomonlariga juft kuchlar ta'sir qilar ekan. Juft kuchlarning yo'nalishiga e'tibor berar ekanmiz, quyidagilarni ko'ramiz: juft kuchlar ta'sirida ramka tekisligi magnit maydon induksiyasi chiziqlariga perpendikulyar ravishda shunday joylashishga intiladiki, biz magnit maydon yo'nalishi bo'ylab qarasak, ramkadagi tok soat strelkasi harakati yo'nalishi bo'ylab oqayotgan bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, tokli ramka magnit maydonda shunday vaziyatni egallashga intiladiki, bunda ramkadagi tokning ramka o'qida hosil qiladigan magnit maydon induksiyasi tashqi magnit maydon induksiyasi bilan bir hil yo'nalgan bo'ladi (2.5b-rasm).

Ramkaga ta'sir etuvchi juft kuchlarning momenti quyidagiga teng:

$$M = Fb = IBab \quad (2.18)$$

bunda b – ramkaning BC tomonining uzunligi.

1.4. Magnit maydonida harakatlanuvchi zaryadli zarrachalarga ta'sir etuvchi kuch. Lorens kuchi.

Magnit maydoni nafaqat magnit moddalarga, balki tokli o'tkazgichlarga, shuningdek harakatdagi zaryadli zarrachalarga ham ta'sir etadi. Bu xulosa qator tajribalar (parallel toklarning o'zaro ta'siri, elektronlar oqimining magnit maydonida og'ishi) asosida tasdiqlangan.

Magnit maydonida harakatlanuvchi zaryadli zarrachalarga ta'sir etuvchi kuch elektr tokining elektron nazariyasi asoschisi Lorens nomi bilan yuritiladi. Elektr tokini v tezlik bilan harakatlanayotgan n ta zaryadlar sistemasi hosil qiladi. Bitta zaryadga magnit maydoni tomonidan ta'sir etuvchi kuchni toppish uchun (1.20) dagi tok kuchi

$$I = jS \quad \text{va} \quad j = qnv$$

orqali ifodasak, u holda bitta zaryadga ta'sir etuvchi kuch quyidagicha ifodalanadi:

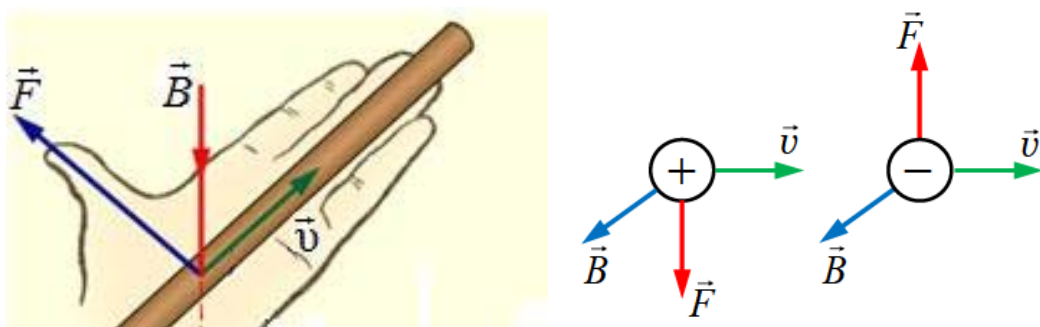
$$\vec{F}_l = \frac{F_A}{nSdl} = q[\vec{v} \cdot \vec{B}] \quad (1.25)$$

Lorens kuchi – magnit maydoni tomonidan v tezlik bilan harakatlanayotgan musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuchdir. Lorens kuchining moduli:

$$F = qvB \sin \alpha \quad (1.26)$$

α –zarrachaning tezlik vektori bilan magnit induksiya vektori orasidagi burchak $\alpha = 0$ yoki $\alpha = \pi$ bo'lsa, $\sin \alpha = 0$. Demak, zaryadli zarracha magnit maydon induksiya vektoriga parallel holda harakat qilsa, magnit maydoni zaryadli zarrachaga hech qanday kuch bilan ta'sir qilmaydi. Lorens kuchining yo'nalishi tezlik vektori va induksiya vektoridan tuzilgan parallelogrammga perpendikulyar

yoʻnalgan boʻlib, musbat zaryad uchun chap qoʻl, manfiy zaryad uchun oʻng qoʻl qoidasiga muvofiq aniqlanadi (1.13–rasm).



1.13– rasm. Lorens kuchini aniqlash

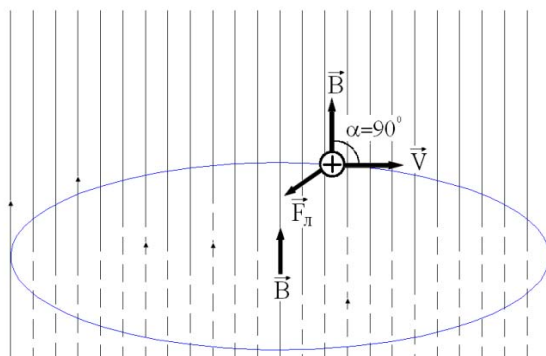
Lorens kuchi hamma vaqt zarrachaning tezlik vektoriga perpendikulyarligi tufayli zaryadni koʻchirishda hech qanday ish bajarmaydi, kinetik energiyasini ham oʻzgartirmaydi. Faqat zarrachaga normal tezlanish berib, trayektoriyasini oʻzgartiradi xolos. Magnit maydon tinch turgan zaryadga taʼsir etmaydi, ($v=0, F=0$) faqat harakatdagi zarrachagagina taʼsir etadi.

1.5. Zaryadli zarrachaning magnit maydonidagi harakati. Tezlatgichlar (Siklotron)

Magnit maydoni tomonidan taʼsir etuvchi kuch yoʻnalishi zaryadli zarrachalarning tezlik vektoriga perpendikulyarligi tufayli kuchning bajargan ishi hamma vaqt nolga teng va zarrachaning tezligini hamda energiyasi harakat vaqtida oʻzgartirmay. Faqat yoʻnalishidan ogʻdiradi, yaʼni normal tezlanish beradi. Magnit maydoni tomonidan taʼsir etuvchi kuch doimiy qoladi va zaryadli zarrachani yopiq trayektoriya boʻylab harakatlanadi. (1.15- rasm).

Bunda aylananing radiusi quyidagicha aniqlanadi.

$$a_n = \frac{g^2}{R}; \quad \frac{m g^2}{R} = q g B; \quad R = \frac{g^2}{a} = \frac{m g^2}{q g B} = \frac{m}{q} \cdot \frac{g}{B} \quad (1.32)$$



1.15– rasm. Zaryadli zarrachaning yopiq trayektoriya bo'ylab harakati

(1.32) ifodadan aylananing radiusi zarracha tezligi, magnit maydon induksiyasi, solishtirma zaryad miqdoriga proporsional degan xulosa kelib chiqadi.

Agar zarrachaning energiyasi eV larda ifodalangan va U gat eng bo'lsa, u holda

$$\frac{m g^2}{2} = qU; \quad g = \left(2 \frac{q}{m} \cdot U \right)^{\frac{1}{2}}$$

(1.32) ifodaga qo'yib aylanish radiusi topish mumkin:

$$R = \frac{m}{q} \cdot \frac{g}{B} = \left(\frac{2m}{q} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{U^{\frac{1}{2}}}{B} \quad (1.33)$$

Zaryadli zarrachani aylanish davri quyidagi tenglikdan aniqlanadi.

$$T = \frac{2\pi R}{g} = 2\pi \frac{m}{q} \cdot \frac{1}{B}$$

Aylanish chastotasi esa,

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T} = \frac{q}{m} \cdot B$$

Yuqoridan ko'rinadiki davr ham, chastota ham magnit maydon induksiyasiga bog'liq bo'ladi.

Magnit maydonida zaryadli zarrachalarning aylanish chastotasi ularning energiyasiga bog'liq bo'lmasligidan yuqori energiyali zaryadli zarrachalar oqimini hosil qilishda va boshqarishda foydalaniladi. Bunday moslamalar tezlatgichlar deb yuritiladi.

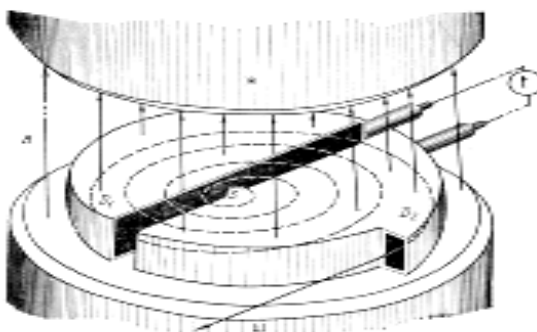
Tezlatgichlar zarracha tabiati, unga berilgan energiyaning turi va ishlash prinsipiga ko'ra har xil bo'ladi. Masalan: chiziqli tezlatgich, siklotron va hokazo.

Siklotron magnit maydoniga joylashtirilgan, duant deb ataladigan ichi kovak yarim silindrik idish bo'lib, u o'zgaruvchan tok manbaiga ulanadi (1.16-rasm).

Zaryadli zarracha duant oralig'iga joylashtirilsa, tezlatuvchi elektr va og'diruvchi magnit kuchlari ta'sirida bir necha MeV, GeV energiya olguncha tezlashtiriladi. Zaryadli zarrachalarning siklotronda erishishi mumkin bo'lgan maksimal energiyasi magnit maydon inditsiyasi B ga va orbitaning mumkin bo'lgan maksimal radiusi R ga bog'liq bo'ladi, ya'ni

$$U_{maks} = \frac{1}{2} \frac{q}{m} \cdot B^2 R^2$$

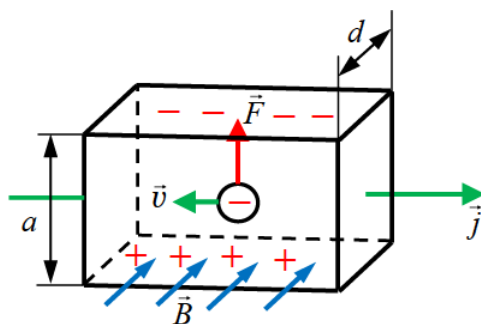
Orbitaning radiusi R ni orttirish bilan zarrachalarning maksimal energiyasini cheksiz orttiraverish mumkin emas. Zarrachalar massasining ular tezligiga bog'liq bo'lishi tezlanishga chek qo'yadi. Zarrachalarning energiyasi etarlicha ortganida ularning massalari ortadi va aylanish chastotasi ω_s kamayadi.



1.16- rasm. Siklotron

1.6. Xoll effekti

Ingliz olimi E.Xoll (1879 y) tajribada magnit maydoniga joylashtirilgan yaxlit tokli o'tkazgichda magnit induksiyasi va tok zichligi vektoriga perpendikulyar yo'nalishda potentsiallar ayirmasi vujudga kelishini aniqladi (1.17-rasm).



1.17– rasm. Xoll effekti.

Tajribalar ko'rsatishicha, bu potensiallar ayirmasi o'tkazgichning materiali, uning geometrik o'lchami, magnit maydoni induksiyasi va tok zichligiga bog'liq bo'lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$(\varphi_2 - \varphi_1) = U_n = RaBj \quad (1.27)$$

Magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadli zarrachaga magnit kuchlari ham ta'sir etib, uni og'iradi.

$$\vec{F}_n = e \langle \vec{u} \rangle \vec{B} \quad (1.28)$$

Natijada, o'tkazgich sirtida bog'langan sirt zaryadlari vujudga keladi. Bu zaryadlarga magnit kuchlari bilan bir qatorda elektr kuchlari ham ta'sir etadi.

$$\vec{F} = e\vec{E} \quad (1.29)$$

Zaryadlarning og'ishi magnit va elektr kuchlari o'zaro tenglashguncha davom etadi. (1.27) va (1.28) lardan $\vec{E} = \langle \vec{u} \rangle \vec{B}$ ni hosil qilamiz.

Potensial gradiyentiga ko'ra:

$$E = \frac{\varphi_+ - \varphi_-}{a}; \quad \varphi_+ - \varphi_- = U_n = Ea = \langle \vec{u} \rangle \vec{B} \cdot a \quad (1.30)$$

Tok zichligini $\vec{j} = en \langle \vec{u} \rangle$ hisobga olib:

$$U_n = \frac{1}{en} \cdot \vec{j} \cdot Ba \quad (1.31)$$

(1.40) va (1.36) larni taqqoslab, Xoll doimiysi uchun:

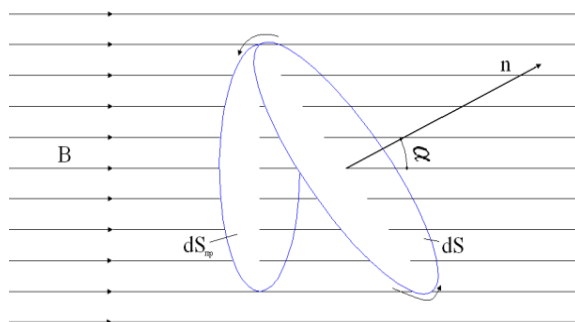
$$R = \frac{1}{en}$$

Xoll effektidan yarimo'tkazgichlarning elektr xossalarini tahlil qilishda foydalaniladi.

2. VAKUMDAGI MAGNIT MAYDON INDUKSIYA VEKTORINING OQIMI VA SIRKULYASI.

2.1. Magnit maydon oqimi. Gauss teoremasi.

Magnit maydonini xarakterlashda magnit induksiya vektori bilan bir qatorda magnit oqimi tushunchasidan foydalaniladi. Induksiyasi B bo'lgan bir jinsli magnit maydonida joylashgan yassi sirt dS orqali o'tayotgan magnit induksiya vektoriga son jihatidan teng kattalik *magnit oqimi* deb yuritiladi. (2.1a-rasm).



2.1a-rasm. Magnit oqimi

$$\Phi_B = BS \cos \alpha \quad (1.34)$$

2.1a-rasmdan, $B \cos \alpha = B_n$ deb belgilab,

$$\Phi_B = B_n S \quad (1.35)$$

Agar birlik normal vektor ($\bar{n}$) magnit induksiya vektori ($\bar{B}$) bilan o'tmas burchak hosil qilsa, ($\alpha > \pi/2$) $\Phi_B < 0$ manfiy, aksincha $\alpha < \pi/2$ bo'lsa, $\Phi_B > 0$ musbat hisoblanadi.

Bir jinsli bo'lmagan magnit maydonida joylashgan berk sirt orqali o'tayotgan magnit oqimini hisoblashda, sirtni shunday elementar bo'lakchalarga ajratib uning har bir elementi uchun maydon bir jinsli deb hisoblansa, u holda har bir elementar bo'lakcha uchun magnit oqimi

$$d\Phi_B = B_n dS$$

bo'ladi. Ixtiyoriy sirt bo'yicha magnit maydon induksiya vektorining oqimini esa

$$\Phi_B = \oint_S B_n dS \quad (1.36)$$

Mazkur munosabatdan foydalanib, magnit oqimining SI dagi birligi – veber (Vb) ni aniqlash mumkin: 1 Vb – magnit induksiyasi 1 Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonda maydon yo'nalishiga perpendikulyar ravishda joylashgan 1 m^2 yuzli yassi sirtni teshib o'tadigan magnit oqimdir.

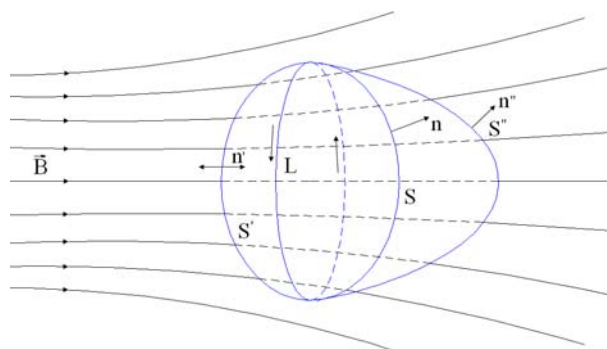
$$1 \text{ Vb} = 1 \text{ Tl} \cdot \text{m}^2$$

Ma'lumki, magnit induksiya chiziqlari berk chiziqlardir. Shu tufayli biror yopiq sirt bilan chegaralangan sohaga magnit maydon induksiya chiziqlari kirib, qancha magnit oqimi hosil qilsa, chiqishda ham shuncha musbat magnit oqimi hosil qiladi. Shuning uchun, berk sirt bo'yicha to'la oqim nolga teng bo'ladi:

$$\oint_S B_n dS = 0 \quad (1.37)$$

Bu ifoda magnit maydon induksiyasi oqimi uchun Gauss teoremasining ifodasidir.

Gauss teoremasi. magnit maydon induksiyasi vektorining ixtiyoriy shakldagi berk sirt oraliq oqimi nolga teng.



2.1b –rasm. Magnit induksiya chiziqlari

L kontur orqali magnit induksiya chiziqlari qancha o'tsa, S , S' va S'' -sirtlar orqali ham shuncha chiziqlar o'tadi: (2.1b-rasm)

$$\oint_S d\Phi = \oint_S B_n dS = \oint_{S'} B_n dS + \oint_{S''} B_n dS \quad (1.38)$$

S^1 -ga o'tkazilgan tashqi normal magnit maydon induksiya vektoriga qarama-qarshi yo'nalganligi tufayli magnit oqimi manfiy bo'ladi, buni hisobga olib, to'la oqim uchun:

$$\oint_{S^1+S^{11}} B_n dS = \oint_{S^1} B dS + \oint_{S^{11}} B dS = 0 \quad (1.39)$$

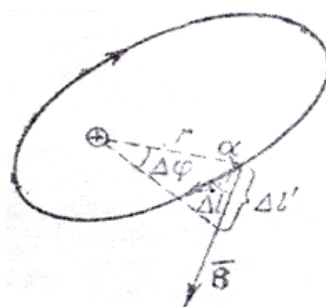
Bundan, har qanday berk sirt uchun magnit oqimi nolga teng degan xulosa chiqadi. Mazkur hulosa magnit induksiya chiziqlarining berk ekanligini, ya'ni berk sirt ichiga kirayotgan B chiziqlarining soni, sirtidan chiqayotgan B chiziqlarining soniga aynan tengligini ifodalaydi.

2.2. Magnit induksiya vektorining sirkulyatsiyasi.

Magnit induksiya vektorining kontur elementiga proyeksiyasini shu kontur bo'yicha olingan vektor yig'indisidan iborat kattaligiga *induksiya vektorining sirkulyatsiyasi* deyiladi:

$$\oint_L B_L dl = \oint_L B_L dl \cos \alpha \quad (2.1)$$

To'g'ri tokli o'tkazgichga perpendikulyar tekislikda yotgan konturni kuzatamiz. (2.2a– rasm).



2.2a- rasm. To'g'ri tokli o'tkazgichga perpendikulyar tekislikda yotgan kontur

Konturning har bir nuqtasidagi magnit induksiya vektori shu orqali o'tgan aylanaga urinma tarzda yo'nalgan bo'ladi.

Vektorning skalyarga ko'paytmasidan foydalanib:

$$B_L dl = B dl_B$$

Rasmdan: $dl_B = Rdl_B$ buni hisobga olib (2.1) dan:

$$\oint_L B dl_B = B \oint_L dl \quad (2.2)$$

Konturni aylanib chiqishda, radius vektor bir tomonga siljib, 2π burchakka buriladi.

$$\begin{aligned} \oint_L B_L dl &= BR2\pi = \frac{\mu_o I}{2\pi R} 2\pi R = \mu_o I; \\ \oint_L B_L dl &= \mu_o I \end{aligned} \quad (2.3)$$

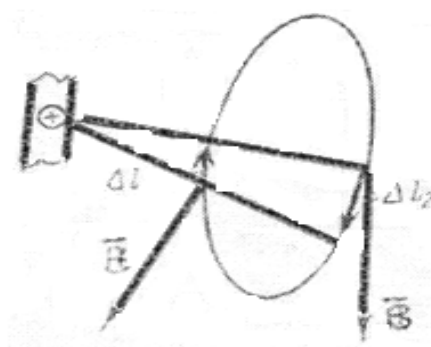
Agar kontur bir necha tokni o'rab olgan bo'lsa, magnit induksiya vektorining sirkulyatsiyasi:

$$\oint_L B_L dl = \mu_o \sum I_L \quad (2.4)$$

ga teng bo'ladi.

Bundan quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin:

- Magnit maydonining induksiya chiziqlari berk chiziqlardir. Ularning elektr maydon kuchlanganlik chiziqlari kabi boshlanish nuqtasi ham, tugallanish nuqtasi ham bo'lmaydi. Boshqacha aytganda, tabiatda magnit zaryadlari yo'q;
- Magnit maydonini faqat harakatdagi zaryadli zarrachalar vujudga keltiradi;
- Magnit maydon induksiya vektori sirkulyatsiyasi noldan farqli bo'lib, bu uni uyurmali maydon ekanligidan darak beradi.



2.2b – rasm. Tokli o'tkazgichni o'rab olmagan kontur

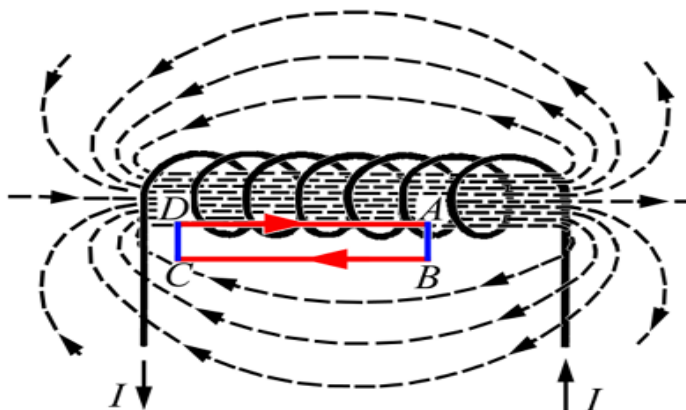
Agar kontur tokli o'tkazgichni o'rab olmagan bo'lsa; (2.2b-rasm) radius – 30ector dastlab kontur bo'yicha $1 \rightarrow 2$ yo'nalishda qancha burchakka burilsa, $1 \rightarrow 2$ yo'nalishda shuncha burchakka siljib, to'la burilish burchagi nolga teng bo'ladi, ya'ni: $\oint_L d\varphi = 0$ demak,

$$\oint_L B_L dl = BR \oint d\varphi = 0 \quad (2.5)$$

2.3. Solenoid maydonining magnit induksiyasi.

Solenoid deb, markazlari umumiy o'qda o'tuvchi, bir-biri bilan ketma-ket ulangan N ta aylanma toklardan iborat bo'lgan spiralsimon o'tkazgichga aytiladi. Endi solenoid maydonining induksiyasini hisoblaymiz. ($l \gg R$ – bo'lgan tokli o'tkazgich solenoid deb yuritiladi (2.3-rasm)

Solenoid kvadrat shaklidagi konturning bir qismini qamrab olgan bo'lsin. Sirkulyasiyasining ta'rifiq muvofiq:



2.3– rasm. Solenoid maydonining induksiyasi

$$\oint_L B_L dl = \int_1^2 B_L dl + \int_2^3 B_L dl + \int_3^4 B_L dl + \int_4^1 B_L dl \quad (2.6)$$

(2.5) ifodaning ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi hadi nolga teng, chunki konturning integral olinayotgan qismi, tokli o'tkazgichni qamrab olmagan. Shunday qilib:

$$\oint_L B_L dl = \int_1^2 B_L dl = Bl \quad (2.7)$$

Kontur elementi uzunligi n -ta o'ramdan iborat deb sirkulyatsiya uchun

$$\oint_L B_L dl = \mu_o \sum I = \mu_o nI \quad (2.8)$$

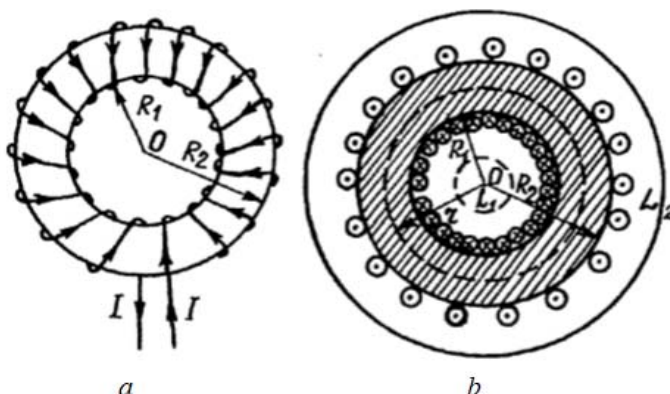
(2.6) va (2.7) lardan

$$B = \frac{\mu_o nI}{l} \quad (2.9)$$

Bu ifoda solenoidning magnit maydoni induksiyasi ifodasidir. Bundan ko'rinadiki, solenoidning magnit maydoni induksiyasi birlik uzunlikdagi solenoidning o'ramlar soniga hamda tok kuchiga bog'liq bo'ladi.

2.4. Torroid o'qidagi magnit maydon kuchlanganligi.

Torroid deb, markazlari aylana bo'ylab joylashgan bir xildagi aylanma toklar sistemasiga aytiladi (2.4a,b-rasm).



2.4-rasm. Tokli torroidning magnit maydoni

Tokli torroidning magnit maydoni faqat uning o'zagida mujassamlashgan bo'lib, tashqi qismida mavjud bo'lmaydi.

Tokli torroidning magnit maydoninixisoblash formulasini keltirib chiqarish uchun, faraz qilaylik, o'ramlardagi tokning kuchi I , o'ramlar soni N va torroid o'zak qismining ichki va tashqi radiuslarini R_1 va R_2 bilan belgilaymiz (2.4-rasm). Simmetriya mulohazalariga binoan magnit maydonning kuch chiziqlari

simmetrik aylanma yopiq chiziqlardan iborat bo'lib, ularning markazlari torroid markazi O nuqtadan torroid tekisligiga tik ravishda o'tgan o'qda yotadi. Binobarin, bitta kuch chiziqlaridagi magnit maydonning kuchlanganligi H ham bir hil bo'lishi kerak. Shuning uchun biror r radiusli aylana bo'ylab magnit maydon kuchlanganligi bektori H ning sirkulyasiyasi quyidagiga teng:

$$\oint (\vec{H}, d\vec{l}) = \int_0^{2\pi r} H dl = H \int_0^{2\pi r} dl = 2\pi Hr \quad (2.10)$$

To'liq tok qonuniga binoan, aylananing holati, ya'ni r radiusiga qarab magnit maydon kuchlanganligining sirkulyasiyasi quyidagiga teng bo'lishi mumkin:

Agar $r < R_1$ bo'lsa, r radiusli l_i aylana ichidan tok o'tmaydi (2.4b-rasm). Binobarin $\sum_{i=1}^N I_i = 0$ bo'lib, (2.9) bu holda nolga teng bo'ladi:

$$\oint (\vec{H}, d\vec{l}) = 2\pi Hr = 0 \text{ ya'ni: } H = 0 \quad (2.11)$$

Agar $r > R_2$ bo'lganda ham r radiusli I_2 aylana ichidan I tokli $2N$ o'ram o'tadi. N ta o'ramda tok bir tomonga yo'nalgan bo'lib, qolgan N o'ramda esa qarama – qarshi tomonga yo'nalgani uchun aylana ichidan o'tayotgan to'liq tok yana nolga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\sum_{i=1}^{2N} I_i = \sum_{i=1}^{1N} (+I) + \sum_{i=1}^N (-I) = 0$$

Bu holda (2.9) quyidagiga teng bo'ladi:

$$\oint (\vec{H}, d\vec{l}) = 2\pi Hr = 0 \text{ ya'ni: } H = 0 \quad (2.12)$$

Shunday qilib, tokli torroid o'zagidan tashqarisida magnit maydoni mavjud bo'lmasligi kelib chiqadi.

Tokli torroidning magnit maydoni uning o'zagida ($R_1 \leq r \leq R_2$) mujassamlashganligi uchun torroid ichidagi l aylana ichidan I tokli N o'ram o'tadi. Shuning uchun bu holda (2.12) quyidagiga teng bo'ladi:

$$\oint (\vec{H}, d\vec{l}) = 2\pi Hr = NI \quad (2.13)$$

Bundan:

$$H = \frac{NI}{2\pi r} \quad (2.14)$$

Shunday qilib, torroid ichidagi magnit maydon kuchlanganligi O markazdan uzoqlashgan sari maksimal qiymatdan minimal qiymatgacha o'zgaradi, ya'ni:

$$H_{max} = \frac{IN}{2\pi R_1} \quad va \quad H_{min} = \frac{IN}{2\pi R_2} = \frac{IN}{2\pi(R_1 + d)} \quad (2.15)$$

Bunda, d -toroiddagi o'ramning diametric toroidning magnit maydoni o'qidagi ($r = R_{o'ram} = \frac{R_1 + R_2}{2}$) magnit maydon kuchlanganligi bilan tavsiflanadi:

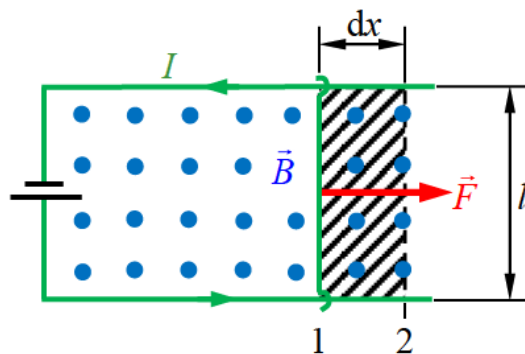
$$H_{o'ram} = \frac{NI}{2\pi R_{o'ram}} = In \quad (2.16)$$

bunda: n -toroid o'zak o'qining uzunligiga mas kelgan o'ramlar soni.

Agar $l \gg d$ bo'lsa, toroid cheksiz solenoidga aylanib, o'zagidagi magnit maydoni bir jinsli maydonga aylanib qoladi.

2.5. Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajarilgan ish

Magnit maydonida tokli o'tkazgichga kuchlar ta'sir qilgani tufayli o'tkazgich harakatlanganida ish bajariladi. Tok zanjiriga l uzunlikdagi to'g'ri o'tkazgich kiritilsa, o'z-o'ziga parallel ravishda ilgarilanma harakatlanadi va dx kesmaga ko'chadi (2.5-rasm).



2.5-rasm. Magnit maydon induksiya vektoriga perpendikulyar bo'lgan va magnit oson ko'chadigan tok elementi

Magnt induksiya vektorining yo'nalishi l ga ham, dx ga ham perpendikulyar deb hisoblasak, tokli o'tkazgichga Amper kuchi ta'sir etadi:

$$F_A = I \cdot Bdl \quad (1.40)$$

Bu kuch tokli o'tkazgichning dl elementini magnit maydonida ko'chirib ish bajaradi:

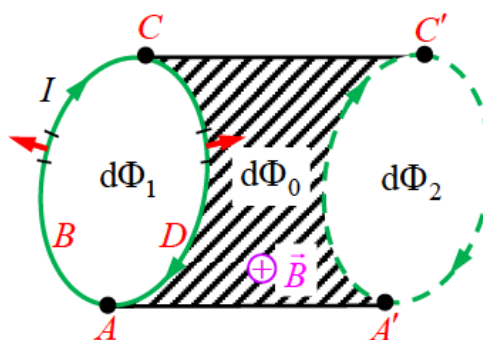
$$dA = F_A \cdot dx \quad \text{yoki} \quad dA = IBdl \cdot dx \quad (1.41)$$

$dl \cdot dx = dS$ kontur o'rab turgan yuzaning o'zgarishini ifodalaydi.

$B \cdot dS = d\Phi_B$ magnit oqimining kontur yuzasi orqali o'zgarishini hisobga olib:

$$dA = IBdS = Id\Phi_B \quad (1.42)$$

Magnit maydonida tokli o'tkazgichni ko'chirishda bajarilgan ish magnit oqimining o'zgarishiga proporsionaldir. Bu xulosani istalgan tokli kontur uchun umumlashtirish mumkin (2.6-rasm).



2.6-rasm. Magnit maydonida berk konturni ko'chirishda bajarilgan ish

Endi magnit maydonida berk konturni ko'chirishda bajarilgan ishni hisoblaymiz. Konturni tutashgan ABC va CDA bo'laklardan tashkil topgan deb tasavvur qilib, to'la bajarilgan ishni ifodalaymiz.

$$dA = dA_1 + dA_2$$

dA_1 -konturning ABC qismini ko'chirishda bajarilgan ish bo'lib, u manfiy ishoraga ega, chunki konturning bu qismiga ta'sir etuvchi kuch harakat yo'nalishi bilan o'tmas burchak hosil qiladi.

$$dA_1 = -I(d\Phi_0 + d\Phi_1)$$

$$dA_2 = -I(d\Phi_0 + d\Phi_2)$$

Shunday qilib, magnit maydonida berk konturni ko'chirishda bajarilgan ish, kontur yuzasi orqali magnit oqimining o'zgarishiga proporsionaldir

$$dA = Id\Phi^1 \quad (1.43)$$

Bu yerda $d\Phi^1 = d\Phi_2 - d\Phi_1$ - kontur orqali o'tayotgan magnit oqimining o'zgarishini bildiradi.

Mavzuni mustahkamlash uchun savollar

1. Magnit maydoni va uni xarakterlovchi kattaliklar – magnit momenti, magnit induksiya vektori va aylantiruvchi momentlarni maksimum qiymatlari orasidagi bog'lanishni ifodalang.

2. Magnit induksiya chiziqlarining yo'nalishini aniqlashda qanday qoidadan foydalaniladi va u qanday ta'riflanadi.

3. Bio-Savar-Laplas qonuni qanday ifodalanadi va uning ba'zi tatbiqlarini ko'rsating.

4. Magnit maydonidagi tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi Amper kuchi va magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadga ta'sir etuvchi Lorens kuchlari o'rtasida qanday umumiylik mavjud hamda ularning yo'nalishlari qanday qoida bilan aniqlanadi?

5. Siklotronning tuzilishi, ishlash prinsipi va undan qanday maqsadlarda foydalanish mumkinligini ayting.

6. Solenoid deb nimaga aytiladi?

7. Induksiya vektorining sirkulyatsiyasi nima?

8. Torroid deb nimaga aytiladi?

9. Juft kuchlar qanday hosil bo'ladi?

10. Juft kuchlar momenti nimaga teng?

Masala yechish namunasi

1. Uzunligi $l = 20sm$ va diametri $D = 5sm$ li g'altak tayyorlash kerak. Uning hosil qiladigan magnit maydon kuchlanganligi $H = 1008 A/m$ bo'lsin.

Quyidagilarni hisoblang: a) bu g'altaklarning I_n amper – o'ramlar sonini: b) agar u diametri $d = 0.5mm$ bo'lgan mis simdan tayyorlangan bo'lsa, g'altak uchlariga beriladigan U potensiallar ayermasini toping. Misning solishtirma qarshiligi $\rho = 1.71 \cdot 10^8 \text{Om} \cdot m$

Berilgan: $l = 20\text{sm}$, $D = 5\text{sm}$, $H = 1008 \text{ A/m}$, $d = 0.5\text{mm}$,
 $\rho = 1.71 \cdot 10^8 \text{Om} \cdot m$

Topish kerak: $I_n = ?$ $U = ?$

Yechish: a) g'altak ichidagi magnit maydon kuchlanganligini hisoblash formulasiga muvofiq $H = \frac{In}{l}$, bu yerda n – g'altakdagi o'ramlar soni, I – undagi tok kuchi. U holda $In = Hl = 1008 \cdot 0.2 = 201.6 \text{ amper} - o'ram$

b) Om qonuniga ko'ra $U = IR = I\rho \frac{l}{S}$ bu yerda R – simning qarshiligi, $S = \frac{\pi d^2}{4}$ – simning ko'ndalang kesim yuzasi, $l = \pi Dn$ – simning uzunligi, shuning uchun

$$U = \frac{4\rho D(In)}{d^2} = \frac{4 \cdot 1.71 \cdot 10^8 \cdot 0.05 \cdot 201.6}{25 \cdot 10^{-6}} = 2.76V$$

Javob: 2,76 V

2. Magnit maydon kuch chiziqlariga $\alpha = 30^\circ$ burchak ostida joylashgan $l = 0.25m$ uzunlikdagi to'g'ri o'tkazgichga $F_A = 3N$ kuch bilan ta'sir qiladi. Agar o'tkazgichdagi tok kuchi $I = 30A$ bo'lsa, magnit maydonning induksiyasi B topilsin.

Berilgan: $\alpha = 30^\circ$, $l = 0.25m$, $F_A = 3N$, $I = 30A$

Topish kerak: $B = ?$

Yechish: Amper qonuniga binoan, magnit maydonidagi tokli o'tkazgichga $F_A = IlB \sin \alpha$ kuch ta'sir qiladi. Bundan izlanayotgan magnit maydoning B induksiya vektori quyidagicha topiladi:

$$B = \frac{F_A}{Il \sin \alpha}$$

bunda, I – o'tkazgichdan o'tayotgan tokning kuchi, l – o'tkazgich uzunligi, α – magnit kuch chiziqlari bilan o'tkazgich orasidagi burchak.

$$B = \frac{F_A}{Il \sin \alpha} = \frac{3}{30 * 0.25 * \sin 30^\circ} = 0.8 \text{ Tl}$$

Javob: 0.8 Tl

3. Induksiyasi $B = 10^{-3}$ Tl bo'lgan bir jinsli magnit maydonda $R = 1.5$ sm radiusli aylana bo'ylab harakatlanayotgan elektronning v tezligi topilsin. elektron massasi $m = 9.1 * 10^{-31} \text{ kg}$ va zaryadi $e = 1.6 * 10^{-19} \text{ C}$ ga teng.

Berilgan: $B = 10^{-3}$ Tl, $R = 1.5$ sm, $m = 9.1 * 10^{-31} \text{ kg}$, $e = 1.6 * 10^{-19} \text{ C}$

Topish kerak: $v = ?$

Yechish: Magnit maydonda harakatlanayotgan elektronga ta'sir qiluvchi natijaviy kuch $F_A = e v B \sin \alpha$ Lorens kuchi va markazga intilma kuch $F_{m.l} = \frac{m v^2}{R}$ dan iborat bo'lgani uchun elektronning harakat traektoriyasi aylanadan iborat bo'ladi.

Demak,

$$e B v \sin \alpha = \frac{m v^2}{R}$$

Bunda, e – elektronning zaryadi, m – elektronning massasi, v – esa harakat tezligi, R – harakat traektoriyasining egrilik radiusi, α – elektron harakat yo'nalishi bilan magnit maydon kuch chiziqlari orasidagi burchak.

Yuqoridagi tenglikdan elektron tezligini topsak:

$$v = \frac{e B R \sin \alpha}{m} = \frac{1.6 * 10^{-19} * 10^{-3} * 1.5 * 10^{-2} \sin 90^\circ}{9.1 * 10^{-31}} = 2.64 * 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Javob: $v = 2.64 * 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

4. Tokli g'altakning nikel o'zagini kesim yuzi $S = 20 \text{ cm}^2$ orqali o'tgan magnit induksiya oqimi $\Phi = 1.256 * 10^{-2}$ Vb ga teng. agar g'altak ichidagi bir jinsli

magnit maydonning kuchlanganligi $H = 2.5 \cdot 10^4 \text{ A/m}$ ga teng bo'lsa, nikelning shu sharoitdagi nisbiy singdiruvchanligi μ topilsin.

Berilgan:

$$S = 20 \text{ cm}^2, \quad \Phi = 1.256 \cdot 10^{-2} \text{ Vb}, \quad H = 2.5 \cdot 10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}, \quad \mu_0 = 12.56 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Gm}}{\text{m}}$$

Topish kerak: $\mu = ?$

Yechish: G'altak o'zagining ko'ndalang kesim yuzi S orqali o'tayotgan magnit induksiya oqimi

$$\Phi = BS = \mu \mu_0 HS$$

Bunda, B – magnit maydonning induksiyasi, H – kuchlanganligi, μ_0 – magnit doimiysi. Oxirgi formuladan g'altak o'zagi materialini nisbiy magnit singdiruvchanligi μ ni aniqlab, uni son qiymatini hisoblab topamiz:

$$\mu = \frac{\Phi}{\mu_0 HS} = \frac{1.256 \cdot 10^{-2}}{12.56 \cdot 10^{-7} \cdot 2.5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 200$$

Javob: 200

Mustaqil echish uchun masalalar

1. $I = 1 \text{ kA}$ tok oqayotgan to'g'ri sim bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik ravishda joylashtirilgan. Agar magnit induksiyasi $B = 1 \text{ Tl}$ bo'lsa, maydon simning uzunligi $l = 1 \text{ m}$ bo'lgan kesmasiga qanday F kuch bilan ta'sir qiladi?

2. $I = 20 \text{ A}$ tok oqayotgan uzunligi $l = 10 \text{ cm}$ bo'lgan to'g'ri o'tkazgich induksiyasi $B = 0.01 \text{ Tl}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydon turibdi. Agar simga $F = 10 \text{ mN}$ kuch ta'sir qilayotgan bo'lsa, B vektor va tok yo'nalishlari orasidagi burchak topilsin.

3. Simdan yasalgan kvadrat ramka uzun to'g'ri sim bilan ikki tomonidan parallel qilib joylashgan. Ramkadan va simdan $I = 30 \text{ A}$ to'k oqmoqda. Agar ramkaning simga turgan tomoni uning uzunligiga teng masofada bo'lsa, ramkaga ta'sir etuvchi F kuch aniqlansin.

4. $R=20\text{ sm}$ radiusli xalqa ko'rinishidagi ingichka simdan $I=100\text{ A}$ tok oqmoqda. Xalqa tekisligiga qarshi tik ravishda $B=20\text{ mTl}$ induksiali bir jinsli magnit maydon xosil qilgan. Xalqani cho'zuvchi F kuch topilsin.

5. Tomonlari $a=20\text{ sm}$ dan bo'lgan ikkita bir xil yassi kvadrat ko'nturning xar biridan bir xil $I=10\text{ A}$ dan tok oqmoqda. Agar konturlarning mos tomonlari orasidagi d masofa 2 mm ga teng bo'lsa, ko'nturlarning o'zaro tasir kuchi F aniqlansin.

6. $r=5\text{ sm}$ radiusli o'ramdan $I=10\text{ A}$ tok oqmoqda. Aylanma tokning magnit momenti P aniqlansin

7. O'ramning magnit momenti $P(m)=0.2\text{ J/Tl}$. Agar o'ramning diametiri $d=10\text{ sm}$ bo'lsa, undagi tok kuchi I aniqlansin.

8. Aylanma o'ram markazidagi magnit maydon kuchlanganligi $H=200\text{ A/m}$. O'ramning magnit maydoni $P(m)=1\text{ A/m}^2$. O'ramdagi tok kuchi I va o'ramning radyusi R hisoblansin

9. Ingichka simning $N=200$ ta o'ramdan iborat galvanametir ramkasi qayishqoq ipga osilgan. Ramkaning yuzasi $S=1\text{ sm}^2$. Ramka yuzasining normal magnit induksiyasi ($B=5\text{ mTl}$) chiziqlariga tik yo'nalgan Galvanametirdan $I=2\text{ mA}$ tok otkazilganda ramka $\alpha=30^\circ$ burchakka buriladi. Ipning buralish doimiysi S topilsin.

10. Agar nuqtaviy magnit dipolga tasir etuvchi maksimal kuch $F=1\text{ mN}$ bo'lsa, Magnit maydonning bir jinslimaslik darajasi (dB/dx) aniqlansin. Nuqtaviy dipolni magnit oqimi $P=2\text{ mA}\cdot\text{m}^2$

11. $v=4\text{ Mm/s}$ tezlik bilan bir jinsli magnit maydonga induksiya chiziqlariga nisbatan $\alpha=30^\circ$ burchak ostida uchib kirgan elektronlarga tasir etuvchi Lorens kuchi F aniqlansin. Maydonning magnit induksiyasi $B=0.2\text{ Tl}$.

12. Agar protonning tezligi $v=2\text{ mm/s}$ bo'lsa, pratonning $B=15\text{ mTl}$ induksiyali magnit maydonda chizadigan aylanasi yoyining radyusi R xisoblansin.

13. Bitta elementar zaryadga ega bo'lgan elektron induksiyasi $B=0.015 \text{ Tl}$ bo'lgan bir jinsli magnit maydonda $R=10 \text{ sm}$ radiusli aylana bo'ylab xarakatlanmoqda Ionning impulsi P aniqlansin.

14. Elektron $B=0.02 \text{ Tl}$ induksiyali magnit maydon $R=1 \text{ sm}$ radiusli aylana bo'ylab xarakatlanmoqda. Elektronning kinetik energiyasi aniqlansin.

15. $U=600 \text{ B}$ tezlantiruvchi potentsiallar farqidan o'tgan praton $B=0.3 \text{ Tl}$ induksiyali bir jinsli magnit maydonga uchib kiradi va aylana bo'ylab xarakatlanadi. Uning radiusi R xisoblansin.

16. $T=1 \text{ keB}$ energiyali zaryadlangan zarra bir jinsli magnit maydonda radiusi $R=1 \text{ mm}$ bo'lgan aylana bo'ylab xarakatlanmoqda Zaryadga maydon tomondan ta'sir etuvchi F kuch aniqlansin.

17. Elektron kuchlanganligi $H=10 \text{ kA/m}$ bo'gan bir jinsli magnit maydonda aylana bo'ylab xarakatlanmoqda . Elektronning aylanish davri T xisoblansin.

18. Elektron magnit maydon $R=2 \text{ sm}$ radiusli aylana bo'lab xarakatlanmoqda Maydonning magnit induksiyasi $B=0.1 \text{ Tl}$. Elektronning kinetik energiyasi W aniqlansin.

19. $T=1.5 \text{ MeB}$ kinetik energiyaga ega bo'lgan elektron bir jinsli magnit maydonda aylana bo'ylb xarakatlanmoqda Maydonning magnit induksiyasi $B=0.02 \text{ Tl}$. Aylanish davri aniqlansin.

20. Magnit qutblari orasida joylashtirilgan $r = 10 \text{ sm}$ radiusli sim o'ramga $M_{\max}=6.5\text{mkN}$ maksimal mexanik moment ta'sir qilmoqda. O'ramdagi tok kuchi $I = 2\text{A}$. Magnit qutblari orasidagi maydonning magnit induksiyasi B aniqlansin. Yer magnit maydoning ta'siri inobatga olinmasin.

21. Uzunligi $l=1 \text{ m}$ bo'gan, $N=1000$ ta o'ramga ega o'zaksiz salenoiddan $I=20 \text{ A}$ tok oqmoqda. Magnit induksiya vektorini uyurmasi aniqlansin.

22. Bir tomonga oquvchi $I_1=10\text{A}$, $I_2=15 \text{ A}$ va qarama-qarshi tomonga oquvchi $I_3=20 \text{ A}$ toklarni qamrab olgan kontur bo'ylab induksiya vektorining uyurmasi xisoblansin.

23. $j=2 \text{ MA/m}^2$ zichlikka tok o'tkazuvchi kesimi bo'ylab bir tekis taqsimlangan. O'tkazgich uchidan o'tuvchi tekislikka zichligi vektori bilan $\alpha=30^\circ$ burchak hosil qiluvchi $R=5 \text{ mm}$ radiusli aylana bo'ylab kuchlanganlik vektorining uyurmasi topilsin.

24. O'zaksiz torroidning o'rtacha chiziq bo'ylab diametiri $D=30 \text{ sm}$ Torroidning kesimida $r=5 \text{ sm}$ radiusli doira bor. $N=2000$ ta o'ramdan iborat torroid o'ramidan $I=5 \text{ A}$ tok oqadi. To'liq tok konturidan foydalanib torroiddagi magnit induksiya B ni max va min qiymati aniqlansin.

25. $B=0.01 \text{ Tl}$ induksiya bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik joylashgan uzunligi $l=8 \text{ sm}$ bo'lgan to'g'ri sim turibdi. Simdan $I=2 \text{ A}$ tok oqmoqda. Maydon kuchlarining Ishi A aniqlansin.

26. $\Phi=40 \text{ mVb}$ magnit oqimi yopiq konturga joylashgan. Agar magnit oqimi $t=2 \text{ ms}$ vaqt davomida nolgacha o'zgarsa konturda vujudga keluvchi induksiya E_{YuK} ning o'rtacha qiymati aniqlansin.

27. Uzunligi $l=10 \text{ sm}$ bo'lgan tayoqqa $B=0.4 \text{ Tl}$ induksiyali bir jinsli magnit maydonda induksiya chiziqlariga tik tekislikda aylanmoqda. Aylanish o'qi tayoqchani uchlari biridan o'tadi. $n=10 \text{ c}$ aylanish chastotasida tayoqcha uchlarida potentsiallar farqi U aniqlansin.

28. $S=100 \text{ cm}^2$ yuzali ramka $R=120 \text{ m}$ qarshilikli $N=10$ ta sim o'ramiga ega. Chulg'amning uchlarida tekislikda yotibdi va induksiya chiziqlariga tik yo'nalgan. Ramkada vujudga kelgan maksimal induksiya quvvati aniqlansin.

29. $r=10 \text{ sm}$ radiusli sim halqa stolda yotibdi. Agar halqa bir tomdan boshqa tomga ag'darilsa, undan qancha miqdorda elektr q o'tadi? Halqaning qarshiligi $R=1 \text{ om}$. Yer magnit maydoni induksiya B ning tashkil etuvchisi 50 mkTl ga teng.

LABORATORIYA ISHLARI

Mavzu: Taqasimon magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni o'lchash

Tajribaning maqsadlari:

Taqasimon magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni tok kuchining funksiyasi sifatida o'lchash.

Taqasimon magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni o'tkazgich uzunligining funksiyasi sifatida o'lchash.

Taqasimon magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni magnit maydoni va tok yo'nalishi o'rtaidagi burchakning funksiyasi sifatida o'lchash.

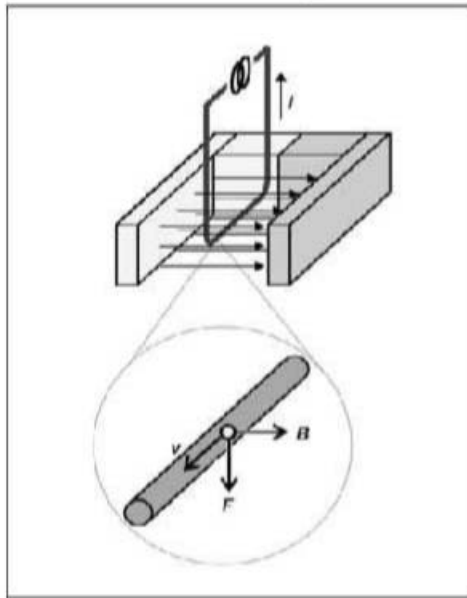
Magnit maydonini hisoblash.

Kerakli asboblari: 1 ta Taqasimon magnit, 1 ta Kuch sensori, 1 ta O'tkazgich halqalar to'plami, 1 ta O'tkazgich halqalar uchun taglik 1 ta Dinamometr, 1 ta Ko'po'zakli ulash kabeli, 6-qutb, 1 ta Yuqori energiyali manba 1 ta Kichik shtativ, V-shaklida, 1 ta Shtativ tayoqchasi, 47 cm, 1 ta Leybold ko'rutgich, Ko'ndalang kesimi 2.5mm^2 bo'lgan ulash kabellari

Asosiy ma'lumotlar

Magnit induksiyasi, yoki soddaroq qilib aytganda magnit maydoni B vector kattalik hisoblanadi. B magnit maydonida v tezlik bilan harakatlanayotgan q zaryadga tezlikning kattaligi va yo'nalishidan hamda magnit maydoni kuchlanganligidan va yo'nalishidan bog'liq bo'lgan kuch ta'sir etadi. Bu kuchni topish uchun quyidagi munosabatdan foydalaniladi

$$\mathbf{F} = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$



Rasm. Magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchning sxemali ko'rinishi.

Lorents kuchideb ataluvchi F kuch ham vector kattalik bo'lib u v va B lar bilan aniqlanadigan tekislikka perpendikulyar ravishda tasir etadi. Tokli otkazgichga magnit maydonida ta'sir etayotgan kuchni tokni hosil qiluvchi va shu maydonda harakatlanayotgan individual zaryad tashuvchilarga ta'sir etuvchi kuch komponentlarining yig'indisi deb tushunish mumkin. (1) tenglamaga asosan Lorents kuchi v dreif tezlik bilan harakatlanayotgan har bir individual q zaryadga ta'sir etadi. To'g'ri o'tkazgich uchun bu umumiy kuch

$$F = qnAs \cdot (v \cdot B) \quad (2)$$

Bu yerda n – zaryad tasuvchilarning zichligi, A – o'tkazgichning kondalang kesimining yuzasi, s – o'tkazgichning magnit maydonida joylashgan qismining uzunligi. Umumiy holda o'tkazgich kesimining yo'nalishini ko'rsatuvchi svektorni kiritish qulay hisoblanadi. Bundan tashqari $qnA v$ ko'paytma I tok kuchiga teng. Shunday qilib magnit maydonining tokli o'tkazgichga segmentiga ta'sir etuvchi kuchi quyidagi tenglamadan topiladi

$$F = I \cdot (s \cdot B) \quad (3)$$

Bu kuchning absolyut qiymati quyidagi tenglamadan topiladi

$$F = I \cdot s \cdot B \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

Bu yerda α - magnit maydoniva tok kuchi yo'nalishi orasidagi burchak.

Bu tajribada 20 A gacha tok o'tkazadigan to'g'ri to'rt burchak shaklidagi otkazgich halqa taqasimon magitning gorizontal maydoniga joylashtiriladi. Otkazgichning gorizontal qismiga ta'sir etuvchi kuch o'lchanadi. Otkazgichning ikki vertikal qismiga ta'sir etuvchi kuchlar o'zaro kompensatsiyalanadi. O'tkazgich halqa kuch sensoriga ulanadi. U egilgan qismga ega bo'lib unga o'lchash asbobiga birlashtiriladi. Bu elementlarning elektr qarshiligi o'zgartirilishi mumkin. Qarshilikdagi o'zgarish hosil bo'ladigan kuchga to'g'ri proportsional. Unga ulangan dinamometr qarshilikdagi o'zgarishni o'lchaydi va unga mos kuchni ko'rsatadi.

Eksperimental qurilma va tajribalarni o'tkazish

Eslatmalar: O'lchanayotgan kattalikning qiymati juda kichik bo'lganligi sababli o'lchashlarga tashqi ta'sirlar oson xalaqitberishi mumkin. Atrofdagi temperaturaning o'zgarishidan, siljishlardan va taqillashlardan saqlaning.

Dinamometr tajribalarning boshlanishidan kamida 15 minut qizdirilishi lozim. Dinamometrni ulanga kuch sensori bilan qurilma orqa tarafidagi asisiy kalit yordamida qoshing. 20 A tokni o'tkazgich halqadan va ta'minlash manbaidan faqat qisqa muddat (bir necha minut) o'tkazish mumkin.

Taqasimon magnitning magnit maydoni bir jinsli emas.

Barcha tajribalar uchun o'tkazgich halqani taqasimon magnit qo'llari o'rtasida shunday joylashtiringki, magnit maydonining ta'siri imkoni boricha bir jinsli bo'lsin.

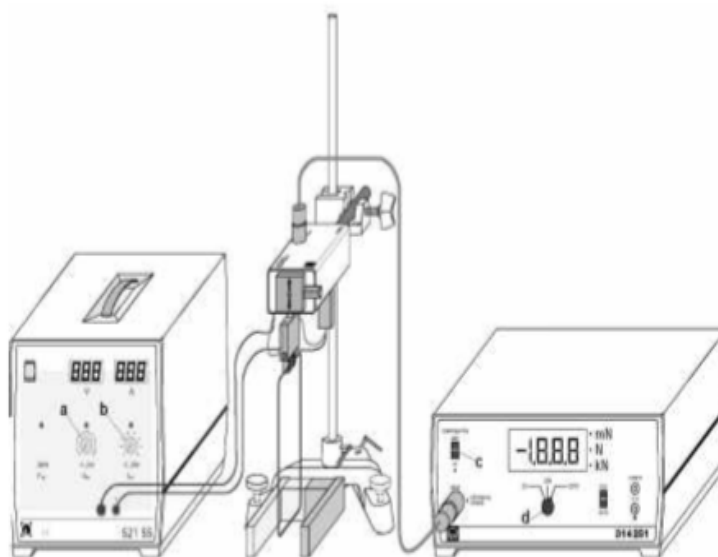
1-pasmda ko'rsatilgandek qurilmani yig'ing.

Qisqa tutashuv bo'lmasligi uchun o'tkazgich halqa uchun taglik kabelining izolyatsiyalanmagan qismi tegib qolmasligiga ishonch hosil qiling.

Dinamometr o'lchash diapozonining kalitini 2000 ga o'rnatib.

Tajribalar faqatgina tor qismga ega bo'lmagan o'tkazgich halqalardan foydalanib o'tkaziladi. Tokni o'rnatishning eng oson yoli tokni control qilish

knopkasi (b) dan foydalanib bajarilishi mumkin. Kuchlanishni kontrol qilish knopkasi (a) hamma vaqt o'ng tarafga burilgan holda turadi.



1-rasm. Magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni o'lchash qurilmasi.

a) Tokning funksiyasi sifatidagi o'lchashlar

Dastlab kengligi 8 sm bo'lgan o'tkazgich halqani kuch sensoriga ulang.

Tokni kontrol qilish (b) knopkasini hamma vaqt chap tarafga burilgan holda va kuchlanishni kontrol qilish knopkasi (a) ni hamma vaqt o'ng tarafga burilgan holda o'rnatish. Keyin yuqori tok manbaini qo'shing.

Dinamometrning nol nuqtasini kompensatsiyalash uchun SET pozitsiyasida COMPENSATION kalitini (c) tanlang.

Tokni kontrol qilish knopkasi (b) yordamida tokni 2 A qadam bilan 20 A gacha oshiring. Tokning har bir qiymati uchun dinamometrda kuchni yozib oling va bu qiymatlarni tajriba kitobingizga yozing

Tok kuchini $I = 0$ A ga o'rnatish va kuchning nol nuqtasini tekshiring.

b) O'tkazgich uzunligining funksiyasi sifatidagi o'lchashlar

Dastlab kengligi 4 sm bo'lgan o'tkazgich halqani kuch sensoriga ulang.

Dinamometrning nol nuqtasini kompensatsiyalash uchun SET pozitsiyasida COMPENSATION kalitini (c) tanlang.

Tok kuchini $I = 20 \text{ A}$ sathga o'rnating, Tokning bu qiymati uchun dinamometrdan kuchni yozib oling va bu qiymatlarni tajriba kitobingizga yozing.

Tok kuchini $I = 0 \text{ A}$ ga ornating va kuchning nol nuqtasini tekshiring.

Tajribani 2 sm li o'tkazgich halqa uchun takrorlang.

c) Magnit maydoni va tokning yo'nalishlari orasidagi burchakning funksiyasi sifatidagi o'lchashlar.

Tavsiya: magnit maydonining bir jinslilikmasligini kompensatsiyalash uchun va xususiy aylanish burchagini o'rnatish uchun moslama yasang (1-rasmga qarang) .

Bu moslama taqasimon magnitni kerakli holda joylashtirishni osonlashtiradi va aniqlashtiradi

Tokni control qilish tugmasini chap tarafga buring va 4 sm kenglikdagi o'tkazgich halqani kuch sensoriga ulang.

Moslamani o'tkazgich halqaning octiga shunday joylashtiringki, moslamaning markazi o'tkazgich halqaning gorizontal qismining o'rtasiga joylashsin va moslama chiziqlaridan biri o'tkazgich gorizontal qismiga parallel bo'lsin.

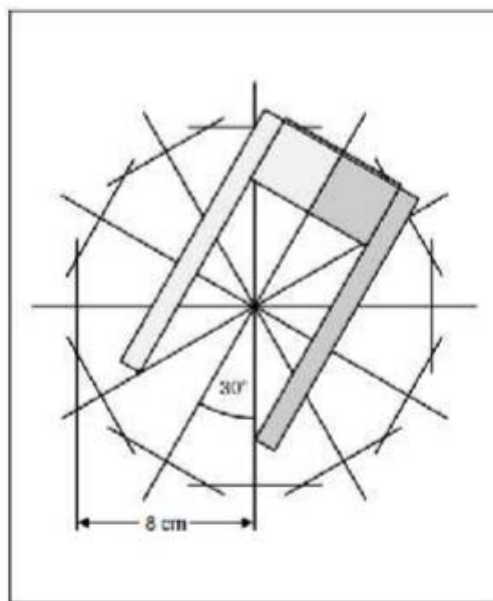
Taqasimon magnitni shunday joylashtiringki, magnit maydon va o'tkazgich gorizontal qismi parallel bo'lsin.

Dinamometrning nol nuqtasini kompensatsiyalash uchun SET pozitsiyasida COMPENSATION kalitini (c) tanlang.

Tok kuchi sathini $I = 10 \text{ A}$ qilib o'rnating.

Magnitni 30 o burchakli qadam bilan 360o gacha buring va har bir burchak uchun dinamometrdan kuchni yozib oling.

Tok kuchini $I = 0 \text{ A}$ ga ornating va kuchning nol nuqtasini tekshiring.



2– rasm. Taqasimon magnitni kerкли holda joylashtirish uchun moslamadan foydalanish.

O'lchash misollari va hisoblashlar

a) Tokning funksiyasi sifatidagi o'lchashlar .

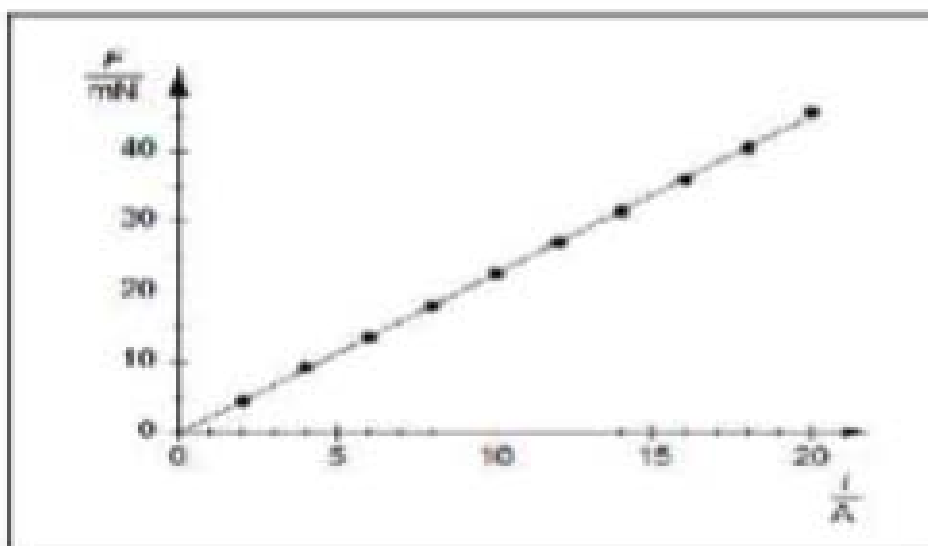
1– jadval F kuch tok kuchining funksiyasi sifatida ($s = 8 \text{ sm}$)

3– rasmdagi grafikda o'lchangan tajribada qiymatlar qiyaligi quyidagicha bo'lgan to'g'ri chiziqni ko'rsatadi

$$\frac{F}{I} = 2.26 \frac{\text{mN}}{\text{A}}$$

$\sin 90^\circ = 1$ ni hisobga olsak (4) tenglama bizga magnit maydoni uchun quyidagi qiymatni beradi

I A	F mN
0	0.0
2	4.5
4	9.3
6	13.5
8	18.0
10	22.5
12	27.0
14	31.4
16	35.9
18	40.4
20	45.6



3– rasm. Tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi F kuch I tok kuchining funktsiyasi sifatida (1-jadvalga qarang)

$$B = \frac{F}{I \cdot s} = \frac{2.26 \text{ mN}}{1 \text{ A} \cdot 0.08 \text{ m}} = 28.5 \text{ mT}$$

Berilgan uzunlikdagi o'tkazgich uchun kuch va tok kuchi o'rtasidagi chiziqli munosabat (3) va (4) tenglamalar natijalarini tasdiqlaydi.

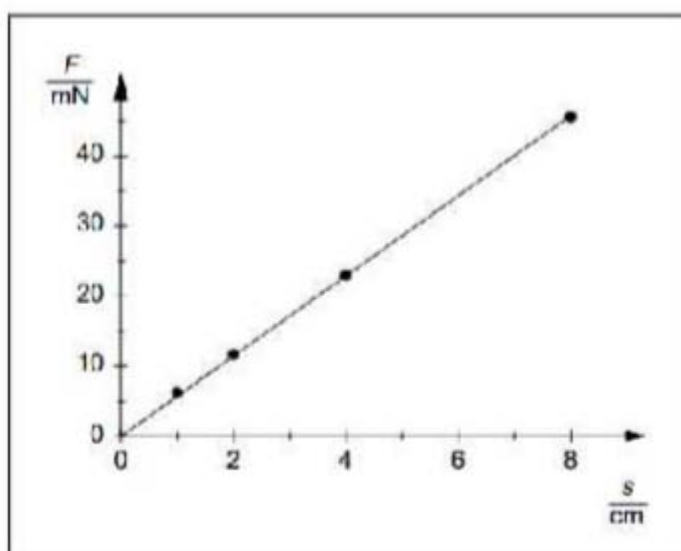
b) O'tkazgich uzunligining funktsiyasi sifatidagi o'lchashlar.

2– jadval. F kuch o'tkazgich uzunligi s ning funktsiyasi sifatida ($I = 20$ A)

4- rasmdagi grafikda o'lchangan tajribada qiymatlar koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqni ko'rsatadi

$$\frac{F}{s} = 572 \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

s sm	F mN
8	45.6
4	23.0
2	11.7
1	6.2



4-rasm. Tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi F kuch o'tkazgich uzunligi s ning funksiyasi sifatida (2-jadvalga qarang)

Magnit maydoni uchun quyidagi qiymatni hosil qilamiz

$$B = \frac{F}{s \cdot I} = \frac{572 \text{ mN}}{1 \text{ m} \cdot 20 \text{ A}} = 28.6 \text{ mN}$$

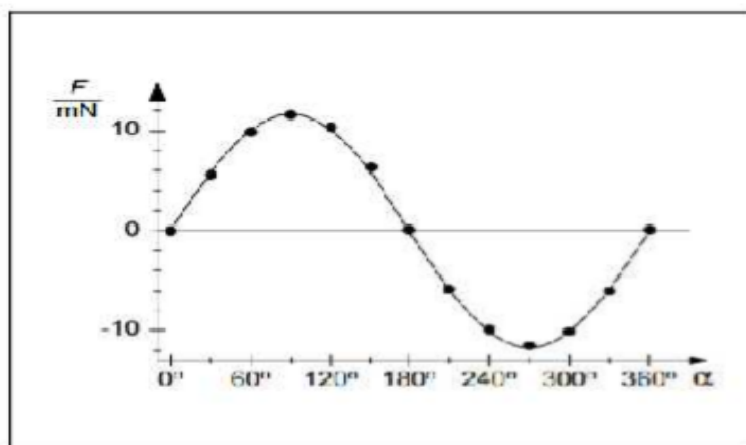
Berilgan tok kuchi uchun kuch va o'tkazgich uzunligi o'rtasidagi chiziqli munosabat (3) va (4) tenglamalar natijalarini tasdiqlaydi.

c) Magnit maydoni va tokning yo'nalishlari orasidagi burchakning funksiyasi sifatidagi o'lchashlar

3– jadval. F kuch burchakning funksiyasi sifatida ($s = 4 \text{ sm}$, $I = 10 \text{ A}$)

5- rasmdagi grafikda tajribada o'lchangan qiymatlar sinusoidal egri chiziq bo'lib (4) tenglamadan $B = 28.5 \text{ mT}$ magnit maydoni uchun hisoblangan natijalarni tasdiqlaydi.

	F mN
0	0.0
30	5.6
60	9.9
90	11.6
120	10.4
150	6.3
180	0.1
210	-5.8
240	-9.9
270	-11.5
300	-10.1
330	-6.0
360	0.1



5-rasm. Tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi F kuch magnit maydoni va tokning o'rtasidagi α burchakning funktsiyasi sifatida (3-jadvalga qarang)

2. Mavzu: Voltengofen mayatnigi: Aylanma tokning kamayishini namoyish etish

Tajribalarning maqsadi: Magnit maydonda Voltengofen mayatnigining tebranishlarining aylanma tok ta'sirida so'nishini o'rganish.

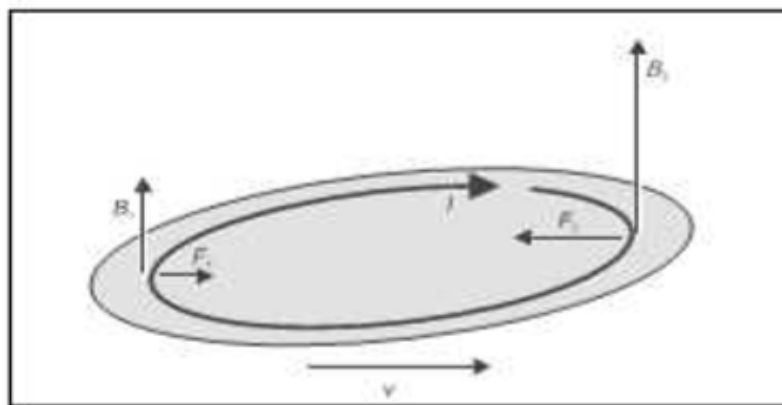
Teshikli metal plastinkada aylanma toklarning kamayishini namoyish qilish.

Kerakli asboblari: 1ta Voltengofen mayatnigi , 1 ta O'tkir uchli tutgich, 1 ta U- simon o'zak, 2 ta 250 o'ramli g'altak, Bir juft magnit qutblari, 1 ta DC energiya mandai 0-16 V / 0-5 A, 1 ta Shtativ, V-shakldagi,20 cm, 1 ta Shtativ tayoqchasi,47 cm, 1 ta Shtativ tayoqchasi, to'g'ri burchakli, 1 ta Leybold ko'ptutgichi, Ulash kabellari

Asosiy ma'lumotlar

Agar metal plastinka birjinsli bo'lmagan magnit maydonida harakatlansa plastinkaning alohida qismlaridan o'tayotgan magnit oqimi o'zgaradi va bu o'z navbatida shu qismlar aylanasi sirkulyatsiyalanadigan kuchlanishning davomli ravishda hosil bo'lishiga olibkeladi. Shuning uchun metal plastinkaning ixtiyoriy qismida aylanma toklar oqadi. Magnit maydonda bu aylanma toklarga Lorens kuchi ta'sir etish natijasida metal plastinkaning harakatlanishi susayadi (1-rasm).

Agar metal plastinkada teshiklar hosil qilinsa aylanma toklar qiymati kamayadi, chunki toklar bir teshik atrofida boshqasiga aylanib o'tishga majbur bo'ladi.



1-rasm. Metal plastinkada hosil bo'ladigan I aylanma tok va uning ikki qismiga ta'sir etuvchi F_1 va F_2

Lorens kuchlari (B_1 va B_2 : bir jinsli bo'lmagan magnit maydoni, v - plastinka tezligi). Harakat yo'nalishida ta'sir etadigan kuch harakat yo'nalish bo'yicha ta'sir etadigan kuchdan kattaroq.

Voltengofen mayatnigi yordamida aylanma toklarning hosil bo'lishini va kamayishini ajoyib tarzda namoyish etish mumkin. U kuchli elektromagnit qutblari o'rtasida tebranadigan metal plastinkadan iborat. Tebranib turgan mayatnik yetarlicha kuchli magnit maydon qo'shilganda maydonga kirayotganda to'xtaydi. Ammo teshiklari mavjud bo'lgan mayatnikning tebranma harakati shu magnit maydon qo'shilganda kuchsizs o'nadi.

Tajriba qurilmasi

Tajriba qurilmasi 2-rasmda ta'svirlangan.

Elektromagnit: Elektromagnitni U shaklidagi o'zak, 250 o'ramli 2 ta induktiv g'altak va ikki bo'lak qutblardan tuzing.

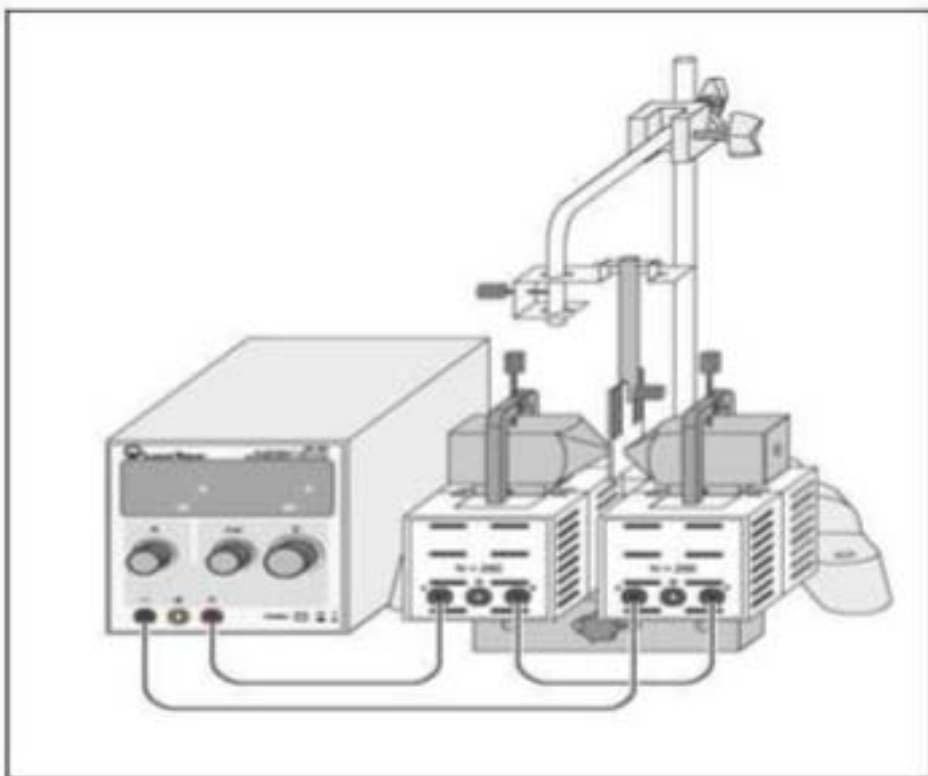
Induktiv g'altaklarni DC tokmanbaiga ketma-ket ravishda ulang.

Voltengofen mayatnigi: Dastlab alyuminiy plastinkaning teshikli tomonini mayatnik o'qiga mahkamlang.

O'tkir uchli tutqichga ega bo'lgan shtativni tuzing va Voltengofen mayatnigini unga osib qo'ying.

Alyuminiy plastinkaning teshikka ega bo'lmagan tomonini shunday o'rnatinki, u to'xtab turganda magnit qutblarining teng o'rtasida joylashsin va harakatlanganda qutblar o'rtasida erkin tebrana olsun.

Qutblar orasidagi masofani mumkin qadar kichik qilib o'rnatib ammo ular mayatnik tebranma harakatiga halaqit bermasin. Qutb bo'laklarini o'zakka mahkamlang.



2-rasm. Voltengofen mayatnikli tajriba qurilmasi

Tajribalarni o'tkazish:

Elektromagnit orqali o'tayotgan tok kuchini qadam-baqadam orttirib boring. (5A dan katta tok kuchi faqat qisqa vaqt davomida o'tkazilishi mumkin).

Mayatnik tinch turgan paytdan unga turtki bering va tebranishlarini kuzating.

Alyuminiy plasinkaning teshiklarga ega bo'lmagan tomonini mayatnik o'qiga o'rnating va tajribalarni taqqoslang.

O'lchash uchun misollar:

1-jadval. Alyuminiy plastinkaning tinch holatidan turtki berilgandan keyin magnit maydonida tebranishlar soni.

I, A	Tebranishlar soni	
	Teshiksiz soha	Teshikli soha
0	>20	>20
2,5	8	>20
5	3	>20
7,5	2	>20
10	1	>20

Hisoblash va baholash:

Agar teshiklarga ega bo'lmagan soha magnit maydonida tebransa tebranish tez so'nadi. So'nish darajasi magnit maydon kuchlanganligi ortishi bilan kuchliroq bo'ladi. Teshiklarga ega bo'lgan soha uchun mayatnik tebranishlarining so'nishi faqat kuchsizgina bo'ladi.

Tajriba natijalari:

Bir jinsli bo'lmagan magnit maydonida harakatlanayotgan metal plastinkada aylanma toklar hosil bo'ladi. Birjinsli bo'lmagan magnit maydon plastinka harakatiga qarama-qarshi yo'nalishda kuchliroq ta'sir etadi. (Lens qoidasi bilan taqqoslang). Teshiklarga ega bo'lgan alyuminiy plastinkada aylanma toklar faqat juda kuchsiz hosil bo'ladi.

3. Mavzu: To'g'ri o'tkazgich va aylanma halqaning magnit maydonini o'lchash

Tajribalarning maqsadi:

- To'g'ri o'tkazgich va aylanma halqaning magnit maydonini tok kuchining funksiyasi sifatida o'lchash.

- To'g'ri o'tkazgich magnit maydonini o'tkazgich o'qidan hisoblanadigan masofaning funksiyasi sifatida o'lchash.

- Aylanma halqa shaklidagi o'tkazgich magnit maydonini halqa radiusining funksiyasi sifatida va halqa o'qi ustida halqa markazidan masofaning funksiyasi sifatida o'lchash.

Kerakli asboblari:

1 ta 4 o'tkazgichlar to'plami, 1 ta teslametr, 1 ta axial B-probe, 1 ta tangential B-probe, 1 ta ko'p o'zakli kabel, 6-qutb, 1 ta yuqori energiyali manba, 1 ta kichik optik ctol, 1 ta shtepsel elementlari tutgichi element, 2 ta Leybold ko'ptutgich, 1 ta shtativ, V-shaklda, 28 cm, 1 ta ikki-yo'lli adapterlar to'plami, Ulash kabellari, Ø 2.5 mm²

Asosiy ma'lumotlar

Bio– Savar qonuniga asosan I tok o'tayotgan o'tkazgich atrofidagi P nuqtadagi magnit maydoni o'tkazgichning cheksiz kichik qismlarining magnit maydonlarining ulushlarining yig'indisidan iborat bo'ladi

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} ds \cdot \frac{r}{r} \quad (1)$$

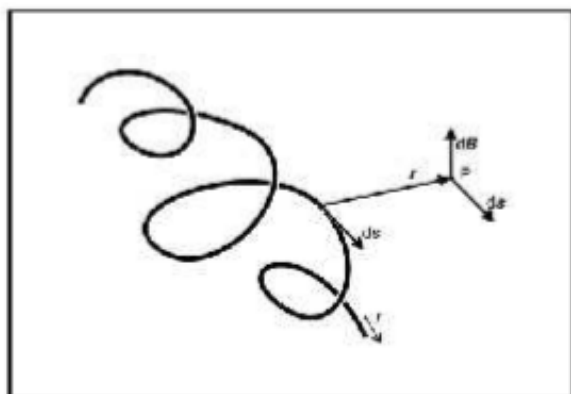
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \quad \text{magnit doimiysi}$$

O'tkazgichning uzunligi va yo'nalishi ds vector yordamida ifodalanadi. O'tkazgichning kichik qismidan P nuqtaga o'tkazilgan radius vector r orqali berilgan (1- rasmga qarang). Shuning uchun umumiy magnit maydon integral hisob yordamida aniqlanadi. Bu holda analitik yechim faqat ma'lum simmetriyaga ege bo'lgan o'tkazgichlar uchun hisoblanishi mumkin bo'ladi. Masalan cheksiz uzun o'tkazgichning magnit maydoni o'tkazgich o'qidan r masofada

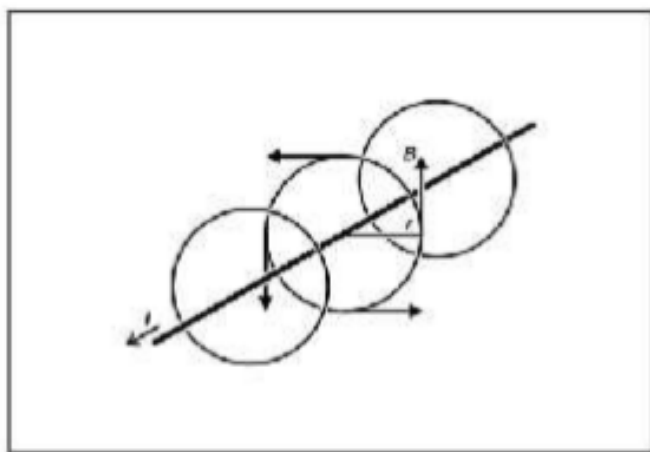
$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{2}{r} \quad (2)$$

va maydon kuch chiziqlari silindr o'qi atrofida konsentrik shaklda bo'ladi.

(2 – rasmga qarang)



1– rasm. Tokli o'tkazgich magnit maydonini integral usulda hisoblash.



2– rasm. Cheksiz uzun tokli to'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni.

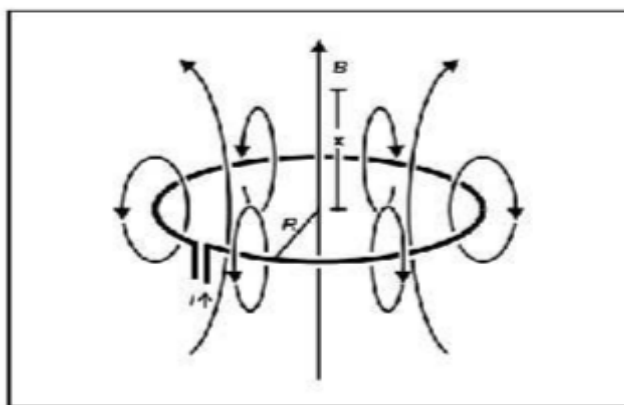
Radiusi R bo'ganaylanmahalqashaklidagi o'tkazgichning aylanao'qi ustida halqa markazidan x masofadagi nuqtaning magnit maydoni

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot 2\pi \cdot \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

Uning maydon kuch chiziqlari aylana o'qiga parallel bo'ladi. (3-rasmga qarang)

Bu tajribada yuqorida qayd etilgan o'tkazgichlarning magnit maydoni mos ravishda aksial yoki tangensial B-probe metodi yordamida o'lchanadi. B-probe ning Xoll datchigi yupqa plastinka shaklida bo'lib, u magnit

maydonining o'z yuzasiga perpendikulyar bo'lgan komponentalariga sezgir bo'ladi. Shuning uchun magnit maydoni kuchlanganligining nafaqat qiymatini balki uning yo'nalishini ham aniqlash mumkin. To'g'ri o'tkazgich uchun magnit oqimi zichligi B ning r masofadan bog'liqligi o'rganiladi, aylanma shakldagi otkazgich uchun esafazoviy koordinata x dan bog'liqligi o'rganiladi. Bundan tashqari, magnit maydon induksiyasi B va tok kuchi I o'rtasidagi proportsionallik ham tekshirib ko'riladi.



3-rasm. Aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydoni.

Eksperimental qurilma va tajribalarni o'tkazish

To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni.

Eksperimental qurilma 4–rasmda tasvirlangan.

Kichik optik qurilmani shtativga o'rnatib va uni gorizantal xolatda joylashtiring.

(a) shtepsel uchun tutgichni Leyboldga maxkamlang.

To'g'ri o'tkazgich uchun tutgichni maxkamlang, to'g'ri o'tkazgichni unga o'rnatib va katta tokli manbaga ulang.

Tangensial B-probe ni teslametrغا ulang va teslametrni nolini o'rnatib (teslametr uchun ko'rsatmalarga qarang)

Tangensial B-probe ning chap uchini Leyboldga shkalada 50.0 sm belgiga To'g'irlab va to'g'ri o'tkazgich o'rtasining balandligiga to'g'irlab o'rnatib.

To'g'ri o'tkazgichni Xoll datchigi tomon deyarli unga tegadigan darajada yaqin qilib o'rnatish. ($S=0$ bo'lsin)

Tok kuchi I ni har 2 A qiymatga 0 A dan, 20 A gacha oshiring. Har safar B magnit maydonini o'lchang, qiymatini yozib oling.

$I=20$ A ga B-probe ni unga tomon qadam-ba qadam siljiting, B magnit maydonini masofaning funksiyasi sifatida o'lchang va qiymatlarini yozib oling.

b) Aylanma xalqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydoni Eksperimental qurilma 5-rasmda tasvirlangan.

To'g'ri o'tkazgich uchun tutgichni o'tkazgich halqa uchun adapter bilan almashtiring va unga diametric 40 mm bo'lgan o'tkazgich halqani biriktiring.

Otkazgich halqani ulash kabtlari yordamida tutgichning (a) shtepselli elementining pozetkalariga ulang.

Aksial B-probe ni teslametrga ulang va teslametrning nolini o'rnatish (teslametr uchun *ko'rsatmalarga qarang*)

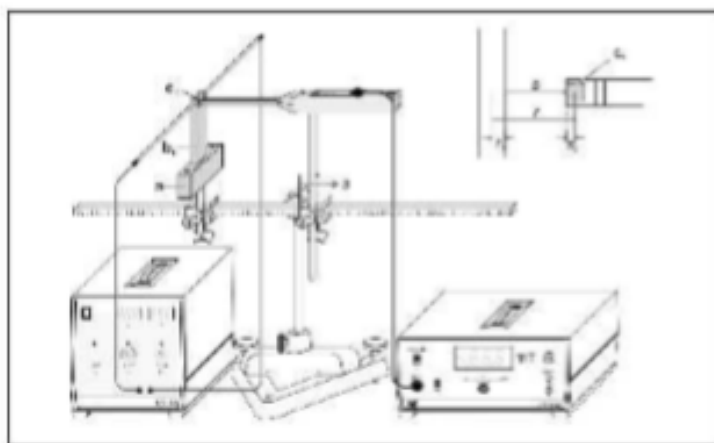
Aksial B-probe ni Leybold ga chap uchi 70.0 sm shkala belgisiga to'g'rilab joylashtiring. B-probe ni o'tkazgich halqa markaziga to'g'rilab joylashtiring.

O'tkazgich halqani imkoni boricha Xoll datchigiga aniq joylashtiring.

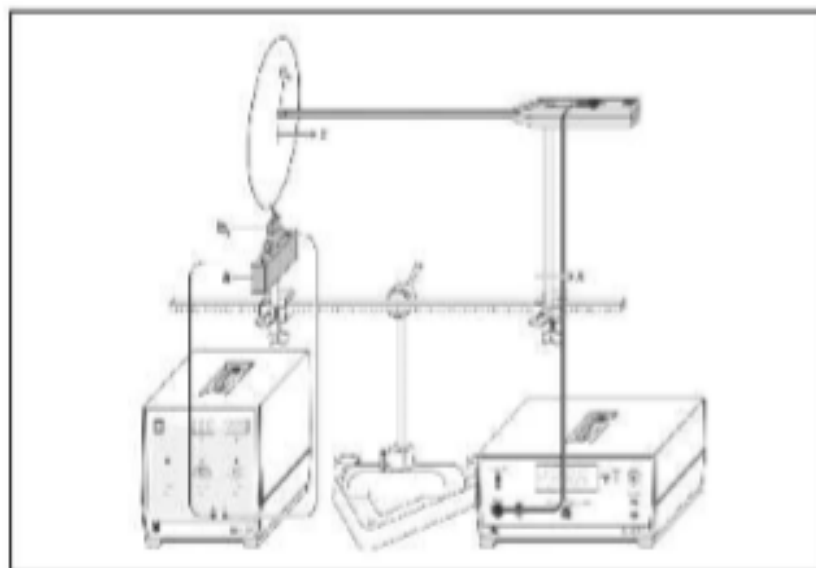
I tok kuchini har safar 2 A qiymatga 0 A dan to 20 A qiymatgacha oshiring. Har safar magnit maydonini o'lchang va qiymatini yozib oling.

$I=20$ A da B-probni chap tarafga va o'ng tarafga qadam-baqadam siljiting, har safar magnit maydonini o'lchang, ya'ni magnit maydonini fazoviy koordinata x ning funksiyasi sifatida o'lchang. O'lchagan qiymatlarni yozib oling.

40 mm li o'tkazgich halqani 80 mm li o'tkazgich halqa bilan almashtiring va keyin 120 mm li o'tkazgich halqa bilan almashtiring. Barcha hollarda magnit maydonini fazoviy koordinata x ning funksiyasi sifatida o'lchang.



4– rasm. To'g'ri o'tkazgichning magnit maydonini o'lchash uchun eksperimental qurilma.



5– rasm. Aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydonini o'lchash uchun eksperimental qurilma.

Tajriba misollari

To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni.

1-jadval. To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni tok kuchining funksiyasi sifatida(s masofa = 0)

I, A	B, mT
0	0.00
2	0.13
4	0.27
6	0.40
8	0.51
10	0.64
12	0.76
14	0.91
16	1.025
18	1.15
20	1.28

2-jadval. To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni o'tkazgich yuzasi va B-probe o'rtasidagi masofa s ning funksiyasi sifatida ($I=20 A$)

s, mm	B, mT
0	1.28
1	0.97
2	0.77
3	0.64
4	0.55
5	0.48
6	0.43
7	0.395
8	0.35
9	0.33
10	0.31
15	0.21
20	0.17
25	0.14
30	0.11
40	0.085

Aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydoni

3-jadval. 40 mm li aylanma halqa magnit maydoni I tok kuchining funksiyasi sifatida

I, A	B, mT
0	0
2	0.07
4	0.13
6	0.19
8	0.26
10	0.32
12	0.38
14	0.45
16	0.51
18	0.58
20	0.64

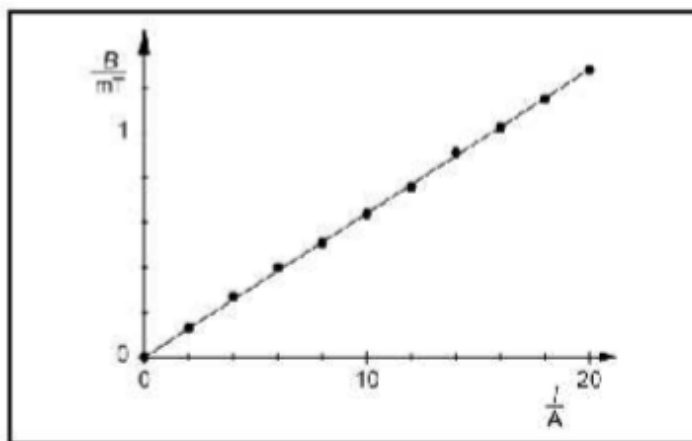
4-jadval. Aylanma halqalarning magnit maydoni x masofaning funksiyasi sifatida

x, mm	B, mT	x, mm	B, mT	x, mm	B, mT
$2R = 40 \text{ mm}$		$2R = 80 \text{ mm}$		$2R = 120 \text{ mm}$	
-10	0.005	-10	0.015		
-7.5	0.015	-9	0.02		
-5	0.035	-8	0.03		
-4	0.06	-7	0.04	-9	0.04
-3	0.11	-6	0.05	-7.5	0.06
-2.5	0.14	-5	0.08	-6	0.08
-2	0.21	-4	0.11	-4.5	0.11
-1.5	0.33	-3	0.16	-3	0.15
-1	0.45	-2	0.23	-1.5	0.19
-0.5	0.58	-1	0.29	0	0.21
0	0.64	0	0.32	1.5	0.19
0.5	0.58	1	0.3	3	0.15
1	0.46	2	0.24	4.5	0.11
1.5	0.32	3	0.17	6	0.07
2	0.22	4	0.11	7.5	0.05
2.5	0.15	5	0.08	9	0.03
3	0.1	6	0.05		
4	0.05	7	0.04		
5	0.035	8	0.025		
7.5	0.01	9	0.02		
10	0.005	10	0.015		

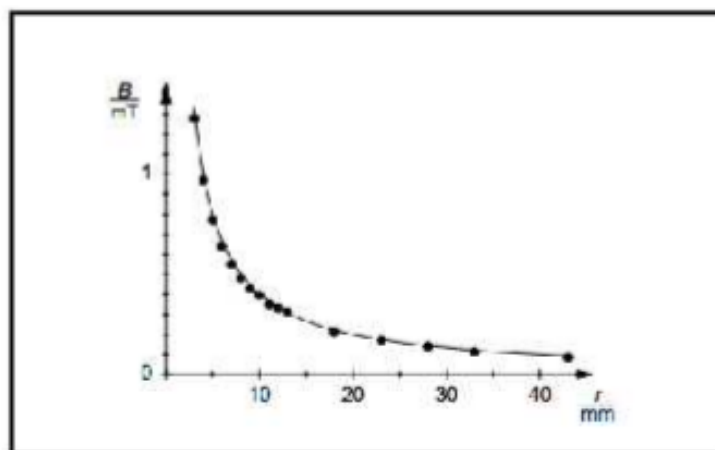
Hisoblashlar va natijalar

To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni.

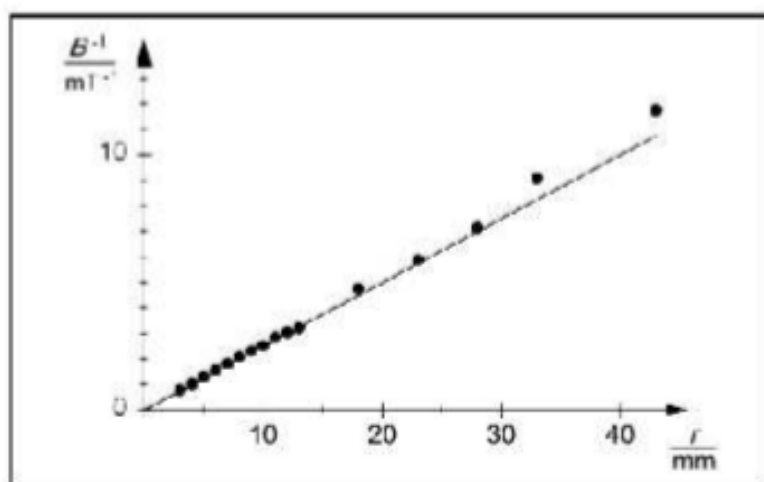
B magnit maydonining I tok kuchidan bog'liqligi 6 – rasmda grafik ravishda ko'rsatilgan. O'lchash aniqligi chegarasida o'lchangan qiymatlar (1-jadvalga qarang) grafikning koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq ustida yotadi, ya'ni B magnit maydoni I tok kuchiga to'g'ri proporsional bo'ladi. 7-rasmda 2-jadvaldagi o'lchangan qiymatlar grafik ravishda ko'rsatilgan. O'tkazgichning yuzasi va B-probe ning uchi o'rtasidagi masofaning jadvalda berilgan qiymatlari (1) tenglamadagi o'tkazgich o'qidan boshlab hisoblangan masofadan farq qilishi fakti inobatga olingan. Bu farq $r - s = 3 \text{ mm}$ bo'lib, u to'g'ri o'tkazgich radiusi $r = 2 \text{ mm}$ va B-probe ning uchi bilan Xoll datchigi markazi orasidagi masofa $s_0 = 1 \text{ mm}$ larning yig'indisidan iborat. (4-rasmga qarang). 4-rasmda chizilgan grafik (1) tenglama yordamida $I = 20 \text{ A}$ tok uchun hisoblangan. 8-rasmda ko'rsatilgan grafikda u koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqqa mos keladi.



6-rasm. To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni tok kuchining funksiyasi sifatida.



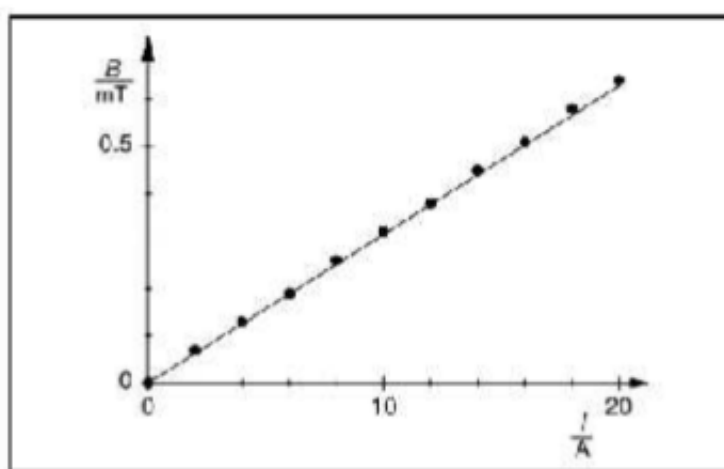
7-rasm. To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni o'tkazgich o'qidan masofa r -ning funksiyasi sifatida



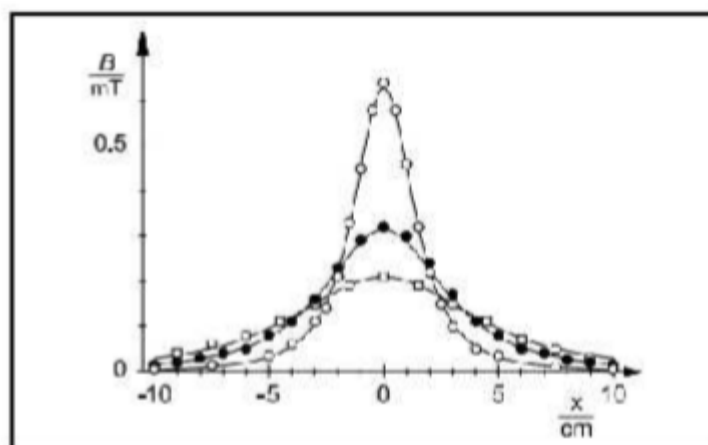
8-rasm. To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni $(1/B) = f(r)$ funksiyasi ko'rinishidagi bog'lanish grafigi.

Aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydoni.

9-rasmda aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydonining I tok kuchidan bog'liqligi ko'rsatilgan. Bu holda ham o'lchangan qiymatlar (3-jadval) va grafikda chizilgan koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq B magnit maydoni I tok kuchiga to'g'ri proporsional ekanligini tasdiqlaydi. 10-rasmda uchta aylanma halqa shakldagi o'tkazgichlar uchun B magnit maydonining x fazoviy koordinatadan bog'liqligi ko'rsatilgan. Rasmda chizilgan grafiklar (2) tenglama yordamida $I = 20$ A tok uchun hisoblab topilgan.



9-rasm. 40 mm li aylanma halqa magnit maydoni I tok kuchining funksiyasi sifatida.



10-rasm. R radiusli aylanma halqa magnit maydoni B ning fazoviy koordinata x ning funksiyasi sifatida. ($\square$) $R=60$ mm, ($\bullet$) $R=40$ mm, ($\circ$) $R=20$ mm,

4-mavzu. Magnit o'zakka ega bo'lmagan induktiv g'altakning magnit maydonini o'lchash

Tajribalarning maqsadi

Magnit o'zakka ega bo'lmagan induktiv g'altakning magnit maydonini undan o'tayotgan I tok kuchining funksiyasi sifatida o'lchash

Magnit o'zakka ega bo'lmagan induktiv g'altakning magnit maydonini uning uzunligi L va o'ramlar soni N ning funksiyasi sifatida o'lchash.

Kerakli asboblari: 1ta o'ramlar konsentratsiyali o'zgaruvchan g'altak, 1ta yuqori tokli manba, 1ta teslametr, 1ta axial B-probe, 1 ta ko'p o'zakli kabel, 6-qutb, 1.5m, 1ta g'altak va trubka uchun tutqich, 1ta egarsimon asos

Asosiy ma'lumotlar

Bio–Savar qonuniga asosan I tok o'tayotgan ixtiyoriy o'tkazgich atrofida P nuqtadagi magnit maydon quydagi ulushlarining yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} dS \cdot \frac{r}{r} \quad (1)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \quad - \text{ magnit doimiysi}$$

(1) tenglamada dS - o'tkazgich qismining uzunligini va yo'nalishini ifodalovchi vektor, r - o'tkazgichning berilgan qismida P nuqtaga o'tkazilgan radius vektor. Demak to'liq magnit maydonni xisoblash (1) tenglamani integralini talab qiladi. Ko'p xollarda bu xisoblashlar ancha murakkab bo'lib faqat ma'lum bir simmetriyaga ega bo'lgan o'tkazgichlar uchun analitik yechim xisoblanib chiqilgan. Boshqa xollarda masalan, uzun induktiv g'altak uchun, Make bele Tenglamalaridan keltirib chiqarilgan Amper qonunini qo'llash ancha yengilroq, ya'ni

$$\oint_S B dS = \mu_0 \oint_A I dA = \mu_0 I_A \quad (2)$$

Bu yerda j - tok zichligi, I_A - A yuzadan o'tuvchi tok, S - A yuzani chegaralovchi berk kontur.

Uzun induktiv g'altakning magnit maydonini xisoblash uchun A va S lar 1-rasmda ko'rsatilganidek tanlab olingan. Agar induktivlik g'altagi yetarlicha uzun

bo'lsa, magnit maydon uning ichiga g'altak o'qiga parallel bo'ladi va g'altak tashqarisida deyarli yo'qoladi.

Ya'ni S chegaralovchi konturning S_1 qismida magnit maydon komponenti chegaralovchi kontur yo'nalishida noldan farqli bo'ladi. Shuning uchun biz quydagiga ega bo'lamiz;

$$\oint_S B dS = \mu_0 \int_{S_1} B dS = \mu_0 I_A \quad (3)$$

Bu yerda $L - S_1$ qismning uzunligi.

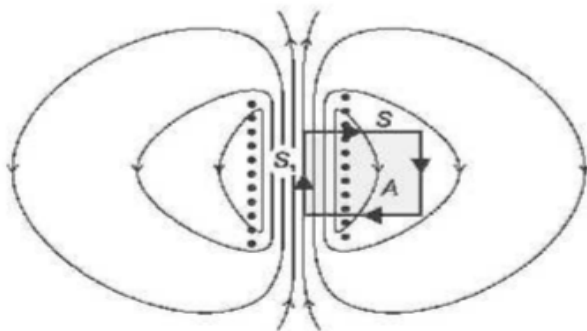
Bundan tashqari,

$$I_A = NI \quad (4)$$

Bu yerda; $N - A$ soha ichidagi o'ramlar soni, $I - g'altakdan oquvchi tok kuchi$ va shuning uchun;

$$B = \mu_0 I \cdot \frac{N}{L} \quad (5)$$

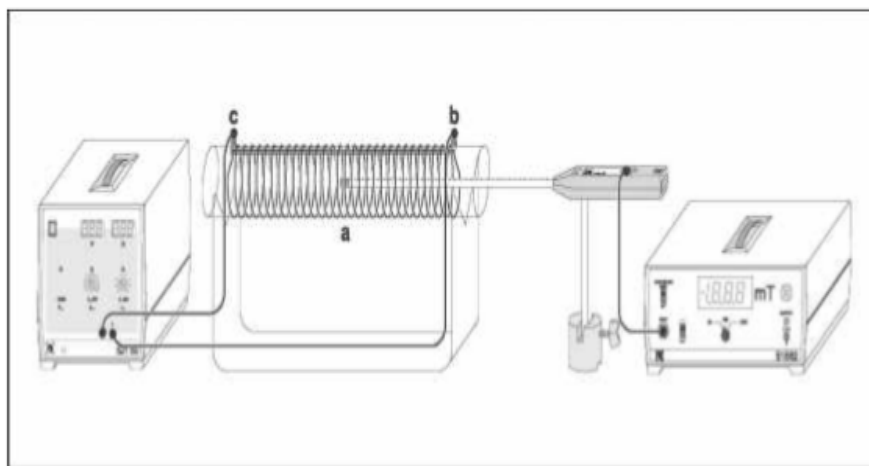
Bu tajriba uzun induktiv g'altak ichidagi magnit maydon aksial B-probe yordamida (5) natijaviy tenglamani tekshirish uchun o'tkaziladi. Namuna Xoll datchigidan iborat bo'lib, u namuna o'qiga parallel bo'lgan yo'nalishda sezgir hisoblanadi.



1-rasm. Uzun induktiv g'altak magnit maydonini hisoblash .

Tajriba qurilmasi.

Tajriba qurilmasi 2-rasmda tasvirlangan. Uzunlik birligi to'g'ri keluvchi o'ramlar o'ramlar soni o'zgaruvchan bo'lgan induktiv g'altakni trubka va g'altak uchun moslangan shtativga o'rnatish va uni yuqori tokli manbaga ulash.



2-rasm. Uzun g'ltakning magnit maydonini o'lchash uchun qurilma

Aksial B-namunani teslametrda ko'p o'zakli kabel orqali ulang, uni namuna manbasidan chiquvchi shtativ tayoqchasiga maxkamlang va Xoll datchigi (a) induktiv g'altakning ichki qismining markaziga joylashadigan qilib yo'naltiring.

Tajribalarni o'tkazish.

Tok kuchi I ning funksiyasi sifatida o'lchashlar.

Teslametrda 20mT o'lchash diapazonini tanlang va uni kompensatsiya ruchkasi yordamida 0 ni kalibrovka qiling.

(b,c) ulash klemmalarini birgalikda simmetrik ravishda Shunday o'rnatilgiki g'altak uzunligi 15 sm bo'lgan (b klemma 12.5 sm da, c klemma 27.5 sm da joylashsin)

Tok kuchi I ni xar safar 2A dan orttirib borib unga mos keluvchi B magnit maydonini aniqlang. ($I=20$ A gacha)

Tok kuchi I ni xar safar 2A dan kamaytirib borib unga mos keluvchi B magnit maydonini aniqlang. ($I=0$ A gacha) va teslametr nolini tekshirib ko'ring.

G'altak uzunligi L ning funksiyasi sifatida o'lchashlar.

G'altakdan o'tayotgan tok kuchini $I=20$ A ga o'rnatilg.

G'altakning uzunligi L ni o'zgartirish uchun b va c klemmalarni simmetrik ravishda ikki tarafga siljiting va xar safar B magnit maydonini o'lchang.

Xar bir yangi tajribada tok kuchini kamaytira borib uning qiymati 0 ga borguncha takrorlang va teslametr nolini tekshirib ko'ring.

O'lchash misollari

a) Tok kuchi I ning funksiyasi sifatida o'lchashlar.

1-jadval. $N=30$ va $L=15$ sm uchun o'lchashlar

I, A	B, mT
0	0
2	0.5
4	1.02
6	1.52
8	1.96
10	2.48
12	2.94
14	3.46
16	3.96
18	4.49
20	4.98

G' altak uzunligi L ning funksiyasi sifatida o'lchashlar .

2-jadval. $N=30$ va $I=20$ A uchun o'lchashlar

L cm	B mT
8	6.70
10	6.09
15	4.98
20	3.97
25	3.11
30	2.62
35	2.32
40	2.05

Hisoblashlar va natijalar

Magnit maydonni I tok kuchining funksiyasi sifatida o'lchashlar.

3-rasmda B magnit maydonining tok kuchi I dan bog'liqligi grafik ravishda ko'rsatilgan. O'lchash xatoliklari chegarasida tajriba natijalari (1-jadvalga qarang) koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq ustida yotadi ya'ni magnit maydoni B tok kuchi I ga to'g'ri proportsional.

Bu koordinat boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqning qiyaligi

$$a_1 = 0.248 \text{ mT/A}$$

(5) tenglamaga asosan to'g'ri chiziqlarning qiyaligi $N = 30$ va $L = 15$ sm uchun

$$a_1 = \mu_0 \frac{N}{L} = 0.251 \frac{\text{mT}}{\text{A}}$$

b) Magnit maydonni g'altak uzunligi L ning funksiyasi sifatida o'lchashlar.

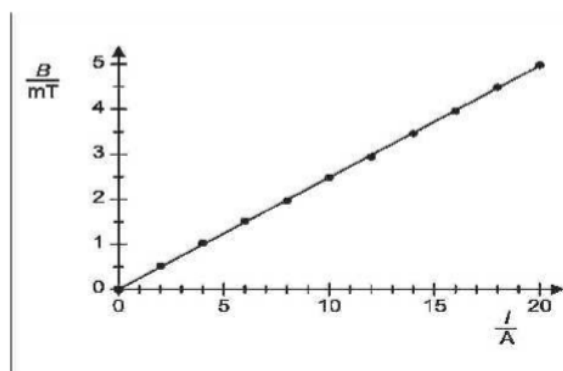
4– rasmda B magnit maydonining g'ltakning birlik uzunlikka to'g'ri keluvchi o'ramlar soni $n = N/L$ dan bog'liqligi grafik ravishda ko'rsatilgan. $n < 3 \text{ sm}^{-1}$ qiymatlar uchun 2– jadvaldagi qiymatlar koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq bilan yaxshi mos keladi. Uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi o'ramlar sonining katta qiymatlari uchun, yoki boshqacha aytganda, g'ltakning kichik uzunliklari L uchun 2 – tenglama yordamida uzun g'altaklar uchun hisoblangan natijalarga ko'ra to'g'ri chiziqdan chetlanishni oson tushuntirish mumkin. Koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqlarning qiyaligi

$$a_2 = 2.58 \text{ mT} \cdot \text{sm}$$

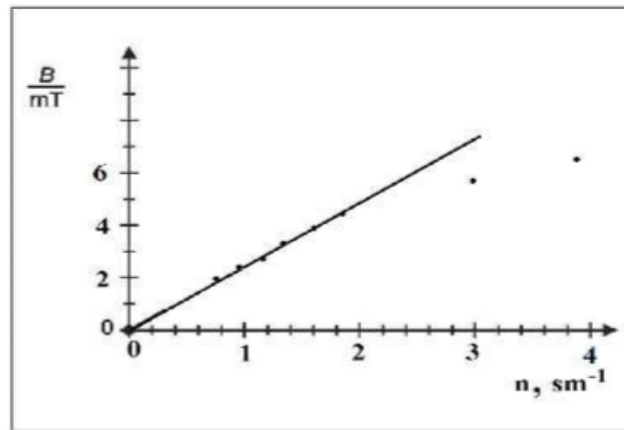
(5) tenglamaga asosan $I = 20 \text{ A}$ qiymat uchun

$$a_2 = \mu_0 \cdot I = 2.51 \text{ mT} \cdot \text{sm}$$

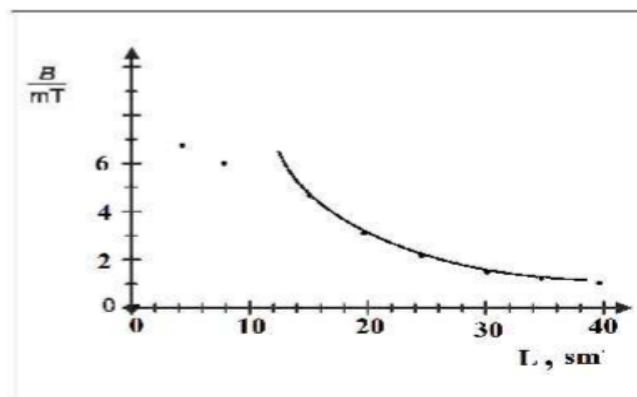
(5) rasmda magnit maydonining g'altakning uzunligidan bog'liqligi grafik ravishda ko'rsatilgan. $L > 10 \text{ sm}$ bo'lganda o'lchash natijalari $a_3 = 77.5 \text{ mT} \cdot \text{sm}$ qiymat uchun $B = a_3 / L$ giperbola bilan yaxshi mos keladi. (5) tenglamaga asosan $I = 20 \text{ A}$ va $N = 30$ qiymatlar uchun $a_3 = 75.4 \text{ mT} \cdot \text{sm}$.



3– rasm. Magnit maydonni I tok kuchining funksiyasi sifatida o'lchashlar.



4-rasm. Magnit maydonni g'altakning uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi o'ramlar sonining funksiyasi sifatida o'lchashlar.



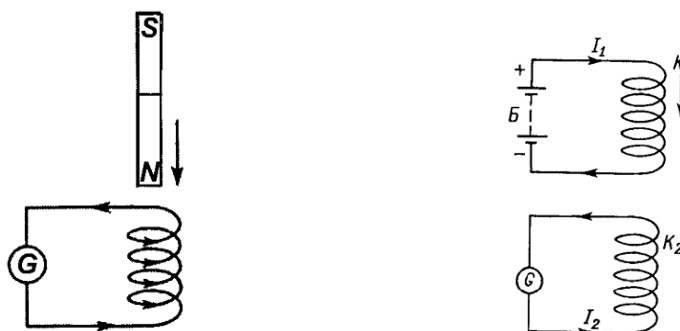
5-rasm. Magnit maydonni o'zgarmas o'ramlar sonida g'altakning markazidagi nuqta uchun g'altak uzunligi L ning funksiyasi sifatida o'lchashlar.

3. ELEKTROMAGNIT INDUKSIYA HODISASI

3.1. Faradey tajribalari

Faradey elektr va magnit hodisalarini o'zaro chambarchas bog'liq deb hisoblab, magnit maydonining elektr ta'sirini o'rganish bo'yicha juda ko'p tajribalar o'tkazdi. Yillar davomida qunt bilan o'tkazilgan tajribalar natijasida 1831 yil elektromagnit induksiya hodisasini kashf etdi. Har qanday o'tkazuvchan berk konturda u o'rab turgan sirt orqali o'tayotgan magnit oqimi o'zgarganda, shu konturda tok hosil bo'lishini aniqladi. Bu hodisa elektromagnit induksiya hodisasi, tok esa induksion tok deb yuritiladi.

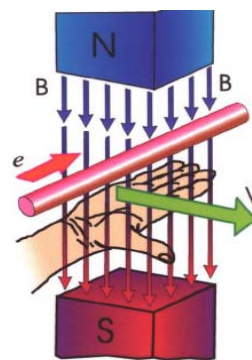
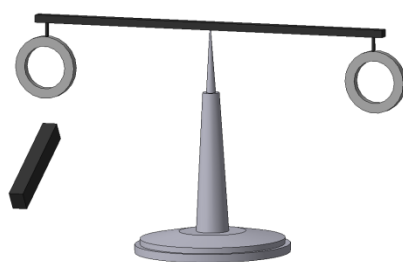
Doimiy magnit tayoqcha galvanometrga ulangan g'altak ichiga kiritilishi va chiqarilishida hamda tokli g'altakni galvanometrga ulangan g'altakka yaqinlashtirish va uzoqlashtirishda konturda induksion tok hosil bo'lishini kuzatdi (3.1-rasm).



3.1-rasm. Induksion tokning hosil bo'lishi

Demak, magnit oqimining o'zgarishi konturda induksion tokni hosil qiladi. Tajribalarda, induksion tokning kattaligi magnit oqimiga emas, balki magnit oqimining o'zgarish tezligi va ishorasiga proporsional bo'lib, uni qanday yo'l bilan o'zgartirishga bog'liq emasligi ko'rsatildi.

Lents (1833 y.) induksion tok yo'nalishini aniqlashga imkon beruvchi tajribani amalga oshirdi. Agar doimiy magnit qutblaridan biri berk halqaga yaqinlashtirilsa, halqada induksion tok hosil bo'lib, bu tokning magnit maydoni doimiy magnit maydonini kompensatsiyalaydi, sistema muvozanat vaziyatidan



3.2-rasm. Lens tajribasi

og'adi. Magnit qutbi ochiq halqaga yaqinlashtirilsa, hech qanday o'zgarish kuzatilmaydi (3.2-rasm). Tajriba natijalarini umumlashtirib, induksion tok shunday yo'nalgan deyish mumkinki, uni hosil qilgan magnit maydon induksiyasi, induksion tokni vujudga keltirayotgan magnit induksiyasini hamma vaqt kompensatsiyalaydi. Yopiq konturda induksion tok shunday yo'nalganki, u o'zining magnit maydoni bilan uni hosil qiluvchi magnit maydon o'zgarishiga qarshilik ko'rsatadi. Amalda induksion tok yo'nalishini aniqlash uchun ma'lum qoida ishlab chiqilgan. U *o'ng qo'l qoidasi* deb yuritiladi. O'ng qo'l kaftiga magnit induksiya chiziqlari kiradigan qilib joylashtirilsa, bosh barmoq o'tkazgich harakati yo'nalishini ko'rsatib, to'rttala barmoq induksion tok yo'nalishini ko'rsatadi.

Induksiya elektr yurituvchi kuch. Faradey tajribalaridan ma'lumki, magnit oqimining o'zgarishi konturda tokni induksiyalaydi. Demak, konturda induksiya elektr yurituvchi kuch (E.Yu.K.) hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan E.Yu.K. magnit oqimining o'zgarish tezligiga proporsionaldir, ya'ni

$$\mathcal{E}_S = - d\Phi/dt$$

Bu bog'lanishni ifodalash uchun bir jinsli magnit maydonida berk konturning dl elementini $\mathcal{G}$ -tezlik bilan ko'chirilishini kuzatamiz (3.3-rasm).

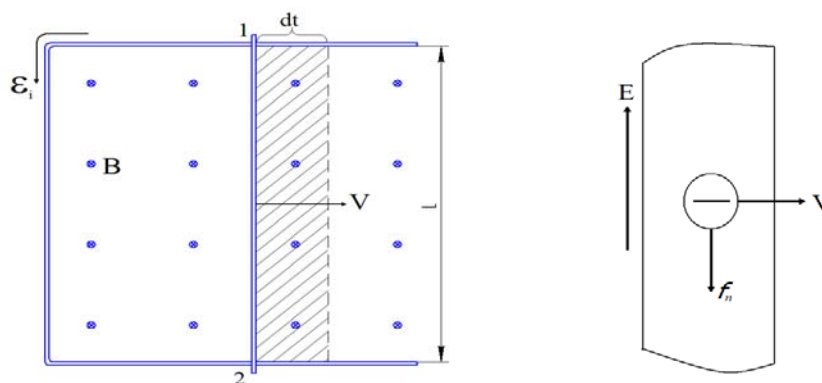
Magnit maydonida

konturning dl elementi, shuningdek uning tarkibidagi zaryadli zarrachalar ham shu tezlik bilan ko'chadi. Ularga Lorens kuchi ta'sir etishi tufayli

$$\overline{F}_n = e\mathcal{G}B \quad (3.1)$$

$$\overline{F}_o = qE = eE \quad (3.2)$$

$$\overline{F}_A = \overline{F}$$



3.3-rasm. Induksiya elektr yurituvchi kuch

Kuclanganligi $\overline{E} = v\overline{B}$ - ga ekvevalent noelektrostatik maydon hosil bo'ladi. Bu maydon kuchlanganligining kontur bo'yicha sirkulyatsiyasi induksiya E.Yu.K.ni hosil qiladi:

$$\varepsilon_s = \oint_L E_1 dl = \oint_L vBdl \cdot \frac{dt}{dt} \quad (3.3)$$

(3.3) dagi kontur yuzining o'zgarishini $v \cdot dl \cdot dt = dS$ hisobga olib,

$$\varepsilon_s = \oint \left(\frac{BdS}{dt} \right) \quad (3.4)$$

(3.4) dagi $BdS = d\Phi_B$ - magnit oqimining o'zgarishini bildiradi.

$$\varepsilon_s = -\frac{d\Phi}{dt} ; \quad 1B = 1 \text{ B\text{G}/cek} \quad \text{yoki} \quad \varepsilon_s = -\frac{1}{dt} \oint B dS \quad (3.5)$$

Agar, $\frac{d\Phi}{dt} > 0$ bo'lsa, induksiya E.Yu.K. konturni aylanish yo'nalishiga

teskari yo'nalishda va aksincha, $\frac{d\Phi}{dt} < 0$ bo'lsa, induksiya E.Yu.K. konturni aylanish yo'nalishi bo'yicha ta'sir etadi.

3.2. O'zinduksiya hodisasi.

Istalgan berk konturdan o'tayotgan o'zgaruvchan tok shu kontur bilan chegaralangan sirtini kesib o'tuvchi o'zgaruvchan magnit induksiya oqimini hosil qiladi. Natijada shu konturda tok induksiyalanadi. Shunday qilib, tokning o'zgarishi tufayli shu konturning o'zida induksion E.Yu.K. ning hosil bo'lish hodisasiga *o'zinduksiya hodisasi* deb yuritiladi.

Magnit oqimi Φ magnit induksiyasi B va tok kuchi I ga to'g'ri proporsionaldir.

$$\Phi = B \cdot I \quad \text{yoki} \quad \Phi = LI \quad (3.6)$$

$I = IA$ bo'lganda, berilgan kontur bo'yicha magnit oqimi qanchaga o'zgarishini ko'rsatadigan kattalik *konturning induktivligi* (L) deyiladi. Ma'lumki, solenoid maydoni magnit maydon induksiyasi

$$B = \mu\mu_o nI \quad (3.7)$$

Har bir o'ram orqali o'tgan magnit oqimi $\Phi^I = BS$ bo'lsa, to'la magnit oqimi:

$$\Phi = N\Phi^I = N\mu\mu_o n \cdot IS \quad (3.8)$$

Teng bo'ladi. Uzunlik birligidagi o'ramlar soni $n = \frac{N}{l}$ - dan foydalanib:

$$\Phi = \mu\mu_o \frac{N^2}{l} \cdot SI \quad (3.9)$$

(3.6) ni (3.9) bilan taqqoslab, solenoid induktivligi uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$L = \mu\mu_o \frac{N^2}{l} \cdot S \quad (3.10)$$

(3.5) ni hisobga olib o'zinduksiya E.Yu.K uchun:

$$\varepsilon_s = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt} \quad (3.11)$$

Bundagi minus ishora induksion tokni yuzaga keltiradigan sabablarga doimo qarshilik qilish tarafiga yo'nalganligini bildiradi. (3.11) dan induktivlik uchun quyidagini hosil qilamiz:

$$L = \frac{\varepsilon_s \cdot dt}{dI} \quad (3.12)$$

Induktivlik birligi qilib *Genri* qabul qilingan.

$$1Gn = 1 \frac{V \cdot sek}{A}$$

Tok kuchi 1 sekunda 1 A ga o'zgarganda uchlarida 1B induksiya E.Yu.K. hosil qiladigan g'altakning induktivligi 1 Genri teng bo'ladi.

3.3. O'zaro induksiya hodisasi.

Bir-biriga yaqin joylashgan ikkita qo'zg'almas konturni kuzatamiz (3.4-rasm). Agar konturlardan biridagi tok I_1 , ikkinchi kontur qamrab olgan sirt orqali hosil qilgan magnit oqimi Φ_{21} deb belgilansa,

$$\Phi_{21} = L_{21} I_1 \quad (3.13)$$

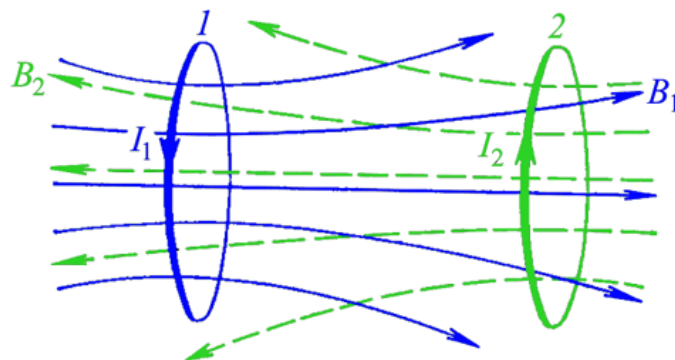
bu yerda, L_{21} - proporsionallik koeffitsienti.

Faradey qonuniga muvofiq I_1 ning o'zgarishi ikkinchi konturda E.Yu.K. hosil qiladi:

$$\varepsilon_{12} = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -L_{21} \frac{dI_1}{dt} \quad (3.14)$$

Xuddi shuningdek, ikkinchi konturdagi tok I_2 – birinchi kontur qamrab olgan sirt orqali magnit oqimini hosil qiladi.

$$\Phi_{12} = L_{12} I_2 \quad (3.15)$$



3.4-rasm.O'zaro induksiya hodisasi

Agar ikkinchi konturdagi tok o'zgaruvchan bo'lsa, birinchi konturda hosil bo'lgan induksiya E.Yu.K. Φ_{12} ning o'zgarish tezligiga proporsional bo'ladi.

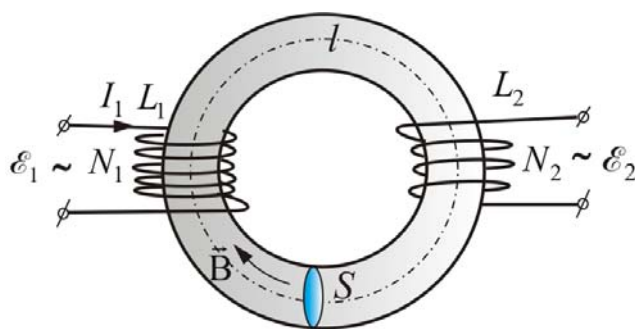
$$\varepsilon_n = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_2}{dt} \quad (3.16)$$

Konturlardan birida tok kuchining o'zgarishi, ikkinchisida induksiya E.Yu.K. ni vujudga keltirishi *o'zaro induksiya hodisasi* deb yuritiladi.

Tajribalar ko'rsatishicha, o'zaro induktivlik koeffitsiyentlari bir-biriga teng bo'ladi:

$$L_{12} = L_{21}$$

L_{12} va L_{21} koeffisientlar qiymatlari konturlarning shakli, o'lchamlari va o'zaro joylashishlariga bog'liq.



3.5-rasm. O'zaro induksiya hodisasi

Umumiy o'zakka kiritilgan ikkita g'altakning o'zaro induktivlik koeffitsiyentini hisoblaymiz. (3.5-rasm)

Birinchi g'altakning magnit induksiyasi:

$$B = \mu\mu_o \frac{n_1 I_1}{l}$$

bu yerda, μ - o'zak moddasining magnit doimiysi, n_1 - o'ramlar soni

Ikkinchi g'altakning bitta o'rami orqali o'tgan magnit oqimi

$$\Phi_2 = BS = \mu\mu_o \frac{I_1 n_1}{l} \cdot S \quad (3.17)$$

to'la oqim

$$\Phi = \Phi_2 n_2 = \mu \mu_o \frac{n_1 n_2 I_1}{l} \cdot S \quad (3.18)$$

o'zaro induktivlik koeffitsiyenti:

$$L_{21} = \frac{\Phi}{I_1} = \mu \mu_o \frac{n_1 n_2}{l} \cdot S \quad (3.19)$$

Xuddi shu usul bilan birinchi g'altakning o'zaro induktivlik koeffitsiyentini ham (3.20) ifodaga teng ekanligini isbotlash mumkin.

$$L_{12} = \frac{\Phi}{I_2} = \mu \mu_o \frac{n_1 n_2}{l} \cdot S \quad (3.20)$$

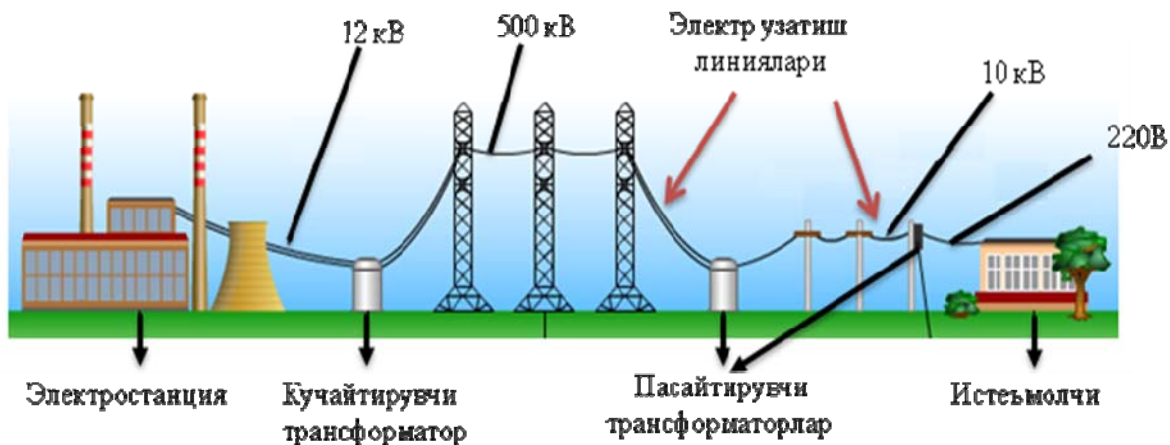
Bunday induksiya E.Yu.K ning paydo bo'lishi odatda transformatorlarda kusatiladi.

3.4. Transformatorlar

Amalda eng keng tarqalgan va ko'p ishlatiladigan elektr qurilmalaridan biri transformatorlardir. Masalan, oddiy telefoningizni zaryadlashda 220 V dan 4 V gacha kamaytirish (pasaytirish) kerak bo'ladi, aynan shu vazifani transformator bajaradi. Yoki elektr uzatish liniyalarining yuqori kuchlanishi transformatorlar yordamida 220 V gacha kamaytirilib iste'molchiga uzatiladi.

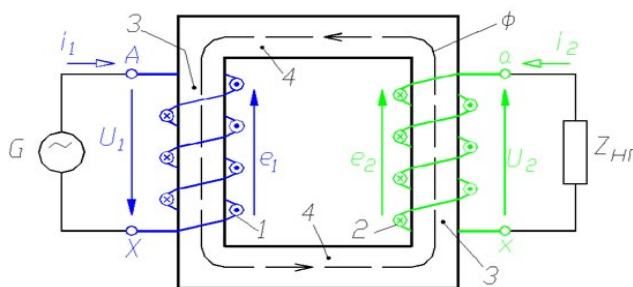
Transformator o'zgaruvchan elektr toki kuchlanishini (tok kuchini) o'zgartirishga mo'ljallangan statik elektromagnitik qurilma. Transformatorning ishlash prinsipi elektromagnitik induksiya qonuniga asoslanadi, shuning uchun uni *elektromagnitik qurilma* deb aytiladi.

Transformatorlar ayniqsa elektr uzatish tizimlarida muhim rol o'ynaydi. Elektrostansiyalarda ishlab chiqarilgan elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatishda, energiya isrofini kamaytirish uchun kuchlanish oshiriladi. Iste'molchida esa, liniyadan kelayotgan yuqori kuchlanish, qurilmalarning ishchi kuchlanishigacha pasaytiriladi. Kuchlanishni bunday ko'paytirish va kamaytirish transformatorlar yordamida amalga oshiriladi (3.6-rasm).



2- rasm. Elektr energiyasini uzatish sxemasi.

Transformatorlar ramka shaklidagi o'zakka kiritilgan ikkita n_1 va n_2 o'ramli g'altakdan iborat qurilma (3.6-rasm).



3.6-rasm. Transformatorning tuzilishi va ishlash prinsipi.

Transformator o'zagini yaxlit emas, balki o'zaro izolyasiyalangan yupqa yaproqchalar ko'rinishida yasash o'zakni uyurmali toklar ta'sirida qizib ketishidan asraydi. Magnit maydoni ta'siridagi metallarda uyurmali toklarning yuzaga kelishini birinchi bo'lib 1924 yilda fransuz olimi D.F. Arago kashf etgan. Lekin u bu toklarning yuzaga kelish sabablarini va tabiatini o'rganmagan. Faradeyning elektromagnitik induksiya qonuni kashf (1831 yilda) etilgandan so'ng uyurmali toklar fransuz olimi Jan Bernar Fuko tomonidan batafsil o'rganildi. Shuningdek Fuko uyurmali toklar metallni qizdirishini ham aniqladi.

Transformatorlarning chulg'amlari asosan mis simlardan o'raladi. Ayrim hollarda, masalan elektr payvandlash transformatorlari chulg'amlari alyumin

simlardan ham o'ralishi mumkin. Chulg'am izolyatorlari sifatida dielektrik laklar, moy va parafin shimdirilgan qog'ozlar, hamda maxsus transformator moylari ishlatiladi.

Transformatorning bitta chulg'ami o'zgaruvchan tok manbaiga, ikkinchi chulg'ami iste'molchiga ulanadi. Manbaga ulangan chulg'am birlamchi, yoki kirish chulg'ami deb, iste'molchiga ulangan chulg'am esa ikkilamchi yoki chiqish chulg'ami deb yuritiladi. Agar transformatorning birlamchi chulg'ami o'zgaruvchan tok manbaiga ulansa, undan I_1 - tok o'tib, o'zgaruvchan magnit oqimi hosil qiladi. Asosiy magnit oqim Φ o'zak bo'ylab (rasm bo'yicha soat strelkasiga teskari yo'nalida) ikkilamchi cho'lg'am o'ramlarini kesib o'tib, o'zaro induksiya E.Yu.K., birlamchi cho'lg'amida esa o'zinduksiya E.Yu.K. hosil qiladi. Chulg'amlarda induksiyalangan e.yu.k. ning son qiymati, elektromagnitik induksiya qonuniga asosan o'ramlar soni va magnit oqimining o'zgarish tezligiga proporsional bo'lib, yo'nalishi induksiyani yuzaga keltiruvchi kuchlanishga qarama-qarshi qo'nalgan bo'ladi:

$$\varepsilon_1 \approx n_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.21)$$

ikkinchi cho'lg'amdagi induksiya E.Yu.K.

$$\varepsilon_{12} = -\frac{d(n_2 \Phi)}{dt} = -n_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.22)$$

$$\varepsilon_2 = -\frac{n_2}{n_1} \varepsilon_1 \quad (3.23)$$

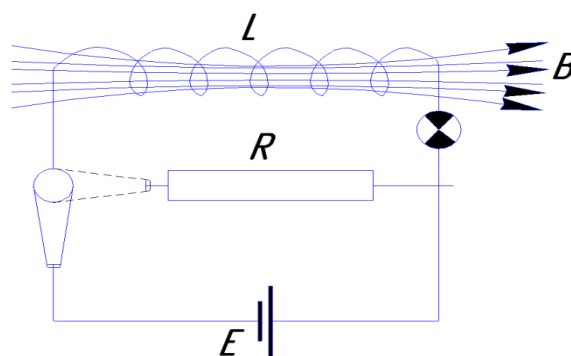
(3.23) dagi minus ishora birlamchi va ikkilamchi cho'lg'amdagi toklar faza jihatidan qarama-qarshi ekanligini bildiradi. $\frac{n_2}{n_1}$ -nisbat *transformatsiyalash koeffitsiyenti* deb yuritiladi.

Agar, $\frac{n_2}{n_1} > 1$ bo'lsa, transformator yuksaltiruvchi, aksincha bo'lsa $\frac{n_2}{n_1} < 1$ pasaytiruvchi bo'ladi.

Amalda transformatorlarning foydali ish koeffitsienti uning qay darajada yuklanganligiga va transformatorning quvvatiga ham bog‘liq. Nominal yuklamada ishlaganda transformatorning f.i.k. eng yuqori bo‘ladi. Katta quvvatli transformatorlarning f.i.k. 0,97-0,99% gacha, kichik quvvatli transformatorlarda esa 0,82-0,90 % bo‘lishi mumkin.

3.5. Magnit maydon energiyasi. Energiya zichligi.

Agar induktivligi L bo‘lgan solenoid, cho‘g‘lanma lampa va qarshilikdan iborat zanjir tok manbaiga ulansa, solenoid o‘ramlarida magnit maydoni hosil bo‘lib, lampa ravshan yonadi (3.7-rasm).



3.7-rasm. Solenoid, cho‘g‘lanma lampa va qarshilikdan iborat zanjir

Zanjirni batareyadan uzganda lampa birdan o‘chmaydi, unda o‘zinduksiya tufayli sekin-asta kamayib boruvchi induksion tok hosil bo‘ladi. Bu tok hosil qilgan magnit maydon energiyasi zanjir elementlarining ichki issiqlik energiyasini oshirishga sarflanadi.

Ichki energiyani oshirish uchun sarflangan energiya bajargan ish orqali ifodalanadi:

$$dA = \varepsilon_s Idt \quad (3.24)$$

Bu yerda, ε_s -induksiya E.Yu.K.

$$\varepsilon_s = -d\Phi/dt ;$$

$$dA = -\frac{d\Phi}{dt} Idt$$

oxirgi ifodadagi magnit oqimining o'zgarishini hisobga olib:

$$dA = -LI dI \quad (3.25)$$

(3.25) ni integrallab:

$$A = -\int_I^0 LI dI; \quad \text{yoki} \quad A = \frac{LI^2}{2} \quad (3.26)$$

Shunday qilib, magnit maydoni ham boshqa maydonlar kabi energiyaga ega. Shu energiya hisobiga maydon kuchlari ekvivalent miqdorda ish bajaradi.

$$A = W = \frac{LI^2}{2} \quad (3.27)$$

Magnit maydoni energiyasini uni bevosita xarakterlovchi kattaliklar orqali ifodalaymiz.

Ma'lumki, g'altakning induktivlik koeffitsiyenti:

$$L = \mu\mu_o \frac{N^2}{l} \cdot S \frac{l}{l} = \mu\mu_o \frac{N^2}{e^2} V$$

Uzunlik birligidagi o'ramlar soni $n = \frac{N}{l}$ ni kiritib, (3.25) ni e'tiborga olib,

(3.26) va (3.27) lardan magnit maydon energiyasi uchun:

$$L = \mu\mu_o \frac{n^2 V}{2} \quad (3.28)$$

$$W = \mu\mu_o \frac{n^2 V}{2} I^2 \quad (3.29)$$

(3.29) da $H = nI$ - solenoid magnit maydoni kuchlanganligi, $B = \mu\mu_o \cdot H$ dan foydalanib, magnit maydon energiyasining ifodasi topamiz:

$$W = \frac{\mu\mu_o H^2}{2} V \quad \text{yoki} \quad W = \frac{BH}{2} V \quad (3.30)$$

Ba'zan energiya zichligi tushunchasidan ham foydalaniladi. Hajm birligidagi energiya miqdoriga son jihatidan teng kattalik *energiyaning hajmiy zichligi* deb yuritiladi. Magnit maydoni energiyasining hajmiy zichligi:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{BH}{2} = \frac{B^2}{2\mu\mu_o} = \frac{\mu\mu_o H^2}{2} \quad (3.31)$$

Energiya zichligini bilgan holda istalgan nuqtadagi energiya aniqlanishi mumkin.

$$W = \int_V \omega dV = \int_V \frac{\mu\mu_0 H^2}{2} dV = \int_V \frac{B^2}{2\mu\mu_0} dV$$

Mavzuni mustahkamlash uchun savollar

1. O'z tajribalariga asoslanib, Faradey induksion tokning qiymatini qanday aniqladi?
2. Lens induksion tokning yo'nalishini qanday tajriba asosida aniqladi?
3. Induksion EYuK hosil bo'lishini energiyani saqlanish qonuniga asosan tushuntiring.
4. O'z induksiya va o'zaro induksiya hodisasi deganda nimani tushunasiz, o'zinduksiya EYuK ifodasini keltirib chiqaring?
5. Magnit maydon energiyasi va energiya zichligi ifodasini yozing.

Masala yechish namunasi

1. Uzunligi $l = 0.4m$ ga ko'ndalang kesim yuzi $S = 2 \text{ sm}^2$ ga va uzunlik birligiga mos kelgan o'ramlar soni $n = 25 \text{ 1/sm}$ ga teng bo'lgan o'zaksiz g'altak cho'lg'amlaridan $I = 0.8A$ tok o'tayotgan bo'lsa, g'altak ichida hosil bo'lgan magnit maydonining energiyasi W_m topilsin.

Berilgan: $l = 0.4m$, $S = 2 \text{ sm}^2$, $n = 25 \text{ 1/sm}$, $I = 0.8A$,

$$\mu_0 = 12.56 \cdot 10^{-7} \text{ Gn / m} \quad \mu = 1$$

Topish kerak: $W_m = ?$

Yechish: Induktivligi L ga teng g'altakdan tok o'tayotganda unda hosil bo'lgan magnit maydonning energiyasi quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

G'altakning induktivligi L uzunlik birligiga mos kelgan $n=2ds$ o'ramlarga $V=IS$ xajmga va muhitning magnit xususiyati quyidagiga teng:

$$L = \mu_0 \mu n^2 l S$$

Bunda, μ_0 magnit doimiysi, μ muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi. Induktivligi L ning ifodasini $W_m = \frac{LI^2}{2}$ formulaga qo'yilsa, quyidagi ishchi formula kelib chiqadi.

$$W_m = \frac{LI^2}{2} = \frac{\mu_0 \mu n^2 l S I^2}{2} = \frac{12.56 * 10^{-7} * 625 * 10^4 * 0.4 * 2 * 10^{-4} * 0.64}{2} = 2 * 10^{-4} J$$

Javob: $2 * 10^{-4} J$

Mustaqil echish uchun masalalar

1. Induktivligi $L=0.03 \text{ mGn}$ bo'lgan g'altakdan $I=0.6 \text{ A}$ to'k o'tmoqda. Zanjir uzilgandan keyin tok kuchi $t=120 \text{ mkc}$ vaqtda amalda nolgacha kamaydi. Konturda vujudga keladigan o'zinduksiya EYuK ning o'rtacha qiymati ε aniqlansin.

2. Reostat yordamida g'altakdagi tok kuchi I_s da $I=0.1 \text{ A}$ dan bir tekis ortirilmogda. G'altakining induktivligi $L=0.01 \text{ Gn}$. O'zinduksiya EYuK ning o'rtacha qiymati ε topilsin.

3. Uzunligi $l=50 \text{ sm}$ va kesimning yuzasi $S=4 \text{ sm}^2$ bo'lgan karton karkaga diametri $d=0.2 \text{ mm}$ bo'lgan sim o'ramlari bir-biriga qattiq jipslashtirib bir qatlam qilib o'ralgan. Hosil bo'lgan solenoidning induktivligi L hisoblansin.

4. Induktivli $L=0.2 \text{ Gn}$ bo'lgan solenoidning chulg'amida $I=10 \text{ A}$ tok oqmoqda. Solenoid magnit maydonning energiyasini aniqlang.

5. Solenoidda $N=1000$ ta o'ram bor. Uning cho'lg'amidagi tok kuchi $I=1 \text{ A}$, ko'ndalang qismi orqali o'tadigan magnit oqimi $\Phi=0.1 \text{ mVb}$. Magnit maydon energiyasi W hisoblansin.

6. Temir halqaga $N=200$ o'ram bir qatlam qilib o'ralgan. Agar $I=2.5 \text{ A}$ tok kuchidagi magnit oqimi $\Phi=0.5 \text{ Vb}$ bo'lsa, magnit maydonning energiyasi W aniqlansin.

7. Po'lat o'zakli torroid magnit maydonning kuchlanganligi $H=200 \text{ A/m}$ dan, $H=800 \text{ A/m}$ gacha ortdi. Magnit maydonning energiyasi hajmiy zichligi W necha marta o'zgarganligini aniqlansin.

8. Tok kuchi I ning muayyan qismidagi solenoid magnit maydoni energiyasini zichligi $w=0.2 \text{ J/m}$. Agar solenoidning temir o'zagi bo'lsa, tok kuchining shu qiymatida maydon energiyasining zichligi necha martaga ortadi.

9. Induktivligi $L=1 \text{ mGn}$ g'altak va diametrlari $D=20 \text{ sm}$ dan bo'lgan ikkita aylanma qoplamadan iborat havo kondensatori parallel ulangan. Qoplamalar orasidagi masofa $d=1 \text{ sm}$. Tebranish davri T aniqlansin.

10. Tebranish konturi $L=1.6 \text{ mGn}$ induktivlik, $C=40 \text{ mkF}$ elektr sig'im va qisqichlari 200 B ga teng maksimal kuchlanish U ga ega. Konturdagi maksimal tok kuchi I aniqlansin. Konturning qarshiligi juda kichik.

LABORATORIYA ISHI

Mavzu: Yer magnit maydonini aylanuvchi induksion g'altak yordamida o'lchash

Tajribaning maqsadlari

Er magnit maydonining komponentlarini aniqlash.

Er magnit maydonining og'ish burchagini aniqlash.

Kerakli asboblari: 1 Juft Gelmgolts g'altaklari, 1 ta Sensor CASSY, 1 ta Mikrovoltmetr, 1 ta CASSY Lab, 1 ta Ulash kabeli $\varnothing 2,5 \text{ mm}^2, 200 \text{ cm}$, qizil, 1 Ulash kabeli $\varnothing 2,5 \text{ mm}^2, 200 \text{ cm}$, ko'k.

Qo'shimcha tavsiyalar: 1 ta Experimental motor, 1 ta Experimental motor uchun kotroller

Qo'shimcha talablar: 1 PC, Windows 2000/XP/Vista

Asosiy ma'lumotlar

O'ramlar soni N ta, yuzasi $A = \pi R^2$ bo'lgan aylanma induksion g'altak aylanish o'qining diametridan otuvchi o'q atrofida o'zgarmas ω burchak tezlik bilan bir jinsli B magnit maydonida aylansa uni kesib o'tuvchi magnit oqimi

$$\Phi = \pi R^2 \cdot N \cdot B \cdot \cos(\omega t) \quad (1)$$

Bu yerda ω – burchak tezlik, R – induksion g'ltakning radiusi, N – induksion g'ltakning o'ramlar soni. (1) tenglamada aylanish o'qi B magnit maydoniga perpendikulyar yo'nalgan.

B magnit maydonini induksiyalanayotgan kuchlanish U ning amplituda qiymatidan aniqlash mumkin

$$U = \frac{d\Phi}{dt} = \pi R^2 \cdot N \cdot B \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \quad (2)$$

$T = 2\pi/\omega$ aylanish davrida foydalanib, induksiyalangan kuchlanishning maksimal qiymati uchun quyidagini hosil qilamiz

$$U = \frac{2\pi^2 \cdot N \cdot R^2}{T} \cdot B = \alpha B \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{2\pi^2 \cdot N \cdot R^2}{T} \quad (4)$$

Induksion g'altakning z – yo'nalish atrofida aylanish uchun Dekart koordinatalar sistemasida (1–rasm) kuchlanish amplitudasi

$$U_z = \alpha \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (5)$$

Induksion kuchlanish urning quyidagi magnit maydonida induksiyalanadi

$$B = \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} \quad (6)$$

Simmetriya tufayli x - yoki y – yo'nalishlar uchun quyidagilar o'rinli bo'ladi

$$U_x = \alpha \sqrt{B_y^2 + B_z^2} \quad (7)$$

$$U_y = \alpha \sqrt{B_x^2 + B_z^2} \quad (8)$$

Er magnit maydonining komponentalari (5), (7) va (8) tenglamalar sistemasini yechish orqali hisoblanishi mumkin

$$B_x = \sqrt{\frac{-v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}{2a^2}} \quad (9)$$

$$B_y = \sqrt{\frac{v_x^2 - v_y^2 + v_z^2}{2a^2}} \quad (10)$$

$$B_z = \sqrt{\frac{v_x^2 + v_y^2 - v_z^2}{2a^2}} \quad (11)$$

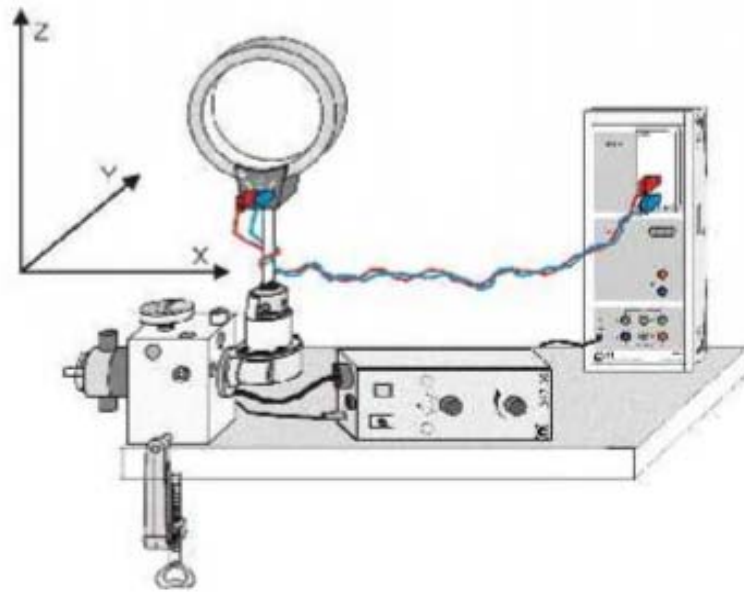
Xususiyl holda er magnit maydonining umumiy qiymati

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} = \sqrt{\frac{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}{2a^2}} \quad (12)$$

Er magnit maydonining qiyalik burchagi θ quyidagi tenglamadan topilishi mumkin

$$\tan \theta = \frac{B_x}{\sqrt{B_y^2 + B_z^2}} = \sqrt{\frac{v_x^2 + v_y^2 - v_z^2}{2a^2}} \quad (13)$$

Bu formula matematik jihatdan to'g'ri, ammo o'lchash noaniqligi tufayli kvadrat ildizning argument ekvatorga yaqin joylardagi tajribalar uchun manfiy bo'lishi mumkin. Masalaning echimi uchun qo'llanmaning oxiriga qarang. Bu tajribada induksion g'altakning aylanish o'qi to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasining x-, y- va z- yo'nalishlari bo'yicha o'rnatiladi. Har bir holda induksiyalangan kuchlanish amplitudasi vaqtning funksiyasi sifatida CASSY bilan o'lchanadi. O'lshangan signallardan amplituda va chastota erining magnit maydon kuchlanganligi va og'ish burchagini aniqlash uchun foydalaniladi.



1-rasm. Eksperimental motor bilan o'lganadigan eksperimental qurilmaning sxemaviy korinishi

Tajriba qurilmasi.

- Tajriba motorini ctol ustining burchagiga 1-rasmda ko'rsatilgandek qo'yingki, uning x- , yva z- yo'nalishlarda buralishi mumkin bo'lsin.
- mikrovoltmetrni va induksion g'altakni bir-biriga ulash uchun 2 m uzunlikdagi aylanma ulash kabelidan foydalaning.

Tajribalarni o'tkazish

Tajribani motor yordamida o'tkazish

CASSY misollar faylidan "Earth magnetic field" ni ishga tushiring. Eslatma: By fayl CASSY misollar faylida saqlanmagan. U kompyuter "Hard disk" idan funksional knopka F3 ni bosish bilan ishga tushirilishi lozim.

- Misollar faylidagi berilganlarni funksional knopka F4 ni bosish bilan tozalang. -Tajriba motorining tezligini 0 ga o'rnating.

- Motorni ehtiyotkorlik bilan qo'shing va uning tezligini taqriban sekundiga 0.3 aylanishgacha oshiring.

- Aylanma ulash kabelini qo'l bilan shunday yo'naltiringki, ular tajriba motori bilan o'rab olinsin. O'tkazgich halqa aylanayotganida u tugunlarda ushlab qolinmasligiga amin bo'ling.

- Induksion kuchlanishni vaqtning funksiyasi sifatida o'lchashni F9 funksional knopkani bosish yordamida boshlang.

Eslatma: O'lchash 20 sekunddan keyin avtomatik ravishda to'xtaydi. O'lchash parametrlarining detallari uchun ... knopkasini bosing va "measuring parametr"menyusidan ularni ko'ring.

- O'lchashlar tugagandan keyin motorning o'chirilganligiga ishonch hosil qiling. Tajriba motorini teskariga aylantiring va uni qulay fursatda to'xtating.

- Aylanish o'qini x – yo'nalishga o'zgartiring va o'lchashlarni dastlabki burchak tezlik bilan takrorlang.

- Va nihoyat induksion kuchlanishni vaqtning funksiyasi sifatida aylanish o'qining y – yo'nalishi uchun tajriba motorini 90° ga buring. -Induksion g'altakning d diametrini o'lchang.

Tajriba motorisiz o'lchashlarni bajarish.

-CASSY misollar faylidan "Earth magnetic field" ni ishga tushiring. Eslatma: By fayl CASSY misollar faylida saqlanmagan. U kompyuter "Hard disk" idan funksional knopka F3 ni bosish bilan ishga tushirilishi lozim.

-Misollar faylidagi berilganlarni funksional knopka F4 ni bosish bilan tozalang.

- Tajriba motorining tezligini 0 ga o'rnatish.

- Induksion kuchlanishni vaqtning funksiyasi sifatida o'lchashni F9 funksional knopkani bosish yordamida boshlang.

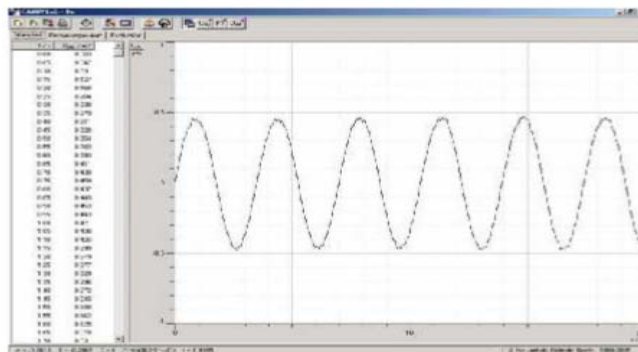
- Induksion g'altakni z o'qi atrofida qo'l bilan aylantiring.

Eslatma: O'lchash 20 sekunddan keyin avtomatik ravishda to'xtaydi. O'lchash parametrlarining detallari uchun ... knopkasini bosing va "measuring parametr"menyusidan ularni ko'ring.

- O'lchashlarni y - va x - o'qlar atrofida aylantirishlar uchun takrorlang.

O'lchash misollari

Misol sifatida, x- o'qi atrofida aylantirishlar uchun kuchlanish grafiga 2-rasmda keltirilgan. y- va z- o'qlar atrofida aylantirishlar uchun tajriba natijalari 5-rasm va 6-rasmlarda ko'rsatilgan.



2-rasm. U_x induksiyalangan kuchlanish vaqtning funksiyasi sifatida (z-yo'nalish=aylanish o'qi)

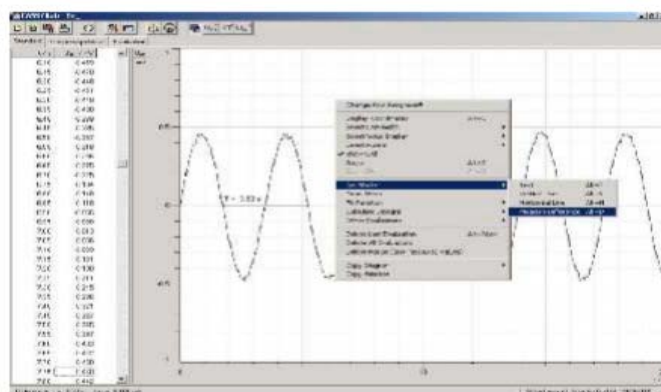
Hisoblash va natijalar

Er magnit maydonining komponentlarini aniqlash uchun amplituda va chastota aniqlanishi lozim. Chastotani aniqlashning bir necha yo'llari mavjud.

Metod 1

- Display ustida sichqonchanning o'ng knopkasini bosib va "Set Marker/Measure Difference" ni tanlang. (3- rasm).

-e.g. ni nol kuchlanish holati ustiga bosib va buni T davrdan keying holat ustiga bosib.

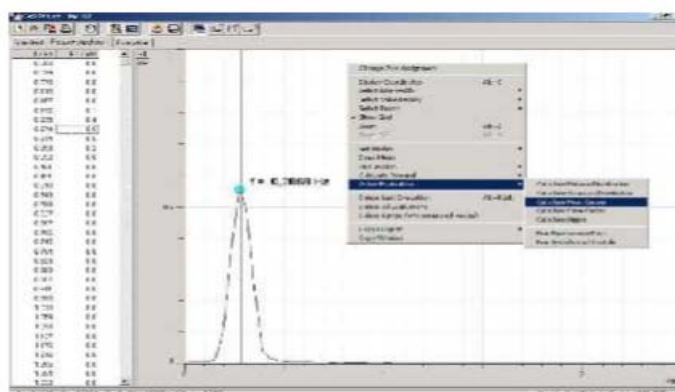


3-rasm. Chastotani aniqlash (Metod 1). (4) va (5) rasmlarni taqqoslang

-Alt T sizga asosiy chiziqning natijasini displeyda ko'rishga imkon beradi. (3- rasm)

Metod 2

- Jadvalda “Frequency Spectrum” ustiga bosing.
- Display ustida sichqonchani o’ng knopkasini bosing va “Other Evaluations” / “Calculate Peak Center” ni tanlang.
- Tajriba natijalari ustida sichqonchani surib maksimumni belgilang.
- Alt-T sizga asosiy chiziqli natijasini displayda ko’rishga imkon beradi.(4-rasm)



4-rasm. Chastotani aniqlash (metod 1). 3-rasm va 5-rasmni taqqoslang.

Er magnit maydonning komponentlarini aniqlash uchun amplitudani aniqlash lozim. Induksiyalangan kuchlanish amplitudasini aniqlash uchun ikki yo'l mavjud.

Metod 1

- Display ustida sichqonchani o'ng knopkasini bosib va "Set Marker/Measure Difference" ni tanlang. (3- rasm)
- Sichqonchani nol kuchlanish holati ustiga bosib va buni maksimum kuchlanish ustida takrorlang.
- Alt- T sizga asosiy chiziqning natijasini displayda ko'rishga imkon beradi.

Metod 2

Bu metodda chastotani va amplitudani aniqlash uchun “Fitting tool” dan foydalaniladi.

- Sichqonchani o'ng knopkasini display ustida bosib "Fitting tool" ni displayga chiqaring va "Fit function"/"Free Fit" ni tanlang yoki Alt F ni bosing.

- Dastlab mos keluvchi funksiyani tanlang – bu erda $f(x,A,B,C,D)=A*\sin(360*B*x+C)$

- Mos keluvchi parameter uchun kerakli baholash qiymatlarini kiriting (boshlang'ich qiymatlar) (6-rasm)

$A = U_0 = 1 \text{ V}$ (amplituda, diagrammaning y– o'qidan yozib oling)

$B = 0.3 \text{ Gerts}$ (Chastota, 2 Gerts lar atrofida)

$C = 0$ (faza siljishi, o'lchash sharoitida o'ga teng)

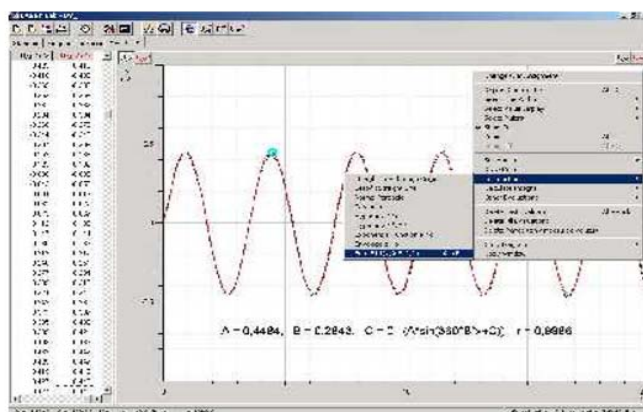
$D = 0$ (qo'shimcha parameter, foydalanilmaydi)

- "Display result automatically as a new channel" ni tanlang.

- "Continue with Range Marking" knopkasi bilan davom ettiring.

- Alt T sizga natijalarni displayda ko'rishga imkon beradi.

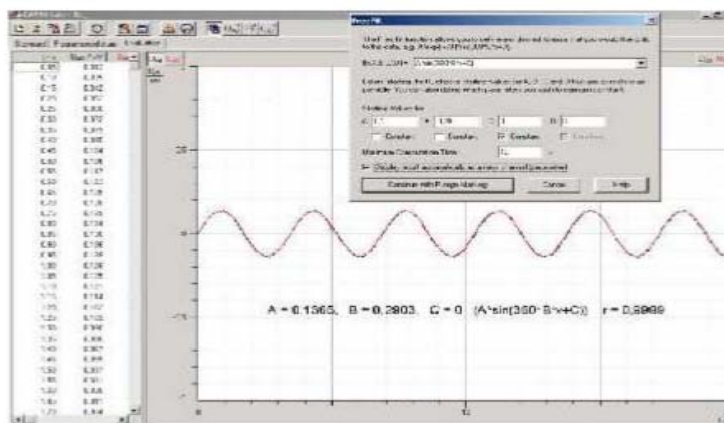
Eslatma. Mos keluvchi algoritm yaxshi baholash qiymatlarini talab qiladi. Bu tanlangan model uchun, ya'ni 14– tenglama uchun, chastotaning boshlang'ich qiymati tajribaviy qiymatlarga yaqin qilib tanlanishi lozim.



5-rasm. Induksiyalangan kuchlanish U_x (qora chiziq) vaqtning funksiyasi sifatida. (yyo'nalish = aylanish o'qi). Qizil chiziq kuchlanish grafigining pastidagi parametrlarga mos keladi.

Eslatma: Chaqirish qurollini sichqonchani o'ng knopkasini displeyga bosib va "Fit Function"/ "Free Fit" larni tanlash bilan displeyga chiqarish mumkin.

5-rasm va 6-rasm larda kuchlanishning o'lgan qiymatlari ko'rsatilgan. O'lchash xatoliklari chegarasida qiymatlar sinusoidal korinishga ega. CASSY Lab ning boshqa hisoblash natijalari uchun qo'shimcha ma'lumotlarga qarang.



6-rasm. Induksiyalangan kuchlanish U_z (qora chiziq) vaqtning funksiyasi sifatida. (zyo'nalish = aylanish o'qi). Qizil chiziq kuchlanish grafigining pastidagi parametrlarga mos keladi.

Eslatma: Chaqirish qurollini "Alt – F" ni bosish bilan displeyga chiqarish mumkin.

Aylanishning uchta xar xil o'qlari uchun natijalar quyidagi jadvalda keltirilgan. 1-jadval. 14– tenglamani tajribaviy natijalar uchun qo'llash bilan olgan induksion kuchlanish komponentlari. Davr o'qlar aylanishining o'rtacha qiymatiga to'g'ri keladi.

U_x	U_y	U_z	T_s
mV	mV	mV	
0.47	0.45	0.13	3.51

Induktiv g'altakning $d = 13.5$ sm va $N = 320$ parametrlari bilan er magnit maydoni kuchlanganligi (4) va (12) tenglamalardan foydalanib aniqlanishi mumkin

$$B = \sqrt{\frac{0.47^2 + 0.45^2 + 0.13^2}{2 \cdot 8.2^2}} = 73.9 \mu T$$

(13) tenglamadan foydalanib og'ish burchagi aniqlanadi

$$tg\theta = \sqrt{\frac{0.47^2 + 0.45^2 + 0.13^2}{2 \cdot 0.13^2}} \quad \text{bundan } \theta = 73^\circ$$

Olingan bu natija og'sh konturidan (54102) foydalanib oson tekshirilishi mumkin. Og'ish konturidan foydalanib topilgan qiymat $\theta = 70^\circ$

Qoshimcha ma'lumotlar

Tajribadagi asosiy xatolik o'tkazgich halqa yaqinida joylashgan magnitlangan po'lat jismlar sababli magnit maydonining buzilishidan hosil bo'ladi. Yuqori o'lchash aniqligiga erishish uchun g'altakning parametrlari imkoni boricha katta qilib tanlab olinishi zarur.

Er magnit maydonining og'ishi bo'lmaganda (magnit ekvatorida) er magnit maydonining qiymati $31.2 \mu T$ ga teng va magnit qutblarida 2 marta kattaroq bo'ladi.

Ekvatorga yaqin joyda tajribani bajarishda muammo tug'iladi. Ekvatorida magnit maydonining qiyalik burchagi 0 ga yaqin va xuddi shu holda B_z ham nolga yaqin bo'ladi. (11) va (13) tenglamalar katta sonlarni ayiradi va nazariyada kichik musbat sonlarni hosil qiladi. Bu kichik farq kichik o'lchash xatoliklari tufayli ham (po'lat bo'lagi) manfiy bo'lib qolishi mumkin va (11) va (13) tenglamalardagi kvadrat ildiz echimga ega bo'lmaydi.

Ekvatorga yaqin joylarda og'ish burchagi uchun natijalar olish uchun B_z to'g'ridan– to'g'ri o'lchanishi kerak. (7) tenglamadan foydalanib biz gorizontaal aylanish o'qi bo'yicha tajriba o'tkazamiz va $B_z = 0$ ga aylanish o'qini shimol janubga to'g'rilab erishamiz. Bu esa kuchlanishning minimumini izlash bilan

bajarilishi mumkin. Keyin B_z ning qiymati (7) tenglamadan hisoblanadi va (13) tenglamaning o'ta qismiga qo'yiladi. Bu tajribada biz B_z ning qiymatini uning ishorasisiz o'lchaymiz, chunki ekvatorning janubida (11) va (13) tenglamalar kvadrat funksiyaning manfiy natijalaridan foydalanish lozim.

Yer magnit maydon kuchlanganligining gorizontal tashkil etuvchisini tangensbussol yordamida aniqlash

Kerakli asbolar: tangensbussol, pereklyuchatel, o'zgarmas tok manbai, ampermetr, reostat.

Nazariy ma'lumotlar

Er magnit maydonining parametrlaridan biri uning magnit maydoni kuchlanganligining gorizontlab tashkil etuvchisidir. Uni tangensbussol yordami bilan tekshiriladi. Harakatsiz elektr zaryadlari atrofidagi fazoda ma'lum fizik xossalarga ega bo'lgan elektrostatik maydon bo'lgani kabi, elektr toki atrofidagi fazoda ham o'zgacha bir turdagi kuchlar maydoni hosil bo'ladi. Bunday kuchlar maydoni tokning magnit maydoni deyiladi. Elektrostatik maydon zaryadlangan jismga ta'sir etgan kuchlari orkali ma'lum bo'ladi. Magnit maydonining mavjudligini esa unga yaqinlashtirilgan tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchlar orqali bilinadi. Bu kuchlarni harakterlovchi kattalik magnit maydon kuchlanganligidir.

Magnit maydonining har bir nuqtasidagi kuchlanganlik, o'tayotgan tok kuchiga to'g'ri, o'tkazgichdan nuqtagacha bo'lgan masofaga teskari proportsionaldir. Radiusi R bo'lgan aylanma tokning markazidan magnit maydon kuchlanganligi

$$H = K \frac{2\pi I}{R} \text{ (ers)} \text{ yoki } H = \frac{I}{2R} \left(\frac{A}{m} \right) \quad (1)$$

Magnit maydon kuchlanganligining absolyut sistemasidagi birligi ersted bilan o'lchanadi. Ersted deb, radiusi 1sm bo'lgan aylanaviy o'ramdan $1/2\pi$ absolyut elektrostatik birlikka, ya'ni $10/2\pi$ amperga teng bo'lgan tok o'tishi natijasida uning markazida hosil bo'lgan magnit maydon kuchlanganligiga

aytiladi. Tok kuchi, I amper bilan o'lchansa $K = \frac{I}{10}$ bo'ladi. U holda (1) formula qo'yidagicha yoziladi.

$$H = \frac{0.2\pi I}{R} (ers) \text{ yoki } H = \frac{I}{2R} \left(\frac{A}{m} \right) \quad (2)$$

Agar magnit strelkasi ogirlik markazi atrofida aylana oladigan qilib olinsa, strelka yer shari yuzasining har bir nuqtasida gorizontga nisbatan ma'lum yo'nalishni olishga shoshiladi.

Bu oddiy tajriba yer atrofida tabiiy magnit maydon mavjud ekanligidan darak beradi. Yer magnit maydonining harakteristkasi sifatida maydon kuchlanganligi, uning tashkil etuvchilari xizmat qiladi. Yer magnit maydoni kuchlanganligining gorizont tekislikka proektsiyasi, yer magnit maydoni kuchlanganligining gorizont tashkil etuvchisi deyiladi va u H bilan belgilanadi. H ni qo'yidagicha o'lchash mumkin. yer magnit maydoni kuchlanganligining gorizont tashkil etuvchisi yo'nalishi bo'yicha o'rnatilgan magnit strelkasi H dan ko'p farq qilmaydigan va uning yo'nalishi bilan 900 burchak hosil qiluvchi H' magnit maydoni, ya'ni aylanib o'tayotgan tokining magnit maydon kuchlanganligi ta'sir qiladi. Ikki magnit maydoni o'zaro ta'sir natijasida magnit strelkasi burchakka ogadi. H' tangensbussoldan o'tayotgan aylanma tokning magnit maydon kuchlanganligi 2- rasmda ko'rinib turibdi.

Aylanma tokining markazidagi magnit maydon kuchlanganligi o'ram soni n ga bog'liq. Shuning uchun magnit maydon kuchlanganligini ko'paytirish uchun o'ramlar soni ko'paytiriladi.

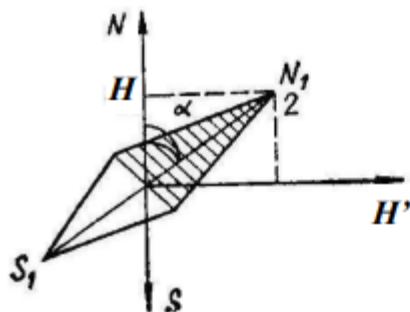
O'ram markazidagi maydon zichligi bir tekis bo'lishi uchun uning radiusi katta olinadi. Tangensbussol tik o'rnatilgan R radiusi, n o'ramdan iborat bo'lgan yassi g'altak markazidagi magnit maydon kuchlanganligi:

$$H' = \frac{0.2\pi In}{R} (ers) \text{ yoki } H' = \frac{In}{2R} \left(\frac{A}{m} \right) \text{ bo'ladi.}$$

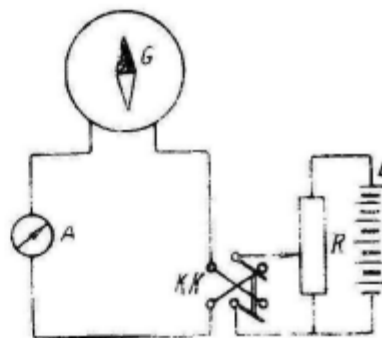
O'ramlarning magnit maydoni o'ramlar tekisligiga tik ravishda yo'nalgan bo'ladi. U holda yer magnit maydoni kuchlanganligining gorizont tashkil etuvchisi:

$$H = H' \operatorname{ctg} \alpha = 0.2\pi \frac{In}{R} \operatorname{ctg} \alpha \quad \text{yoki} \quad H = H' \operatorname{ctg} \alpha = \frac{In}{R} \operatorname{ctg} \alpha \quad \text{bo'ladi}$$

Bunda R - o'ramlarning o'rtacha radiusi, I - amperlarda o'lchanadigan tok kuchi, n - o'ramlar soni.



1-pacm



2-pacm

Ishni bajarish tartibi

1. 2- rasmdagi sxemaga karab asboblari yig'iladi. Elektr ulchov asboblari o'tayotgan tokning magnit maydoni ta'sir etmasligi uchun tangensbussolni ulardan uzoqroq qo'yish kerak.

2. Tangensbussol yassi galtagi tekisligini magnit meridiani tekisligi bilan ustmaust tushguncha buriladi, bunda magnit strelkasining bir tomoni 0^0 ni kursatsin.

3. Tangensbussolga tok beruvchi ikki simning magnit maydoni yukolish uchun ularni yonma-yon qo'yiladi. Pereklyuchatelni tutashtirib reostat yordamida magnit strelkasini 20^0 - 30^0 gacha burilishga keltiradi.

4. Tok kattaligini o'zgartirmay qo'yidagicha bir necha o'lchashlar bajariladi.

5. Tangensbussoldagi tok yo'nalishini o'zgartiruvchi K-Pereklyuchatelni ikki xolatidan biriga (masalan chapga) ulanib, tok kuchi I va kompas strelkasining burilish burchagi α o'lchanadi. Burchak α ni o'lchanadi strelkaning aylanish uki bilan limb markazining mos tushmasligi sababali o'lchashlarda xatolik bulmasligi mumkinligining nazarda tutish lozim. Bunda xatolikdan ko'tilish uchun strelkaning

ikkala uchini ham (α_1 va α_2) kursatishini yozib olib, ularning o'rtacha qiymati olinadi., ya'ni :

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$$

Tokning qiymatini o'zgartirmay, pereklyuchatelni ikkinchi holatga (unga) ulab, burchaklarning yana ikkita qiymati (α_1 va α_2) yozib olinadi va o'rtacha qiymati topiladi.

$$\alpha = \frac{\alpha_2 + \alpha_2}{2}$$

Yuqorida aniqlangan burchaklarning o'rtacha qiymati berilgan tok uchun strelka burilishining haqiqiy qiymatini beradi, ya'ni:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \quad \text{yoki} \quad \alpha = \frac{\alpha_1' + \alpha_1'' + \alpha_2' + \alpha_2''}{4}$$

Tangensbussoldagi o'ramlar soni n va radiusi R ning qiymatlari asbobda yozilgan bo'ladi. Aniqlangan α , R , I va n miqdorlarni formulaga qo'yib, yer magnit maydon kuchlanganligining gorizonta tashkil etuvchisi H aniqlanadi. Tok kuchini reostat yordamida o'zgartirib yuqoridagi o'lchashlar takrorlanadi (kamida uch marta). Topilgan miqdorlar 1-jadvalga yoziladi.

№	Tok kuchi I	I xolat		α_1 ning o'rtacha qiymati	II xolat		α_2 ning o'rtacha qiymati	$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 / 2$	ctga	R	n	H
1												
2												
3												

O'zlashtirish uchun savollar

1. Er magnit maydon haqida tushuncha
2. Er magnit maydon kuchlanganligining gorizonta tashkil etuvchisi deb nimaga aytiladi?
3. Tangensbussol asbobining tuzilishi va ishlash printsipini tushuntiring
4. Magnit maydon kuchlanganligi qanday birlik bilan o'lchanadi?
5. Bio- Savar -Laplas qonunini yozing va tushuntirib bering?

6. Aylanma tok markazidagi magnit maydon kuchlanganligini keltirib chiqaring?

G'altakning o'zinduksiya koeffitsientini aniqlash

Kerakli asboblari: temir o'zakli g'altak, voltmetr, ampermetr, reostat, o'zgaruvchan tok manbai.

Nazariy qism

G'altakka tok ulanishi bilan g'altakning atrofida magnit maydon ψ vujudga keladi. Tok ortgan sari magnit maydon ortadi va aksincha, ya'ni:

$$\psi = Li \quad (1)$$

Shuning uchun g'altakdan o'zgaruvchan tok o'tishi natijasida g'altakning magnit maydoni ham o'zgaruvchan bo'ladi. Bu holda Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni

$$L_L = -\frac{d\psi}{dt} \quad (2)$$

yoki (1) ni hisobga olsak

$$L_L = -L \frac{di}{dt} \quad (3)$$

ga asosan g'altakda elektr yurituvchi kuch L_L induksiylanadi, uning qiymati esa tokning o'zgarish tezligiga proporsional bo'ladi.

Formuladagi minus ishorasi Lents printsipli bilan bog'langan bo'lib E.Yu.K. ning yo'nalishi tok o'zgarishi harakteriga teskari ekanligini kursatadi.

L - induksiya koeffitsienti yoki induktivlik bo'lib, u g'altakning geometrik shakli, o'lchamlari va muhitning magnit kirituvchanligiga bog'liq. Masalan, o'tkazgichlar uzunligi ortishi bilan L ham ortadi.

Agar o'tkazgichdagi tokning o'zgarish tezligi amper/sekund induksiya elektr yurituvchi kuch $\varepsilon=1$ volt bo'lsa, induktivlik $L=1$ genri deyiladi.

Ma'lumki, o'tkazgichning o'zgarimas tokka bo'lgan qarshiligi R ni omik qarshilik va uning o'zgaruvchan tokdagi qarshiligi r ni esa aktiv qarshilik deyiladi. Bundan tashqari g'altak o'zgaruvchan tok manbaiga ulanganda, uning induktivligi

bilan bog'langan qarshilik X_L vujudga keladi. Tabiati aktiv qarshilikdan tubdan farq qiluvchi bu qarshilik *induktiv qarshilik* deb yuritiladi. Uning formulasi qo'yidagi matematik ravishda chiqarilgan.

Agar induktiv qarshilik uchlaridagi kuchlanishni U_L deb olsak, u holda

$$U_L = -I_L = L \frac{di}{dt} \quad (4)$$

rasmda o'zgaruvchan tok zanjiriga ulangan induktiv g'altak kursatilgan. Uning qarshiligi r va induktiv qarshiligi X_L ketma-ket ulangan deb faraz qilinadi.

Kirxgofning ikkinchi qonuniga asoslanib ushbu tenglamani qo'yidagicha yozishimiz mumkin:

$$U = U_R + U_L \quad (5)$$

Agar zanjirga berilgan kuchlanish $U = U_M \sin \omega t$ bo'lsa (4) va (5) ga muvofiq

$$U_m \sin \omega t = Ir + L \frac{di}{dt} \quad (6)$$

ga ega bo'lamiz. Bunda aylanma chastota $\omega = 2\pi f$ bo'lib, $f=50$ Gs ga teng. Bu (6) tenglama tokka nisbatan differentsial tenglamadir. Uning yechimini

$$I = I_M \sin(\omega t - \varphi)$$

ko'rinishida izlaymiz. Bu yerda: i - tokning oniy qiymati. I_M - tokning maksimal qiymati.

Formula (6) ga (7) ni quysak

$$U_m \sin \omega t = I_m R \sin(\omega t - \varphi) + \omega L I_m \cos(\omega t - \varphi) \quad \text{yoki}$$

$$U_m \sin \omega t = I_m R (\sin \omega t \cos \varphi - \cos \omega t \sin \varphi) + \omega L I_m (\cos \omega t \sin \varphi + \sin \omega t \cos \varphi)$$

$$X_L = \omega L \quad (7)$$

deb belgilab olsak va uxshash xadlarini gruppalasak:

$$\frac{U_m}{I_m} \sin \omega t = (R \cos \varphi + X_L \sin \varphi) \sin \omega t - (R \sin \varphi - X_L \cos \varphi) \cos \omega t$$

ifodasiga ega bo'lamiz.

$$\text{Bu yerda:} \quad Z = \frac{U_m}{I_m} \quad (8)$$

zanjirning to'la qarshiligidir. Shuning uchun yuqoridagi ifodani qo'yidagicha yozish mumkin:

$$Z \sin \omega t = (R \cos \varphi + X_L \sin \varphi) \sin \omega t - (R \sin \varphi - X_L \cos \varphi) \cos \omega t$$

Bu tenglik vaqt t ning har bir momenti uchun faqat o'rinli bo'lishi uchun, uning har ikkala tomonidagi vaqtga bog'liq bo'lgan bir xil trigonometrik ifodalar oldidagi koeffitsientlar o'zaro teng bo'lishi, ya'ni

$$Z = R \cos \varphi + X_L \sin \varphi, \quad 0 = R \sin \varphi - X_L \cos \varphi$$

shartlarning bajarilishi kerak. Bu tenglamalarning har ikkala tomonlarini kvadratlarga oshirib, keyin mos tomonlarini o'zaro qo'shib olsak

$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

$$\text{yoki } Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (9)$$

ga ega bo'lamiz.

Shunga ko'ra (8) ni qo'yidagicha yozishimiz mumkin.

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad (10)$$

zanjirning to'la qarshiligi Z ni o'lchamlar yordami bilan topish mumkin. Buning uchun (9) ga $U_m = U\sqrt{2}$ va $I_m = I\sqrt{2}$ larni qo'yib olsak

$$Z = \frac{U}{I} \quad (11)$$

bo'ladi. Bu yerda U bilan I zanjirga berilgan kuchlanish va undan o'tuvchi tokning effektiv qiymatlaridir. Aktiv qarshilik r ni esa biror asbob, masalan, ommetr yordami bilan o'lchab olish mumkin.

U holda induktiv qarshilik (9) ga muvofiq

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (12)$$

g'altak induktivligi esa (4) ga asosan

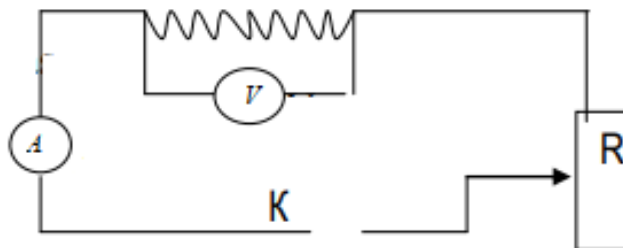
$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} \quad (13)$$

bo'ladi. Ishning maksadi: g'altakning induktivligi o'lchash: Tomir o'zaksiz va unga temir o'zak kiritilganda.

Ishni bajarish tartibi.

1. G'altakning aktiv qarshiligini ommetr bilan o'lchanadi.
2. Rasmdagi sxemaga asosan asboblarni yig'iladi.

A- Ampermetr, V- Voltmetr, L- g'altak, R- reostat zanjirining a va b qismlariga, T- 50 Gts bo'lgan tok manbai ulanadi.



3. Zanjirdagi tok ulanib reostat yordamida o'zaksiz g'altakning uch xil kuchlanishdagi tok kattaligi o'lchanadi. (11) formuladan foydalanib to'la qarshiliklar topiladi va qarshiliklarning o'rtacha qiymati hisoblanadi.

4. Topilgan Z va w lar qiymatini (13) formulaga qo'yib o'zaksiz g'altakning o'zinduktsiya koeffitsienti topiladi.

5. G'altakka o'zak kiritilgan holda yuqoridagi o'lchashlar takrorlanib, o'zakli g'altakning o'zinduktsiya koeffitsienti topiladi.

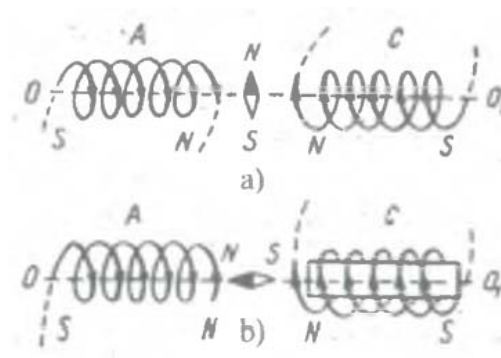
Tekshirish uchun savollar

1. O'z induktsiya deb nimaga aytiladi?
2. O'z induktsiya koeffitsienti nimalarga bog'liq?
3. Bu ishda nega o'zgaruvchan tok ishlatiladi?
4. O'zgaruvchan tokning effektiv qiymatlari nima?
5. O'z induktsiya koeffitsienti qanday birlik bilan o'lchanadi?
6. O'z induktsiya e.yu.k.ning yo'nalishini tushuntiring
7. Nima uchun g'altakka o'zak kiritilganda ampermetr ko'rsatishi kamayadi, voltmetrning ko'rsatishi esa ortadi.

4. MODDALARNING MAGNIT XUSUSIYATLARI

4.1. Moddadagi magnit maydon

Shu vaqtgacha biz o'rganilgan magnit maydonini vakuumda (yoki amalda havoda ham xuddi shuning o'zi bo'ladi) mavjud deb faraz qilib keldik. Endi magnit maydonga muhit (modda) joylashtirilsa, magnit maydoniga qanday ta'sir qiliishini ko'rib chiqaylik. Buning uchun quyidagicha tajribani o'tkazaylik: ikkita bir xil A va C g'altaklarni olib, ularni bir-biridan bir oz siljigan holda gorizontal ko'rinishda joylashtiraylik (4.1-rasm).



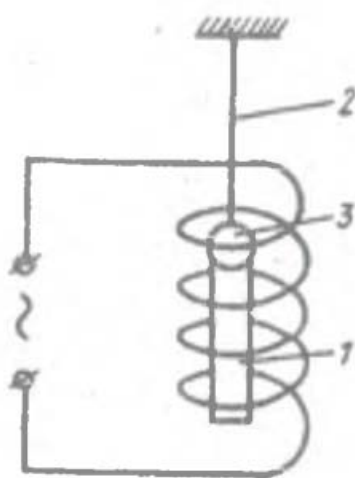
4.1-rasm. Magnit maydonga moddaning ta'siri

G'altaklar orasiga mahkamlangan vertikal o'q atrofida harakatlana oladigan qilib magnit strelkasini g'altaklar o'qiga nisbatan perpendikular qilib o'rnatsak va ikkala g'altakdan kattaligi bir xil, lekin yo'nalishi qarama-qarshi bo'lgan tok o'tkazilsa, magnit strelkasi harakatga kelmaydi (4.1-a rasm). Bunda, ikkala tokning hosil qilgan magnit maydoni bir xil miqdorda va yo'nalishi qarama-qarshi yo'nalgan bo'lgani uchun g'altaklar orasidagi hajmda magnit induksiyasi nolga teng bo'ladi.

Endi ikkala g'altakdan o'tayotgan tok kuchini o'zgartirmagan holda ulardan birining, masalan, C g'altakning ichiga temir steijen kiritsak (4.1-b rasm), magnit strelkasi o'z holatini o'zgartiradi. C g'altakning magnit maydoni kuchayadi va g'altaklar orasidagi natijaviy maydon noldan farqli bo'ladi. Bu holda temir sterjenning C g'altakning magnit maydonida magnitlanib qolishini kuzatamiz. *Magnitlanish qobiliyatiga ega bo'lgan moddalarni magnetiklar deb ataladi.*

Magnitlanish sababini quyidagicha tushuntiriladi. Barcha moddalarda atom va molekulalar tarkibidagi zaryadli zarralarning harakatlanishi tufayli molekulayar toklar mavjud bo'lib, ma'lum magnit moment ega bo'ladi va ichki magnit maydonni hosil qiladi. Moddalar magnitlanmagan bo'lsa, u holda molekulayar toklar magnit momentlari tartibsiz joylashganligi sababli ichki magnit maydon hosil bo'lmaydi.

Molekular tokning mavjud. ekanligini aniqlash uchun Eynshteyn va de-Gaaz tajriba o'tkazib, silindr shaklida temir (1) olib, uni ingichka kvars ipiga (2) osigan va o'zgaruvchan tok manbaiga ulangan solenoid ichiga tushirgan (4.2-rasm).



4.2-rasm. Molekular tokni aniqlash

Solenoiddan o'zgaruvchan tok o'tishi natijasida unda o'zgaruvchan magnit maydon hosil bo'lib, temir steijen buriladi. Uni ipga o'rnatilgan ko'zgu (3) orqali kuzatgan. Bunda tok yo'nalishi o'zgarishi bilan sterjen burilishi ham o'zgargan. Bunday tebranishning asosiy sababi temirning qayta magnitlanishidir. Chunki temirga tashqi magnit maydon ta'sir etishi bilan undagi elektronlarning magnit momentlari maydonga parallel ravishda yo'naltirib, aylantiruvchi mexanik moment hosil bo'ladi. Sistemada impuls momentining saqlanish qonuni mavjud bo'lgani uchun elektronlar hosil qilgan natijaviy momentga teng va unga teskari yo'nalishda silindmi aylantiruvchi moment hosil bo'lib, ipga osilgan silindrni buralma harakatga keltiradi.

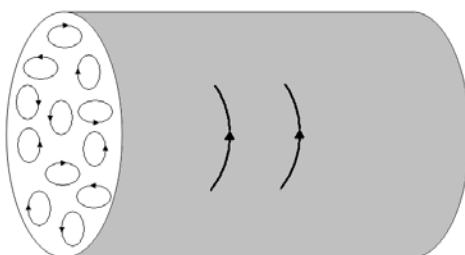
Demak, magnit maydonga joylashtirilgan barcha moddalar magnitlanish xossalariga ega bo'ladi, ya'ni magnitlanadi, shuning uchun (dastlabki) maydonni ma'lum darajada o'zgartiradi. Moddaning magnitlanishini xarakterlovchi fizik kattaliklardan biri hajm birligidagi atom yoki molekullarning magnit momenti orqali ifodalanuvchi magnitlanish vektoridir:

$$\vec{I} = \frac{1}{\Delta V} \sum \vec{p}_m \quad (4.1)$$

Magnitlanish vektori moddaning magnit holatini xarakterlovchi asosiy kattalik hisoblanadi. Biror moddani har bir nuqtasidagi magnitlanish vektorini bilgan holda magnitlangan modda hosil qilgan magnit maydonni aniqlash mumkin.

Magnit maydon induksiyasi bilan magnitlanish vektorining o'zaro bog'lanishini aniqlash uchun molekullardagi elektron toklarning ichki magnit maydon kuchlanganli ($\mathbf{H}$) ni hisoblaylik.

Agar moddaning hamma nuqtalarida magnitlanish vektori bir xil bo'lsa, ularning kesimlariga yondashgan molekular toklarning qo'shilishida bir-biriga qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'lgan toklar o'zaro kompensatsiyalanib, faqat moddalar sirtiga yondashgan tok kesimlarigina qoladi. Shunihi uchun barcha molekular toklar ta'siri ham magnitlangan moddadan o'tuvchi sirt toki ta'siriga o'xshash bo'ladi. Sirt toki kattaligi magnitlanish qiymati bilan aniqlanadi. Buni bir jinsli magnit maydoniga joylashgan etarlicha uzun silindrda ko'rib chiqaylik (4.3 – rasm).



4.3-rasm. Silindr shaklidagi bir jinsli magnetik

Bu sirt tokning chiziqli zichligi, ya'ni silindrning uzunlik birligida to'g'ri kelgan tok kuchi j_l orqali belgilasak, silindrni hamma uzunligidagi tok

$$i = j_l l \quad (4.2)$$

ga teng bo'ladi. Bu tokning magnit momenti

$$j_l Sl = j_l V, \quad (4.3)$$

bu erda, V — silindrning hajmi.

(4.1) ga asosan, ya'ni magnitlanish ta'rifiga muvofiq magnetikning magnitlanish vektori

$$I = j_l \quad (4.4)$$

teng bo'ladi.

Demak, bir jinsli magnetlanishda magnitlanish vektorining qiymati magnetikning sirt toki chiziqli zichligiga teng bo'ladi. Magnetikdan iborat silindrni bir o'ramli ($n = 1$) solenoid deb qarasak, undan o'tuvchi tok zichligi $j_l = ni = I$ bo'lib, solenoid ichidagi maydon kuchlanganligi esa $H' = \frac{I}{\mu_0}$ bo'ladi.

Magnetikdagi magnit maydon induksiya esa

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H}_0 + \mathbf{H}') = \mu_0\mathbf{H}_0 + \mathbf{I} \quad (4.5)$$

Bunda H_0 va μ_0 mos ravishda vakuumdagi magnit maydon kuchlanganligi va vakuumning magnit doimiysi. Magnetikning magnitlanganish vektori maydon kuchlanganligiga to'g'ri proporsionaldir.

Maydon kuchlanganligi $\mathbf{H}$ va magnitlanganish vektori $\mathbf{I}$ lar yo'nalish jihatidan bir-biriga mos tushmasligi mumkin. Bu ba'zi magnit kristallarida kuzatiladi. Bunday kristallarda magnitlanish kattaligi kristall o'qlariga nisbatan maydonning yo'nalishiga ham bog'liq. Bunday moddalarni *anizotrop magnetiklar* deyiladi. Bular uchun magnit maydon induktsiyasi $\mathbf{B}$ va kuchlanganligi $\mathbf{H}$ ning yo'nalishlari turlicha bo'ladi.

Ko'pgina hollarda maydon kuchlanganligi $\mathbf{H}$ va magnitlanganish vektori $\mathbf{I}$ larining yo'nalishlari doim mos keladi. Bunday moddalarning magnetlanishi magnitlovchi maydonning yo'nalishiga bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun bunday

moddalarni *izotrop magnetiklar* deb ataladi. Ularda ham magnit maydon induktsiyasi B va kuchlanganligi H ning yo'nalishlari bir xil bo'ladi.

Izotrop magnetiklarda maydon induktsiyasi B va kuchlanganligi H orasidagi bog'lanish ancha soddalashadi. Bu holda

$$I = \chi \mu_0 H_0 \quad (4.6)$$

χ – moddaning magnit qabul qiluvchanligi bo'lib, magnetikning tabiati va temperaturasi bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalikdir.

(4.6) ni (4.5) ga qo'ysak, magnit maydon induktsiyasi uchun quyidagi hosil bo'ladi:

$$B = \mu_0 H_0 + \chi \mu_0 H_0 = \mu_0 H_0 (1 + \chi) = \mu \mu_0 H \quad (4.7)$$

$$H = \frac{B}{\mu_0} - \chi H \quad \text{yoki} \quad H(1 + \chi) = \frac{B}{\mu_0} \quad (4.8)$$

$$\bar{H} = -\frac{B}{\mu \mu_0} \quad \text{yoki} \quad \bar{B} = \mu \mu_0 \bar{H} \quad (4.9)$$

Bu erda, μ – moddaning magnit singdiruvchanligi bo'lib, moddaning magnit xossalari xarakterlaydi, u moddaning turiga va uning holatiga (masalan, temperaturasi) bog'liq. Agar vakuumda magnit maydon induktsiyasini B_0 bo'lsa,

($\mu = \frac{B}{B_0}$ nisbatga ko'ra) moddalarda magnit maydon induktsiyasi necha marta ortganligini bildiradi va magnit doimiysi deb yuritiladi. Temperatura oshgan sari moddaning molekulyar magnit momentlarining tartibsiz yo'nalishlari ham ortadi. Natijada magnitlanish kamayib biror bir temperaturada umuman yo'qolishi kuzatiladi. Moddalar magnitlanishining yo'qolishi kuzatilgan temperaturani *Kyuri nuqtasi* deb ataladi.

4.2. Magnetiklar. Gisterezis hodisasi.

Biz yuqorida moddalarning magnitlanishini hamda magnit momenti hosil qilishini kuzatdik. Moddalarning magnit xossalari magnitlanish vektori ($\bar{I}$) va magnit singdiruvchanligi ($\bar{\chi}_m$) kabi kattaliklar bilan xarakterlanadi.

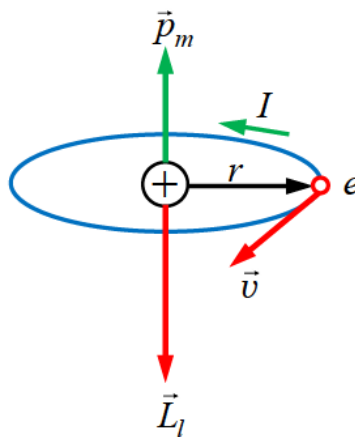
Moddalar magnit singdiruvchanlik katta-kichikligi va ishorasiga qarab uch turga bo'linadilar:

1. $\chi < 0$ $\chi_m = 10^{-11} \div 10^{-10} \text{ } \mathcal{M}^3 / \text{mоль}$ diamagnetiklar
2. $\chi < 0$ $\chi_m = 10^{-10} \div 10^{-9} \text{ } \mathcal{M}^3 / \text{mоль}$ paramagnetiklar
3. $\chi > 0$ $\chi_m = 1 \div 10 \text{ } \mathcal{M}^3 / \text{mоль}$ ferromagnetiklar

Amperning molekulyar toklar nazariyasi, moddalarning magnit xususiyatlarini sifat jihatidan tushuntirishga imkon bersada, uning asl ma'nosi, Rezerfordning α -zarrachalar bilan o'tkazgan tajribasi orqali atom yadro modeli kashf etilgandan so'ng aniq bo'ldi. Elektronlar yadro atrofida uzluksiz harakatda bo'ladi va doiraviy yoki elliptik orbitalar bo'yicha aylanadi, ya'ni o'z xususiy orbitasi bo'yicha harakatlanadi va turli elektron orbitalari turli tekislikda yotadi. Elektronlar faqat zaryadgagina ega bo'lmay, massaga ham ega bo'lganligi sababli u magnit va harakat miqdori momentlariga ega bo'ladi. Elektronlarning har biri birlik vaqt ichida ν - marta aylansa, unda $e\nu$ gat eng molekulyar tokni hosil qiladi. Bu tokning magnit momenti:

$$\overline{P}_m = e\nu \pi r^2 \frac{2}{2} = \frac{e \mathcal{G} r}{2} \quad (4.10)$$

bu yerda $\mathcal{G} = 2\pi\nu r$ - ga teng.



4.4-rasm. Elektronning magnit momenti va tezlik vektori yo'nalishi

$\overline{P}_m = \frac{e v r}{2}$ - elektronning magnit momenti deb yuritiladi. $\overline{P}_m$ -ning

yo'nalishi tok yo'nalishi bilan o'ng vint, tezlik vektori yo'nalishi bilan esa chap vint qoidasiga asosan aniqlanadi (4.4-rasm). Orbita bo'ylab harakatlanayotgan elektron harakat miqdori momenti (impuls momenti):

$$\overline{L}_m = m v r \quad (4.11)$$

ega bo'lib, u tok yo'nalishi bilan chap vint qoidasiga binoan aniqlanadi. 4.4-rasmdan ko'rinadiki elektronning magnit moment va impuls moment yo'nalishlari bir-biriga qarama-qarshi yo'nalgan.

Elementar zarrachalar magnit momentining impuls momentiga nisbatini *giromagnit nisbat* deb yuritiladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{\overline{P}_m}{\overline{L}_m} = -\frac{e}{m}$$

Bu erda $\frac{e}{m}$ - *elektronning solishtirma zaryadi* bo'lib, u $1,76 \cdot 10^{11}$ Kl/kg ga teng.

Eynshteyn va de-Gaazlar tajribada giromagnit doimiyni o'lchashga muvofiq bo'lgan. Tajriba natijalari $\frac{\overline{P}_m}{\overline{L}_m} = -\frac{e}{m}$ nazariy ma'lumotlardan ikki marta ortiq bo'lib chiqqan. Buni elektronni yadro atrofida aylanib, magnit momenti $\overline{P}_m$ - ga ega bo'lishi bilan birga, o'z o'qi atrofida aylanib, xususiy magnit momenti $\overline{P}_{ms}$ - ga ega bo'ladi. Xususiy mexanik va spin momentlari hisobga olinsa, giromagnit nisbat $\frac{e}{m}$ - ga teng bo'lib chiqadi.

Tabiatda nafaqat elektron, balki boshqa qator elementar zarrachalar ham spinga ega. Elementar zarrachalar spini $\hbar$ -ga butun son yoki yarim son marta karrali bo'lib, elementar zaryad kabi impuls momentining tabiiy o'lchov birligidir. Elektron uchun impuls momenti:

$$L_{ms} = \pm \frac{1}{2} \cdot \hbar \quad \hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ j} \cdot \text{sek} \quad (4.12)$$

shu tufayli elektronning spini $S = \pm \frac{1}{2}$ - ga teng bo'ladi. Elektronning spin momenti quyidagi ifoda bilan aniqlandi.

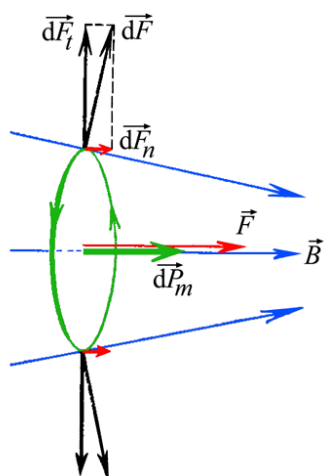
$$\overline{P}_{ms} = -\frac{e}{m} \cdot L_s = -\frac{e\hbar}{2m} \quad (4.13)$$

bilan aniqlanadigan kattalik *Bor magnetoni* deb yuritiladi va μ_B bilan belgilanadi.

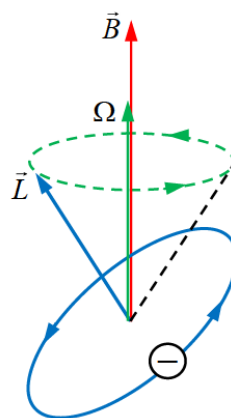
$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} = 0,927 \cdot 10^{-23} \text{ j} / \text{Tl} \quad (4.14)$$

Atom va molekullarning magnit momentlari ularning tarkibiga kirgan zarrachalar - elektron, proton va boshqa zarrachalarning orbital va spin momentlari yig'indisi bilan aniqlanadi.

Ma'lum orbita bo'ylab harakatlanayotgan elektronga tashqi magnit maydon ta'sir qilsa, nima ro'y berishini korib chiqaylik. Tashqi magnit maydon ta'sirida orbitadagi elektronlar juft kuchlar ostida qo'shimcha tekis aylanish oladi, ya'ni presessiyasion harakat qiladi (4.5-rasm). Bunda $\overline{L}_m$ vektor induksiya vektori yo'nalishi atrofida biror Ω burchak tezlik bilan konus chizadi (4.6-rasm). Bunda burchak tezlik vektori induksiya vektori yo'nalishiga parallel yo'naladi.



4.5-rasm. Magnit maydonida yopiq tokka juft kuchlar ta'siri



4.6-rasm. Larmor presessiyasi

Atom elektronlar to'plamidan iborat, shuning uchun magnit va impuls momentlarga ega bo'lib, ular atomning ayrim elektronlari momentlarining vektor yig'indisidan iborat bo'ladi. Tashqi maydon ta'sirida atomlar dastlab presessiyalanadi, keyin esa to'qnashishlar ta'siri ostida maydon yo'nalishida orientasiyalanadi, bunda modda ma'lum yig'indi magnit momentiga ega bo'ladi, ya'ni magnitlanadi.

Tashqi magnit maydoni bo'lmaganda magnit momentlari yig'indisi ($\sum P_{mi} = 0$) nolga teng bo'lgan molekulalardan tashkil topgan moddalar **diamagnetiklar** deyiladi. Diamagnetiklarga Cu, Bi, Sb, Ag, Au, Pb, Zn, H₂O, N₂, Co₂ kiradi.

Diamagnet moddalarning atom molekulalari magnit momenti:

$$P_m = -\frac{e^2 B}{6m} \sum r_i^2 \quad (4.15)$$

Tashqi magnit maydonida diamagnet modda shunday magnitlanish hosil qiladiki, to'la maydon induksiyasi uchun:

$$\overline{B} = \overline{B}_0 - \overline{B}^1 \quad (4.16)$$

o'rinli bo'ladi.

Shunday qilib, diamagnet moddalar magnit maydon induksiyasini susaytiradi.

Tashqi magnit maydoni bo'lmaganda ham noldan farqli magnitlashga ega bo'lgan atom va molekulalardan tashkil topgan moddalar **paramagnetiklar** deyiladi. Paramagnetiklarga Cr, Mn, Pt, Na, K, Al kabilar kiradi.

Paramagnet moddalar uchun magnitlanish vektori:

$$\overline{J} = \frac{n P_m^2 \overline{B}}{3kT} \quad (4.17)$$

Tashqi magnit maydonida paramagnet moddalarning magnitlanish vektori, magnit induksiya vektori bilan mos tushadi va to'la magnit maydon induksiyasi kuchayadi:

$$\overline{B} = \overline{B}_0 + \overline{B}^1 \quad (4.18)$$

Magnit maydondagi har qanday atomning barcha elektronlari Larmor presessiyasiga duch kelgani tufayli barcha moddalarning atomlari diamagnit xossalarni tashuvchilar bo'ladi. Ammo bu modda diamagnetik bo'ladi degan gap emas, chunki atomlar doimiy yig'indi magnit momentiga ega bo'lib, bu ularning paramagnet xossalariga sabab bo'ladi. Agar atomlarning magnit momenti katta bo'lsa, unda paramagnet xossalari diamagnit xossalaridan kuchli bo'ladi va modda paramagnetik bo'ladi. Agar atomlarning magnit momenti kichik bo'lsa, unda diamagnit xossalari kuchli bo'ladi va modda diamagnetik bo'ladi. Jumladan, barcha inert gazlarning atomlari nolga teng to'liq magnit momentiga ega. Shuning uchun, ular diamagnit bo'ladi.

Issiqlik harakati natijasida molekulalar magnit momentlari tartibsiz yo'naladi. Shuning uchun, moddaning magnitlanishi temperaturaning ortishi bilan kamaya borib, ma'lum temperaturada yo'qoladi va bu temperatura *Kyuri nuqtasi* deb yuritiladi.

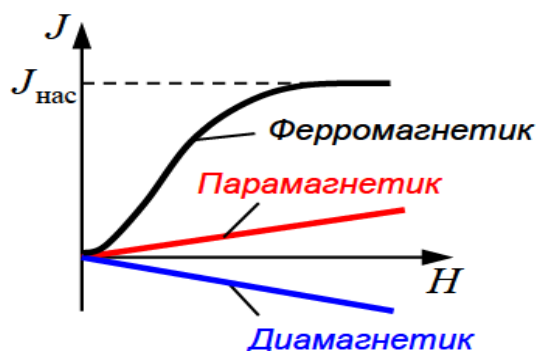
Diamagnetiklarning magnit qabul qiluvchanligi amalda temperaturaga bog'liq bo'lmaydi. Ko'pgina paramagnetiklar uchun magnit qabul qiluvchanlik temperaturaga quyidagicha bog'liq bo'ladi (Kyuri qonuniga muvofiq):

$$\chi_\mu = \frac{C}{T} \quad (4.19)$$

Bu erda C - Kyuri doimiysi deb yuritiladi va u quyidagiga teng bo'ladi.

$$C = \mu_0 \cdot \frac{N_A P_m^2}{3k} \quad (4.20)$$

Paramagnit moddalar magnitlanishi maydon kuchlanganligiga chiziqli bog'liq bo'lib, u to'yinish xarakteriga egadir (4.7-rasm).



4.7-rasm. Moddalar magnitlanishi maydon kuchlanganligiga bog'ligi.

Ferromagnetiklar. Tashqi magnit maydoni bo'lmaganda ham kuchli magnitlanish qobiliyatiga ega bo'lgan molekulalardan tarkib topgan moddalar *ferromagnetiklar* hisoblanadi. Ferromagnitlarga Fe, Co, Ni, Cd, CrTe, Mn Al Cu kiradi.

Ferromagnitlar tashqi magnit maydonda kuchli magnitlanish hosil qilib, quyidagi xossalarga ega:

Birinchidan, odatdagi sharoitda ferromagnit moddalarning magnit kirituvchanligi juda yuqori bo'ladi. Ba'zi ferromagnetiklar kichik magnitlovchi maydon ta'sirida magnitlanib, dastlab noldan juda katta to'yinish qiymatigacha o'zgarishi mumkin.

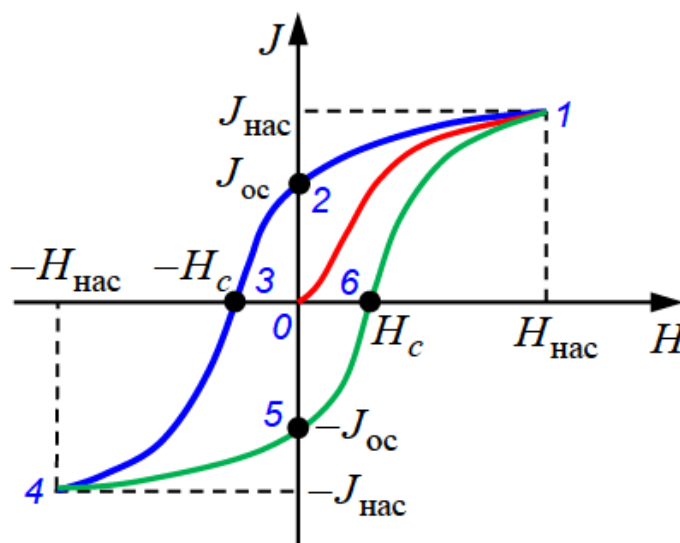
Ikkinchidan, ferromagnit moddalar xossalarini paramagnitlar nazariyasi kabi atomlarning magnit momentlari borligi bilan tushuntirish mumkin emas.

Uchinchidan, giromagnit nisbat kattaligiga bog'liq bo'lib, magnitlanishiga elektronlarning (elektron spinlarning) xususiy magnit momentlarining juda kuchli orientatsiyasi sabab bo'ladi (atomlarning yaxlit magnit momentkarining orientatsiyasi bilan emas).

To'rtinchidan, ferromagnit moddalarda elementar magnit momentlarining kuchli orientatsiyalanishi tashqi magnit maydonga bog'liq bo'lmagani holda ro'y berishidan iborat. Demak, ferromagnit moddalar hech qanday magnit maydonisiz muayyan temperaturada to'yinib magnitlanar ekan.

Moddalarning ferromagnit xususiyati kristallar uchun xos bo'lib, ma'lum sharoitda elektronlarining magnit momentlari o'zaro parallel joylashgan elementar hajm “domenlar” dan tashkil topgan bo'ladi. Tashqi maydon bo'lmaganda domenlar tartibsiz joylashgan bo'lib, magnit xususiyatini namoyon qilmaydi.

Magnitlanish vektori magnit maydon kuchlanganligiga bog'liq holda o'zgarib, u gisterezis hodisasi orqali tushuntiriladi: Magnitlanish dastlab maydon kuchlanganligiga proporsional ravishda chiziqli ortsa to'yinish darajasidan so'ng qoldiq magnitlanishga ega bo'ladi.



4.8-rasm. Magnitlanish vektori bilan magnit maydon kuchlanganligi orasidagi bog'liqlik

Ferromagnit moddalarning magnitlanishi maydon kuchlanganligining chiziqli bo'lmagan funksiyasi bo'lib, paramagnitlarga nisbatan 10^3 marta katta.

Ferromagnit moddalarning magnit qabul qiluvchanligini temperaturaga bog'liqligi ancha murakkab xarakterga ega. Temperatura ortganda ferromagnetiklarning magnitlanish qobiliyati kamayadi. Bunda magnit maydonning har qanday qiymatida ferromagnetiklarning magnit qabul qiluvchanlik va singdiruvchanlik qiymatlari pasayadi, gisterezis susayadi va to'yinish magnitlanishi kamayadi. Ferromagnit moddalar temperaturasi Kyuri temperaturasidan yuqori temperaturalarda ferromagnit xossalari butunlay

yo'qoladi. (Temir uchun Kyuri temperaturasi 768°C kobalt uchun esa 1075°C). Kyuri temperaturasidan ancha yuqori temperaturalarda ferromagnetik paramagnetikka aylanadi.

Gisterezis halqasi har xil ferromagnitlar uchun turlicha bo'lib, *konservativ kuchi* bo'lganlari qattiq ferromagnitlar deyiladi va ulardan doimiy magnitlar yasashda foydalanadi.

Konservativ kuchi kichik bo'lgan moddalar yumshoq ferromagnitlar deyiladi va ulardan transformator o'zaklari yasashda foydalaniladi.

Mavzuni mustaxkamlash uchun savollar

1. Moddalarning magnit hossalari xarakterlovchi kattaliklar magnitlanish vektori, magnit qabul qiluvchanlik va magnit maydon kuchlanganligi orasida qanday bo'g'lanish bor?

2. Moddalarning diamagnetic, paramagnetic va ferromagnetik xususiyatlarini uch sinfga bo'linishining asosiy sababini ko'rsating.

3. Magnitlanish vektori va magnit maydon kuchlanganligi orasidagi bog'lanishni tushuntiring

4. Magnetikning magnit xususiyatini ifodalovchi kattalik, magnit qabul qiluvchanlikni tushuntiring.

5. Muhitning magnit singdiruvchanligi va magnit qabul qiluvchanligi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi formulani keltirib chiqaring.

Masala yechish namunasi

1. Vakumdagi ($\mu = 1$) tokli g'altak ichidagi magnit maydonning induksiyasi $B_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Tl}$ ga teng. agar g'altakka po'lat o'zak kiritilganda induksiyasi $B = 1.2 \text{ Tl}$ gacha ortgan bo'lsa, po'latning shu sharoitdagi nisbiy magnit singdiruvchanligi μ topilsin.

Berilgan: $B_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Tl}$, $B = 1.2 \text{ Tl}$

Topish kerak: $\mu = ?$

Yechish: Muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi deb, muhitdagi magnit maydonning B induksiya vakumdagi B_0 dan necha marta farq qilishini ko'rsatuvchi kattalikka aytiladi, ya'ni:

$$\mu = \frac{B}{B_0} = \frac{1.2 \text{ Tl}}{2 * 10^{-4} \text{ Tl}} = 0.6 * 10^4 = 600$$

Javob: $\mu = 600$

2. Misning nisbiy magnit singdiruvchanligi $\mu_1 = 0.9999991$ ga, platinaniki $\mu_2 = 1.000360$ va po'latniki esa, $\mu_3 = 20 \div 2000$ gacha teng bo'lsa, bu metallarni magnitlarning qaysi sinfiga kiritish mumkin.

Berilgan: $\mu_1 = 0.9999991$, $\mu_2 = 1.000360$, $\mu_3 = 20 \div 2000$

Topish kerak: Magnetiklarning turi topilsin.

Yechish: Nisbiy magnit singdiruvchanligi vakuumdagidan biroz kichik, ya'ni, $\mu < 1$ moddalarga diamagnetiklar, μ birdan biroz kattaroq, ya'ni, $\mu > 1$ moddalarga paramagnetiklar va nihoyat $\mu \gg 1$ moddalarga esa ferromagnit moddalar deyiladi. Binobarin, mis ($\mu_1 = 0.9999991 < 1$) diamagnit, platinana ($\mu_2 = 1.000360 > 1$) paramagnit, po'lat ($\mu_3 = 20 \div 2000 \gg 1$) ferromagnitdir.

Javob: mis diamagnit, platinana paramagnit, po'lat ferromagnetiklar sinfiga kiradi.

3. Tokli solenoidning nikel o'zagining kesim yuzi $S = 20 \text{ sm}^2$ orqali o'tgan magnit induksiya oqimi $\Phi = 1.256 * 10^{-2} \text{ Vb}$ ga teng. Agar solenoid ichidagi bir jinsli magnit maydonning kuchlanganligi $H = 2.5 * 10^4 \text{ A/m}$ ga teng bo'lsa, nikelning shu sharoitdagi nisbiy singdiruvchanligi μ topilsin.

Berilgan: $H = 2.5 * 10^4 \text{ A/m}$, $\Phi = 1.256 * 10^{-2} \text{ Vb}$, $S = 20 \text{ sm}^2$,
 $\mu = 12.56 * 10^{-7} \text{ Gn/m}$

Topish kerak: $\mu = ?$

Yechish: Solenoid o'zagining ko'ndalang kesim yuzi orqali o'tuvchi magnit induksiya oqimi quyidagiga teng

$$\Phi = BS = \mu \mu_0 HS$$

Bunda, B – magnit maydon induksiyasi, H – kuchlanganligi, μ_0 – magnit doimiysi. Oxirgi formuladan solenoid o'zak materialining nisbiy magnit singdiruvchanligi μ ni aniqlab, uning son qiymatini topamiz:

$$\mu = \frac{\Phi}{\mu_0 HS} = \frac{1.256 \cdot 10^{-2}}{12.56 \cdot 10^{-7} \cdot 2.5 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 200$$

Javobi: $\mu = 200$

Mustaqil echish uchun masalalar

1. Temirdan qilingan namuna kuchlanganligi 10 V/m bo'lgan magnit maydonga qo'yilgan. Temirning magnit kirituvchanligi topilsin.
2. Uzunligi 120sm va ko'ndalang kesimining yuzi 3 sm² bo'lgan temir o'zakli solenoidda 42000mks magnit oqimi hosil qilish uchun undagi amper o'ramlar soni qancha bo'lishi kerak?
3. Amper o'ramlar soni 1500 ga teng bo'lgan 20.9sm uzunlikdagi toroidga o'rnatilgan temir o'zakning magnit induksiyasi aniqlansin. Shu sharoitdagi o'zak materialining magnit kirituvchanligi topilsin.
4. Solenoid chulg'ami ko'ndalang kesimi 1mm² N ta sim o'ramidan iborat. Solenoidning uzunligi 25sm va uning qarshiligi 0.2 Om. Solenoidning induktivligi topilsin.
5. Induktivligi 0.001 Gn bo'lgan bir qavatli g'altakdagi sim chulg'amining o'ramlari soni qancha? G'altakning diametric 4 sm, simning diametri 0.6mm, o'ramlar zich joylashgan.

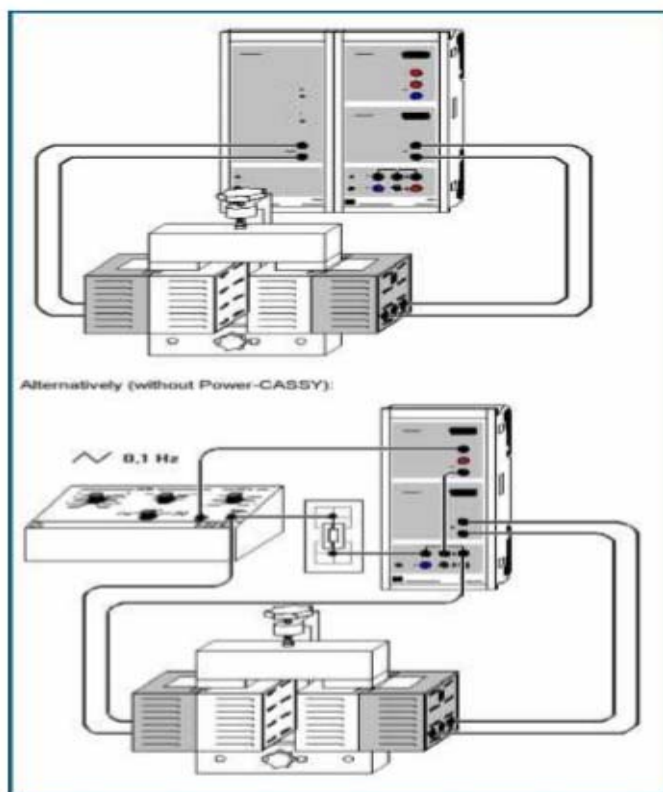
LABORATORIYA ISHI

Mavzu: Ferromagnitning magnitlanish egri chizig'ini va gisterzis halqasini o'lchash

Kerakli asboblari ro'yxati: 1ta Power-CASSY, 1 ta Sensor-CASSY, 1 ta CASSY Lab 2, 1 ta U- ko'rinishli o'zak, 1 ta mahkamlash qurilmasi, 2 ta 500

o'ramli g'altak, 4 ta Ulash kabellari, 100 cm, qora, 1 ta PC with Windows XP/Vista/7/8, Alternativ hol (Power-CASSY siz), 1 ta Sensor-CASSY, 1 ta CASSY Lab 2, 1 ta U-ko'rinishli o'zak, 1 ta mahkamlash qurilmasi, 2 ta 500 o'ramli g'altak, 1 ta FunkSIONal generator S12, 1 ta STE resistor 10, 2 W, 1 ta Pozetkalar doskasi, 1 ta Ulash kabeli, 50 cm, qora, 7 ta Ulash kabellari, 100 cm, qora, 1 ta PC, Windows XP/Vista/7/8.

Misollarni va asboblarni o'rnatish uchun CASSY Lab 2 yordamidan foydalaning.



Transformator o'zagining gisterezisi

Tajribalar bayoni

Transformatorning o'zagidagi (ferromagnitdagi) magnit maydon g'altakdan oqayotgan tok kuchiga va birlamchi g'altakdagi effektiv o'ramlar zichligiga to'g'ri proportsional bo'ladi

$$H = \frac{N_g}{L} \cdot I \quad (1)$$

Ammo hosil bo'ladigan magnit oqimining zichligi yoki magnit induksiyasi H ga to'g'ri chiziqli proportsional bo'lmaydi

$$B = \mu_r \mu_0 H \quad (2)$$

Bu yerda $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

Magnit maydon kuchlanganligi H ning ortishi bilan magnit induksiya B to'yinish qiymatiga erishadi. Nisbiy magnit singdiruvchanlik μ_r ning qiymati magnit maydon kuchlanganligi H dan va ferromagnitning dastlabki magnit holatidan bog'liq bo'ladi. Magnisizlantirilgan ferromagnetikda magnit maydon kuchlanganligi $H = 0 \text{ A/m}$ bo'lganda magnit induksiya $B = 0 \text{ T}$ bo'ladi. Ammo, oddiy hollarda ferromagnit $H = 0 \text{ A/m}$ bo'lganda ham nolga teng bo'lmagan qoldiq magnit oqimi zichligi B ga ega bo'ladi.

Shunday qilib, magnit induksiya B ning maydon kuchlanganligi H ning ortib borgandagi va kamayib borgandagi qiymatlarining funksiyasi sifatida gisterezis halqasi shaklida ifodalash qulay bo'ladi. Gisterezis halqasi butunlay magnitsizlantirilgan materialning $H = 0 \text{ A/m}$ va $B = 0 \text{ T}$ bo'lganda koordinata lar sistemasining 0 nuqtasidan boshlanadigan magnitlanish egri chizig'idan farq qiladi. Bu tajriba misolida H va B lar to'g'ridan to'g'ri (bevosita) o'lchanmagan, balki ularga proporsional bo'lgan kattaliklar, - birlamchi chulg'amdagi tok kuchi $I = (L/N_1) \cdot H$ va ikkilamchi chulg'amdagi magnit oqimi $\Phi = N_2 \cdot A \cdot B$ dan foydalanilgan (N_2 – ikkilamchi chulg'amdagi o'ramlar soni, A – ferromagnit o'zagining ko'ndalang kesimi). Magnit oqimi Φ ikkilamchi chulg'amda induksiylanadigan U kuchlanishning integrali sifatida hisoblab topilgan.

Eksperimental qurilma (chizmaga qarang)

Power– CASSY transformatorning birlamchi chulg'amini tok bilan ta'minlaydi. Φ magnit oqimi ikkilamchi g'ltakda induksiylanadigan va Sensor-CASSY kirishi B da o'lchanadigan U kuchlanish qiymatidan hisoblab topiladi.

Bunga alternative ravishda siz tajribani Power– CASSY dan foydalanmasdan, funksional generator S12 dan foydalanib bajarishingiz mumkin. Bu apparat chastotasi 0.1 Gerts va amplitudasi 2 V bo'lgan

arrasimon signalga ulangan bo'lishi lozim. Magnitlanish egri chizig'ini o'lchash $I = 0$ A da triggerlangan. Bu nuqtaga aniq erishish uchun tok rele yordamida transformator orqali shuntlangan va egri chiziqni o'lchashdan oldin qarshiligi 1 Om bo'lgan rezistordan oqadi.

Tajribalarni bajarish

Qurilmani ishga tushirish:

Agar zarurat bo'lsa offset ni korrektirlang: Setting UB ni oching, "Correct" ni tanlang, dastlabki raqam qiymati "0 V" ni o'rnating va "Correct Offset" ni bosing.

Transformatorning o'zagini magnitsizlantiring.

Tajriba o'tkazishni boshlang -Gisterezis halqasining bir davridan keyin yoki $\Phi = 0$ Vs da o'lchashni to'xtating (bu holda o'zak qayta magnitsizlantirilmasligi mumkin)

Agar gisterezis halqasi ikkinchi va to'rtinchi kvadrantlarda yotgan bo'lsa, ikki g'altakdan birining ulash nuqtalarini qarama– qarshisiga almashtiring.

Agar tajriba o'tkazish davomida grafik displeyda tashqarida bo'lsa, SettingUB dan o'lchash diapozonini kengaytiring.

Hisoblashlar

Gisterezis halqasi B(H) ning yuzasi $\int B \cdot dH = \frac{E}{V}$ magnitsizl antirilgan materialning V hajmida qayta magnitlashdagi energiya isrofiga mos kelganligi uchun $\Phi(I)$ diagrammadagi berk soha

$$\int \Phi dI = \int N_a \cdot A \cdot B \cdot \frac{L}{N_t} dH = \frac{N_2}{N_1} V \int B dH = \frac{N_2}{N_1} E$$

Ifoda bizga $N_1 = N_2$ uchun qayta magnitlanishdagi energiya isrofi E ni aniq beradi. Diagrammada siz gisterezis halqasining "Peak Integration" bo'limidan foydalanib bu energiya isrofini hisoblashingiz mumkin.

5. ELEKTROMAGNIT TO'LOQLAR VA ELEKTROMAGNIT

MAYDON

5.1. Elektromagnit induksiya hodisasining Faradey-Maksvell talqini.

O'tgan asrning 60-yillarida Maksvell elektr va magnit hodisalarining yagona nazariyasini yaratdi. Bu nazariya elektromagnit maydon nazariyasi deb ataladi. Maksvell nazariyasining asosida elektr va magnit maydonlarining o'zaro uzviy bog'lanishda ekanligini ifodalovchi ikkita muhim g'oya yotadi:

1. Vaqt davomida o'zgaruvchi har qanday magnit maydon elektr maydonni yuzaga keltiradi;

2. Vaqt davomida o'zgaruvchi har qanday elektr maydon esa magnit maydonni yuzaga keltiradi.

Birinchi g'oyaning to'g'riligini elektromagnit induksiyasi hodisasi tasdiqlaydi. Bizga ma'lumki, elektromagnit induksiya hodisasiga binoan induksion tok vaqt o'tishi bilan o'zgaradigan magnit maydondagi qo'zg'almas kontur yoki vaqt o'tishi bilan o'zgarmaydigan magnit maydonda harakatlanuvchi konturda hosil bo'ladi, ya'ni induksion EYUK

$$\xi_t = \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \int_S B_w dS = \int \left(\frac{dB}{dt} \right) dS \quad (5.1)$$

bolib, ikkinchidan, maydon kuchlanganlik vektorining sirkulatsiyasiga teng edi:

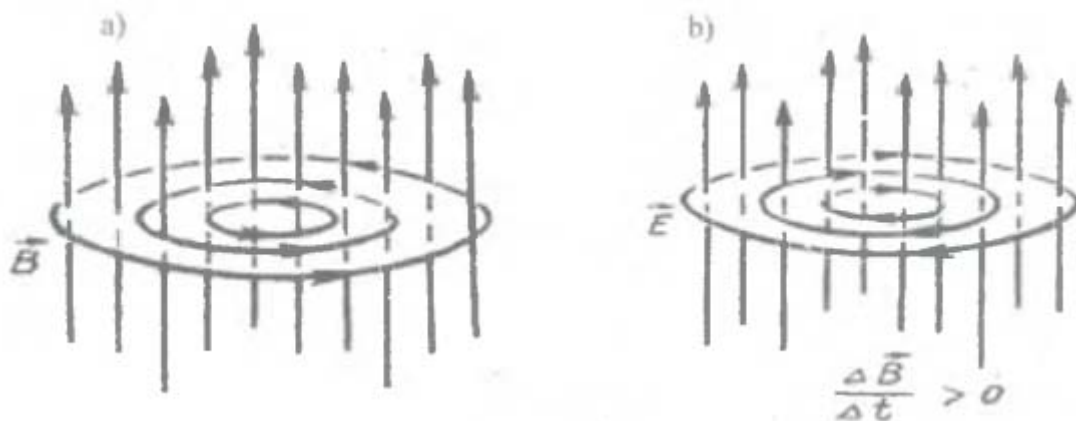
$$\xi_t = \oint_S E_t dl \quad (5.2)$$

(5.1) formuladagi B vaqtga ham, koordinataga ham bogliq. Bu ikkala ifoda ham induksion EYUK ni ifodalagani uchun o'ng tomonlari ham teng:

$$\oint \xi_t dl = \int \left(\frac{dB}{dt} \right) dS \quad (5.3)$$

(5.3) Maksvell elektromagnit nazariyasining asosiy tenglamalaridan biridir. Bundan, magnit maydonining o'zgarishi bilan konturda elektr zaryadlariga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlarni yuzaga kelishi ko'rinadi. Bu tashqi kuchlar konturda ro'y berishi mumkin bo'lgan kimyoviy issiqlik jarayonlari ham, Lorens kuchlari ham bo'lishi mumkin emas. Demak, induksion tok konturida hosil bo'luvchi elektr maydoni tufayli yuzaga keladi hamda qo'zg'almas o'tkazgichdagi elektr

zaryadlarni tartibli harakatga keltiruvchi elektr maydonni bevosita o'zgaruvchi magnit maydon yaratadi, deb ayta olamiz. Biroq, bu elektr maydon biz shu vaqtgacha tilga olib kelgan elektrostatik maydondan farq qiladi. Elektrostatik maydonni elektr zaryadlari hosil qiladi, bu maydon potensial xarakterdagi maydon bo'lib, uning kuchlanganlik chiziqlari zaryaddan boshlanib, zaryadda tugar edi. Magnit maydon o'zgarganda yuzaga keladigan elektr maydon esa magnit maydonning induksiya chiziqlariga o'xshash berk chiziqlardir (5.1.-a va b rasmlar). Bu maydon uyurmaviy elektr maydon deb ataladi. Demak, elektr maydon potensial va uyurmaviy ko'rinishda hosil bo'lar ekan. Maksvellning ikkinchi g'oyasi, ya'ni elektr maydonning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi, magnit maydonni yuzaga keltirishi lozimligi haqidagi fikri ham juda samarali chiqdi.



5.1-rasm. Uyurmaviy elektr maydonning hosil bo'lishi

Bu elektromagnit to'lqinlarning ochilishi, elektr maydonning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi magnit maydonni yuzaga keltirishni tasdiqlovchi asosiy omillardan biridir.

Ularning harakat tenglamasi quyidagicha;

$$\vec{E} = E_0 \sin \omega t \quad \text{va} \quad \vec{H} = H_0 \sin \omega t$$

Bu maydon ma'lum yo'nalishda tarqalayotgani uchun u o'z tarqalish yo'nalishida muhitning navbatdagi nuqtasini ham garmonik tebrantiradi. Uning

harakati 0 nuqtaga nisbatan $\tau = \frac{x}{l}$ vaqtga kechikadi. Bu nuqtaning harakat tenglamasi

$$E = E_0 \sin \left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda} \right) = E_0 \sin (\omega t - kx) \quad (5.4)$$

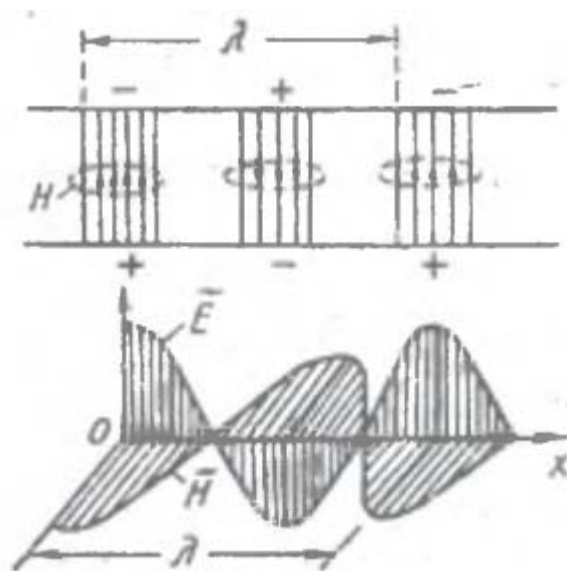
Xuddi shu kabi

$$H = H_0 \sin (\omega t - kx) \quad (5.5)$$

Bu (5.4), (5.5) tenglamalar yassi to'liqin tenglamalaridir. $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – to'liqin soni.

Davriy ravishda o'zgaradigan elektromagnit maydonning fazoda tarqalish jarayoniga elektromagnit to'liqin deyiladi.

Elektromagnit to'liqinda elektr va magnit maydonlarning oniy taqsimlanishi 5.2-rasmda ifodalangan.



5.2-rasm. Elektromagnit to'liqinda elektr va magnit maydonlarning oniy taqsimlanishi

Bulardan ko'rinadiki, elektr va magnit maydonlarning yuqoridagi vaqt bo'yicha o'zgarish qonuniyatlari bir xil ekan, demak, ular bir xil fazadadir.

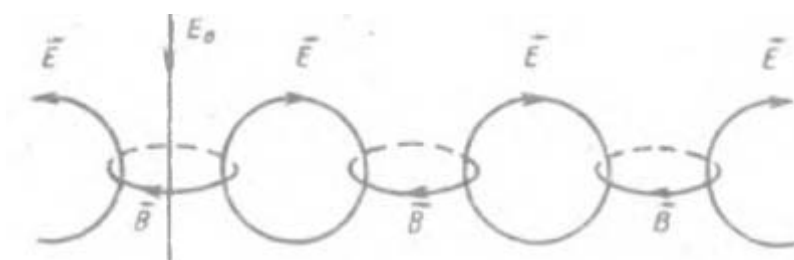
Shunday qilib, Maksvell elektr va magnit maydonlar bir-biriga chambarchas bog'langanligini nazariy yo'l bilan asoslab berdi. Elektr maydon kuchlanganligining o'zgarish tezligi $\frac{dE}{dt}$ qancha katta bo'lsa, bu elektr maydonga dt

bog'liq ravishda vujudga keladigan magnit maydon ham shuncha kuchli bo'ladi. Xuddi shuningdek, magnit maydon induksiyasi vektorining dB o'zgarish tezligi qancha $\frac{dB}{dt}$ katta bo'lsa, magnit maydon bilan bog'liq ravishda hosil bo'lgan elektr maydon ham shuncha kuchli bo'ladi. Bundan o'zaruvchan magnit maydon bilan to'lgan fazo ayni vaqtda o'zgaruvchan elektr maydon bilan ham to'lgan bo'ladi, degan xulosa chiqadi.

Elektr maydon bilan magnit maydon o'rtasidagi o'zaro bog'lanish kashf qilingandan keyin bu maydonlar bir-biridan holi, bir-biridan mustaqil mavjud bo'la olmasligi ayon bo'ldi.

O'zgaruvchan magnit maydon hosil qilinar ekan, ayni bir paytda fazoda o'zgaruvchan elektr maydon hosil bo'lmay iloji yo'q va aksincha, o'zganivchan magnit maydonsiz o'zgaruvchan elektr maydon mavjud bo'la olmaydi. Bu ikkala o'zgaruvchan maydon hamisha bir-biri bilan bog'langan bo'lib, ular birgalikda elektromagnit maydonni tashkil qiladi.

Elektromagnit maydon uyurma xarakterga ega: vujudga keltirayotgan maydonning kuch chiziqlari vujudga kelayotgan maydonning kuch chiziqlari bilan konsentrik o'rab olingan. Natijada o'zaro «o'ralgan» elektr va magnit maydonlar sistemasi hosil bo'ladi (5.3-rasm).



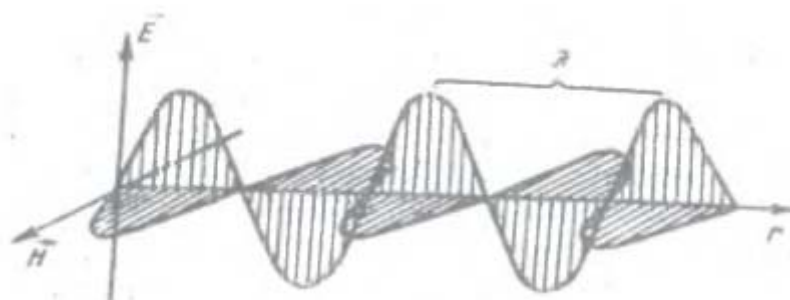
5.3-rasm. Elektr va magnit maydonlar sistemasi

1. Demak, elektr maydonning kuchlanganligi elektromagnit nurlanish yo'nalishiga perpendikulyar tebranadi.
2. Magnit maydonning kuchlanganligi elektromagnit nurlanish yo'nalishiga va elektr maydonmng kuchlanganligiga perpendikulyar tebranadi.

Shunday qilib, E , H va elektromagnit to'lqinlarning tarqalish yo'nalishi o'zaro perpendikulyar.

3. Elektr va magnit maydon kuchlanganliklari bir xil fazada tarqaladi, ya'ni fazoning mazkur nuqtasida bu maydon kuchlanganliklari bir vaqtda ortadi, bir vaqtda kamayadi, hatto nolga ham teng bo'lib qoladi.

Shunday qilib, elektromagnit maydon faza jihatidan moc kelgan ikki to'lqindan iborat ko'ndalang elektromagnit to'lqin — elektr (ya'ni elektr maydon kuchlanganligi to'lqinlari) va magnit (magnit maydon kuchlanganligi to'lqinlari) to'lqinlari ko'rinishida tarqaladi (5.4-rasm).



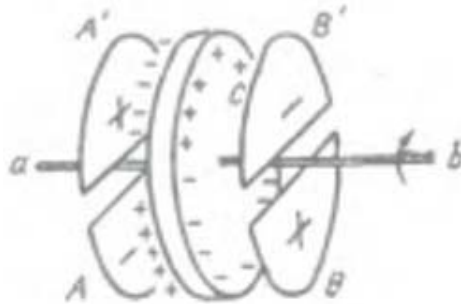
5.4-rasm. Elektromagnit to'lqin tarqalishi

5.2 Siljish toki

0'zgarmas tok zanjirida tok bo'lishi uchun zanjir berk va uning hamma nuqtasida elektr o'tkazuvchanlik bo'lishi kerak. 0'zgaruvchan toklar uchun bu shart bajarilishi shart emas. Elektromagnit induksiya hodisasini qaraganimizda magnit maydon fazoda o'zgarishi bilan uyurmali elektr maydon hosil bo'lishini ko'rgan edik. Maksvell elektr va magnit maydonlar orasida o'zaro teskari bog'lanish, ya'ni elektr maydon kamayishi bilan magnit maydon va aksincha, hosil bo'ladi degan fikrni aytadi. Yuqorida ko'rganimizdek, uyurmali elektr maydon hosil bo'lishi bilan dielektrik yoki vakuumda mavjud bo'lgan kondensatorlar orqali tok o'tadi. Bu tokni Maksvell siljish toki deb atagan.

Siljish tokining hosil bo'lish mexanizmini A.A.Eyxenvald o'tkazgan quyidagi tajriba asosida tushuntirish mumkin. U dielektrikdan yasalgan S diskni

uning markazidan o'nga tik ravishda o'tkazilgan a va b o'q atrofida, 5.5- rasmda ko'rsatilgandek qarama-qarshi ishorali zaryadlar bilan zaryadlangan A, A', B, B' yarim disklar orasida aylanma harakat qiladi. U vaqtda A' va B' yarim disklar orasida elektr maydon o'ngdan chapga yo'nalgan bo'ladi.

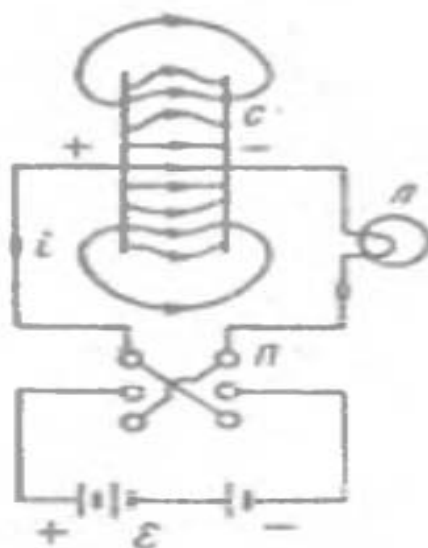


5.5-rasm. Siljish tokining hosil bo'lishi

Rasmda ko'rsatilgan yo'nalishda a va b o'q atrofida S disk aylantirilganda diskning a va b o'qdan o'tishida S diskning yuqori qismini chap tomoni manfiy, o'ng tomoni musbat, o'qdan pastki tomondagi diskning o'ng tomoni musbat va chap tomoni manfiy zaryad bilan zaryadlanib a va b o'q tekisligidan o'tishda S diskdagi manfiy zaryadlar o'ngdan chapga, musbat zaryadlar esa chapdan o'ngga harakatlanib, dielektrik molekulalaridagi zaryadlar siljishini hosil qiladi, bu esa o'z navbatida chapdan o'ngga oquvchi siljish tokini hosil qiladi.

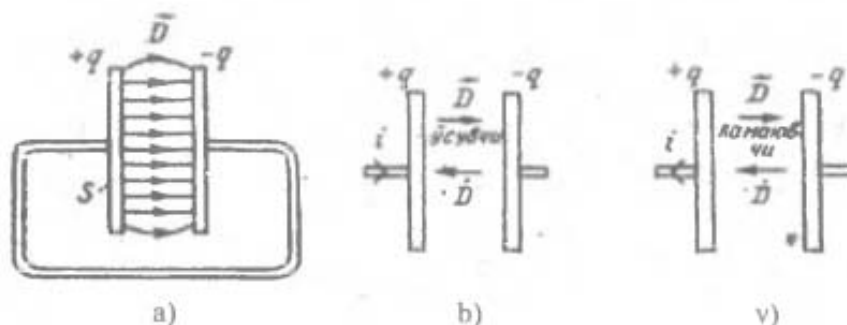
A.A.Eyxenvald siljish toki ham magnit maydon hosil qilishini tajribada aniqlagan. Siljish toki o'zgaruvchan tok zanjiridagi kondensatorda ham hosil bo'ladi. Buning uchun quyidagi 5.6-rasmda ko'rsatilgan sxemaning ishlash prinsipi bilan tanishib chiqaylik.

Zanjirda manba (E), qayta ulagich (Π), zanjirda tok bor-yo'q ekanligini kuzatish lampochkasi (L) va kondensator (C) mavjud. Birinchi navbatda zanjirga doimiy tok manbaini qancha vaqt ulab qo'ysak ham lampochka yonmaydi. Chunki, kondensator bo'lganligi uchun zanjir berk emas. Ikkinchi navbatda qayta ulagich yordamida tok yo'nalishini o'zgartirib turamiz. Bu vaqtda zanjirda o'zgaruvchan elektr va magnit maydonlar hosil bo'ladi.



5.6-rasm. Siljish tokining hosil bo'lish mexanizmi

Qayta ulagichni ulaganimizda o'tkazgichlardan qisqa vaqt tok o'tib, kondensator zaryadlanadi va qoplamalar orasida elektr maydon induksiya vektori mavjud bo'ladi (5.7-a rasm).



5.7-rasm. O'tkazuvchanlik va siljish toki zichligi vektoriarining yo'nalishi

Kondensator zaryadlanib bo'lgandan so'ng qayta ulagichni ikkinchi tomonga ulasak, kondensator qayta zaryadlanib o'tkazgich orqali yana qisqa muddat oldingiga teskari yo'nalishda tok o'tadi. Qayta ulagichni har safar ulaganimizda o'tkazgichda impuls hosil bo'lib, qisqa muddatda lampochka yonadi. Zanjirni o'zgaruvchan tok manbaiga ulasak, lampochkaning yonib-o'chishi sezilmay qoladi. Demak, o'zgarmas tok o'tmagan zanjirdan o'zgaruvchan tok o'tayapti. Chunki, konturni har bir uzilishida kondensator qoplamalari orasida vaqt

bo'yicha o'zgaruvchi elektr maydon yoki siljish toki hosil bo'ladi. Shunday qilib, metall simdagi o'tkazuvchanlik toki dielektrikdagi siljish toki bilan ulanib ketadi. Kondensator qoplamalari yaqinida o'tkazuvchanlik tok zichligi

$$j = \frac{I}{S} = \frac{d\sigma}{dt} \quad (5.6)$$

bo'ladi. $\sigma = \frac{q}{S}$ - zaryadning sirt zichligi.

Siljish toki chiziqlari ham o'tkazuvchanlik toki muhitlari kabi bo'lishi uchun siljish tokining zichligi $j = \sigma$ bo'lishi kerak. Haqiqatda dielektrikdagi

$D = \epsilon_1 E = \sigma$ undan $D = \sigma$ ni (5.6) bilan taqqoslasak.

$$j_e = D \quad (5.7)$$

5.7-a rasmdan ko'rinadiki, o'tkazuvchanlik va siljish toki zichligi vektorlarining yo'nalishi elektr maydon induksiya vektori bilan moc tushadi. 5.7-b rasmdan ko'rinadiki, zaryad ishoralari va o'tkazuvchanlik toki va uning zichlik vektorlari chapdan o'ngga yo'nalgan. Demak, induksiya vektorining ortishi va uning yo'nalishi ham o'tkazuvchanlik toki zichligi j vektori bilan moc tushadi. 5.7-v rasmdan ko'rinadiki, tok yo'nalishining o'zgarishi bilan induksiya vektori miqdor jihatidan kamayadi. Shunday qilib, D vektor o'tkazuvchanlik tok zichligi yo'nalishida o'ngdan chapga qarab yo'nalgan. Bunga asosan (5.7) ni vektor tarzida yozishimiz mumkin:

$$\vec{j}_e = \vec{D} \quad (5.8)$$

Siljish toki o'zgaruvchan bo'lganligi uchun u o'z atrofida magnit maydon hosil qiladi. Zanjirdan o'tayotgan umumiy tokning zichligi siljish va o'tkazuvchanlik toki zichliklarining yig'indisiga teng:

$$\vec{j} = \vec{j}_y + \vec{j}_e = \vec{j}_y + \frac{d\vec{D}}{dt} \quad (5.9)$$

(5.9) dan tokni yaxshi o'tkazuvchi (metallar) moddalarda va kichik chastotada siljish toki zichligining vektori hisobga olinmasdan, o'tkazuvchanlik toki zichligi vektori katta bo'lib, umumiy tok zichligini o'tkazuvchanlik toki zichligidan iborat deb qarash mumkin. Elektrni yomon o'tkazuvchi muhitda va

yuqori chastotada siljish toki asosiy rolni o'ynaydi. Bulardan ko'rinadiki, siljish toki mavjud bo'lishi uchun o'zgaruvchan elektr maydon hosil bo'lishi kerak, siljish toki bo'lsa, o'zgaruvchan magnit maydon hosil bo'ladi. Demak, o'zgaruvchan elektr va magnit maydonlar har doim uzviy ravishda bir-birlarini hosil qiladi. Bular fazoda tarqalib, elektromagnit to'lqinni hosil qiladi.

5.3. Maksvell tenglamalari

Siljish tokining ochilishi elektr va magnit hodisalarini ifodalashning yagona nazariyasining Maksvell tomonidan yaratilishiga imkon beradi va bu asosda elektromagnit hodisalarni bildiruvchi tenglamalar sistemasini ifodaladi.

1. Faradeyning elektromagnit induksiya qonuni: vaqt bo'yicha o'zgaruvchi magnit maydon o'z atrofida uyurmali elektr maydonni hosil qiladi:

$$\oint \vec{E} d\vec{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} d\vec{S} \quad (5.10)$$

2. Ixtiyoriy yopiq sirtidan o'tuvchi magnit oqimi har doim nolga teng:

$$\int_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad (5.11)$$

Bundan ko'rinadiki, magnit maydon induksiya vektori uyurmali xarakterdadir (ya'ni magnit zaryad mavjud emas). (5.10) va (5.11) Maksvell tenglamalarining birinchi jufti integral ifodasidir.

1. To'la tok qonunining umumlashgani (Amper — Maksvell qonuni): ixtiyoriy kontur bo'yicha olingan magnit maydon kuchlanganlik aylanishi (sirkulatsiyasi) shu kontur bilan chegaralangan ixtiyoriy yuzani kesib o'tuvchi to'la tokka (siljish va o'tkazuvchanlik toklari) teng:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = \int (\vec{J}_y + \vec{J}_e) d\vec{S} = \int (\vec{J}_y + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) d\vec{S} \quad (5.12)$$

Ikkinchidan, bu ifoda tok elementi tushunchasidan foydalanib, magnit maydon kuchlanganligini hisoblovchi Bio-Savar-Laplas qonunidir. (5.12) tenglama o'tkazuvchanlik va siljish loklarining o'zaro hamda ular hosil qiladigan magnit maydon bilan bog'lanishini ifodalaydi.

2. Oslogradskiy — Gauss teoremasi: Ixtiyoriy berk sirtidan o'tuvchi elektr maydon induksiya vektorining oqimi shu sirt ichida mavjud bo'lgan elektr zaryadlarning algebraik yig'indisiga teng:

$$\int_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_{k=1}^n q_k = \int_V \rho dV \quad (5.13)$$

Bunda $\rho = \frac{q}{V}$ zaryadning hajmiy zichligi.

(5.13) dan ko'rinadiki, sirtidan tashqaridagi zaryadlar oqimga ta'sir etmaydi. Elektr maydon induksiya vektor chizig'i zaryaddan boshlanib zaryadda tamom bo'lishi mumkinligini ifodalaydi. (5.12) va (5.13) Maksvell tenglamalarining ikkinchi jufti integral ifodasidir. Muhitning xossasi yoki elektr maydon va magnit maydon kuchlanganliklarining sakrab o'zgarishiga sabab bo'lgan sirtlarda uzilish mavjud bo'lganda Maksvell tenglamalarini integral ko'rinishidan foydalaniladi.

Ko'p hollarda fazoning ixtiyoriy nuqtasidagi elektromagnit maydonni ifodalash uchun (5.10)—(5.13) Maksvell tenglamalarini differensial ko'rinishidan foydalaniladi:

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (5.14)$$

$$\text{div} \vec{B} = 0 \quad (5.15)$$

Bu Maksvell tenglamalarining birinchi juftini differensial ko'rinishi. (5.14) dan aytishimiz mumkinki, o'zgaruvchan magnit maydon o'zini o'rab turuvchi muhitda emas, hatto vakuumda ham uyurmali elektr maydonni hosil qiladi. Bu o'z navbatida dielektrik yoki vakuumda siljish tokini hosil qiladi. Siljish toki esa o'zgaruvchan magnit maydonni hosil qiladi va shu kabi takrorlanaveradi. Bu birinchi juft Maksvell tenglamalarining fizik mazmunidir.

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \vec{D} \quad (5.16)$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho \quad (5.17)$$

bunda, $\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$

Bu Maksvell tenglamalarining ikkinchi juftining differensial ko'rinishi. Maksvell tenglamalaridan ko'rinadiki, elektr maydonning manbayi elektr

zaryadlari yoki vaqt bo'yicha o'zgaruvchi magnit maydon. Magnit maydonni esa harakatdagi elektr zaryadlari (elektr toki) yoki vaqt bo'yicha o'zgaruvchi elektr maydon hosil qiladi.

5.4. Erkin fazodagi elektromagnit maydon uchun to'lqin tenglamasi

Yuqoridagi paragraflarda ko'rdikki, o'zgaruvchan elektr maydon magnit maydonni va aksincha, o'zgaruvchan magnit maydon elektr maydonni hosil qilib, o'zgaruvchan maydonlarning hosil bo'lishidan elektromagnit maydon hosil bo'ladi va uning tarqalishi natijasida elektromagnit to'lqin sodir bo'ladi. Endi Maksvell tenglamalar sistemasidan foydalanib to'lqin harakat tenglamasini keltirib chiqaraylik. Maksvell tenglamasini bir jinsli neytral tok o'tkazmaydigan muhit uchun yozaylik:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &= \mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{B} &= \mu\mu_0 \operatorname{div} \vec{H} \operatorname{div} \vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \operatorname{div} \vec{E}\end{aligned}\quad (5.18)$$

Bu ifodalarning boshqa ko'rinishi

$$\begin{aligned}\operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \operatorname{div} \vec{D} = \rho \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \operatorname{div} \vec{B} = 0\end{aligned}\quad (5.19)$$

ekanligi bilan taqqoslasak,

$$\begin{aligned}\operatorname{rot} \vec{E} &= -\mu\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \operatorname{div} \vec{H} = 0 \\ \operatorname{rot} \vec{H} &= \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \operatorname{div} \vec{E} = 0\end{aligned}\quad (5.20)$$

Bu ifodalardagi *rot* belgisi differensiyalash koordinatalar bo'yicha bo'lishini ifodalaydi. U vaqtda

$$\operatorname{rot}(\operatorname{rot} \vec{E}) = -\mu\mu_0 \operatorname{rot} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

bo'lib, $\text{rot} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} (\text{rot} \vec{H})$ bilan solishtirsak va (5.20) ni hisobga olsak,

$$\text{rot}(\text{rot} \vec{E}) = -\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0 \text{rot} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (5.21)$$

Xuddi shu kabi

$$\text{rot}(\text{rot} \vec{H}) = -\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0 \text{rot} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (5.22)$$

hosil bo'ladi.

Ammo rot va grad larning o'zaro quyidagicha bog'lanishini hisobga olsak,

$$\text{rot} \text{rot} \vec{E} = \text{grad} \text{div} \vec{E} - \Delta \vec{E}$$

hosil bo'ladi. Bu ifodada orttimia emas, balki koordinatalar bo'yicha olingan ikkinchi tartibli xususiy differensial

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

(5.20) va (5.21) ni nazarda tutsak, bu hosil bo'lgan ifoda

$$\Delta E - \epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

Shunday qilib, (5.21) va (5.22) tenglamalar koordinata shaklda E vektor uchun (5.21) tenglama quyidagi shaklda yoziladi:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} - \frac{1}{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0} \Delta E_x = 0 \\ \frac{\partial^2 E_y}{\partial t^2} - \frac{1}{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0} \Delta E_y = 0 \\ \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} - \frac{1}{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0} \Delta E_z = 0 \end{cases} \quad (5.23)$$

xuddi shuningdek, vektor uchun (5.22) tenglama quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 H_x}{\partial t^2} - \frac{1}{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0} \Delta H_x = 0 \\ \frac{\partial^2 H_y}{\partial t^2} - \frac{1}{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0} \Delta H_y = 0 \\ \frac{\partial^2 H_z}{\partial t^2} - \frac{1}{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0} \Delta H_z = 0 \end{cases} \quad (5.24)$$

umumiy holda (5.21) va (5.22) tenglamalarning yechimlari quyidagicha boiadi;

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_1 \left\{ t - \frac{\vec{r}, \vec{n}}{u} \right\} + \vec{E}_2 \left\{ t + \frac{\vec{r}, \vec{n}}{u} \right\} \\ \vec{H} &= \vec{H}_1 \left\{ t - \frac{\vec{r}, \vec{n}}{u} \right\} + \vec{H}_2 \left\{ t + \frac{\vec{r}, \vec{n}}{u} \right\}\end{aligned}\quad (5.25)$$

Yassi to'liqin bo'lganda $\vec{E}$ vektoring yo'nalishini z o'qi bo'ylab, $\vec{H}$ vektoring yo'nalishini y o'qi bo'ylab yo'nalgan deb tanlab olsak, to'liqin tarqalish yo'nalishi $\vec{n}$ ni x o'qi bo'ylab olish qulay bo'ladi. U holda

$$\cos\alpha = 1, \cos\beta = \cos\gamma = 0$$

bo'lganligi uchun $\vec{r}, \vec{n} = x$. Bundan

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_0 \sin\omega \left(t - \frac{x}{u} \right) \\ \vec{H} &= \vec{H}_0 \sin\omega \left(t - \frac{x}{u} \right)\end{aligned}\quad (5.26)$$

$\vec{E}_0$ va $\vec{H}_0$ lar $\vec{E}$ vektor va $\vec{H}$ vektorlarning amplituda qiymatlaridir.

Yozilgan yechimlar (5.23) va (5.24) tenglamalarni qanoatlantirish uchun yechimlardagi u tezlik tenglamalardagi doimiylar bilan quyidagicha bog'liq bo'lishi kerak:

$$u^2 = \frac{1}{\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0}$$

yana quyidagi belgilashlar kiritamiz:

$$\begin{aligned}c^2 &= \frac{1}{\epsilon_0\mu_0} \\ n^2 &= \epsilon\mu\end{aligned}$$

Ular orasidagi bog'lanish quyidagicha bo'ladi:

$$u = \frac{c}{n}$$

sonlarni qo'ysak:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

yorug'likni bo'shliqdagi tezligini topamiz. $u = \frac{c}{n}$ - yorug'likni muhitdagi tezligidir.

Demak, muhitning optik xossalari uning elektr (ϵ) va magnit (μ) xarakteristikalari bilan bog'liq ekan. Elektromagnit to'lqinlarni o'rganib elektromagnitizm va optika orasidagi uzviy bog'lanishni aniqlab berdi, yorug'lik nurlari elektromagnit to'lqinligini ko'rsatib berdi.

5.5. Elektromagnit to'lqin energiyasi. Umov - Poynting vektori.

Elektromagnit maydonning mavjudligi, elektromagnit to'lqinlarning mavjudligi va elektr hamda magnit maydon kuchlanganliklarining fazoda tarqalishidan hosil bo'lishini yuqorida ko'rib o'tdik. Elektr va magnit maydon kuchlanganliklarining tarqalish tenglamasi

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega \left(t - \frac{x}{u} \right)$$

$$\vec{H} = \vec{H}_0 \sin \omega \left(t - \frac{x}{u} \right)$$

va to'lqin tenglamasi

$$\frac{\partial E}{\partial x} = -\mu\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t}$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\epsilon\epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

bo'lib tarqalish tezligi (5.26) dan iborat edi. Bu tenglamalardan foydalansak,

$$E_0 \sqrt{\epsilon\epsilon_0} = H_0 \sqrt{\mu\mu_0} \quad (5.27)$$

ifoda hosil boiadi.

Elektr va magnit maydonlari mavjud bo'lganda bu maydonlarning hajmiy energiya zichliklari

$$\omega_e = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} \quad \text{va} \quad \omega_m = \mu\mu_0 \frac{H^2}{2} \quad (5.28)$$

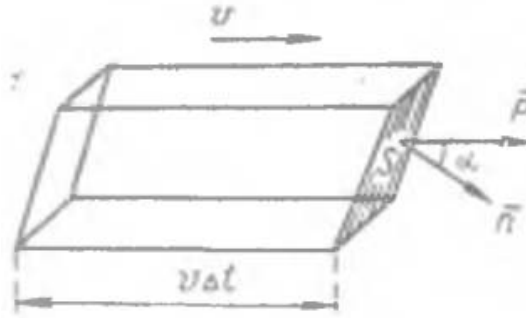
Elektromagnit to'lqinning energiya zichligi esa bu energiyalarning yig'indisidan iboratdir

$$\omega = \omega_e + \omega_m = \frac{1}{2} (\epsilon\epsilon_0 E^2 + \mu\mu_0 H^2) \quad (5.29)$$

(5.27) va (5.28) ni e'tiborga olsak, (5.29) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\omega = \frac{1}{u}EH \quad (5.30)$$

Elektromagnit to'lqin maydoni o'zi bilan biiga energiya olib o'tadi. Buning uchun Δt vaqtda ΔS yuzadan olib o'tilgan eneigiya hisoblaylik. Elektromagnit to'lqin asos yuzi ΔS ga teng bo'lgan parallelopiped qirralariga parallel ravishda u tezlik bilan harakatlanayotgan parallelopiped uzunligi $l=u\Delta t$ bo'lsin. U vaqtda eneigiya o'tayotgan parallelopiped hajmi (5.8 -rasm).



5.8 –rasm. Energiya o'tayotgan parallelepiped

$$\Delta V = \Delta S u \Delta t \cos \alpha$$

α – ΔS yuzaga o'tkazilgan normal bilan tezlik orasidagi burchak. Olib o'tilayotgan energiya:

$$\Delta W = \omega \Delta V = \omega \Delta S u \Delta t \cos \alpha \quad (5.31)$$

(5.30) ni o'rniga qo'ysak, bu ifoda quyidagi ko'rinishga keladi

$$\Delta W = \frac{1}{u} E H \Delta S u \Delta t \cos \alpha = E H \Delta S \Delta t \cos \alpha \quad (5.32)$$

Bu Δt vaqtda o'tayotgan energiyadir. Vaqt birligidagi energiyani hisoblasak,

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\Delta W}{\Delta t} = E H \Delta S \cos \alpha \quad (5.33)$$

Yuza birligidan unga tik ravishda vaqt birligida o'tuvchi energiyaga elektromagnit to'lqin energiyasining oqimi zichligi deyiladi:

$$\vec{p} = [\vec{E} \vec{H}] = [\omega \vec{n}] \quad (5.34)$$

Bu uchchala kattalik — elektr maydon kuchlanganlik vektori, magnit maydon kuchlanganlik vektori va energiya oqimi o'zaro perpendikulyar

joylashgan. Chunki energiya oqimi tezlik yo'nalishida yo'nalgan bo'ladi. (5.34)
Umov-Poynting vektori deyiladi.

(5.34) e'tiborga olsak, (5.35) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = p_n \Delta S \quad (5.35)$$

p_n — energiya oqimi zichligining normal bo'yicha tashkil etuvchisi.

Tarqalayotgan elektromagnit to'lqinning intensivligini aniqlash uchun yassi elektromagnit to'lqinni tashkil etuvchi elektr maydon kuchlanganligi va magnit maydon kuchlanganliklarining oniy qiymatlari.

$$E = E_0 \sin \omega \left(t - \frac{R}{u} \right) \quad \text{va} \quad H = H_0 \sin \omega \left(t - \frac{R}{u} \right) \quad (5.36)$$

dan foydalanamiz. U vaqtda Umov-Poynting vektori modulining oniy qiymati quyidagicha ifodalanadi.

$$p = E_0 H_0 \sin^2 \omega \left(t - \frac{R}{u} \right) \quad (5.37)$$

Amalda energiyaning oniy qiymati emas, balki bir davrdagi o'rtacha qiymatidan foydalaniladi. Bir davrda $\sin^2 \omega \left(t - \frac{R}{u} \right) = \frac{1}{2}$ va (5.33) ni hisobga olsak, vakuum uchun energiya oqimining zichligining o'rtacha qiymati elektromagnit to'lqinning intensivligini ifodalab, (5.37) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$I = \langle P \rangle = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_0^2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} H_0^2 \quad (5.38)$$

Demak, elektromagnit to'lqinning intensivligi ixtiyoriy nuqtada olingan elektromagnit to'lqinni ixtiyoriy tashkil etuvchilarining (E_0, H_0) kvadratiga to'g'ri proporsional bo'lar ekan.

Bu fikrlarni doimiy tok orqali olib o'tiladigan energiyalarga ham tatbiq etishimiz mumkin. Ma'lumki, Om qonunining differensial ifodasi $E = j\rho$, bunda ρ — solishtirma qarshihk, j - tok zichligi. Radiusi R bo'lgan silindr sirtida o'ng vint qonuni bo'yicha yo'nalgan magnit maydon kuchlanganligi $H = \frac{I}{2\pi R}$. U vaqtda Umov-Poynting vektori radius bo'yicha silindr ichiga qarab yo'nalgan bo'ladi va yuqoridagilarni hisobga olsak, quyidagicha ifodalanadi:

$$P = EH = j\rho \frac{I}{2\pi R} = \frac{1}{2}\rho j^2 R \quad \text{bunda} \quad j = \frac{I}{\pi R^2}$$

Vaqt birligida uzunligi l bo'lgan silindr yon sirtlaridan kirayotgan energiya

$$W = \rho S = 2\pi \rho l R = \rho j^2 R^2 l = QV,$$

bundagi $Q = \rho j^2$ – hajm birligidan ajralayotgan Joule-Lens issiqligidir. Demak, o'tkazgichning yon sirti orqali elektromagnit energiya kirar ekan.

Mavzuni mustahkamlash uchun savollar

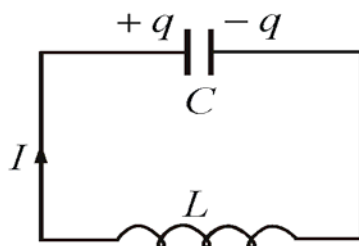
1. O'z tajribalariga asosan, Faradey induksion tokning qiymatini qanday aniqladi?
2. Lens induksion tokning yo'nalishini qanday tajriba asosida aniqladi?
3. Induksion EYuK hosil bo'lishini energiyani saqlanish qonuniga asosan tushuntiring.
4. O'z induksiya va o'zaro induksiya hodisasi deganda nimani tushunasiz, o'zinduksiya EYuK ifodasini keltirib chiqaring?
5. Magnit maydon energiyasi va energiya zichligi ifodasini yozing.

6. ELEKTROMAGNIT TEBRANISHLAR VA TO'LQINLAR

6.1. Tebranish konturidagi fizik jarayonlar.

Elektr kattaliklari zaryad miqdori, tok kuchi, kuchlanish shuningdek elektr va magnit maydon energiyasining vaqt o'tishi bilan davriy o'zgarishidan iborat jarayon *elektr tebranishlar* deb ataladi.

Elektr tebranishlari tebranish konturi deb ataladigan induktiv g'altak (L)- va kondensator (C)- dan iborat zanjirda kuzatiladi: (6.1-rasm). Kondensatorni zaryadlasak, energiyasi



6.1-rasm. Tebranish konturi

$$W_c = \frac{q^2}{2C} \quad (6.1)$$

bo'lgan maydon hosil bo'ladi, zaryad ko'chib, g'altakda tok vujudga keladi. Bu tokning magnit maydon energiyasi

$$W_m = \frac{LI^2}{2} \quad (6.2)$$

Ideal zanjir qarshiligi nolga teng bo'lganligi sababli elektr va magnit maydon energiyasi yig'indisidan iborat to'la energiya o'zgarmasdan saqlanadi:

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \text{const} \quad (6.3)$$

Kondensator energiyasi nolga tenglashganda, g'altakdagi magnit maydon energiyasi, shuningdek tok ham eng katta qiymatga erishadi. So'ngra tok kamaya borib, qoplamadagi zaryad miqdori boshlang'ich qiymatni qabul qilganda, tok kuchi va magnit maydon energiyasi ham nolga tenglashib, elektr maydon energiyasi eng katta qiymatga erishadi. Shunday qilib, elektr va magnit

maydonlarining davriy takrorlanishi kuzatiladi: erkin elektr tebranishlari vujudga keladi.

Tok manbaiga ulanmagan kontur uchun Kirxgof qonuni:

$$L \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C} = 0 \quad (6.4)$$

(6.4) ifodaning har ikkala tomonini L -ga bo'lib, $L = \frac{dI}{dt} = \dot{q}$ deb belgilab,

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC} q = 0 \quad (6.5)$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC} \quad (6.6)$$

(6.5) va (6.6) ni hisobga olib

$$\ddot{q} + \omega_0^2 q = 0 \quad (6.7)$$

(6.7) erkin elektr tebranishlarining differensial tenglamasi deb yuritiladi.

Bu tenglamaning yechimi quyidagi ko'rinishda bo'lib, u elektr tebranishlarining parametrik tenglamasi deb ataladi:

$$q = q_0 \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (6.8)$$

Shunday qilib kondensator qoplamalarida zaryad miqdori, elektr va magnit maydonlari davriy qonun bo'yicha ma'lum chastota bilan o'zgaradi:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (6.9)$$

(6.6) va (6.9) lardan

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (6.10)$$

yuzaga keladi (6.10) erkin elektr tebranishlarining davrini ifodalab, *Tomson formulasi* deyiladi.

Kondensator qoplamalaridagi kuchlanish:

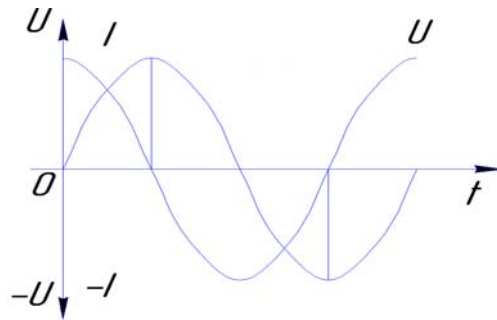
$$U = \frac{1}{C} \cdot q = \frac{q_0}{C} \cos(\omega t + \alpha_0) = U_0 \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (6.11)$$

bu yerda $U_0 = q/C$.

(6.8) vaqt boyicha differensiallab, tok kuchi uchun (6.12) ni yozamiz:

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_0 \sin(\omega_0 t + \alpha) = I_0 \cos(\omega_0 t + \alpha_0 - \frac{\pi}{2})$$

(6.8) va (6.12) larni taqqoslash natijasida, kondensatordagi tok kuchi kuchlanish fazasidan $\pi/2$ -qadar oldinda yurishini kuzatish mumkin. (6.2-rasm).



6.2-rasm. Tok kuchi va kuchlanishning vaqtga bog'liqlik grafigi

6.2. So`nuvchi elektr tebranishlar.

Har qanday real kontur aktiv qarshilikka ega. Energiya qarshilikda issiqlikka aylanishi tufayli tebranishlar sekin-asta so'nadi. Tashqi E.Yu.K. manbaiga ulanmagan konturda uning elementlaridagi kuchlanishlar yig'indisi nolga teng:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{q}{c} = 0 \quad (6.13)$$

(6.13) ni L ga bo'lib va quyidagi belgilashlarni kiritib:

$$I = \dot{q} \quad \frac{dI}{dt} = \ddot{q}$$

$$\ddot{q} + \frac{R}{L} \dot{q} + \frac{1}{LC} q = 0 \quad (6.14)$$

ko'rinishdagi ifodani hosil qilamiz.

(6.14) ga $\beta = \frac{R}{2L}$; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ almashtirishlar kiritib,

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = 0 \quad (6.15)$$

6.15) so`nuvchi elektr tebranishlarning differensial tenglamasi deb yuritiladi.

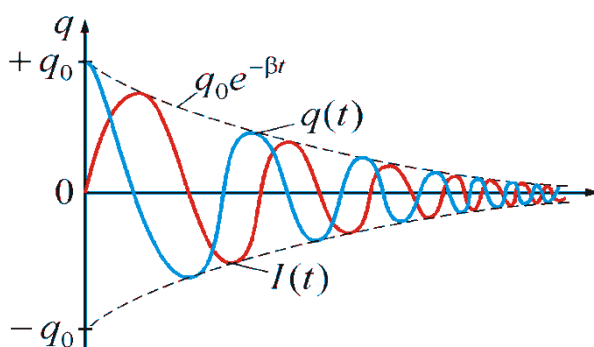
Bu tenglamaning yechimi

$$\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC} \quad (6.16)$$

shart bajarilganda quyidagi ko`rinishda bo`ladi:

$$q = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (6.17)$$

(6.17) dan ko`rinadiki, vaqt o`tishi bilan kondensator qoplamasidagi zaryad miqdori *eksponensial* qonun bo`yicha kamayadi. (6.3-rasm)



6.3-rasm. Vaqt o`tishi bilan kondensator qoplamasidagi zaryad miqdori eksponensial qonun bo`yicha kamayishi

Tebranishlarning so`nishi so`nishning logarifmik dekrementi orqali xarakterlanadi.

$$\lambda = Ln \frac{a(t)}{a(t+T)} = \beta T ; \quad \lambda = \frac{1}{N_e} \quad (6.18)$$

bu yerda, N_e - amplitudaning e-marta kamayishidagi tebranishlar soni.

So`nishning logarifmik dekrementiga teskari proporsional bo`lgan kattalik konturning aslligi deb yuritiladi:

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N_e \quad (6.19)$$

(6.18) ni hisobga olib:

$$Q = \frac{\pi}{\beta T} = \frac{2\pi}{2\beta T} = \frac{\omega}{2\beta} \quad (6.20)$$

Agar $\beta^2 \ll \omega_0^2$ shart bajarilsa, $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ bo'ladi. U holda asllik

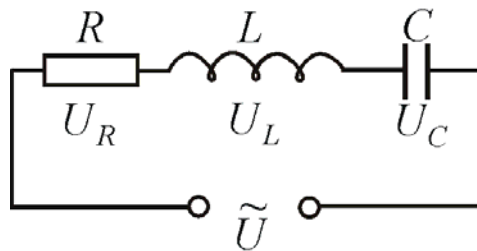
$$Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6.21)$$

orqali ifodalanadi.

6.3. Majburiy elektr tebranishlar

Davriy ta'sir etuvchi kuch tufayli vujudga keladigan tebranishlar majburiy tebranishlar deyiladi.

Qarshilik, induktivlik va kondensatordan iborat tashqi EYuK manbaiga ulangan zanjirni kuzatamiz. (6.4-rasm)



6.4-rasm. Qarshilik, induktivlik va kondensatordan iborat zanjir

Bunday zanjirda har bir elementdagi kuchlanishlar yig'indisi tashqi manbaning kuchlanishiga teng bo'ladi:

$$U_L + U_R + U_C + U_0 \cos \omega t \quad (6.5)$$

$$U_L = L \frac{dI}{dt}; \quad U_R = IR; \quad U_C = \frac{1}{C} \cdot q \quad (6.6)$$

(6.6) ni hisobga olib:

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{1}{C} q = U_0 \cos \omega t \quad (6.7)$$

quyidagi almashtirishlarni qo'llab,

$$\ddot{q} = \frac{dI}{dt}; \quad \dot{q} = I = \frac{dq}{dt}; \quad \beta = \frac{R}{2L}; \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

(6.7) ni

$$\ddot{q} + 2\beta\dot{q} + \omega_0^2 q = \frac{U_0}{L} \cos \omega t \quad (6.8)$$

shaklida yozamiz. (6.8) majburiy elektr tebranishlarning differensial tenglamasini ifodalaydi. Bu tenglamaning xususiy yechimi:

$$q = q_o \cos(\omega t + \varphi) \quad (6.9)$$

Bu yerda q_o -zaryad miqdorining amplitudaviy qiymati:

$$q_o = \frac{U_o}{\omega \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (6.20)$$

Tebranishlar fazasi esa:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R}{\frac{1}{LC} - \omega L} \quad (6.21)$$

(6.19) ni vaqt bo'yicha differensiallab, tok kuchi uchun (6.22)ni hosil qilamiz.

$$I = -\omega q_o \sin(\omega t - \varphi) = I_o \cos(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}) \quad (6.22)$$

bu yerda I_o -tok kuchining amplitudaviy qiymati

$$I_o = \omega q_o = \frac{U_o}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (6.23)$$

Ildiz ostidagi ifoda zanjirning to'liq qarshiligi deyiladi

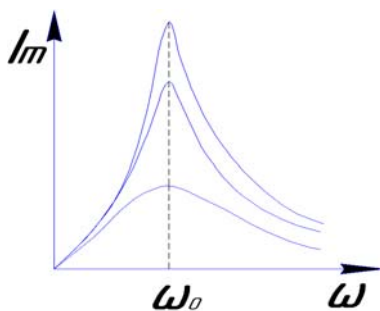
$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} \quad (6.24)$$

Agar $L\omega = 1/\omega C$ shart bajarilsa, tok bilan kuchlanish birday fazada o'zgaradi, ya'ni *sinfazbo'ladi*.

R, L va C-larning berilgan qiymatida to'liq qarshilik eng kichik qiymatga, tok kuchi esa kuchlanishning berilgan qiymati (U_o) da eng katta qiymatga erishadi. Aktiv qarshilikdagi kuchlanish zanjirga berilayotgan tashqi kuchlanishga teng bo'lib, kondensatordagi kuchlanish amplitudasi son jihatidan teng, faza jihatidan

qarama-qarshi bo'лади. Bu hodisa kuchlanish rezonansi deb yuritiladi. (6.5-rasm).

Bu shartni qanoatlantiruvchi chastota $\omega_p = 1/\sqrt{LC}$ rezonans chastotasi deyiladi.



6.5-rasm. Kuchlanish rezonansi

Mavzuni mustaxkamlash uchun savollar

1. Elektr kattaliklari, zaryad miqdori, tok kuchi, kuchlanish shuningdek elektr va magnit maydon energiyasining vaqt o'tishi bilan davriy o'zgarishidan iborat jarayon qanday ataladi.
2. So'nuvchi elektr tebranishlar deb nimaga aytiladi?
3. Majburiy elektr tebranishlar deb nimaga aytiladi?
4. Kuchlanish rezonansi deb nimaga aytiladi?
5. Tebranishlar fazasi nimalarga bog'liq?

Masala yechish namunasi

1. Tebranish konturi 48mkF sig'imli kondensator va induktivligi 1.2mGn induktivlikli g'altakdantuzilgan bo'lsa, konturning xususiy tebranish chastotasi topilsin.

Berilgan: $C = 48\text{mkF}$, $L = 1.2\text{mGn}$

Topish kerak: $\nu = ?$

Yechish: konturning tebranish chastotasi $\nu = \frac{1}{T}$, bunda T – konturning xususiy tebranish davri, bu Tomson formulasidan aniqlanadi.

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 * 3.14\sqrt{12 * 10^{-4} * 481 * 10^{-6}}} = 663 \text{Gs}$$

Mustaqil echish uchun masalalar

1. $2\text{mk}\Phi$ sig' imda 1000Gs tovush chastotasini olish uchun tebranish konturiga qanday induktiv g'altak ulash kerak. Kontur qarshiligi hisobga olinmasin.

2. Tebranish konturi $2.22 \cdot 10^{-9} \Phi$ sig'imga va $5 \cdot 10^{-3} \text{Gn}$ induktivlikka ega. So'nish logorifmik dikrementi 0.005 ga teng. So'nish tufayli 99% energiyasi qancha vaqtda yo'qoladi?

3. G'altakning chulg'ami ko'ndalang kesim yuzi 1mm^2 bo'lgan 500 o'ram mis simdan iborat. G'altakning uzunligi 50sm va uning diametric 5sm. Qanday chastotali o'zgaruvchan tokda g'altakning tola qarshiligi aktiv qarshiligidan ikki barobar kata bo'ladi.

4. Tebranish konturi 10^{-2}Gn induktivlik, $0.405 \text{mk}\Phi$ sig'im va 2sm qarshilikdan iborat. Bir davrda kondensator qoplamalaridagi potentsiallar ayirmasi necha marta kamayishi topilsin.

5. R aktiv qarshilik va L induktivlik 127 V kuchlanishli va 50Gs chastotali o'zgaruvchan tok zanjiriga parallel ulangan. Zanjir 404 Vt quvvatni iste'mol qiladi hamda kuchlanish bilan tok o'rtasidagi fazalar siljishi 60° , R aktiv qarshilik bilan L induktivlikni toping.

LABORATORIYA ISHI

Mavzu: Erkin elektromagnit tebranishlar

Tajriba maqsadi: Elektr tebranishlar konturi bilan tanishish, tebranish konturining xususiy chastotasini aniqlash, tebranish zanjirida tok va kuchlanish o'zgarishini tahlil qilish.

Qurilma tarkibi: 1 ta yuqori induktivli chulg'am, 1ta kondensator, $40 \mu\text{F}$, 2 ta asos taglik, 1ta bridging plugs, STE 2/19, set of 10, 1ta DC ta'minlash manbai

0...±15 V, 1 ta multimeter LD analogli 20, 1 ta Qo'l sekundomeri, 2ta ulash simlari.

Qisqacha nazariya

Bugungi kunda kommunikatsiya va hisoblash texnikalarini elektromagnit tebranish konturlarisiz ta'savur qilib bo'lmaydi. Ideal LC elektromagnit tebranish konturida energiya yo'qotilishi, so'nish bo'lmaydi. Ammo bu hol faqat nazariy jihatdan mumkin. Amalda esa tebranish konturlarida elektromagnit tebranishlar kam bo'lsada so'nadi. Misol qilib so'nuvchi garmonik ossilyatorni keltirish mumkin.

Tebranish konturi bir biriga ulangan kondensator va induktiv g'altakdan iborat bo'ladi. So'nuvchi tebranish konturida L va C zanjirga ketma-ket ravishda aktiv qarshilik ham mavjud bo'ladi.

Kirxgofning ikkinchi qonuni bo'yicha,

$$\sum_i U_i = 0 \quad (1)$$

Bu tenglama zanjirdagi barcha kuchlanishlar yig'indisi nolga teng ekanligini bildiradi. Bu qonun ichki qarshilikka ega bo'lgan tebranish konturida ham o'rinlidir (1-rasm).:

$$U_C + U_R - U_{ind} = \frac{Q}{C} + R \cdot I + L \cdot \dot{I} = 0, \quad (2)$$

Ma'lumki, kondensator sig'imi $C = Q/U_C$, aktiv qarshilik kuchlanishi $U_R = R \cdot I$ (Om qonuni) va g'altakdagi reaktiv kuchlanishi $U_{ind} = -L \cdot \dot{I}$ kabi aniqlanadi.

I tok kuchining diferensial tenglamasini (II) tenglama hadlarini L ab o'lib, $\dot{Q} = I$, deb hisoblab hosil qilamiz:

$$I \cdot \omega_0^2 + \dot{I} \cdot \gamma + \ddot{I} = 0, \quad (3)$$

Be erda $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ –xususiy chastota, $\gamma = \frac{R}{L}$ konturning asilligi. Bu matematik differensial tenglamani yechish uchta xususiy holga olib keladi. Tenglama

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\gamma t}$$

Kabi yechimga olib keladi, bu erda I_0 tebranish amplitudasi, $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$: -tebranish chastotasi.

Birinchi hol $\omega_0^2 - \gamma^2 < 0$. Bu holda sistema muvozanat holatiga eksponenta qonuniyat asosida tebranishlar hosil qilmasdan qaytadi.

Ikkinchi hol $\omega_0^2 - \gamma^2 = 0$. Bu hol kritik(keskin) so'nish holati deyiladi. Sistema tebranishlarsiz tezda muvozanat holatiga qaytadi.

Uchinchi hol $\omega_0^2 - \gamma^2 > 0$. Bunda sistemada tebranishlar kuzatiladi va amplitude eksponensial qonun bo'yicha kamayib boradi, so'nish kuzatiladi. 2-rasmga qarang.

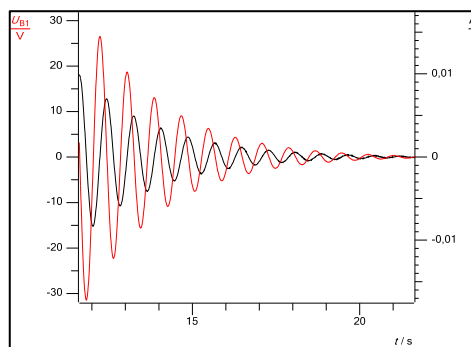
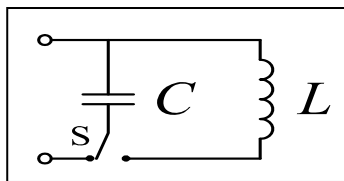
Bu tajribada faqat oxirgi holatni kuzatish mumkin. Kondensatordai boshlang'ich kuchlanish U_0 bo'lsa, induktiv g'altakda o'tuvchi tok kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\gamma t} \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (4)$$

bu erda boshlang'ich tok kuchi $I_0 = \frac{U_0}{\omega L}$, ω -yuqorida keltirilgani kabi.

Kondensatordagi kuchlanish undagi zaryad miqdoriga mutonosib, shuning uchun zaryad miqdori tok kuchining integraliga proporsional bo'ladi. IV tenglamadagi kosinus tok kuchi va kuchlanish qiymatlari orasida 90° faza siljishi borligini bildiradi.

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\gamma t} \cdot \cos(\omega \cdot t). \quad (5)$$



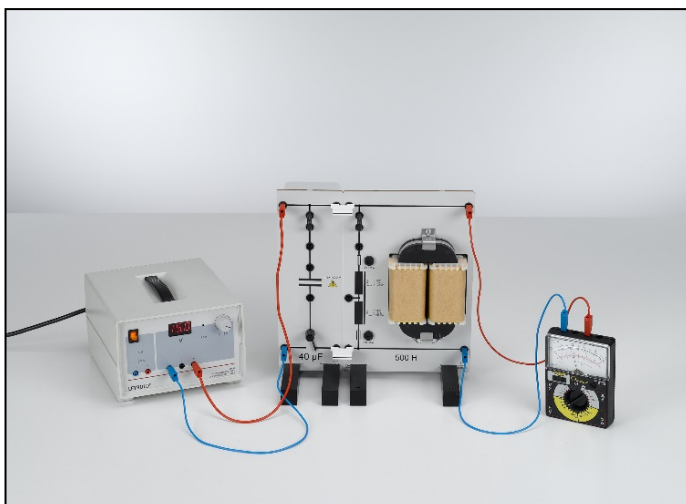
1-rasm: Kalitli tebranish konturi.

2- rasm: Kuchlanish va tok tebranishlari.

Tajriba qurilmasi

- Qurilma 3-rasmda keltirilgan.
- Dastlab, kondensatorni razryadlash uchun qisqa tutashtiring.
- Induktiv g'altak va kondensatorni asos taglikka o'rnatish.
- Induktiv g'altak va kondensatorni bir chiziqda joylashtiring va ularni ikkita shtepsellar bilan ulang.
- Kondensatorga o'zgarmas tok manbaini ulang, o'rtadagi yerga ulash chiqishiga ualamang.
- Kuchlanish muruvatini 0 V ga qo'ying.
- Multimeterni induktiv g'altakka parallel ulang va DC kuchlanishni 3 V ga qo'ying.
- Ta'minlash manbaini stendga ulang.

- Qo'l sekundomerini ishga tayyorlaang.



3-rasm. Tajriba qurilmasi

Tajribaning borishi

- Kondensator ostidagi kalitni chap tomonga ulang, 3-rasm asosida (kalit 1-rasmda «S» biklan belgilangan).
- Ta'minlash manbaini ulang.
- Ta'minlash kuchlanishini 3 V qilib tanlang.
- Kuchlanish ortishdan to'xtamaguncha va kondensator to'la zaryadlanmaguncha kuting.
- Endi kalitni manbadan induktiv g'altakga ulang va tebranish konturiga kuchlanish bering.
- Kuchlanishning ikki maksimumi orasidagi vaqtni aniqlash uchun qo'l sekundomeridan foydalaang.
- Kondensatorni zaryadlash uchun oxirgi uch amalni takrorlang va boshqa kuchlanish maksimumlari orasidagi vaqtni 4 marta o'lchang.
- Ta'minlash manbaini tarmoqdan uzing va kondensatorni ta'minlash manbidan ajrating.
- Razryadlash uchun kondensator qutblarini qisqa tutashtiring.

Baholash-solishtirish

Dastlab, ikki maksimum orasidagi Δt vaqtning o'rtacha qiymatini hisoblang. Bunda Δt ni topish uchun T davrni topishning Tomson formulasidan foydalaning:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}. \quad (6)$$

Bundan, L va C ko'paytmasini toppish mumkin.:

$$L \cdot C = \frac{\Delta t^2}{4 \cdot \pi^2}. \quad (7)$$

Nazariya va tajribani solishtirish uchun LC ning aniq qiymatlarini HF ni bilgan holda (qurilmaga qarang) aniqlash mumkin:

	Nazriya bo'yicha	Tajribada
$L \cdot C$	0.02 s ⁻²	0.0172 s ⁻²

Natijalar

Ko'rish mumkinki LC qiymatlarning nazariya va tajribada olinganlari orasida farq bor. Elektr qarshilik nazariya qiymatidan taqriban 0.4% ga kamroq. Shuning uchun farqning sababini boshqa joydan qidirish lozim. Bu erdagi asosiy sabab induktivlikning tok kuchiga bog'liqligidir. G'altak o'zagi magnit singdiruvchanligi magnit maydoni kuchlanganligiga bog'liq va u o'z navbatida tok kuchiga chiziqli bog'liq bo'ladi.

Texnika xavfsizligi yo'riqnomasi

Tajriba qurilmasida tajribalar hayot uchun xavfsiz-past kuchlanishlarda olib borilishi zarur:

- DC –o'zgarmas tok kuchlanishi maximum- 60 V,
- AC –o'zgaruvchan tok kuchlanishi maximum- 25 V.

Quyidagilar bilan tajriba o'tkazilganda hamisha hayot uchun xavfsiz-past kuchlanishdan foydalanish zarur:

- Yuqori induktivlikli g'altak
- STE plug-in elements

Kuchlanish xavsiz kuchlanishdan katta bo'lganda doimo maxsus xavfsiz ulash konnektorlardan foydalaning.

Zanjirga kondensator ulashdan oldin kondensator uchlarini qisqa tutashtirib razryadlang(Kondensatorda katta kuchlanish saqlangan bo'lishi mumkin).

Induktiv g'altaklarni darhol manbadan ajratmang, razryadlanishini kuting. Kuchlanishning sakrashi kuztilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. M.I.Apenko, N.P.Gvozdeva. Fizicheskaya optika. Uchebnik. –M.: “Mashinostroyeniye”, 1979
2. Douglas C. Giancoli ,Physics: Principles with Applications, Prentice Hall; 6th edition January 17, 2004 USA
3. Sultanov N. Fizika kursi. Darslik, T: Fan va Texnologiya, 2007
4. Abduraxmonov K.P., Egamov O'. Fizika kursi. Darslik –Toshkent, 2010
5. Trofimova T.I. Kurs fiziki. Uchebnik. -M.: «Akademiya», 2007
6. Detlaf A.A., Yavorskiy B.M., Kurs fiziki. Uchebnik -M.: “Akademiya”, 2007
7. Ismoilov M., Xabibullaev P.K., Xaliulin M. Fizika kursi. Darslik, T: O'zbekiston, 2000
8. Gaibov A.G., Ximmatkulov O. Fizika. o'quv qo'llanma -T. Nashr, 2018
9. Axmadjonov O. Fizika kursi. Darslik, 3 q.-T., “O'qituvchi”, 1999
10. Maysova V.V. Praktikum po kursu obshchey fiziki. Uchebnik -M.: Nauka, 1995
11. Chertov A., Vorobev A. Fizikadan masalalar to'plami. Darslik -T.: O'zbekiston, 1997
12. Yusupov D.B., Komolov Sh.M., Gaibov A.G., Uzoqov A.A. Fizika fanidan laboratoriya ishlari uchun uslubiy ko'rsatma .- T: Tosh DTU, 2015
13. Ximmatkulov O., Eshkulov A.A., Vaxobov K.I. Metodicheskie ukazaniya k laboratornim rabotam po dissipline «Fizika» , chast' II. - T: TGTU, 2016.
14. Yusupov D.B., Uzoqov A.A. Metodicheskie ukazaniya k laboratornim rabotam po fizike chast' II, -T: TGTU, 2010.

Elektron resurslar

1. www.ziyounet.uz;
2. www.fizika.uz ;
3. www.bilim.uz;
4. www.phys.ru.
5. www.google.ru .
6. WWW.My.estudy.uz

Ilmiy nashr

Q.B.UMAROV, M.G.DADAMIRZAYEV, M.O.QOSIMOVA

F I Z I K A (M A G N E T I Z M)

(O‘quv qo‘llanma)

Mas’ul muharrir: S.Boydedayev

Muharrir: Muyassar ERGASHEVA
Dizayner: Marguba KURBANOVA
Musahhih: Abduvahob JO‘RAYEV

Terishga berildi: 20.03.2024-yilda.
Bosishga ruxsat etildi: 28.03.2024-yilda.
Bichimi: 60x42 1/16. Hajmi: 9.25 bosma taboq.
Adadi: 100 nusxa. Bahosi kelishilgan narxda.

«SUNRISE-PRO», MAS’ULIYATI CHEKLANGAN JAMIYATI

9786



“FAZILAT ORGTEX SERVIS”

hususiy korxonasi bosmahonasida chop etildi.

Manzil: Namangan sh. Amir Temur ko‘chasi 97 uy.

Tel: (+998) 91-346-44-43, (+998) 99-806-44-43