

# **MAGNITOOPTIKA FANIDAN LABORATORIYA ISHLARI**



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI  
OLIY VA O‘RTA MAXSUS TA’LIM VAZIRLIGI  
GULISTON DAVLAT UNIVERSITETI**

**R. ELMURODOV., I. MARIPOV**

**MAGNITOOPTIKA FANIDAN LABORATORIYA ISHLARI**

*(Uslubiy qo‘llanma)*

Guliston – 2021

Mualliflar: Elmuradov.R, Maripov.I

Ushbu o'quv–metodik qo'llanmada Guliston davlat universiteti “Axborot texnologiyalari fakulteti” 5A140200-Fizika” magistratura o'nalishi bo'yicha magistratlar uchun mo'ljallangan bo'lib, “Magnitooptika” fanidan laboratoriya ishlarining tavsiylari keltirilgan. Har bir laboratoriya ishi bo'yicha nazariy qism, bajariladigan ishning mohiyati, ishni bajarish tartibi, o'lchanishi lozim bo'lgan fizik kattaliklar hisoblash ifodalari, shuningdek, olingan natijalarning xatoliklarini aniqlash, ularning o'lchamlarini to'g'ri topish kabi vazifalar talaba oldiga qo'yilgan.

Uslubiy qo'llanma 5A140200-“Fizika” ta'lim yo'nalishida tahsil olayotgan magistratlar uchun mo'ljallangan.

Taqrizchilar: O'ZMU “Umumiy fizikasi” kafedra dotsenti  
f.m.f.n.Raxmonov G'.T

Uslubiy qo'llanma “Axborot texnologiyalari fakulteti”, “Fizika” kafedrasining  
( “\_\_” 2021 yil “\_\_” –son bayonnoma) yigilishida muhokama qilingan.

Uslubiy qo'llanma “Axborot texnologiyalari” fakulteti o'quv-uslubiy Kengashi tomonidan ( “\_\_” 2021 yil “\_\_” - son bayonnoma ) tavsiya etilgan.

Uslubiy qo'llanma Guliston davlat universiteti o'quv-uslubiy Kengashi tomonidan ( “\_\_” 2021 yil “\_\_” - son bayonnoma ) tasdiqlangan.

Universitet o'quv-uslubiy Kengashi raisi: \_\_\_\_\_

## SO‘Z BOSHI

Ushbu o‘quv qo‘llanma nodir yer birikmalarining zamonaviy magnitoptikasida bir qator muhim va qiziqarli savollarni ko‘rib chiqishga va ularning batafsil yoritilishiga bag‘ishlangan. Shuningdek, magnit xususiyatiga ega (paramagnit, ferrimagnit va h.k) bo‘lgan birikmalarining magnit xossalarini va granat tuzilishiga ega nodir er paramagnit kristallarning magnitoptik xossalarini muhokama etishga katta ahamiyat berilgan. Nodir er birikmalarining magnitoptik xossalarini ular tarkibiga kiruvchi magnitoaktiv ionlarning energetik spektrlari bilan o‘zaro bog‘liqligiga asosiy e’tibor qaratilgan.

Hozirgi vaqtda, optik, magnit va magnitoptik xossalari etarlicha o‘rganib chiqilgan ortoaluminat va granat tuzilishiga ega bo‘lgan nodir er paramagnit kristallarida kuzatiladigan magnitoptik hodisalarni tushintirishda, mikroskopik nazariyani qo‘llanishi batafsil bayon etilgan.

O‘quv qo‘llanma qattiq jism optik spektroskopiyasi va magnit hodisalari fizikasi ixtisosliklari bo‘yicha tahsil olayotgan OTM magistrleri va bakalavr talabalari uchun mo‘ljallangan.

“Kadrlar tayerlash Milliy dasturi” da belgilangan, oliy ta’lim muassasalarida raqobatbardosh etuk mutahassislar tayerlash, ularni rivojlangan horjiy mamlakatlar ta’limidagi ijobiy tajribalarga, yngi innavatsion pedagogik texnologiyilarga tayangan holda, talabalarning barcha yo‘nalishdagi aniq fanlar bo‘yicha mutahassis bo‘lib yetishishida, eng avvalo, fundamental fanlardan biri bo‘limsh fizika fanini chuqur egallagan bo‘lishi muhim ahamiyt kasb etadi.

Ushbu maxsus fan dasturida, nodir er birikmalari ionlarining energetik strukturasini makroskopik-fenomenologik va mikroskopik–kvant mexanikaviy, magnitoptik effektlarni optik va magnitoptik zamonaviy usullari bilan o‘rganish va tahlil qilish nazarda tutiladi.

Fanning asosiy vazifasi – bu bir tomondan tabiat va texnikadagi fizik hodisalar mohiytini fundamental tushunchalar orqali tushuntirish bo‘lsa, ikkinchi tomondan nazariy bilimlarni talabalar kelgusida oladigan mutahassisliklari bo‘yicha yzaga keladigan muammolarning, jumladan, texnologik sikllarda, turli sharoitlarda, magnitoptik hodisalariga tegishli masalalarni echishda, ularning fizik modelini yaratish yo‘lidagi bilimlarini shakllantirishdir.

## KIRISH

Hozirgi zamon fan – texnikasining rivojlanishida fizika fanining ahamiyati kattadir. Shuning uchun, oliy o‘quv yurtlarida yuqori malakali mutaxassislar tayyorlashda fizika fanini o‘qitish o‘ziga yarasha ahamiyat kasb etadi.

“Magnitooptika” fanidan laboratoriya mashg‘ulotlari o‘tkazishda quyidagi maqsadlar:

a) bo‘lajak mutaxasislarga asosiy fizikaviy qonunlarni va hodisalarni chuqurroq o‘zlashtirishga yordamlashish;

b) talabalarni ilmiy tekshirish ishlariga ijodiy yondoshish, eksperimental usulni to‘g‘ri tanlay bilish, fizikaviy kattaliklar qiymatlarini o‘lchash va ularni formulalar vositasida tekshirishga o‘rgatish.

## FIZIKAVIY KATTALIKLARNI O‘LCHASH VA XATOLIKLAR NAZARIYASI XAQIDA QISQACHA MA’LUMOTLAR

**1. Fizikaviy kattaliklarni o‘lchash.** Biror-bir kattalikni o‘lchash deganda bu kattalikning birlik sifatida qabul qilingan bir jinsli etalon kattalik bilan solishtirilib, undan necha marta katta yoki kichikligini bilish tushuniladi. Fizikaviy kattaliklarni absolyut aniq o‘lchab bo‘lmaydi. Fizikaviy kattaliklarni o‘lchash jarayonida o‘lchov asboblarning tuzilishiga xamda kuzatuvchining sezgi organlarining sezgirligiga bog‘liq ravishda o‘lchash natijalari ma’lum xatoliklar bilan aniqlanadi. Topilgan natijalar o‘lchanayotgan kattaliklarning taqribiy qiymatini beradi. O‘lchashda ro‘y beradigan xatoliklar ikki guruxga bo‘linadi: sistemali va tasodifiy xatoliklar.

**a) sistemali xatoliklar.** Bunday xatoliklar odatda tajriba o‘tkazilguncha aniqlanishi mumkin bo‘lgan xatoliklardir. Ular asosan ishlatiladigan asboblarning ayrim kamchiliklari tufayli yuz beradi va ayni bir kattalikni takroriy o‘lchashlar jarayonida ularning qiymatlari doimo bir xil bo‘ladi. Masalan, masshtabli chizg‘ich shkala bo‘limlarining bir xil emasligi, kapillyar naycha diametrining uning turli qismlarida turlicha bo‘lishi, elektr o‘lchov asboblari strelkalarining nol qiymatidan siljib qolganligi va x.k.lar sistemali xatoliklarning paydo bo‘lishiga sabab bo‘ladi. Sistemali xatoliklardan ko‘p xollarda ularni o‘lchov asbobi ko‘rsatishiga tuzatma sifatida xisobga olish yo‘li bilan yoki o‘lchov asboblari etalon o‘lchov asboblari bilan solishtirish natijasida qutilish mumkin.

**b) tasodifiy xatoliklar** o‘lchash jarayonining turli bosqichlariga ta’sir etuvchi aloxida sabablar oqibatida paydo bo‘ladigan xatoliklardir. Masalan, o‘lchov asboblarning ko‘rsatishidagi noaniqliklar, sezgi organlarimizning nomukammalligi va tashqi (temperatura, bosim, namlik va x.k.) muxitning o‘lchash jarayoniga uzluksiz ta’siri tufayli paydo bo‘ladigan xatoliklar shular jumlasidandir. Bu xatoliklarni tajriba oldidan e’tiborga olishning imkoniyati yo‘q. Bunday xatoliklarni butunlay yo‘qotib bo‘lmaydi, lekin ularning sonini minimal qiymatgacha kamaytirish mumkin. Tasodifiy xatoliklarning extimollik

qonuniyatlariga bo'ysunishi ularning o'lchanayotgan kattalikning xaqiqiy qiymatini o'z ichiga oladigan chegaraviy qiymatlarini aniqlash imkonini beradi. Eksperimentatorlarni e'tiborsizligi tufayli vujudga keladigan xatoliklar **qo'pol xatoliklar** deyiladi. Masalan o'lchov asboblarning shkalasidan noto'g'ri yozib olish yoki, noto'g'ri bajarish kabilar.

**2. Bevosita o'lchash jarayonidagi xatoliklarni aniqlash.** Fizikaviy kattalikning bevosita o'lchash natijasida topilgan qiymati uning xaqiqiy qiymatidan u yoki bu tomonga og'gan bo'lishi mumkin. Fizikaviy kattalikning uning xaqiqiy qiymatiga yaqin bo'lgan qiymatini olish uchun o'lchashlar bir necha marta takrorlanib, natijalarning o'rtacha arifmetik qiymati topiladi. Kattalikning o'rtacha arifmetik qiymati uning xaqiqiy qiymatiga yaqinroq bo'ladi.

Masalan,  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  lar ayrim o'lchashlar natijasi bo'lsa, bundan o'lchanayotgan kattalikning o'rtacha qiymati:

$$X_{o'r} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Bu yerda  $n$  - o'lchashlar soni.

O'rtacha qiymatdan har bir ayrim o'lchash natijasi qiymatining farqi ayrim o'lchashlarning **absolyut xatosi** deyiladi va u

$$\Delta x_1 = |x_{o'r} - x_1|$$

$$\Delta x_2 = |x_{o'r} - x_2|$$

$$\Delta x_3 = |x_{o'r} - x_3|$$

.....

$$\Delta x_n = |x_{o'r} - x_n|$$

ifodalar yordamida aniqlanadi. So'ngra absolyut xatolikning o'rtacha arifmetik qiymati aniqlanadi:

$$\Delta X_{o'r} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots + \Delta x_n}{n} \quad (2)$$

O'lchashlar sifatini to'la tavsiflash uchun o'lchashning nisbiy xatoligi aniqlanadi. Ayrim o'lchashlar absolyut xatoliklarining o'rtacha arifmetik qiymatiga nisbati

$$x_1 = \frac{\Delta x_1}{x_{o'r}}, x_2 = \frac{\Delta x_2}{x_{o'r}}, x_3 = \frac{\Delta x_3}{x_{o'r}}, \dots, x_n = \frac{\Delta x_n}{x_{o'r}}$$

ifodalar yordamida aniqlanib, bu kattaliklar ayrim o'lchashlarning **nisbiy xatoliklari** deyiladi.

O'rtacha absolyut xatolik  $\Delta x_{o'r}$  ning o'rtacha qiymat  $x_{o'r}$  ga nisbati

$$\delta = \frac{\Delta x_{o'r}}{x_{o'r}} \quad (3)$$

ga *o'rtacha nisbiy xatolik* deyiladi va uning foizlardagi qiymati

$$\delta = \frac{\Delta x_{o'r}}{x_{o'r}} \cdot 100\%$$

ifoda yordamida xisoblanadi. O'lchanayotgan kattalikning xaqiqiy qiymati

$$x_{haq} = x_{o'r} \pm \Delta x_{o'r} \quad (4)$$

yordamida aniqlanadi.

Laboratoriya ishlarini bajarishda nisbiy xatolikning qiymati 3 - 5% oralig'ida bo'lishi kerak. Nisbiy xatolikning qiymati 0,5 % dan oshmaydigan o'lchashlar yetarli darajada sifatli o'lchashlar xisoblanadi.

**3. Laboratoriya ishlarini bajarish.** Har bir laboratoriya ishini bajarish quyidagi tartib asosida olib boriladi:

3.1. Ushbu qo'llanmada berilgan laboratoriya ishining tafsiloti diqqat bilan o'qib, chiqiladi va puxta o'zlashtiriladi.

3.2. Laboratoriya ishlarini bajarish uchun kerak bo'ladigan asbob-uskunalar bilan tanishgandan so'ng qo'llanmaga muvofiq asboblarni o'rnatish yoki qurilmani yig'ishga kirishiladi. Ba'zida ishlar tayyor qurilmada bajariladi.

3.3. Kuzatish va o'lchash ishlari bajariladi. Ishning bu qismi juda ma'suliyatli bo'lib, uni bajarishda, ushbu qo'llanma ko'rsatmalariga qat'iy amal qilish kerak. Barcha o'lchash natijalari xar bir ish uchun ko'rsatilgan jadvalga yoziladi.

3.4. O'lchash natijalari ishlab chiqiladi, ya'ni o'lchanayotgan kattaliklar ishchi formulalar yordamida topiladi va uning nisbiy xatoligi foiz xisobida aniqlanadi.

**4. Bajarilgan laboratoriya ishi bo'yicha xisobot tayyorlash.**

4.1. Ishning nomi va tartib raqami yoziladi.

4.2. Ishning maqsadi. Bunda bajarilgan laboratoriya ishida tajriba yo'li bilan aniqlanishi kerak bo'lgan fizik kattalik ko'rsatiladi.

4.3. Ishchi formula. Bunda aniqlanishi kerak bo'lgan kattalikning xisoblab topilgan ishchi formulasi va formulaga kirgan kattaliklarning nomi, shuningdek topilishi kerak bo'lgan kattalikning o'lchov birligi SI sistemada ko'rsatiladi.

4.4. Jadval yoki grafik. Bunda jadvalga o'lchash natijalari va xisoblab topilgan kattaliklar, absolyut va nisbiy xatoliklarning qiymatlari yoziladi. Agar qo'llanma bo'yicha talab qilinsa, fizik kattaliklarning bog'liqlik grafigi chiziladi.

4.5. Xulosa. Xulosada tajribadan olingan natijaning mazmuni qisqacha bayon qilinadi.

**ESLATMA.** Ish yuzasidan tayyorlangan xisobotni aloxida varaqqa yozish mumkin. Hisobotni yozish formasi oxirgi varaqdagi "Ilova"da berilgan.

## 1 - Laboratoriya ishi.

### Faraday effekti va Verde konstantasini hisoblash.

#### Ishning maqsadi:

1. Magnit maydonini chiziqli qutblangan yorug'lik nurini muhitda tarqalishiga ta'sirini o'rganish;

2. Verdet konstantasini bir jinsli magnit maydonida yorug'likning qutblanish tekisligining aylanish

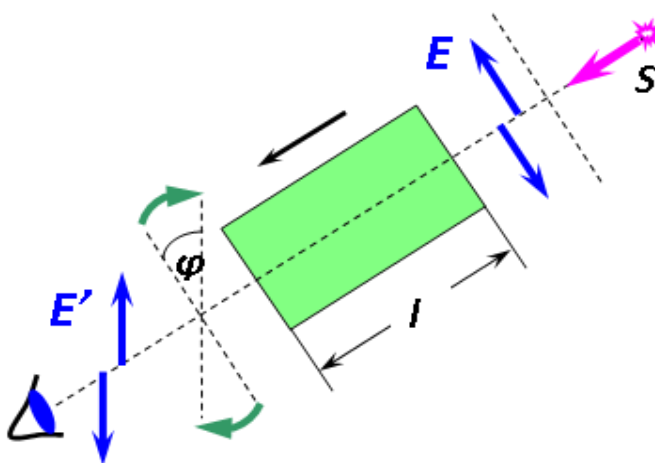
burchagidan foydalanib hisoblang.

**Asboblari va jihozlari:** yorug'lik manbai, polarizator, uzun solenoid, regulyatorli doimiy kuchlanish manbai, ampermetr, benzolli kyuvet, shkalali analizator.

### Nazariy qism

Kristalli jismlarda, shuningdek, ayrim izotropik suyuqliklar va amorf moddalarda polarizatsiya tekisligining aylanishi deb ataladigan hodisa kuzatiladi (1-rasm).

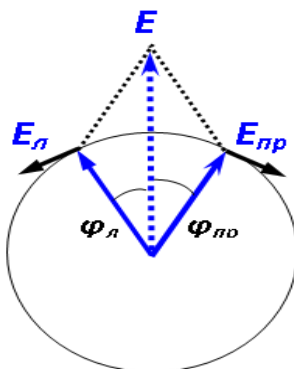
Elektromagnit to'lqinlarning polarizatsiya tekisligini aylantira oladigan moddalar optik faol deb ataladi.



1-rasm.

Bu hodisa frantsuz Arago tomonidan kvarts kristallarida topilgan. 1816 yil ichida Frenel, keyinchalik Bio shakar eritmalarida nur polarizatsiyasi yo'nalishini o'zgartirdi. Keling, ko'plab tabiiy faol moddalar mavjud, garchi ularning aksariyati bu hodisani juda zaif deb hisoblasada, optik faoliyatni kuzatish uchun polarizator yordamida olingan linear polarizatsiyalangan yorug'lik moddaning qatlamiga yo'naltiriladi, uning roli Nikolya prizma yoki dichroik xususiyatlarga ega film (turmalin, gerapatit va boshqalar) tomonidan amalga oshirilishi mumkin.

Polarizatsiya tekisligining aylanish yo'nalishi odatda nurga qarab kuzatuvchiga nisbatan aniqlanadi (2-rasm): o'ng aylanish - soat strelkasini aylanishi bo'yicha, chap aylanish - soat strelkasini aylanishiga teskari.



2-rasm.



Tajriba shuni ko'rsatadiki, turli kvarts namunalari chap va o'ng tomonga ham aylanishi mumkin.

Optik faoliyatning birinchi izohi Frenel tomonidan berilgan bo'lib, ikkilamchi nurli sinishi kabi ko'rinadi: har qanday tekis polarizatsiyalangan salinim o'ng va chap aylanish bilan ikki aylana bo'linishi mumkin. Polarizatsiyani tekisligining aylanishi faol moddada tarqalgan elementar to'lqinlar aylanada polarizatsiya qilingan to'lqinlardir. Shuning uchun, moddaga kirib, lineer polarizatsiyalangan to'lqin chapda ( $E_1$ ) va o'ng ( $E_2$ ) to'lqin doiralarda polarizatsiya qilingan ikkita bo'linadi. Agar to'lqin qatlam  $\ell$  moddasida o'tsa, vektor aylanishlar sonini hosil qiladi:

$$N_{np} = \frac{n_{np} \cdot \ell}{\lambda} \quad \text{vektor} \quad \vec{E}_n - N_n = \frac{n_n \cdot \ell}{\lambda}$$

$N_{sn}$  va  $n_{sn}$  - tegishli to'lqinlar uchun sinishi indeksleri,  $\varphi_{ot}$  va  $\varphi_{sn}$  burchaklari bo'ladi

$$\varphi_{np} = 2\pi N_{np}$$

$$\varphi_n = 2\pi N_n$$

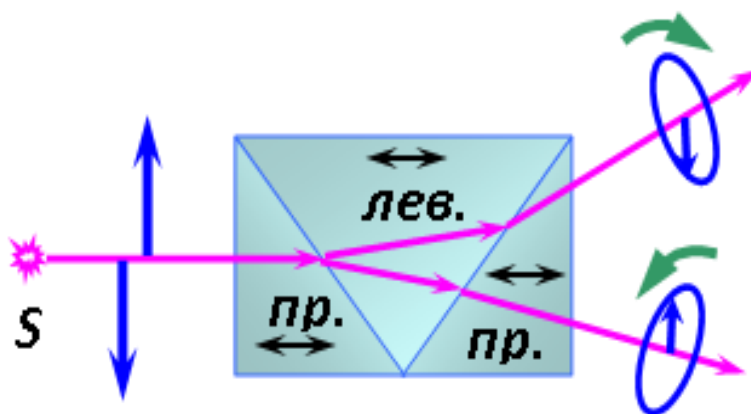
U holda ( $E_1$ ) va ( $E_2$ ) orasidagi burchak teng

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\ell}{\lambda} (n_{np} - n_n)$$

Nihoyat, polarizatsiya tekisligining aylanish burchagi teng bo'ladi

$$\varphi = \frac{\Delta\varphi}{2} = \frac{\pi\ell}{\lambda} (n_{np} - n_n) = \alpha \cdot \ell$$

bu erda  $\alpha$ -solishtirma aylanish



3 – rasm.

Uning taxminlarining to'g'riligini Frenel chap va o'ng kvartsning kompozitsion prizmasida (3-rasm)

eksperimental ravishda tasdiqlangan. Optik eksa yoʻnalishi ikki tomonlama oʻqlar bilan koʻrsatilgan. Bir polarizatsiyadan ikkita, qarama-qarshi yoʻnalishda bir doira ichida polarizatsiya qilinadi.

1846 yilda Faraday magnit va optik hodisalar oʻrtasidagi aloqani aniqlaydigan eksperiment oʻtkazdi. Birinchi marta yorugʻlik polarizatsiyasi tekisligi optik faol boʻlmagan moddalarda B induksiya magnit maydonga  $\ell$ -uzunlikli kvuet joylashtirilgan. Oʻlchovlar shuni koʻrsatdiki,  $\phi$  aylanish burchagi moddaga, moddaning uzunligi  $\ell$  nuriga va

$$\phi = \beta \cdot \ell \cdot B$$

bu erda  $\beta$ - Verde doimiysi (kichik qiymat).

Faraday taʼsirining oʻziga xos xususiyati - kichik inertsia ( $10^{-9}$ ) va nur yoʻnalishidan mustaqillik. Hozirgi kunda bu taʼsir lazer texnikasi va ilmiy tadqiqotlarda keng qoʻllaniladi.

Klassik elektron nazariya nuqtai nazaridan atomlardagi optik elektronlar yagona chastotasi  $\omega_0$  boʻlgan osilatorlar sifatida qaraladi. Bunday holda, moddaning sinishi indeksleri va shuning uchun moddadagi yorugʻlikning fazaviy tezligi nurning chastotasi ( $n(\omega)$ ,  $v(\omega)$ ) ga bogʻliq, ammo uning polarizatsiyasiga bogʻliq emas. Varyans nazariyasida Lorenz buni koʻrsatdi

$$n(\omega) \approx 1 + \frac{Ne^2}{2m\epsilon_0} \cdot \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

N-atamlarning konsentratsiyasi; e, m-elektronlarning xususiyatlari.

1896 yilda Zeeman eksperimental ravishda koʻrsatildi. Moddaning tashqi magnit maydonga koʻchirilganda, osilatorning oʻz chastotalarining "boʻlinishi" paydo boʻladi: magnit maydonda osilatorning normal oqimlari magnit maydonning yoʻnalishi boʻylab bir xil chastotali  $\omega_0$  va chastotalarga perpendikulyar tekislikdagi dairese harakatlardir

$$\omega_{\pm} = \omega_0 \pm \Omega \text{ i } \omega_{np} = \omega_0 - \Omega, \text{ gde } \Omega = \frac{e}{2m} B$$

larmorovskaya chastotasi. Eslatib oʻtamiz, tekis polarizatsiyalangan nurning asl toʻlqini har doim bir xil yoʻnalishda tarqalgan, dumaloq polarizatsiyalangan toʻlqinlarga (oʻng va chap doiralarda) yoyilishi mumkin. Dispersiyani hisobga olgan holda

$$n_{\pm}(\omega) \neq n_{np}(\omega) \text{ i } v_{\pm}(\omega) \neq v_{np}(\omega) \text{ i } n_{\text{res},np}(\omega) \cong 1 + \frac{Ne^2}{2m\epsilon_0} \cdot \frac{1}{(\omega_0^2 - \omega^2) \pm \Omega}$$

shuning uchun, kirish qismida umumiy toʻlqinning polarizatsiya tekisligi moddaning kirish qismida polarizatsiya tekisligiga nisbatan maʼlum bir burchakka aylanadi

$$\phi = \frac{\pi\ell}{\lambda} (n_{\pm} - n_{np}) = \frac{\omega}{C} \cdot \frac{e}{2m} \cdot B \frac{dn}{d\omega} \cdot \ell = \beta \cdot \ell \cdot B, \text{ gde } \beta = \frac{e}{2mC} \cdot \omega \frac{dn}{d\omega}$$

$\beta$  - Verde doimiysi.

Sun'iy aylanish xususiyati juda aniq: burilish burchagi yorug'lik nurining yo'nalishiga bog'liq emas va magnit maydonning yo'nalishi bilan to'liq aniqlanadi.

### Eksperimental qism.

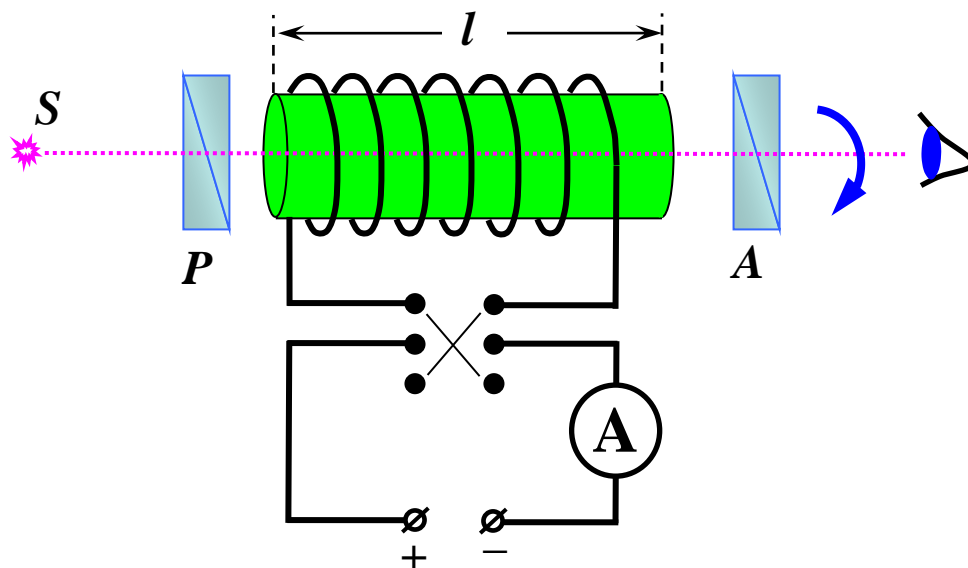
#### 1. Verdanning doimiysi aniqlash.

**Mashq qilish elektr sxemasi rasmda (4-rasm) ko'rsatilgan o'rnatishda amalga oshiriladi:**

Tadqiqot ob'ekti-uzunligi  $l$  q 40cm q 0,4 m bo'lgan kuvetdagi benzol.

Solenoidning uzunligi, ya'ni uning uzunligi diametrdan katta ekanligini hisobga olsak, solenoid ichidagi maydon bir xil deb hisoblanishi mumkin. Solenoidning birlik uzunligi bo'yicha navbatlar soni

$N_0$  q  $2000\text{m}^{-1}$  Magnit maydonning induksiya qiymati formula bilan



4-rasm.

hisoblash mumkin

$$B = \mu_0 \cdot I \cdot N_0,$$

bu erda  $I$ -solenoidning aylanishidagi oqimning qiymati, a

$$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{\text{H}}{\text{A}^2} \right]$$

1. Optik o'rnatish sxemasi saxarimetr 4-rasm asosida yig'ilgan.

2. Polarimetrning fotometrik maydoni uch barobar. F polarizatsiya tekisligining aylanish burchagini aniqlash uchun analizatorni bir xil ko'rish maydoniga aylantirish kerak

3. Qurilmaning burchak o'lchovi va o'lchash usuli bilan shug'ullanish kerak. Noniusning bo'linish narxi 0,050.

1. Rektifikator terminallaridan elektr kontaktlarning zanglashiga olib tekshirilgandan so'ng, polarimetr nolga tenglashtiriladi, shunda uchta ko'rish maydoni bir xil qorayadi.  $\Phi_0$  yozing.

2. Zanjirning kaliti solenoid zanjiridagi oqim yo'nalishini belgilab qo'yganidan ko'ra o'ng tomonga o'tkaziladi. Rektifikatoridagi kuchlanish regulyatori yordamida 1a elektronidagi oqim miqdori o'rnatiladi, yana yorug'lik nuqtai nazaridan tenglashtiriladi va pH (pH0 dan kam) ni topadi.

O'lchovlar har bir 0,2 a dan 2a gacha takrorlanadi.

3. Oqimni 1A ga kamaytiring, kalit chap tomonga o'tkaziladi va shu bilan oqim yo'nalishini teskari tomonga o'zgartiradi. O'lchovlarni A dan 2a gacha har bir 0,2 A dan takrorlang.

4. Ko'rsatilgan oqimlarda induksiyaning barcha qiymatlarini hisoblang.

5. B,  $\varphi$  va f ni bilish benzol uchun doimiy Verde o'rtacha va yakuniy qiymati hisoblanadi. Natijada mutlaq va nisbiy xato ko'rsatilgan bo'lishi kerak.

### **Nazorat savollari:**

1. Qaysi moddalar optik faol deb ataladi? Optik faollik qanday namoyon bo'ladi?

2. Fresnel tomonidan polarizatsiya tekisligining aylanishining mohiyati nima?

3. Nima uchun qarama-qarshi yo'nalishda aylana bo'ylab polarizatsiya qilingan yorug'lik to'lqinlarining o'zgarishlar tezligi farq qiladi?

4. Faraday ta'sirida magnit maydonning induksiya kuchining kattaligi va yo'nalishi qanday?

### **Laboratoriya ishi №2** **Kotton-Mutton effekti.**

Ushbu mavzuda kristallik maydonning atom xolatlar va ularning energetik spektriga qat'iy ta'sirini batafsil qarab chiqamiz. Bunda asosiy e'tibor, Zdgurux o'tish metallari oksidlarida uchraydigan, oraliq maydonga qaratiladi. Kristallik tuzilish bilan bevosita bog'liq xodisalar bilan birga, kristall maydon ba'zi magnit xodisalarda, misol uchun, orbital momentni ham muhim o'rin egallaydi. Ma'lumki, kristallik maydonidagi o'tishlarda, spin-orbital o'zaro ta'sirdan kuchliroq bo'lgan g'alayonlanishni kuzatish mumkin. Shuning uchun, kristall maydonda ionning energetik spektrini ( $W_{LS}, W_{ex}, W_{magn.}$ ) g'alayonlanishlarni inobatga olmaganda, qo'yidagi gamiltonian yordamida hisoblash mumkin:

$$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{W}_{corr.} + \hat{W}_{CF} \quad (1)$$

G'alayonlanish  $W_{CF}$  kristall maydonda potentsial energiyani ifodalaydi va bu erda,  $\hat{H}_0 + \hat{W}_{corr.}$  g'alayonlanmagan gamiltonian xususiy energetik sathlari bo'ladigan,  $(\tau, L, S)$  ajralmagan termlarga ta'sir etadi. Har bir  $(\tau, L, S)$

g'alayonlanmagan term ma'lumki,  $L$  (orbital g'alayonlanish) xarakat miqdori orbital momentining fazoviy yo'nalishiga nisbatan (2LQ1) karra g'alayonlanadi va  $S$  spinning fazoviy orientatsiyasiga nisbatan (2SQ1) karra g'alayonlanadi. Spin orbital o'zaro ta'sir majud bo'lmagan xolda, vektorlarning fazoviy kvantlanishi bir biriga bog'liq bo'lmagan ravishda sodir bo'ladi, shuning uchun g'alayonlan-magan termning qisqa aynish holati (2LQ1)(2SQ1) ga teng. Kristall maydon, alohida termlarga mos keladigan  $W_{CF}$  energiyani «g'alayon-laydi» va ularning orbital g'alayonlanishini qisman yoki to'liq yo'qotadi. Bunda (2SQ1)-karrali spin g'alayonlanish saqlanadi, chunki kristall maydon faqat  $t$  elektronlarning orbital xarakatiga ta'sir qilishi mumkin. Taxminlarga asosan  $W_{CF} \ll W_{corr}^{\wedge}$  holatni qarab chiqar ekanmiz,  $S$  spin kristallik maydoni qiymatlariga doimiy bog'liq bo'lmagan holatlarni, ya'ni asosiy term, **Xundaning** birinchi qoidasi bo'yicha aniqlanadigan xollarni ko'rib chiqamiz. Kristall maydon nazariyasining asosiy masalalaridan biri, orbital energetik sathlarning ajralish qonuniyatlarini aniqlashdan iborat. Ma'lum bo'lishicha, kristall maydon tomonidan g'alayonlanishni yo'qotish va bunda yuzaga keluvchi energetik sathlarning ajralish xarakteri, xam shu kristall maydon simmetriyasi, xam ionning boshlang'ich holat simmetriyasi bilan chambarchas bog'liq.

Ko'rilayotgan ion joylashgan erdagi kristall maydon, atrofdagi ionlarning elektr zaryadlari tomonidan yuzaga kelgani uchun, uning simmetriyasi, kristallda mos keladigan vaziyatning lokal simmetriyasi bilan aniqlanadi.

**Kristall maydonning simmetriyasiga asosiy ulushni qo'shni anionlar qo'shadi. Ular ligandlar deb ataladi** va kation atrofida koordinatsion ko'p burchakni hosil qiladi, shuning uchun **ligandlarning** faqat ko'p burchak simmetriyasini e'tiborga olish etarli bo'ladi. Buni qo'yidagicha tushuntirish mumkin, kristall maydon simmetriyasi, panjaraning mos keluvchi nuqtaviy simmetriyasi bilan aniqlanadi va kristalldagi yo'nalishlarga bog'liq. Qaralayotgan xolatimizda, turlicha  $t$   $l$  kvant sonlariga ega  $Zd$  elektronlar ( $l$  q  $2$ ) holatlari beshta to'liqin funksiya  $\Psi_{2m} = \Psi_m$  bilan xarakterlanadi. Ularning burchakli bog'liq-ligi qo'yidagi ifodalar bilan tavsiflanadi:

$$\begin{aligned} m = \pm 2 & \quad \Psi_{\pm 2} \approx \sin^2 \theta \cdot \exp(\pm i 2 \varphi) \\ m = \pm 1 & \quad \Psi_{\pm 1} \approx \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \exp(\pm i \varphi) \quad (2) \\ m = 0 & \quad \Psi_0 \approx 3 \cos^2 \theta - 1 \end{aligned}$$

(2) funktsiyalarga to'g'ri keluvchi beshta orbital xolatlar bir hil energiyaga ega bo'lgani uchun, elektron holati turlicha - ushbu ixtiyoriy funktsiyalar bilan bir xilda tavsiflanadi va **Shredinger tenglamasining** umumiy echimi xossasiga asosan, ixtiyoriy ularning chiziqli kombinatsiyasi bilan ifodalanadi.

Bu funktsiyaning radial qismi  $R_{nl}(r)$  xaqiqiy xisoblanadi, (2) ga asosan,  $\Psi_{nm}$  kompleks funktsiyalar ( $m$  q  $0$  dan tashqari), xaqiqiy funktsiyalarni,  $m$  -

ning bir hil qiymatlariga mos keladigan funktsiyalarni juft kombinatsiyalab, xosil qilish mumkin. Muhokama qilishga qulaylik uchun, ularni to'g'ri burchakli koor-dinatalarda ifodalaymiz, unda qo'yidagi ifodalarga ega bo'lamiz:

$$d_{z^2} \equiv \Psi_0 \approx \frac{3z^2 - r^2}{r^2} = \frac{[(z^2 - x^2) + (z^2 - y^2)]}{r^2}$$

$$d_{x^2-y^2} \equiv \frac{(\Psi_2 - \Psi_{-2})}{\sqrt{2}} \approx \frac{(x^2 - y^2)}{r^2} \quad d_{xy} \equiv \frac{(\Psi_2 - \Psi_{-2})}{i\sqrt{2}} \approx \frac{xy}{r^2}$$

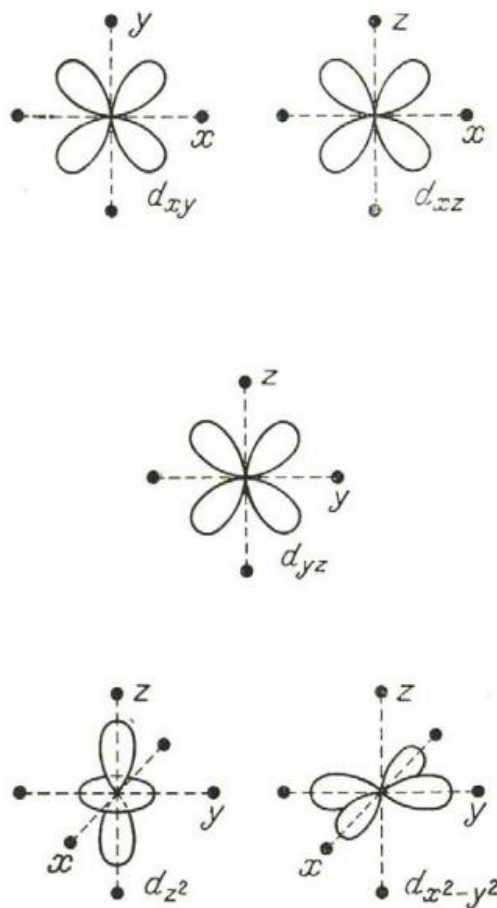
$$d_{xz} \equiv \frac{(\Psi_1 + \Psi_{-1})}{\sqrt{2}} \approx \frac{xz}{r^2} \quad d_{yz} \equiv i \frac{(\Psi_1 - \Psi_{-1})}{\sqrt{2}} \approx \frac{yz}{r^2} \quad (3)$$

Bu funktsiyalar dekart koordinatalar sistemada, 8-rasmda ko'rsatilgan. Endi kristall maydonning qaralayotgan d-elektron orbital holatiga ta'sirini tahlil qilamiz. Umumiy holda, kristall maydon potentsalini, alohida hadlari turlicha simmetriyaga muvofiq keladigan, qator ko'rinishida ifodalash mumkin, bu mazmunan sferik funktsiyalar bo'yicha qatorga ajralishiga ekvivalent bo'ladi. Shunday ajralishning birinchi hadi, sferik simmetriyaga ega va shuning uchun, faqat to'liq funktsiyalarning radial tashkil etuvchisiga ta'sir etishi mumkin. U qoida bo'yicha katta qiymatga ega bo'lsada, energetik kengayish va aynish holatlarini o'zgartirmaydi. Bu hadni olib tashlagandan so'ng, nisbatan kam simmetriyali (trigonal va tetragonal) kompotentalar qo'yilgan kristall maydon, kubik simmetriyali potentsial bilan ifodalanadi.

Avvalo kubik kristall maydonni ko'rib chiqamiz. Misol uchun, bunday maydon oktaedrik koordinatsiya (koordinatsiya raqami 6) cho'qqilarida joylashgan **ligandlarning** (anionlar) elektr zaryad-laridan tashkil topgan deb tasavvur etish mumkin.

$\hat{H} = \hat{H}_0 + \hat{W}_{corr.} + \hat{W}_{CF}$  gamiltonianda sferik simmetrik potentsialga g'alayonlanish qo'shilishi, boshlang'ich besh karra g'alayonlangan d-elektron satxini ikki sathga, aynan  $d_\gamma$  dublet va  $d_\epsilon$  tripletga ajralishiga olib keladi. Odatda  $\Delta (\approx 10Dq)$  bilan belgilanuvchi ajralish kattaligini g'alayonlanish nazariyasi usullari bilan hisoblanishi mumkin.  $d_\gamma$  va  $d_\epsilon$  sathlarning ketma-ketligi oktaedrik simmetriyada: triplet kichik energiyaga ega, yuqorida bayon etilgan boshqa holatlarda teskari vaziyat o'rinli.

Olingan natijalarga aniq izoh berish mumkin. Misol tariqasi-da avval oktaedrik koordinatsiyada (masalan,  $Ti^{3+}$ ) bitta d-elektron-li ionni ko'rib chiqamiz. Endi to'liq funktsiya sifatida, avvalgidek, (2) funktsiyalarning ixtiyoriy chiziqli kombinatsiyasini olishimiz mumkin emas. Bu xolatda tanlangan funktsiyalar kristall maydon simmetriyasini etarlicha yaxshiroq ifodalashi yoki "takrorlashi" kerak. 8 - rasmdan, (3) funktsiyalarni mos kelishini ko'rish qiyin emas. Shubhasiz, kubik simmetriyali maydonda  $d_{xz}$ ,  $d_{yz}$ ,  $d_{xy}$  funktsiyalar bir- biriga ekvivalent va energetik g'alayonlangan. Mos keluvchi xolatlarni  $d_\epsilon$  bilan belgilash mumkin.



8- rasm (3) funktsiyaning sxematik ko‘rinishi.  
Qora nuqtalar bilan ligandlarning oktaedr  
uchlaridagi joylashuvi ko‘rsatilgan.

Qolgan funktsiyalar juftini tavsiflaydigan xolatlar ekvivalent-ligi bir qarashda sezirarli emas. Biroq,  $d_{z^2}$  funktsiya,  $\frac{(y^2 - x^2)}{r^2}$  funktsiyaga ekvivalent  $\frac{(z^2 - x^2)}{r^2}$  va  $\frac{(z^2 - y^2)}{r^2}$  funktsiyalarning kombinatsiyasidan iboratligini inobatga olsak, ularning ekvivalentligiga ishonch hosil qilish mumkin. Mos keluvchi ikki marta g‘alayonlangan sathni  $d_\gamma$  deb belgilaymiz.

Ligandlar holati ko‘rsatilgan 8 -rasmdan, kelib chiqadiki,  $d_\gamma$  orbitalarda joylashgan elektronlar,  $d_\epsilon$  xolatlardagi elektronlarga nisbatan, manfiy zaryadlangan ionlar bilan kuchli munosabatga kirishadi. Elektrostatik itarish natijasida  $d_\epsilon$  holat energiyasi,  $d_\gamma$  holat energiyasiga nisbatan kam bo‘ladi. Demak, yuqorida ko‘rsa-tilganidek, avval besh karra galayonlangan d -sath oktaedrik maydonda  $d_\epsilon$  dubletga va kichik energiyali  $d_\gamma$  tripletga ajraladi. Agar ligandlar oktaedr emas, balki to‘g‘ri tetraedr, kub yoki dodekaedrni hosil qilsa, sathlar ketma ketligi teskari bo‘lib qoladi, bunga o‘xshash mulohazalar orqali ishonch xosil qilish mumkin.

Ajralish parametri,  $\Delta(\equiv 10Dq)$  kubik simmetriyali maydonda ajralishni aniqlaydigan asosiy kattalik. Uning kattaligi ham kation turiga, xam elektrik

zaryad va ligandlarning geometrik joylashishiga bog‘liq. Shuni aytish mumkinki, oktaedrik va tetraedrik konfiguratsiyalarda ajralish kattaliklarining nisbati uchun qo‘yidagi natija kelib chiqadi:

$$\frac{\Delta_{oct.}}{\Delta_{tetr.}} = \frac{9}{4}$$

Agar maydon simmetriyasi kubikga nisbatan kichik bo‘lsa, unda

$d_e$  va  $d_\gamma$  sathlarning ajralishi davom etadi. Keyinchalik asosan eng past simmetriyali ikki vaziyat, aynan, trigonal va tetragonal simmetriyalarni ko‘ramiz. Biroq, ikkala holatda nisbatan kichik komponentalar qoplanuvchi boshlang‘ich kubik maydonning aniq bir g‘alayonlanishi haqida so‘z yuritiladi.

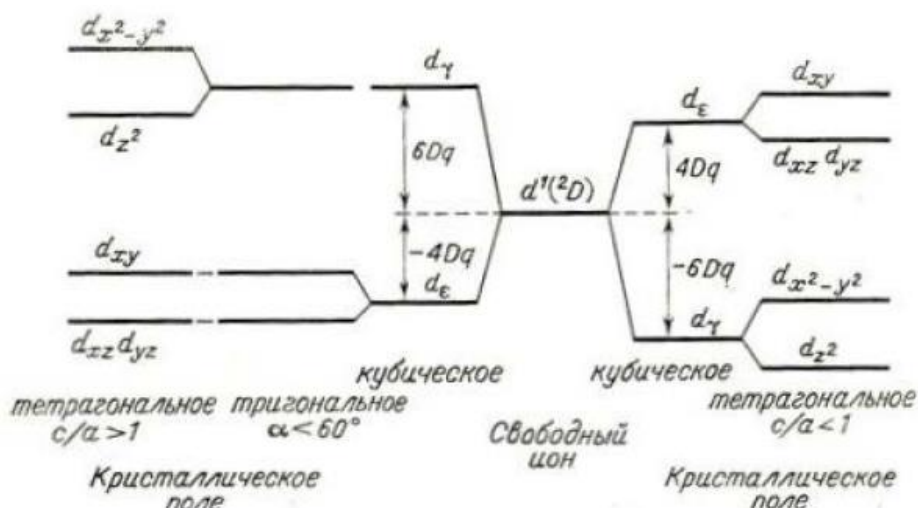
9-rasmda trigonal va tetragonal simmetriyali holatda ko‘rsatilgan g‘alayonlanishdan sodir bo‘ladigan qo‘shimcha ajralish ko‘rsatilgan. Birinchi holda, eng qo‘yi triplet ikki sathga ajraladi: dublet va singlet; ikkinchi holda, ikkala  $d_e$  va  $d_\gamma$  komponentalar ajraladilar. Bunda trigonal maydonning yuzaga kelishi oktaedr buzilishlari bilan bog‘liq.

### Orbital moment “muzlashi”.

Kristallarda 3d -ion orbital momentining “muzlashi” masalasini ko‘rib chiqamiz.  $d_{x^2-y^2}$  holat uchun:

$$\bar{L}_z = i \int \frac{(x^2 - y^2)}{r^2} \left( y \frac{\partial}{\partial x} - x \frac{\partial}{\partial y} \right) \frac{(x^2 - y^2)}{r^2} dx dy \quad (1.7)$$

ga ega bo‘lamiz. Ma’lumki,  $\bar{L}_z$  q 0 bo‘lishi, integral osti funktsiyaning toqligi sababli. Xuddi shuni ixtiyoriy kristalldagi 3d -ion orbital momenti komponentasi uchun ham olish mumkin.



9- rasm. Turli simmetriyali kristall maydonlarda elektron satxlarning ajralishi. (chapdan oktaedrik, o‘ngdan tetraedrik maydon).



Shunday qilib, g'alayonlanmagan holatlar uchun, orbital momentning o'rtacha qiymati nolga teng va aytamizki, kristall maydon, paramagnit ionning xarakteristik miqdori, orbital momentini "muzlatadi". Bu shuni tushuntiradiki, faqatgina d-qobig'idagi spin magnit momentini hisobga olgan holda,  $3d$  -ionini nazariy jihatdan magnit momentlarini qiymatlarini eksperimental qiymatlariga mos kelishini izohlab beradi.

### Kramers teoremasi.

Kuchsiz kristall maydonda  $W_{CF} \ll W_{LS}$ , shuning uchun, multiplet tuzilishi saqlanadi. U holda, kristall maydonni erkin ion energetik spektri  $(\tau, L, S, J)$  - sathlariga ta'sir etuvchi g'alayonlanish sifatida ko'rib chiqish mumkin.  $L, S, J$  vektorlar kuchli spin orbital o'zaro ta'sir bilan bog'liq bo'lgani uchun, maydon ta'siri  $J$  vektorning xossasida aks etadi. Erkin ionda xar bir  $(\tau, L, S, J)$  - satx ( $2J+1$ )-karrali g'alayonlanish bilan tavsiflangan vaqtda, kristall maydonda, magnit maydon mavjud bo'lmagan holda ham, g'alayonlanishning qisman yoki to'la g'alayonlanishning so'nishi sodir bo'ladi. Romb simmetriyali kristall maydonda sathlarning to'la ajralishi o'rinli. Elektronlarning soni juft yoki toq bo'lishiga bog'liq ravishda, ion spektri singlet yoki dubletdan tashkil topadi. Ionlarning bunday juft yoki toq elektronlar soniga ega bo'lishi, **Kramers teoremasi** bilan tushuntiriladi va **fizik ma'nosi qo'yidagicha: Har qanday toq sonli elektronlarga ega tizim, butun bo'lmagan natijaviy S spinga ega bo'ladi.**

Bundan kelib chiqadiki, bunday tizimda orbital aynish holati kamayadi va bundan tashqari, spin bo'yicha ( $2S+1$ )-karrali g'alayonlanish ham qarama-qarshi yo'naltirilgan spinlarda elektronlarni juftlashishi hisobiga kamayadi (chunki aniqlangan orbital moment proektsiyasi, ikki qarama-qarshi yo'naltirilgan spin momenti proektsiyasiga mos kelishi lozim), aks holda, faqat bitta elektron juftlashmagan spin  $1/2$  bilan qoladi. Bu elektron g'alayonlangan holatda bo'lib, uning spin vektori «-» yoki «Q» yo'nalishga ega bo'lishi mumkin.

Bunday g'alayonlanishni, elektr maydoni spinga ta'sir etmasada, na kristallik maydoni va na kuch ta'sirida (masalan, spin-orbital) ikkala yo'nalishli spinlarning ichki o'zaro ta'sir ekvivalentligi kamaytira oladi. U faqat tashqi, spin bilan bog'liq ta'sirlar natijasida kamayishi mumkin. Ionlarda kristall maydon ta'sirida hosil bo'luvchi dubletlar, odatda, **Kramers dubletlari** deb ataladi. Bu dubletlar magnit maydonda ajralgani uchun, ular ionlar magnit xossalari aniqlashda muhim hisoblanadi. Magnit maydonda ajralish odatda qo'yidagiga sodir bo'ladi, guyoki har bir dublet  $1/2$  ga teng bo'lgan "effektivli" spin orqali xarakterlanadi, shunga qaramay, mos keluvchi g-faktor, spin uchun xarakterli qiymatlardan (ba'zi hollarda kattaroq qiymatlarga), shuningdek, boshlang'ich multiplet **Lande** faktoridan farqlanadi.

### Laboratoriya ishi №3

## FERROMAGNITNING MAGNITLANISH EGRI CHIZIG'INI VA GISTERZIS HALQASINI O'LCHASH

### Ishning maqsadi:

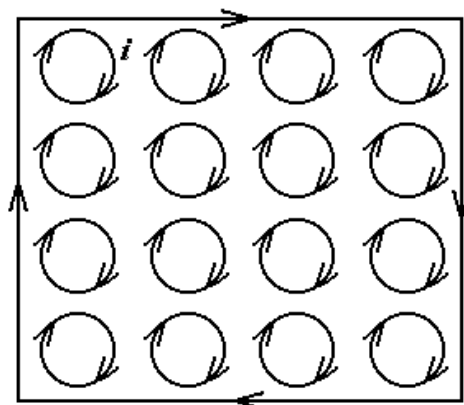
O'zgaruvchan magnet maydonida joylashgan ferromagnitlarning magnitlanishini va gisterezis xalqasini hosil bo'lish jarayonini o'rganish.

**Kerakli asbob-uskunalar:** 1 Power-CASSY (524011), 1 Sensor-CASSY (524010), yoki (524013), 1 CASSY Lab 2 (524220), 1 U-ko'rinishli o'zak (56211), 1 Mahkamlash qurilmasi (562121), 2 500 o'ramli g'altak (56214), 4 Ulash kabellari, 100 cm, qora (500444), 1 PC with Windows XPG'VistaG'7G'8:

**Alternativ hol ( Power-CASSY siz):** 1 Sensor-CASSY (524010) yoki (524013), 1 CASSY Lab 2 (524220), 1 U-ko'rinishli o'zak (56211), 1 Mahkamlash qurilmasi (562121), 2 500 o'ramli g'altak (56214), 1 Funktsional generator S12 (522621), 1 STE resistor 10, 2 W (57719), 1 Pozetkalar doskasi (57671), 1 Ulash kabeli, 50 cm, qora (500424), 7 Ulash kabellari, 100 cm, qora (500444), 1 PC, Windows XPG'VistaG'7G'8

### 1. Nazariy ma'lumotlar

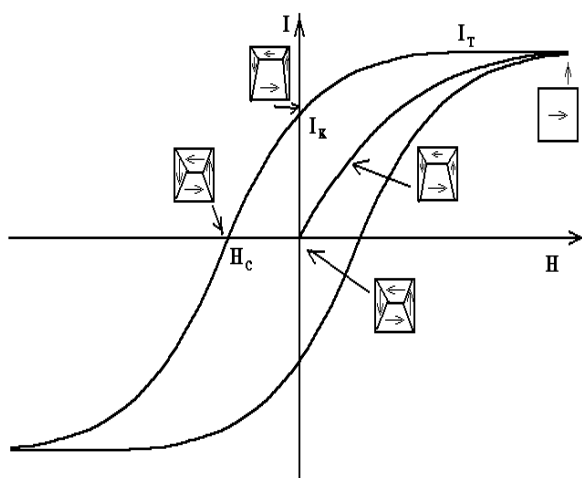
**Muhitning magnitlanishi. Magnitlanish egri chizig'i.** Turli moddalar magnit maydonida magnitlanadi, ya'ni ularning o'zi magnit maydon manbai bo'lib qoladi. Magnitlanish qobiliyatiga ega bo'lgan moddalar *magnetiklar* deyiladi. Magnitlanishning sababi hamma moddalarda bitta atom chegarasida tutashgan mayda elektr toklarining, ya'ni molekulyar toklar  $i$  - ning mavjudligidir. Agar magnetik magnitlanmagan bo'lsa, u holda u magnit maydon hosil qilmaydi. Bu, ularda molekulyar toklar tartibsiz joylashgan va ularning yig'indi ta'sirlari nolga teng degan so'zdir. Magnetik magnitlanishida molekulyar toklarning joylashishi qisman yoki butunlay tartiblanib qoladi. SHuning uchun magnitlangan magnetikni mayda orientatsiyalangan toklar sistemasi kabi tasavvur qilish mumkin (1- rasm).



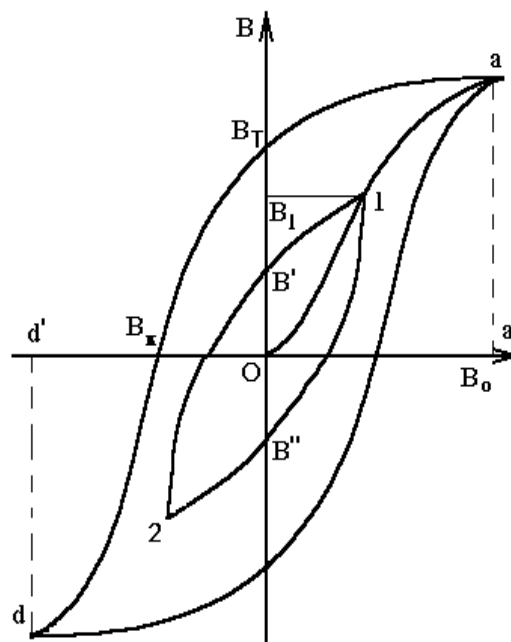
1 – rasm.

Moddaning magnitlanishi  $I$  (hajm birligidagi magnit momenti) magnit maydon kuchlanganligi bilan  $Iq\chi \cdot H$  ifoda orqali bog'langan ( $\chi$  - magnit qabul qiluvchanlik). Magnit maydoni induksiyasi  $V$  va magnit maydon kuchlanganligi  $N$  ning qiymatlariga qarab magnetikning magnitlanishi  $IqVG'\mu_0-N$  - ni aniqlash mumkin. Ferromagnetiklar uchun magnitlanish  $I$ -ning  $N$  - ga bog'liqligini 2 – rasmda tasvirlangan. Maydon kuchlanganligi  $N$  -ning ortishi bilan magnitlanish  $I$  ham tez orta boshlaydi, so'ngra magnitlanish to'yinishga ega bo'ladi, bunda magnitlanish biror maksimal qiymat  $I_T$  - ga etadi va deyarli magnit maydon kuchlanganligiga bog'liq bo'lmay qoladi.

**Gisterezis hodisasi.** Bizga ma'lumki, ferromagnetlarda gisterezis hodisasi kuzatiladi. Agar magnitlanmagan ferromagnetni magnitlovchi g'altak ichiga joylashtirsak magnetikdagi magnit induksiya qiymati 3 - rasmdagi  $OV_1$  ordinata kesmasi bilan tasvirlanadi. Endi yana magnit maydonini kamaytirsak, unda induksiya kamayishi 1O induksiya egiri chizig'i kesmasi bilan emas, balki  $1V'$  egiri chizig'i bilan tasvirlanadi va maydon yana nolga tenglashganda induksiya nolga teng bo'lmaydi,  $OV'$  kesma bilan ifodalanadi.



2 – rasm



3 – rasm

Bu holatda ferromagnetik doimiy magnit bo'ladi. Agar bundan keyin magnitlovchi g'altakdagi tokning yo'nalishini o'zgartirilsa va namuna teskari yo'nalishda magnitsizlantirilsa, unda induksiya egiri chizig'i  $V'2$  egiri chiziq kesmasi bilan ko'rsatiladi. Maydonni teskari yo'nalishda o'zgartirilganda induksiya  $2V''1$  egiri chiziqqa mos ravishda o'zgaradi. Ferromagnetikni siklik qayta magnitlashda undagi induksiya o'zgarishi sirtmoqsimon yopiq egiri chiziq  $1V'2B''1$  bilan tasvirlanadi. Induksiya o'zgarishining magnit maydon kuchlanganligi o'zgarishidan o'ziga xos orqada qolishi ro'y berdi. Bu hodisa magnit **gisterezisi** deb nom oldi. Induksiya  $V$  ning  $N$  ga bog'liqligini ko'rsatuvchi

sirtmoqsimon egiri chiziq *gisterezis sitrmog'i* deyiladi (3-rasm). Rasmda ko'rsatilgan egiri chiziqdan magnitlovchi egiri chiziq yo'qotilganda ferromagnit qoldiq magnetizmni saqlab qoladi, shu bilan birga magnetik ichida biror qoldiq induksiya mavjud bo'ladi. Magnitlovchi maydon amplitudasi orttirilganda u chegaraviy qiymat  $V_T$  ga erishadi. Qoldiq magnitlanishni yo'qotish uchun ferromagnetik ichida dastlabki magnitlovchi maydonga qarshi yo'nalgan  $ON_K$  kesma bilan tasvirlangan maydon hosil qilish lozim. Bu maydonni ferromagnetikning *tutib qoluvchi* yoki *koersitiv kuchi* deyiladi. Gisterezis xalqasining kuzatilishi ferromagnitlarda alohida-alohida joylashgan mikroskopik, ya'ni etarlicha kichik hajmdagi magnitlangan qismlar – **domenlarning** mavjudligidir (2 rasmga qarang).

## **II. O'lchash uslubining nazariyasi va qurilmasining tavsifi**

### **CASSY Lab 2 ning ko'rsatmalari**

Misollarni va asboblarni o'rnatish uchun CASSY Lab 2 yordamidan foydalaning.

### **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

$$H = \frac{N_1}{L} \cdot I \quad (1)$$

Ammo hosil bo'ladigan magnit oqimining zichligi yoki magnit induksiyasi  $H$  ga to'g'ri chiziqli proportsional bo'lmaydi

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 H \quad (2)$$

Bu yerda  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{V \cdot s}{A \cdot m}$

Magnit maydon kuchlanganligi  $H$  ning ortishi bilan magnit induksiyasi  $B_s$  to'yinish qiymatiga erishadi. Nisbiy magnit singdiruvchanlik  $\mu_r$  ning qiymati magnit maydon kuchlanganligi  $H$  dan va ferromagnitning dastlabki magnit holatidan bog'liq bo'ladi.

Magnitsizlantirilgan ferromagnetikda magnit maydon kuchlanganligi  $H$  q 0 AG'm bo'lganda magnit induksiyasi  $B$  q 0 T bo'ladi. Ammo, oddiy hollarda ferromagnit  $H$  q 0 AG'm bo'lganda ham nolga teng bo'lmagan qoldiq magnit oqimi zichligi  $B$  ga ega bo'ladi.

Shunday qilib, magnit induksiyasi  $B$  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  $H$  q 0 AG'm va  $B$  q 0 T bo'lganda koordinatalar

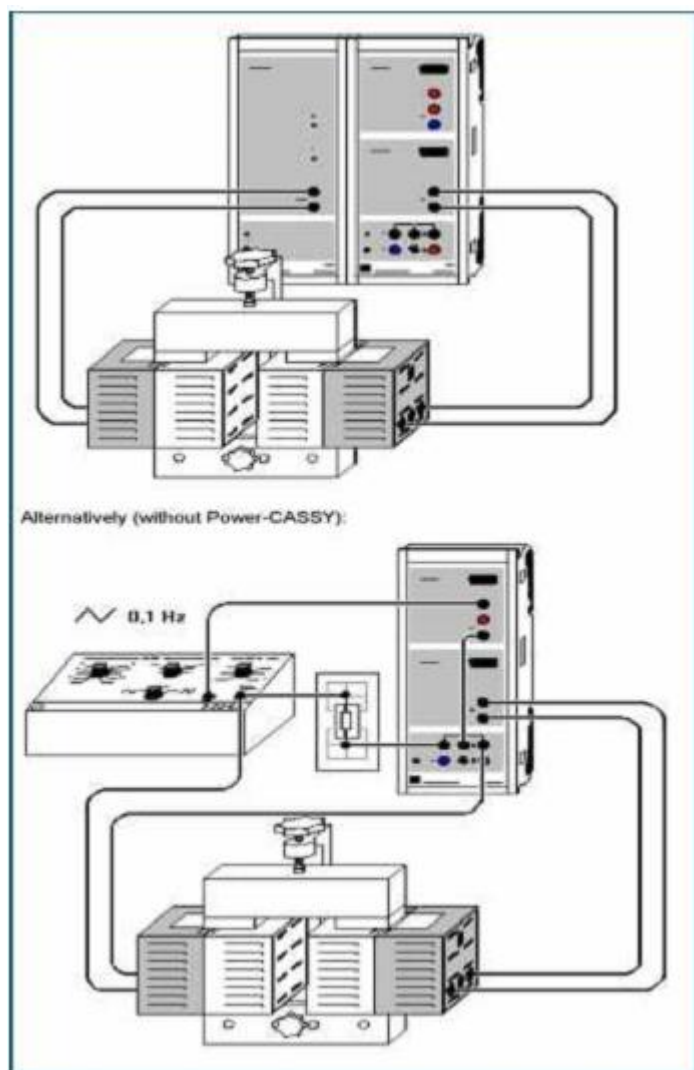
sistemasining 0 nuqtasidan boshlanadigan magnitlanish egri chizig'idan farq qiladi.  $B_u$  tajriba misolida  $H$  va  $B$  lar to'g'ridan to'g'ri (bevosita) o'lchanmagan, balki ularga proportsional bo'lgan kattaliklar, -birlamchi chulg'amdagi tok kuchi

$I_q(LG'N_1)*H$  va ikkilamchi chulg'amdagi magnit oqimi  $F_qN_2*A*B$  dan foydalanilgan ( $N_2$ –ikkilamchi chulg'amdagi o'ramlar soni,  $A$  –ferromagnit o'zagining ko'ndalang kesimi). Magnit oqimi  $F$  ikkilamchi chulg'amda induksiyanadigan  $U$  kuchlanishning integrali sifatida hisoblab topilgan.

### **Eksperimental qurilma:**

Power –CASSY transformatorning birlamchi chulg'amini tok bilan ta'minlaydi.  $F$  magnit oqimi ikkilamchi g'ltakda induksiyanadigan 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  $I_q 0 A$  da triggerlangan. Bu nuqtaga aniq erishish uchun tok rele yordamida transformator orqali shuntlanganva egri chiziqni o'lchashdan oldin qarshiligi 1 Om bo'lgan rezistordan oqadi.



### **III. Ishni bajarish tartibi** **Qurilmani ishga tushirish**

1. 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" nibosing.

2. Transformatorning o'zagini magnitsizlantiring.

3. Tajriba o'tkazishni boshlang

4. Gisterezis halqasining bir davridan keyin yoki Fq 0 Vs da o'lchashni to'xtating (bu holda o'zak qayta magnitsizlantirilmasligi mumkin)

5. Agar gisterezis halqasi ikkinchi va to'rtinchi kvadrantlarda yotgan bo'lsa, ikki g'altakdan birining ulash nuqtalarini qarama -qarshisiga almashtiring.

6. Agar tajriba o'tkazish davomida grafik displeyda tashqarida bo'lsa, SettingUB dan o'lchash diapozonini kengaytiring.

### **Hisoblashlar**

Gisterezis halqasi  $B(H)$  ning yuzasi  $\int B \cdot dH = \frac{E}{V}$  magnitsizlantirilgan materialning  $V$  hajmida qayta magnitlashdagi energiya isrofiga mos kelganligi uchun  $F(I)$  diagrammadagi berk soha

$$\int \Phi dI = \int N_2 \cdot A \cdot B \cdot \frac{L}{N_1} dH = \frac{N_2}{N_1} V \int B dH = \frac{N_2}{N_1} E$$

Ifoda bizga  $N_1$  q  $N_2$  uchun qayta magnitlanishdagi energiya isrofi  $E$  ni aniq beradi. Diagrammada siz gisterezis halqasining "Peak Integration" bo'limidan foydalanib bu energiya isrofini hisoblashingiz mumkin.

### **Nazorat savollari:**

1. Magnit induksiya vektori, maydon kuchlanganligi vektori va magnitlanish vektorlari qanday bog'langan? Nisbiy magnit singdiruvchanlik bilan magnit qabul qiluvchanlik o'rtasida qanday bog'lanish bor?

2. Magnit maydon kuchlanganligi, magnit induksiya va magnitlanish vektorlarining yopiq kontur bo'yicha Sirkulyatsiyalari nimaga teng?

3. Ferromagnitlarning magnit xossasining o'ziga xos xususiyatlari nimadan iborat? Magnitlanish egri chizig'i va gisterizis halqasi nimadan iborat? Magnit bo'sh va magnit qattiq materiallarning magnit xossalari bir biridan qanday farq qiladi?

4. Antiferromagnetizm nima? Uning magnitlanish jarayoni qanday tushuntiriladi?

5. Ferromagnetizm va uning magnit xossasining o'ziga xos xususiyatlari nimadan iborat? Magnitlanish jarayonini tushuntirib bering.

### **Laboratoriya ishi №4**

### **TO'G'RI O'TKAZGICH VA AYLANMA HALQANING MAGNIT MAYDONINI O'LCHASH**

**Ishning 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 asbob-uskunalar:** 1 4 dona o'tkazgichlar to'plami (516235), teslameter (51662), 1 axial B-probe (51661), 1 tangential B-probe (51660), 1 ko'p o'zakli kabel, 6-qutb (50116), 1 yuqori energiyali manba (52155), 1 kichik optik stol (46043), 1 shtepsel elementlari tutgichi elements (46021), 2 Leybold ko'ptutgich (30101), 1 shtativ, V-shaklda, 28 cm (30001), 1 ikki-yo'lli adapterlar to'plami (501644), Ulash kabellari, Ø2.5 mm<sup>2</sup>

**I. Nazariy ma'lumotlar**

**Doimiy tokning magnit maydoni.** 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'tkazgichdan o'tayotgan tokning kattaligiga va yo'nalishiga bog'liq ekanligini aniqladi.

Tokli o'tkazgich bilan magnit strelkasining o'zaro ta'siri masofaga teskari proporsional ekanligini ham aniqladi. Ersted tajriba natijalarini umumlashtirib, shunday xulosaga keldiki, tok bilan magnitning o'zaro ta'siri tok kuchiga, o'tkazgichning uzunligiga to'g'ri proporsional bo'lib, masofaning kvadratiga teskari proporsional ekanligini aniqladi. Tajribalar ko'rsatdiki, bu o'zaro ta'sir tokning yo'nalishiga bog'liq ekanligi, ya'ni bu o'zaro ta'sirning vektor xarakterga ega ekanligini isbotladi. Shuningdek, u bu o'zaro ta'sirning kattaligi tok va maydonning ta'siri o'rganilayotgan masofaga perpendikulyar ekanligini ham aniqladi. Magnit kuch chiziqlarining konsentrik halqalardan iborat ekanligini ko'rish mumkin.

**Keyinchalik.** Amper doimiy magnitning tokli o'tkazgichga ta'sirini o'rganib, ular o'rtasida ham o'zaro ta'sir kuchi bor ekanligini aniqladi. Bu haqda biz keyingi ma'ruzalarda batafsil to'xtab o'tamiz. Ma'lumki, Amper yana bir tajribasida parallel va antiparallel joylashgan tokli o'tkazgichlarning bir birini tortishini va itarishini kuzatgan edi. Kulon qonunidan ma'lumki, bir xil qutbli magnitlar, bir birini itarishini va har xil qutbli magnitlar bir birini tortishishini bilamiz. Bu o'zaro ta'sirlar magnit maydoni orqali amalga oshiriladi. 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 maydoniga doimiy magnit maydon deyiladi. Doimiy magnit maydonining nazariyasi elektrostatik

maydon nazariyasiga o'xshash bo'ladi. Mana shu holatga e'tibor berishni tavsiya etamiz, chunki bu hol materialni chuqur o'zlashtirishga yordam beradi.

**Magnit maydon induksiya vektori. Tok elementi.** Maydon nazariyasida elementar manba eng muhim rol o'ynaydi. Tortishish nazariyasida bu moddiy nuqta bo'lsa, elektrostatikada nuqtaviy zaryad. 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,  $I dl$  yo'nalishi esa tokning yo'nalishi bilan mos tushadi. Elektrostatikada esa sinov zaryad  $q_0$  olinar edi.

Magnit maydonining asosiy harakte-ristikasi hisoblangan magnit maydon induksiya vektori ham elektrostatik maydonning asosiy xarakteristikasi hisoblangan kuchlanganlik vektori kabi aniqlanadi. Doimiy tok o'tuvchi ixtiyoriy qo'zg'almas o'tkazgichlar sistemasining hosil qilgan magnit maydonini qaraymiz va "sinash tok elementi"  $I_0 dl$  ga (maydonning tekshirayotgan nuqtasiga joylashgan) ta'sir qiluvchi kuch  $\mathbf{F}$  bilan qiziqamiz. Sinash tok elementi uchun qisqa va yupqa ko'zg'almas o'tkazgich olinadi, unga ta'sir etuvchi kulni o'lchash uchun silliq tutashtiruvchi sim olish kerak. Bundan tashqari undan juda kichik tok o'tkazish kerak.

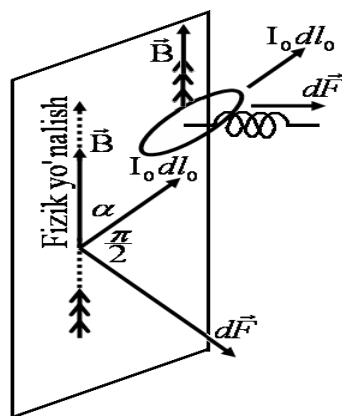
Tajribalar shunday xulosaga olib keladiki,  $d\mathbf{F}$  kuch tok elementining absolyut qiymatiga proporsional,  $d\mathbf{F} \sim I_0 dl_0$  (elektrostatikada  $F \sim q_0$  edi), va uning yo'nalishiga bog'liqdir (tok elementi-vektordir). Maydonning har bir nuqtasida qandaydir fizik yo'nalish mavjud bo'ladi, u shu bilan e'tiborga loyiqki, birinchidan, kuch kattaligi  $d\mathbf{F}$  shu yo'nalish bilan va tok elementi yo'nalishi o'rtasidagi burchakning sinusiga proporsionaldir, ya'ni, tok elementiga ta'sir etuvchi elementar kuch quyidagicha aniqlanadi:

$$d\mathbf{F} \sim q B I_0 dl_0 \sin \alpha \quad (1)$$

bu yerda  $\mathbf{B}$ - proporsionallik koeffisienti bo'lib, maydonning sinash tok elementi joylashgan nuqtasidagi xossasiga bog'liq bo'lib, tok elementining kattaligi va yo'nalishiga bog'liq bo'lmaydi.

Masalan,  $\alpha \rightarrow 0$ ; bo'lganda  $d\mathbf{F}$  ham 0 ga teng bo'ladi,  $\alpha \rightarrow \pi/2$  bo'lganda u maksimaldir.  $d\mathbf{F}$  ning yo'nalishi tok elementining yo'nalishiga bog'liqdir va parma qoidasi bilan aniqladi (1-rasm). Bu holatlar shuni bildiradiki, agar  $\vec{B}$  vektor kiritsak, uning yo'nalishi fizik yo'nalish bilan mos keladi deb hisoblashsak, u vaqtda kuch  $d\mathbf{F}$  ni  $I_0 dl_0$  va  $\vec{B}$  vektorning vektor ko'paytmasi shaklida yozish mumkin.





1-rasm

$$d\vec{F} \propto [I_0 d\vec{l}_0 \vec{B}] \quad (2)$$

yoki uning moduli

$$dF = I_0 dl_0 B \sin \alpha \quad (3)$$

Bu formula elektrostatikadagi  $\vec{F} \propto q\vec{E}$  ga o'xshashdir.

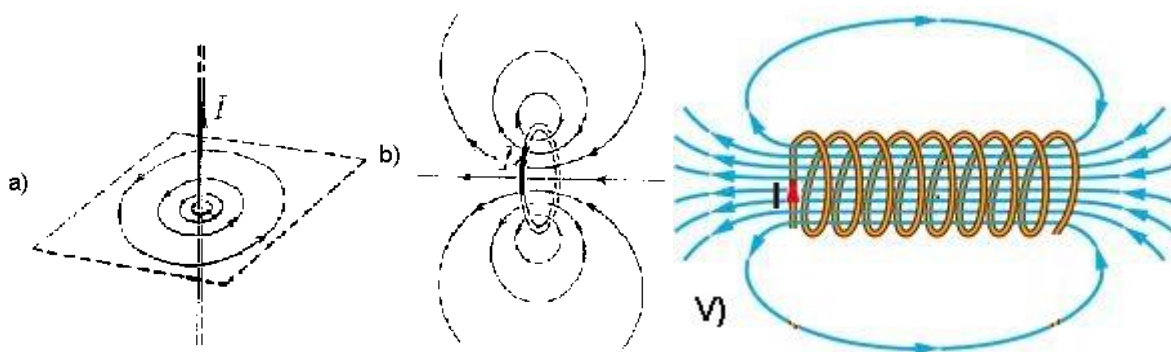
Vektor  $\vec{B}$  sinash tok elementi kattaligiga va yo'nalishiga bog'liq bo'lmaydi, demak maydonning xarakteristikasi bo'la oladi. Unga **magnit maydon induksiya vektori** deb aytiladi.

Tok elementi  $\vec{B}$  vektoriga perpendikulyar yo'nalgan bo'lsa, ( $\alpha \approx \pi/2$ ,  $\sin \alpha \approx 1$ )  $d\vec{F}$  kuch maksimal bo'ladi va u  $dF \propto I_0 dl_0 B$  ga teng bo'ladi. Bundan magnit induksiyasini quyidagicha yozish mumkin:

$$B = \frac{dF}{I_0 dl_0} \quad (4)$$

Bu ifoda ham elektrostatikadagi  $E = F/q$  formulaga o'xshashdir. Bundan ko'rinadiki, magnit induksiya vektorining kattaligi son jihatdan birlik tok elementiga ( $I_0 \approx 1A$ ,  $dl_0 \approx 1m$ ) ta'sir qiluvchi maksimal kuchga teng bo'ladi. Magnit induksiyasining o'lchov birligi qilib, XB sistemasida "tesla" (Tl) qabul qilingan:  $1Tl \approx 1N/A \cdot m$

Har qanday vektor maydon singari, magnit maydonini ham magnit induksiya vektori chiziqlari oilasi orqali tasvirlash mumkin (elektrostatikadagi kabi). Magnit induksiya chiziqlarining manzarasi o'zining xarakteri jihatidan elektrostatik maydon kuch chiziqlaridan tubdan farq qiladi. Ma'lumki, elektrostatik maydon kuch chiziqlari zaryadlardan boshlanib, zaryadlarda tugatilib, magnit induksiya kuch chiziqlarining boshlanish va oxiri yo'q - ular yopiq chiziqdan iborat bo'ladi. Magnit induksiya chiziqlarining bu xossasi 2 rasmda yaqqol ko'rinadi, a) to'g'ri chiziqli cheksiz uzun o'tkazgich, b) aylanma tok v) tokli g'altakning magnit maydon manzarasi tasvirlangan.



2 - rasm

Chiziqlari yopiq bo'lgan vektor maydoniga uyurmali maydon deyiladi. Demak, doimiy magnit maydoni- uyurmali bo'lib, uyurmali emas elektrostatik maydonidan farq qiladi. Ma'lumki, elektrostatik maydonning kuch chiziqlari yopiq emas edi.

**Superpozitsiya prinsipi.** Savol tug'iladi: qanday qilib toklar hosil qilgan magnit maydonning taqsimlanishini yoki maydonning induksiyasini hisoblash mumkin. Eslatib o'tamizki, bunday muammoga elektrostatikada ham duch kelgan edik, ya'ni zaryadlarning taqsimlanishi berilgan bo'lsa, superpozitsiya prinsipi asosida elektrostatik maydon kuchlanganligini hisoblagan edik.

Tajribalar tasdiqlaydiki, shunga o'xshash prinsip magnit maydonida ham mavjud bo'ladi: tokli o'tkazgichlar sistemasi tomonidan hosil qilgan maydonning muayan nuqtadagi magnit induksiyasi shu nuqtada alohida toklar qismlari hosil qilgan magnit induksiyalarining yig'indisiga teng bo'ladi. Hususan, agar o'tkazgichlarni fikran cheksiz kichik elementlarga bo'lsak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\vec{B} = \int d\vec{B} \quad (5)$$

Bu yerda  $d\vec{B}$  - alohida tok elementi tomonidan hosil qilingan magnit maydon induksiyasi bo'lib, integrallash sistemadagi barcha tokli o'tkazgichlar bo'yicha bajariladi.

**Bio-Saavar-Laplas qonuni.** Dastlab, alohida tok elementi hosil qilgan magnit maydon induksiyasini topadigan formulani keltirib chiqarish kerak. Bu yerda izolyatsiyalangan tok elementlari orqali tajribadan keyin, cheksiz uzunlikdagi turli shakldagi o'tkazgichlarning hosil qilgan magnit maydonini tahlil qilish orqali bilvosita magnit induksiyasini aniqlanadigan formulani topishga harakat qilamiz. Bu masalani Bio-Saavar-Laplas qonuni ham deb ataladi va XB sistemasida quyidagicha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \left[ \frac{Idl\vec{r}}{r^3} \right] \quad (6)$$

Bu formulada  $\mathbf{r}$  -radius-vektor bo'lib, tok elementi  $I dl$  dan vektor  $\vec{B}$  aniqlanayotgan maydon nuqtasiga o'tkazilgan yo'nalishdagi masofani bildiradi (3-

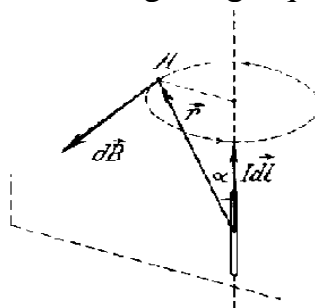
rasm).  $\mu_0 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ GnG'm}$  -magnit doimiylik,  $\mu$ -nisbiy magnit singdirvchanlik.

$d\vec{B}$  vektorining moduli uchun, (6) ga asosan quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2} \quad (7)$$

Bu yerda  $\alpha$ - tok elementi  $I dl$  bilan, radius-vektor  $\vec{r}$  orasidagi burchak,  $\vec{B}$  vektorning yo‘nalishi vektor ko‘paytma  $[\vec{Idl} \cdot \vec{r}]$  yo‘nalishi bilan mos keladi va Parva qoidasi bilan aniqlanadi.

Ma‘lumki,  $d\vec{B}$  kattalik faqat masofa  $r$  ga bog‘liq bo‘lmasdan,  $\alpha$

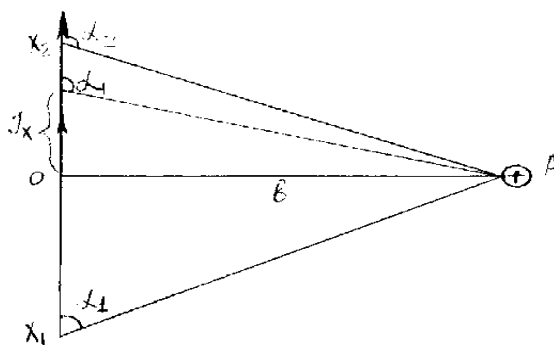


3 – rasm

burchakka ham bog‘liqdir, agar  $\alpha \rightarrow 0$  bo‘lsa, magnit induksiyasi nolga teng va  $\alpha$  ning  $\pi/2$  ga yaqinlashishi bilan U oshadi.

Superpozitsiya prinsipini qo‘llab Bio-Saavar-Laplas qonuni orqali har qanday tokli o‘tkazgichning magnit maydonini hisoblash imkoniyatiga ega bo‘lamiz. Ikkita misol keltiramiz.

**To‘g‘ri tokli o‘tkazgichning magnit maydoni.** Qandaydir yuqqa tokli o‘tkazgich to‘g‘ri qismga ega bo‘lsin. Ana shu to‘g‘ri chiziqli qism hosil qilgan magnit maydon induksiyasini hisoblaymiz. Maydonning qaralayotgan nuqtasidan o‘tkazgichga bo‘lgan masofani  $dx$  bilan belgilaymiz, o‘tkazgich bo‘ylab koordinatani 0 nuqtadan boshlab X o‘qini o‘tkazamiz (4-rasm).



4-rasm

Koordinatasi  $x$  va uzunligi  $dl = dx$  bo‘lgan o‘tkazgich tok elementining A nuqtada hosil qilgan magnit induksiya vektori Bio-Saavar-Laplas qonuniga ko‘ra:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idx \sin \alpha}{r^2} \quad (8)$$

ga teng bo‘ladi.

(7) va Parva qoidasidan foydalanilsa, o'tkazgichning barcha kichik elementlari hosil qilgan  $d\vec{B}$  vektorlari bir hil yo'nalishga, chizma orqasi tomon yo'nalgan bo'ladi va (Q) bilan belgilanadi. Shuning uchun yig'indi vektor  $\vec{B}$  ham shu yo'nalishga tomon bo'ladi, uning absolyut miqdori barcha  $d\vec{B}$  larning absolyut miqdorlarining yig'indisiga teng bo'ladi, ya'ni quyidagi aniq integral bilan ifodalanadi:

$$B = \int dB = \int \left( \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \sin \alpha dx}{r^2} \right) \quad (9)$$

Bu integralni hisoblash uchun o'zgaruvchi  $\alpha$  ni  $r$  va  $dx$  orqali ifodalash kerak.

4-rasmdan ko'rinadiki,  $x \sin(\pi - \alpha) = b \sin \alpha$ , buni differensiallasak,  $dx \sin \alpha - x \cos \alpha d\alpha = b \cos \alpha d\alpha$  ni hosil qilamiz.  $r$  uchun esa  $r \sin(\pi - \alpha) = b \sin \alpha$ . Bularni (9) ga qo'ysak, u quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} \int \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad (10)$$

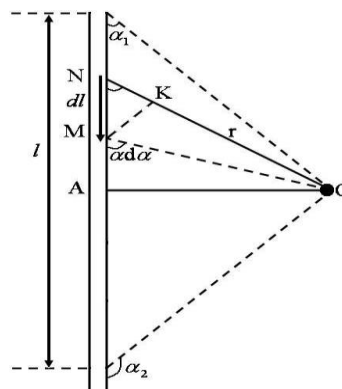
bu yerda  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  lar  $\alpha$  ning chegaraviy qiymatlari bo'lib, To'g'ri chiziqli o'tkazgichning oxirlariga to'g'ri keladi. Ideal holda cheksiz uzunlikdagi To'g'ri chiziqli o'tkazgich uchun  $\alpha \rightarrow 0$  va  $\alpha_2 \rightarrow \pi$  bo'ladi, u vaqtda (10) formula quyidagicha ko'rinishga keladi:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} \quad (11)$$

Bu formula taxminan to'g'ri chiziqli o'tkazgichning o'rtasiga to'g'ri kelgan maydonni aniqlashga imkon beradi.

To'g'ri chiziqli cheksiz uzunlikdagi o'tkazgichning magnit induksiya chiziqlarining manzarasi esa 2 a rasmda ko'rsatilgan.

Bio-Savar-Laplas qonuni bo'yicha C nuqtada o'tkazgichning elementar qismi  $dl$  tomonidan hosil qilingan magnit induksiya (5-rasm) quyidagiga teng:



5-rasm

$$dB = \mu\mu_0 \frac{Idl \sin \alpha}{4\pi r^2} \quad (12)$$

Mazkur holda C nuqtada vektor perpendikulyar yoʻnalgan. Xuddi shunday yoʻnalishga oʻtkazgichning boshqa elementlari hosil qilgan magnit induksiya vektori ham ega boʻladi. Bu esa (12) dagi vektorni yigʻindi algebraik ifoda bilan almashtirishga imkon beradi.

Shunday qilib, C nuqtada  $l$  tokli oʻtkazgich tomonidan hosil qilingan yigʻindi induksiyaning topish uchun (12) ifodaning yigʻindisini olish kerak, yoki integrallash kerak. Buning uchun  $r$  va  $dl$  ni  $\alpha$  oʻzgaruvchi orqali ifodalaymiz. Rasmdagi ANC uchburchakdan

$$NC = r = \frac{r_0}{\sin \alpha}, \quad (13)$$

Bu yerda  $r_0$  – C nuqtadan oʻtkazgich yoʻnalishiga tushirilgan perpendikulyarning uzunligi.

MNK uchburchakdan quyidagini topamiz

$$dl = \frac{MK}{\sin \alpha} \quad (14)$$

$dl$  juda kichik boʻlgani uchun, CMqCKqr deb olish mumkin. Shuning uchun

$$MK = r d\alpha = \frac{r_0}{\sin^2 \alpha} d\alpha \quad (15)$$

$r$  va  $dl$  ning qiymatlarini (15) formulaga qoʻysak,

$$dB = \mu_0 \mu \frac{I \sin \alpha}{4\pi r_0} d\alpha \quad (16)$$

C nuqtada  $l$  uzunlikdagi tokli oʻtkazgichning hosil qilgan magnit maydon induksiya quyidagicha boʻladi:

$$B = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \mu\mu_0 \frac{I \sin \alpha}{4\pi r_0} d\alpha = \mu\mu_0 \frac{I}{4\pi r_0} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha, \quad (17)$$

Bu yerda  $\alpha_1$  va  $\alpha_2$  - oʻtkazgich boshlangʻich va oxirgi uchlaridan C nuqtaga oʻtkazilgan radius-vektorlar bilan oʻtkazgichning yoʻnalishi orasidagi burchaklar.

Keyingi ifodani integrallasak, quyidagiga ega boʻlamiz:

$$B = \mu\mu_0 \frac{J}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2), \quad (18)$$

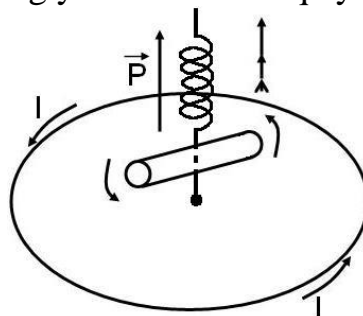
Agar oʻtkazgich cheksiz uzun boʻlsa ( $l \rightarrow \infty$ ), u holda  $\alpha_1 \rightarrow 0, \alpha_2 \rightarrow 180^\circ$  boʻladi. U vaqtda  $(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \rightarrow 2$ . U holda formula (18) quyidagi koʻrinishga ega boʻladi:

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2\pi r_0} \quad (19)$$

**Aylanma tokning magnit maydoni.** Yopiq tokli o'tkazgichning magnit moment vektorini  $\vec{P}$  orqali ifodalash qulaydir, uning kattaligi yassi kontur bo'lgan holda tok kuchi  $I$  ning kontur yuzasi  $S$  ga ko'paytmasiga teng bo'ladi:

$$\vec{P} = I * S \quad (20)$$

Uning yo'nalishi kontur tekisligiga perpendikulyar bo'lib, Parma qoidasi bilan bog'lagandir. Agar Parma dastasini tok yo'nalishi bilan aylantirsak, uning ilgariylanma harakati  $\vec{P}$  vektorning yo'nalishini aniqlaydi (6-rasm).



6-rasm

Endi aylana ko'rinishdagi tokli kontur hosil qilgan magnit induksiyasini topamiz, soddalik uchun kontur o'qida yotgan nuqtani qaraymiz. O'ramning radiusini  $R$  bilan, tok kuchini  $I$  bilan, o'ram tekisligidan maydon qaralayotgan nuqttagacha bo'lgan masofani  $r$  bilan belgilaymiz.

Alohida tok elementi  $Idl$  tomonidan hosil qilingan induksiya vektori  $d\vec{B}$ , (17) ga asosan tok elementi va uni kuzatish nuqtasi bilan qo'shuvchi kesma hosil qilgan tekislikka perpendikulyar bo'ladi (7a)- rasm) bu tekislik punktir bilan tasvirlagan)

$d\vec{B}$  vektorning absolyut qiymati  $dB = \frac{\mu_0 Idl}{4\pi(r^2 + R^2)}$ , tok elementidan kuzatish

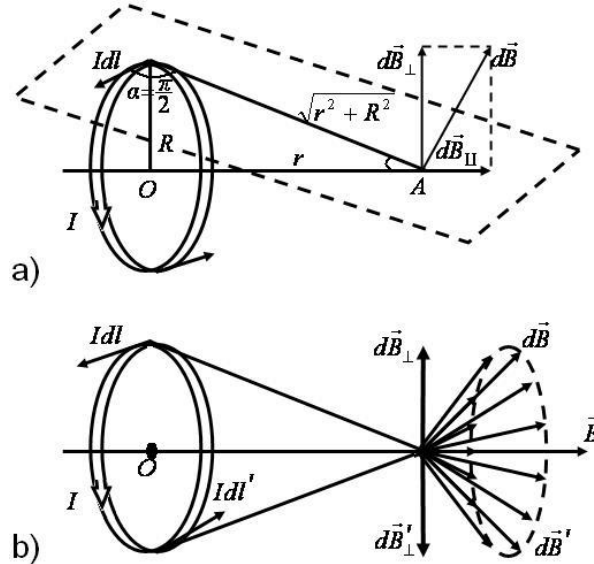
nuqtasigacha bo'lgan masofa  $\sqrt{r^2 + R^2}$  ga teng, sin  $\alpha \approx 1$ , chunki  $\alpha \approx \pi/2$  ga teng. Ko'rsatish mumkinki, barcha o'ram elementlari tomonidan hosil qilingan vektorlar  $d\vec{B}$  konus toki bo'yicha joylanadi (7b rasm). Bu vektorlarni qo'shish uchun ulardan har birini ikkita tashkil etuvchi:  $d\vec{B}_{||}$  kontur o'qiga parallel va  $d\vec{B}_{\perp}$  o'qqa perpendikulyar tashkil etuvchilar yig'indisidan iborat bo'ladi (7a)- rasm). Qo'shilganda  $d\vec{B}_{\perp}$  tashkil etuvchilar o'zaro bir birini yo'qotadi, chunki  $d\vec{B}_{\perp}$  va  $d\vec{B}_{\perp}$  bir biriga diametral qarama-qarshi bo'lgan tok elementlari  $Idl$  va  $Idl$  kattaligi jixatidan teng va yo'nalishi jihatidan qarama-qarshidir (7 b rasm).

Shunday qilib, izlanayotgan vektor  $\vec{B}$  barcha  $\vec{B}_{||}$  lar yig'indmisi orqali aniqlanadi, demak, u o'ram o'qi bo'yicha yo'naladi va  $B = \int \alpha dB_{||}$  kattalikka ega bo'ladi.  $d\vec{B}_{||}$  kattalikni uchburchaklarning o'xshashligidan (7 b) -rasm) hisoblash

mumkin:  $\frac{dB_{||}}{B} = \frac{R}{\sqrt{r^2 + R^2}}$ , bundan  $dB_{||} = B \frac{R}{\sqrt{r^2 + R^2}} = \frac{\mu_0 Idl}{4\pi} \frac{R}{(r^2 + R^2)^{3/2}}$ . Bu

ifodani o‘ramning barcha elementlari orqali integrallasak, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$B = \int dB_{\parallel} = \int \frac{\mu_0 I dl}{4\pi} \frac{R}{(r^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{R}{(r^2 + R^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0 I 2\pi R^2}{4\pi(r^2 + R^2)^{3/2}} \quad (21)$$



7 –rasm

$I\pi R^2 = P$  - o‘ramning magnit momentini hisobga olib, oxirida qo‘yidagiga ega bo‘lamiz:

$$B = \frac{2\mu_0 P}{4\pi(r^2 + R^2)^{3/2}} \quad (22)$$

Bu formuladan kelib chiqadiki, maydon kontur markazida (rq0) maksimal bo‘lib, masofa oshishi bilan kamayib boradi.

Juda uzoqda joylashgan nuqtalar uchun  $R^2$  ni  $r^2$  ga nisbatan tashlash mumkin, natijada quyidagi taqribiy formulani olamiz:

$$B = \frac{2\mu_0 P}{4\pi r^3} \quad (23)$$

Ko‘rsatish mumkinki, bu formula istalgan shakldagi kontur uchun o‘rinlidir. Shuni eslatib o‘tamizki, bu dipolning elektr maydon kuchlanganligi kabi bo‘ladi. Dipol bilan tokli konturning analogiyasi tasdiqlandi va tashqi maydonlar bir xil xarakterga ega bo‘ladi.

**Solenoidning magnit maydoni.** Solenoid deb, juda ko‘p sondagi bir biriga zich qilib o‘ralgan tokli o‘tkazgichlardan iborat bo‘lgan silindrik g‘altakka aytiladi. Solenoidni bir xil radiusli ketma-ket ulangan aylanma toklar sistemasi deb ham qarash mumkin.



## 8-rasm

Bio-Savar-Laplas qonunidan foydalanib solenoid ichidagi magnit maydon induksiyasini toppish formulasini keltiramiz. Solenoid uzunligi uning diametridan juda katta bo'lgan holda solenoid ichidagi yoki o'qidagi nuqtadagi magnit maydon induksiyasi quyidagiga teng:

$$B = \mu\mu_0 \frac{IN}{l} = \mu\mu_0 In \quad (24)$$

Bu yerda  $I$  – g'altakdagi tok kuchi,  $l$  – g'altak uzunligi,  $N$  – o'ramlar soni,  $n = \frac{N}{l}$  - g'altak uzunligiga to'g'ri keluvchi o'ramlar soni.

Magnit maydon kuchlanganligini hisoblashning juda ko'p usullari mavjud. Masalan, vektor potensial usuli, to'la tok usuli, Gauss usuli va hakoza. Bu usullardan biz tegishli joylarda foydalanamiz.

## II. O'lchash uslubining nazariyasi va qurilmasining tavsifi

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

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r^2} dl \times \frac{\vec{r}}{r}, \quad (25)$$

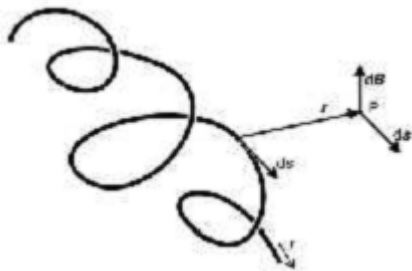
bu yerda  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

O'tkazgichning uzunligi va yo'nalishi dsvector yordamida ifodalanadi. O'tkazgichning kichik qismidan  $P$  nuqtaga o'tkazilgan radius vector orqali berilgan (1-rasmga qarang).

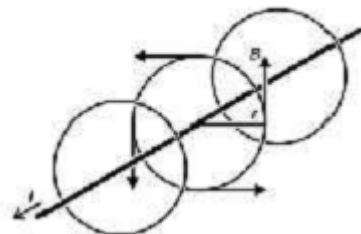
Shuning uchun umumiy magnit maydon integral hisob yordamida aniqlanadi. Bu holda analitik yechim faqat ma'lum simmetriyaga ege bo'lgan o'tkazgichlar uchun hisoblanishi mumkin bo'ladi. Masalan cheksiz uzun o'tkazgichning magnit maydoni o'tkazgich o'qidan  $r$  masofada (2)

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{2}{r} \quad (26)$$

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.



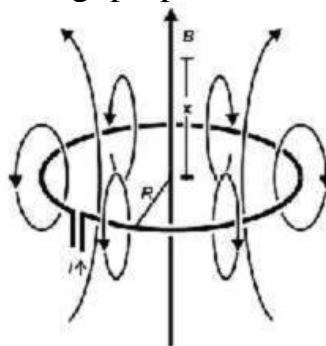
2 – rasm. Cheksiz uzun tokli to'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni.



Radiusi R bo'lgan aylanma halqa shaklidagi o'tkazgichning aylana o'qi ustida halqa markazidan x masofadagi nuqtaning magnit maydoni

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot I \cdot 2\pi \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (27)$$

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 magnet 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.

### **III. Ishni bajarish tartibi**

#### **Eksperimental qurilma va tajribalarni o'tkazish**

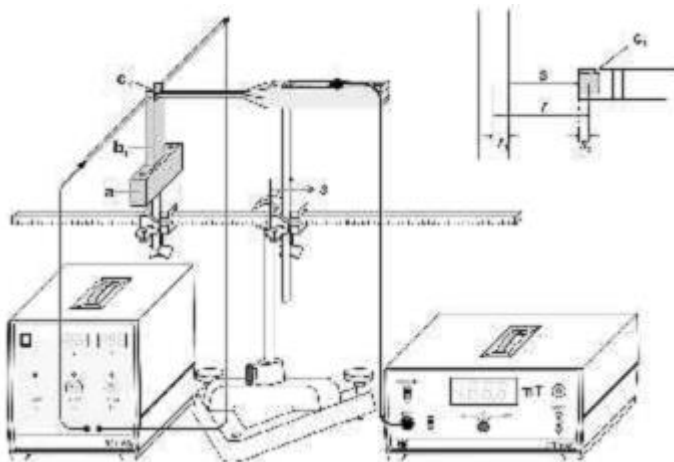
##### **a) To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni.**

Eksperimental qurilma 4 –rasmda tasvirlangan.

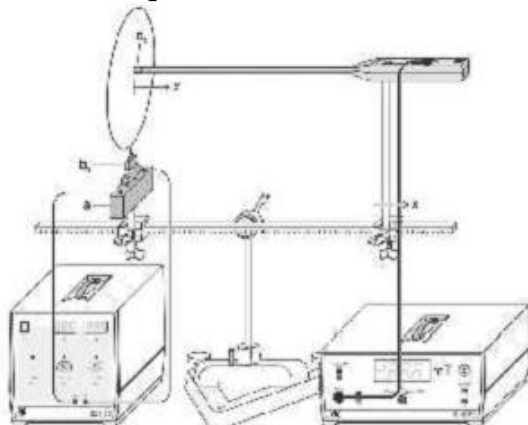
- Kichik optik qurilmani shtativga o'rnatish va uni gorizantal xolatda -(a) shtepsel uchun tutgichni Leyboldga maxkamlang.
- To'g'ri o'tkazgich uchun tutgichni maxkamlang , to'g'ri o'tkazgichni unga o'rnatish va katta tokli manbaga ulang.
- Tangensial B-probe ni teslametr ga ulang va teslametrni nolini o'rnatish (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'rnatish.
- To'g'ri o'tkazgichni Xoll datchigi tomon deyarli unga tegadigan darajada yaqin qilib o'rnatish.(Sq0 bo'lsin)
- Tok kuchi I ni xar 2 A qiymatga 0 A dan, 20 A gacha oshirish. Xar safar B magnit maydonini o'lchang, qiymatini yozib oling.
- Iq20 A ga B-probe ni unga tomon qadam-ba qadam siljiting, B magnet maydonini masofaning funksiyasi sifatida o'lchang va qiymatlarini yozib oling.joylashtiring.

**b) Aylanma xalqa shaklidagi o'tkazgichning magnit maydoni**  
**Ekspperimental 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.
- Iq20 A da B –probni chap tarafga va ong 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.

I, A	B, mT
0	
2	
4	
6	
8	
10	
12	
14	
16	
18	
20	

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

L, mm	B, mT
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
15	
20	
25	
30	
40	

**b) 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	
2	
4	
6	
8	

10	
12	
14	
16	
18	
20	

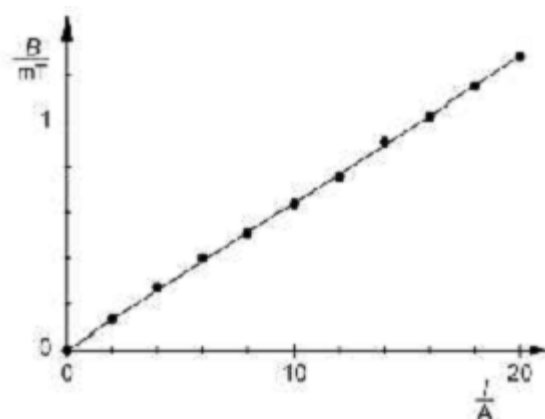
4-jadval. Aylanma halqalarning magnit maydoni  $x$  masofaning funksiyasi sifatida

$x$ , mm	$B$ , mT	$X$ , mm	$B$ , mT	$X$ , mm	$B$ , mT
$2R = 40$ mm		$2R = 80$ mm		$2R = 120$ 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		

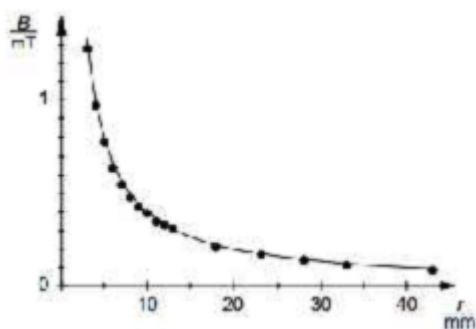
### Hisoblashlar va natijalar

#### c) To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni.

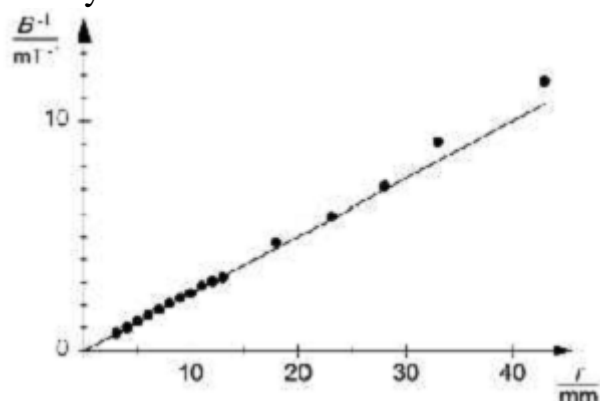
B magnit maydonining I tok kuchidan bog'liqligi 6 –rasmda grafik ravishda ko'rsatilgan. O'lchash aniqligi chegarasida o'lchangan qiymatlar ( 1-jadvalga qarang) grafikning koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq ustida yotadi, ya'ni B magnit maydoni I tok kuchiga to'g'ri proporsional bo'ladi. 7-rasmda 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  $r - s$  q 3 mm bo'lib, u to'g'ri o'tkazgich radiusi  $r$  q 2 mm va B-probe ning uchi bilan Xoll datchigi markazi orasidagi masofa  $s_0$  q 1 mm larning yig'indisidan iborat. (4-rasmga qarang). 4-rasmda chizilgan grafik (1) tenglama yordamida I q 20 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.



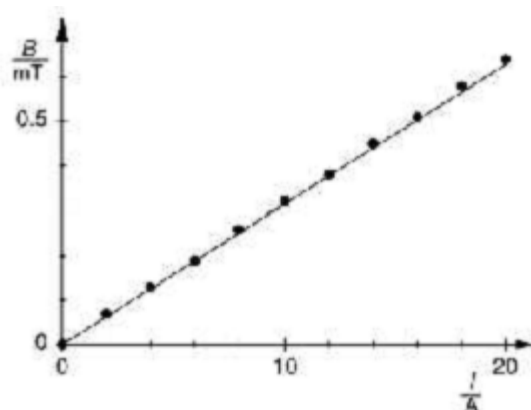
7-rasm. To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni o'tkazgich o'qidan masofa  $r$  ning funksiyasi sifatida.



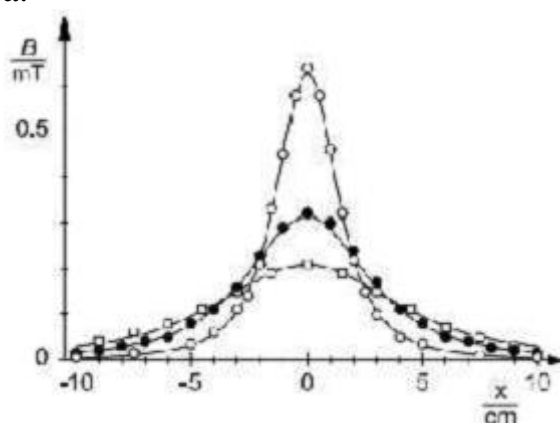
8-rasm. To'g'ri o'tkazgichning magnit maydoni ( $B$ ) q  $f(r)$  funksiyasi ko'rinishidagi bog'lanish grafigi.

#### d) 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  $I$  q 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. ( )  $R_q60$  mm, ( \* )  $R_q40$  mm, ( O )  $R_q20$  mm,

### Nazorat savollari

1. Tokning magnit maydoni va uni Ersted tomonidan aniqlash tajribasini tushuntirib bering.

2. Magnit maydonining xarakteristikalar: kuch chiziqlari, magnit maydon kuchlanganligi va superpozitsiya prinsipini tushuntiring.

3. Tok elementi deb nimaga aytiladi va uning vektor tabiati nimadan iborat.

4. Tok elementining magnit maydoni bilan elektrostatikadagi sinash nuqtaviy zaryadining maydoni o'rtasida qanday o'xshashlik bor.

5. Magnit induksiyasi, uning o'lchov birligi, moduli va yo'nalishi qanday aniqlanadi. Magnit induksiyasining elektrostatik analogi (o'xshashligi) qanday bo'ladi?

6. Bio-Saavar-Laplas qonunining mohiyati nimadan iborat va undan to'g'ri chiziqli tokning, aylanma tokning va solenoidning magnit maydonini hisoblab chiqaring va uni magnit maydonini hisoblashning boshqa usullari: magnit skalyar potensial, magnit vektor potensial va to'la tok qonuni orqali olingan natijalar bilan taqqoslang.

7. Harakatdagi elektr zaryadining magnit maydoni qanday hisoblanadi va uni tajribada kim aniqladi?

**Laboratoriya ishi №5**  
**TAQASIMON MAGNIT MAYDONIDA TOKLI O'TKAZGICHGA**  
**TA'SIR ETUVCHI KUCHNI O'LCHASH**

**Ishning maqsadi:**

- 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 asbob-uskunalar:** Taqasimon magnit (51021), kuch sensori (314261), O'tkazgich halqalar to'plami (51634), O'tkazgich halqalarlar uchun taglik (314265), dinamometr (314251), ko'p o'zakli ulash kabeli, 6-qutb (50116), yuqori energiyali manba (52155), kichik shtativ, V-shaklida (30002), Shtativ tayoqchasi, 47 cm (30042), Leybold ko'ptutgich (30101), ko'ndalang kesimi  $2.5 \text{ mm}^2$  bo'lgan ulash kabellari

**I. Nazariy ma'lumotlar**

**1.1. Magnit maydoni.** Magnit maydoni materiyaning mavjudlik shakllaridan biri-elektromagnit maydonning bir turidir. Magnit maydoni o'z navbatida o'zgarmas (stasionar) va o'zgaruvchan (nostasionar) turlarga bo'linadi. Magnit maydonini o'rganish bilan bog'liq tarixiy (Ersted, Amper va boshqalar tomonidan o'tkazilgan) tajribalar (tokning doimiy magnit strelkasiga, tokning tokka, doimiy magnitning tokka va doimiy magnitning doimiy magnitga ta'sirini o'rganish) shuni ko'rsatadiki, o'zgarmas magnit maydonining manbai tekis harakatdagi elektr zaryadi yoki zaryadlar oqimi, ya'ni o'zgarmas elektr tokidir. O'tkazgichlardagi erkin zaryadlarning tartibli tekis harakati hosil qiladigan tok o'tkazuvchanlik toki yoki makrotok deyiladi. Doimiy magnit atrofida hosil bo'ladigan magnit maydonini ham, klassik Amper gipotezasiga ko'ra aylanma elektr toklari majmuasi hosil qiladi. Bu toklar mikrotoklar deyilib, ularni doimiy magnitni tashkil qilgan atomlarning (Fe, Ni, Co, Gd, Sm va ularning o'zaro birikmalaridagi) yadrolari atrofida va o'z o'qlari atrofida tekis aylanma harakat qilayotgan kechikib to'ladigan 3d va 4f-qobiqlardagi elektronlar hosil qiladi. Doimiy magnitni magnitlash jarayonida mikrotoklarning magnit maydonlari, tashqi magnit maydoni ta'sirida bir tomonga yo'naltirilib (qo'shilib) yig'indi magnit maydoni hosil qilinadi.

O'zgaruvchan magnit maydonining manbai o'zgaruvchan harakatdagi elektr zaryadi (yoki zaryadlar majmuasi), ya'ni o'zgaruvchan elektr tokidir va



o'zgaruvchan (nostasionar) elektr maydonidir. Magnit maydonini tavsiflovchi asosiy kattaliklardan biri - magnit maydoni induksiyasi vektori deb ataladigan kattalikdir. U maydonga kiritilgan sinov (tekshirish) vositasiga maydonning ta'sirini o'zida mujassam qilganligi uchun xam unga magnit maydonining kuch xarakteristika deyiladi. Magnit maydonini sinash vositalariga quyidagilar kiradi: 1) tok elementi, 2) tokli ramka, 3) doimiy magnit strelkasi va 4) xarakatdagi zaryadli zarracha. Magnit maydoni induksiyasi vektorining (maydonning) yo'nalishi va modulini tajribada aniqlash uchun shu sinov vositalarining istalgan bittasidan foydalanish mumkin. Quyida shu masala navbat bilan, qisqacha qarab chiqilgan.

### **1.2. Bir jinsli magnit maydonining tok elementiga ta'siri.**

O'tkazgichdan oqayotgan tok kuchini ( $J$ ) shu o'tkazgichning elementar uzunlik vektoriga ( $\vec{dl}$ ) (yo'nalishi tok yo'nalishi bilan bir xil bo'lgan) ko'paytmasiga ( $J\vec{dl}$ ) **tok elemetri vektori** deb ataladi. Induksiyasi  $\vec{B}$  ga teng bo'lgan bir jinsli magnit maydonining tok elementiga (umumiy holda tokli o'tkazgichga) ko'rsatadigan ta'sir kuchining kattaligi quyidagi ifoda bilan aniqlanishini Amper tajribda aniqlagan:

$$F_A q J dl B \sin \alpha. \quad (1)$$

Bunda  $\alpha = (J\vec{dl} \wedge \vec{B})$ , ya'ni tok elementi va magnit maydoni yo'nalishlari orasidagi burchak.  $\vec{F}_A$  – Amper kuchining yo'nalishi vektor ko'paytma, o'ng vint yoki chap qo'l qoidalari bilan aniqlanadi (1)ning Vektor ko'rinishi:

$$\vec{F}_A = [J\vec{dl} \cdot \vec{B}] \quad (2)$$

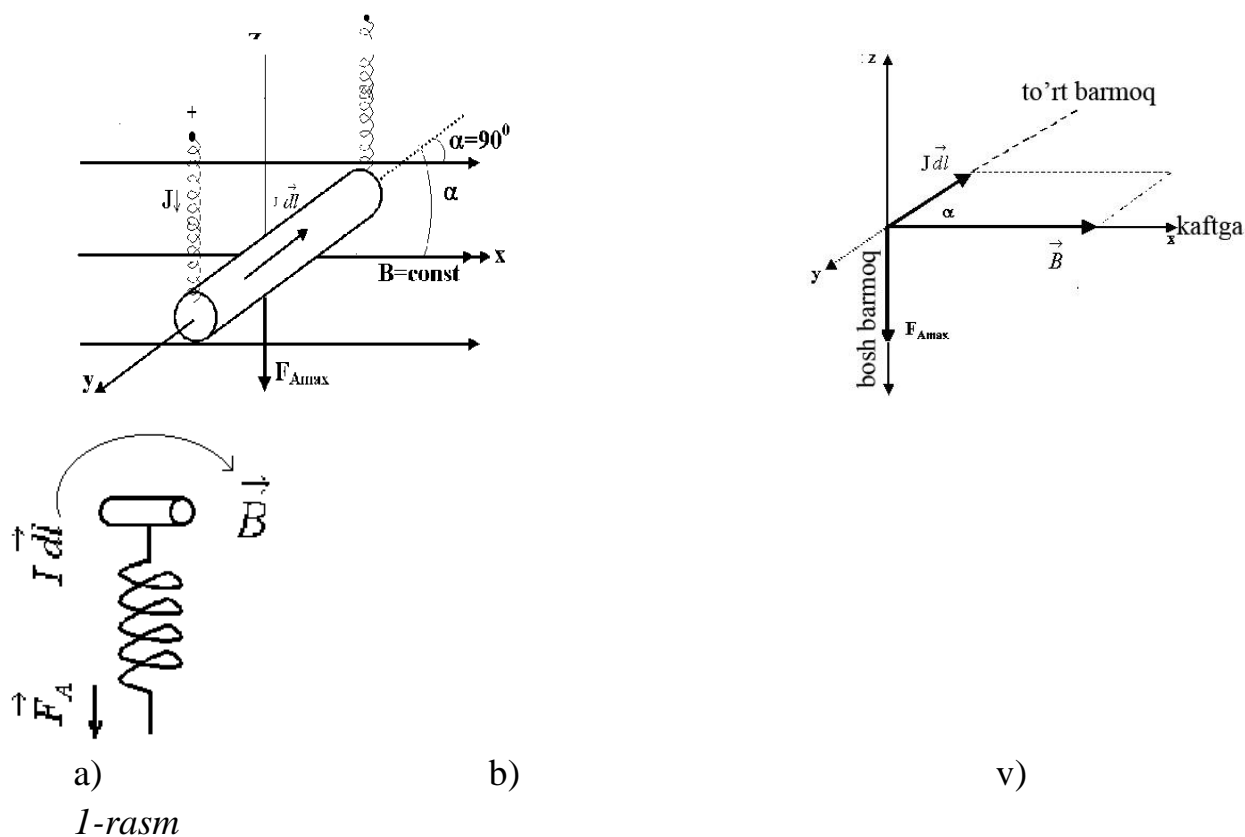
Bu qoidalarining mazmuni 1-rasmda o'z aksini topgan.

Tok elementi maydonga tik joylashganda ( $\alpha \approx 90^\circ$ ,  $\sin \alpha \approx 1$ ), unga maydon tomonidan ta'sir qiladigan kuch eng katta ( $F_A \approx F_{Amax}$ ) bo'ladi, ya'ni

$$F_{Amax} q J dl B \quad (3)$$

Bu ifodadan, sinov vositasi –  $J\vec{dl}$  tok elementiga maydonning ta'siri kuchini o'lchash orqali, magnit maydoni induksiyasining qiymatini tajribada hisoblab topishga imkon beradigan ifodani olish mumkin:

$$B = \frac{F_{Amax}}{J dl} \quad (4)$$



### 1.3. Bir jinsli magnit maydonining tokli ramkaga ta'siri.

Bir jinsli magnit maydonini sinash vositasi sifatida o'lchamlari  $a, b$  va yuzasi  $S$  kichik bo'lgan va  $J$  tok oqayotgan ramkani olish mumkin. Uning asosiy xarakteristikalaridan biri – magnit momenti ( $\vec{P}_m$ ) bo'lib, uning kattaligi va yo'nalishi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

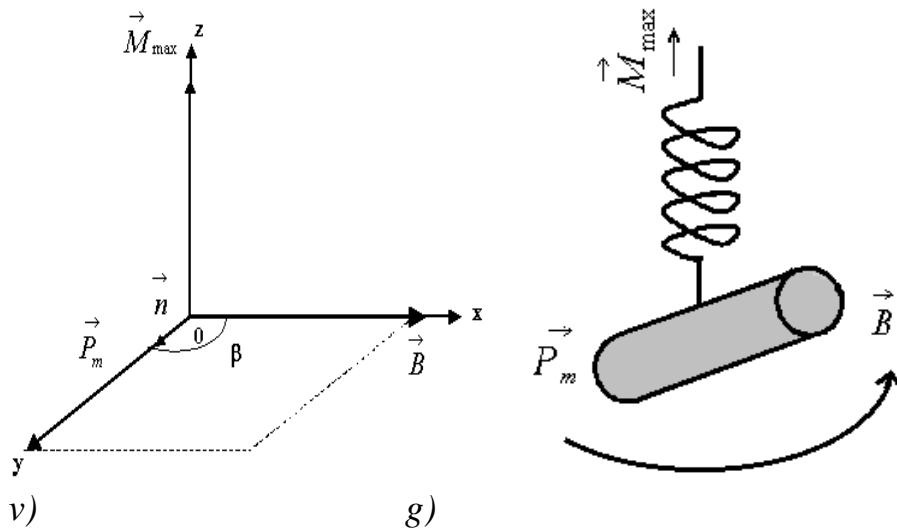
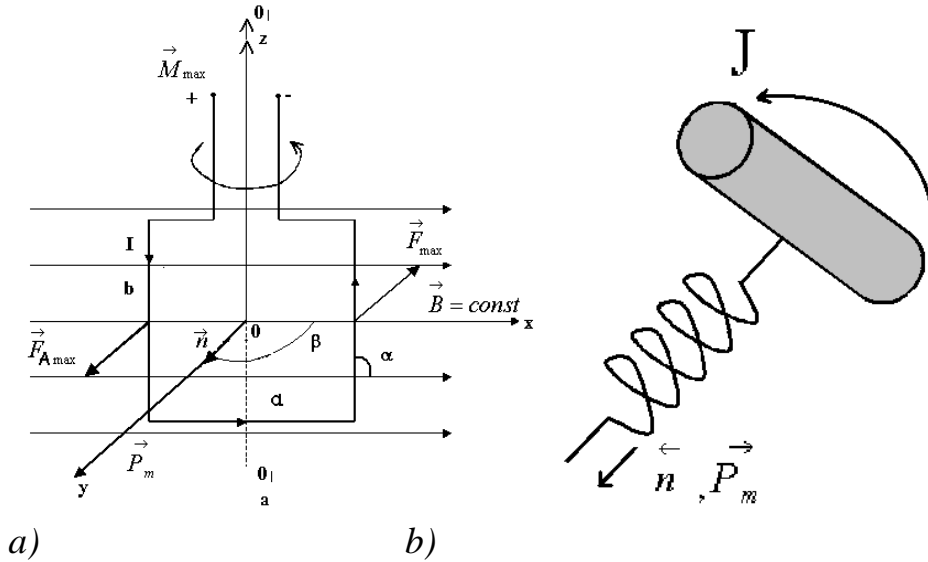
$$\vec{P}_m = J \cdot S \vec{n} \quad (5)$$

$\vec{P}_m$  ning yo'nalishi ramkaga o'tkazilgan birlik musbat normal ( $\vec{n}$  q1) yo'nalishi bilan mos tushadi.  $\vec{n}$  ning yo'nalishi esa o'ng vint qoidasi bo'yicha aniqlanadi: ramka konturini aylanib chiqish yo'nalishimiz (yoki ramkadagi tokning aylanish yo'nalishi) o'ng vintning aylanma harakatiga moslanganda,  $\vec{n}$  ning yo'nalishi (demak  $\vec{P}_m$  ning yo'nalishi) vintning ilgarilanma harakatiga mos tushadi (2-a,b rasm).

Ramkaning  $b$  va  $a$  tomonlaridagi tok elementlariga ( $\theta$  va  $\vec{J}_a$ ) maydon tomonidan (1) ifoda bilan aniqlanadigan, Amper kuchi ta'sir qiladi. Ramka maydonga, uning konturi tekisligi maydon yo'nalishi bilan mos keladigan qilib joylashtirilganda (2-a rasm), uning yuqori va pastki  $a$  tomonlari uchun, mos ravishda,  $\alpha$  q180° va 0° bo'lgani uchun  $F_A$  q1  $F_{Amin}$  q0, chap va o'ngdagi  $b$  tomonlari uchun esa  $\alpha$  q90° bo'lgani uchun

$$F_A q F_{Amax} q J b B \quad (6)$$

bo‘ladi. Bu ifoda bilan qiymati aniqlanadigan juft kuchlar (yelkasi  $a$  ga teng bo‘lgan) ta’sirida ramka vertikal  $0_10_1$  o‘q atrofida buriladi. Ramkaning maydondagi 1a-rasmdagidek holatida  $[\alpha = (\vec{Jb}, \vec{B}) = (\vec{P}_m, \vec{B}) = \beta = 90^\circ]$  unga maydon tomonidan ta’sir qiladigan juft kuch momenti ham eng katta ( $M_{\max}$ ) bo‘ladi.



2-rasm

$M_{\max}$  ning qiymatini aniqlovchi ifodani quyidagicha keltirib chiqarish mumkin ( $\alpha, \beta < 90^\circ$  holda):

$$M_{\max} = q F_{A\max} \cdot a q J b B a q J s B q P_m B, \quad (7)$$

$\alpha < 90^\circ$  va  $0^\circ < \beta < 90^\circ$  bo‘lgan umumiy holda esa ramkaga maydon tomonidan ta’sir qiladigan kuch momenti quyidagicha topiladi:

$$M_{\max} = q P_m B \sin \beta \quad (8)$$

Bu ifodaning vektor ko‘rinishi quyidagicha bo‘ladi:

$$\vec{M} = [\vec{P}_m \cdot \vec{B}] \quad (9)$$

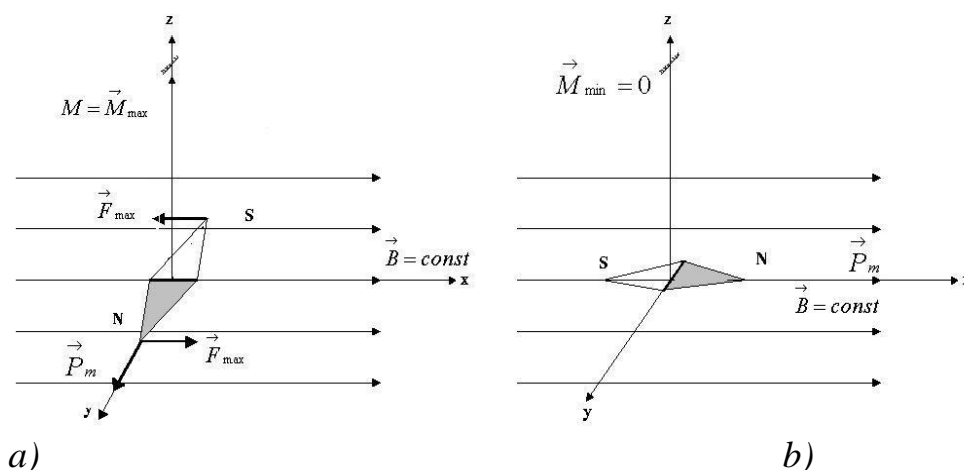
$\vec{M}_{\max}$  ning yoʻnalishini oʻng vint qoidasi boʻyicha aniqlash 2v,g-rasmlarda tasvirlangan. Demak, ramkaga maydon tomonidan  $\beta q \alpha q 90^0$  boʻlgan holda eng katta kuch momenti taʼsir qilib, bu moment uni  $\alpha q 90^0$  va  $\beta q 0^0$  boʻlgan holatgacha (yaʼni  $\vec{P}_m \uparrow \uparrow \vec{B}$  boʻlganicha) buradi. Shunda ramka maydonda tinch holatda qoladi va uning  $\vec{P}_m$  – magnit momenti yoʻnalishi maydon yoʻnalishini (yaʼni  $\vec{B}$  vektorning yoʻnalishini) aniqlaydi.  $\vec{B}$  – vektorning moduli (7) ifodadan topiladi:

$$B = \frac{M_{\max}}{P_m} = \frac{M_{\max}}{J_s} \quad (10)$$

Demak, tokli ramka maydonda 2-a rasmda tasvirlanganidek holatda joylashtirilganda ( $\alpha q \beta q 90^0$ ), unga maydon tomonidan taʼsir qiladigan juft kuch momentining eng katta qiymatini, hamda  $J$  va  $S$  larni oʻlchansa shu maydon induksiyasini (10) ifoda yordamida hisoblab topish mumkin boʻladi. Biroq,  $M_{\max}$  qiymatini oʻquv laboratoriyasi sharoitida oʻlchash mushkul ishdur.

### **1.3. Bir jinsli magnit maydonining doimiy magnit strelkasiga taʼsiri.**

Qutblari magnit maydoniga, 3a-rasmdagidek, tik holatda joylashtirilgan doimiy magnit strelkasining har xil ismi ( $N, S$ ) qutblariga maydon tomonidan qarama-qarshi yoʻnalishda  $F_{\max}$  juft kuchlar taʼsir qiladi. Bu kuchning momenti taʼsirida u vertikal oʻq atrofida  $M q M_{\max}$  boʻlgan noturgʻun holatda (3a-rasm)  $M q M_{\min} q 0$  boʻlgan turgʻun holatgacha (3b-rasm) burilib toʻxtaydi. Shunda uning janubiy ( $S$ ) qutbidan shimoliy ( $N$ ) qutbga tomon yoʻnalish magnit maydonining ( $\vec{B}$  ning) yoʻnalishini aniqlaydi. Magnit strelkasi magnit momentining yoʻnalishini ham, uni tokli konturga oʻxshatib aniqlash mumkin. Haqiqatdan ham, magnit strelkasining xususiy magnit maydoni, uni tashkil qilgan atomlardagi aylanma mikrotoklar magnit maydonlarining koʻshilishidan (superpozitsiyadan) hosil boʻladi deyilsa, bunga ishonch hosil qilish mumkin. Shunda analogiya usuliga va 2a,b-rasmlarga asosan magnit strelkasining magnit momenti 3a-rasmdagidek yoʻnalgan boʻladi, deyish mumkin (aniqroq aytganda magnit strelkasining magnit momenti uning magnitlanish vektor ( $\vec{I}$ ) va hajmi ( $B$ ) orqali topiladi  $\vec{P}_m = \vec{I} \cdot B$ ). Xullas, tokli ramka uchun 1.2-bandda aytilgan barcha gaplar (sifat jihatdan) magnit strelkasi uchun ham oʻrinli boʻladi. Bu holda ham magnit maydoni induksiyasini (10) ifodadan foydalanib aniqlash mumkin. Biroq, tajribada magnit strelkasi uchun  $\vec{M}_{\max}$  va  $\vec{P}_m$  vektorlarning qiymatlarini oʻlchash oʻquv laboratoriyasi sharoitida mushkuldir. Ammo, magnit strelkasidan foydalanib magnit maydoni yoʻnalishini (3b-rasm boʻyicha) aniqlash maqsadga muvofiqdir ( $S \vec{N} \uparrow \uparrow \vec{B}$ ).



3-rasm.

**1.4. Bir jinsli magnit maydonining tekis harakatdagi zaryadli zarrachaga ta'siri.** Tekis harakatdagi musbat zaryadli zarrachaga magnit maydonining ta'sirini o'rganish bilan bog'liq tajribalar shuni ko'rsatdiki, agar zarracha maydon yo'nalishiga biror  $\alpha = (\vec{\vartheta}, \wedge \vec{B})$  burchak ostida to'g'ri chiziqli trayektoriya bilan kirib kelsa uning trayektoriyasi o'zgaradi. Bu zarrachaga maydon kuch bilan ta'sir ko'rsatishidan dalolat beradi. Shu kuchga Lorens kuchi deyiladi.

Lorens kuchining ifodasini 1-rasmdagi  $J\vec{dl}$  tok elementiga ta'sir qiladigan Amper kuchini tahlil qilib keltirib chiqarish mumkin. Agar o'tkazgichning  $J\vec{dl}$  tok elementidan oqayotgan  $J$  tokni o'tkazgich ichida  $\vartheta$  tezlik bilan tekis ilgarilangan harakat qilayotgan  $q$  zaryadli erkin  $N$  ta zarracha hosil qiladi deb faraz qilinsa, ulardan bittasiga maydon tomonidan ta'sir qiladigan kuch – Lorens kuchi quyidagicha topiladi:

$$F_L = \frac{F_A}{N} = \frac{JdlB\sin\alpha}{N} \quad (11)$$

Bundagi

$$Jdl = \frac{q}{t} dl = N \cdot q \frac{dl}{t} = Nq\vartheta \quad (12)$$

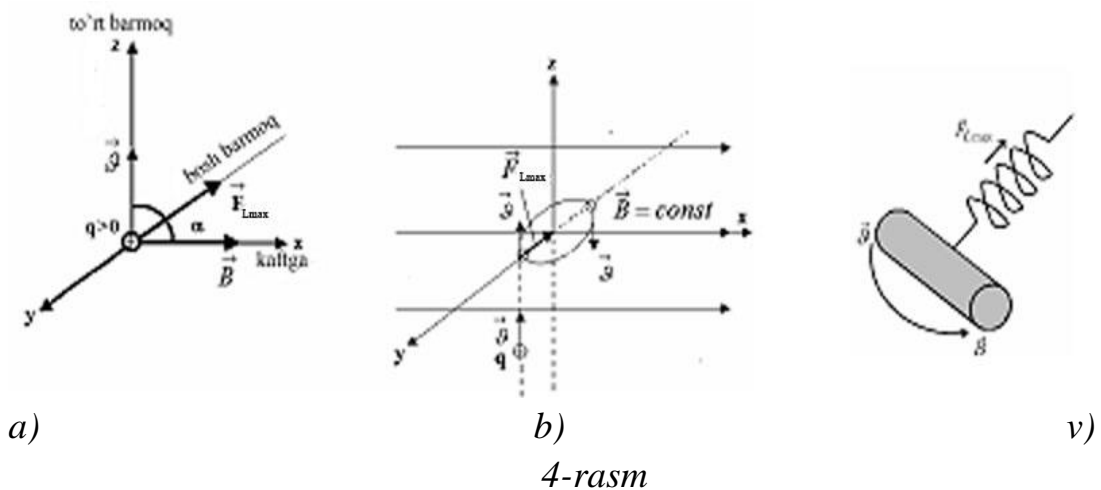
Buni hisobga olib (11) dan quyidagini olish mumkin:

$$F_L = q\vartheta B\sin\alpha, \quad (13)$$

yoki bu ifodaning vektor ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

$$\vec{F}_L = q[\vec{\vartheta} \cdot \vec{A}] \quad (14)$$

Demak,  $\vec{F}_L$  ning yo'nalishi o'ng vint yoki chap qo'l qoidasi yordamida aniqlanadi. Bu qoidalar 4a,b-rasmlarda  $\alpha \neq 90^\circ$  bo'lgan holda tasvirlangan.



(13) ifodadan  $\alpha \approx 90^\circ$  bo'lgan xususiy holda quyidagi ifoda olinadi:

$$F_L = F_{L\max} = qvB \quad (15)$$

Shunday qilib, agar zarracha maydonga tik yo'nalishda  $\vec{v} = \vec{v}_{\text{const}}$  tezlik bilan kirib kelsa, unga yo'nalishi  $\vec{F}_{L\max} \perp \vec{v} \perp \vec{B}$  (4a-rasm) bo'lgan, eng katta Lorens kuchi ta'sir qiladi. Natijada, u maydon yo'nalishiga tik tekislikda (yz tekisligida) aylana trayektoriya bo'yicha tekis harakat qilib maydonda tutilib qoladi. Shunday tasavvur asosida o'ng vint qoidasi bo'yicha maydonning ( $\vec{B}$  ning) yo'nalishi aniqlanadi (4-v rasm).  $\vec{B}$  vektorining moduli esa (15) dan aniqlanadi:

$$B = \frac{F_{L\max}}{qv} \quad (16)$$

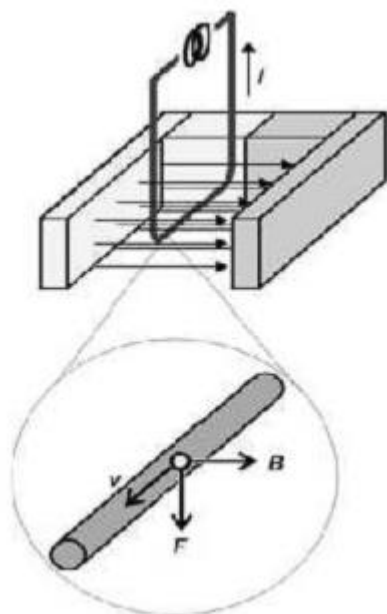
Agar tajribada  $F_{L\max}$  va  $v$  qiymatlari o'lchansa  $\vec{B}$  ning qiymatini (16) ifoda bo'yicha hisoblab topish mumkin. Biroq  $F_{L\max}$  va  $v$  larni oddiy o'quv laboratoriyasi sharoitida o'lchash mushkul ishdir.

Shunday qilib, magnit maydoni induksiyasi vektorining yo'nalishini va modulini aniqlash maqsadida yuqorida qarab chiqilgan to'rtta sinov vositasining istalgan biridan foydalanish mumkin. Biroq, yuqorida tokli ramka, magnit sterelkasi va harakatdagi zaryad kabi sinov vositalaridan foydalanib, o'quv laboratoriyasi sharoitida bu vazifani bajarish mushkulligi haqida alohida qayd etilganini inobatga olsak, shu maqsadga erishish uchun, faqat tok elementidan foydalanish eng qulay ekanligi kelib chiqadi.

## **II. O'lchash uslubining nazariyasi va qurilmasining tavsifi**

Magnit induksiyasi, yoki soddaroq qilib aytganda magnit maydoni Bvector 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

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



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

Lorens kuchi deb ataluvchi  $F$  kuch ham vector kattalik bo'lib u  $\vec{v}$  va  $\vec{B}$  lar bilan aniqlanadigan tekislikka perpendikulyar ravishda tasir etadi. Tokli otkazgichga magnet 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  $\vec{v}$  dreif tezlik bilan harakatlanayotgan har bir individual  $q$  zaryadga ta'sir etadi. To'g'ri o'tkazgich uchun bu umumiy kuch

$$\vec{F} = q \cdot n \cdot A \cdot s \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2)$$

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  $s$  vektorni kiritish qulay hisoblanadi. Bundan tashqari  $qnAv$  ko'paytma  $I$  tok kuchiga teng. Shunday qilib magnit maydonining tokli o'tkazgichga segmentiga ta'sir etuvchi kuchi quyidagi tenglamadan topiladi

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{s} \times \vec{B}) \quad (3)$$

Bu kuchning absolyut qiymati quyidagi tenglamadan topiladi

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

Bu yerda  $\alpha$  -magnit maydoni va tok kuchi yo'nalishi orasidagi burchak.

Bu tajribada 20 A gacha tok o'tkazadigan to'g'ri to'rt burchak shaklidagi otkazgich halqa taqasimon magnitning gorizonta maydoniga joylashtiriladi. Otkazgichning gorizonta qismiga ta'sir etuvchi kuch o'lchanadi. Otkazgichning ikki vertical 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 proporsional. Unga

ulangan dinamometr qarshilikdagi o'zgarishni o'lchaydi va unga mos kuchni ko'rsatadi.

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 – rasmda 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'rnatish.

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 control qilish knopkasi (a) hamma vaqt o'ng tarafga burilgan holda turadi.

#### **a) Tokning funksiyasi sifatidagi o'lchashlar**

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

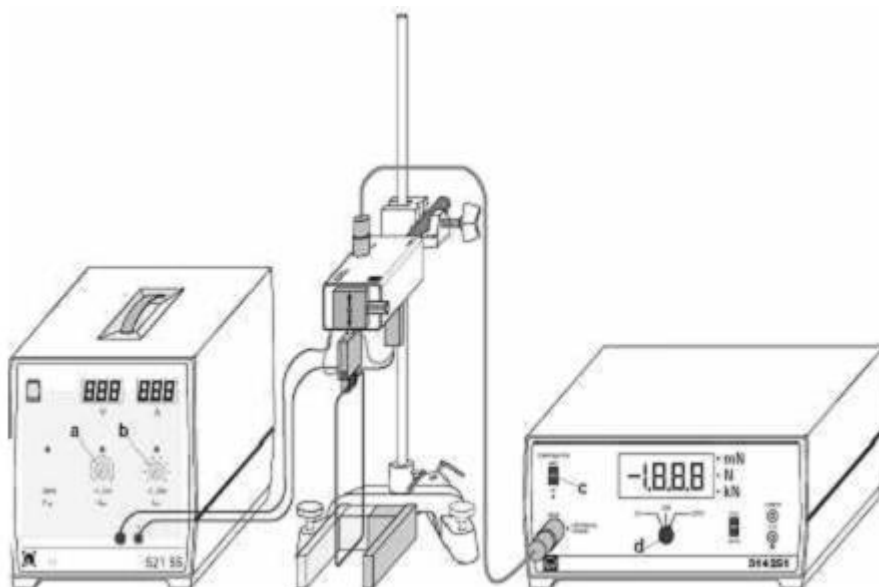
➤ Tokni control qilish (b) knopkasini hamma vaqt chap tarafga burilgan holda va kuchlanishni control qilish knopkasi (a) ni hamma vaqt o'ng tarafga burilgan holda o'rnatish. Keyin yuqori tok manbaini qo'shing.

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

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

➤





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

- Tok kuchini I q 0 A ga ornating 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 q 20 A sathga o'rnatish, Tokning bu qiymati uchun dinamometrdan kuchni yozib oling va bu qiymatlarni tajriba kitobingizga yozing.

- Tok kuchini I q 0 A ga ornating va kuchning nol nuqtasini tekshiring.

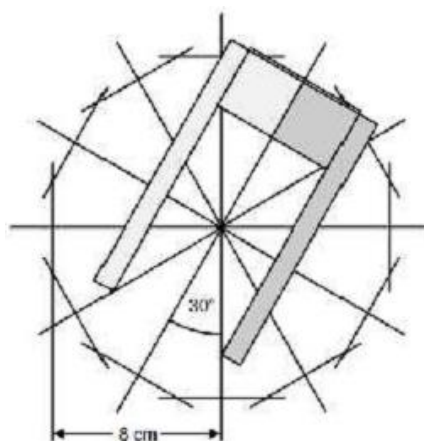
- Tajribani 2 sm li o'tkazgich halqa uchun takrorlang.

**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'tkazgichhalqani kuch sensoriga ulang.

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



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

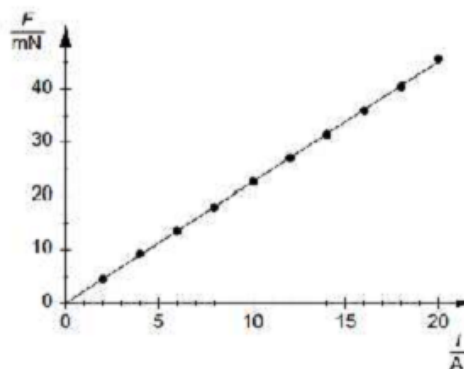
- Taqasimon magnitni shunday joylashtiringki, magnit maydon va o‘tkazgich gorizontal qismi parallel bo‘lsin.
- Dinamometrning nol nuqtasini kompensatsiyalash uchun SET pozitsiyasida COMPENSATION kalitini (c) tanlang.
- Tok kuchi sathini I q 10 A qilib o‘rnating.
- Magnitni 30° burchakli qadam bilan 360° gacha buring va har bir burchak uchun dinamometrdan kuchni yozib oling.
- Tok kuchini I q 0 A ga ornating va kuchning nol nuqtasini tekshiring.

### O‘lchash misollari va hisoblashlar

#### a) Tokning funksiyasi sifatidagi o‘lchashlar

1 –jadval. F kuch tok kuchining funksiyasi sifatida (s q 8 sm)

I, A	F, mN



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

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

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

Sin90°q 1 ni hisobga olsak (4) tenglama bizga magnit maydoni uchun quyidagi qiymatni beradi

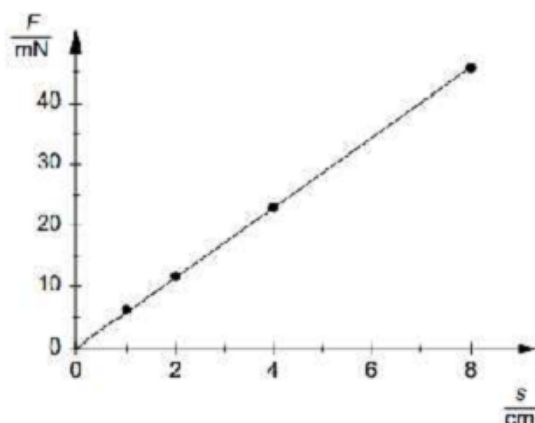
$$B = \frac{F}{I \cdot S} = \frac{2.26mN}{A \cdot 0.08m} = 28.5mT$$

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

**b) O‘tkazgich uzunligining funksiyasi sifatidagi o‘lchashlar**

2 –jadval. F kuch o‘tkazgich uzunligi s ning funksiyasi sifatida (I q 20 A)

L, sm	F, mN
8	
4	
2	
1	



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

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

$$\frac{F}{S} = 572 \frac{mN}{m}$$

Magnit maydoni uchun quyidagi qiymatni hosil qilamiz

$$B = \frac{F}{S \cdot l} = \frac{572mN}{m \cdot 20A} = 28.6$$

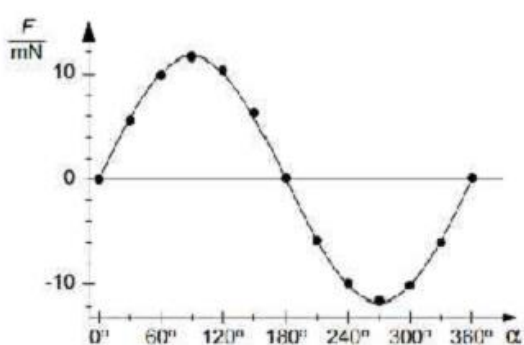
Berilgan tok kuchi uchun kuch va o‘tkazgich uzunligi o‘rtasidagi chiziqli munosabat (3) va (4) tenglamalar natijalarini tasdiqlaydi.

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

3 –jadval. F kuch o‘burchakning funksiyasi sifatida (s q 4 sm, I q 10 A)

	F, mN
0	
30	

60	
90	
120	
150	
180	
210	
240	
270	
300	
330	
360	



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

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

#### Nazorat sovellari

1. Tokning magnit maydonini o'rganish bo'yicha o'tkazilgan (Lens, Amper va boshqalar tomonidan) tarixiy tajribalarning mazmunini ayting.
2. Magnit maydoni induksiyasi vektorining yo'nalishi va kattaligini aniqlash uchun qanday (sinash) vositalaridan hamda usullardan foydalaniladi?
3. Bir jinsli magnit maydonining tokli o'tkazgichga ta'sir qiladigan kuchining va tokli ramkaga ta'sir qiladigan aylantiruvchi kuch momentining ifodalarini yozib tahlil qiling. Shu asosda magnit maydoni induksiyasi vektorining yo'nalishini va qiymatini tajribada aniqlash usulining mohiyatini tushuntiring.
4. Magnit maydoni induksiyasi va kuchlanganligi vektorlarining fizik ma'nosini ayting. Ularga elektr maydoni uchun qanday vektorlar o'xshash hisoblanadi?
5. Doimiy magnit atrofida hosil bo'ladigan magnit maydonining manbaini hozirgi zamon modda tuzilishi nazariyasi bo'yicha tushuntiring.

### Adabiyotlar

1. Kortnev A.V., Rublev Yu.V., Kutsenko A.N. Praktikum po fizike. – Moskva: Vo'sshaya shkola, 1963. – 568 s.
2. Kalashnikov S.G. Elektr. – Toshkent: O'qituvchi, 1979. – 391 b.
3. Savelyev I.V. Umumiy fizika kursi. 2-tom. – Toshkent: O'qituvchi, 1975. – 368 b.
4. Telesnin R.V., Yakovlev V.F. Kurs fiziki. Elektrichestvo. – Moskva: Prosvechenie, 1970. – 487 s.
5. Frish S.E., Timoreva A.V. Umumiy fizika kursi. 2-tom. – Toshkent: O'qituvchi, 1972. – 567 b.

### Laboratoriya ishi №6

#### Xoll domiysini va germaniy tok tashuvchilarning konsentratsiyasini o'lchash.

**Ishning maqsadi:** Xoll effektini o'lchash. Yarimo'tkazgichlarda tok tashuvchilarning konsentratsiyasini va xoll doimiysini o'lchash.

**Kerakli asbob:**

4 ta ingichka mis simdan elektrodlar kavshalargan sof elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan germaniyli yarimo'tkazgich (o'lchamlari 0,9; 0,4; 0,03sm) bo'lgan plastinka va rasmda tasvirlangan kurilma.

**Ish to'g'risida tushuncha:**

Magnit maydoni-materiyaning maxsus formasidir. Magnit maydoni faqat harakatlanayotgan elektr zaryadlari atrofida, masalan tokli o'tkazgich atrofida hosil bo'ladi. U maydonga kiritilgan doimiy magnitlarga yoki tokli o'tkazgichga ko'rsatadigan kuch ta'siri orqali seziladi. Magnit maydonining asosiy xarakteristikasi magnit induktsiyasi vektorilar. Magnit induksisi V-vektor fizikaviy kattalik bo'lib, elektr toki o'tayotgan  $dl$ -uzunlik birligiga maydon tamonidan ta'sir qilayotgan  $dF$  kuchga miqdori tengdir.

$$B = \frac{1}{I} \frac{dF}{dl}$$

Bu ifoda Amper qonunidan kelib chiqadi:

$$dF = I \left[ d\vec{l} \cdot \vec{B} \right];$$

$$dF = IBdl \sin(\angle lB)$$

Magnit induktsiyasi vektori, xuddi elektr maydoni kuchlanganligi  $E$  kabi magnit maydonning ta'siriy xarakteristikasidir.  $V$  va  $E$  vektorlar maydonlarning kuch ta'sirini aniqlaydi va maydon hosil qilayotgan muhitning hossalriga bog'likdir:  $V$ ,  $d\vec{F}$  va  $d\vec{l}$  vektorlarning yo'nalishi chap qo'l qoidasi bilan

aniqlanadi. (1-rasm). Tok magnit maydoning magnit induksisi kuch chiziqlari parma qoidasi bilan aniqlanadi.

Magnit induksiya kuch chiziqlari har doim yopiq bo'lib, tokli o'tkazgichni o'rab turadi. Magnit induksiya bilan bir qatorda magnit kuchlanganlik – N kiritiladi:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_c}$$

Bu erda  $\mu_c$ -magnit doimiysi,  $\mu$ -muxitning nisbiy magnit singdiruvchanligi bo'lib, qarayotgan muhitdagi tokli o'tkazgichga va harakatlanayotgan zaryadga ta'sir etuvchi kuchning vakuumdagiga nisbatan necha marta kattaligini ko'rsatadi.

Magnit maydonining kuchlanganligi N muhitning hossalarga bog'liq emas, N- elektrostatikadagi D vektorning analogidir.

### **Xoll effekti.**

Lorents kuchining ta'siri orqali Xoll effektini tushuntirish mumkin. Xoll effekti deb tok o'tayotgan metall yoki yarimo'tkazgichni tokning yo'nalishiga perpendikulyar yo'nalgan magnit maydoniga joylashtirilganda potentsiallar farqi va ko'ndalang elektr maydonining hosil bo'lishiga aytiladi.

Elektronlar metallda yoki elektron o'tkazgichli yarimo'tkazgichga maydon kuchlari (  $I$  ) ga qarshi  $\vartheta$ - tezlik bilan harakatlansin (2-a rasm).  $V$  – magnit maydoni elektronlarni  $F_n$  Lorents kuchi ta'sirida ma'lum tamonga (VSDE kesimga tamon) buradi.

Qarama - qarshi MNO R tamonida musbat zaryadlar to'planadi, VSDE va MNOR tekisliklar orasida potentsiallarfarqi hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan ko'ndalang elektr maydoni ta'sirida elektronlarning og'ishiga ta'sir qilinadi. Teshik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgichda BSDE va MNOR tekisliklardagi zaryadlarning miqdori, ishoralari qarama-qarshi bo'ladi, (Lorents kuchi teshiklarga ta'sir qiladi, 2-6 rasm).

Agar MNOP va VSDE elektrodlar orqali sezgir galvanometr nolda turadi (  $\Delta U = 0$  ). Agar na'munasi (obrazets) magnit maydoniga joylashtirsak, galvanometr VSDE va MNOP tekisliklar orasidagi potentsiallar farqi mavjudligini ko'rsatadi. ( $\Delta U = 0$ ). Xoll potentsiallar farqining yo'nalishi moddaga tok tashuvchilarning ishorasini aniqlashga imkon beradi. Xoll potentsiallar farqini paydo bo'lishi natijasida hosil bo'ladigan ko'ndalang elektr zaryadlarini dastlabki harakat yo'nalishida og'ishga majbur qiluvchi Lorents kuchi bilan muvozanatlashmaguncha elektronlar (yoki teshiklarning) magnit maydonida og'ishi yuz beradi. Tok oqayotgan yarimo'tkazgichli jismni kuchlanganlik chiziqlari tok yo'nalishiga perpendikulyar yo'nalgan bir jinsli magnit maydoniga joylashtirsak, A va V qirralar orasidagi (2-rasm) ko'ndalang potentsiallar farqi hosil bo'ladi. Bu hodisa Xoll effekti deyiladi. Ko'ndalang potentsiallar farqi esa Xoll E.Yu.K. deyiladi.

Xoll E.Yu.K. ning hosil bo'lishi magnit maydonining ta'siri bilan aniqlanadi. Kuchlanganligi N – magnit maydonida tezlik bilan harakatlanayotgan zaryadga Lorents kuchi ta'sir qilishi ma'lum:

$$F_n = q[\vartheta \cdot H] \quad (1)$$

Bu kuchning moduli ko'paytirilayotgan vektorning absolyut qiymatlari bilan ular orasidagi burchak sinusining ko'paytmasiga teng:

$$F_n = q \mathcal{H} \sin \alpha \quad (2)$$

Agar  $\alpha = 90^\circ$  bo'lsa,  $F = q \mathcal{H}$ . Bu kuchning ta'sirida zaryad tashuvchilar, ishorasiga qarab, 1-rasmda ko'rsatilganday og'adi. Natijada E kuchlanganlikga ega bo'lgan ko'ndalang maydon hosil bo'ladi.



1-rasm.

Bu maydon elektr zaryadiga

$$F_x = q E_x \quad (3)$$

kuch bilan ta'sir qiladi.

kuchlar o'zaro tenglashmaguncha zaryadlarning ogishi davom etadi.

$$E_x \cdot q = q \mathcal{H} \quad (4)$$

Shu vaqta qarama-qarshi A va V qirralar orasida Xoll E.Yu.K. deb ataluvchi potentsiallar farqi hosil bo'ladi.

$$U_x = E_x d = \mathcal{H} d \quad (5)$$

Bu erda  $d$  - na'munaning kengligi,  $\mathcal{H}$  -ning kattaligini tok zichligi  $j$  orqali ifodalab

$$\mathcal{H} = \frac{j}{qn} = \frac{I}{q b n d} \quad (6)$$

hosil qilamiz.

Olingan ifodalani (5) ga qo'yib. Xoll E.Yu.K. uchun ifoda olamiz.

$$U_x = \frac{1}{qn} \cdot \frac{IH}{b} = R \frac{IH}{b} \quad (7)$$

Bu ifoda ko'rsatadiki, yarimo'tkazgichning qirralaridagi ikki qarama-qarshi nuqtalar orasida hosil bo'ladigan Xoll potetsiallar farqi tok kuchi  $I$  - ga va magnit maydon kuchlanganligi  $N$ -ga propotsional  $\frac{1}{nq}$  kasr Xoll koefitsiyenti deb

ataldi va elektronlar uchun  $R = -\frac{1}{n_e e}$  ga teng yoki (7) dan

$$R = \frac{U_x b}{IH} \quad (8)$$

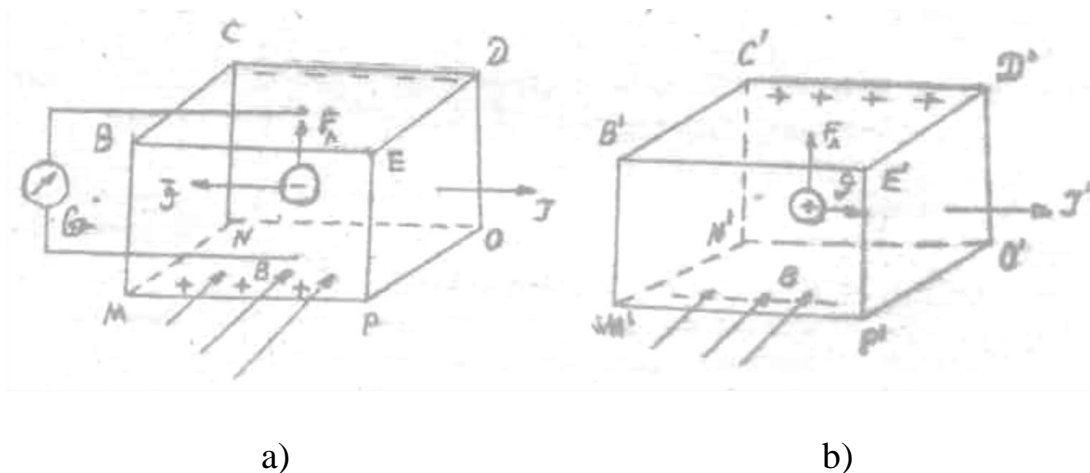
Agar tok tashuvchilar konsentratsiyasi  $n_p$  bo'lgan teshiklar bo'lsa. Xoll koefitsiyenti

$$R = \frac{1}{n_p e} \quad \text{yoki} \quad R = \frac{U_x b}{IH} \quad (9)$$

Shunday qilib, Xoll koefitsiyenti bilgan holda zaryad tashuvchilar konsentratsiyasini va ishorasi aniqlash mumkin ekan.

Xoll koefitsientining ishorasi qarab, elektron yoki teshik tipdagi yarimo'tkazgich bilan ishlayotganimizni aniqlash mumkin, undan tashqari o'tkazuvchanlik mexanizmi aniq bo'lgan qandaydir moddada Xoll koefitsiyentini o'lchab, katta aniqlik bilan zaryadlar konsentratsiyasini hisoblash mumkin.

$$n = \frac{1}{Rq} = \frac{IH}{qU_x b} \quad (10)$$



2-rasm.

**Qurilmaning tavsifi.** Xoll doimiysini va tok tashuvchilar konsentratsiyasini o'lchashga mo'ljallangan qurilmaning soddalashtirilgan sxemasi 3-rasmda ko'rsatilgan  $I_{\text{ЭМ}}$  - elektromagnit orqali o'tuvchi tokning regulyatori. EM – elektromagnit A – EM orqali o'tayotgan tokning to'g'irlagichini (sozlagichi)

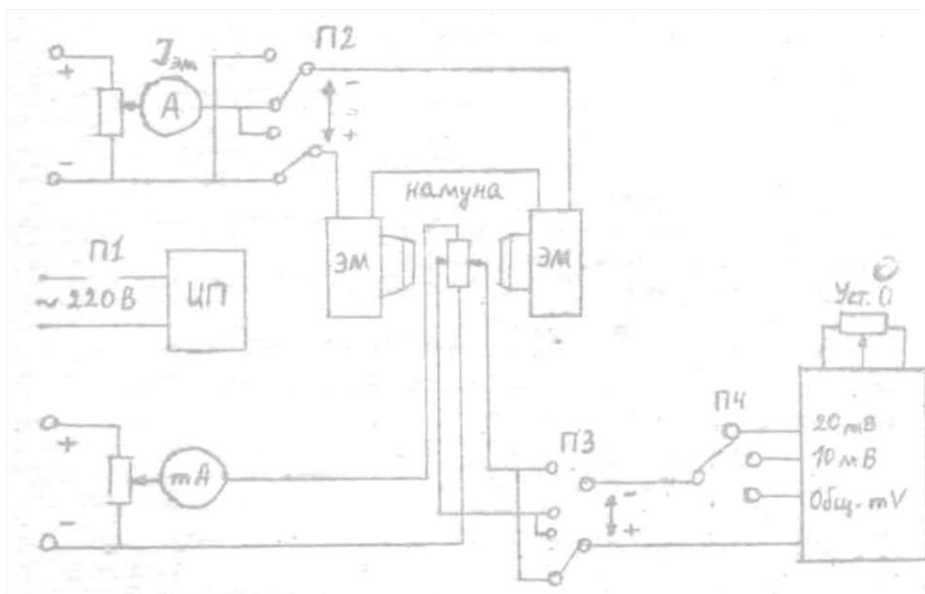
$mA$  - namuna orqali o'tayotgan tokning sozlagichi.  $mV$  - millivolmetr  $И1$  va P4-o'lchagichlar (pereklyuchatel)  $И1И$  -hamma qurilmalarning ta'minot manbai. Tekshiriladigan namunalar to'g'ri burchakli paralelopipedlar formasida bo'ladi. Namuna EM orasiga joylashtirilgan kassetaga maxkamlangan. Elektronlar bilan yaxshi kontakt olish uchun namunalarning kontakt maydonlari metall qatlamlari bilan qoplangan.

### O'lchash va o'lchash natijalariga ishlov berish.

1. O'lchashdan oldin qurilmaning tavsifi bilan diqqat bilan tanishing.
2. Kurilmani o'lchashdan oldin P1 pereklyuchatelni «otkl» holatiga keltiring, P2 va P3 «+» holatiga keltiring, P4 –ni «20MV» holatiga,  $I_{\text{ЭМ}}$  va  $I_{\text{о6р}}$  regulyator (sozlagich) larni strelkasiga qarshi oxrigacha burang.



3. Qurilmani 220V manbaga ulab, P1 tumblarni ko'shing va 5-10 minut qizdiring.



3-rasm.

4. « $I_{опр}$ » - sozlagich yordamida namuna orqali 10 mA ml tok o'tkazing.

5. «Ust .0» - regulyatori yordamida millivolmetr strelkasini nol bilan namunadagi kontaktlarning nosimmetrik joylashini tufayli hosil bo'ladigan boshlang'ich potetsiallar farqini kompensatsiya qilinadi. ( odatdagi tok kontaktlarini namunaning – ekvipotentsial chiziqlariga aniq joylashtirib bo'lmaydi)

Nolga aniq o'rnatish uchun PU pereklyuchatelni «2MV» holatiga o'tkazish mumkin.

6. « $I_{эм}$ » - regulyatori (sozlag'ichi) orqali elektromagnitdan 1 A tok o'tkazing.

7. Bir necha marta (12-14) P2 sozlagichni «-» holatiga o'tkazing va orqali qaytaring.

Bu orqali elektromagnitning cho'lgamlari orqali o'tayotgan tokga mos keluvchi elektromagnitdagi temirning ma'lum magnit holatiga erishiladi.

P2 – pereklyuchatelini «+» holatini keltiring, bu holda ampermetrning ko'rsatishi o'zgarmasligi kerak.

8. P4 pereklyuchateli bilan millivoltmetrning ma'lum o'lchash chegarasini tanlang.  $V_+$  - Xoll potetsiallar farqining miqdoriy jadvalga yozing.

9. P2 – pereklyuchatelni «-» holatiga o'tkazing. Bu holda elektromagnitning tirqishi (zazor) dagi magnit maydonining yo'nalishini teskariga o'zgartiradi. P3 pereklyuchatelni «-» holatiga o'tkazing.

Xoll potetsiallar farqining kattaliga  $V_-$  - ni jadvalga yozing.

10. Xoll potetsiallar millivoltmetrning nolini ayiq o'rnatilmasligi tufayli hosil bo'ladigan hatolik yo'qotiladi.

11. P2 va P3 pereklyuchatellarini «+» holatiga oʻrnatib. 6-9 punktlardagi operatsiyalarni elektromagnit orqali oʻtayotgan tokning 1,5 A va 2A qiymatlari uchun toʻla qaytaring.

12.  $I_{\text{э.м}}$  sozlagich (regulyatorining) soat strelkasiga teskari yoʻnalishida oxirigacha burang ( $I_{\text{э.м}} = 0$ ). 4-10 punktlardagi operatsiyalarni namunadan oʻtuvchi tokning 20 mA va 30 mA qiymatlari uchun qaytaring.

13. Olingan natijalarni jadvalga kiriting.

	$I_{\text{э.м}}$ , A	$I_{\text{о.б.р.}}$ , mA	$H$ , Oe	$V_{+}$ , mB	$V_{-}$ , mB	$V_{\text{yp}}$ , mB	$R$ , $\text{cm}^{-3}$	$n$ , $\text{cm}^{-3}$

Elektromagnit tirgichidagi magnit maydoni kuchlanganligi  $I_{\text{э.м}}$  ning tanlangan qiymatiga mos kattaligini ishga ilova qilingan grafikdan aniqlang.

Xoll doimiysini koʻyidagi formuladan hisoblang:

$$R = \frac{V_{\text{yp}} d}{I_{\text{о.б.р.}} H} \cdot 10^8 \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{a} \cdot \text{cek}} \right]$$

Bu erda  $V_{\text{yp}}$  - voltlar,  $d$  - plastinka qalinligi  $I_{\text{о.б.р.}}$  -Amperlarda, N erstedlarda oʻlchanadi.

Tok tashuvchilar kontsentratsiyasi

$$n = \frac{7,4}{R} 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$$

### Adabiyotlar

1. S.G.Kalashnikov. Elektr. Toshkent. 1979 yil. 147 paragraf, 318-322 betlar, 149-150 paragraf, 327-331- betlar, 203 paragraf, 458-462 betlar.
2. S.E.Frish, A.V.Timoreva. «Umumiy fizika kursi», II tom, Toshkent. 1972 yil, 171 paragraf 205-210 betlar, 217 paragraf, 418-421 betlar,
3. I.V. Savelev. «Umumiy fizika kursi», II tom, Toshkent. 1975 yil, 72-73 paragraf, 216- 225 betlar.

## MUNDARIJA

№		
1	Fizikaviy kattaliklarni o'lchash va xatoliklar nazariyasi.....	5
2	Laboratoriya ishlari № 1. Faraday effekti va Verde konstantasini hisoblash.....	7
3	Laboratoriya ishlari № 2 Kotton-Mutton effekti.....	13
4	Laboratoriya ishi № 3. Ferromagnitning magnitlanish egri chizig'ini va gisterzis halqasini o'lchash.....	19
5	Laboratoriya ishi №4. To'g'ri o'tkazgich va aylanma halqaning magnit maydonini o'lchash.....	24
6	Laboratoriya ishi № 5 Taqasimon magnit maydonida tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi kuchni o'lchash.....	42
7	Laboratoriya ishi № 6 Xoll domiysini va germaniy tok tashuvchilarning konsentratsiyasini o'lchash.....	55

