

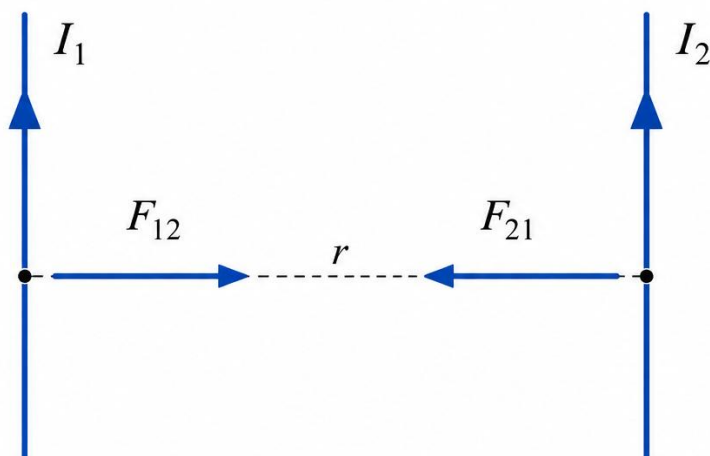
DOIMIY TOK MAGNIT MAYDONI. TOKLARNING O'ZARO MAGNIT TA'SIRI, MAGNIT INDUKSIYA VEKTORI VA BIO-SAVAR-LAPLAS QONUNI

Elektr zaryadlarining tartibli harakati elektr toki bilan birga magnit maydonni ham vujudga keltiradi. Doimiy tok hosil qilgan magnit maydon vaqt bo'yicha o'zgarmaydigan magnitostatik maydon hisoblanadi. Uning asosiy xarakteristikasi magnit induksiya vektori B bo'lib, u harakatlanuvchi zaryadga va tokli o'tkazgichga ta'sir etuvchi magnit kuch orqali aniqlanadi. Toklarning o'zaro magnit ta'siri, Bio-Savar-Laplas qonuni va magnit maydon kuchlanganligi elektromagnetizmning asosiy nazariy tushunchalaridir.

Darsning maqsadi

Talabalarda doimiy tokning magnit maydoni haqidagi ilmiy tasavvurni shakllantirish; parallel toklarning o'zaro ta'sirini, B va H vektorlarining fizik mazmunini, Bio-Savar-Laplas qonunini hamda harakatlanuvchi nuqtaviy zaryad hosil qiladigan magnit maydonni formulalar, grafiklar va hisoblash misollari orqali tushuntirish.

Bir yo'nalishdagi parallel toklarning o'zaro tortishishi



Bir yo'nalishdagi parallel toklar o'zaro tortishadi.

F_{12} — 1-tokning 2-tokka ta'sir kuchi, F_{21} — 2-tokning 1-tokka ta'sir kuchi.

Ampèr kuchi formulasi:

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

μ_0 — vakuumning magnit doimiysi ($4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$)

I_1, I_2 — tok kuchlari (A)

l — o'tkazgichlarning o'zaro parallel bo'lgan uzunligi (m)

r — o'tkazgichlar orasidagi masofa (m)

1-rasm. Bir xil yo'nalishdagi parallel toklarning o'zaro magnit ta'siri

Tushuncha	Belgi	SI birligi
Magnit induksiya	B	tesla (T)
Magnit maydon kuchlanganligi	H	A/m
Tok kuchi	I	amper (A)
Magnit doimiysi	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

1. Toklarning o'zaro magnit ta'siri

Ikki parallel o'tkazgichdan tok o'tganda har bir o'tkazgich ikkinchisining joylashgan nuqtasida magnit maydon hosil qiladi. Ushbu maydon ikkinchi tokli o'tkazgichga Amper kuchi bilan ta'sir qiladi. Toklar bir xil yo'nalishda bo'lsa o'tkazgichlar tortishadi, qarama-qarshi yo'nalishda bo'lsa itarishadi.

$$F = B I l \sin \alpha$$

Parallel o'tkazgichlar uchun $\alpha=90^\circ$ bo'lib, $\sin\alpha=1$. Birinchi cheksiz uzun to'g'ri tokning ikkinchi o'tkazgich joyidagi maydoni $B_1=\mu_0 I_1/(2\pi d)$. Shundan birlik uzunlikka to'g'ri keladigan kuch:

$$F/l = \mu_0 I_1 I_2 / (2\pi d)$$

Bu bog'lanish toklarning magnit o'zaro ta'siri masofa ortishi bilan kamayishini ko'rsatadi.

1-misol

$I_1=5$ A, $I_2=8$ A va $d=0.10$ m bo'lsa, $F/l=\mu_0 I_1 I_2/(2\pi d)=8.0\times 10^{-5}$ N/m. Toklar bir yo'nalishda bo'lsa kuch tortishish xarakteriga ega.

2-misol

Har bir o'tkazgichning faol uzunligi 0.50 m bo'lsa, yuqoridagi sharoitda $F=(F/l)l=4.0\times 10^{-5}$ N.

Magnit o'zaro ta'sir Nyutonning uchinchi qonuniga mos: ideal holatda o'tkazgichlarning bir-biriga ta'sir kuchlari modullari teng va yo'nalishlari qarama-qarshi.

2. Magnit induksiya vektori B

Magnit induksiya vektori magnit maydonning kuch ta'sirini tavsiflaydi. Harakatlanuvchi q zaryadga magnit maydonda Lorens kuchining magnit tashkil etuvchisi ta'sir qiladi:

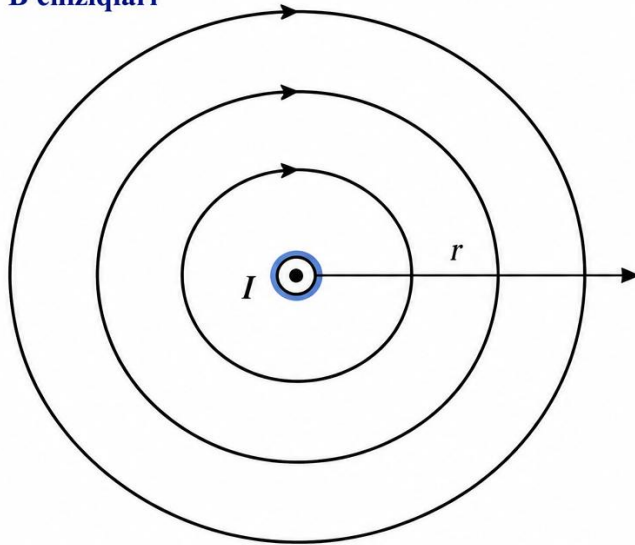
$$\mathbf{F}_m = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

$$|\mathbf{F}_m| = |q| v B \sin \alpha$$

Agar $\mathbf{v}$ $\mathbf{B}$ ga perpendikulyar bo'lsa, $B=F_m/(|q|v)$. B ning yo'nalishi musbat zaryad uchun $\mathbf{v}$ va $\mathbf{F}$ orasidagi vektor ko'paytma qoidasi bilan aniqlanadi. Manfiy zaryad uchun kuch yo'nalishi teskarilanadi.

To'g'ri tok atrofidagi magnit maydon

B chiziqlari



O'ng qo'l qoidasi:

Bosh barmoq tok yo'nalishiga qaratilgan bo'lsa, to'rtta barmoq magnit maydon chiziqlari yo'nalishini ko'rsatadi.

⊙ I – to'g'ri tok (biz tomonga)

→ B – magnit maydon chiziqlari

r – markazdan masofa

B – induksiya vektori

Magnit induksiya moduli:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

μ_0 – vakuumning magnit doimiysi ($4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$)

I – tok kuchi (A)

r – to'g'ri tokdan masofa (m)

B – magnit induksiya (T)

To'g'ri tok atrofidagi magnit maydon chiziqlari yopiq doira shaklida bo'ladi.

2-rasm. To'g'ri tok atrofidagi konsentrik magnit induksiya chiziqlari

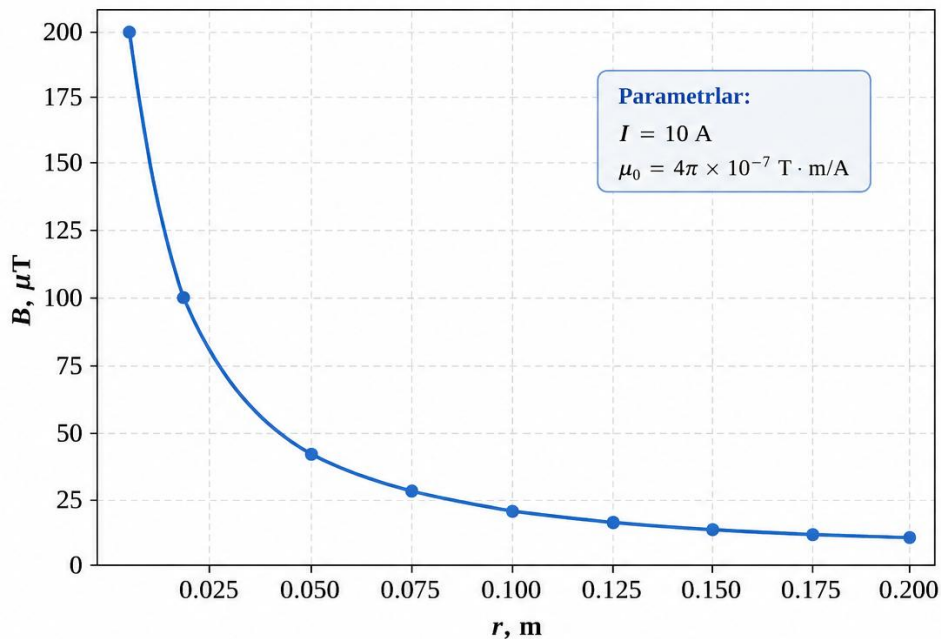
To'g'ri tok atrofidagi B chiziqlari o'tkazgichni o'rab turuvchi konsentrik aylanalardir. Yo'nalish o'ng qo'l yoki parma qoidasi bilan aniqlanadi.

$$B = \mu_0 I / (2\pi r)$$

3-misol

$I=10 \text{ A}$ tokli uzun to'g'ri simdan $r=5 \text{ cm}$ masofada $B=\mu_0 I / (2\pi r)=4.0 \times 10^{-5} \text{ T}=40 \text{ } \mu\text{T}$.

To'g'ri tok maydoni: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$, $I = 10 \text{ A}$



Formula:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

B – magnit induksiya (T)

μ_0 – vakuumning magnit doimiysi ($4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$)

I – tok kuchi (A)

r – o'tkazgichdan masofa (m)

Grafik talqini:

Masofa r ortishi bilan magnit induksiya B teskari proporsional ravishda kamayadi: $B \sim \frac{1}{r}$

—●— Hisoblangan qiymatlar



Xulosa: To'g'ri tok o'tkazgich atrofidagi magnit maydon kuchi masofaning kattalashishi bilan kamayadi (teskari proporsional bog'lanish). Grafik $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ qonunni tasdiqlaydi.

3-rasm. To'g'ri tok maydonida B ning masofaga teskari proporsional kamayishi

3. Bio-Savar-Laplas qonuni

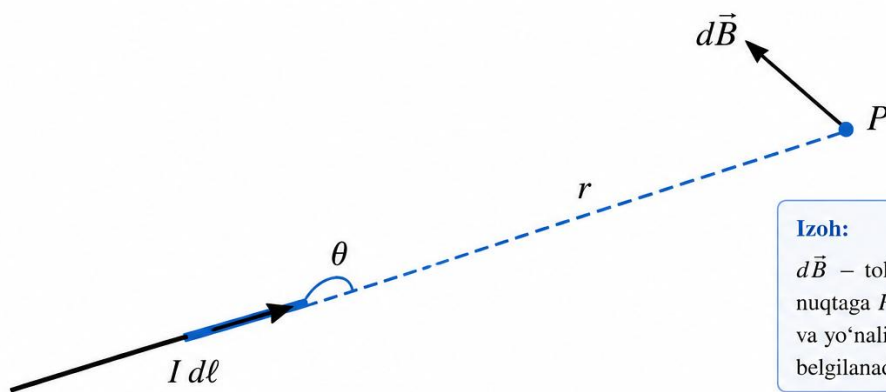
Ixtiyoriy shakldagi tokli o'tkazgich magnit maydonini hisoblashda Bio-Savar-Laplas qonuni asosiy integral qonunlardan biridir. Tok elementining kuzatish nuqtasida hosil qilgan elementar magnit induksiyasi:

$$dB = (\mu_0/4\pi) I (d\ell \times r) / r^3$$

Modul ko'rinishida:

$$dB = (\mu_0/4\pi) I d\ell \sin \theta / r^2$$

Bio-Savar-Laplas qonunining geometrik elementlari



Izoh:

$d\vec{B}$ – tok elementi $I d\ell$ dan nuqtaga P gacha bo'lgan masofa r va yo'nalish burchagi θ orqali belgilanadi.

Belgilarning ma'nosi:

$I d\ell$ – tok elementi (yo'nalish vektori bilan)
 r – tok elementidan P nuqtagacha bo'lgan masofa
 θ – r vektori bilan $I d\ell$ orasidagi burchak
 $d\vec{B}$ – P nuqtadagi magnit maydonning elementar induksiyasi
 P – maydon hisoblanayotgan nuqta

Bio-Savar-Laplas qonuni (elementar ko'rinish):

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3}$$

μ_0 – vakuumning magnit doimiysi ($4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$)
 $\times$ – vektor ko'paytma (yo'nalish qoidasi bo'yicha)
 $d\vec{\ell} \times \vec{r}$ – $d\vec{B}$ ning yo'nalishini aniqlaydi



Eslatma: $d\vec{B}$ ning yo'nalishi o'ng qo'l qoidasi yordamida aniqlanadi: to'rt barmoq $I d\vec{\ell}$ yo'nalishida, kaft $\vec{r}$ tomonga qaratiladi, bosh barmoq $d\vec{B}$ yo'nalishini ko'rsatadi.

4-rasm. Tok elementi, kuzatish nuqtasi va $d\vec{B}$ vektorining geometrik bog'lanishi
 To'liq maydon barcha tok elementlarining vektor yig'indisi sifatida topiladi:

$$\vec{B} = \int d\vec{B}$$

Qonundan ko'rinadiki, $d\vec{B}$ tok kuchiga va tok elementi uzunligiga to'g'ri, masofaning kvadratiga teskari proporsional; $d\ell$ va r parallel bo'lsa $\sin\theta=0$ va ushbu elementning hissasi nol.

4-misol

$I=3 \text{ A}$, $d\ell=2 \text{ mm}$, $r=0.10 \text{ m}$ va $\theta=90^\circ$ bo'lgan kichik tok elementi uchun $d\vec{B} \approx (10^{-7})(3)(2 \times 10^{-3})/(0.10)^2 = 6 \times 10^{-8} \text{ T}$.

4. Bio-Savar-Laplas qonunining xususiy natijalari

Cheksiz uzun to'g'ri o'tkazgich uchun simmetriya va integrallash natijasida $B=\mu_0 I/(2\pi r)$ olinadi. Radiusi R bo'lgan aylana tok markazida esa barcha elementar $d\vec{B}$ vektorlar bir xil yo'nalishda bo'lib:

$$B_{\text{markaz}} = \mu_0 I/(2R)$$

N ta o'ramli aylana g'altak markazida:

$$B = \mu_0 N I/(2R)$$

Uzun solenoid ichida, chekka effektlar e'tiborga olinmaganda:

$$B \approx \mu_0 n I$$

Bu yerda $n=N/l$ - birlik uzunlikdagi o'ramlar soni.

Tok konfiguratsiyasi	Magnit induksiya
Uzun to'g'ri sim	$B=\mu_0 I/(2\pi r)$
Aylana tok markazi	$B=\mu_0 I/(2R)$

N o'ramli aylana	$B = \mu_0 NI / (2R)$
Uzun solenoid	$B \approx \mu_0 nI$

5-misol

Radiusi $R = 0.10$ m bo'lgan aylana o'tkazgichdan $I = 5$ A tok o'tsa, markazdagi maydon $B = \mu_0 I / (2R) \approx 3.14 \times 10^{-5}$ T.

6-misol

Uzun solenoidda $n = 1000$ m⁻¹ va $I = 2$ A bo'lsa, $B \approx \mu_0 nI \approx 2.51 \times 10^{-3}$ T = 2.51 mT.

Ushbu formulalar umumiy Bio-Savar-Laplas integralining yuqori simmetriyali holatlardagi natijalaridir.

5. Magnit maydon kuchlanganligi H

Magnit maydonni tavsiflashda B bilan birga magnit maydon kuchlanganligi H ham ishlatiladi. Vakuumda ular o'zaro:

$$B = \mu_0 H$$

Chiziqli izotrop magnit muhitda:

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

Bu yerda μ_r - muhitning nisbiy magnit singdiruvchanligi. H asosan erkin toklar bilan bog'langan maydon xarakteristikasi sifatida, B esa magnit kuch ta'siri va umumiy magnit javobni tavsiflashda qulay.

Uzun to'g'ri tok atrofida vakuum uchun:

$$H = I / (2\pi r)$$

Uzun solenoid ichida:

$$H \approx nI$$

Kattalik	B	H
Nomi	Magnit induksiya	Magnit maydon kuchlanganligi
SI birligi	T	A/m
Vakuumdagi bog'lanish	$B = \mu_0 H$	$H = B / \mu_0$
Muhit ta'siri	μ_r orqali bevosita aks etadi	Ko'pincha erkin toklar bilan bog'lanadi

7-misol

Vakuumda $B = 2.0$ mT bo'lsa, $H = B / \mu_0 \approx 1.59 \times 10^3$ A/m.

Agar shu H qiymatli chiziqli muhit uchun $\mu_r = 100$ bo'lsa, ideal modelda $B = \mu_0 \mu_r H \approx 0.20$ T.

6. Harakatlanayotgan zaryadlangan zarrachaning magnit maydoni

Norelyativistik tezlikda bir tekis harakatlanayotgan nuqtaviy q zaryadning kuzatish nuqtasidagi magnit maydoni tok elementining maydoniga o'xshash shaklda yoziladi:

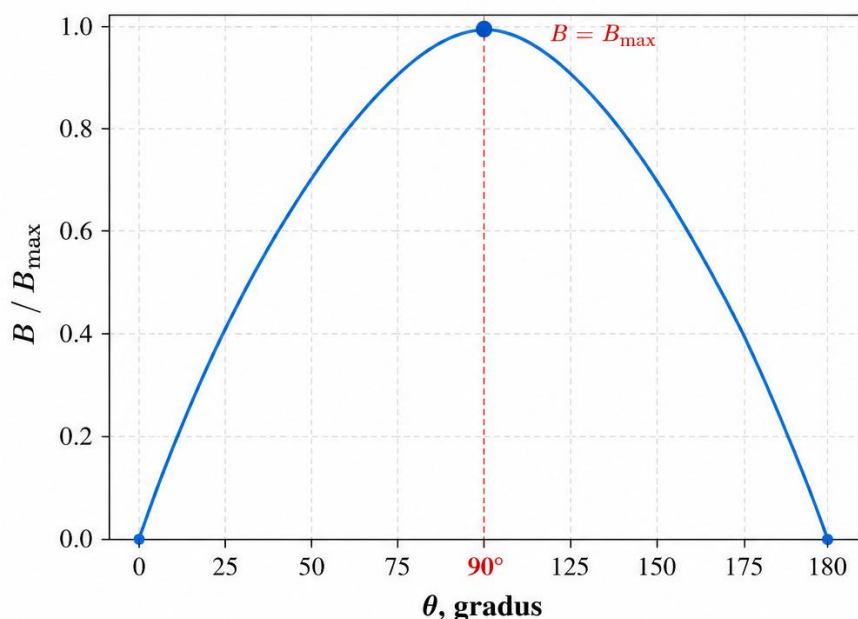
$$B = (\mu_0 / 4\pi) q (\mathbf{v} \times \mathbf{r}) / r^3$$

Modul ko'rinishida:

$$B = (\mu_0 / 4\pi) |q| v \sin \theta / r^2$$

Maydon zaryad tezligiga to'g'ri proporsional, masofaning kvadratiga teskari proporsional va v bilan r orasidagi θ burchakka bog'liq. $\theta=90^\circ$ da B maksimal, $\theta=0^\circ$ yoki 180° da esa nol.

Harakatlanuvchi zaryad maydonining burchakka bog'liqligi: $B \propto \sin\theta$



Nazariy bog'lanish:

$$B = B_{\max} \sin\theta$$

Bu yerda:

B – magnit maydon induksiyasi

θ – zaryad tezligi $\vec{v}$ bilan kuzatish nuqtasiga chizilgan

$\vec{r}$ radius-vektor orasidagi burchak

$B_{\max}$ – $\theta = 90^\circ$ dagi maksimum qiymat

Asosiy xulosalar:

- $\theta = 0^\circ$ yoki 180° da $B = 0$
- $\theta = 90^\circ$ da $B = B_{\max}$ (maksimum)
- B ning θ ga bog'liqligi $\sin\theta$ qonuni bilan ifodalanadi.

Grafik tavsifi:

Vertikal o'qda $B/B_{\max}$ – normallashtirilgan magnit maydon; gorizontaal o'qda θ – burchak (gradus).



Xulosa: Harakatlanuvchi zaryad hosil qilgan magnit maydon induksiyasi burchakka sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradi: maydon $\theta = 90^\circ$ da maksimal, $\theta = 0^\circ$ va 180° da nolga teng.

5-rasm. Harakatlanuvchi zaryad magnit maydonining burchakka bog'liqligi

8-misol

$q=2 \mu\text{C}$ zaryad $v=3 \times 10^5 \text{ m/s}$ tezlik bilan harakat qilmoqda. $r=0.20 \text{ m}$ va $\theta=90^\circ$ bo'lsa, $B=10^{-7} qv/r^2 \approx 1.5 \times 10^{-6} \text{ T} = 1.5 \mu\text{T}$.

Zaryad manfiy bo'lsa, B vektorining yo'nalishi musbat zaryad uchun topilgan yo'nalishga qarama-qarshi bo'ladi.

7. Magnit maydon yo'nalishini aniqlash va superpozitsiya

Bir nechta tok yoki harakatlanuvchi zaryad mavjud bo'lganda natijaviy magnit maydon superpozitsiya prinsipiga ko'ra har bir manba hosil qilgan maydonlarning vektor yig'indisiga teng:

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2 + \dots + \mathbf{B}_n$$

Shu sababli maydonlarni qo'shishda faqat modullarni emas, vektor yo'nalishlarni ham hisobga olish zarur. Bir nuqtada ikki maydon bir yo'nalishda bo'lsa modullar qo'shiladi, qarama-qarshi bo'lsa ayiriladi, ixtiyoriy burchakda esa vektor geometriyasi qo'llanadi.

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2 B_1 B_2 \cos \varphi}$$

Kompleks misol

Ikki parallel simdan $I_1=6 \text{ A}$ va $I_2=4 \text{ A}$ tok bir xil yo'nalishda o'tmoqda. Simlar orasidagi masofa $d=0.20 \text{ m}$. Ularning o'rtasidagi nuqta har bir simdan $r=0.10 \text{ m}$ uzoqda.

O'ng qo'l qoidasiga ko'ra bu nuqtada ikki maydon qarama-qarshi yo'nalgan. $B_1=12 \mu\text{T}$, $B_2=8 \mu\text{T}$, demak natijaviy maydon $B=4 \mu\text{T}$ bo'lib, kuchliroq maydon yo'nalishida.

Vaziyat	Natijaviy maydon
B_1 va B_2 bir yo'nalishda	$B=B_1+B_2$
Qarama-qarshi yo'nalishda	$B= B_1-B_2 $
O'zaro perpendikulyar	$B=\sqrt{B_1^2+B_2^2}$
φ burchak ostida	Kosinuslar teoremasi bo'yicha

Magnit induksiya chiziqlari yopiq bo'lishi magnit maydonning muhim xususiyatidir. Klassik elektromagnetizm da izolyatsiyalangan magnit monopollar kuzatilmagan; shu sababli B maydonining manba va oqim xususiyatlari elektr maydonidan farq qiladi.

8. Darsni tashkil etish algoritmi va ilmiy-metodik tahlil

Bosqich	Darsdagi faoliyat
1	Tokli ikki sim tajribasi orqali magnit o'zaro ta'sir muammosini qo'yish.
2	B vektorini Lorens va Amper kuchlari orqali fizik jihatdan ta'riflash.
3	To'g'ri tok atrofidagi B chiziqlarini o'ng qo'l qoidasi bilan aniqlash.
4	Bio-Savar-Laplas qonunidagi $d\ell$, r , θ va vektor ko'paytmani rasmda tahlil qilish.
5	To'g'ri sim, aylana tok va solenoid formulalarini umumiy qonun bilan bog'lash.
6	B va H orasidagi farq va $B=\mu_0\mu_r H$ bog'lanishini tushuntirish.
7	Harakatlanuvchi nuqtaviy zaryad maydonini tok elementining maydoni bilan qiyoslash.
8	Superpozitsiya va hisoblash misollari bilan mavzuni mustahkamlash.

Muammoli savollar

Nima uchun bir xil yo'nalishdagi toklar tortishadi? Tok kuchi oshganda B qanday o'zgaradi? Nima uchun to'g'ri simdan uzoqlashganda B $1/r$ qonun bilan kamayadi, nuqtaviy harakatlanuvchi zaryad maydoni esa $1/r^2$ ga bog'liq? B va H nima uchun bir xil fizik kattalik emas? Bio-Savar-Laplas qonunidagi $\sin\theta$ omilining geometrik ma'nosi nima?

Ko'p uchraydigan xatolar

B va H ni bir xil kattalik deb olish; tesla va A/m birliklarini aralashtirish; Bio-Savar-Laplas formulasida r o'rniga r^2 yoki aksincha noto'g'ri qo'llash; vektor ko'paytma yo'nalishini e'tiborsiz qoldirish; elektron uchun magnit maydon yoki Lorens kuchi yo'nalishini musbat zaryadniki bilan bir xil olish; parallel toklar kuchini masofaning kvadratiga teskari deb xato hisoblash.

9. Asosiy formulalar, mustaqil topshiriqlar va xulosa

Formula	Mazmuni
$F = BIl \sin \alpha$	Tokli o'tkazgichga Amper kuchi
$F/l = \mu_0 I_1 I_2 / (2\pi d)$	Parallel toklarning o'zaro ta'siri
$F_m = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$	Harakatlanuvchi zaryadga Lorens kuchi
$B = \mu_0 I / (2\pi r)$	Uzun to'g'ri tok maydoni
$d\mathbf{B} = (\mu_0 / 4\pi) I (d\mathbf{\ell} \times \mathbf{r}) / r^3$	Bio-Savar-Laplas qonuni
$B = \mu_0 I / (2R)$	Aylana tok markazidagi maydon
$B \approx \mu_0 n I$	Uzun solenoid
$B = \mu_0 \mu_r H$	B va H bog'lanishi
$\mathbf{B} = (\mu_0 / 4\pi) q(\mathbf{v} \times \mathbf{r}) / r^3$	Harakatlanuvchi nuqtaviy zaryad maydoni

Mustaqil topshiriqlar

1. $I = 12$ A tokli uzun simdan 8 cm masofadagi B ni hisoblang.
2. 4 A va 7 A parallel toklar 15 cm masofada joylashgan. Birlik uzunlikka kuchni toping.
3. $R = 6$ cm aylana o'ramdan 3 A tok o'tsa markazdagi B ni aniqlang.
4. $n = 1500 \text{ m}^{-1}$ solenoidda $I = 1.5$ A bo'lsa H va vakuumdagi B ni hisoblang.
5. $q = 1 \text{ } \mu\text{C}$, $v = 2 \times 10^6 \text{ m/s}$, $r = 0.10 \text{ m}$ va $\theta = 30^\circ$ uchun zaryad hosil qilgan B ni toping.
6. Bio-Savar-Laplas qonunidan to'g'ri sim va aylana tok formulalari qanday kelib chiqishini izohlang.

Yakuniy xulosa

Doimiy elektr toki atrofida magnitostatik maydon hosil bo'ladi va uning kuch ta'siri magnit induksiya vektori B bilan tavsiflanadi. Parallel toklarning o'zaro tortishishi yoki itarilishi har bir tokning ikkinchi tok joyida hosil qilgan magnit maydoni va Amper kuchi bilan tushuntiriladi. Ixtiyoriy tok taqsimotining magnit maydonini Bio-Savar-Laplas qonuni asosida hisoblash mumkin; to'g'ri sim, aylana tok va solenoid formulalari uning xususiy natijalaridir. Magnit maydon kuchlanganligi H muhit xususiyatlari bilan $B = \mu_0 \mu_r H$ orqali bog'langan. Harakatlanuvchi nuqtaviy zaryad ham magnit maydon hosil qiladi va uning maydoni tezlik, masofa hamda kuzatish burchagiga bog'liq. Ushbu qonuniyatlar elektromagnit qurilmalar, elektr mashinalari, o'lchash asboblari va zamonaviy elektronika fizik asoslarining muhim qismini tashkil etadi.

Tavsiya etiladigan adabiyotlar

1. Griffiths D. J. Introduction to Electrodynamics. Cambridge University Press.
2. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentals of Physics. Wiley.
3. Young H. D., Freedman R. A. University Physics with Modern Physics. Pearson.
4. Serway R. A., Jewett J. W. Physics for Scientists and Engineers. Cengage.