

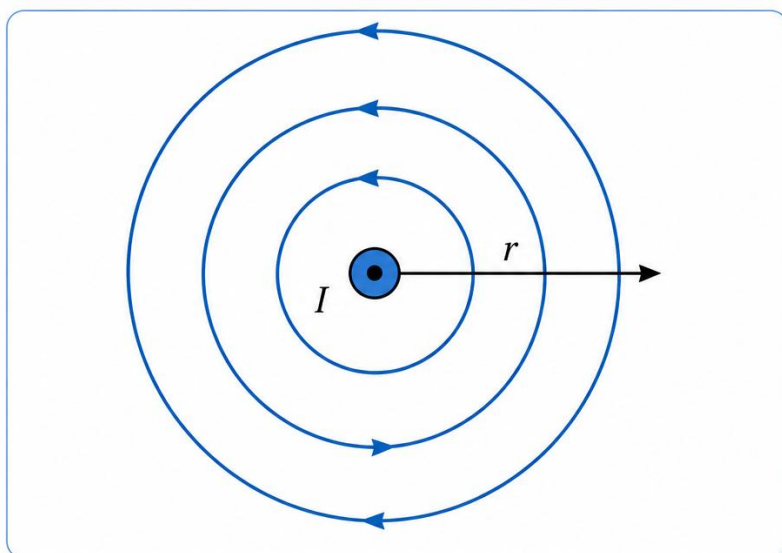
TOKLAR MAGNIT MAYDONI. TO'G'RI VA AYLANMA TOK MAYDONI. SOLENOID O'QI BO'YLAB MAGNIT MAYDON KUCHLANGANLIGI

Doimiy tok hosil qilgan magnit maydon magnitostatikaning asosiy tadqiqot obyektidir. Tok konfiguratsiyasining geometrik shakli magnit maydonning fazodagi taqsimotini belgilaydi. Uzun to'g'ri tok atrofida maydon chiziqlari konsentrik aylanalardan iborat bo'lsa, aylanma tok o'qi bo'ylab maydon yo'nalishi o'q bilan ustma-ust tushadi. Ko'p o'ramli solenoidda esa alohida o'ramlarning maydonlari superpozitsiyalanib, ichki sohada deyarli bir jinsli magnit maydon hosil qiladi.

Darsning maqsadi

Bio-Savar-Laplas va Amper qonunlari asosida to'g'ri tok, aylanma tok va solenoid magnit maydon kuchlanganligini hisoblash; maydonning masofa va koordinataga bog'liqligini grafik tahlil qilish; solenoid markazi, chetlari va tashqi sohadagi $H(z)$ taqsimotining fizik mazmunini misollar orqali tushuntirish.

To'g'ri tok atrofidagi magnit maydon chiziqlari



Izohlar

- I – to'g'ri tok (biz tomonga)
- B – magnit maydon chiziqlari
- r – markazdan masofa



O'ng qo'l qoidasi

Bosh barmoq tok yo'nalishiga qaratilsa, barmoqlar magnit maydon chiziqlari yo'nalishini ko'rsatadi.



Xususiyatlar

- Chiziqlar yopiq, konsentrik aylana shaklida.
- Yo'nalish o'ng qo'l qoidasiga muvofiq.

Magnit induksiya moduli

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

- B – magnit induksiya (T)
- I – tok kuchi (A)
- r – to'g'ri tokdan masofa (m)
- μ_0 – vakuumning magnit doimiysi ($4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$)

SI birliklari

- | | |
|---------------|---------------|
| B Tesla (T) | r metr (m) |
| I Amper (A) | μ_0 T·m/A |



Xulosa: To'g'ri tok atrofida magnit maydon chiziqlari konsentrik aylana ko'rinishida bo'ladi. Yo'nalish o'ng qo'l qoidasi bilan aniqlanadi.

1-rasm. To'g'ri tok atrofidagi magnit maydon kuchlanganligi chiziqlari

Kattalik	Belgi	SI birligi
Magnit maydon kuchlanganligi	H	A/m
Magnit induksiya	B	T
Tok kuchi	I	A
O'ramlar zichligi	$n=N/L$	m^{-1}
Vakuumdagi bog'lanish	$B=\mu_0 H$	$\mu_0=4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

1. To'g'ri tokning magnit maydoni

Cheksiz uzun to'g'ri o'tkazgichdan I tok o'tganda silindrik simmetriya yuzaga keladi. Magnit maydon chiziqlari o'tkazgich o'qiga perpendikulyar tekisliklarda joylashgan konsentrik aylanalardir. Yo'nalish o'ng qo'l qoidasi bilan aniqlanadi.

Amperning sirkulyatsiya teoremasini radiusi r bo'lgan aylana konturga qo'llaymiz. Simmetriya tufayli H kontur bo'ylab o'zgarmaydi va dl bilan bir yo'nalishda:

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I$$

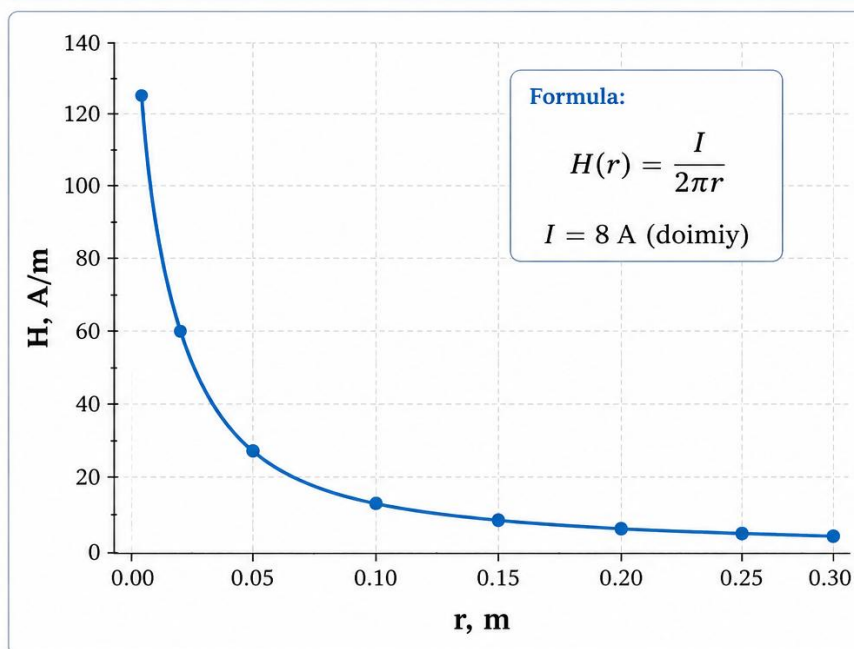
$$H(2\pi r) = I$$

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

Vakuumda $B = \mu_0 H$ bo'lganligi sababli:

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

To'g'ri tok uchun $H(r) = I/(2\pi r)$, $I = 8 \text{ A}$



Ma'lumotlar

Tok kuchi: $I = 8 \text{ A}$

Bog'lanish: $H(r) = \frac{I}{2\pi r}$

H – magnit maydon kuchlanganligi (A/m)

r – o'tkazgichdan masofa (m)

Xususiyatlar

✓ H r ga teskari proporsional:

$$H \sim \frac{1}{r}$$

✓ r ortishi bilan H kamayadi.

✓ $r \rightarrow 0$ da H juda katta bo'ladi (nazariy jihatdan cheksizga intiladi).

Jadval (ba'zi nuqtalar)

r, m	0.01	0.02	0.05	0.10	0.20	0.30
H, A/m	127.3	63.7	25.5	12.7	6.4	4.2



Xulosa: Cheksiz uzun to'g'ri tok o'tkazgich atrofidagi magnit maydon kuchlanganligi o'tkazgichdan masofa ortishi bilan $\frac{1}{r}$ qonuni bo'yicha kamayadi.

2-rasm. To'g'ri tok uchun H ning r masofaga teskari proporsional kamayishi

1-misol

$I = 8 \text{ A}$ tokli uzun simdan $r = 4 \text{ cm}$ masofada $H = I/(2\pi r) = 8/(2\pi \times 0.04) \approx 31.8 \text{ A/m}$. Vakuumda $B = \mu_0 H \approx 4.0 \times 10^{-5} \text{ T} = 40 \mu\text{T}$.

2-misol

Masofa 4 cm dan 12 cm gacha uch marta oshsa, H va B uch marta kamayadi. Demak, $H_2 \approx 10.6 \text{ A/m}$.

2. Chekli to'g'ri o'tkazgich uchun maydon

Real o'tkazgichlar cheksiz uzun emas. Bio-Savar-Laplas qonunini chekli to'g'ri sim bo'ylab integrallash natijasida kuzatish nuqtasidan simgacha eng qisqa masofa a bo'lganda:

$$H = I/(4\pi a) (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)$$

Bu yerda α_1 va α_2 - kuzatish nuqtasidan sim uchlariga o'tkazilgan chiziqlar bilan perpendikulyar orasidagi burchaklar. Cheksiz uzun sim uchun $\alpha_1=\alpha_2=90^\circ$ va formula $H=I/(2\pi a)$ ko'rinishiga o'tadi.

Holat	Natija
Cheksiz uzun sim	$H=I/(2\pi a)$
Yarim cheksiz sim	$H=I/(4\pi a)$
Chekli sim	$H=I(\sin\alpha_1+\sin\alpha_2)/(4\pi a)$

3-misol

$I=6$ A, $a=0.05$ m va $\alpha_1=\alpha_2=45^\circ$ bo'lsa, $H=6[\sin 45^\circ+\sin 45^\circ]/(4\pi \times 0.05) \approx 13.5$ A/m.

Chekli sim formulasi geometrik omilni aniq hisobga oladi. O'tkazgich uchlaridan uzoqlashgan sari α burchaklar kichrayib, maydon cheksiz sim modelidan kamroq bo'ladi.

Superpozitsiya prinsipi

Bir necha o'tkazgich mavjud bo'lsa, natijaviy H vektor har bir tok hosil qilgan H_i maydonlarning vektor yig'indisidir. Shu sababli simmetrik tok tizimlarida ayrim komponentlar bekor bo'lishi, boshqalari esa qo'shilishi mumkin.

$$\mathbf{H} = \sum \mathbf{H}_i$$

3. Aylanma tokning magnit maydoni

Radiusi R bo'lgan aylana o'tkazgichdan I tok o'tsin. Aylana markazida har bir tok elementidan hosil bo'ladigan dH vektorlar aylana o'qiga parallel va bir xil yo'nalgan. Bio-Savar-Laplas qonunini butun aylana bo'yicha integrallash natijasida:

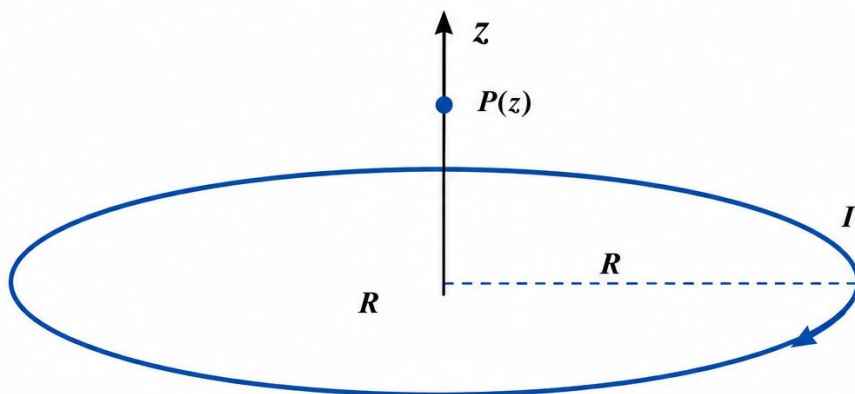
$$\mathbf{H}_0 = I/(2R)$$

N o'ramli tekis g'altak uchun:

$$\mathbf{H}_0 = NI/(2R)$$

Vakuumba mos magnit induksiya $B_0=\mu_0 H_0$.

Aylanma tok va uning o'qi bo'ylab kuzatish nuqtasi



Belgilar:

- I – aylanma tok (A)
- R – aylana radiusi (m)
- z – o'q bo'ylab nuqtaga masofa (m)
- $P(z)$ – o'q bo'ylab kuzatish nuqtasi
- – kuzatish nuqtasi (P)
- $\uparrow z$ – aylanma tok o'qi (z -o'qi)

i Tavsif:

R radiusli aylana shaklidagi o'tkazgichdan I tok oqmoqda. Kuzatish nuqtasi $P(z)$ aylananing o'qi (z -o'qi) bo'ylab, aylanadan z masofada joylashgan. O'q bo'ylab magnit maydon kuchlanganligi H (yoki B) simmetriya sababli faqat z -o'qi yo'nalishida bo'ladi.



Eslatma: Aylanma tok o'qi bo'ylab hosil bo'ladigan magnit maydon yo'nalishi o'ng qo'l qoidasi bilan aniqlanadi. Bosh barmoq o'q yo'nalishiga, bukilgan barmoqlar tok yo'nalishiga mos keladi.

3-rasm. Aylanma tok geometriyasi va o'q bo'ylab $P(z)$ kuzatish nuqtasi

4-misol

$R=0.08$ m va $I=5$ A bo'lgan bitta aylana tok markazida $H_0=I/(2R)=31.25$ A/m. Vakuumda $B_0 \approx 39.3$ μ T.

5-misol

Shu radiusli 20 o'ramli g'altakdan 0.5 A tok o'tsa, $H_0=NI/(2R)=62.5$ A/m. O'ramlar sonini ikki marta oshirish markaziy maydonni ham ikki marta oshiradi.

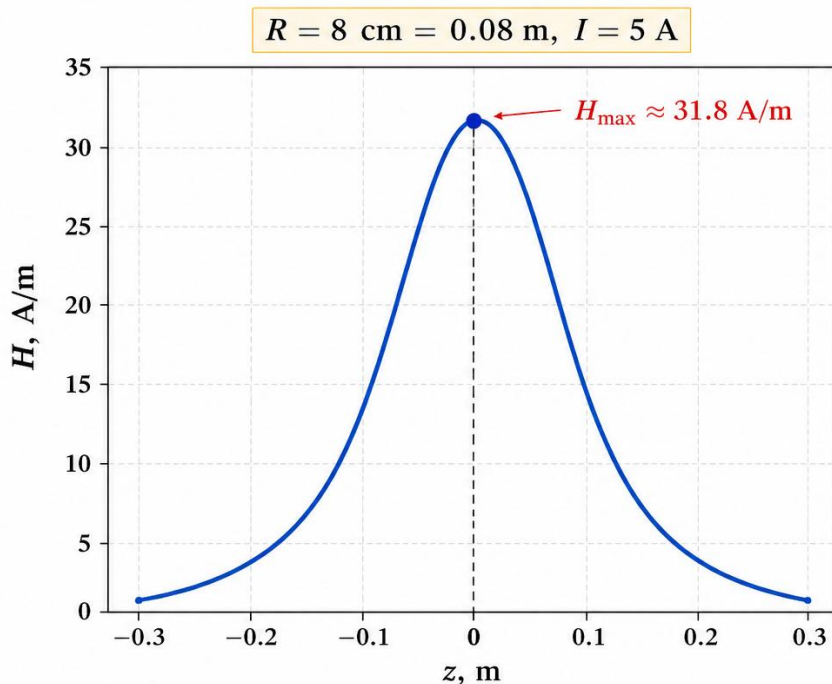
4. Aylanma tok o'qi bo'ylab $H(z)$

Aylana markazidan z masofada joylashgan o'q nuqtasida tok elementlarining o'qqa perpendikulyar komponentlari simmetriya tufayli o'zaro bekor bo'ladi, o'q bo'ylab komponentlari esa qo'shiladi. Natijada:

$$H(z) = I R^2 / [2(R^2+z^2)^{3/2}]$$

N o'ram uchun o'ng tomon N ga ko'paytiriladi. $z=0$ bo'lsa $H(0)=I/(2R)$, ya'ni markaz formulasi kelib chiqadi. $z \gg R$ uzoq sohada maydon taxminan $1/z^3$ qonun bo'yicha kamayadi; bu aylanma tokning magnit dipol tabiatiga mos.

Aylanma tok o'qi bo'ylab magnit maydon kuchlanganligi $H(z)$



Formula

$$H(z) = \frac{IR^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}}$$

Bu yerda:

I – aylanma tok (A)

R – aylana radiusi (m)

z – o'q bo'ylab nuqtaning siljishi (m)

H – magnit maydon kuchlanganligi (A/m)

Xususiyatlar

- $z = 0$ da H maksimum qiymatga ega.
- $H(z)$ juft funksiya: $H(-z) = H(z)$
- $|z|$ ortishi bilan $H(z)$ kamayadi.
- $|z| \gg R$ da $H(z) \sim \frac{1}{|z|^3}$

Asosiy nuqtalar (hisoblangan)

$z, \text{ m}$	-0.30	-0.20	-0.10	0	0.10	0.20	0.30
$H, \text{ A/m}$	0.55	1.27	5.02	31.83	5.02	1.27	0.55



Xulosa: Aylanma tok hosil qilgan magnit maydon o'q bo'ylab simmetrik taqsimlanadi. Maydon kuchlanganligi $z = 0$ da maksimal bo'ladi va $|z|$ ortishi bilan kamayadi.

4-rasm. Aylanma tok o'qi bo'ylab magnit maydon kuchlanganligining taqsimlanishi

6-misol

$R=0.08 \text{ m}$, $I=5 \text{ A}$ va $z=0.08 \text{ m}$ bo'lsa, $H=IR^2/[2(R^2+z^2)^{(3/2)}] \approx 11.05 \text{ A/m}$. Bu markazdagi 31.25 A/m qiymatdan ancha kichik.

$z=R$ nuqtada $H/H_0=1/(2\sqrt{2}) \approx 0.354$. Demak, radiusga teng o'q masofasida maydon markaziy qiymatning taxminan 35.4 foizini tashkil qiladi.

5. Solenoid magnit maydoni

Solenoid - umumiy o'q bo'ylab zich joylashtirilgan ko'p sonli aylana o'ramlardan iborat g'altak. Har bir o'ram o'z magnit maydonini hosil qiladi va umumiy maydon superpozitsiya prinsipiga ko'ra yig'iladi. Solenoid uzunligi radiusidan ancha katta bo'lsa, markaziy ichki sohada maydon deyarli bir jinsli.

$$n = N/L$$

$$H \approx nI$$

$$B \approx \mu_0 \mu_r nI$$

Bu yaqinlashuv cheksiz uzun solenoid modeliga mos. Solenoid tashqarisida uzoq bo'lmagan maydonlar mavjud bo'lsa-da, uzun solenoid uchun ular ichki maydonga nisbatan kichik.

Parametr ortsa	H ga ta'siri
Tok I	H proporsional ortadi
O'ramlar soni N , L o'zgarmasa	n ortadi, H ortadi
Uzunlik L , N o'zgarmasa	n kamayadi, H kamayadi

7-misol

$N=600$ o'ram, $L=0.30$ m va $I=1.2$ A bo'lsa $n=2000$ m⁻¹. Uzun solenoid yaqinlashuvida $H=nI=2400$ A/m, vakuumda $B\approx 3.02$ mT.

6. Chekli solenoid o'qi bo'ylab maydon

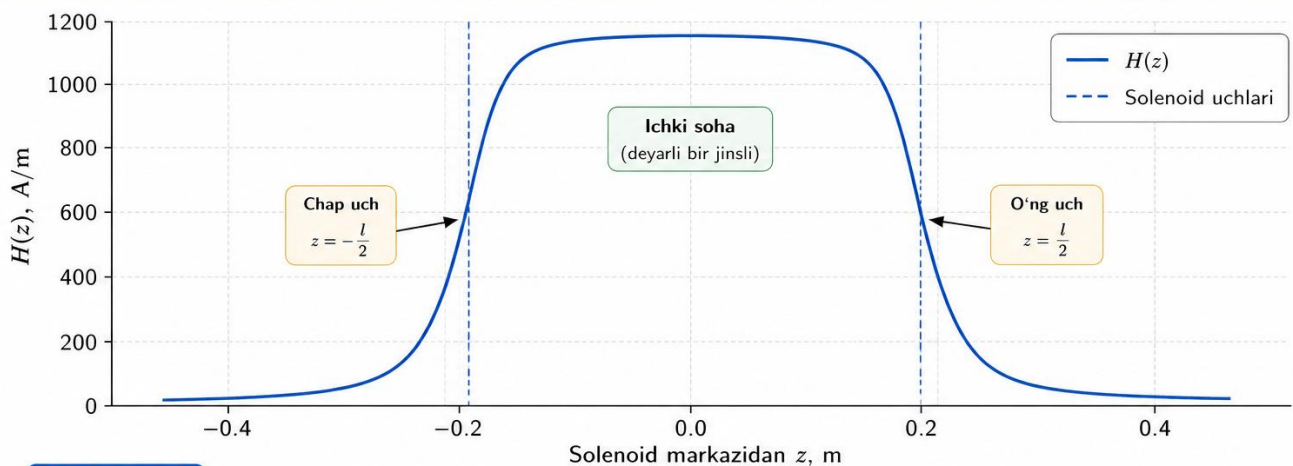
Chekli solenoidda chekka effektlari muhim. Radiusi R , uzunligi L , birlik uzunlikdagi o'ramlar soni n bo'lgan solenoid markazi koordinata boshida joylashsin. O'qdagi z nuqtada maydon kuchlanganligi:

$$H(z) = \frac{nI}{2} \left[\frac{(z+L/2)/\sqrt{R^2+(z+L/2)^2}}{1} - \frac{(z-L/2)/\sqrt{R^2+(z-L/2)^2}}{1} \right]$$

Ushbu formula solenoidni ketma-ket joylashgan elementar aylana toklar yig'indisi sifatida integrallashdan olinadi. Markazda $z=0$:

$$H(0) = nI L / [2\sqrt{R^2+(L/2)^2}]$$

Agar $L \gg R$ bo'lsa, maxraj taxminan $L/2$ ga teng bo'lib, $H(0) \approx nI$ hosil bo'ladi.

Chekli solenoid o'qi bo'ylab magnit maydon kuchlanganligi $H(z)$ **Nazariy formula**

$$H(z) = \frac{NI}{2l} \left(\frac{z + \frac{l}{2}}{\sqrt{R^2 + (z + \frac{l}{2})^2}} - \frac{z - \frac{l}{2}}{\sqrt{R^2 + (z - \frac{l}{2})^2}} \right)$$

Bu yerda:

N – chulg'am o'ramlar soni
 I – tok kuchi (A)
 l – solenoid uzunligi (m)
 R – solenoid radiusi (m)
 z – solenoid markazidan o'q bo'ylab masofa (m)
 $H(z)$ – magnit maydon kuchlanganligi (A/m)

Parametrlar

N – o'ramlar soni
 I – tok kuchi (A)
 l – solenoid uzunligi (m)
 R – solenoid radiusi (m)

Ichki sohada ($|z| \leq \frac{l}{2}$)

$$H \approx nI = \frac{NI}{l}$$

bu yerda $n = \frac{N}{l}$ – o'ramlar zichligi (1/m)

Xususiyatlar

- Solenoid o'qi bo'ylab $H(z)$ simmetrik: $H(-z) = H(z)$.
- Ichki sohada ($|z| \leq \frac{l}{2}$) magnit maydon deyarli bir jinsli va maksimal.
- Uchlar yaqinida $H(z)$ tez kamayadi.
- $|z| \gg l/2$ bo'lganda $H(z) \rightarrow 0$.



Xulosa: Chekli solenoid ichki sohasida magnit maydon kuchlanganligi deyarli bir jinsli bo'lib, $H \approx nI$ ga teng. Solenoid uchlariga yaqinlashganda magnit maydon kuchlanganligi pasayadi.

5-rasm. Chekli solenoid o'qi bo'ylab $H(z)$: markazda maksimumga yaqin plato va chetlarda pasayish

Grafikdan ko'rinadiki, uzun solenoidning markaziy qismida H deyarli o'zgarmaydi; chetga yaqinlashganda esa tez kamayadi. Tashqarida maydon nol emas, biroq masofa ortishi bilan keskin susayadi.

7. Solenoid markazi va chetidagi maydonni taqqoslash

Juda uzun solenoid uchun markaziy ichki sohada $H \approx nI$. Solenoidning ochiq uchiga yaqin, uzunlik radiusga nisbatan katta bo'lgan ideal holatda maydon taxminan markaziy qiymatning yarmiga yaqin:

$$H_{\text{chekka}} \approx nI/2$$

Bu natija chekli solenoid formulasidan $z=L/2$ nuqtada, qarama-qarshi uch juda uzoqda deb qaralganda olinadi. Shu sababli solenoid maydonining bir jinsliliigi faqat markaziy sohada yaxshi bajariladi.

8-misol

$n=1500 \text{ m}^{-1}$ va $I=2 \text{ A}$ bo'lgan uzun solenoid markazida $H \approx 3000 \text{ A/m}$. Ideal chekka yaqinlashuvida $H_{\text{chekka}} \approx 1500 \text{ A/m}$.

O'q sohasi	H ning xatti-harakati	Fizik sabab
Markaziy ichki qism	$\approx nI$, deyarli doimiy	Ko'p o'ramlar hissasi simmetrik qo'shiladi
Chet qism	Tez pasayadi	O'ramlar hissasining simmetriyasi buziladi
Tashqi soha	Kichik, masofa bilan kamayadi	Qarama-qarshi tomonlardan maydonlar qisman kompensatsiyalanadi

Kompleks tahlil

$R=0.05 \text{ m}$, $L=0.30 \text{ m}$, $n=1000 \text{ m}^{-1}$ va $I=1.2 \text{ A}$ uchun markaziy aniq formula $H(0) \approx 1138 \text{ A/m}$ beradi, cheksiz solenoid yaqinlashuvi esa $nI=1200 \text{ A/m}$. Farq taxminan 5 foiz bo'lib, $L/R=6$ nisbatda uzun solenoid modeli markazda yaxshi yaqinlashuv ekanini ko'rsatadi.

8. Dars o'tish algoritmi va metodik tahlil

Bosqich	Mazmun
1	To'g'ri sim atrofidagi kompas yoki temir kukuni tajribasi bilan magnit maydonni faollashtirish.
2	Amper teoremasidan $H=I/(2\pi r)$ ni bosqichma-bosqich chiqarish.
3	$H(r)$ grafigida $1/r$ bog'lanishni tahlil qilish.
4	Bio-Savar-Laplas orqali aylana markazidagi $H=I/(2R)$ natijasini tushuntirish.
5	Aylanma tok o'qi bo'ylab $H(z)$ formulasini simmetriya bilan asoslash.
6	Solenoidni ko'p aylana toklar superpozitsiyasi sifatida modellashtirish.
7	Chekli solenoid $H(z)$ grafigida markaz, chekka va tashqi sohani taqqoslash.

8	Hisoblash misollari orqali formulalarning qo'llanish chegaralarini mustahkamlash.
---	---

Muammoli savollar

Nima uchun to'g'ri tok maydoni $1/r$ qonun bo'yicha kamayadi? Aylanma tok o'qi bo'ylab nega faqat o'qiy komponent qoladi? Nima uchun aylanma tok uzoq sohada $1/z^3$ ga yaqin kamayadi? Solenoid ichida maydon nima sababdan deyarli bir jinsli? Solenoid chetida maydon nima uchun markazdagidan kichik? H va B ni hisoblashda muhitning roli qanday farqlanadi?

Ko'p uchraydigan xatolar

H va B formulalarini aralashtirish; $H=I/(2\pi r)$ formulasini chekli simga shartsiz qo'llash; aylana tok markazi formulasi $H=I/(2R)$ ni o'qning barcha nuqtalariga tatbiq etish; solenoid uchun $n=N/L$ o'rniga N ni bevosita qo'yish; santimetrni metr ga o'tkazmaslik; solenoidning chekka effektlarini inkor qilish.

9. Asosiy formulalar, mustaqil topshiriqlar va xulosa

Formula	Mazmuni
$H=I/(2\pi r)$	Cheksiz uzun to'g'ri tok
$H=I(\sin\alpha_1+\sin\alpha_2)/(4\pi a)$	Chekli to'g'ri sim
$H_0=I/(2R)$	Aylana tok markazi
$H_0=NI/(2R)$	N o'ramli aylana g'altak
$H(z)=IR^2/[2(R^2+z^2)^{3/2}]$	Aylana tok o'qi
$n=N/L$	Solenoid o'ramlar zichligi
$H\approx nI$	Uzun solenoid ichki sohasi
$H(z)=(nI/2)[\dots]$	Chekli solenoid o'qi
$B=\mu_0\mu_r H$	Magnit induksiya va kuchlanganlik bog'lanishi

Mustaqil topshiriqlar

1. $I=10$ A tokli to'g'ri simdan 5 cm va 15 cm masofalarda H ni topib, nisbatini aniqlang.
2. $R=6$ cm aylana tokdan $I=4$ A o'tsa markazdagi H va vakuumdagi B ni hisoblang.
3. $R=10$ cm aylana tok uchun $z=R$ va $z=2R$ nuqtalardagi H/H_0 nisbatlarini toping.
4. $N=1000$, $L=0.5$ m va $I=0.8$ A solenoid uchun n , H va vakuumdagi B ni hisoblang.
5. Uzun solenoid markazidagi va ideal chetidagi H qiymatlarini qiyoslang.
6. Chekli solenoid formulasidan $L\gg R$ shartida $H(0)\approx nI$ ekanini matematik ko'rsating.

Yakuniy xulosa

Tok konfiguratsiyasi magnit maydonning fazoviy taqsimotini belgilaydi. Cheksiz uzun to'g'ri tok uchun magnit maydon kuchlanganligi $H=I/(2\pi r)$ bo'lib, masofaga teskari proporsional kamayadi. Aylanma tok markazida $H=I/(2R)$, uning o'qi bo'ylab esa $H(z)=IR^2/[2(R^2+z^2)^{3/2}]$ qonuniyat bajariladi. Solenoid ko'p aylana toklarning superpozitsiyasi sifatida qaraladi; uzun solenoid markaziy qismida $H\approx nI$ bo'lib, maydon deyarli bir jinslidir. Chekli solenoidda esa $H(z)$ markazda maksimumga yaqin, chetlarda pasayuvchi va tashqi sohada tez susayuvchi taqsimotga ega. Ushbu formulalar

elektromagnit g'altaklar, induktiv elementlar, laboratoriya magnit maydon manbalari va elektr mashinalarini tahlil qilishning nazariy asosini 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.