

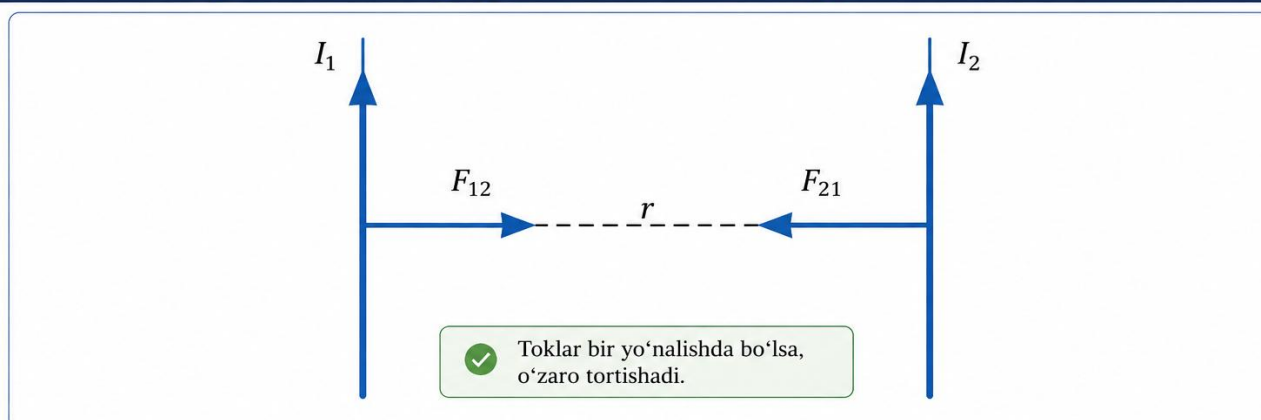
PARALLEL TOKLAR MAGNIT MAYDONI. TOKLARNING O'ZARO TA'SIRI, AMPER BIRLIGI, MAGNIT OQIMI VA LORENS KUCHI

Parallel toklarning o'zaro magnit ta'siri elektromagnetizmning fundamental hodisalaridan biridir. Har bir tokli o'tkazgich atrofida magnit maydon hosil bo'ladi va bu maydon ikkinchi tokli o'tkazgichga kuch bilan ta'sir qiladi. Shu hodisa tok kuchining tarixiy amper ta'rifi bilan chambarchas bog'langan. Magnit maydonning sirt orqali o'tishini magnit oqimi tavsiflaydi, harakatlanayotgan alohida zaryadga esa Lorens kuchining magnit tashkil etuvchisi ta'sir qiladi.

Darsning maqsadi

Parallel toklarning o'zaro magnit ta'sirini fizik va matematik jihatdan tushuntirish; tok kuchining SI birligi amperning zamonaviy va tarixiy mazmunini izohlash; magnit oqimi tushunchasi va uning integral ifodasini kiritish; magnit maydonida harakatlanuvchi zaryadlangan zarrachaga ta'sir etuvchi Lorens kuchi va zarracha trayektoriyasini misollar asosida tahlil qilish.

Bir yo'nalishdagi parallel toklarning o'zaro tortishishi



Kuch moduli (bir birlik uzunlikka):

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

Bu yerda:

I_1, I_2 – toklar (A)

r – o'tkazgichlar orasidagi masofa (m)

l – o'zaro ta'sir qilayotgan uzunlik (m)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ – magnit doimiysi

Xususiyatlar:

- I_1 va I_2 bir yo'nalishda bo'lsa – tortishish kuchi hosil bo'ladi.
- I_1 va I_2 qarama-qarshi yo'nalishda bo'lsa – itarishish kuchi hosil bo'ladi.
- Kuch toklar kuchi va ular orasidagi masofaga bog'liq: r ortishi bilan kuch kamayadi.

Amaliy ma'lumot:

Parallel toklar orasidagi tortishish kuchi elektr mashinalari, relelar, elektr dinamikalar va o'lchov asboblarning ishlash prinsipi asosida qo'llaniladi.



Eslatma: Toklar yo'nalishi bir xil bo'lsa — tortishish, qarama-qarshi bo'lsa — itarishish sodir bo'ladi.

1-rasm. Bir yo'nalishdagi parallel toklarning o'zaro tortishishi

Kattalik	Belgi	SI birligi
Tok kuchi	I	A
Magnit induksiya	B	T
Magnit oqimi	Φ	Wb
Lorens kuchi	F	N
Magnit doimiysi	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

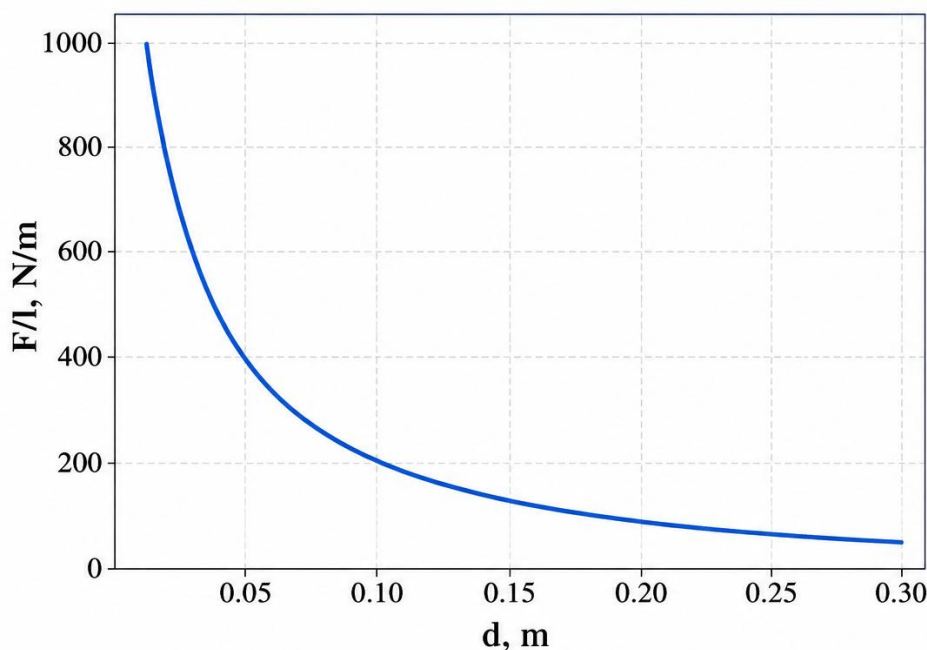
1. Parallel toklarning o'zaro magnit ta'siri

I_1 tokli birinchi uzun to'g'ri o'tkazgich ikkinchi o'tkazgich joylashgan nuqtada $B_1 = \mu_0 I_1 / (2\pi d)$ magnit maydon hosil qiladi. Ushbu maydon I_2 tokli, l uzunlikdagi ikkinchi o'tkazgichga $F = B_1 I_2 l$ kuch bilan ta'sir qiladi. Parallel simlarda B vektori o'tkazgichga perpendikulyar bo'lganligi sababli $\sin 90^\circ = 1$.

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

Toklar bir xil yo'nalishda bo'lsa, kuchlar o'tkazgichlarni bir-biriga tortadi; toklar qarama-qarshi yo'nalishda bo'lsa, ular itarishadi. Kuch toklarning ko'paytmasiga to'g'ri, masofaga esa teskari proporsional.

Parallel toklar kuchining masofaga bog'liqligi ($I_1 = I_2 = 10 \text{ A}$)



Formula:

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

Bu yerda:

F – toklar orasidagi kuch (N)

l – toklarning uzunligi (m)

I_1, I_2 – toklar (A)

d – toklar orasidagi masofa (m)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ – magnit doimiysi

Xususiyatlar:

- ✓ Toklar bir yo'nalishda: tortishish.
- ✓ Kuch masofa oshishi bilan kamayadi.
- ✓ Bog'lanish: $\frac{F}{l} \propto \frac{1}{d}$

Berilganlar:

$I_1 = I_2 = 10 \text{ A}$

Grafikda F/l ning d ga bog'liqligi ko'rsatilgan.



Xulosa: Parallel va bir yo'nalishdagi toklar o'zaro tortishadi. Kuch ularning orasidagi masofa oshishi bilan teskari proporsional ravishda kamayadi.

2-rasm. Parallel toklar orasidagi birlik uzunlikka kuchning d masofaga bog'liqligi

1-misol

$I_1 = 6 \text{ A}$, $I_2 = 10 \text{ A}$, $d = 0.15 \text{ m}$ bo'lsa, $F/l = \mu_0 I_1 I_2 / (2\pi d) = 8.0 \times 10^{-5} \text{ N/m}$. Toklar bir xil yo'nalishda bo'lsa, bu tortishish kuchidir.

2-misol

Faol uzunlik $l = 0.40 \text{ m}$ bo'lsa, $F = (F/l)l = 3.2 \times 10^{-5} \text{ N}$. Masofa ikki marta oshirilsa, kuch ikki marta kamayadi.

2. Tok kuchining birligi — amper

Tok kuchi o'tkazgich kesimidan birlik vaqt ichida o'tadigan elektr zaryad bilan aniqlanadi:

$$I = dq/dt$$

1 amper tok o'tkazgich kesimidan 1 sekundda 1 kulon zaryad o'tishiga mos: $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$. Hozirgi SI tizimida amper elementar zaryad e ning aniq belgilangan qiymati orqali realizatsiya qilinadi: $e = 1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$ aniq qiymatga ega.

Tarixan amper ikki cheksiz uzun, juda ingichka parallel o'tkazgich orasidagi magnit kuch orqali ta'riflangan. Vakuumda 1 m masofada joylashgan va har biridan 1 A tok o'tayotgan ikki parallel sim orasida eski idealizatsiyalangan formula bo'yicha birlik uzunlikka $2 \times 10^{-7} \text{ N/m}$ kuch hosil bo'ladi.

$$F/l = 2 \times 10^{-7} \text{ N/m} \quad (I_1 = I_2 = 1 \text{ A}, d = 1 \text{ m})$$

2019-yildan boshlab SI asosiy birliklari fundamental konstantalar orqali qayta ta'riflangan; shu sababli magnit kuchga asoslangan ta'rif tarixiy-metodik ahamiyatga ega.

3-misol

$I = 2.5 \text{ A}$ tok 4 s davom etsa, o'tgan zaryad $q = It = 10 \text{ C}$. Bu taxminan $N = q/e \approx 6.24 \times 10^{19}$ ta elementar zaryad miqdoriga teng.

Ifoda	Mazmun
$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$	Tokning zaryad oqimi bo'yicha ta'rifi
$e = 1.602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$	Elementar zaryadning SI dagi aniq qiymati
$2 \times 10^{-7} \text{ N/m}$	1 A, 1 A va 1 m uchun tarixiy parallel-sim natijasi

3. Magnit oqimi tushunchasi

Magnit maydonning berilgan sirt orqali o'tish darajasi magnit oqimi bilan tavsiflanadi. Elementar dS sirt uchun normal vektor dS yo'nalishi sirtga perpendikulyar olinadi. Umumiy ta'rif:

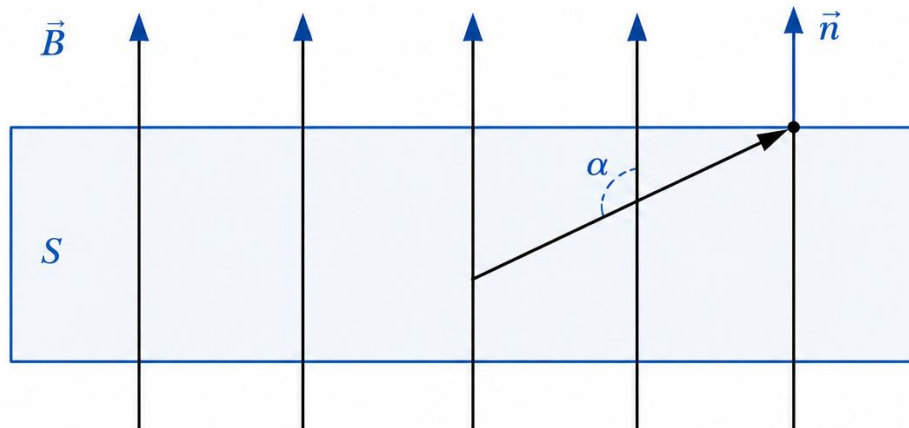
$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Bir jinsli B maydon va tekis S sirt uchun:

$$\Phi = B S \cos \alpha$$

Bu yerda α — B vektori bilan sirt normalining orasidagi burchak. B normal bo'ylab yo'налganida $\alpha = 0$ va oqim maksimal $\Phi = BS$; B sirtga parallel bo'lsa $\alpha = 90^\circ$ va $\Phi = 0$.

Magnit oqimi: B maydon va sirt normalining o'zaro yo'nalishi



Belgilar:

- $\vec{B}$ – magnit induksiya (T)
- S – sirt yuzi (m^2)
- $\vec{n}$ – sirtga tik yo'nalgan birlik normal
- α – $\vec{B}$ bilan $\vec{n}$ orasidagi burchak

Magnit oqim:

$$\Phi = BS \cos \alpha = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

bu yerda $\vec{S} = S\vec{n}$ – sirtning yo'nalgan yuzi

Xususiyatlar:

- Agar $\vec{B}$ sirtga tik bo'lsa ($\alpha = 0^\circ$), $\Phi = BS$ (maksimal).
- Agar $\vec{B}$ sirtga parallel bo'lsa ($\alpha = 90^\circ$), $\Phi = 0$ (oqim nol).
- Φ ning ishorasi $\vec{n}$ ning yo'nalishiga bog'liq.



Xulosa: Magnit oqim Φ sirt orqali o'tuvchi magnit induksiya maydonining sirtga perpendikulyar tarkibi bilan proporsional.

3-rasm. Magnit oqimida B vektori, sirt va normal yo'nalishi

Magnit oqimining SI birligi veber: $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot m^2$.

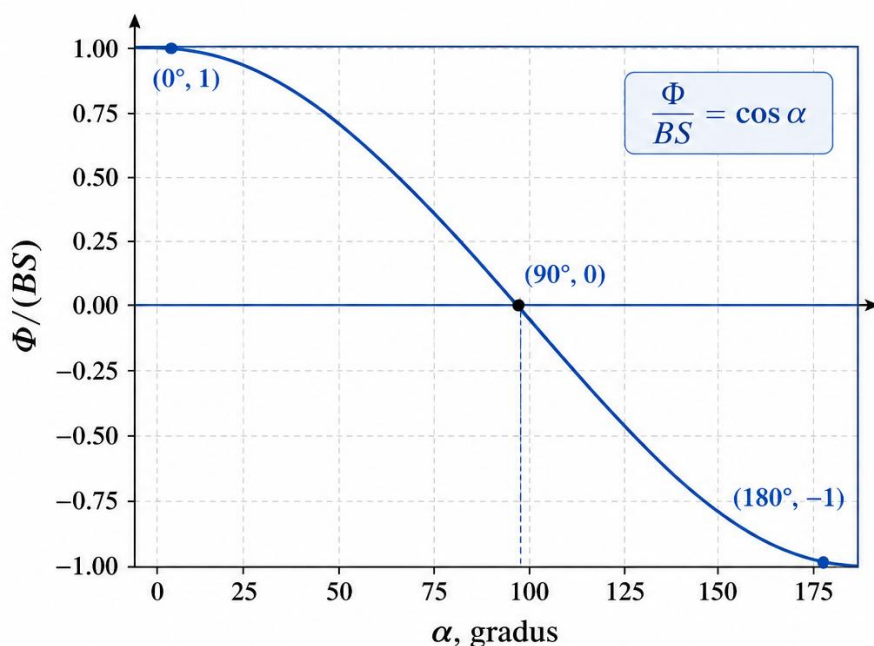
4-misol

$B=0.20 \text{ T}$ bir jinsli maydon $S=0.030 \text{ m}^2$ yuzali sirt normaliga 60° burchak ostida yo'nalgan bo'lsa, $\Phi=BS \cos 60^\circ=0.003 \text{ Wb}=3 \text{ mWb}$.

4. Magnit oqimining burchakka bog'liqligi

$\Phi=BS \cos \alpha$ bog'lanish magnit oqimining yo'nalishga sezgir kattalik ekanini ko'rsatadi. Sirt normalini 0° dan 180° gacha aylantirganda oqim musbat maksimumdan nol orqali manfiy maksimumga o'tadi. Manfiy ishora maydonning tanlangan normalga qarama-qarshi yo'nalishda o'tishini bildiradi.

Bir jinsli maydonda magnit oqimining burchakka bog'liqligi



Magnit oqim formulasi

$$\Phi = BS \cos \alpha = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

Belgilar

- Φ – magnit oqim (Wb)
- B – magnit induksiya (T)
- S – sirt yuzi (m^2)
- α – $\vec{B}$ bilan $\vec{n}$ orasidagi burchak (gradus)

Xususiyatlar

- $\alpha = 0^\circ \Rightarrow \Phi = BS$ (maksimal)
- $\alpha = 90^\circ \Rightarrow \Phi = 0$ (oqim nol)
- $\alpha = 180^\circ \Rightarrow \Phi = -BS$ (minimal)
- $\Phi/(BS) = \cos \alpha$ – kosinus qonuni

Misol

Agar $B = 0.5$ T, $S = 0.02$ m^2 bo'lsa,
 $\alpha = 60^\circ$ da: $\Phi = BS \cos 60^\circ = 0.5 \cdot 0.02 \cdot 0.5$
 $\Phi = 5.0 \times 10^{-3}$ Wb



Xulosa: Bir jinsli magnit maydonda yuzaga o'tayotgan magnit oqim Φ sirt normalining $\vec{B}$ maydon yo'nalishiga nisbatan burchagi α ning kosinusiga bog'liq.

4-rasm. Magnit oqimining α burchakka kosinusoidal bog'liqligi

α	$\cos \alpha$	Φ
0°	1	$+BS$, maksimum
60°	0.5	$+0.5BS$
90°	0	0
120°	-0.5	$-0.5BS$
180°	-1	$-BS$

5-misol

$B=0.50$ T, $S=20$ $cm^2=2.0 \times 10^{-3}$ m^2 . $\alpha=0^\circ$ da $\Phi=1.0 \times 10^{-3}$ Wb; $\alpha=90^\circ$ da $\Phi=0$; $\alpha=180^\circ$ da $\Phi=-1.0 \times 10^{-3}$ Wb.

Yopiq sirt orqali umumiy magnit oqimi klassik elektromagnetizm da nolga teng:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Bu Gaussning magnit maydon uchun qonuni bo'lib, magnit induksiya chiziqlarining yopiq ekanini ifodalaydi.

5. Magnit maydonida harakatlanuvchi zaryadga ta'sir etuvchi kuch

Elektr va magnit maydonlar mavjud bo'lganda q zaryadga umumiy Lorens kuchi ta'sir qiladi:

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Faqat magnit maydon mavjud bo'lsa:

$$\vec{F}_m = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

$$|\vec{F}_m| = |q|vB \sin \alpha$$

Magnit kuch tezlikka doimo perpendikulyar bo'lganligi sababli ideal magnit maydon zarrachaning kinetik energiyasini o'zgartirmaydi; u tezlik vektorining yo'nalishini o'zgartiradi.

Musbat zaryad uchun kuch yo'nalishi $\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ bo'yicha, manfiy zaryad uchun esa qarama-qarshi yo'naladi.

6-misol

Proton $v=2 \times 10^6$ m/s tezlik bilan $B=0.30$ T maydonga 90° burchak ostida kirsa, $F=e v B \approx 9.61 \times 10^{-14}$ N.

7-misol

Agar shu tezlik B bilan 30° burchak hosil qilsa, kuch ikki marta kichik: $F=e v B \sin 30^\circ \approx 4.81 \times 10^{-14}$ N.

6. $v \perp B$ holat: aylana bo'ylab harakat

Zarracha tezligi magnit maydonga perpendikulyar bo'lsa, Lorens kuchi markazga intilma kuch vazifasini bajaradi. Shuning uchun zarracha aylana bo'ylab harakatlanadi.

$$|q|vB = mv^2/r$$

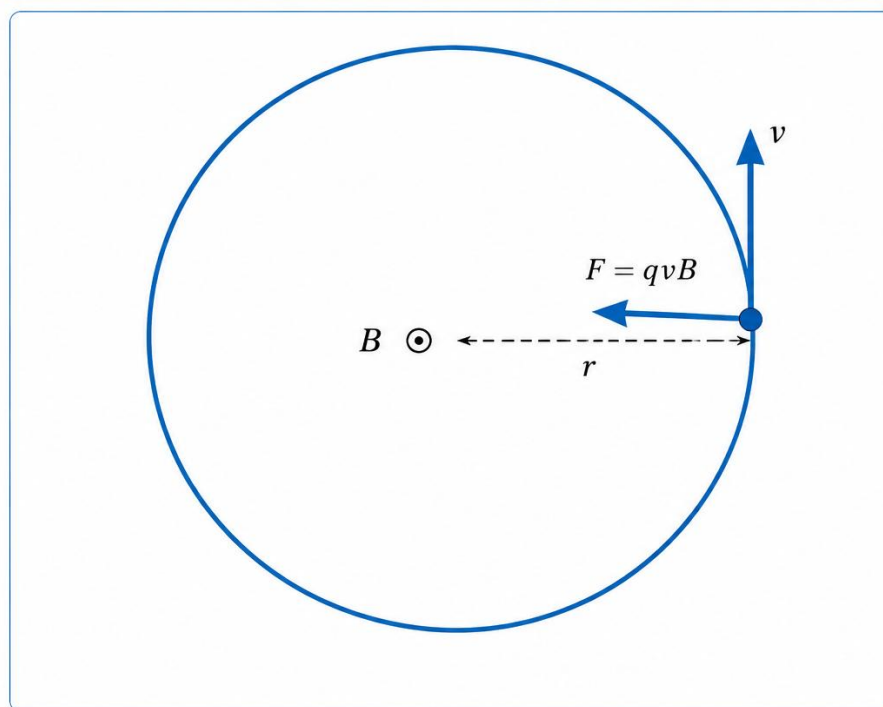
$$r = mv/(|q|B)$$

Aylanish burchak chastotasi va davri:

$$\omega_c = |q|B/m$$

$$T = 2\pi m/(|q|B)$$

$v \perp B$ bo'lganda zaryadlangan zarrachaning aylana bo'ylab harakati



Kuch:

$$F = qvB$$

Bu kuch doimiy ravishda markazga yo'nalgan markazga intilma kuch vazifasini bajaradi.

Shart:

$v \perp B$
(tezlik magnit maydoniga tik)
 $\Rightarrow$
zarracha aylana bo'ylab harakat qiladi.

Asosiy formulalar:

$$F = \frac{mv^2}{r} = qvB$$
$$r = \frac{mv}{qB}, \quad T = \frac{2\pi m}{qB}$$

Belgilar:

q – zarracha zaryadi (C)
 v – tezlik (m/s)
 B – magnit induksiya (T)
 r – aylana radiusi (m)
 T – aylanish davri (s)
 m – zarrachaning massasi (kg)



Xulosa: Agar zarraning tezligi magnit maydoniga tik bo'lsa, Lorens kuchi markazga intilma kuch bo'lib, zarrani aylana trayektoriya bo'ylab harakatlantiradi.

5-rasm. Bir jinsli magnit maydonda $v \perp B$ bo'lgan zaryadning aylana trayektoriyasi

Radius tezlikka proporsional, B ga teskari proporsional. Davr esa norelyativistik holatda tezlikka bog'liq emas.

8-misol

Elektron $v=3 \times 10^6$ m/s tezlik bilan $B=0.020$ T maydonga perpendikulyar kirs, $r=m_e v/(eB) \approx 8.53 \times 10^{-4}$ m = 0.853 mm. Aylanish davri $T=2\pi m_e/(eB) \approx 1.79$ ns.

7. v ning B ga parallel komponenti: spiral trayektoriya

Agar v tezlik B bilan ixtiyoriy α burchak hosil qilsa, tezlikni $v_{\text{parallel}} = v \cos \alpha$ va $v_{\text{perp}} = v \sin \alpha$ komponentlarga ajratish mumkin. Parallel komponent magnit kuch hosil qilmaydi va o'zgarmas qoladi; perpendikulyar komponent aylana harakatni yuzaga keltiradi. Natijada zarracha magnit induksiya chiziqlari bo'ylab vint-simon yoki spiral trayektoriya bilan harakat qiladi.

$$r = m v_{\text{perp}}/(|q|B)$$

$$h = v_{\text{parallel}} T = 2\pi m v_{\text{parallel}}/(|q|B)$$

Bu yerda h — spiral qadami. Zaryad ishorasi aylanish yo'nalishini, massa va zaryad moduli esa radius hamda siklotron chastotasini belgilaydi.

v va B holati	Trayektoriya
$v \parallel B$	To'g'ri chiziq, $F=0$
$v \perp B$	Aylana
$0 < \alpha < 90^\circ$	Spiral
$v=0$	Magnit kuch yo'q

Magnit maydonda zaryadlangan zarrachalarning bunday harakati mass-spektrometrlar, siklotronlar, plazma fizikasi va kosmik zarralar dinamikasida muhim ahamiyatga ega.

8. Dars o'tish algoritmi va metodik tahlil

Bosqich	Darsdagi faoliyat
1	Ikki parallel sim tajribasi orqali toklarning tortishish/itarish hodisasini muammoli vaziyat sifatida qo'yish.
2	$B = \mu_0 I / (2\pi d)$ va $F = BIl$ dan F/l formulasini bosqichma-bosqich chiqarish.
3	Amper birligini $I = dq/dt$ orqali tushuntirib, tarixiy parallel-sim ta'rifi bilan bog'lash.
4	Magnit oqimini $\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$ va $\Phi = BS \cos \alpha$ orqali geometrik talqin qilish.
5	$\Phi(\alpha)$ grafigida musbat, nol va manfiy oqim holatlarini tahlil qilish.
6	Lorens kuchini vektor ko'paytma va o'ng qo'l qoidasi orqali tushuntirish.
7	$v \perp B$ holatda $r = mv / (q B)$ ni markazga intilma kuchdan chiqarish.
8	Aylana va spiral harakatni amaliy qurilmalar bilan bog'lash.

Muammoli savollar

Nima uchun bir xil yo'nalishdagi toklar tortishadi? Parallel simlar orasidagi kuch nima sababdan $1/d$ ga bog'liq? Magnit oqimi qachon nol bo'ladi? Nima uchun yopiq sirt orqali umumiy magnit oqimi nol? Magnit kuch nega zarrachaning tezligini emas, asosan yo'nalishini o'zgartiradi? Elektron va proton bir xil v va B sharoitida nega qarama-qarshi tomonga egiladi?

Ko'p uchraydigan xatolar

Magnit oqimidagi α burchakni B bilan sirtning o'zi orasidagi burchak deb olish; Wb va T birliklarini aralashtirish; Lorens kuchida $\sin \alpha$ ni unutish; manfiy zaryad uchun kuch yo'nalishini o'zgartirmaslik; $r = mv / (qB)$ formulasida q ning modulini hisobga olmaslik; magnit kuch ish bajaradi deb noto'g'ri xulosa qilish.

9. Asosiy formulalar, mustaqil topshiriqlar va xulosa

Formula	Fizik mazmun
$F/l = \mu_0 I_1 I_2 / (2\pi d)$	Parallel toklarning o'zaro kuchi
$I = dq/dt$	Tok kuchi
$\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$	Magnit oqimining umumiy ta'rifi
$\Phi = BS \cos \alpha$	Bir jinsli maydon va tekis sirt
$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	Magnit maydon uchun Gauss qonuni
$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$	Umumiy Lorens kuchi
$F_m = q vB \sin \alpha$	Magnit kuch moduli
$r = mv/(q B)$	Perpendikulyar harakat radiusi
$T = 2\pi m/(q B)$	Siklotron davri

Mustaqil topshiriqlar

1. $I_1 = 12$ A va $I_2 = 5$ A tokli parallel simlar 20 cm masofada. F/l ni toping.
2. 3 A tok 10 s davomida o'tsa, kesimdan o'tgan zaryad va elektronlar sonini hisoblang.
3. $B = 0.4$ T, $S = 50$ cm² va $\alpha = 45^\circ$ uchun magnit oqimini toping.
4. Elektron $B = 0.05$ T maydonga $v = 4 \times 10^6$ m/s tezlik bilan perpendikulyar kirsam, Lorens kuchini va radiusni toping.
5. Protonning v va B orasidagi burchak 60° bo'lsa, kuchning maksimal qiymatga nisbatini aniqlang.
6. Nima uchun magnit maydonning o'zi zaryadlangan zarrachaning kinetik energiyasini o'zgartirmasligini matematik izohlang.

Yakuniy xulosa

Parallel toklarning o'zaro magnit ta'siri har bir o'tkazgich hosil qilgan magnit maydonning ikkinchi tokka Amper kuchi bilan ta'sir etishi natijasidir. Bir xil yo'nalishdagi toklar tortishadi, qarama-qarshi toklar itarishadi va birlik uzunlikka kuch $\mu_0 I_1 I_2 / (2\pi d)$ bilan aniqlanadi. Tok kuchining SI birligi amper zaryad oqimi $I = dq/dt$ bilan ifodalanadi va zamonaviy SI da elementar zaryadning aniq qiymati bilan bog'langan. Magnit oqimi $\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$ maydonning sirt orqali o'tishini tavsiflaydi. Harakatlanuvchi zaryadga $\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ magnit Lorens kuchi ta'sir etib, u tezlikka perpendikulyar bo'lgani sababli kinetik energiyani o'zgartirmasdan trayektoriyani egadi. $\mathbf{v} \perp \mathbf{B}$ da aylana, ixtiyoriy burchakda esa spiral harakat hosil bo'ladi.

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.