

15-ASIS FIZIKOS TURNYRAS
12-oji užduotis Nr. FT15-12 / 2022 02 21 – 2022 03 20

Laidininkas statmenuose elektriniame, gravitaciniame ir magnetiniame laukuose

Sąlyga / FT15-12 ▼

Tiesus 120 g masės ir 40 cm ilgio laidininkas, kuriuo teka 8 A stiprio elektros srovė, yra padėtas ant nuožulniosios plokštumos statmenai gulsčios krypties magnetiniam laukui, kurio stipris lygus 2 kA/m. Plokštuma sudaro 30° kampą su gulsčia kryptimi, o trinties koeficientas lygus 0,2. Kokia lygiagrečia nuožulniosios plokštumos paviršiui jėga (apskaičiuokite apvalindami iki šimtųjų Niutono dalių) reikia laikyti laidininką, kad jis išliktų rimties būsenoje? Kaip ir kiek pakistų ši jėga, jei magnetinis ir gravitacinis laukai būtų priešingų krypčių?

Gravitacinio lauko stipris $g = 9,8$ N/kg. Magnetinė konstanta $\mu_0 = 1,256$ μ H/m.

Užduotį parengė doc. dr. Stasys Tamošiūnas – Vilniaus universiteto Fizikos fakulteto Fotonikos ir nanotechnologijų instituto senjoras, mokyklos „Fizikos olimpas“ direktorius, steigėjų tarybos narys ir dėstytojas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 02 21.

Aiškinamasis sprendimas / FT15-12 ▼

Duota: $m = 0,12$ kg; $l = 0,4$ m; $I = 8$ A; $H = 2 \cdot 10^3$ A/m; $\alpha = 30^\circ$; $\mu = 0,2$; $g = 9,8$ N/kg; $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6}$ H/m.

Rasti: $F, \Delta F$.

Tegu magnetinio lauko stiprio vektorius \vec{H} yra nukreiptas link nuožulniosios plokštumos, o laidininku elektros srovė teka nuo mūsų į pateikiamo paveikslo plokštumą. Pritaikius kairiosios rankos taisyklę – tai rankai suradus padėtį, kad magnetinio lauko stiprio vektorius būtų nukreiptas statmenai į delną, o keturi pirštai būtų ištiesti elektros srovės kryptimi, tai nykštys žemyn rodytų laidininką veikiančią Ampero jėgą \vec{F}_{A1} , tos pačios krypties, kaip ir sunkio jėga $m\vec{g}$. Laidininką dar veikia plokštumos reakcijos jėga \vec{N} , trinties jėga \vec{F}_{t1} ir jį rimties būsenoje laikanti jėga \vec{F}_1 .

Laidininko pusiausvyros sąlyga pagal pirmąjį Niutono dėsnį:

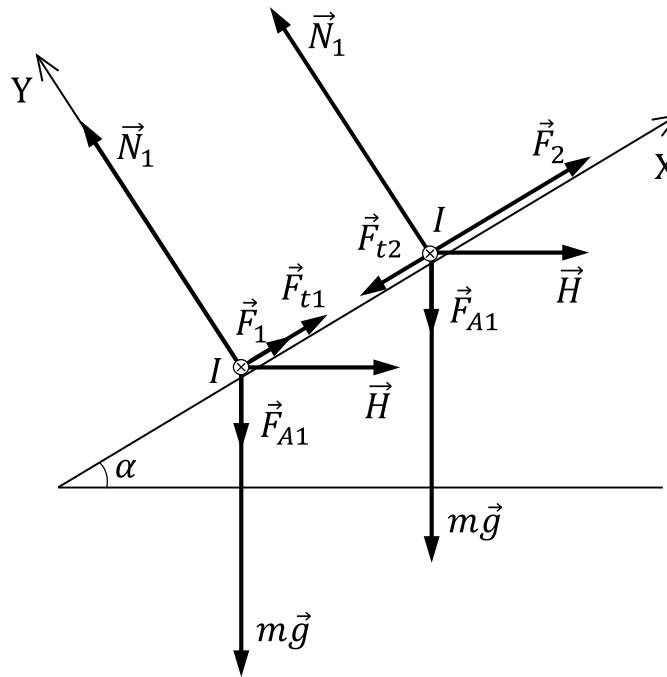
$$m\vec{g} + \vec{F}_{A1} + \vec{N}_1 + \vec{F}_1 + \vec{F}_{t1} = 0.$$

Suprojektavę vektorius į išilgai nuožulnaus paviršiaus nukreiptą ir statmeną jam ašis X ir Y, turime:

$$-mgs\sin\alpha - \mu_0 H I l s\sin\alpha + F_1 + \mu N_1 = 0; \quad -mgc\cos\alpha - \mu_0 H I l c\cos\alpha + N_1 = 0.$$

Randame mažiausią laidininką laikančią jėgą:

$$F_1 = (mg + \mu_0 H I l)(s\sin\alpha - \mu c\cos\alpha);$$



$$F_1 = (0,12 \cdot 9,8 + 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 0,4)(\sin 30^\circ - 0,2 \cos 30^\circ) \approx 0,387 \text{ (N)}.$$

Laidininką laikanti jėga didžiausia, kai trinties jėga yra nukreipta plokštuma žemyn:

$$F_2 = (mg + \mu_0 H I l)(\sin \alpha + \mu \cos \alpha);$$

$$F_2 = (0,12 \cdot 9,8 + 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 0,4)(\sin 30^\circ + 0,2 \cos 30^\circ) \approx 0,797 \text{ (N)}.$$

Taigi, laidininką rimties būsenoje laikanti jėga $0,387 \text{ N} \leq F_{12} \leq 0,797 \text{ N}$. Tą patį rezultatą gautume, jei magnetinio lauko ir elektros srovės stiprio (tuo pačiu ir elektrinio lauko laidininke) kryptys jų abiejų pakistų į priešingas, nei pradžioje buvo pasirinkta.

Pakeitus tik vieno iš jų, tarkim, elektros srovės stiprio, kryptį į mus, rastume to paties dydžio Ampero jėgą \vec{F}_{A2} , nukreiptą prieš laidininko sunkio jėgą $m\vec{g}$, ir gautume kitas, nežymiai mažesnes, laidininką laikančios jėgos ribas:

$$F'_1 = (mg - \mu_0 H I l)(\sin \alpha - \mu \cos \alpha);$$

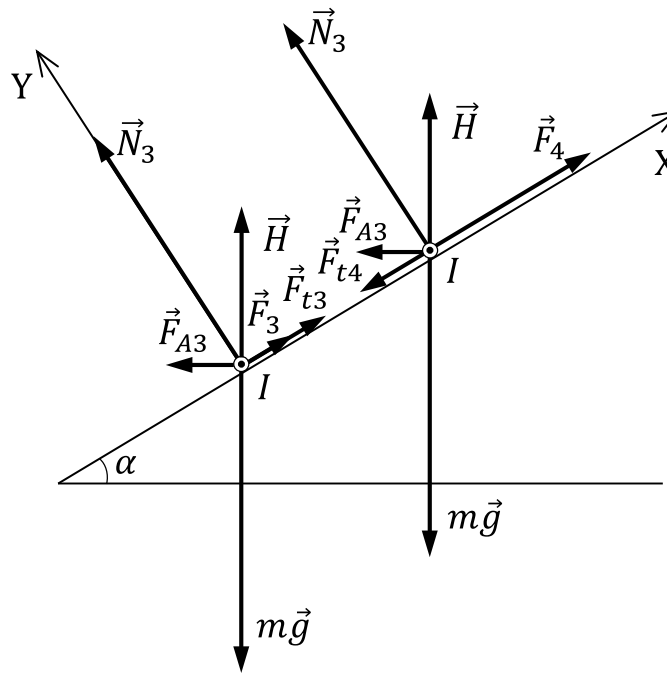
$$F'_1 = (0,12 \cdot 9,8 - 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 0,4)(\sin 30^\circ - 0,2 \cos 30^\circ) \approx 0,382 \text{ (N)}.$$

$$F'_2 = (mg - \mu_0 H I l)(\sin \alpha + \mu \cos \alpha);$$

$$F'_2 = (0,12 \cdot 9,8 - 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 1,1 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 0,4)(\sin 30^\circ + 0,2 \cos 30^\circ) \approx 0,786 \text{ (N)}.$$

Taigi, laikanti jėga ir jos ribos yra mažesnės: $0,382 \text{ N} \leq F'_{12} \leq 0,786 \text{ N}$.

Jei magnetinis laukas būtų priešingos gravitaciniam laukui krypties, tai priklausomai nuo elektrinio lauko laidininke, o tuo pačiu ir elektros srovės stiprio jame krypties, rastume Ampero jėgą, statmeną laidininko sunkio jėgai ir tuo pačiu lygiagrečią nuožulniosios plokštumos pagrindui. Jei elektros srovė laidininku teka į mus, tai Ampero jėga \vec{F}_{A3} yra nukreipta į kairę, o mažiausią laidininką laikančią jėgą \vec{F}_3 rasime iš jo pusiausvyros sąlygos pagal pirmąjį Niutono dėsnį ir visų jėgų vektorių projekcijų į ašis X ir Y:



$$m\vec{g} + \vec{F}_{A3} + \vec{N}_3 + \vec{F}_3 + \vec{F}_{t3} = 0;$$

$$-mgsin\alpha - \mu_0 H l \cos\alpha + F_3 + \mu N_3 = 0; \quad -mg\cos\alpha + \mu_0 H l \sin\alpha + N_3 = 0;$$

$$F_3 = mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) + \mu_0 H l (\cos\alpha + \mu\sin\alpha);$$

$$F_3 = 0,12 \cdot 9,8(\sin 30^\circ - 0,2\cos 30^\circ) + 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 0,4(\cos 30^\circ + 0,2\sin 30^\circ) \approx 0,392 \text{ (N)}.$$

Laidininką laikanti jėga yra didžiausia, kai trinties jėga yra nukreipta plokštuma žemyn:

$$F_4 = mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) + \mu_0 H l (\cos\alpha - \mu\sin\alpha);$$

$$F_4 = 0,12 \cdot 9,8(\sin 30^\circ + 0,2\cos 30^\circ) + 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 1,1 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 0,4(\cos 30^\circ - 0,2\sin 30^\circ) \approx 0,798 \text{ (N)}.$$

Taigi, laidininką laikančios jėgos ribos būtų tokios: $0,392 \text{ N} \leq F_{34} \leq 0,798 \text{ N}$.

Jeigu elektros srovė laidininku tekėtų nuo mūsų į pateikiamo paveikslo plokštumą, tai Ampero jėga \vec{F}_4 būtų nukreipta į dešinę, o visų jėgų vektorių projekcijos į X ir Y ašis būtų tokios:

$$-mgsin\alpha + \mu_0 H l \cos\alpha + F'_3 + \mu N'_3 = 0; \quad -mg\cos\alpha - \mu_0 H l \sin\alpha + N'_3 = 0;$$

$$F'_3 = mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) - \mu_0 H l (\cos\alpha + \mu\sin\alpha);$$

$$F'_3 = 0,12 \cdot 9,8(\sin 30^\circ - 0,2\cos 30^\circ) - 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 0,4(\cos 30^\circ + 0,2\sin 30^\circ) \approx 0,376 \text{ (N)}.$$

Laidininką laikanti rimties būsenoje jėga didžiausia, kai ją vekianti trinties jėga yra nukreipta plokštuma žemyn:

$$F'_4 = mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) - \mu_0 H l (\cos\alpha - \mu\sin\alpha);$$

$$F'_4 = 0,12 \cdot 9,8(\sin 30^\circ + 0,2\cos 30^\circ) - 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 0,4(\cos 30^\circ - 0,2\sin 30^\circ) \approx$$

$$\approx 0,785 \text{ (N)}.$$

Gavome, kad šiuo atveju laidininką laikanti jėga $0,376 \text{ N} \leq F'_{34} \leq 0,785 \text{ N}$.

Gautus rezultatus palyginkime su ribomis tokios jėgos \vec{F}_0 , kuria tektų laikyti laidininką nesant magnetinio lauko:

$$F_{10} = mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha); F_{10} = 0,12 \cdot 9,8(\sin 30^\circ - 0,2\cos 30^\circ) \approx 0,384 \text{ (N)};$$

$$F_{20} = mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha); F_{20} = 0,12 \cdot 9,8(\sin 30^\circ + 0,2\cos 30^\circ) \approx 0,792 \text{ (N)};$$

$$0,384 \text{ N} \leq F_0 \leq 0,792 \text{ N}.$$

Taigi, užduoties sąlygą atitinka keturi galimi magnetinio lauko poveikio laidininkui variantai: rimties būsenoje laidininką laikanti jėga padidėja, kai laukų išsidėstymas yra toks, kad Ampero ir sunkio jėgos yra tos pačios krypties ($F_{12} > F_0$), ji sumažėja, kai tų jėgų kryptys priešingos ($F'_{12} < F_0$), o priešingų krypčių magnetinio ir gravitacinio laukų atveju laidininką laikanti jėga padidėja, kai Ampero jėga lygiagrečiai nuožulniosios plokštumos pagrindui veikia žemyn ($F_{34} > F_0$), ji sumažėja, kai ta jėga veikia lygiagrečiai pagrindui aukštyn ($F'_{34} < F_0$).

Aiškinamąjį sprendimą pateikė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 04 13.

Turnyro dalyvių sprendimų aptarimas / FT15-12 ▼

Dauguma turnyro dalyvių nagrinėjo tik mažiausią laidininką laikančią jėgą, o ne ir jos galimas platesnes ribas, įvertinus rimties trinties jėgą. Aiškinamajame sprendime atsakymai suapvalinti ne iki šimtųjų Niutono dalių, taip paryškinant užduoties sąlygoje pateikto palyginti silpno magnetinio lauko nežymią įtaką, kai laidininką veikianti Ampero jėga yra daug mažesnė už jo sunkį.

Sprendimų aptarimą parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 04 13.

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelė / FT15-12 ▼

Nr.	Sprendimų vertinimo kriterijus	Vertė balais
1.	Laidininką laikanti jėga	6
2.	Jėgos pokytis pakitus magnetinio lauko krypčiai	4
3.	Pateikta ne pagal reikalavimus (nerodomi skaičiavimai)	-1(-1,5)
4.	Vėlavimas pateikti sprendimą (vienai parai)	-2
5.	Kiti netikslumai (kiekvienam iš kriterijų Nr.1-2)	iki (-1)
Didžiausias galimas sprendimų įvertinimas		10

Sprendimų vertinimo kriterijų ir jų verčių lentelę parengė užduoties autorius doc. dr. Stasys Tamošiūnas.

▲ Šis tekstas svetainėje www.olimpas.lt nuolat skelbiamas nuo 2022 04 13.