

**65. ročník Fyzikálnej olympiády
v školskom roku 2023/2024
Celoštátne kolo kategórie A
Nitra 11.–14. 4. 2024**

Text experimentálnej úlohy

Merný elektrický odpor

Cieľ úlohy

Určiť rezistivitu (merný elektrický odpor) materiálu elektricky vodivých nemagnetických kovových rúrok pomocou voľne padajúceho valcového magnetu.

Materiál a pomôcky

Dve hliníkové rúrky (kratšia a dlhšia) a jedna rúrka z iného materiálu, dĺžkové meradlo, posuvné meradlo, stopky, valcový magnet, stojan.

Materiál rúrok je nemagnetický, tzn. relatívna permeabilita $\mu_r \approx 1$.

Úlohy:

Teoretická časť – odvodenie vzťahu pre určenie rezistivity materiálu rúrok.

Základné predpoklady a definície

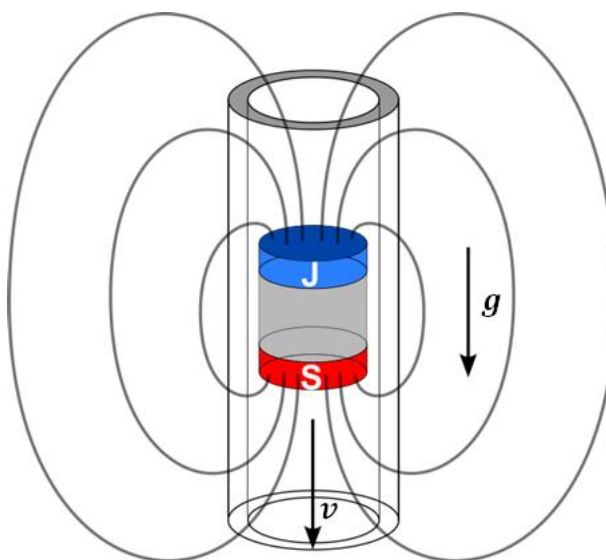
Os rúrky má pri meraní zvislý smer rovnobežný so smerom intenzity gravitačného poľa. Označíme r stredný polomer rúrky, ℓ dĺžku rúrky a $d \ll r$ hrúbku rúrky. Ďalej označíme R polomer, H výšku a m hmotnosť valcového magnetu. Magnet necháme voľne padať vo vnútri rúrky a predpokladáme, že počas pohybu vo vnútri rúrky je os magnetu totožná s osou rúrky a magnet sa rúrky nedotýka, obr. A3–Exp–1.

Magnetické pole obklopujúce magnet pri pohybe vo vodivej rúrke indukuje v rúrke elektromotorické napätie

$$(1) \quad \mathcal{E} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

V dôsledku toho prechádza rúrkou elektrický prúd. Magnet interaguje s týmto prúdom, a tým sa brzdí jeho pád.

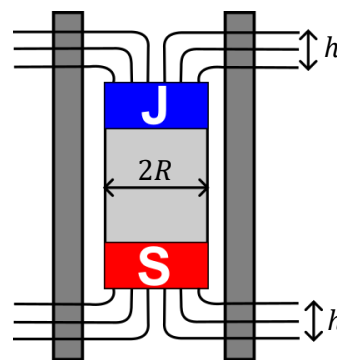
T1 Do obr. A3–Exp–R1 v odpoved'ovom hárku vyznačte šípkami smer indukčných čiar magnetu.



Obr. A3–Exp–1

Magnetické pole magnetu, podobne aj indukovaný prúd, sú komplikované. Použijeme preto určité zjednodušenie, obr. A3–Exp–2:

- Magnetické pole tesne pri povrchu pólov magnetu je homogénne. Celkový magnetický tok pólmi magnetu označíme Φ_0 a magnetický tok plášťom magnetu je nulový.
- Magnetické pole \mathbf{B} magnetu je symetrické okolo osi magnetu.
- Magnetické indukčné čiary prechádzajú stenami trúbky kolmo (zložka magnetickej indukcie rovnobežná s osou rúrky v objeme rúrky je nulová).
- Hustota indukčných čiar na povrchu myslenej valcovej plochy so stredným polomerom r je rovnaká ako na povrchu pólov magnetu (nenulová je iba na valcovej ploche výšky h – rovnako v hornej a dolnej časti magnetu).

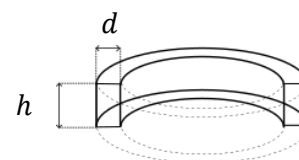


Obr. A3-Exp-2

T2 V obr. E3-Exp-R1 zakreslite indukovaný prúd tam, kde ho považujete za významný a označte smer tohto prúdu. Odpoveď fyzikálne zdôvodnite.

T3 Určte výšku h valcovej plochy na stenách rúrky, na ktorej je „pod magnetom“ („nad magnetom“) nenulové magnetické pole podľa uvedeného zjednodušeného modelu.

Na obr. A3-Exp-3 je nakreslený výrez trubice s výškou h a hrúbkou steny d , ktorý sa nachádza v magnetickom poli padajúceho magnetu. Zmena magnetického toku plochou, ktorá je ohraničená zobrazeným výrezom, indukuje (v celom objeme výrezu) elektromotorické napätie \mathcal{E} podľa vzťahu (1)



Obr. A3-Exp-3

T4 Uvedte vzťah pre veľkosť indukovaného prúdu I , ktorý prechádza výrezom na obr. A3-Exp-3, ak rezistivita materiálu vodiča je ρ a magnet (s magnetickým pólom podľa zjednodušeného modelu) sa pohybuje konštantnou rýchlosťou \mathbf{v} v smere gravitačného poľa.

Na priamy úsek vodiča $\Delta\mathbf{L}$, v ktorom prechádza elektrický prúd I , pôsobí homogénne magnetické pole \mathbf{B} silou

$$(2) \quad \Delta\mathbf{F} = I \Delta\mathbf{L} \times \mathbf{B},$$

kde vektor $\Delta\mathbf{L}$ úseku vodiča udáva smer elektrického prúdu.

T5 Určte silu \mathbf{F} , ktorou pôsobí magnet na výrez podľa obr. A3-Exp-3, a celkovú silu \mathbf{F}_m , ktorá brzdí padajúci magnet.

T6 Určte výslednú ustálenú rýchlosť v_m padajúceho magnetu.

T7 Uvedte vzťah pre rezistivitu ρ materiálu rúrky ako funkciu ustálenej rýchlosti v_m pádu magnetu.

Všetky odvodenia a výsledky zapíšte do vyznačených miest odpoved'ových hárkov.

Experimentálna časť

Pre experiment použite tri rúrky, kratšiu a dlhšiu hliníkovú a jednu z iného kovového materiálu (ďalej len iný kov). V tabuľke odpovedového hárku sú uvedené hodnoty polomeru r a hrúbky d steny rúrok.

E1 Zmerajte hodnoty dĺžok rúrok a doplňte ich do odpovedového hárku.

E2 Zmerajte dobu pádu magnetu v jednotlivých rúrkach, meranie pre každú rúrku opakujte 10×, určte strednú hodnotu a štandardnú odchýlku merania.

Pozn.: Magnet pozostáva z dvoch magnetov oddelených platovou vložkou. Magnet vložte do rúrky tak, aby dolný magnet bol v rúrke, pričom druhý držíte prstami. Potom magnet uvoľnite s nulovou začiatočnou rýchlosťou. Meriate čas od uvoľnenia magnetu do okamihu, keď magnet dopadne na dno stojanu, na ktorom spočíva kovová rúrka, čo je sprevádzané zvukom dopadu na dno stojanu. Výsledky merania zapíšte do tabuľky v odpovedovom hárku.



Rýchlosť pádu magnetu po uvoľnení postupne rastie k ustálenej hodnote v_m na veľmi krátkom úseku dráhy. S dostatočnou presnosťou môžeme predpokladať, že pozdĺž celej dĺžky rúrky je rýchlosť pádu magnetu konštantná a rovná hodnote v_m . Rýchlosť magnetu sa významne mení iba pri hornom a dolnom otvore rúrky. Predpokladajte, že magnet mení svoju rýchlosť len na krátkom vstupnom úseku $\Delta\ell_1$, resp. výstupnom úseku trubky dĺžky $\Delta\ell_2$. Na dráhe $\Delta\ell = \Delta\ell_1 + \Delta\ell_2$ sa magnet pohybuje priemernou rýchlosťou v_p , kým vo zvyšnej časti $\ell - \Delta\ell$ dĺžky rúrky rýchlosťou v_m .

E3 Určte ustálenú rýchlosť pádu magnetu $v_{m\text{exp}}$ v hliníkovej rúrke na základe merania doby t_d pádu v dlhej rúrke dĺžky ℓ_d a doby t_k pádu v krátkej rúrke dĺžky ℓ_k . Rátajte s dĺžkou $\Delta\ell$. Pomocou $v_{m\text{exp}}$ určte rezistivitu hliníka.

V ďalšej časti považujte dĺžku $\Delta\ell$ za zanedbateľne malú v porovnaní s dĺžkou rúrok.

E4 Na základe meraní určených rýchlostí v_{m1} a v_{m2} pre dlhé rúrky z hliníka a u iného kovu určte pomer $\kappa_{\text{exp}} = \rho_{\text{Al}}/\rho_{\text{kov}}$ rezistivity oboch materiálov a výsledok porovnajte s tabuľkovou hodnotou κ_{tab} (bude doplnené pred meraním). Rozdiely diskutujte.

Elektrická vodivosť ovplyvňuje ustálenú rýchlosť pohybu magnetu v rúrke.

E5 Fyzikálne zdôvodnite, prečo sa v rúrke nemôže indukovať tak veľký prúd, aby sa magnet v rúrke zastavil, tzn. prečo magnet rúrkou vždy nakoniec prepadne.

Pri výraznom schladení materiálu rúrky (nie do supravodivého stavu materiálu) sa pád magnetu v rúrke výrazne spomalí. Hovoríme o reálnej situácii, nie o použítom zjednodušenom modeli.

E6 Čo viete povedať o indukovaných prúdoch vo výrazne schladenej rúrke, v porovnaní s prúdmi v neschladenej rúrke? Vašu odpoveď fyzikálne zdôvodnite.

Fyzikálna olympiáda – 65. ročník – teoretické úlohy celoštátneho kola kat. A

Autor návrhu úlohy: Boris Lacsny

Recenzia úloh: Aba Teleki, Ivo Čáp

Redakcia: Ivo Čáp

Úlohu preložil: Aba Teleki

Vydalo: Slovenská komisia fyzikálnej olympiády
Národný inštitút vzdelávania a mládeže, Bratislava 2024