

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

Text experimentálnej úlohy v maďarskom jazyku

Fajlagos elektromos ellenállás

Cél

Határozzák meg a fémcsövek anyagának rezisztivitását (fajlagos elektromos ellenállását) egy szabadon zuhanó hengeres mágnes segítségével!

Segédeszközök

Két alumíniumcső (egy hosszabb és egy rövidebb), egy más anyagból készült fémcső, hosszúságmérő, nóniusz, stopperóra, hengeres mágnes, állvány.

A csövek anyaga nem mágneses, tehát a relatív permeabilitásuk $\mu_r \approx 1$.

Feladatok:

Elméleti rész – a csövek anyagának rezisztivitását megadó képlet levezetése

Alapfogalmak és definíciók

A cső tengelye mérés közben függőleges.

A cső középső sugara r , hossza ℓ , d vastagsága jóval kisebb a középső sugarától ($d \ll r$).

A hengeres mágnes sugara R , magassága H , tömege m .

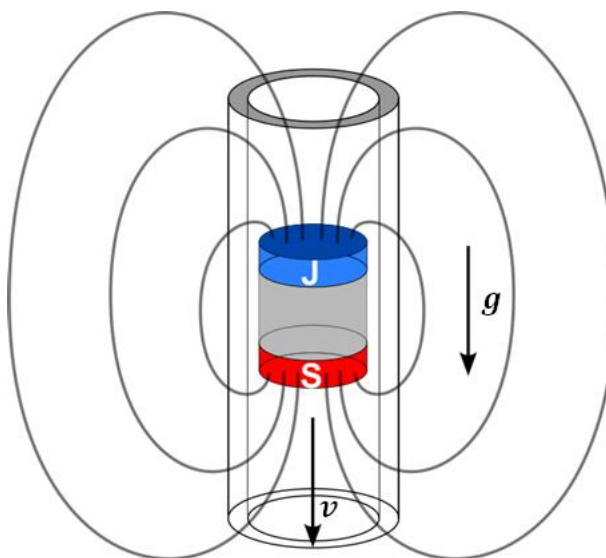
A mágneset hagyjuk szabadon esni a cső belsejében, és feltételezzük, hogy a mágnes forgástengelye azonos a cső forgástengelyével, valamint, hogy a mágnes nem érintkezik a cső falával. A3–Exp–1 – ábra.

A csőben szabadon eső mágnes mágneses tere \mathcal{E} feszültséget (elektromotoros erőt) indukál a csőben, ezt a következő képlet adja meg

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

Az indukált feszültség hatására a csőben

elektromos áram folyik. A mágnes kölcsönhatásba lép ezzel az árammal, ami fékezi a mágnes zuhanását.

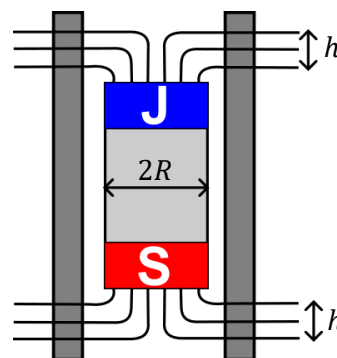


Obr. A3-Exp-1

T1 Jelöljék be a válaszlap A3–Exp–R1 ábrájába (odpoved'ový hárok) a mágneses indukcióvonalak irányát!

A mágnes mágneses tere, és az által indukált áram is komplikáltak. A mérésünkhöz egy leegyszerűsített modellt fogunk használni, lásd az A3–Exp–2 ábrát:

- A mágneses tér a pólusoknál homogén. A pólusokon lévő indukciófluxiust Φ_0 -val jelöljük – a hengermágnes palástján az indukciófluxus mindenütt nulla.
- A mágnes \mathbf{B} mágneses tere forgásszimmetrikus a mágnes forgástengelye körül.
- A mágneses indukcióvonalak a cső falára merőlegesen haladnak át a csövön (a mágneses indukció azon összetevője, amely párhuzamos lenne a cső tengelyével a cső falában mindenütt nulla).
- Az indukcióvonalak sűrűsége az r középső sugarú képzeletbeli hengerpáláston ugyanolyan, mint a mágnes pólusain (nullától csak egy h magasságú hengerválán tér el – egyformán a mágnes alsó és felső részén).

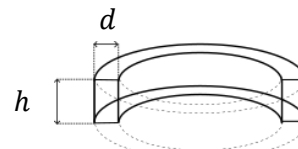


Obr. A3-Exp-2

T2 Rajzolják az E3-Exp-R1 ábrába az indukált áramot oda, ahol jelentősnek tartják, és jelöljék be az indukált áram irányát is! Válaszukat fizikai érvekkel indokolják!

T3 Határozzák meg az említett hengerpálást h magasságát, amelyen a mágneses tér „a mágnes alatt” („mágnes felett”) az leegyszerűsített modellünkben nem nulla.

Az. A3-Exp-3 ábrán a cső h magasságú szeletét látjuk, ahol d a cső falának vastagsága – ebben a részben a mágneses tér nem nulla. A mágneses indukciófluxus változása azon a felületen, amelyet a vékony szelet határol indukálja az \mathcal{E} feszültséget (lásd (1))



Obr. A3-Exp-3

T4 Határozzák meg azt az összefüggést, amely megadja az indukált I áramerősséget az A3-Exp-3 ábrán látható szeletben, ha a cső anyagának rezisztivitása ρ és a mágnes állandó v sebességgel süllyed a csőben a gravitációs tér irányában. A modellünkben leírt mágneses térrel számoljanak.

Egy ΔL josszuságú egyenes vezetőre, amelyben I erősségű áram folyik, a homogén \mathbf{B} indukciójú mágneses tér

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

erővel hat, ahol a $\Delta \mathbf{L}$ vektor iránya a benne folyó elektromos áram irányával azonos.

T5 Határozzák meg az \mathbf{F} erőt, amellyel a mágnes hat az A3-Exp-3 ábrán látható csőszeletre, valamint a mágnesre ható teljes \mathbf{F}_m erőt, amely fékezi a mágnes zuhanását!

T6 Határozzák meg a zuhanó mágnes állandósult v_m sebességét!

T7 Határozzák meg a cső anyagának ρ rezisztivitását, mint a zuhanó mágnes állandósult v_m sebességének függvényét!

Minden levezetést írjanak a válaszlapon kijelölt helyekre (odpoved'ové hárky)!

Kísérleti rész

A kísérletben három csövet használunk. Egy rövidebb és egy hosszabb alumíniumcsövet, majd egy harmadikat, amely más anyagból készült (tovább csak mint más fém). A válaszlapon fel van tüntetve a csövek r középső sugara, és a csőfalak d vastagsága.

E1 Mérjék meg a csövek hosszúságát, és írják a válaszlap megfelelő táblázatába!

E2 Mérjék meg a mágnesek zuhanási idejét az egyes csövekben. Minden mérést ismétljenek meg $10 \times$, határozzák meg a zuhanási idők középértékeket, valamint szórását (smerodajná odchýlka).

Megjegyzés: a hengermágnes két mágnesből áll, amelyeket egy vékony műanyag diszk választ el egymástól. Méréskor a mágneset úgy állítsák be, hogy az alsó mágnes a csőben legyen, a felsőt pedig az ujjai között tartják! Engedjék el a mágneset (nulla kezdősebességgel)!



Azt az időt mérik, amely a mágnes elengedésétől a mágnes cső aljára (a csövet tartó állvány aljára) való megérkezéséig tart – ezt koppanás hangja jelzi.

A mérési eredményeket jegyezzék le a válaszlap megfelelő táblázatába. (odpoved'ový hárok).

Miután a mágneset elengedtük a sebessége fokozatosan nő, míg el nem éri az állandósult v_m értéket (ez nagyon rövid út megtétele után meg is történik). Nagy pontossággal állíthatjuk, hogy a mágnes sebessége a cső egész hosszában állandó, értéke v_m . A mágnes sebessége jelentősen csak a cső felső és a cső alsó nyílásánál változik. Tétélezzék fel, hogy a bemeneti oldalon a mágnes sebessége csak egy rövid $\Delta\ell_1$ hosszúsági szakaszon, a kimeneti oldalon egy rövid $\Delta\ell_2$ szakaszon változik. A mágnes, a $\Delta\ell = \Delta\ell_1 + \Delta\ell_2$ szakaszon v_p átlagsebességgel halad, míg az $\ell - \Delta\ell$ hosszúságú maradék részen a sebessége v_m .

E3 Határozzák meg a mágnes állandósult $v_{m,exp}$ sebességét az alumíniumcsőben, felhasználva mennyi ideig (t_d) tartott átesnie a mágnesnek a hosszú (ℓ_d hosszúságú) csövön, valamint mennyi ideig (t_k) tartott átesnie a rövid (ℓ_k hosszúságú) csövön! Vegyék figyelembe a $\Delta\ell$ hosszúságú részeket! Határozzák meg a mért $v_{m,exp}$ értékből az alumínium rezisztivitását!

A további méréseknél tétélezzék fel, hogy $\Delta\ell$ elhanyagolhatóan kicsi a cső teljes hosszához viszonyítva!

E4 Határozzák meg a hosszú alumínium csőre mért v_{m1} és a más fémből készült csőre mért v_{m2} értékek felhasználásával a $\kappa_{exp} = \rho_{Al}/\rho_{kov}$ arányt, és hasonlítsák össze a táblázati értékkel (a táblázati értékét csak közvetlenül a mérés előtt kapják meg). Vitassák meg az esetleges eltérések okát!

Az elektromos vezetőképesség kihat a mágnes sebességére a csőben.

E5 Indokolják meg, miért nem indukálódik olyan erős áram a csőben, hogy a mágnes megálljon a csőben! Más szóval, miért esik át végül a mágnes a csövön?

A cső anyagának lényeges lehűtésével (de nem szupravezető állapotba) a mágnes zuhanása a csőben jelentősen lelassul. Most reális esetről beszélünk, nem a mi leegyszerűsített modellünkről!

E6 Mit tud mondani az erősen lehűtött csőben indukált áramokról, összehasonlítva azokat a nem lehűtött csőben indukált áramokkal? A válaszukat indokolják meg fizikai érvekkel!