



# Oktatási Hivatal

A „Mérések függőleges, vastag falú alumínium csőben eső mágnesekkel”  
2011/2012. tanévi Fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny döntő feladatának

## MEGOLDÁSA

I. kategória.

A felhasított vastag falú csőben eső, 7 db kis mágnes-gyűrűből álló mágnes út – idő függvényének felrajzolásához szükséges méréseket az alábbiak szerint végeztük:

- A vizsgálandó vastag falú alumínium csövet, műanyag alátéttel, függőleges helyzetben asztalra helyeztük.
- Az „indító” fénykaput az első, erre a célra létesített furatokba helyeztük, és „befűző gumival rögzítettük. (A cső felső végétől 10 mm-re.)
- A „leállító” fénykaput a 2,5 cm-rel lejjebb lévő furatokba helyeztük, és rögzítettük.
- Az időmérő elektronikát üzembe helyeztük. (Rákapcsoltuk a tápfeszültséget, és nulláztuk.)
- A kis mágnes-gyűrűből álló mintát a cső hossz tengelyébe hozva, első elemével a csőbe helyeztük, majd elengedtük.
- Az első 2,5 cm-es út megtételéhez szükséges időt ötször mértük, és átlagoltuk.
- A „leállító” kaput 2,5 cm-rel lejjebb helyeztük, és ismét ötször mértük az 5 cm-es út megtételéhez szükséges időt.
- A továbbiakban is a fentiek szerint jártunk el a 7,5; a 10 és a 12,5 cm-es út megtételéhez szükséges idők mérésénél.

**Különös gondot fordítottunk a minták indítására!** Amikor nem sikerült pontosan az indítás (például ha a minta nem volt függőleges helyzetben és hallhatóan koccant) az így mért időt nem vettük figyelembe.

A mérések eredményeit az 1. számú táblázatban tüntettük fel.

Mágnesek száma (db)	Felhasított csőfállal, az utak megtételéhez szükséges mért idők átlaga (s)				
	3,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	12,5 cm
7	0,0922	0,1734	<b>0,3034</b>	<b>0,4350</b>	<b>0,5730</b>

1. számú táblázat.

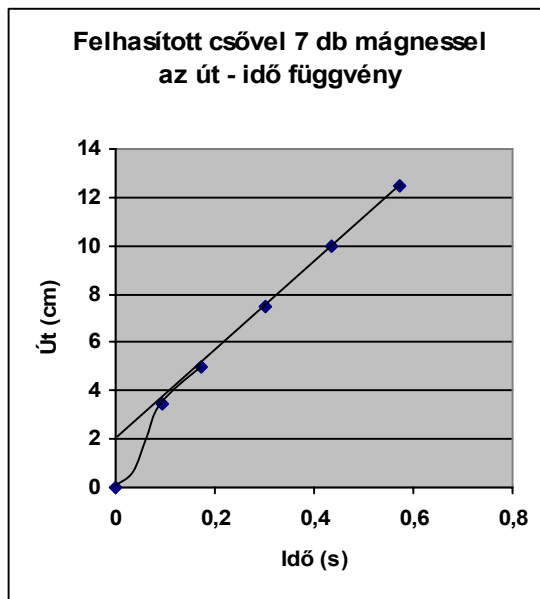
A táblázat adataival felrajzolt út – idő grafikont az 1. számú ábra mutatja.

A kapott grafikon alapján megállapítható, hogy a mágnes ~ 3,5 cm-es úton fokozatosan gyorsul, ezt követően ~ 6 cm-ig lassul, majd állandó sebességgel mozog.

A csőekben eső mágnesekre a nehézségi erő, a változó mágneses tér hatására a Lenz-törvény értelmében a csőfalban kialakuló örvényáramok miatt fellépő erő, a súrlódási erő a közegellenállási erő, a felhajtóerő, valamint a föld mágneses tere fog hatni.

A súrlódási erő hatása figyelmen kívül hagyható, a csőfalra merőleges erő elhanyagolható nagyságú. A közegellenállási erő becslést értéke három, négy nagyságrenddel kisebb a

nehézségi erőnél. A föld mágneses terének hatása is kicsi. Így mondhatjuk, hogy az eső mágnesek sebességét a nehézségi erő és az örvényáramok fékező hatása alakítja.



1. számú ábra

A mágnes az esés kezdetekor álló helyzetben van, egy része még a csövön kívül helyezkedik el. Változó mágneses tér még nincs, még nem indukálódik feszültség, az örvényáramok hatása nulla. A mágneset a nehézségi erő gyorsítja.

A növekvő sebességű esés, valamint az egyre inkább a csőbe érő mágnes hatására fokozatosan növekszik az örvényáramok fékező hatása, de a sebesség még mindig növekszik. Ez az útszakasz ~ 3,5 cm-ig tart. (Ekkor ér a mágnes teljes hosszával a csőbe.) Az eddig elért sebességnél már az örvényáramok fékező ereje nagyobb, mint a nehézségi erő, ezért a sebesség fokozatosan csökken. A csökkenés addig tart, míg a nehézségi erő és az örvényáramok fékező ereje egyensúlyba jut. Ettől kezdve az esés sebessége állandó.

A felhasított palástú csőben eső kisebb számú kis mágnes-gyűrűből álló mágnesek sebessége annyiban fog eltérni az eddigiektől, hogy mivel tömegük kisebb, az egyensúlyi helyzet kisebb sebességnél és rövidebb úton fog kialakulni.

Az ép palástú cső esetén a felhasítás nem korlátozza az örvényáramok kialakulását, így minden egyes eső mágnes esetén kisebb sebességnél áll be az egyensúly, mint a felhasított palástú csőnél. Ez azt is eredményezi, hogy megnő az állandó sebességű szakasz hossza.

Az **ép palástú** csőben eső mágnesek állandósult sebességének meghatározása két módon valósítható meg.

Az egyik lehetőség út – idő függvények felvétele és az állandó sebességű szakaszra történő egyenes illesztésével, az egyenes egyenletéből meghatározni a sebességet (ezt időigényessége miatt nem vártuk a versenyzőktől, de természetesen jó megoldásnak tekintettük). A másik lehetőség a csőszakasz végén, adott út és a megtételéhez szükséges idő mérésével, a  $v = s / t$  összefüggés segítségével.

Az 1. ábrán látható, hogy a felhasított palástú csőben eső 7 db-ból álló mágnes már majdnem 5 cm-es út megtétele után állandó sebességgel mozog, valamint megállapítottuk, hogy az ép palástú csőben eső mágnesek rövidebb úton elérik az egyensúlyi állapotot, ezért a vizsgált útszakasz megválaszthatjuk az 5 cm-től 12,5 cm-ig, vagy 7,5 cm-től 12,5 cm-ig. A hosszabb út a mérés pontossága szempontjából kedvező. Gondos méréssel azonban a 10 cm-től 12,5 cm-ig tartó út megtételéhez szükséges idő mérésével is megfelelő eredményt kaphatunk.

Mivel minket az idő nem korlátozott, elvégeztük az út –idő grafikonok felvételéhez szükséges méréseket, (az eredményeket a 2. számú táblázat mutatja) és egyeneseket illesztettünk az út-idő grafikon állandó sebességű szakaszára. (A felhasznált adatokat a táblázatban vastagítva tüntettük fel.)

Mágnesek száma (db)	Ép csőfallal, az utak megtételéhez szükséges mért idők átlaga (s)				
	2,5 cm	<b>5 cm</b>	<b>7,5 cm</b>	<b>10 cm</b>	<b>12,5 cm</b>
7	0,1792	<b>0,3396</b>	<b>0,5744</b>	<b>0,8036</b>	<b>1,0396</b>
6	0,1824	<b>0,4182</b>	<b>0,6776</b>	<b>0,9492</b>	<b>1,2102</b>
5	0,2102	<b>0,5160</b>	<b>0,8290</b>	<b>1,1316</b>	<b>1,4396</b>
4	0,2936	<b>0,6664</b>	<b>1,0508</b>	<b>1,4176</b>	<b>1,7932</b>
3	0,4038	<b>0,8464</b>	<b>1,3100</b>	<b>1,7582</b>	<b>2,2170</b>
2	0,5420	<b>1,1088</b>	<b>1,6668</b>	<b>2,2496</b>	<b>2,8214</b>

2. számú táblázat.

Az illesztett egyenesek egyenletét, és az egyenletekből meghatározott állandósult sebességeket (a regressziós állandók négyzetével együtt) a 3. számú táblázatban tüntettük fel. A regressziós állandók értékei azt mutatják, hogy mérési eredményeink igen jól illeszkednek az egyenesekre.

Mágnesek száma (db)	Az illesztett egyenes egyenlete	R <sup>2</sup>	Az állandósult sebesség (cm/s)	Számított sebesség (cm/s)
7	$y = 10,733x + 1,3518$	1,0000	10,733	10,714
6	$y = 9,4418x + 1,0663$	0,9999	9,4418	9,470
5	$y = 8,134x + 0,7864$	1,0000	8,134	8,120
4	$y = 6,6711x + 0,5312$	0,9999	6,6711	6,656
3	$y = 5,4822x + 0,3463$	1,0000	5,4822	5,472
2	$y = 4,3699x + 0,1778$	0,9999	4,3699	4,379

3. számú táblázat.

A 3. számú táblázat utolsó oszlopában az 5 cm-től a 12,5 cm-ig tartó út hossza és az út megtételéhez szükséges idő felhasználásával számított sebességeket tüntettük fel. (A számításhoz szükséges adatokat a 2. számú táblázatból vettük.)

A két módon meghatározott sebességek nagyon jól egyeznek.

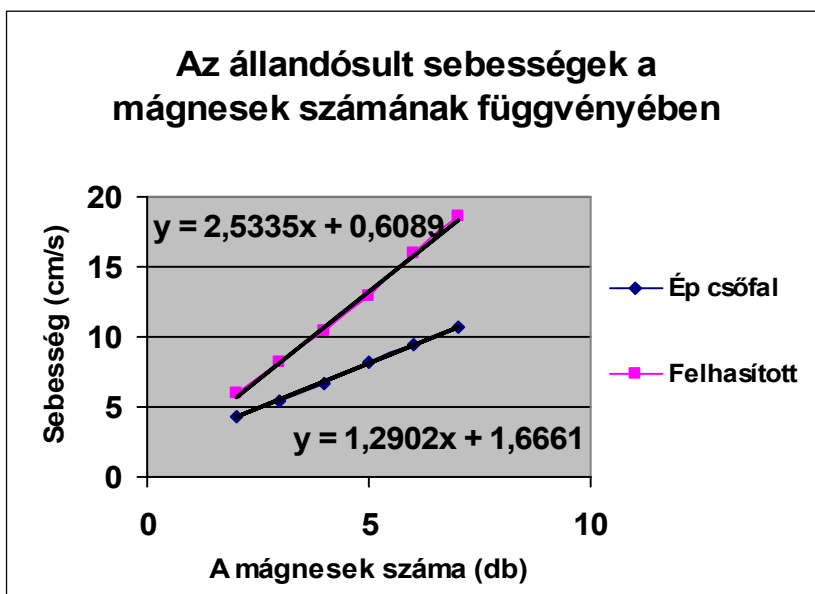
A **felhasított palástú** csőben eső mágnesek állandósult sebességének meghatározásakor ugyanúgy jártunk el, mint az ép palástú cső esetén. Az út-idő kapcsolatok meghatározásához mért adatokat a 4. számú táblázat mutatja. Az állandósult sebességű szakaszra (7,5 cm-től 12,5 cm-ig) illesztett egyenesek egyenletét, valamint az egyenletekből meghatározott sebességeket a 5. számú táblázatban tüntettük fel. Ebben a táblázatban az utolsó oszlop a 7,5 cm-től 12,5 cm-ig tartó 5 cm-es út és a megtételéhez szükséges idő segítségével számított sebesség.

Mágnesek száma (db)	Felhasított csőfallyal, az utak megtételéhez szükséges mért idők átlaga (s)				
	2,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	12,5 cm
7	0,0922	0,1734	<b>0,3034</b>	<b>0,4350</b>	<b>0,5730</b>
6	0,0984	0,2300	<b>0,3856</b>	<b>0,5444</b>	<b>0,6978</b>
5	0,1132	0,2954	<b>0,4972</b>	<b>0,6908</b>	<b>0,8854</b>
4	0,1702	0,4090	<b>0,6530</b>	<b>0,8924</b>	<b>1,1332</b>
3	0,2544	0,5654	<b>0,8720</b>	<b>1,1682</b>	<b>1,4780</b>
2	0,4012	0,8194	<b>1,2324</b>	<b>1,6520</b>	<b>2,0712</b>

4. számú táblázat.

Mágnesek száma (db)	Az illesztett egyenes egyenlete	R <sup>2</sup>	Az állandósult sebesség (cm/s)	Számított sebesség (cm/s)
7	$y = 18,543x + 1,8945$	0,9998	18,543	18,546
6	$y = 16,014x + 1,3109$	0,9999	16,014	16,015
5	$y = 12,88x + 1,0983$	1,0000	12,880	12,880
4	$y = 10,412x + 0,7032$	1,0000	10,412	10,412
3	$y = 8,249x + 0,3256$	0,9998	8,249	8,251
2	$y = 5,961x + 0,1534$	1,0000	5,961	5,961

5. számú táblázat.



2. számú ábra.

A megoldást a 2. számú ábra mutatja.

A 2. számú ábra alapján egyrészt megállapítható az, hogy a vizsgált mágnesek állandósult sebessége egyenesen arányos a mágnesalkotó kis mágnesek számával, másrészt az, hogy az eső mágnesek állandósult sebessége mindig nagyobb a felhasított palástú cső esetén.

Itt is látható, hogy a két módszerrel megállapított sebességek igen jól megegyeznek.

Most is hangsúlyozzuk, hogy a versenyzőktől az állandósult sebesség meghatározását az út és a megtételéhez szükséges idő figyelembe vételével vártuk.

**A 4. feladat** a 3. és az 5. táblázatban található sebesség-értékek felhasználásával könnyen megoldható.

Mint ezt korábban is megállapítottuk, a két vizsgált csőben kialakuló sebességek különbségét a palást felhasítása okozza. A felhasítás korlátozza a változó mágneses tér által indukált feszültség hatására létrejövő örvényáramok kialakulását.

Budapest, 2012. április 12.