

# A FIZIKA ORSZÁGOS KÖZÉPISKOLAI TANULMÁNYI VERSENY HARMADIK FORDULÓJA A HARMADIK KATEGÓRIA RÉSZÉRE, 2002–2003

Vannay László, Fülöp Ferenc, Máthé József, Nagy Tamás, Vankó Péter  
BME TTK, Fizikai Intézet, Kísérleti Fizika Tanszék

A Fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny – a korábbi évekhez hasonlóan – ebben a két évben is három kategóriában került megrendezésre. Külön-külön csoportban versenyeztek a szakiskolák tanulói, az általános-, valamint az emelt szintű fizikaoktatásban részesülő diákok. Mind a három csoport részére három fordulóból álltak a versenyek. Az első két forduló során elméleti problémákat kellett megoldaniuk a versenyzőknek, míg a harmadik fordulóban mérési feladatokkal kellett megbirkózniuk. A harmadik fordulóban az első két forduló legjobbjai mérték össze tudásukat és ügyességüket.

A BME Fizikai Intézet az emelt szintű fizikaoktatásban részesülő diákok (harmadik kategória) versenyének harmadik fordulóját rendezte. A versenyeknek ebben a fordulójában húsz-húsz fiatal vett részt. Közleményünkben ezekről a 2002-ben és 2003-ban lezajlott versenyekről számolunk be. Intézetünk 1994 óta vesz részt a versenyek lebonyolításában. A korábbi versenyekről évente rendszeresen beszámoltunk a *Fizika Módszertani Lapok*ban.

Dolgozatunkban bemutatjuk a versenyfordulók kezdetkor kiadott írásos anyagokat úgy, ahogy a versenyzők megkapták. Ezen anyagok segítségével akartuk megismertetni a versenyzőket a megoldandó feladatokkal és a feladatok megoldásához rendelkezésükre álló eszközökkel. A kiadott írásos anyagok bemutatása után vázoljuk a kitűzött feladatok megoldásának módját, majd beszámolunk a verseny közben és az értékelés során szerzett tapasztalatokról, a versenyzők eredményeiről, végül köszönetet mondunk mindazoknak, akik közreműködtek a versenyek előkészítésében vagy lebonyolításában.

## A versenyzők részére 2002-ben kiadott írásos anyag

Feladat a Fizika OKTV harmadik fordulójára, a harmadik kategória részére

### Dominósor eldőlésének vizsgálata

A magyar televízió az utóbbi időben kétszer is sugárzott műsort dominósorok feldőléséről. 1999 novemberében a hollandiai Zuidlarenben 3,112 millió dominót döntöttek fel egy Guinness-rekordkísérlet során. 2000 novemberében egy újabb rekord felállításakor 3,750 millió dominó látványos feldőlésében gyönyörködhetek a nézők.

Ha egy nagyobb számú dominóból álló összeállítás feldőlését szeretnénk megtervezni, és a feldőlés során események időbeli egybeesését is tervezzük, ismernünk kell a dominók feldőlésének törvényszerűségeit.

### A feladat

A verseny során azt kell megvizsgálnia a rendelkezésére álló eszközök segítségével, hogy hogyan viselkedik egy egymástól azonos távolságban felállított dominókból álló sor, eldőlés közben. Milyen tényezők, és milyen mértékben befolyásolják a sor dőlésének folyamatát?

Legalább eléréndő cél, hogy vizsgálati eredményeként egy képzeletbeli dominó döntési terv elkészítéséhez arra tudjon válaszolni, hogy a rendelkezésére álló dominókból, különböző, tetszőlegesen megválasztott dominótávolság (például: mindegyik dominó 15 mm, vagy valami más távolságra van egymástól) esetén mennyi idő alatt dől el egy egyenes sor adott szakasza (például egy hosszabb dominósor 2. és 3. méter közötti szakasza).

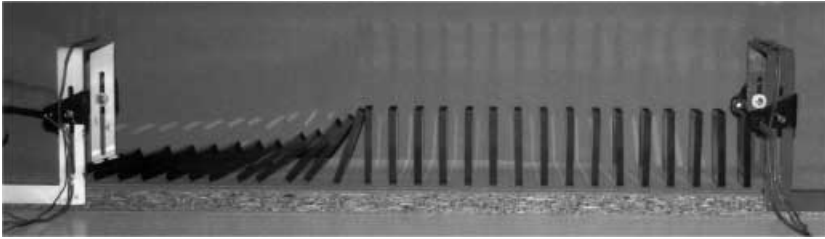
Gondolja végig, hogy milyen méréseket kell elvégeznie, végezze el a szükséges méréseket, mérési adatait dolgozza fel, és értékelje kapott eredményeit.

### A rendelkezésére álló anyagok és eszközök

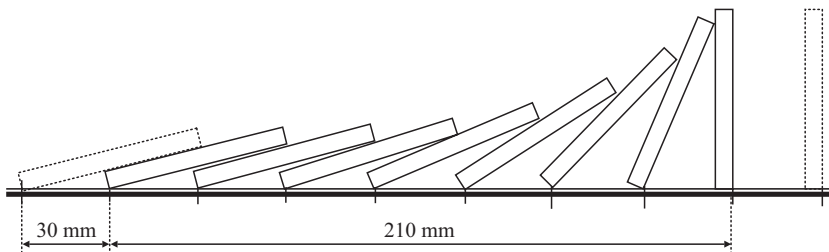
- 35 db dominó
- 1 db pozdorjalemez milliméterpapír borítással
- 2 db fénykapu, időmérő elektronikával (alkalmazásukat lásd később)
- 1 db tápegység az időmérő elektronikához
- 2 db derékszögű vonalzó
- 1 db mérőszalag
- milliméterpapír

### A fénykapuk használata

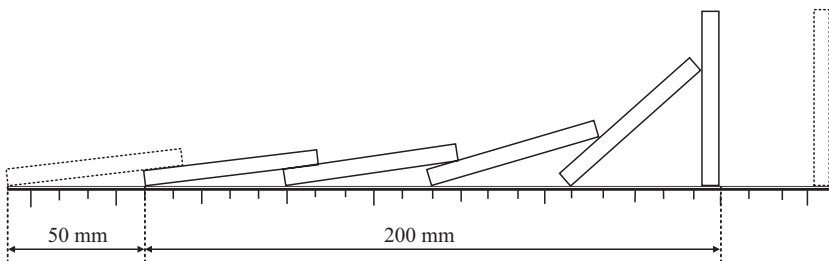
A két darab fénykapu közül az egyik az indító (fehér színű), a másik a leállító (piros színű). Ha az indító kapu fényútját valami megszakítja, az elektronika elkezd az időt mérni, és mindaddig mér, míg a másik kapu fényútja meg nem szakad. A kapukon a fényforrás és az érzékelő magassága állítható, figyeljen arra, hogy a két elem azonos magasságban legyen. Indítás előtt az elektronikát az előlapján található gombbal *nullázni kell*. A mért idő számok formájában, *ezred másodpercekben* leolvasható az elektronika kijelzőjéről. Az elektronika működéséhez 4,5 V-os feszültség szükséges, ezt a tápegység biztosítja.



1. ábra. Dőlő dominósor.



2.a ábra. Az egymástól 30 mm-re elhelyezkedő dominók eldőlése.



2.b ábra. Az egymástól 50 mm-re elhelyezkedő dominók eldőlése.

A kiadott „További tudnivalók” tájékoztatott a verseny időtartamáról, a használható segédeszközökről, javaslatot tartalmazott az elkészítendő jegyzőkönyv tartalmára, megadta az eszközök esetleges meghibásodása esetén szükséges teendőket, és felhívta a figyelmet a gondos mérés fontosságára. Egy dőlő dominósorról készült felvett mutat az 1. ábra.

### A 2002. évi feladat megoldása

A feladat megoldása két részre bontható: meg kell állapítani, hogy a dominósor elején, a dőlés kezdeténél hogyan alakul a dőlési sebesség, majd ezután következnek az állandósult dőlési sebességre vonatkozó vizsgálatok.

A feladat megfogalmazásakor úgy gondoltuk, hogy nem hívjuk fel a versenyzők figyelmét az eldőelő sor elején lejátszódó folyamatokra. Ha ezt megtesszük, a versenyt az nyerte volna meg, aki a leggyorsabban tudta volna a dominósorokat felállítani, hiszen gondolkodás nélkül, csak a sorok felállítását és az eldőléshez szükséges idő mérését kellett volna elvégezni.

Belátható, hogy az eldőelő sor eleje másként viselkedik, mint egy távolabbi szakasz. A sor elején várhatóan változik az eldőlési sebesség, s egy tranzienst viselkedés játszódik le, míg a távolabbi szakaszokon a dőlési sebesség már állandósul.

A sor eldőlésekor a második dominónak egy dől neki, a harmadiknak már kettő, és így tovább. A dőlési sebesség várhatóan addig változik, míg az eldőelő dominókból kialakul egy olyan szakasz, amelynek utolsó tagja (ha balról

jobbra döntjük a sort, a bal szélső elem) már fekszik a következőn, míg az első (a szakasz jobb szélén lévő elem) még éppen áll. Ettől kezdve a dőlési sebesség állandó, és a részben eldőelt dominókból álló szakasz ezzel a sebességgel mozog előre.

Itt megjegyezzük, hogy a „dőlési sebesség”-et úgy határozzuk meg, hogy két megfelelő dominó távolságát osztjuk a síkok azonos helyzetéhez tartozó időpontok különbségével. Tehát nem vizsgáljuk egy-egy dominó sebességének változását a dőlés kezdetétől a nyugalmi helyzet kialakulásáig. Azt, hogy az állandósult sebesség a sor elején mekkora szakaszon alakul ki, szerkesztéssel és méréssel is megvizsgáltuk.

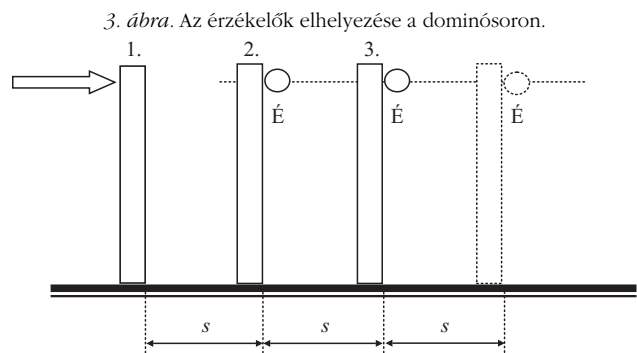
A tranzienst jelenség lezajlásával kapcsolatban elmondottaknak megfelelő szerkesztésre mutat példát a 2. ábra, ahol az adott méretű (60×30×6 mm-es) dominók megfelelő síkjai 30, illetve 50 mm-re helyezkednek el egymástól.

A szerkesztésből (a már teljesen eldőelt és a még függőlegesen álló dominó távolságából) az látszik, hogy az adott méretű dominókkal, a különböző dominótávolságok esetén elvégzett szerkesztések hasonló eredményt adnak. Ilyen méretű elemek alkalmazásakor az állandósult sebesség kialakulása 20–21 cm-es szakasz után várható.

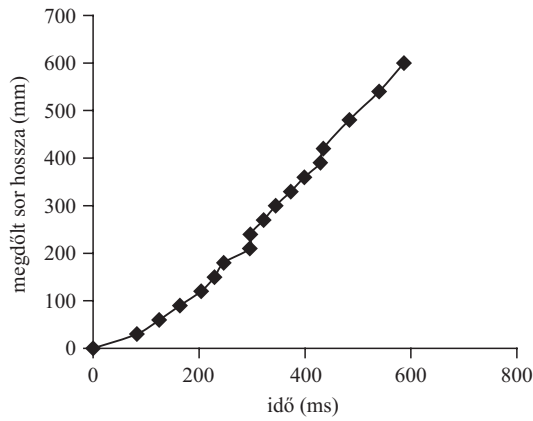
A sorok elején lejátszódó tranzienst folyamatot méréssel úgy vizsgáltuk, hogy a fénykapu indító érzékelőjét a második dominónak a dőlés irányába eső második határoló síkjával, a leállító érzékelőt a harmadik, a negyedik stb. dominó második határoló síkjával helyeztük egy vonalba. Az érzékelőket azonos magasságra – a dominók tetejéhez – állítottuk, hogy a vizsgált síkok azonos helyzete indítsa, illetve állítsa le az időmérést. Az érzékelők elhelyezését a 3. ábra mutatja. Az előbb elmondottak szerint a dőlési sebességet a két vizsgált sík egymástól való  $s$  távolságának és az érzékelők által mért időtartamnak a hányadosa adja, azaz:

$$v = n \frac{s}{t},$$

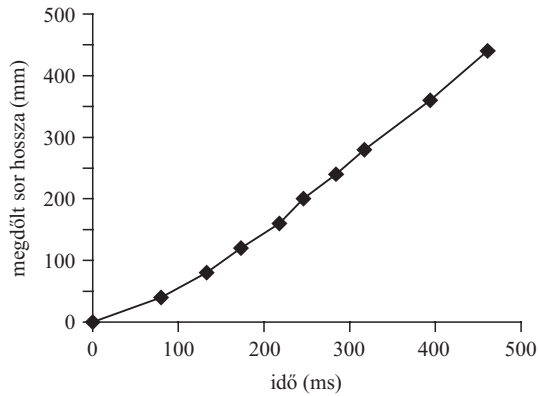
ahol  $n$  a figyelembe vett dominók száma.



3. ábra. Az érzékelők elhelyezése a dominósoron.



4.a ábra. Dőlő dominósor út-idő grafikonja ( $s = 30$  mm).

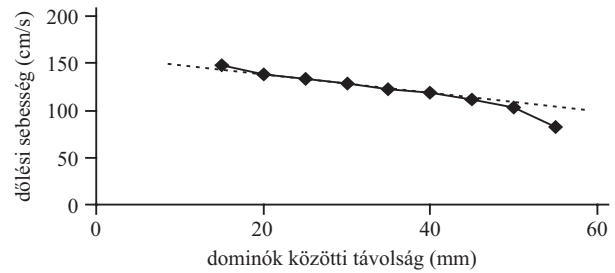


4.b ábra. Dőlő dominósor út-idő függvénye ( $s = 40$  mm).

A sor dőlését az első dominó óvatos döntésével indítottuk úgy, hogy igyekeztünk azt az egyensúlyi helyzetén kissé túlvinni és ott elengedni, magára hagyni.  $60 \times 30 \times 6$  mm-es dominókkal végzett mérés eredményeit tünteti fel a 4.a ábra, amikor  $s = 30$  mm volt. A 4.b ábra az  $s = 40$  mm mellett végzett mérés eredményeit jeleníti meg.

A kapott grafikonok alapján a következőket állapíthatjuk meg:

- a dőlési sebesség egy adott ideig növekszik, majd állandósul,
- az állandósult sebesség 10–15 cm-es út megtétele után alakul ki. (A szerkesztés segítségével végzett vizsgálá-



5. ábra. A dominósor állandósult dőlési sebessége a dominók közötti távolság függvényében.

lat alapján ez az út hosszabb. Ennek az lehet az oka, hogy az éppen csak megdől dominók már nem befolyásolják lényegesen a dőlési sebességet.)

A grafikonok segítségével az állandósult sebességek is meghatározhatók a lineáris szakasz meredekségéből. Az  $s = 30$  mm esetén a grafikon lineáris szakaszára illesztett egyenes meredeksége, a dominósor állandósult dőlési sebessége: 126,2 cm/s-nak, míg  $s = 40$  mm-nél 116,3 cm/s-nak adódott. Ha a dominósor egyes elemei közötti távolságot 9 mm-től kezdődően (amikor a vizsgált síkok közötti távolság:  $s = 9 + 6 = 15$  mm) 5 milliméterenként szeretnénk növelni 49 mm-ig (ekkor  $s = 55$  mm), és az előbbi módon felvett grafikonokat akarjuk felhasználni az állandósult sebesség meghatározásához, igen sok mérést kellene elvégezni. Erre a négy órás idő nem elegendő. Ezért célszerű úgy eljárni, hogy olyan távolságon mérjük az eldőléshez szükséges időt, amely már olyan messze van a sor elejétől, hogy itt már biztosan állandósult a sebesség. Ezért az időkapu indító érzékelőjét a felállított sor elejétől legalább 21 cm-re, és a leállító érzékelőt lehetőleg minél messzebbre helyeztük. A méréshez használt elrendezés egyezik a 3. ábrán bemutatottal. A dőlés indítását a már ismertetett módon végeztük. A mérések eredményét az 1. táblázatban tüntettük fel, ahol az első oszlopban a korábban értelmezett  $s$  értékeket tüntettük fel. A „Mért idő”-et több (három-öt) mérés számtani közepékként kaptuk.

A méréseket azért kezdtük az  $s = 15$  mm-nél, mert kisebb  $s$  értékek esetén az „indító” dominó csak nekidől a következő elemnek, és nem indítja el a sor dőlését. A dominók közötti távolság növekedésével a még álló dominókra a nekik dőlő dominók egyre nagyobb sebességgel érkeznek. A mérés egyre érzékenyebb arra, hogy a felállított elemek mennyire párhuzamosak egymással. A dominótávolságok növekedésével növekszik a mérési adatok szórása. Hibás felállítás esetén egyes elemek valósággal „kirepültek” a sorból. A dominók mérete:  $60 \times 30 \times 6$  mm.

Az 1. táblázat adatainak felhasználásával készítettük el az 5. ábrát, ahol az  $s$  távolság függvényében tüntettük fel az állandósult dőlési sebességet. Az ábra alapján azt állapíthatjuk meg, hogy a sebesség egy

Különböző elemtávolságú dominósorok dőlésének adatai					
1. táblázat					
$s$ távolság (mm)	Indító kapu helye (mm)	Leállító kapu helye (mm)	Kapuk közti távolság (cm)	Mért idő (s)	Sebesség (cm/s)
15	210	465	25,5	0,173	147,4
20	300	600	30	0,218	137,6
25	300	600	30	0,225	133,3
30	300	600	30	0,234	128,2
35	280	630	35	0,285	122,8
40	240	600	36	0,302	119,2
45	270	630	36	0,324	111,1
50	250	700	45	0,435	103,4
55	220	660	44	0,530	83,0

kezdeti, viszonylag nagyobb érték után egy darabig közel lineárisan, majd egyre erősebben csökken. A kitűzött feladatot a versenyen használt dominóktól eltérő méretű mintákkal is elvégeztük, és a sebesség–dominótávolság kapcsolat mindegyik esetben az 5. ábrán látható jellegűt mutatta.

### A versennyel kapcsolatos megjegyzések, eredmények

Ebben az évben – a korábbi évekhez viszonyítva – az elméleti fordulók után szélesebb tartományban változott a versenyzők teljesítménye. A 3. fordulóra bekerült versenyzők teljesítménye az első két forduló eredményeit figyelembe véve 75% és 100% közé esett. Két teljesítményérték volt, amelyet több versenyző ért el: öt-öt fő teljesített 93,3, illetve 75%-ra.

A harmadik forduló során a versenyzők teljesítményének megállapításánál értékeltük a tranziens folyamat vizsgálatát, a dőlési sebesség meghatározását, a hibaszámítást, és néhány pontot adtunk a kiadott feladatok között nem szereplő, de azt kiegészítő mérések elvégzéséért.

A tranziens viselkedés kérdésével két versenyző egyáltalán nem foglalkozott, kilencen minden vizsgálat és magyarázat nélkül különböző számú – általuk „előtagnak” vagy „felvezető dominónak” nevezett – dominót alkalmaztak, és mindössze heten végeztek valamilyen vizsgálatot arra vonatkozóan, hogy a sor elején hogyan alakul a dőlési sebesség.

Azok, akik a tranziens jelenség kérdésével egyáltalán nem foglalkoztak, a dőlési sebességet mindig a sornak a második dominóval kezdődő szakaszán mérték. Így mérési eredményeik nem az állandósult sebességet adták meg.

Az „előtag” vagy „felvezető dominó” azt jelentette, hogy a dőlési sebességet csak a dominósor elején lévő néhány dominó utáni szakaszon mérték. Az „előtagok” száma „néhány”-tól 15-ig változott. Volt olyan versenyző is, aki mindig felállította a rendelkezésére álló 35 dominót, és a sebességet csak a sor végén mérte.

Azok közül, akik vizsgálatokat végeztek az állandósult sebesség kialakulására vonatkozóan, néhányan nem a dőlési sebesség változását vizsgálták a sor elején, hanem azt mérték ki, hogy adott számú dominó dőlési ideje hány „előtag” után állandósul. Állandó számú (10–15 db) dominóból álló szakasz feldőlésének idejét mérték, változó számú (2, 3, 4, ... db) „előtag” alkalmazása esetén.

A versenyzők viszonylag kevés (négy-öt) különböző dominótávolság esetén határozták meg az állandósult sebességet, egy-egy mérést rendszerint háromszor megismételve. A sebesség és a dominótávolság közötti kapcsolatot lineárisnak találták.

Néhányan foglalkoztak a dőlés indításának kérdésével is. Azt vizsgálták, hogy az első dominó meglökése hogyan befolyásolja a sor dőlési sebességét. Ők azt találták, hogy az első elem „elhanyagolható kezdősebességétől” az „igazán nagy impulzusig” az indítás sebessége „nem igazán befolyásolja” a 11. és 16. dominó közötti szakasz dőlési sebességét.

A versenyzők nagy része végzett hibaszámítást. A mérési eredmények relatív hibáját határozták meg.

Többen végeztek vizsgálatokat „elfektetett” (60 mm-es oldalra állított) dominókkal is. Őket néhány plusz ponttal jutalmaztuk.

Az érzékelők magassága állítható volt. A legtöbben – helyesen – azonos magasságba állították az indító és a leállító érzékelőt, és a 3. ábrának megfelelően állították be őket. Akik ettől eltértek, azok különböző magasságban hagyták az érzékelőket, vagy úgy állították be őket, hogy az elfekvő dominókat érzékeljék.

Kereskedelmi forgalomban vásárolt dominókkal sajnos nem kaptunk megbízható eredményeket. Ezért a verseny céljára 6 mm-es plexilemezből csináltattuk a dominókat. A precíz kivitelezés eredményeként a mérések reprodukálható eredményeket adtak. A dominók oldallapjait matt fekete festékkel festettük le, mert az átlátszó plexi nem zárta az érzékelők előtt a fényt. Az idő mérésére szolgáló fénykapukat és a hozzájuk tartozó elektronikát magunk készítettük.

A dominósorok felállítása elég időigényes és bizonyos kezűgyességet igénylő feladat. A felállítás közben egyetlen elem véletlen meglökése elég ahhoz, hogy az egész, addig felállított sor azonnal eldőljön. Emiatt verseny közben gyakran hallottuk a versenyzők kifakadásait. Néhányan a mérési jegyzőkönyvben is megemlítették ezt a nehézséget.

A mérési forduló meglehetősen széthúzta a mezőnyt. A versenyzők teljesítménye a harmadik forduló során 100% és 33% közé esett. Az elméleti és a gyakorlati fordulók eredményeinek összesítése után a versenyzők teljesítménye 100% és 62% között mozgott. Az elméleti fordulók után az első tíz helyezett közül heten a végső sorrendben is az első tíz között voltak, a sorrend azonban némileg változott. A verseny után a résztvevők a feladatot könnyűnek minősítették.

Mejlegyezzük, hogy eredetileg a kérdés összetettebb vizsgálatát terveztük. Szerettük volna a kitűzött feladatot különböző méretű dominókkal elvégeztetni. Magunk három különböző méretű dominóval végeztük el a méréseket. Sajnos azonban úgy láttuk, a négy órás idő ilyen feladat megoldására nem elegendő.

### Az 2002. évi verseny első tíz helyezettje az összesített eredmények alapján

1. PALLOS PÉTER, Fazekas Mihály Fővárosi Gyak. Gimn., 500 pont;
2. NAGY SZABOLCS, ELTE Trefort Ágoston Gyak. Gimn. (Bp.), 465;
3. BÉKY BENCE, Fazekas Mihály Fővárosi Gyak. Gimn., 436;
4. SPARING DÁNIEL, ELTE Radnóti Miklós Gyak. Gimn. (Bp.), 430; 5. SZEKERES BALÁZS, Verseghy Ferenc Gimn. (Szolnok), 428; 6. SZILVA ATTILA, Földes Ferenc Gimn. (Miskolc), 408; 7. ANTAL ÁGNES, ELTE Apáczai Csere János Gyak. Gimn. (Bp.), 398; 8. FEJŐS GERGELY, ELTE Radnóti Miklós Gyak. Gimn. (Bp.), 396; 9. HARANGI VIKTOR, Fazekas Mihály Fővárosi Gyak. Gimn., 393; 10. SZALAI BENCE, Lovassy László Gimn. (Veszprém), 386.

## A versenyzők részére 2003-ban kiadott írásos anyag

Feladat a Fizika OKTV harmadik fordulójára, a harmadik kategória részére

### Közegellenállási erő vizsgálata

#### Feladat

1. Méréssel határozza meg, hogy a kiadott hosszabb minta (vezető szárnyakkal ellátott henger) vízben történő esése közben a közegellenállási erő hogyan függ a test sebességétől. Eredményeit tüntesse fel táblázatban és grafikonon. A mérési adatok felhasználásával határozza meg a minta közegellenállási tényezőjét az adott kísérleti körülmények között.

2. Az előzőeket ismétlje meg a rövidebb minta felhasználásával.

3. Értelmezze mérési eredményeit.

4. Munkájáról készítsen jegyzőkönyvet.

#### A feladat megoldásához rendelkezésére álló anyagok és eszközök

2 db belül üres hengeres minta (tömegüket megmértük, az eredményeket a mérőhelyen megtalálja), menetes kupakkal, gumitömítéssel, 0,2 mm vastag alumíniumlemezről készült vezető szárnyakkal,

8 db csapágygolyó (1 db tömege 8,95 g),

1 db kis mágnes, piros műanyag foglalatban, a vízbe ejtett minta kiszedéséhez,

1 db sárgaréz függőző, a függőleges irány kijelöléséhez,

1 db tolómérő,

1 db csipesz,

1 db mérőszalag,

1 db Bunsen-állvány,

3 db Bunsen-dió,

1 db Bunsen-fogó,

1 db üvegcső vízzel, a tetején sapkával, a sapka közepén furattal, alul lezárva,

1 db mérőpohár vízzel,

2 db fénykapu, időmérő elektronikával (alkalmazásukat az előző évi feladattal kapcsolatban már ismertettük),  
cérna,

milliméterpapír,

karton lapocska, a fényút megszakításához.

A „További tudnivalók” címmel a 2002 évihez hasonló információkat adtunk a versenyzőknek.

A hengeres minták a 6. ábrán láthatók, a mérőhelyen elhelyezett néhány eszközzel.

### A 2003. évi feladat megoldása

#### Az állandósult állapot kialakulásának vizsgálata esés közben

Először megvizsgáltuk azt, hogy mekkora úton áll be az állandósult állapot, amelytől kezdve a minta már állandó sebességgel mozog. Az állandó sebesség azt jelzi, hogy a minta súlya, a mintára ható felhajtóerő és a közegellenállási erő egyensúlyban van. A leghosszabb úton és a legnagyobb sebesség mellett, a legnehezebb minta



6. ábra. Hengeres minták a mérőhelyen elhelyezett néhány eszközzel.

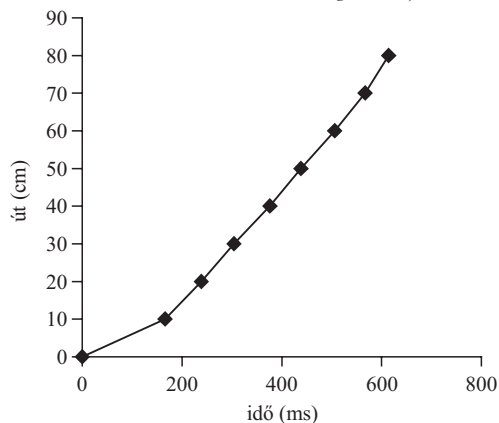
esetén alakul ki az egyensúlyi helyzet. Ezért ezt a vizsgálatot a csapágygolyókkal (8 db) megtöltött hosszabb mintával végeztük úgy, hogy felvettük a test út-idő grafikonját. A többi lehetséges esetben (a rövidebb minta vagy kevesebb csapágygolyó alkalmazásakor) rövidebb úton áll be az egyensúlyi helyzet.

Az út-idő kapcsolat megállapításához a mintát függőleges üvegcsőben lévő vízbe ejtettük. A megmért, illetve megadott méretek: A vízzel töltött üvegcső belső átmérője:  $D = 46$  mm, a hossza: 125 cm.

A hosszabb hengeres minta átmérője:  $d = 16$  mm, hossza:  $b = 130$  mm, tömege:  $m_0 = 19,8$  g. A négy darab alumínium vezető szárny vastagsága:  $sz = 0,2$  mm, magassága:  $l = 12$  mm és hossza:  $b^* = 125$  mm. 1 db csapágygolyó tömege:  $m_g = 8,95$  g.

A mintát csipeszsel megfogva, teljesen vízbe merítettük, és függőleges helyzetben a cső közepéről indítottuk. A gondos indítás az eredményes mérés feltétele! A minta kiszédése az üvegcső aljáról a cérnára erősített mágnes és a minta tetejébe sülyesztett acél csavar segítségével oldható meg. Az indító érzékelőt közvetlenül a már teljesen vízbe merülő minta alatt helyeztük el, a leállító érzékelőt pedig  $s = 10, 20, 30, \dots$  cm-rel lejjebb.

7. ábra. Az eső minta út-idő grafikonja.



Az állandósult sebesség mellett a 30 cm-es út megtételéhez szükséges idő, a 2, 3, ..., 8 csapágygolyót tartalmazó hosszabb minta esetén											2. táblázat
Golyók száma $n$	A 30 cm út megtételéhez szükséges idő, ezred másodpercben										számított sebesség: $v$ (m/s)
2	502	489	495	491	495	481	501	484	493	501	$v_2 = 0,62$
3	345	352	351	341	348	348	352	347	345	352	$v_3 = 0,88$
4	280	281	289	281	292	286	289	284	284	279	$v_4 = 1,07$
5	248	248	253	248	254	248	249	246	250	247	$v_5 = 1,22$
6	227	233	224	231	223	227	225	226	225	230	$v_6 = 1,34$
7	217	215	212	212	210	210	213	215	210	212	$v_7 = 1,43$
8	194	199	202	198	195	194	198	199	196	201	$v_8 = 1,55$

A mérési eredmények  $\pm 5\text{--}6\%$ -os szórást mutattak, ami a minta függőlegestől eltérő mozgása során a fallal történő súrlódással indokolható. Ezért 10–10 esetben mértük az adott út megtételéhez szükséges időt, és a további munkához a mért idők közül a legrövidebbeket vettük figyelembe. Feltételeztük, hogy ezekben az esetekben a minta nem ért a falhoz, vagy a fal hatása elhanyagolható volt. A mért legrövidebb idők feltüntetésével készült a 7. ábra. Az ábráról megállapítható, hogy az állandósult állapot rövid szakaszon kialakul, és 20 cm út megtétele után a minta már biztosan állandó sebességgel mozog.

Ha az állandó sebességhez tartozó mérési pontokra egyenest illesztünk, az illesztett egyenes egyenlete (SI egységekben):

$$y = 1,54x - 16,8.$$

A mérési pontok jól illeszkednek az egyenesre, és a minta állandósult sebessége 1,54 m/s. A sebesség – közegellenállási erő kapcsolat megállapításának egyik módja lehetne a leírt kísérlet megismétlése 7, 6, ... csapágygolyóval. Ez az eljárás azonban meglehetősen időigényes.

Rövidebb úton, kevesebb méréssel oldhatjuk meg a feladatot, ha az elvégzett mérés eredményére támaszkodva a további vizsgálatokat rögzített út megtételéhez szükséges idők mérésével végezzük. Az indító kaput a vízbe merített minta alsó éle alatt 25 cm-rel, a leállító kaput további 30 cm-rel lejjebb helyezzük el. Így a vizsgált minta állandó sebességű mozgásából mindig 30 cm-nyi szakaszt vizsgálunk.

#### További mérések a hosszabb mintával

A belül üres minta önmagában, vagy egy csapágygolyóval a belsejében nem süllyed el. Ezért a további vizsgálatokat 2, 3, ..., 8 db golyóval megtöltött mintával végeztük. A különböző számú golyóval megtöltött minta a fenti módon meghatározott 30 cm utat a 2. táblázatban feltüntetett idők alatt tette meg.

Az esés sebességének kiszámításához most is 10–10 esetben mértük az időt, és itt is a legrövidebb időt vettük figyelembe, ezeket az időket a táblázatban bekereteztük. A mérési eredmények felhasználásával kiszámított sebességeket is feltüntettük a táblázatban. (Megállapítható, hogy a 8 csapágygolyóval terhelt minta most mért sebessége jó egyezésben van az út–idő grafikonra illesztett

egyenes meredekségéből korábban meghatározott értékkel.)

A mérés során a mintának az üvegcsőhöz viszonyított sebességét határoztuk meg. Ezzel szemben a közegellenállási erő a minta és a víz egymáshoz képesti sebességétől függ!

Annak a csőnek a belső átmérője ( $D = 46$  mm), amelyben a minta mozgását vizsgáljuk, összemérhető a minta át-

mérőjével ( $d = 16$  mm). Ezért nem hanyagolhatjuk el, hogy a víz a minta mellett felfelé áramlik.

Ha  $A_0$  a cső,  $A_1$  a minta (a négy vezető szárnyal) hossz tengelyre merőleges metszetének a területe,  $v$  a minta korábban meghatározott esési sebessége, és a csőben a minta mellett felfelé áramló víz sebessége a csőhöz képest  $v^*$ , akkor:

$$v A_1 = v^* (A_0 - A_1).$$

A minta vízhez viszonyított sebessége pedig:

$$v + v^* = v + v \frac{A_1}{A_0 - A_1} = v \frac{A_0}{A_0 - A_1} = v K,$$

ahol a  $K$  korrekciós állandó értéke:

$$K = \frac{A_0}{A_0 - A_1} = \frac{16,62}{14,51} = 1,14.$$

$$A_0 = \frac{D^2 \pi}{4} = 16,62 \text{ cm}^2 \text{ és}$$

$$A_1 = \frac{d^2 \pi}{4} + 4 sz l = \frac{16^2 \pi}{4} + 4 \cdot 0,2 \cdot 12 = 2,11 \text{ cm}^2.$$

Egyensúly esetén (állandó sebességű mozgásnál) a mintára ható közegellenállási erőt ( $F_k$ ) a minta súlyának ( $G$ ) és a mintára ható felhajtóerőnek ( $F_f$ ) a különbsége adja meg.

A felhajtóerő a hengerre:

$$\begin{aligned} F_{fb} &= \frac{D^2 \pi}{4} b \rho g = \\ &= \frac{1,6^2 \cdot 10^{-4} \cdot \pi}{4} \cdot 0,13 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 0,26 \text{ N.} \end{aligned}$$

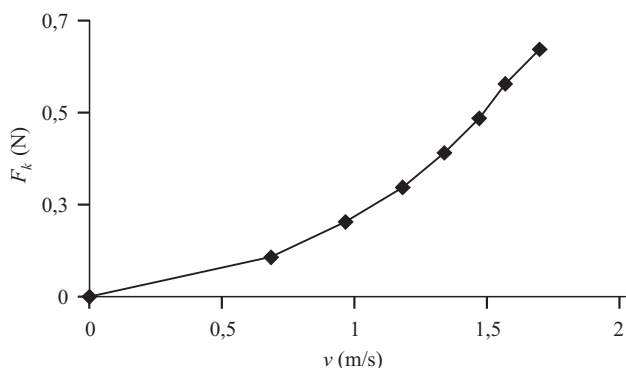
A felhajtóerő a szárnyakra:

$$\begin{aligned} F_{fsz} &= sz \cdot l \cdot b^* \cdot \rho \cdot g = \\ &= 4 \cdot 0,2 \cdot 12 \cdot 125 \cdot 10^{-9} \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 0,01 \text{ N.} \end{aligned}$$

A hosszabb mintára ható felhajtóerő:

$$F_f = F_{fb} + F_{fsz} = 0,27 \text{ N.}$$





8. ábra. Közegellenállási erő – sebesség függvény hosszabb minta esetén.

A minta tömege ( $\Sigma m$ ), az üres minta tömegének ( $m_0$ ) és a golyók tömegének ( $n m_g$ ) az összege.

A golyókkal terhelt minta súlya:  $G = (m_0 + n m_g) g$ .

A közegellenállási erő:  $F_k = G - F_f$ .

Az így kapott eredmények a 3. táblázatban láthatók.

A mérési eredmények felhasználásával készült közegellenállási erő – sebesség kapcsolatot mutatja a 8. ábra.

A mérési pontok jól illeszkednek az  $F_k = 0,196x^2$  parabolára, tehát a vizsgált sebességtartományban a közegellenállási erő a sebesség négyzetével arányosnak tekinthető.

A közegellenállási erő – sebesség kapcsolatra ismert összefüggés:

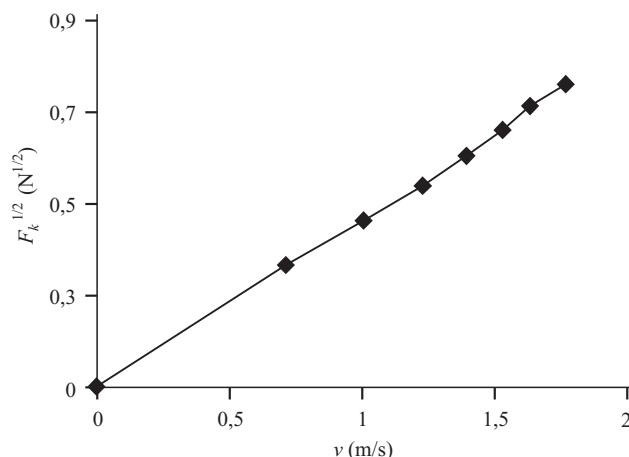
$$F_k = \frac{1}{2} k \rho A v^2,$$

ahol  $k$  az „alaki tényező”,  $\rho$  annak a közegnek a sűrűsége, amelyben a test mozog (most  $\rho_{\text{víz}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ),  $A$  a test mozgásirányra merőleges legnagyobb keresztmetszete (jelen esetben:  $A_1$ ) és  $v$  a közeg és a test relatív sebessége ( $Kv$ ).

A mérési pontokra illesztett parabola egyenletéből és a közegellenállásra vonatkozó összefüggésből a keresett alaki tényező:

$$k = \frac{2 \cdot 0,196}{\rho A_1} = \frac{2 \cdot 0,196}{10^3 \cdot 2,11 \cdot 10^{-4}} = 1,86.$$

A mérési eredmények feldolgozásának egy másik lehetséges módja, hogy felrajzoljuk a sebesség ( $Kv$ ) függvényében a közegellenállási erő négyzetgyökét ( $F_k^{1/2}$ ). Így



9. ábra. A közegellenállási erő négyzetgyöke a sebesség függvényében.

kaptuk a 9. ábrát. Ha a mérési pontokra egyenest illesztünk, az egyenes egyenlete:

$$F_k^{1/2} = 0,441 Kv.$$

Az egyenes egyenletének és a közegellenállásra vonatkozó egyenletnek az összevetéséből az alaki tényező:

$$k = \frac{2 \cdot 0,441^2}{\rho A_1} = \frac{2 \cdot 0,441^2}{10^3 \cdot 2,11 \cdot 10^{-4}} = 1,85.$$

Az ismertetett mérési eljárással és a fenti számítási módszert követve meghatároztuk a rövidebb minta alaki tényezőjét is. A minta adatai a következők voltak: átmérője:  $D = 16 \text{ mm}$ , hossza:  $b = 6,9 \text{ cm}$ , tömege:  $m_0 = 10,46 \text{ g}$ . A négy vezetőszárny vastagsága:  $sz = 0,2 \text{ mm}$ , magassága:  $l = 12 \text{ mm}$  és hossza:  $b^* = 63 \text{ mm}$ . A vizsgált minta alaki tényezőjének  $k = 1,29$  adódott.

### Az eredmények értékelése

Henger esetén, ha az áramlás párhuzamos a tengellyel, az alaki tényező a henger hosszának ( $b$ ) és átmérőjének ( $d$ ) arányától a 4. táblázatban közölt módon függ (Gruber J., Blahó M.: *Folyadékok mechanikája* – Tankönyvkiadó, 1963, 286. o.):

A körlap 1,11 értékű alaki tényezője a henger hosszának növekedésével eleinte csökken, mert a homlokfelület kel-

tette turbulenciát a felület mögötti test csökkenti. Az aránylag hosszú hengernél az áramlás irányával párhuzamos felületeken fellépő súrlódási ellenállás számottevő lesz, és ezért az alaki tényező növekszik. A középiskolákban használatos „Függvénytábla” a körlap és a tengellyel párhuzamos áramlásba helyezett henger legkisebb alaki tényezőjét adja meg. (A 4. táblázatban vastagított számokkal.)

A közegellenállási erő és négyzetgyökének értéke a hosszabb minta vízhez viszonyított sebességének függvényében

$n$ (db)	$m_0$ (g)	$n \cdot m_g$ (g)	$\Sigma m$ (g)	$G$ (N)	$F_f$ (N)	$F_k = G - F_f$ (N)	$(F_k)^{1/2}$ (N <sup>1/2</sup> )	$K \cdot v$ (m/s)
2		17,90	37,70	0,37		0,10	0,32	0,71
3		26,85	46,65	0,46		0,19	0,44	1,01
4		35,80	55,60	0,55		0,28	0,53	1,22
5	19,8	44,75	64,55	0,63	0,27	0,36	0,60	1,39
6		53,70	73,50	0,72		0,45	0,67	1,53
7		62,65	82,45	0,81		0,54	0,73	1,63
8		71,60	91,40	0,90		0,63	0,79	1,77

4. táblázat					
b/d	0	1	2	4	7
K	<b>1,11</b>	0,91	<b>0,85</b>	0,87	0,99

Eredeti elképzelésünk az volt, hogy a versenyzők leg-  
alább három azonos átmérőjű és különböző hosszúságú  
minta segítségével vizsgálják meg az alaki tényező alaku-  
lását. Amikor a feladatot magunk megoldottuk, láttuk,  
hogy a verseny 4 órás időtartama nem elég az elképzelt  
program végrehajtásához. Ezért csak két eltérő hosszúsá-  
gú mintával tűztük ki a feladatot.

Az elvégzett mérések eredményei jól mutatják a hen-  
ger hosszának hatását az alaki tényezőre. A mérés segít-  
ségével kapott alaki tényező értékek lényegesen nagyob-  
bak a 4. táblázatban szereplőknél. Ennek magyarázatát a  
vezérlő szárnyak felületén jelentkező súrlódási ellenállás-  
ban kereshetjük.

### A versennyel kapcsolatos tapasztalatok

A versenyzők pontszámai az elméleti fordulók után 300  
és 200 pont között oszlottak meg. Előfordult, hogy két-  
három versenyzőnek volt azonos pontszáma. A gyakor-  
lati forduló eredményei széthúzták a mezőnyt. Itt a pont-  
számok 200 és 32 között változtak.

Az elméleti és a gyakorlati forduló eredményeit figye-  
lembe véve az összesített pontszámok 480 és 244 között  
változtak. A korábbi versenyektől eltérően most a vidé-  
kiek voltak többségben.

A gyakorlati forduló alkalmával a következőket tap-  
asztaltuk:

- többen nem gondoltak arra, hogy a süllyedő henger  
sebessége csak egy adott út megtétele után állandósul, és  
nem vizsgálták ezt a kérdést,
- egyesek nem vették figyelembe a folyadékban fellé-  
pő felhajtóerőt,
- egyik versenyző sem vette figyelembe, hogy a  
süllyedő henger mellett a csőben felfelé áramlik a folya-  
dék,
- azok, akik adott körülmények között több mérést  
végeztek, a továbbiakban a kapott eredmények számtani  
közepét alkalmazták, nem vették észre az esetenként  
fellépő súrlódás hatását,
- volt olyan versenyző, aki cérnát kötött a vizsgált  
mintára, hogy ennél fogva emelje ki azt, és a cérna súrló-  
dása nehezen értékelhető eredményekhez vezetett,
- nem gondoltak a versenyzők a vezető szárnyakra  
ható felhajtóerőre,
- a kapott eredmények értékelésével csak néhányan  
foglalkoztak,
- a mérési jegyzőkönyvek leírásai alapján kevés mé-  
rést lehetett volna megismételni úgy, ahogy azt a ver-  
senyző végrehajtotta,

- csak néhányan írták le azt, hogy hogyan indították  
a mintákat,
- egyes esetekben a mérési eredményeket feltüntető  
grafikonokról nehezen derült ki, hogy mit is ábrázoltak,
- volt olyan versenyző, aki a mérési eredményeit fel-  
használva az  $F_k = Av^2$  alakban kereste a közegellenállási  
erő – sebesség kapcsolatot, és helyesen megkapta a  
négyzetes összefüggést.

### A 2003. évi verseny első tíz helyezettje az összesített eredmények alapján

1. SARKADI TAMÁS, Lovassy László Gimn. (Veszprém),  
480 pont;
2. BACKHAUSZ ÁGNES, Fazekas Mihály Fővárosi Gyak.  
Gimn., 466;
3. SZEKERES BALÁZS, Versegly Ferenc Gimn. (Szol-  
nok), 448;
4. KOMJÁTHY JÚLIA, Garay János Gimn. (Szekszárd),  
428;
5. SZILÁGYI PÉTER, Debreceni Egy. Kossuth L. Gyak.  
Gimn., 411;
6. BALOGH LÁSZLÓ, Fazekas Mihály Fővárosi  
Gyak. Gimn., 402;
7. BÓKA GERGELY, Versegly Ferenc  
Gimn. (Szolnok), 390;
8. VÍGH MÁTÉ, PTE Babits M. Gyak.  
Gimn. és SzKI (Pécs), 374;
9. HETTINGER TAMÁS, Eötvös  
József Gimn. (Budapest), 370;
10. SÁFÁR SIMON, Illyés  
Gyula Gimn. és SzKI (Budaörs), 339.

### Köszönetnyilvánítás

A verseny lebonyolításához szükséges anyagi háttérrel az  
Országos Közoktatási Szolgáltató Intézmény biztosította.  
Ezt ezúton is köszönjük.

A verseny lebonyolításához szükséges mechanikai  
munkák a BME Kísérleti Fizika Tanszék műhelyében ké-  
szültek. Az állványok, befogók, minták, függők stb. gyors  
és igényes elkészítéséért *Berende László*, *Horváth Béla* és  
*Halász Tibor* műszerészeket illeti köszönet.

A verseny lebonyolításához szükséges körülmények  
megteremtéséért – a mérőhelyek kialakításáért, a ver-  
senyzők kondíciójának megőrzéséhez felszolgált italok  
és szendvicsek beszerzéséért és elkészítéséért stb. –  
*Burján Lászlónénak*, *Kovács Ferencnének*, *Gál Bélá-  
nénak* és *Mezey Miklósnak* mondunk köszönetet. Rem-  
éljük, hogy munkájuk eredményeként a versenyzők  
jól érezték magukat a verseny alatt.

A feladat kitzésével, a verseny lebonyolításával kap-  
csolatos hasznos tanácsaiért *Tóth Andrásnak* és *Kál-  
mán Péternek* mondunk köszönetet.

A versennyel kapcsolatos adminisztrációs és gazdasági  
ügyek intézéséért *Köves Endrénét* és *Gál Bélánét* illeti  
köszönet.

Elismerés és köszönet illeti mindazokat (szülőket, ta-  
nárokat, barátokat stb.), akik segítettek a versenyzők  
munkáját és ezzel hozzájárultak a verseny sikeréhez.

Szerkesztőség: 1027 Budapest, II. Fő utca 68. Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

A Társulat Internet honlapja <http://www.kfki.hu/elft/>, e-mail címe: [mail.elft@mtesz.hu](mailto:mail.elft@mtesz.hu)

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Berényi Dénes főszerkesztő.

Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.

Nyomdai előkészítés: Kármán Tamás, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.

Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyzámlán.

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 600.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257