például egy tanszék minden dolgozója a közösen publikált munka 100%-át elszámolja önmagának, majd a tanszéki közös teljesítmény kiszámításához a dolgozók egyéni teljesítményét összegezve az adott publikáció már megsokszorozott értékkel jelenik meg.”

Felvetődik az az elvi kérdés is, hogy ha a sokszerzős műveknél az általános gyakorlat szerint minden egyes szerző egyformán osztozik a dicsőségben, akkor ez miért nem vonatkozik a fiaskóra is? Ismeretes, hogy a fénynél gyorsabb neutrínó megfigyelését leíró cikk mekkora izgalmat váltott ki, azonban amikor a mérés hibásnak bizonyult, csak az OPERA kísérlet témavezetője mondott le pozíciójáról, úgy látszik a többiek „okosak” maradtak! Nem véletlen, hogy a *Fizikai Szemlé*ben cikk [6] foglalkozott ennek kapcsán a „neutrínó áltudománnyal”!

Ezzel azonos hírértéke van annak is, hogy a magyar részecskefizikusok a tudománymetriai mutatók szerint a világ élén járnak [7]. A helyzet minősítésére a hazai szakirodalomból *Zolnai László* cikkének sorait érdemes idézni [8]: „A fentiekből nyilvánvaló, hogy a soktársszerzős tudományos teljesítmények értékelése nagyfokú körültekintést igényel, illetve e körültekintés hiánya nagy károkat okozhat, vagy nemkívánatos folyamatokat indíthat el. Végezetül engedtessék meg nekem, hogy a sokrésztvevős együttműködések értékelésének problematikájával kapcsolatban egy szociológiai meggondolást ismertessek: A tudománymetria alapvetően társadalomtudományi (szociológiai) jellegű. Ebből a szempontból a társszerzők számának átfogott intervalluma (1–2000) szintén említésre méltó. Gondoljuk meg, hogy hazánkban két ember már családot, tíz ember pártot, száz ember egyházat alapíthat. Miért gondoljuk azt, hogy ennyire különböző létszámú embercsoportok teljesítményeit ugyanazon egyszerű módszerrel leírva, minden esetben értelmes eredményre jutunk?”

A fentiek ismeretében Beck Mihály gondolatmenete alapján talán nem csak a humoristák vethetik fel a kérdést: piti kis Einstein a nyomorult tudománymetriai mutatóival kaphatna-e egyáltalán OTKA támogatást a hazai részecskefizika fellegvárában?

Irodalom

1. Csörgő Tamás: Hogyan csinálhatunk kvarkanyagból Higgs-bozont? – I. rész, *Fizikai Szemle 63/6* (2013) 205–209.
2. Trócsányi Zoltán, Horváth Dezső: Kérdés válasz nélkül. *Fizikai Szemle 63/7–7* (2013) 276.
3. Bencze Gyula: Ki a tudós? *Magyar Tudomány* 1993/11, 1363–1365.
4. Bencze Gyula: Ki a nagyobb tudós? *Természet Világa* 2005/11, 512–513.
5. Beck Mihály: Mit jelentenek a tudománymetriai számok? *Élet és Irodalom* 2006/31
6. Patkós András: Neutrínó-áltudomány – vélemény. *Fizikai Szemle 62/5* (2012) 152–153.
7. http://mta.hu/tudomany_hirei/magyar-fizikusok-az-idezettsegi-ranglista-elen-126682
8. Zolnai László: Tudománymetria és intézeti kollaboráció. *Fizikai Szemle 51/8* (2001) 264.

A FIZIKA TANÍTÁSA

HOGYAN TANÍTSUK KÖNNYEN, ÉRDEKESEN A FIZIKÁT?

Jendrék Miklós
Boronkay György Műszaki
Középiskola és Gimnázium, Vác

„Everything should be made as simple as possible, but not simpler.”[1] *Albert Einstein*

Ezt a címet adtam az 56. Fizikatanári Ankét műhelyfoglalkozásán megtartott előadásomnak, amelyben a mechanika egyes fogalmainak tanításával kapcsolatos tapasztalataimat osztottam meg kollégáimmal.

A dinamika témakörébe tartozó fogalmak, mennyiségek, törvények tárgyalása, tanítása nem tartozik a könnyű feladatok közé. A kölcsönhatás, tömeg, erő, erőtörvények, lendület, lendületmegmaradás, Newton-törvények, inerciarendszer kulcsszavakkal – és ezek tartalmával – általában a középiskolában találkoznak első ízben a túlzott motiváltsággal nem vádolható, többnyire szerény gondolkodási rutinnal és még szerényebb élettapasztalattal bíró diákok. A témakör tárgyalására fordítható idő csökkentése, és a kevésbé fontosnak vélt anyagrészek kihagyása, a tananyag felületes elsajátításához vezet. Viszont, ha legalább az érettségi szint elérése a cél, akkor a „játsszunk fizikát” mellett a „tanuljunk fizikát” elvnek is érvényesülnie kell.

Az alapvető mechanikai fogalmak megértése, alkalmazásukhoz szükséges kompetenciák kifejlesztése különösen fontos, hiszen ezekre épül az egész fizika. A dinamikához kapcsolódó témakörök elemzése, rendszerezése hasznos lehet nemcsak a fizikát tanítók, hanem a fizika iránt érdeklődők számára is.

[1] Mindent a lehető legegyszerűbben csináljunk, de annál egyszerűbben ne!

Dinamikai alapfogalmak, mennyiségek, törvények

A fontosabb mechanikai mennyiségek, fogalmak, törvényszerűségeket leíró modellek és ezek kapcsolatát az *1. ábra* szemlélteti. Az itt látható ágrajz egyes elemeivel foglalkozzunk részletesebben!

Newton I. törvénye (a tehetetlenség törvénye)

Látszólagos egyszerűsége ellenére az egyik legnehezebben elsajátítható törvény. Ha rákérdezünk az osztályban, hogy miről is szól, akkor esetleg még akad egy tanuló – bár erre is egyre ritkábban van példa –, aki képes arra, hogy az általános iskolában megtanult definíciót felidézze: „Egy test mindaddig nyugalomban van vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, míg mozgásállapotát környezete meg nem változtatja". Nem érdemes erőltetni, hogy ez most pontosan mit is jelent, mert szorgalmas diákunk legfeljebb újra végigdarálja a „szabályt".

A törvény valójában két fontos megállapítást tesz:

1. a testek természetes mozgásállapota az egyenes vonalú, egyenletes mozgás;
2. a mozgás fenntartásához nem kell külső hatás.

A külső hatás alatt a testek kölcsönhatását jellemző mennyiséget, az *erőt* értjük. Erő hatására deformáció vagy mozgásállapot-változás következik be ([4] 33. old.). A kettő nem zárja ki egymást (*1. ábra*), de a könnyebb megértés reményében külön szoktuk tárgyalni.

Newton I. törvényét tehetetlenség törvényének is hívják. A tehetetlenég szemléltetését célzó kísérletek sokaságával találkozhatunk nemcsak tankönyvekben ([1] 68. old., [2] 54. old.), hanem az Interneten is [3]. Ennek ellenére, a megfogalmazásból, de gyakran a kísérletekből sem derül fény a tehetetlenség és a tömeg kapcsolatára. Semmiből sem következik, hogy a nagyobb tömegű test tehetetlenebb, mint a kicsi. Súlytalanság állapotában lebegő elefánt épp olyan tehetetlen, mint egy bolha, hiszen egyikük sem képes mozgásállapotának megváltoztatására. A tankönyvekben is gyakran használt kifejezésekből, mint „a test meg akarja tartani előző mozgásállapotát", vagy, hogy „törekszik" a mozgásállapota megtartására, hamis tudatosságot sugall, nem fedi fel a tömeg fogalmának valódi tartalmát.

A tömeg

Ha valaki egy súlyos tárgyat vesz a kezébe, két ténnyel szembesül:

1. a test nehéz;
2. a test nehezen gyorsítható.

Az első megállapítás azt jelenti, hogy minden tömeggel rendelkező test részt vesz a gravitációs kölcsönhatásban. Nagyobb tömegű testre nagyobb gravitációs vonzóerő hat.

A második tulajdonság abban rejlik, hogy a nagy tömegű testet nehéz kedvünk szerint gyorsítani, megállítani vagy körpályára kényszeríteni. A jelenség még a tanulók számára sem ismeretlen, hiszen valamenynyien tapasztalhatták, milyen érzés tolni egy üres és egy megrakott bevásárlókocsit.

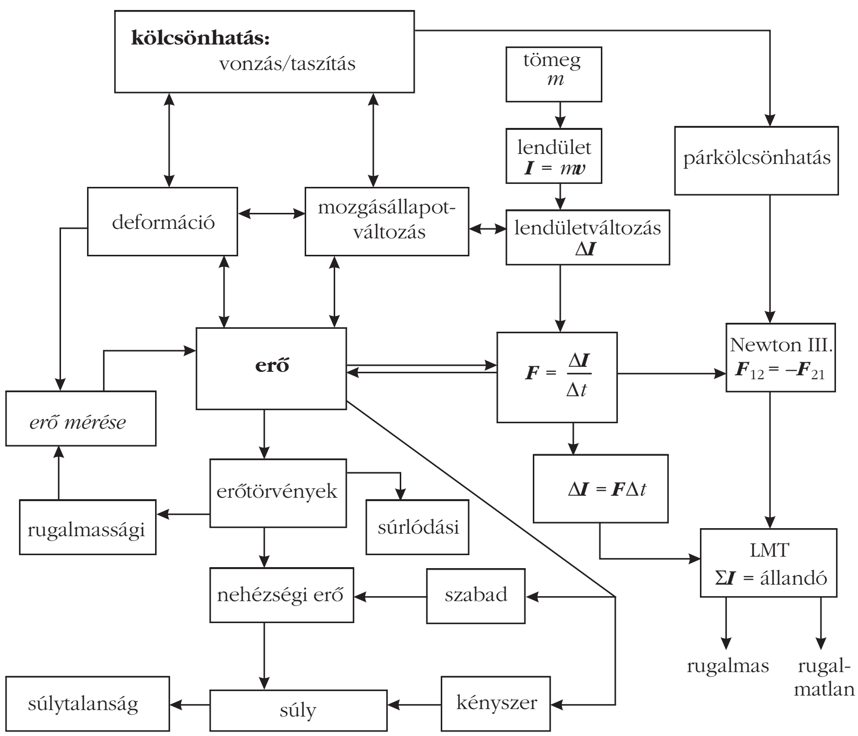
A tömeg két tulajdonsága egyenértékű (Eötvöskísérletek), mérésük leginkább a gravitációs kölcsönhatás alapján történik: mérleg, erőmérő (dinamométer, fürdőszobamérleg) segítségével. Ilyenkor felhasználjuk azt a tényt, hogy a nehézségi erő arányos a tömeggel: $G = mg$. Szabadesésnél: $mg = ma$. Az mg-ben szereplő m súlyos tömeg, az ma-ban tehetetlen. Az $a = g$ eredmény független a tömegtől, ami a tehetetlenségi és a súlyos tömeg egyenértékűségéből adódik: minél nagyobb a test tömege, annál nehezebb a test, de – természetesen – nehezebb a gyorsítása is.

Newton II. törvénye

Abból, hogy egy test nem gyorsul, ha nem hat rá erő, logikusan következik, hogy a gyorsuláshoz erőhatás szükséges. E két mennyiség kapcsolatát a Newton II. törvénye adja meg. Eszerint, a gyorsulás egyenesen arányos a testre ható erővel, és fordítottan arányos a test tömegével:

$$a = \frac{F}{m}.$$

1. ábra. Mechanikai fogalmak, mennyiségek.



Ebből végre kiderül, hogy az azonos mértékű gyorsításhoz a nagyobb tömegű testre nagyobb erővel kell hatni, vagy, hogy a nehezebb testet nehezebb gyorsítani:

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}.$$

A II. axiómát tömören úgy is megfogalmazhatjuk, hogy az erő a gyorsulás oka és feltétele. Ha látunk egy gyorsuló testet, biztosak lehetünk benne, hogy erő hat rá. Vagy, ha gyorsítani szeretnénk egy testet, akkor erőhatást kell rá gyakorolnunk.

Ha több erő hat egy testre, az úgy gyorsul, mintha csak egy erő, az erők eredője hatna rá:

$$\sum \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}.$$

Ezt szokás Newton IV. törvényének vagy a szuperpozíció elvének nevezni [5]. Ebből az következik, hogy a test gyorsulását megkaphatjuk, ha az egyes erők okozta gyorsulásokat összeadjuk. Más szavakkal: a testre ható erők külön-külön, egymástól függetlenül okoznak gyorsulásokat, és a tényleges gyorsulás ezek vektori összege. Speciális esetben, ha a testre ható erők eredője nulla, a test gyorsulása is zérus. Ezt az esetet – nem túl szerencsés módon, de elég gyakran – azonosítják a tehetetlenség törvényével [6].

Inerciarendszer

Ez az egyik nehezen elsajátítható fogalom. Pontos, érthető, ellentmondást nem tartalmazó megfogalmazása sem egyszerű. Tankönyveinkben a következő definíció olvasható: „Az olyan vonatkoztatási rendszereket, amelyekben érvényes a tehetetlenség törvénye, inerciarendszereknek nevezzük" ([1] 67. old., [2] 33. old., [4] 52. old.). Még egy idézet: „…inerciarendszerekben egy test mozgásállapota csak környezete hatására változhat meg" ([1] 67. old.). Az első megfogalmazás szerint inerciarendszerben Newton I. törvényének, míg az utóbbi alapján a második axiómának kell teljesülnie.

Az inerciarendszer pontos értelmezését *Ludwig Lange* adta meg 1885-ben. Eszerint inerciarendszernek tekinthető minden olyan vonatkoztatási rendszer, amelyben három, egy pontból egyidejűleg, különböző irányokban elindított és rögtön utána magára hagyott anyagi pont pályái egyenes vonalúak [7]. Sajnos, ez a definíció nem könnyíti meg a fogalom jobb megértését az ezzel első ízben találkozók számára.

Ezért, be kell érjük azzal a feltétellel, hogy az inerciarendszer nem gyorsulhat. Ebből ugyan nem derül ki, hogy mihez képest nem gyorsulhat a rendszer, ennek ellenére ez az a definíció, amely szinte minden tankönyvben szerepel [1, 2, 4]. Feladatok megoldásánál – gyakorlati okokból – Földhöz rögzített vonatkoztatási rendszert szoktunk választani, ami jó közelítéssel tekinthető inerciarendszernek ([1] 67. old., [2] 33. old.).

Bár a középiskolai fizika tanításában többnyire a nem gyorsuló vonatkoztatási rendszereket részesítjük előnyben, sok esetben éppen a gyorsuló rendszer megválasztása teszi lehetővé a feladat egyszerűbb megoldását. Ezért – amennyiben van rá mód (emelt szintű felkészítés, fakultáció, szakkör) – érdemes az utóbbival is foglalkozni.

Támaszkodjunk a szerény, de biztos tapasztalatra. A hirtelen gyorsuló vagy fékező jármű, az induló vagy megálló felvonófülke jó példa gyorsuló rendszerre. Sok tanuló hallott arról is, hogy a vadászpilótákat vagy az űrhajósokat milyen kiképzésnek vetik alá annak érdekében, hogy kibírják a nagy túlterhelést, a sok *g*-t.

Példák gyorsuló rendszerre

1. példa

Egy vasúti kocsiban van egy inga, amely kitér, ha a vonat gyorsul. Mekkora szöget zár be a függőlegessel az inga fonala a kitérített egyensúlyi helyzetben? Mekkora a fonálerő (*2. ábra*)?

Inerciarendszerből szemlélve a jelenséget azt látjuk, hogy az eredetileg függőleges helyzetű, egyensúlyban lévő inga felfüggesztési pontja gyorsulni kezdett. A fonálra akasztott test csak akkor tudja követni a kocsi mozgását, ha a fonal olyan helyzetet vesz fel, hogy a kötélerő vízszintes komponense biztosítani tudja a test megfelelő gyorsítását. A függőleges komponens egyensúlyt tart a nehézségi erővel. Mozgásegyenletből:

$$K_x = m\,a \quad \text{és}$$

$$\frac{K_x}{m\,g} = \operatorname{tg}\alpha$$

feltételből a kérdéses szög kiszámítható. A kötélerő:

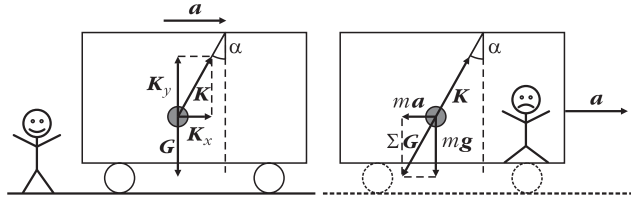
$$K = \sqrt{K_x^2 + K_y^2}\,.$$

Gyorsuló rendszerből nézve a kitérített testet egyensúlyi helyzetben találjuk. A nehézségi erőn kívül még egy, a mozgással ellentétes irányú tehetetlenségi erő is hat. Ezek eredője határozza meg a kötél helyzetét és a kötélerő nagyságát, vagyis:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a}{g} \quad \text{és}$$

$$K = \sqrt{(m\,g)^2 + (m\,a)^2}\,.$$

2. ábra. Gyorsuló rendszerek.



2. példa

Számítsuk ki egy gyorsulva emelkedő inga periódusidejét (*3.a ábra*)! Inerciarendszerből nézve a gyorsuló liftben a kötélerő bontásával: $K_x = K\sin\alpha = m\omega^2 x$; $K_y = K\cos\alpha$; $K\cos\alpha - mg = ma$ (ha fölfelé gyorsul a lift)

$$\frac{K_x}{K_y} = \mathrm{tg}\alpha = \frac{\omega^2 x}{a+g} = \frac{x}{l}\omega = \sqrt{\frac{a+g}{l\cos\alpha}}.$$

Kis szögeknél $\cos\alpha \approx 1$. Ebből:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{a+g}}.$$

Gyorsuló rendszerből nézve ugyanezt az eredmény megkapjuk egy lépésben eredő gyorsulással számolva:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{a+g}}.$$

Gyorsuló rendszerből nézve hasonló megoldást kapunk a vízszintesen gyorsuló inga esetén is (*3.b ábra*):

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}},\ \text{ahol}\ g' = \sqrt{a^2+g^2}.$$

A megoldás inerciarendszerből nézve meglehetősen problematikus.

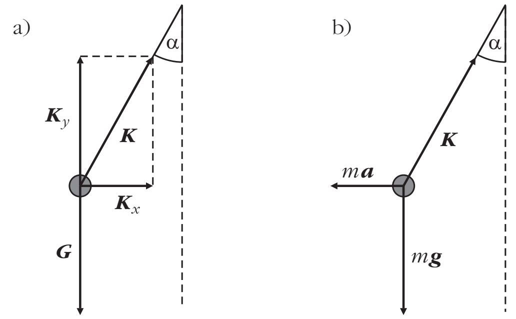
Vannak más jelenségek is, amelyeket tehetetlenségi erők bevonásával érdemes magyarázni. Ilyen például a hirtelen megrántott, levest tartalmazó tányér vagy gyorsuló akvárium esete. Itt – a vízszintesen gyorsuló ingához hasonlóan – a gravitációs mezővel egyenértékű hatás lép fel. A Föld vonzásából származó „valódi” gravitáció és a tehetetlenségi erő eredője határozza meg a megfigyelhető folyadékfelszín alkotta lejtő aktuális dőlésszögét. Sajnos, az általános relativitáselméletből ismert ekvivalencia, illetve a kovariancia elve [8] – a tehetetlenségi erőkhöz hasonlóan – meghaladja a középiskolai szintet. Ennek ellenére érdemes az érdeklődő diákok figyelmét ezekre a fogalmakra is felhívni.

Lendület, lendülettétel

Mit értünk mozgásállapot alatt? A mozgástanban ez a sebesség. Mivel egy kölcsönhatás következménye a sebességen kívül nagymértékben függ a testek tömegétől, ezért a dinamikában a mozgásállapotot lendülettel (impulzussal) jellemezzük: $I = mv$. Állandó tömeg esetén a lendületváltozás a sebességváltozásban nyilvánul meg: $\Delta I = m\Delta v$. Δt idő alatt a lendületváltozás:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = m\frac{\Delta v}{\Delta t} = ma = F.$$

Tehát lendületváltozással erőhatás érhető el, ami annál nagyobb, minél kisebb a lendületváltozás időtartama. Ha földhöz csapunk egy kemény diót, az nagy valószínűséggel darabokra törik. A cselekvésünk eredményessége két tényezőtől függ: mekkora lendületváltozást szenved a dió becsapódáskor, és mennyi idő alatt következett be ez a lendületváltozás. Az időtényező kulcsfontosságú: szilárd, kemény felület rövid idő alatt fékezi le a testet. Kölcsönhatás következtében fellépő deformáció hatására a rideg testek eltörnek. Mondhatunk ellenpéldákat is, amikor a kölcsönhatás időtartamának (gyakran tudatos) növelése csökkenti a kölcsönhatás során ébredő erőhatást. Gondoljunk a légzsák vagy a biztonsági öv szerepére, vagy arra, hogy mi lenne, ha magasugrás során nem szivacsra, hanem betonra érkeznénk. A dió sem a hajítás során tört el, pedig ugyanakkora volt a lendületváltozása gyorsításkor, mint fékezéskor.



3. ábra. Függőlegesen (a) és vízszintesen (b) gyorsuló inga.

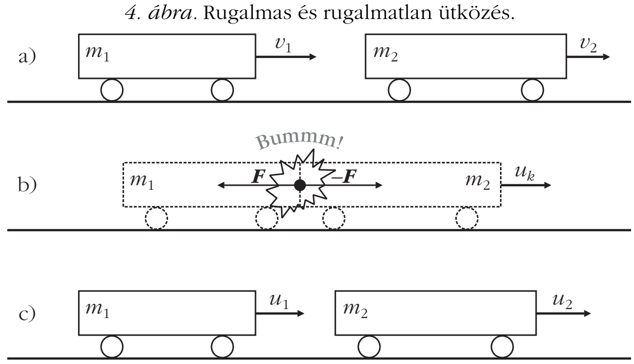
Az erő képletet ΔI-re rendezve megkapjuk a lendülettételt: $\Delta I = F\Delta t$. Egy test lendületének megváltoztatásához nem elég, ha erővel hatunk rá. Legalább ilyen fontos a kölcsönhatás időtartama. Például súlylökéskor csak akkor számíthatunk megfelelő eredményre, ha a kellő fizikai erőnlét mellett elsajátítjuk a minél hosszabb kölcsönhatási időt biztosító dobástechnikát. Sok tehetetlenséget szemléltető kísérlet alaposabb elemzésére is kiválóan alkalmas a lendülettétel [9].

Lendületmegmaradás

A lendülettételből következik, hogy erő hiányában a lendület nem változik, tehát állandó. Ez lényegében a dinamika I. törvénye. A lendületmegmaradás tétele (LMT) ennél többet jelent.

Vizsgáljuk meg két kiskocsi ütközését (*4. ábra*). Az egyszerűség kedvéért legyen mozgásuk azonos irányú, $v_1 > v_2$. Ütközés pillanatában a hatás-ellenhatás törvény értelmében a két test között azonos nagyságú, ellentétes irányú erők hatnak: $\boldsymbol{F}_{1,2} = -\boldsymbol{F}_{2,1}$. Mivel a

4. ábra. Rugalmas és rugalmatlan ütközés.



5. ábra. Newton-bölcsők.

kölcsönhatás időtartama mindkét test számára azonos, így $m_1 \Delta v_1 = -m_2 \Delta v_2$. Ha az ütközés során a testek együtt maradnak (*4.a–b ábra*), vagy kezdetben együtt haladtak, és azt követően váltak külön egymástól (*4.b–c ábra*), akkor az ilyen kölcsönhatást tökéletesen rugalmatlannak nevezzük. Ha a kölcsönhatás során nem keletkezik maradandó deformáció, azaz a testek az ütközést követően mechanikai energiaveszteség nélkül külön-külön haladnak tovább, a kölcsönhatás tökéletesen rugalmasnak tekinthető (*4.a–b–c ábra*). Ilyenkor:

$$m_1 \left(u_1 - v_1\right) = -m_2 \left(u_2 - v_2\right),$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2,$$

ahol v és u a testek kezdeti és végsebességét jelöli. Rugalmatlan ütközésnél:

$$m_1 \left(u_k - v_1\right) = -m_2 \left(u_k - v_2\right),$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = \left(m_1 + m_2\right) u_k,$$

ahol u_k az ütközés közben kialakult közös sebesség:

$$u_k = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

amely megegyezik az $m_1 + m_2$ össztömegű pontrendszer tömegközéppontjának sebességével. Mivel a tömegközéppont sebességét csak külső erők képesek megváltoztatni, így nem meglepő, hogy belső erők hatására a lendületösszeg állandó marad. Rugalmas ütközésnél a kölcsönhatás utáni sebességek kiszámíthatók:

$$m_1 \left(u_1 - v_1\right) = -m_1 \left(u_k - v_1\right),$$

$$u_1 = 2\, u_k - v_1 = 2\, \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_1$$

és hasonlóan

$$u_2 = 2\, u_k - v_2 = 2\, \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} - v_2 .$$

Számtalan példát lehetne felsorolni a lendületmegmaradás megnyilvánulására. Most csak kettőt említek. Ha függőlegesen szilárd felületre esik egy pohár, vagy a már korábban említett dió és számtalan különböző méretű darabra törik, a szilánkok az egész padlót beterítik, ami bosszantó, de törvényszerű: a még sértetlen tárgy – esés közben – nem rendelkezett vízszintes lendületkomponenssel, ezért a padló síkjában szétrepülő darabok összlendületének is nullának kell lennie. Ez a feltétel nem valósulhat meg úgy, hogy minden szilánk egy irányba, például a kuka felé szálljon.

Newton-bölcső

A lendületmegmaradására szintén jó példa a Newton-bölcső. Azonos hosszúságú fonalakra bifilárisan felfüggesztett golyók egy szinten, szorosan egymás mellett helyezkednek el (*5. ábra*). Ha az egyik szélső golyót kitérítjük, majd elengedjük, az ütközik a nyugvó golyósorral. A felfüggesztett golyók számától függetlenül mindig csak annyi golyó lendül ki, ahány a kitérés után ütközött az ingasorral. A meglepő viselkedés magyarázata abban rejlik, hogy a lendület-megmaradás törvényen kívül a mechanikai energiamegmaradás is teljesül:

$$m_1 v_1 = m_2 v_2,$$

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 .$$

Az egyenletrendszer megoldása: $m_1 = m_2$. Tehát a magyarázat nem túl bonyolult, de nem várható el, hogy a tanulók ezt megtegyék az energiamegmaradás-törvény ismerete nélkül ([1] 80. old.).

Összegzés

A dinamika megalapozása fontos, ugyanakkor nehéz feladat. Tanulócsoporttól függően gondos mérlegelés tárgya a megfelelő mennyiségű információ kiválasztása, korrekt módon történő tárgyalása. A definíciók helyénvaló alkalmazásával, egyszerű, de látványos kísérletekkel, jó példákkal elősegíthető a szövevényes fogalom tárában rejlő tartalom jobb megértése, a használható tudás megszerzése.

Irodalom

1. Nagy A., Mező T.: *Fizika 9*. Maxim Könyvkiadó, Szeged (2008)
2. Halász T.: *Fizika 9*. Mozaik kiadó, Szeged (2003)
3. http://www.youtube.com/watch?v=T1ux9D7-O38
4. Gulyás J., Honyek Gy., Markovics T., Szalóki D., Varga A.: *Fizika Mechanika*. Műszaki könyvkiadó, Budapest (1999)
5. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_GEFIT6101/sco_02_01.scorm
6. http://www.sulinet.hu/tovabbtan/felveteli/ttkuj/fizika/dinamika/dinamika.html
7. http://www.google.hu/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0CF0QFjAI&url=http%3A%2F%2Fmembers.iif.hu%2Frad8012%2Fkozegyfiz%2Fh1-newton.doc&ei=yX7QUfmmMMORtQbsi4Fw&usg=AFQjCNGPsEQ9MnCsbEqOKtc0-8oN2BM4Ew&bvm=bv.48572450,d.Yms
8. A. Hudson, R. Nelson: *Útban a modern fizikához*. LSI Oktatóközpont, Budapest (1994) 1010., http://dept.phy.bme.hu/vik_fiz2_peldak/HUDSON%2041%20fej%201011-1017.pdf
9. Öveges J.: *Játékos fizikai kísérletek*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (1995) 5–16.