

## Hogyan lehet eredményesen tanulni a fizika tantárgyat?

*Szinte közhelyszámba megy, hogy a fizika az egyik legkevésbé kedvelt a tantárgyak között. Számtalan attitűdvizsgálat és egyéb empirikus adatgyűjtés mutatott már rá erre a rendkívül szomorú tényre.*

**A**z Országos Köznevelési Intézet keretében szervezett obszervációs vizsgálatok esetében, ahol a tanárokat tantárgyuk helyzetével kapcsolatban is kérdeztük, ugyancsak lehangoló eredmények születtek. Ezekről a vizsgálatokról részletesen be is számoltunk, többek közt az Iskolakultúra hasábjain (2004/1. és 2005/3.), továbbá a 3. és a 4. Országos Neveléstudományi Konferenciákon. Írásainkban és különböző előadásainkban minden esetben megfogalmaztuk, hogy a tantárgynak alapvető módszertani megújuláson, szemléletváltáson kell keresztülmennie, ha nem akarjuk azt, hogy még nagyobb problémák elé kelljen néznünk.

A fizika tanítása és tanulása rendkívül összetett kognitív folyamat. Nagyon sokféle forrásból származnak az ismeretek, és rendkívül széleskörű tevékenységrendszert igényel mind a tantárgy tanítása, mind pedig a tanulása. Ezek dióhéjban a következőket jelentik: könyvek, táblázatok, ismeretterjesztő folyóiratok, elektronikus eszközök (TV, rádió, Internet) felhasználása, különböző jelenségek megfigyelése, kísérleti szituációk előállítása és megfigyelése, kvantifikálás, matematikai eszközök használata, az adott jelenség vizsgálata szempontjából megengedhető egyszerűsítések megtétele, lényeges és lényegtelen dolgok elkülönítése, modellalkotás stb.

Mi a tanulás konstruktivista didaktika tételeit tartjuk magunk számára elfogadhatónak, és gyakorlati tanácsainkban is ezeket vesszük figyelembe.

A gyerekek fizikai jellegű tudásrendszereit vizsgáló, konstruktivista szemléletű kutatások eredményei, majd az azokra alapozott gyakorlati empirikus vizsgálatok alapján a fizika tanítása és tanulása során a legfontosabb momentumokat a következőkben foglalhatjuk össze:

- A tanulók igyekezzenek megérteni az ismereteket, a tananyagot.
- A megértés érdekében az önálló tanulás során próbálják meg átgondolni, hogy eddig mit tudtak arról a témáról, amelyről éppen tanultak!
- A tanulás során a tanulók gondolják végig, hogy mennyire elfogadható számukra az éppen megtanulandó új információ!
- Létezett-e a tudomány történetében is a tanulókéhoz hasonló elképzelés? Ha igen, akkor hogyan és miért fogadták el a tudósok azt, amit a tanulóknak éppen meg kell tanulniuk? Milyen empirikus tények támasztják alá az éppen tanított elméletet? A tudomány története során több tényanyag gyűlt össze, vagy éppen csak a kérdésfeltevés módja változott-e meg az adott elméleti rendszer esetében?
- Nagyon fontos, hogy a tanulók megtalálják a tanulnivaló és más, korábbi ismereteik közötti kapcsolatokat. Keressenek példákat – vagy ellenpéldákat – addigi tapasztalataikból, keressenek hasonló eseteket, jelenségeket, összefüggéseket, analógiákat!
- Keressenek a tanulók az új ismeretekkel kapcsolatban minél több alkalmazási lehetőséget! Hol jelentkezik, az élet mely területén fontos az elsajátítandó, új tudás?

– Oldjanak meg a tanulók feladatokat a témában, esetleg saját maguk is kitalálhatnak ilyeneket.

– Ha már úgy látják a tanulók, hogy jól megértették az új tananyagot, s el is fogadják, akkor bizonyos, fontosabb részeit (például a meghatározásokat, a fogalmak jelentését, a törvények szövegét) tanulják meg kívülről is.

A felsoroltak közel sem teljeseek, de a tanulási folyamat sokrétűségéből mindenképpen ízelítőt nyújtanak, egyben rámutatnak a fizika tantárgy tanításában és tanulásában rejlő nevelési, komplex személyiségfejlesztési lehetőségekre egyaránt, melyeknek hangsúlyosaknak kell lenniük a tanárképzésben is. A már gyakorló pedagógusoknak – mintegy az önreflexió részeként, minden egyes új anyag rész feldolgozását követően, de mindenképpen az esetleges témazáró dolgozat megírása előtt – célszerű végiggondolniuk, hogy a felsorolásban említett pontokat ténylegesen végigkövették-e tanítványaival. De jó, ha maguk a tanulók is megismerik a fent említett pontokat, és azok figyelembe vételével szervezik tanulási folyamataikat.

A tanulók számára is nyilvánvalóvá kell tennünk azokat a fizika tanulása során előforduló jellegzetes félreértéseket, melyek megnehezítik a tanulást. Így saját maguk tudják kontrollálni tanulási folyamataikat, ellenőrizni a megértést.

### A mozgásokról alkotott elképzelések

Sokszor gondot okoz az iskolában tanult newtoni mozgásleírás elfogadása. Sok esetben hallunk olyan válaszokat, amelyek nagyon hasonlítanak az ókori görög tudós, *Arisztotelész* elképzeléseihez. A következő táblázatban az arisztotelészi mozgásfelfogást hasonlítjuk össze a napjainkban használt newtoni felfogással:

1. táblázat.

	<i>Arisztotelész</i>	<i>Newton</i>
1.	Az a test, amelyet más test nem mozgat, fokozatosan megáll, ha előtte mozgott.	Ha egy testre nem hat más test, akkor vagy helyben marad, vagy tovább mozog.
2.	A testek mozgása azért szűnik meg, mert „ilyen a természet rendje”.	A testek mozgásának megszűnését testek okozzák, nekiütőknek, súrlódnak vele, akadályozzák a mozgást (gáz, folyadék), folyamatosan érintkezve a testtel lassítják azt.
3.	A mozgás fenntartásához egy másik test hatása, erő kell.	A mozgás fenntartásához nem szükséges egy másik test hatása.
4.	Mínél nagyobb erő hat a testre, annál nagyobb sebességgel mozog.	A testre ható erő növeli, vagy csökkenti a test sebességét, és/vagy megváltoztatja a mozgás irányát.
5.	A nehezebb test ugyanolyan magasról elengedve hamarabb ér földet.	A testek légüres térben ugyanolyan magasról egyszerre elengedve egyszerre esnek le.
6.	Az égi objektumok természetes mozgása az egyenletes körmozgás.	Minden test esetében az egyenes vonalú egyenletes mozgás a „természetes”.
7.	Az egyenletes körmozgás fenntartásához nem szükséges erő.	A centripetális erő szükséges hozzá.
8.	Az alma szabadesése természetes mozgásnak tekinthető, hiszen a nehéz testek lefelé esnek, míg a könnyű testek felfelé mozognak.	A könnyű és a nehéz fogalma a testek egy másod viszonyított sűrűségével kapcsolatos.
9.	A Hold számára az egyenletes körmozgás a természetes mozgás, mivel az égi objektumok számára ez a természetes mozgásforma.	A Hold a Nap és a Föld hatására mozog pályáján.

A tanulók a következő feladatot kaphatják: Gondolják végig a táblázatban felsorolt kilenc állításpárt, majd azt, hogy ők hogyan gondolkoznak a mozgásokkal kapcsolatban!

Amennyiben a kollégák úgy találják, hogy inkább arisztotelészi módon, akkor a tanulók próbálkozzanak meg néhány kiválasztott – esetleg már a fizikaóráról ismert – jelen-

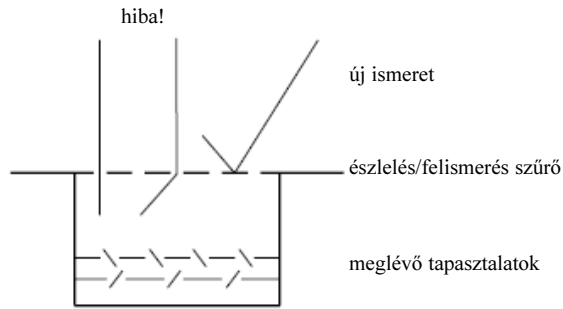
séget mindkét módon értelmezni! Melyik elméletet tudják a tanulók több jelenség magyarázatához használni?

Például: ha egy testet feldobunk, milyen erők hatnak a pálya egyes pontjaiban a testre? (A közegellenállástól tekintünk el!) A megoldás: a testre a pálya minden pontjában csak a nehézségi erő hat, mely a Föld középpontja felé mutat. Akkor is, amikor a test fölfelé mozog, a pálya tetején, a legmagasabb pontban is, és akkor is, amikor a test visszafelé, a felszínhez közeledik.

Amennyiben a tanulók nem így gondolják – például a test felfelé való mozgásakor szerintük felfelé irányuló erő hat a testre –, akkor elképzeléseik még hasonlatosak a táblázatban Arisztotelész nevéhez köthető elképzelésekhez. Ugyanis ténylegesen van a mozgás leírásában egy olyan vektor, ami felfelé mutat, amikor a test felfelé megy, de az a sebességvektor!

A fent említett kérdéseket feltettem első évfolyamra járó főiskolai hallgatóknak (10 fő) a tanév elején, amikor mechanika tanulmányaikat megkezdték, majd ugyanezeket a tanév végén is, de kicsit más formában, mégpedig úgy, hogy csak az arisztotelészi nevezett állítások szerepeltek, és azt kértem, hogy írják le véleményüket azokkal kapcsolatban. A tanév végén összehasonlíthatták, hogy miként gondolkodtak a mozgásokkal kapcsolatban a tanév elején, illetve a végén, szembesülhettek azzal, hogy milyen mértékben változott meg gondolkodás módjuk. Az eredmény röviden az volt, hogy a főiskolai tanulmányokat elkezdő hallgatók is rendelkeznek arisztotelészi jellegű elgondolásokkal, és ez sajnos az egy éves mechanika kurzus hatására nem sokat változott. Ezen ők döbrentek meg legjobban.

Az emberek jelentős része, és ebben sajnos nem különböznek a fizika szakra járó főiskolai hallgatók sem, nem vagy csak nagyon nehezen képes elfogadni elsősorban *Newton II. törvényét*, miszerint az erő a gyorsulást okozza, nem pedig magáért a test mozgásáért felelős. Ezt a helyzetet nagyon jól ábrázolja a *Feketéné Szakos Éva* 2002-es tanulmányában található „Szelektív visszaverődés” című ábra. (1. ábra)



1. ábra

A Newton nevéhez kötődő első és második axióma annyira furcsa a legtöbb ember számára, hogy gyakorlatilag úgy tekinthető, hogy „visszapattannak” ezek a gondolatok.

### Gyors a mozgás, vagy gyorsuló?

A sebesség fogalma általában könnyen értelmezhető, hiszen mindnyájan utazunk különböző közlekedési eszközökön, és tudjuk, hogy a 40 km/óra sebesség elég lassú mozgást jelent, míg ha az autópályán valaki 150 km/óra sebességgel megy, akkor az már száguldás. A második autó igencsak gyors. De a 150 km/óra a sebességét jelenti! A gyorsulás fogalma viszont arról ad felvilágosítást, hogy milyen gyorsan, milyen rövid idő alatt változik meg a mozgó test sebessége. Vagyis a sebességváltozással kapcsolatos! Az

egy-egy autók esetében ilyen jellegű mennyiséget is meg szoktak adni. Nézzük a következő esetet!

Egy Lada Szamara gépkocsi körülbelül 17s alatt gyorsul fel álló helyzetéből 100 km/óra-ra, míg egy sportkocsi esetében erre csak körülbelül 4s-ra van szükség. Számítsuk ki a gyorsulásokat a két esetben! Az adatok:

$$v = 100 \text{ km/óra} \sim 27,7 \text{ m/s}, \quad t_1 = 17 \text{ s}, \quad t_2 = 4 \text{ s.}$$
$$v = a \cdot t \rightarrow a = v / t$$

A Lada Szamara esetében a kocsi gyorsulása  $1,63 \text{ m/s}^2$ , míg a versenyautó esetében  $6,925 \text{ m/s}^2$ . De a végsebesség ebben a feladatban mindkét gépkocsinál azonos, csak a versenyautó azt hamarabb éri el!

Sok esetben találkozunk olyan tanulói kijelentésekkel is, hogy amennyiben egy jármű gyorsan megy, nagy sebességet képes elérni (például repülőgép, szupergyors vonat), akkor abban biztosan nagy erő hat az utasokra. Előfordul olyan megközelítés is, hogy az illető tanuló már hallott a tehetetlenségi erőkről, és ezek hatását feltételezi. Holott azok csak kifejezetten gyorsuló rendszerekben lévő testekre hatnak. De a példákban nem erről van szó.

Ezek a kijelentések szintén Newton II. törvényének meg nem értéséből adódnak. Vagyis ezek a gyerekek valójában nem tették világmagyarázatuk részévé a newtoni fizika alaptételeit.

### Meleg, vagy magas hőmérsékletű?

A hő és a hőmérséklet fogalmakat régebben nem különböztették meg ilyen élesen. Egyszerűen csak azt mondták, hogy meleg van vagy hideg van. Csak a 17. században kezdett differenciálódni a fogalom egy extenzív (hő) és egy intenzív (hőmérséklet) jellegű mennyiségre. *Galilei* alkotta meg az első hőmérőt. A hőt ez után sokféleképp értelmezték, melyekhez hasonlók a tanulók elképzeléseikben is megtalálhatók. Ilyenek lehetnek a következők:

– A hőt valamiféle olyan lényeknek tartották, mely a testhez tartozik. Ez a régi hőanyagelmélet alapja.

– A hőmérséklet egyfajta anyagi tulajdonság, holott ez egy állapotjelző.

– A termikus egyensúly esetében is különböző a testek hőmérséklete, mely függ az anyagi minőségtől. Könnyen meggyőződhetünk, hogy nem így van, elég megmérni a különböző testek hőmérsékletét egy normál szobában. (Nem a konyhában, ahol ott van a hűtőszekrény vagy esetleg főzés is történik.)

– Melegítés hatására minden esetben növekszik a testek hőmérséklete. Ez a halmazállapot-változások esetében nem igaz!

### Hőtan a kémiakönyvekben

Az I. főtétele kapcsán felmerül egy meglehetősen mély értelmezést igénylő gond, amely a középiskolai fizika és kémia tantárgyak tanulása során körülbelül azonos időben jelentkezik. Ez a Hess-tétel. Sokan nem veszik észre, de a Hess-tételnek a kémia könyvekben szokásos megfogalmazása nem pontos, s így ellentmondás jöhet létre a fizika és kémia tanulmányok között. A Hess-tételben szabatos értelmezés esetén egy másfajta fizikai mennyiség, az entalpia szerepel – mely nem tananyag –, és nem a reakcióhő, ahogyan ez a hibás megfogalmazásokban található. A reakcióhőre a Hess-tétel nem igaz. A kémiai folyamatok során munkavégzés is lehetséges, és ezért indokolt az entalpia használata. A hő és a munka nem állapotfüggvények, a Hess-tétel gyakori megfogalmazásai szerint a hőnek állapotfüggvénynek kellene lennie, ami csak akkor lehetséges, ha nincs munka-

végzés. A kémiakönyvek fogalomhasználatában egy másik baj is felmerül: „hőenergiát” írnak gyakran a hő helyett.

Gondot jelenthet a kémiaórákon szintén előszeretettel alkalmazott energiaminimum elve, mely valójában a szabadentalpia minimumát jelenti, mely azonban szintén nem tananyag.

### Mit állít elő az erómű?

„Az erős embernek sok energiája van.” „Az energiát az eróművekben termelik, majd a fogyasztókhoz vezetik, akik azt elhasználják.”

Talán ismerősen csengenek ezek a mondatok. Több fontos dologról is szó van. Az egyik az, hogy a köznap életben sokszor azonos értelemben használjuk az erő és az energia fogalmakat. Pedig nem ugyanazt jelentik.

Az erő a testek mozgásállapotának megváltoztatásáért felelős, mely nem önmagában létező valami, hanem a testek vagy mezők kölcsönhatására jellemző. Az egyszerű ábrázolások során nyíllal szoktuk jelölni, ezzel is jelezve vektorjellegét, ami természetesen nem azt jelenti, hogy a testet indíantámadás érte.

Az energia viszont egy olyan skaláris fizikai mennyiség, mely a különböző kölcsönhatások során megmarad ugyan, de eközben jellege megváltozik. Megváltoztatja a testek állapotát, például az elektromos energia hatására világítani és melegedni fog az izzólámpa. Vagyis az elektromos energia átalakult a látható és nem látható elektromágneses sugárzás, továbbá az izzó és a levegő részecskéinek mozgási energiájává. Megmaradt, mégsem tudjuk összeszedni ismét, és visszatáplálni az elektromos hálózatba. Ezért kell az eróműben például a kémiai kötések energiáját átalakítani elektromos energiává.

Tehát az eróműnek valójában nincs sok köze az erőhöz, energiát sem állít elő. De akkor mit tesz? Energiát alakít át egy adott formából egy másfajta formára, mely általában villamos energia. Azért a villamos energiát, mert az vezetékeken sok helyre eljuttatható, szétosztható és különböző berendezésekben átalakítható.

Az erős embereknek is valójában az olyan energiája sok, amit át tudnak alakítani különböző célra. Például több nehéz testet tudnak felemelni, több munkát tudnak végezni.

### Sűrű az anyag, vagy nagy a sűrűsége?

Az a kérdés, hogy „Mennyi anyag van egy pohárban?”, sokak számára nem ugyanazt jelenti. Van, aki a pohárban lévő anyag tömegét, míg van, aki a térfogatát érti rajta. Vagyis a tömeg és a térfogat fogalom időnként keveredik. Ebben az esetben valójában pontosabban kell feltenni a kérdést. Vagy úgy, hogy „Mekkora a pohárban lévő anyag tömege?”, illetve „Mekkora a pohárban lévő anyag térfogata?”. A térfogat a testek térben elfoglalt helyét jellemzi. A tömeg már bonyolultabb fogalom, hiszen jelenti a testben lévő anyag mennyiségét, mely arányos a testet felépítő részecskék darabszámával, de jellemző a test tehetetlenségére és a gravitációs mezővel való kölcsönhatásának erősségére is, aminek taglalásába most nem mélyedünk el.

A sűrűséget a tömeg és a térfogat hányadosaként definiáljuk. A sűrűség fogalma tehát egy meghatározás, melyet meg kell tanulni. Általában a meghatározásokat meg kell tanulni, de a fizikatudásunkban valójában az a hasznos elem, ha azt értelmesen alkalmazni is tudjuk. Nézzünk erre példát a sűrűség esetében! A fogalom tisztázásához a gyerekek számára következő kérdések, tevékenységek ajánlhatók:

Melyik anyagot nevezik a hétköznapi életben sűrűbbnek, a vizet vagy az olajat, és miért? Kérdezz meg néhány embert Te is a környezetedből! Észre fogod venni, hogy ebben a kérdésben megoszlanak a vélemények. Van, aki a vizet, de valószínűleg többen az olajat tartják sűrűbbnek. Akik az olajat tartják sűrűbbnek, azok valószínűleg olyasmit válaszolnak, hogy az nehezebben folyik, mint a víz.

A víz sűrűsége  $1 \text{ g/cm}^3$ , az olaj sűrűsége pedig  $0,91 \text{ g/cm}^3$ , vagyis az olaj sűrűsége a kisebb. Ennek következtében az olajcseppek úszkálnak a húsleves tetején, nem pedig a leves aljára süllyednek. Ezt is mindenki tudja. Akkor miért e furcsa válasz?

Ennek az az oka, hogy a hétköznapi életben a sűrűség fogalma keveredik egy másik fogalommal, ami a folyadékok folyósságával kapcsolatos. Ennek a fogalomnak viszkozitás a neve. Az a folyadék, amely nehezebben folyik, nagyobb a viszkozitása, arra mondják, hogy sűrűbb. Vagyis a hétköznapi életben használatos sűrű fogalma nem azonos a tömeg/térfogat módon meghatározott tömegsűrűség fogalmával.

### Mi folyik a vezetékben?

Mire a tanulók az iskolában elkezdik az elektromosságtan tanulását, valójában már nagyon sok közvetlen tapasztalatuk, ismeretük van a témával kapcsolatban. Sokan gond nélkül kezelnek elektromos eszközöket (elektromos kapcsoló, távirányító, vezetékes és mobiltelefon, TV stb.). Többen részt vettek akár elektromos szerelésekben is (elemcsere különböző játékokban, távirányítóban stb.). Tudják a tanulók, hogy a konnektorban  $230 \text{ V}$  feszültség van, továbbá hogy a működő elektromos berendezésekkel óvatosnak kell lenni. A különböző fogyasztókon megtalálhatók bizonyos paraméterek, melyek közt a készülék jól működik, ilyenek a feszültség, áramerősség, teljesítmény.

Az elektromosságtan témakörében használatos két legfontosabb fogalom az áramerősség és a feszültség. Fontos, hogy a tanulók jól megértsék ezek jelentését!

Tapasztalatunk az, hogy a tanulók, még a főiskolai fizika szakos hallgatók is, gyakran összekeverik e két fogalom jelentését, illetve szinte azonos értelemben használják azokat.

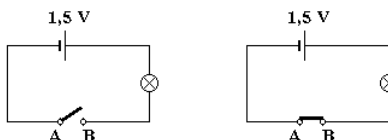
Az elsődleges fogalom a feszültség, mely a mechanikában megismert munka fogalmából származik. Ha egy vezető két végpontja között feszültség van, csak akkor keletkezik áram! Különben nem folyik az áram.

Hogyan változik az áramerősség egy vezető huzalban? Kezdetben nulla az áramerősség, majd megindulnak a töltések, fémes vezetőben az elektronok, vagyis egyre nagyobb lesz az áramerősség, míg végül beáll valamilyen értékre. Ez a folyamat valójában a másodperc tört része alatt játszódik le, általában nem is szoktak foglalkozni vele. Miért érdekes akkor számunkra?

Azért, mert valójában az állandó elektromos mezőben, az állandóan ható elektromos erő hatására a töltéseknek gyorsulni kellene Newton II. törvénye értelmében. Egy rövid ideig gyorsulnak is, de tovább nem, mivel folyamatosan energiát adnak le. A különböző elektromos eszközeinkben mi ezt hasznosítjuk!

Azt, hogy a tanulók miként gondolkodnak az áramerősség és a feszültség fogalmával kapcsolatban, a következő kérdés segítségével szoktuk vizsgálni:

Becsüljétek meg, hogy melyik esetben körülbelül mekkora feszültség mérhető az A és a B pontok között, vagyis a kapcsoló nyitott, illetve zárt állásakor.



2. ábra

### A feszültség mérése a kapcsoló nyitott és zárt állásakor

Amennyiben a tanuló úgy gondolja, hogy a kapcsoló zárt állásakor mérhető nagyobb feszültség, akkor keveri a feszültség fogalmát az áramerősség fogalmával. Mi-

vel a kapcsoló zárt állása azt jelenti, hogy a két pont egy kis ellenállású fémes vezetővel van összekötve, a két pont gyakorlatilag ekvipotenciális, azaz azonos potenciálú helyek, amelyek között nincs feszültség. Ellenben áram valóban folyik, hiszen ez zárja az áramkört.

A kapcsoló nyitott állásakor azonban a két pont között körülbelül 1,5 V feszültség mérhető, mely a telep feszültsége. Áram azonban nem folyik, hiszen nem zárt az áramkör.

Amennyiben van rá lehetőség, célszerű összeállítani a fent vázolt áramkört, és ténylegesen megmérni a feszültségeket a két esetben!

### Példa a modern fizika köréből

Nagyon érdekes példáját láthatjuk az ismeretek konstrukciós voltára vonatkozó, az évente megrendezett Bugát Pál Természetismereti Vetélkedő relativisztikus példájának megoldásait elemezve. A Vetélkedőről annyit kell tudni, hogy az ország minden tájáról neveznek be a középiskolába járó tanulók 3 fős csapatai, akik az elődöntő során egy 3 órás dolgozatot írnak, melynek vannak fizikai, kémia, biológiai és földrajzi jellegű kérdései, feladatai. Az idén éppen 100 csapat írta meg a dolgozatot. Közülük 20 csapat kerül a Gyöngyösön megrendezendő döntőbe.

A feladat a következő volt:

Az elektront egy részecskegyorsítóban a vákuumbeli fénysebesség 0,9995-szeresére gyorsítjuk fel. Mekkora az elektron energiája?

Mekkora az elektron nyugalmi energiája?

Mekkora az elektron mozgási energiája?

*Megoldás*

a.) A nyugalmi energia az  $E_0 = m_0 \cdot c^2$  összefüggésből számolható, behelyettesítve  $8,187 \cdot 10^{-14}$  J-t kapunk. Ha a részecskefizikusok által napjainkban is használt eV egységbe átszámoljuk ezt az energiát, akkor  $5,11 \cdot 10^5$  eV = 0,511 MeV-et kapunk.

b.) Az elektron teljes energiája a következő módon számolható:  $E = m \cdot c^2$ , ahol  $m$  a mozgó elektron tömege,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

vagyis  $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 2,59 \cdot 10^{-12}$  J ~ 16,2 MeV.

c.) Az elektron mozgási energiája a teljes energia és a nyugalmi energia különbsége

$$E_{mozg} = E - E_0 = 2,51 \cdot 10^{-12}$$
 J ~ 15,7 MeV.

Vegyük észre még azt is, hogy az ilyen óriási sebességgel mozgó elektron jelen feladatban kiszámolt mozgási energiája sokkal, nagyságrenddel nagyobb a nyugalmi energiájánál! Ennek a ténynek nagy szerepe van az „új elemi részecskék” keletkezésében.

Másik megjegyzésünk a feladathoz az, hogy a mozgási energia relativisztikus kifejezése, miszerint:

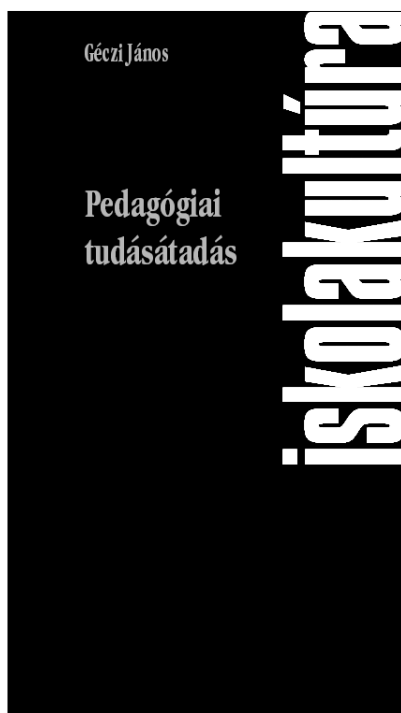
$$E_{mozg} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \approx \frac{m_0 v^2}{2}$$

ha a sebesség kicsi, 0,01.c alatt van, akkor használhatjuk a régen megszokott összefüggésünket a mozgási energiára.

Azok a tanulók, akik nem ismerték a speciális relativitáselmélet összefüggéseit, és a Függvénytáblázatból sem tudták azokat kikeresni, vagy eszükbe sem jutott, a mozgási energiára automatikusan használták a klasszikus  $E = mv^2/2$  összefüggést. Ebben tulajdonképpen semmi meglepő nincs. De voltak olyan csapatok (összesen 10), amelyek ki tudták számolni a majdnem fénysebességgel száguldó elektron energiáját, s ehhez használták a tömegnövekedést is. Majd amikor a mozgási energiát kellett volna kiszámolni, ahelyett, hogy kivonták volna az első és a második részkérdésben kiszámoltakat, a klasszikus kifejezést használták. De úgy, hogy a tömeg helyébe nem a nyugalmi tömeget írták be, hanem a külön kiszámított, relativisztikus tömeget!

### Irodalom

- Feketéné Szakos Éva (2002): Új paradigma a felnőttoktatás elméletében? *Iskolakultúra*, 9. 29–42.
- Katona András (2003): A szakmódszertanok és a szakmódszertanosok védelmében. *Pedagógusképzés*, 89–94.
- Katona András – Ládi László – Victor András (megjelenés alatt): *Tanuljunk, de hogyan?* Nemzeti Tankönyvkiadó.
- Radnóti Katalin – Nahalka István (szerk., 2002): *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest. 330.
- Radnóti Katalin (2004): Gyenge kezdés után erős visszaesés. Avagy: miért nem szeretik a diákok a fizikát? *Iskolakultúra*, 1. 50–69.
- Radnóti Katalin (2005): A fizika tantárgy helyzete egy vizsgálat tükrében. *Iskolakultúra*, 3. 81–95.



Az Iskolakultúra könyveiből