

– *A bioelektronikus jelenségek* az összekötő kapcsolatot jelentik az elektronika és a biológia között.

– *A genetika, a genomkutatás* az utóbbi egy-két évtizedben különösen előtérbe került, de még távolról sincs befejezve.

– *Az összejtudomány* mind a természet megismerése, mind a gyakorlat szempontjából kitüntetett fontosságú.

– *Az agy és az idegrendszer természete és működése* nagyarányú interdiszciplináris együttműködés keretében folyik.

– *Az emberi lények viselkedésének sokirányú kutatása* tulajdonképpen az összekötő kapocs a természet- és a társadalomtudományok között.

Következtetések

Ha végigtekintjük az aktuális témákat, tulajdonképpen csaknem mindegyiknél felfedezhetjük, hogy művelésükhöz, megvalósításukhoz sok kutató együttműködésére, bonyolult kutatási kapcsolatok kiépítésére van szükség. A nagyberendezéseket: részecskegyorsítókat, teleszkópokat stb. igénylő kutatások legtöbbször nemzetközi kooperációt, és ezen belül számos technika és szakember együttműködését igénylik.

A nem nagyberendezéssel végzendő aktuális, korszerű kutatások általában komplexitásukkal, bonyolultságukkal tűnnek ki, ami legtöbbször több tudományág együttműködését igényli.

A jövő kutatásában tehát még az eddigieknél is fontosabb szerepe lesz a tudományos együttműködéseknek, közös kutatásoknak, a tudományos kapcsolatoknak.

A jövőben ezek szerint elkerülhetetlen lesz az is, hogy ezt a szempontot a tudományos fokozatok megadásánál figyelembe vegyék.

Irodalom

Az emberiség megoldatlan rejtélyei – Hol tart a tudomány? (főszerk. Bedi A.) Reader's Digest Kiadó, Budapest, 2004.

P. Davis: *Az ötödik csoda*. Vince Kiadó, Budapest, 2000.

E. Szabó L.: *A nyitott jövő problémája*. Typotex Kiadó, Budapest, 2002.

Huszonegy tudós a 21. századról. (szerk. Erdélyi A.) Tertia Kiadó, Budapest, 1999.

A következő ötven év. (szerk. J. Brockman) Vince Kiadó, Budapest, 2003.

J. Gribbin: *A tudomány története*. Akkord Kiadó, Budapest, 2004.

J. Maddox: *Ami a tudományban felfedezésre vár*. Vince Kiadó, Budapest, 2000.

J. Maddox: A felfedezések hömpölygő folyama. *Természet Világa* 131 (2000) 98.

Tizenkét tudós a 21. századról. (főszerk. Szemenyei I.) Tinta Kiadó, Budapest, 2009.

A FIZIKA TANÍTÁSA

ANALÓGIÁK A FIZIKÁBAN ÉS SZEREPÜK A FIZIKA OKTATÁSÁBAN

Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

Írásunk első, bevezető részében általánosságban foglalkozunk az analógiával és a gondolkodásban, a megismerésben betöltött szerepével. Ezt követően bemutatunk néhány példát a fizika történetéből, majd az analógia fizika oktatásában betöltött szerepére koncentrálunk sok érdekes példa felhasználásával.

Az eredeti görög *αναλογος* kifejezés számok közötti viszonyt, összemérhetőséget, arányt jelentett. *Eukleidész* V. könyve a viszonyok hasonlóságaként értelmezi: „az arányosság” (*αναλογια*), „az arányok hasonlósága” olvasható a definíciók közt.

Az emberi gondolkodás alapvetően analógiás típusú, minden, számára új jelenséget már ismert kognitív struktúrákkal való analógia alapján ragad meg. Ez az a gondolkodásforma, amely a legjobban áthatja a megismerés más területeit, segíti a megértést, a fogalomelsajátítást és a problémamegoldást.

Két rendszer analóg, ha megfelelő részeik világosan megfogalmazható kapcsolataikban megegyeznek. Az analógiák előfordulnak a mindennapi gondolko-

dásban, a gondolkodás és a magyarázat eszközei, segítik a problémamegoldást, az új helyzet megértését a tanulásban és a tudományos felfedezésekben.

Az analógiával való gondolkodás a meglévő tudás felelevenítéséből áll, azért, hogy megértsük a számunkra ismeretlen, új információkat. Az analógia az emberi gondolkodás alapját képező mechanizmusok egyike. Minden értelmi cselekvés analógiás gondolkodást foglal magában, az analógia a kognitív képesség alapja, és az analógiás gondolkodás az intelligencia egyik fontos jellemzője. Az analógiák segítik az információk összekapcsolását és ezzel az átfogó, integrált tudásstruktúrák kiépítését [1].

A tudományban analógiát használunk akkor, amikor új hipotéziseket alkotunk, és amikor új tudományos közléseket vitatunk meg. Az analógiáknak nagy szerepe volt több fizikai jellegű felismerés létrejöttében. Írásunk következő részében a fizika történetéből keresünk példákat az analógiák alkalmazására. A klasszikus fizika megalkotói számos példát mutattak erre.

– *Galilei* a Föld és a hajó mozgásának analógiájával magyarázta a relativitás elvét.

– *Kepler* szinte vallomásszerűen kinyilvánította, hogy „különösen szeretem a hasonlóságot, a természet titkainak legfőbb tanítóját”. Igaz, egyes analógiái ma már mosolyt fakasztanak, mint például az, hogy „a bolygók saját mozgásra képesek, mint az élőlények, tehát lelkük van”.

– *Descartes* az élőlényeket is mechanikai (gép) analógiával magyarázta (pl. az idegek kötelek, amelyek „harangot” szólaltatnak meg).

– *Newton* vizsgálatait arra a felismerésre alapozta, hogy „a természet hasonló jelenségeinek hasonló okai vannak”. Korának optikája két egymással ellentétes analógiára, a fény és a testek, illetve a fény és a hang hasonlatosságára épült.

– Gyakran használták a folyadékáramlás szemléletességét. Ennek analógiájára magyarázta *Ohm* az elektromos áramot, *Fourier* a hőáramot. A különféle „fluidumok” elmélete hosszú időn keresztül uralta a természettudományokat.

– *Maxwell* már tudatában volt a folyadékáram és az elektromos áram különbözőségének és előbbi csak az utóbbi szemléltetésére használta. Egyértelműen kijelentette, hogy „fizikai analógián két tudományterület törvényei közötti olyan részleges (!!!) hasonlóságot értek, amelynek alapján az egyik a másiknak illusztrációja lesz”.

Az utóbbi évszázad során a természettudomány minden területén alapulvóvá vált az analógiák, a különféle jelenségek közös törvényeinek kutatása. Egységes elmélettel magyarázhatók a különféle rezgések, legyen az elektromágneses hullám vagy a hang terjedése, de akár valamely gép rezgése. A statisztikus fizika módszerei alkalmazhatók különféle (nagy elemszámú, nem feltétlenül fizikai) rendszerek leírására is. Néhány éve a fizikai analógiák a biológiai evolúció modellezésében is segítenek.

A tudomány nemcsak felhasználja az analógiákat, hanem foglalkozik a jelenségek hasonlósági feltételének megfogalmazásával is.

– *Fourier* (1822) hívta fel a figyelmet arra, hogy a fizikai jelenségeket leíró egyenletek tagjai azonos dimenziójúak (dimenzionális homogenitás).

– *Bertrand* (1878) kimutatta, hogy a fizikai egyenletek dimenzionális homogenitása lehetővé teszi a fizikai változók közötti matematikai kapcsolat előállítását, a változókból alkotott dimenzió nélküli hatványszorzatok alakjában.

A modellek is az analógia egyik fajtájának tekinthetők. A tudományos modell utánozza, szimulálja a vizsgált rendszer viselkedését. A modell és a modellezett rendszer működésbeli azonossága egyszerűsítéseken, hasonlóságokon alapszik, és a modellezett bonyolult rendszer magyarázatára, valamint működésének kiszámítására, megjóslására használjuk. A tudományos elméletek lényegüket illetően mindig ilyen modellek.

A természeti *törvények*, *igazságok* az ember alkotásai, nem a külső valóság létezői, amelyek felfedezésre

várnak, hanem modellek, olyan emberi konstrukciók, amelyek működtetve képesek a természet egy korlátozott területén néhány jelenség lezajlásának korlátozott magyarázatára, jövőbeli történések bizonyos valószínűségű predikciójára, megjóslására. A modelleknek elsősorban gyakorlati hasznuk van, ez lehet egy jó hajózási térkép, vagy csupán értelmes magyarázat arról, hogy a Nap valószínűleg holnap is felkel [2].

A modell olyan gondolati struktúra, amellyel a természeti jelenségek egy jól körülhatárolt csoportját a tapasztalat segítségével úgy írjuk le – sokszor matematikailag –, hogy minden a vizsgált probléma szempontjából lényegtelen hatást elhanyagolunk. Például a *Galilei* által vizsgált szabadesésnél eltekintünk a légellenállás hatásától. A matematika nyelvén mindig csak a modellel adott természeti jelenség tárgyalható. Ebben az esetben ez a szabadesés, amely a négyzetes úttörvény egyik ismert esete, amikor $s = gt^2/2$. A természet bonyolultsága így egyetlen lépésben nem ragadható meg. A modellek finomításával, amely a legtöbb esetben a matematika egyre erősebb bevonását is jelenti, a természetleírás egyre pontosabb lesz. A kvantitatív magyarázat azonban egyúttal *jóslási* lehetőséget is ad. Ez azt jelenti, hogy a jelenséget nemcsak hogy megmagyarázzuk, hanem adott fizikai helyzetben az eredményt előre ki is tudjuk számítani. Jelen példánkban egy adott időtartam alatt megtett utat.

Érdekes az $1/r^2$ -es távolságfüggés megjelenése több esetben, amikor a testek pontszerűnek tekinthetők, mint például a *Newton* féle gravitációs törvény, a *Coulomb*-törvény, a gyertyafény intenzitásának változása stb. Az egyszerű geometriai magyarázatához, szemléltetéshez vezessünk be bármilyen erővonalrendszert, amelyeket a pontszerű forrásból indítjuk adott számban, majd különböző r távolságokban vizsgáljuk azt, hogy egységnyi felületen hány megy keresztül, amelyet a tér erősségének feleltetünk meg. Világos, hogyha például különböző sugarú, koncentrikus gömbökkel vesszük körül a pontszerűnek tekintett töltést (tömeget), amely a gömbök középpontjában van, akkor a távolság növekedésével csökken az egységnyi felületen átmenő erővonalak száma. Mivel a gömb felszíne $4\pi r^2$ alapján számolható, vagyis négyzetesen nő, tehát az egységnyi felületen átmenő erővonalak számának ilyen arányban kell csökkennie. A történet szerint *Coulomb* valójában nem is mérte ki pontosan erőtvényét, egyszerűen a fenti gondolatmenetre alapozva írta fel.

Analógiás kérdésfeltevés vezette *Becquerel* is a radioaktivitás jelenségének felfedezéséhez, amely a következő volt: vajon nem lehetséges-e, hogy napfény hatására minden fluoreszcens anyagból röntgensugárzáshoz hasonló sugárzás indul ki?

Ezért kezdte el *Becquerel* vizsgálni az uránsókat, és kitenni azokat a napra. Az már más kérdés, hogy ez nem igazolódott be, hanem egy teljesen új tudományterület kialakulásához vezetett.

Nézzünk kissé bonyolultabb esetet, amikor a mezőt kialakító mennyiségeket egy egyenes mentén rendez-

zük el, miként alakul az általuk kialakított mező, amelyet úgy kaphatunk meg, hogy a sok-sok pontszerű töltés, illetve „áramelem-vektor” által kialakított térerősséget összegezzük.

Töltött egyenes vezető által kialakított elektromos mező: vegyük körül a σ töltéssűrűségű vezetődarabot l hosszúságban és r távolságban egy hengerrel!

$$\oint E dA = \frac{1}{\epsilon} \int \sigma dV,$$

$$E 2 \pi r l = \frac{1}{\epsilon} \sigma l, \text{ ahonnan}$$

$$E = \frac{\sigma}{2 \pi \epsilon r}.$$

Áramjárta egyenes vezető mágneses tere: a vezetőkben folyó áram erőssége I , és az r távolságban a mágneses indukció értéke a gerjesztési törvény alkalmazásával:

$$\oint B ds = \mu \sum I,$$

$$B 2 \pi r = \mu I, \text{ ahonnan}$$

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi r}.$$

Mindkét esetben $1/r$ -es távolságfüggés adódik. Az egyik esetben a sok, pontszerűnek vélt elemi töltés által kialakított elektromos mező, míg a másik esetben a sok, szintén pontszerűnek tekinthető áramelem-vektor által kialakított mágneses mező esetében azonos a távolságfüggés. A mező szerkezete természetesen más. Az elektromos erővonalak az elektromosan töltött vezetőre merőlegesek, irányításuk a töltés előjelétől függ. Ezzel szemben a mágneses indukcióvonalak körkörös szerkezetűnek képzelhetők.

Az elektromos és a hőtani jelenségek megértése közel azonos időszakban kezdődött el. Mindkét esetben valamilyen áramló fluidumot képzeltek hozzá. Ezen elképzelés maradványa az, hogy mind a töltés, mind pedig a hő jelölésére a Q betűt használjuk napjainkban is.

Valójában ennél mélyebbre is tekinthetünk. A newtoni fizika jellegzetes gondolkodásmódja alapján a hasonló jelenségek leírásához sok esetben használunk hasonló differenciálegyenleteket. Nézzünk erre példát!

Tételezzük fel, hogy egy testre az állandó nagyságú és irányú F erő mellett súrlódási erő is hat, amely legyen arányos a test sebességével. Itt konkrétan lehet gondolni egy, a levegőben vagy folyadékban eső tárgyra, vagy a fémekben feszültség hatására mozgó elektronokra, amelyet a közismert Ohm-törvény fejez ki. A mozgásegyenlet a következőképp írható fel:

$$m a = F - k v.$$

Osszuk el az egyenlet mindkét oldalát az m tömeggel és írjuk fel a gyorsulást a sebesség idő szerinti deriváltjaként, mivel a mozgásegyenletben a sebesség szerepel és a $v(t)$ függvényre vagyunk kíváncsiak:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F - k v}{m},$$

válasszuk szét a változókat és végezzük el az integrálást:

$$\int \frac{dv}{F - k v} = \int \frac{dt}{m}.$$

Az integrációs állandó meghatározásához használjuk fel a kezdeti feltételeket, nevezetesen azt, hogy $t = 0$ időpillanatban a test nulla kezdősebességgel indul. Megoldásfüggvényünk a következőképp néz ki:

$$v = \frac{F}{k} \left[1 - \exp\left(-\frac{k}{m} t\right) \right].$$

Azt láthatjuk tehát, hogy a sebesség egy darabig nő az idő függvényében, majd aszimptotikusan tart egy állandó értékhez, ami a $v \rightarrow F/k$.

Az elektromos és a mechanikai rendszerek közti analógiákról

Az elektromos és a mechanikai jelenségek hasonló tulajdonságokat mutatnak. Nemcsak a tömegek és rugók alkotnak lineáris rendszereket, amelyeket lineáris differenciálegyenletekkel lehet leírni, hanem a lineáris áramköröknek nevezett elektromos rendszerek is, amelyek teljesen analógok a mechanikai rendszerekkel.

A mechanikai rendszereknek egy másik jellegzetes tulajdonsága a tehetetlenség, amelynek szintén megvan az elektromos megfelelője. Ez akkor jelentkezik feltűnően, amikor egy áramkörben indukciós tekercs van. Ha az indukciós tekercsben egyszer már folyik az elektromos áram, akkor az a feszültség kikapcsolásakor sem akar „megállni”, bekapcsoláskor pedig nehezen indul meg az áram.

Teljesen azonos a leírás módja egy tekercs áramkörbe való bekapcsolásának. Ekkor az áramerősség növekedésékor az áramforrás U feszültségével – *Lenz* törvénye értelmében – ellentétes irányú U_i önindukciós feszültség keletkezik, amely megakadályozza az áram gyors növekedését.

$$U - L \frac{dI}{dt} = RI,$$

amely elsőrendű differenciálegyenlet a meghatározandó $I(t)$ áramerősség számára. Vegyük észre, hogy egyenletünk teljesen úgy néz ki, mint amilyent a sebességgel arányos súrlódási erő esetében oldottunk meg. Kezdeti feltételeink legyenek a $t = 0$ időpillanatban $I(0) = 0$. A megoldásfüggvény ekkor a mechanikai probléma megoldásának mintájára:

$$I = \frac{U}{R} \left[1 - \exp\left(-\frac{R}{L} t\right) \right] = \frac{U}{R} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right],$$

ahol $\tau = L/R$ az áramkör időállandója.

Az elektromos és a mechanikai rezgések analóg fogalmai

jellemző	mechanikai tulajdonság	elektromos tulajdonság
független változó	idő (t)	idő (t)
függő változó	helykoordináta (x)	töltés (q)
tehetetlenség	tömeg (m)	induktivitás (L)
ellenállás	csillapítási tényező	ellenállás
merevség	rugóállandó (k)	kapacitás reciproka ($1/C$)
rezonanciafrekvencia	$\omega^2 = k/m$	$\omega^2 = 1/LC$
periódusidő	$T = 2\pi(m/k)^{1/2}$	$T = 2\pi(LC)^{1/2}$

A sorba kapcsolt ohmos ellenállás, önindukciós tekercs és kondenzátor esetét nevezzük soros RLC-körnek. Kérdésünk az lesz, hogy ha a végpontokra $U = U_0 \sin \omega t$ váltakozó feszültséget kapcsolunk, a körben mekkora áram folyik. Írjuk fel az áramkör egyes elemeire eső feszültségeket:

$$RI + L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} = U_0 \sin \omega t.$$

Differenciáljuk az egész egyenletet az idő szerint és használjuk fel, hogy $I = dQ/dt$:

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} I = U_0 \omega \cos \omega t,$$

amely másodrendű differenciálegyenlet a keresett I áramerősség számára. A soros RLC-kör differenciálegyenlete teljesen analóg a kényszerrezgések esetében felírható differenciálegyenlettel. Az elektromos és a mechanikai rezgések analóg fogalmait az 1. táblázatban mutatjuk be.

Bármit is vezetünk le egyik vagy másik rendszerre vonatkozóan, az a megfelelő analogont tekintetbe véve mindkét rendszerre igaz lesz. Például egy bonyolult, nagyszámú kapcsolási elemet tartalmazó mechanikai rendszert utánozva nagyszámú ellenállást, tekercset és kondenzátort kapcsolunk össze. De mi az előnye ennek a módszernek? A matematikai feladat ugyanaz, azonban az elektromos áramkört könnyebb elkészíteni és ezen elektromos rendszer paramétereit változtatni. A módszert használják például gépkocsik tervezésénél. Tudni szeretnék, hogy a megtervezett autó valamely adott úton mennyire fog rázkódni. Elektromos áramkört építenek, amelybe indukciós tekercset tesznek, tekintetbe véve a kerekek tehetetlenségét és kondenzátorokat a kerékrugók rugóállandóinak, ellenállásokat a lökésgátlók reprezentálására stb. A rázós utat egy generátorból származó jelsorozattal lehet helyettesíteni. Ez feszültséget kapcsol az áramkörre és megmérve a töltést a megfelelő kondenzátoron, megállapítható az, hogy például a bal első kerék mennyire ugrol. A megfelelő módosítást könnyen el lehet végezni, mondjuk egy kar elforgatásával, amellyel a kondenzátor kapacitása változtatható. Vagyis nem kell ténylegesen megépíteni az autót és abban cserélni az alkatrészeket! Természetesen az autó összes jellemzője nem határozható meg ezzel a módszerrel, de akkor is jelentősen leegyszerűsíti az adott probléma vizsgálatát.

Analógiák alkalmazása a fizika oktatása során

Az analógiás gondolkodási forma nagyon jellemző az emberekre. Ez a fajta gondolkodásmód hatékonyan segíti a bárhonnan származó előzetes ismeretek és az

új ismeret közti kapcsolatok kiépítését, amely fontos folyamat a jól szervezett, sokféle szituációban előhívható, alkalmazható tudásrendszer kiépítéséhez. Ezért írásunk következő részében ezt vizsgáljuk különböző tankönyvek esetében.

Nevelési szempontból a mindennapi élet problémáinak kontextusába helyezett analógiák a legjelentősebbek. Az iskolai tanítás egyik fontos célja az ismeret, a tudás egyik területről a másikra való transzferálása képességének fejlesztése, a közöttük lévő hasonlóságok kiemelésével azért, hogy a tanulók sikeresen meg tudjanak birkózni az új szituációkkal. Ezért a kreatív gondolkodás fejlesztésének különböző formái is az analógiák alkalmazásán alapulnak.

Az analógiák mint oktatási eszközök segítik a tanulókat az új információ megszerzésében azáltal, hogy felhasználják, amit már tudnak. Az analógiák alkalmazása a tanulók körében az új tartalmak megtanulásának segítése céljából akkor hatékony, amikor egy utalás segíti, hogy a diákok leképezzék az ismerős szituációt az új szituációra. Tehát fontos, hogy a tanárok kellő figyelmet fordítsanak a már elsajátított ismeretek és az új szituáció közötti kapcsolatok tisztázására. Továbbá be kell mutatni az analógiák alkalmazásának határait, hiszen hasonlóságról, nem pedig teljes azonosságról van szó! [1]

Az oktatás során sokszor jelent nehézséget a fizikában használt modellek és a valóság kapcsolata; mikor mit hanyagolunk el, milyen közelítő leírást alkalmazhatunk egy adott probléma vizsgálata esetében. A fizika jellegzetes modelljei például az anyagi pont, merev test, nyújthatatlan fonál, sűrűdésmentes lejtő, ideális gáz, és sorolhatnánk a példákat. Valószínűleg célszerű lenne tudatosítani a diákokban a fizikának ezt a jellegzetességét!

Az alábbi két példa rendkívül fontos az analógia és a vizsgált dolgok különbözőségének szemléltetésére [3]:

1. Az atomok nem olyanok, mint a belőlük felépülő dolgok, csak kicsiben.

– A házak is téglákból állnak, mégsem tartjuk különösnek, hogy a téglák nem miniatűr házak. A bennünket körülvevő testeknek van színe, illata, méretei, de az atomok – amelyekből ezek a testek felépülnek – egyik ilyen tulajdonsággal sem rendelkeznek. Csupán egyetlen változatlan tulajdonságuk marad meg, a tömegük.

2. Atom bolygómodelljének korlátai.

– Egy szétrombolt atomi elektronszerkezet visszaállítja a struktúráját, de egy bolygó pályája sosem lesz a régi, ha egyszer egy másik kozmikus égitest abba beleavatkozik.

A tanítás során bátrabban kellene új, szemléletes analógiákat alkalmazni egy-egy jelenség tárgyalásakor. Sőt, akár a diákok is találjanak ki analógiákat. Ezek megbeszélésekor a tanár számára megmutatkozhat az is, hogy mely részeket nem értenek a gyerekek, illetve hol vannak alapvető félreértelmezések.

A diákok számára érdekes feladatot jelent az, ha a különböző összehasonlításokat kell tenniük, mint:

– Hasonlítsa össze a statikus elektromos és a mágneses mezőt választott szempontok alapján!

– Hasonlítsa össze az egyenes vonalú egyenletes mozgást és az egyenletes körmozgást végző testek mozgását! Milyen analóg fogalmakat lehet használni a mozgások leírásához? Miben hasonló és miben különböző a két mozgás?

A meglévő tudás és a problémaszituáció közötti kapcsolat felismerése és a tudástranszfer létrejötte szempontjából alapvetően fontos szerepet játszik az analógiás gondolkodás. Az analógiás transzfer alkalmazásához érdekes a következő feladat.

Mekkora sebességgel érkezett az elektron a $s_1 = 20$ cm hosszú síkkondenzátor lemezei közé, azokkal párhuzamosan, ha az $E = 10^4$ V/m térerősség hatására a kondenzátoron való áthaladás után eltérése az eredeti irányától $s_2 = 5$ cm.

Megoldás: az elektron a beérkezési sebességével megegyező egyenes vonalú egyenletes mozgást végez a kondenzátorlemezekkel párhuzamosan, míg arra merőlegesen egyenletesen gyorsul. A mozgás teljes mértékben hasonló a vízszintes hajításhoz. Az elektron addig az időtartamig, míg $s_1 = 20$ cm = 0,2 m-t megtesz, addig $s_2 = 5$ cm = 0,05 m-t egyenletesen gyorsulva tesz meg. Az elektron gyorsulása: $E \cdot e = m_e \cdot a$, innen

$$a = \frac{Ee}{m} = \frac{10^4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}} = 1,76 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2.$$

Az egyenletes mozgás ideje: $t = s_1/v$. A gyorsuló mozgással megtett út:

$$s_2 = \frac{a}{2} t^2 = \frac{a}{2} \frac{s_1^2}{v^2},$$

ahonnan e keresett sebesség kifejezhető:

$$v^2 = \frac{a}{2} \frac{s_1^2}{s_2} = \frac{1,76 \cdot 10^{15} \cdot 0,2^2}{2 \cdot 0,05} \approx 7 \cdot 10^{14} \text{ m}^2/\text{s}^2,$$

innen a sebesség $v = 2,6 \cdot 10^7$ m/s.

A feladat nehézsége abban áll, hogy a fizika tantárgyon belül két különböző területen – a mechanikában

2. táblázat

A különböző kiadók tankönyveiben található analógiák száma				
szempont	MOZAIK	Műszaki	Tankönyvkiadó	régi kiadó
analógiák, bemutatott modellek száma	10	36	8	12
analógiás feladatok száma	3	4	–	2

és az elektromosságtanban – tanult fogalmakat kell alkalmazni a feladat megoldása során. Az elektron mozgása a kondenzátorlemezben teljesen hasonló (analóg) a vízszintesen elhajított test mozgásához. Csak nem a gravitációs mező, hanem az elektromos mező gyorsítja az elektront a kondenzátor belsejében. Tehát nemcsak a szükséges mechanikai és elektromosságtani ismeretekre van szükség a megoldáshoz, hanem e két terület összekapcsolására is. Továbbá fel kell ismerni a vízszintes hajítással való analógiát, tehát képesnek kell lenni egy analógiás transzferre. Ez csak keveseknek sikerül.

2006-ban a felvett 127 fő elsőéves fizika BSc-s hallgató 25%-a tudta csak megoldani a feladatot. 17 fő megoldása volt teljesen hibátlan. (Az elsőéves BSc-re felvett hallgatók által megírt feladatlap kiértékelésével kapcsolatos részletesebb adatok honlapomon megtalálhatók.) A hallgatókkal megíratott feladatlap megoldásának többi részét kódoló adatok összevetéséből egyértelműen látható, hogy a feladatot a felvettek azon kis százaléka tudta csak jó teljesítménnyel megoldani, akik a feladatlap többi részét is jól oldták meg, tehát komoly tudással is rendelkeztek. Akik csak mechanikából voltak jók, azoknak nem ment a feladat megoldása.

Analógiák a fizika tankönyvekben

Három kiadó (Nemzeti Tankönyvkiadó, MOZAIK Oktatási Stúdió és Műszaki Kiadó) fizika tankönyvsorozatának a modern fizikával (atomfizika, magfizika, csillagászat) foglalkozó fejezeteit hasonlítottuk össze az analógiák száma szerint. Elsősorban a napjainkban, illetve a közelmúltban forgalomban lévő, és a tanítási gyakorlatban alkalmazott tankönyvek vizsgálatát tűztük ki célul, és mintegy összehasonlításként megnéztünk egy réginek mondható, több, mint 30 éves tankönyvet is (2. táblázat).

A vizsgálatba bevont tankönyvek közül kiemelkedően sok és jó analógia található a Műszaki Kiadó [4] tankönyvében. Ezek nagy mértékben segítik a tananyag megértését, amely a modern fizika alapvetően elvont jellege miatt különösen fontos. A szerzők sok olyan analóg gondolatmenetet is bemutatnak, amelyek ténylegesen elvezettek egy adott felfedezéshez, amelyek fontosak a tudományról alkotott kép, a tudósok munkájának, a fizikai megismerés módszerének bemutatásához is. Ebben a Műszaki Kiadó gondozásában megjelent tankönyv az élen jár. Sok kivá-

ló, szemléletes analógiát mutatnak be az egyébként nehezen elképzelhető jelenségek megértéséhez. Néhány, az analógiás gondolkodást elősegítő feladattal is találkoztunk a könyvekben, aminek nagy szerepe van a gondolkodás fejlesztésében, de ezek száma sajnos igen csekély. Továbbá sajnálatos az, hogy a nukleáris láncreakció és a gyökös mechanizmusú kémiai láncreakciók (pl. égés, HCl szintézise stb.) közti analógiát egyik tankönyv sem alkalmazta. Pedig ez kémiából tananyag a 10. évfolyamon, továbbá tudománytörténeti jelentősége is van, hiszen *Szilárd Leó* éppen ezt az analógiát használta, amikor kigondolta, hogy érdemes a nukleáris láncreakció kutatásával foglalkozni, és ehhez éppen a kémikusok segítségét kérte és kapta meg a fent említett analógiára hivatkozva.

Írásunk befejező részében a fent említett tankönyvekből mutatunk be néhány érdekes analógiát, amelyeket ajánlunk a majdani tankönyvek írói számára is.

A *MOZAIK Kiadó* [5] tankönyvében a 112. oldalon található kis „történet” szemlélteti a modell és a valóság viszonyát, miszerint a modell soha nem lehet a valóság tökéletes mása. „Képzeljünk el olyan értelmes lényeket, akik mindig csak síkidomokkal találkoztak (kör, téglalap, trapéz stb.). Egyszer lehetőségük adódik, hogy körhengerről készítsenek felvételeket. Ugyanazt a körhengert előlről téglalapnak, felülről körnek látják.”

A 130. oldalon szemléletes hasonlatot mutatnak be a képen az atom és az atommag méretviszonyaira, miszerint ha az atommag egy stadion közepére helyezt meggy lenne, akkor az elektronpályák a stadion lelátóira esnének.

A *Műszaki Kiadó* [4] tankönyvében sok és érdekes analógia olvasható. A 105–106. oldalakon az elektronmikroszkóp működési elvét írják le, amelynek kapcsán összehasonlítják a fényt és az elektront. „A fénysugarak és az elektronpályák közötti analógia mélyebb értelmű. A geometriai optika, amelyben kiterjedten használjuk a fénysugár fogalmát, az általánosabb hullámmoddal közelítő leírásának felel meg. A fénysugarakat használó geometriai optika akkor képes megfelelni leírni a fénytani jelenségeket, ha az interferenciával járó jelenségek elhanyagolhatók. Hasonló módon azt is modellek tekinthetjük, amikor az elektront pontszerű részecskeként kezeljük, amely egy vonallal jellemezhető pályán mozog. Ez a modell akkor alkalmazható, ha az elektronok hullámtermészetével kapcsolatos hatások elhanyagolhatók.”

Majd leírják, hogy az elektronmikroszkóp esetében nincs szerepe az elektron hullámtulajdonságainak, a klasszikus newtoni mechanika törvényeit lehet alkalmazni. Szintén analógiaként bemutatják, hogy miként működik az elektrosztatikus lencse és a fénytani lencse.

A 112. oldalon négy kiváló analógiás feladat található. Azonos sebességű proton és elektron hullámhosszát, majd azonos mozgási energiájú proton és elektron hullámhosszát kell kiszámítani és összehasonlítani. Továbbá a Compton-effektust és a fény-

elektromos hatást, valamint az elektronmikroszkópot és a fénymikroszkópot kell összehasonlítani.

A 126. oldalon az elektronspin szemléltetéséhez az elektron atombeli mozgását a Föld Nap körüli mozgásával és saját tengelye körüli forgásával hasonlítják össze. De ugyanakkor bemutatják az analógia korlátait is, hiszen nem szabad elfeledkezni az elektron hullámszerű viselkedéséről sem. Kifejezetten érdekesek a 127. oldalon leírtak, miszerint az elektron saját mágneses nyomatékának viszonylagos nagy voltára nem tudnak analógiát mondani. Fontos egy ilyen tény hangsúlyozása is, amely esetünkben arra világít rá, hogy a mikrovilág más, mint a makrovilág!

Kifejezetten szellemes a 129. oldalon található hasonlat az adott tulajdonságokkal rendelkező anyagok tervezése és a ruhatervezés között.

Szintén nagyon szellemes hasonlat olvasható a 138. oldalon, ahol a szilárd kristályos anyagokban előforduló diszlokáció mozgását hasonlítják a szerzők egy szőnyegen végigfutó dudorhoz.

A 139. oldalon pedig a szilárd testek sáv szerkezeti modelljét szemléltetik, miszerint az elektron vezetési sávba jutását hasonlítják össze egy teli garázsban mozgásképtelen autóval, amely ha fel tudna ugrani a következő üres emeletre, akkor már mehetne is.

A *Nemzeti Tankönyvkiadó* [6] tankönyvéből egyetlen analógiát mutatunk be. A 93. oldalon az atomban kötött elektron leírásához kétféle modellt mutat be a szerző az *Olvasnivaló* című részben. Az egyik elképzelés szerint az elektron körpályákon mozgó részecskeként képzelhető el, a másikban állóhullámként.

Néhány nagyon érdekes összehasonlítás és analógia található a régi, *Tankönyvkiadó* által kiadott tankönyvben is [7].

A 124. oldal két feladatában, (a 2. és a 3.) összehasonlítást kérnek a tanulóktól. Az elektrolitok és a fémek vezetését, illetve a gázok és a félvezetők vezetését kell összehasonlítani.

A 260. oldal közepén az apróbetűs részben egy szilárd anyag atommagjainak egymástól való távolságát érzékeltetik a szerzők, miszerint ha az atommag gombostűfejnyi volna, akkor a szomszédos mag tőle 30 m-re lenne.

A 292. oldalon a magerőt hasonlítják össze a szerzők a Coulomb-erővel és a gravitációs erővel.

Irodalom

1. Nagy L.-né: *Az analógiás gondolkodás fejlesztése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 2006.
2. Csányi V.: A természettudományos gondolkodásról. *Magyar Tudomány* (2007/2) 132–140.
3. L. I. Ponomarjov: *A kvantum nyomában*. Kozmosz Könyvek, Kárpáti Kiadó, Budapest – Uzsgorod, 1979.
4. Tomcsányi P. (szerk.): *Fizika. Modern fizika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2002, 6. kiadás.
5. Halász T., Jurisits J., Szűcs J.: *Fizika 11. Rezgések és hullámok, Modern fizika*. MOZAIK Kiadó, Szeged, 2004.
6. Zátanyi S., ifj. Zátanyi S.: *Fizika. Optika, modern fizika, csillagászat*. Nemzeti tankönyvkiadó, Budapest, 1998.
7. Bayer I., Nagy J., Nagy J.-né: *Fizika a gimnáziumok IV. osztálya számára*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1978, 11. kiadás (Bayer I. átdolgozásában).