11. feladat

Határozzuk meg a k_j' ütközési együttható értékeket, felhasználva azt, hogy a periodikus mozgás N_n idősora ilyenkor választható úgy, hogy $N_0 = N_1 = \ldots = N_j = 0$, $N_{j+1} = 1$, majd ez ismétlődik. Útmutatás: használjuk az (5)–(7) rekurziókat, amelyek $N_n = 0$-ra különösen egyszerűek.

12. feladat

Határozzuk meg az $\bar{N}(k)$ függvény k_c környékén érvényes alakját a k_j' értékek k_c körüli, azaz nagy j-kre történő halmozódása alapján!

A $k < k_c$ tartományban csakis a csúszási attraktor létezik. Alulról érve k_c-hez azonban „hirtelen” jelennek meg a pattogó mozgások, méghozzá úgy, hogy az $\bar{N}(k)$ görbe, illetve a közelítő görbe nagyon meredeken indul. A pattogó mozgás előbukkanása k_c-nél tehát a fázisátalakulásokra emlékeztető átbillenéssel jelenik meg, amit a dinamikarendszerek nyelvén bifurkációnak nevezünk.

Összefoglalás

Vizsgálatunk célja, hogy megtudjuk, a labda lépcsőn lefelé pattogása, illetve annak legegyszerűbb modellje szerinti mozgás kaotikus-e. Összetett viselkedésre érdekes módon a kis k, vagyis a nagy disszipációs veszteség tartományában bukkantunk. Az (5)–(7) dinamika nyilván nemlineáris, erre utal a k_c-nél megfigyelt bifurkáció is, meg az együtt létező attraktorok megjelenése. A vonzási határok azonban szemmel láthatóan simák (lásd a *9. ábra* betétje), a káoszra fraktálszerkezet lenne jellemző. Maga az $\bar{N}(k)$ függvény $k < k_1$-re néhol nem sima és ugrásokat is mutat. Megvizsgáltuk azonban azt is, hogy a közeli kezdőfeltételekből induló és hosszan pattogó mozgást végző mozgáspárok koordináta-különbségei hogyan változnak időben. A káoszra jellemző gyors széttartás helyett mindenütt *közeledést* találtunk. Így levonhatjuk azt a következtetést, hogy ebben a modellben a mozgás *nem* kaotikus. Ugyanakkor a jelenség összetettségére utal, hogy számos mennyiségre (elemi módszerekkel) nem találtunk képlettel leírható összefüggéseket, így például az $\bar{N}$ átlagos ugrásszámfüggvényre, amelyet csak numerikusan tudtunk meghatározni. Ez az összetettség tulajdonképpen előrevetíti, hogy a mozgás már kis módosítás esetén is kaotikussá válhat. Ha a lépcsők éles sarka helyett lekerekített átmeneteket vennénk, a körívek jelenléte a problémát szóró biliárddá tenné, és abban eléggé nagy görbületi sugarak esetén már kiterjedt, robosztus káoszt várhatunk.

Irodalom

1. A. Jaros, A. Nussbaumer, H. Kunze: *Basiswissen Physik-compact*. Öbvhpt, Wien, 1999.
2. Tél T., Gruiz M.: *Kaotikus Dinamika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.
3. Budó Á.: *Kísérleti fizika I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
4. Nagy K.: *Kvantummechanika*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.
5. Néda Z., Libál A., Kovács K.: *Elemi Kvantummechanika*. Kolozsvári Egyetemi Nyomda, 2006.

A HIPOTÉZISALKOTÁS SZEREPE A FIZIKA OKTATÁSÁBAN

Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

A természettudomány oktatásával kapcsolatos meggondolások középpontjában a legtöbb esetben a kísérletezés áll. A tanár vagy a tanuló, vagy együtt tanár és diák végezzenek minél több és érdekes kísérletet, mérést. Ezekből vonjanak le következtetéseket. A módszer a tantárgy tanulói megítélését is javítani fogja. A fizika tanulásához sokan elengedhetetlennek gondolják a feladatmegoldást is, amelyhez még gondolkodásfejlesztő képességet is szoktak rendelni. Ez igényesebb feladatok esetében – amikor nem egyszerűen a képletekbe való behelyettesítés jelenti a megoldást – valóban így van.

A kép azonban ennél sokkal árnyaltabb, a gondolkodás fejlesztésének vannak olyan módszerei is, amelyek jobban kapcsolódnak a természet megismeréséhez. Egyik ilyen kiváló módszer, amelynek elterjesztésére széleskörű, nemzetközi programok indultak, és alkalmazási lehetőségeiről a fizika oktatásában már több írásban is beszámoltunk a kutatás alapú tanulás [1].

A kutatás alapú tanulás során azt szeretnénk, hogy a diákok mintegy átéljék, miként ismerjük meg a világot. Fontos, hogy *az ismeretszerzés menete minden lépésének részesei lehessenek*. Ők maguk fogalmazzanak meg természettudományos módszerekkel vizsgál-

Radnóti Katalin az ELTE-n végzett kémia-fizika szakos tanárként. A budapesti Kölcsey Ferenc Gimnáziumban 8 éven keresztül tanított. Jelenleg az ELTE Fizikai Intézetében főiskolai tanár. Kutatási területe a fizika és a természettudományok tanításának módszertana. Publikációs tevékenysége is e témához kapcsolódik, tanári segédletek, tanulmányok, könyvek, könyvfejezetek.

A tanulmány az MTA *Szakmódszertani Pályázat* 2014 támogatásával készült.

ható *kérdéseket,* alkossanak tesztelhető *hipotéziseket,* mérési lehetőségeket *tervezzenek* saját hipotéziseik alátámasztására, majd végezzék el azokat, kapjanak számszerű adatokat, amelyeket kiértékelnek, következtetéseket vonnak le stb. [2].

A 10-14 éves életkorban a természetismeret tanulásának, illetve a kémia, biológia, fizika tantárgyak belépésének időszakában egyik fontos feladat, hogy az érzelmek szerepét vagy annak egy részét a racionális gondolkodás vegye át. Ma már – például – a villámlást nem Zeusz haragjának gondoljuk. (*Bár valójában ez sem érzelmi megközelítés, hanem ez is racionális, csak másféle.*)

Mit jelent az, hogy *természettudományos szemlélet?*

A gyerekekben kialakítani azt az attitűdöt kell, hogy *a természet megismerhető, vannak természeti törvények,* a világ nem random, nem összevissza működik.

A világot *önmagából és önmagával* magyarázzuk.

A természetben előforduló jelenségek törvényekkel leírhatók, amelyhez a *matematika jelrendszerét* alkalmazzuk, amikor csak lehetséges.

A természettudomány feladata elsősorban a világ *működésének* leírása, a „hogyan működik kérdésre adandó helyes válaszok keresése". El kell mondjuk azt is, hogy az olyan alapvető kérdésekre, mint például miért négy alapvető kölcsönhatás létezik, és azok miért olyanok, miért éppen akkora az elektron töltése, tömege… stb., vagy mi az élet értelme, nem tud választ adni.

Empíria és elmélet összhangja: a dolgok lehetséges működéséről, a megfigyelt jelenségek létrejöttének okáról *hipotéziseket* alkotunk, és ezek igazságtartalmát megfigyelésekkel és kísérletekkel képesek vagyunk *alátámasztani.*

A természet leírásához, megismeréséhez *egyszerűsítő feltételeket vezetünk be,* analógiákat és modelleket használunk, a sokaság leírásához statisztikai, valószínűségi módszereket alkalmazunk stb.

Ellenben elvetjük a „parajelenségeket", amelyek nem reprodukálhatók, nem lehet a fentebb említett vizsgálatoknak alávetni.

Jelen írásban részletesebben a *hipotézissel* foglalkozunk. A tudományos kutatásban a hipotézisben megfogalmazódó új gondolatok biztosítják a tudományos megismerés fejlődését.

Mi a hipotézis?

A „hypotezisz" (υποθέσεις) görög szó, és eredetileg a vitatkozó felek által a vita tárgyául elfogadott tételt jelentette. Tehát egy feltételes tudást jelöl, azt jelzi, hogy a tudás nem kellően igazolt. Amikor hipotézist állítunk fel, akkor problematikus igazságértékű kijelentést teszünk. A korábbi tudományos ismeretek által többé-kevésbé megalapozott tudásról van szó [3].

Történetileg a tizedik században, az arab, illetve iszlám tudósok esetében került előtérbe a korai középkorban, hogy a felvetésekről, a hipotézisekről nem egyszerűen csak vitatkoztak, nem csupán az érveket minősítették, hanem magát a természetet is megkérdezték, azaz empirikus vizsgálatot terveztek vizsgálatuk tárgyára.

Európában csak a reneszánsz idejében kerültek elő a tudományos kutatás módszereinek kérdései, amelyhez nagy mértékben járult hozzá az iszlám tudósok munkája.

A kísérleti és kontroll-, elő- és utóvizsgálatok fontossága is ebben a korban vált nyilvánvalóvá. Ezek alkalmazásával érték el, hogy vizsgálni lehessen, az észlelt változás ténylegesen mely hatásnak tulajdonítható.

A természettudományos oktatás fontos részének gondoljuk azt, hogy a diákok a természettudományos tanulásuk során képet kapjanak arról, miként keletkezik egy tudományos elgondolás, teszik azt próbára, támasztják alá megállapításait és végül hogyan fogadja el a tudományos közösség. Sok-sok példát kell bemutatni az oktatás során az egyes jellemző részekre, mint

– a *hipotézisek* megfogalmazása,

– a *mérések sorozata* és az ezekhez vezető gondolatsorok,

– az *analógiák,*

– az *egyszerűsítő feltevések,*

– egy adott korban létező két vagy több *rivális elmélet* közti választás például összehasonlító táblázatok segítségével.

Mi lehet a hipotézisalkotás szerepe az oktatási folyamatban?

A *tanár szempontjából* fontos, mert így egy adott témával kapcsolatban fel tudja mérni a tanulók előzetes tudását, elképzeléseit. A gyerekeknek, mire az iskolapadba ülnek, nagyon változatos elképzeléseik vannak a fizikai világról, annak működéséről, amelyet lehetne gyermektudománynak nevezni. Ez a legtöbb esetben nem egyezik meg a tanítani kívánt képpel, de a gyerekek ragaszkodnak hozzá. Ezért is kell ezeket felszínre hozni, ütköztetni a tényekkel [4].

A diákok nagyon sok helyről szereznek ismereteket. Fontos szerepe van az iskolának abban, hogy a legkülönbözőbb helyekről származó ismereteket rendszerbe helyezze a gyermeki gondolkodásban. Ezt viszont csak akkor lehet elérni, ha ezekről információja van a tanárnak. Ennek egyik lehetősége, ha a gyerekektől hipotéziseket kérünk egy-egy jelenség vizsgálata során.

A *diákok számára* egy ilyen fajta feldolgozás komoly *motivációval* is bír. Hiszen érzik, hogy véleményük, gondolataik fontosak az adott témakörrel kapcsolatban. Továbbá a kísérlet várható eredményének megbeszélése a diákok figyelmét ráirányítja az éppen tanulmányozandó jelenségre. Ez különösen *fontos gondolkodásfejlesztő terület,* hiszen előre kell elképzelni és elgondolni, hogy miként mehet végbe a jelenség, ami komoly absztrakciót igényel [2].

A tanulói hipotézisek *értékelésének* fő szempontja, hogy az *empirikusan vizsgálható-e,* nem pedig az, hogy a kísérlet során ténylegesen bekövetkezzék, amit a tanulók várnak. A hipotézis egy *gondolatsor logikus következménye* legyen.

A hipotézisek megfogalmazásának szintjei

– A legegyszerűbb esetben „megjósoljuk”, hogy egy adott kísérleti elrendezés során milyen jelenség fog bekövetkezni. *Kvalitatív* előrejelzést adunk. Általános iskolai szinten a diákoktól körülbelül ennyi várható el.

– *Részben kvantitatív* előrejelzést adunk, matematikai formában fogalmazzuk meg a hipotézist, például a változók között egyenes vagy fordított arányosság lehet. Általános iskolai tanulóktól néhány esetben már ez a szint is elvárható, például hogyan függhet a vezető drót ellenállása annak hosszától és keresztmetszetétől.

– Megpróbálunk ténylegesen *mérhető, számszerű* előrejelzést adni a feltételezett függvénykapcsolat alapján.

– Számszerű előrejelzést adunk a feltételezett függvénykapcsolat alapján, de úgy, hogy az *egyszerűsítő feltételezéseket* is beépítjük. Például egy egyébként hatványfüggvénnyel jellemezhető kapcsolat lineárissal közelíthető a vizsgált tartományban.

Példák a tanulói hipotézisalkotásra

Írásunk további részében ténylegesen megtörtént eseteket írunk le, mindig kiemelve tanulságait, néhol tanácsot adva, hogyan lehetett volna még hatékonyabban alkalmazni a módszert.

Hipotézisalkotás kísérlet esetében

Sínen mozgó kiskocsik mozgása

Az *első* esetben két azonos tömegű kiskocsit (és a közöttük levő rugót) szorított a tanár egymáshoz. A kocsikat középre helyezve és elengedve azok egyszerre koppantak a sín két végén lévő ütközőkhöz.

A *második* esetben a kocsik tömegaránya 1:2 volt.

Hová kell helyezni a sínen a rugóval egymáshoz szorított kocsikat, hogy azokat elengedve egyszerre koppanjanak a sín két végén lévő ütközőkhöz? – hangzott el a tanári kérdés.

A gyerekek élénk vitába kezdtek. Egyikük fennhangon most is azt javasolta, hogy *középre.*

A tanár középre helyezte a kocsikat, elvégezte a kísérletet, és természetesen nem egyszerre koppantak a kiskocsik. *Majd rájöttek a gyerekek,* hogy 1:2 arányban kell osztani a távolságot a sínen.

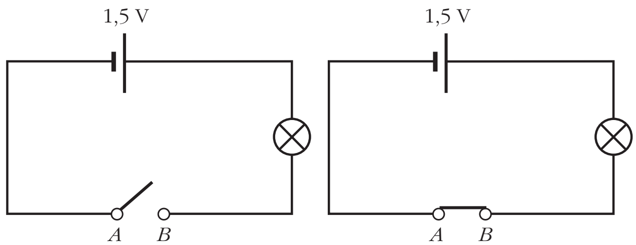
A víz forráspontjának tanulmányozása

A diákok vizet melegítettek, miközben mérték a víz hőmérsékletét. A 100 °C érve többen is egyre magasabb hőmérsékleteket akartak leolvasni, mivel azt várták, hogy a víz hőmérséklete továbbra is emelkedni fog. Amikor nem ezt tapasztalták, a tanárhoz fordultak, hogy elromlott a hőmérő. A tanár *többször kicserélte* a hőmérőt, míg végül a diákok rájöttek, hogy amikor forr a víz, akkor valóban nem emelkedik a hőmérséklet, hanem 100 °C-on marad.

A tanári munka fontos eleme – ebben az esetben is – a diákok tanulási folyamataival szembeni türelem.

Áramerősség és feszültség fogalmak differenciálása tanulókísérlet keretében

A diákok megépítették az *1. ábrán* látható egyszerű áramkört. Mekkora feszültség mérhető az *AB* pontok között ideálisnak tekinthető feszültségmérővel a vázolt két esetben?



1. ábra. Egyszerű áramkör.

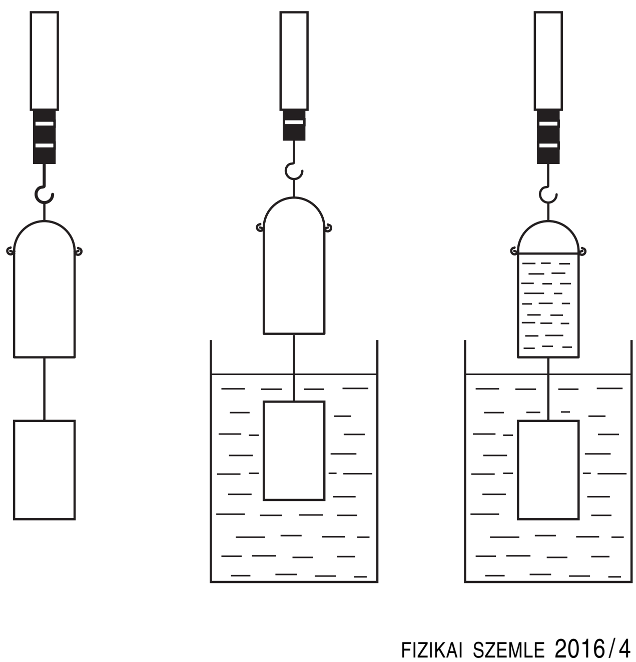
A diákok mind a két esetben mérték a feszültséget az *AB* pontok között, tehát a kapcsoló nyitott és zárt állásakor is (*1. ábra*).

A zárt kapcsolóval természetesen 0 V-ot mutat a műszer. Ez több diák számára érthetetlen volt, hiszen a lámpa világított, mivel az áramkör zárt volt. Többen a tanárhoz fordultak, hogy elromlott a műszer – a tanár *többször kicserélte* azt. Míg végül a diákok rájöttek, hogy a feszültségmérő műszer jó, zárt áramkörben rajta alig van potenciálesés.

Arkhimédész törvényének megismerése

A diákok a felhajtóerő nagyságát tanulmányozták az arkhimédészi hengerpár (*2. ábra*) segítségével. Ez egy speciális demonstrációs eszköz, amely egy tömör,

2. ábra. Arkhimédészi hengerpár. http://www.puskas.hu/arany/kiserlet/20022003/kiserlet/arkhimedesz/leiras.html



henger alakú testből és egy olyan üres hengerből áll, amelybe az előbbi éppen belefér. Az üres henger aljára a tömör henger ráakasztható.

Az eszközzel a következő kísérletet szokás bemutatni: a hengerpárt rugós erőmérőre akasztjuk, majd vízbe merítjük az alsó tömör hengert, és figyeljük, hogy az erőmérő egyre kisebb értéket jelez. Ez után vizet kezdünk tölteni a felső, üres hengerbe, ügyelve arra, hogy továbbra is csak az alsó tömör henger merüljön a vízbe! Mire a felső, eredetileg üres henger csordultig telik vízzel, az erőmérő ismét az eredeti – vízbe merítés előtti – értéket mutatja. Következésképpen valóban a kiszorított víz súlyával egyenlő felhajtóerő hat a tömör hengerre (*2. ábra*).

A tanórán is – természetesen – az alsó tömör henger minél jobban a vízbe lógott, az erőmérő annál kisebb értéket mutatott. Végül az alsó henger teljesen a víz alá került. Az egyik diák azt állította, hogy a felső üres hengert színültig kell megtölteni vízzel ahhoz, hogy az erőmérő újra akkora értéket mutasson, mint amikor az alsó henger még a levegőben volt. És ezt minden kérdezés nélkül, magától mondta!!! A tanulónak egyszerűen ki kellett mondania, amit gondolt!

A tanár nem kért hipotézist a gyerekektől, de mint a példa mutatja, a diákoknak igényük van rá. Hipotézist kellett volna kérni, hiszen fontos, hogy a gyerekek átgondolják, mi fog történni adott esetben. Ez példa mutatja, hogy a diákok figyelme teljes mértékben ráirányul az éppen tanulmányozandó jelenségre.

Ohm-törvény tanítása

Az óra témája az lesz, hogy megvizsgáljuk, mitől és hogyan függhet a vezető drót ellenállása – vezette fel az órát a tanár.

Egyik diák rögtön, gyakorlatilag kérdezés nélkül mondta, hogy „minél hosszabb a vezető, az ellenállás annál nagyobb lehet”. Vagyis azonnal, ráadásul némileg matematikai alakban megfogalmazta hipotézisét.

Az óra következő részében elkezdték a közös mérést, amelyet a tanár vezetett. Először a *vezető hosszát* változtatták az erre szolgáló demonstrációs eszköz segítségével. Egyszeres, kétszeres és háromszoros hosszúságú vezetődarabokat iktattak az áramkörbe, és multiméterrel rögtön mérték a vezetődarab ellenállását. A mért értékek a következők voltak: R_1 = 16,3 Ω, majd R_2 = 32,1 Ω és végül R_3 = 48,5 Ω.

Végül a diákok közösen megfogalmazták, hogy egyenes arányosság van a vezető hossza és annak ellenállása között, a hipotézisnek megfelelően.

A 3. esetben már számszerű becslést is lehetett volna kérni. Továbbá érdemes lett volna a többi diák véleményét is megtudni.

A *vezető keresztmetszetétől* való függés esetében *kétféle hipotézis* is érkezett.

Az egyik diák egyenes, míg egy másik diák fordított arányosságra tippelt a vezető keresztmetszete és ellenállása között.

Ezt követően az erre szolgáló demonstrációs eszközt használva, multiméterrel rögtön megmérték az egyszeres, majd a kétszeres (két drót), végül a háromszoros keresztmetszetű (3 drót) vezető ellenállását. A következő adatokat kapták: R_1 = 16,4 Ω, R_2 = 8,2 Ω és végül R_3 = 5,8 Ω.

A gyerekek rájöttek és megfogalmazták, hogy a két mennyiség között fordított arányosság van, tehát az erre tippelő diáknak lett igaza.

A 3. esetben már számszerű becslést lehetett volna kérni ebben az esetben is. Továbbá – mivel két eltérő hipotézis is érkezett – érdemes lett volna megkérdezni, hogy a többi diák miként gondolkodik. Van-e esetleg olyan, aki mást gondol? Például tegyék fel a kezüket, és össze lehet számolni, hogy hányan gondolnak az egyik vagy a másik hipotézisre.

Mivel többféle hipotézis érkezett, érdemes lett volna rákérdezni, hogy miért gondolják úgy. Érdemes lett volna összehasonlítani az előző esettel, amikor a vezető drót hossza változott, annak mi lehet a magyarázata, miként mozoghatnak a töltések. És miként mozoghatnak, ha nagyobb a keresztmetszet? Esetleg különböző analógiákat keresni, például párhuzamos mozgólépcsők beindítása metrószerelvény beérkezésekor, illetve útszűkület stb. És a beszélgetés után ismét hipotézist kérni, majd ezek után elvégezni a mérőkísérletet.

Azt, hogy két mennyiség egymással egyenesen arányos, úgy szokás belátni, hogy megnézzük a hányadosukat. Ez ebben az esetben nem látható még ennyire tisztán, de az alábbi definíció második része alapján már nyilvánvaló lehet.

„Az *egyenes arányosság* két együtt változó mennyiség közötti kapcsolatot fejez ki. A matematikában akkor mondjuk, hogy két mennyiség egyenesen arányos, ha hányadosuk állandó. Ekkor, ha az egyik mennyiség megduplázódik, a másik mennyiség is megduplázódik. Általában, ahányszorosára nő az egyik mennyiség, annyiszorosára nő a másik.”

A harmadik eset a *vezető anyagától* való függés, amelyet azonos hosszúságú és keresztmetszetű réz és kantáldrót segítségével vizsgáltak.

A kísérletsorozatból az is szépen látszik, hogy egyszerre csak egy tényezőt változtatva, a többit állandónak tartva kell vizsgálni a jelenségek különböző tényezőktől való függését.

Sűrűség meghatározása

7. évfolyamra járó diákok feladata egy kavics sűrűségének meghatározása volt.

Mielőtt elkezdték volna a mérést, a tanár arra kérte a diákokat, írják le, hogy mekkora sűrűséget várnak. Mit fognak mérni? Példaként a vizet említette, ahhoz lehet viszonyítani. A víz sűrűségét 1 g/cm^3-nek lehetett venni, nem volt szükséges az SI mértékegység használata.

A diákok nagyon eltérő értékeket írtak le, mint 1000 g/cm^3, 12–18 g/cm^3, 3–4 g/cm^3.

Ezt követően a diákok elvégezték a mérést. Megmérték mérleggel a kavics tömegét, vízkiszorításos módszerrel pedig a térfogatát, és a mért adatokat elosztották egymással. A kapott sűrűségek reálisak voltak, 2–3 g/cm^3 közé estek.

Ezt követően a tanár kérésére a diákok egyszerűen csak végigmondták, hogy ki milyen értéket várt és ténylegesen mekkorát kapott, de nem elemezték az előzetes felvetéseket, hogy azok *reálisak* voltak-e, vagy sem! Holott például a 1000 g/cm^3 érték teljesen abszurd.

Hipotézisalkotás számításos feladat esetében

A módszer érdekessége, hogy ebben az esetben nem egy jelenségről, vagy ahhoz kapcsolódó mérés eredményéről kértünk hipotézisalkotást a diákoktól, hanem elméleti jellegű, számításos feladatról.

62 fő 10-11. évfolyamra járó diák oldotta meg az alábbi feladatot több-kevesebb sikerrel.

Értékelhető hipotézist 14-en fogalmaztak meg a feladat c) kérdésére. A továbbiakban a feladatot, az elvárt megoldást és a diákok által megfogalmazott hipotézisek kvalitatív elemzését mutatom be.

Atomtömeg meghatározása

A modern fizikai mérőmódszerek általánossá válása előtti időkben az alábbi módszert is használták az atomtömegek megállapításához.

A *táblázatból* néhány fém fajhőjét és egy atomjának tömegét lehet kiolvasni.

a) Ábrázoljátok összefüggésüket!

b) A felismert összefüggés alapján határozzátok meg a tantál hiányzó adatát!

anyag	atomtömeg (10^{-26} kg)	fajhő (J/kgK)
nátrium	3,82	1235
kálium	6,49	741
vanádium	8,46	502
nióbium	15,43	272
tantál	kb. 30	151
urán	39,55	112

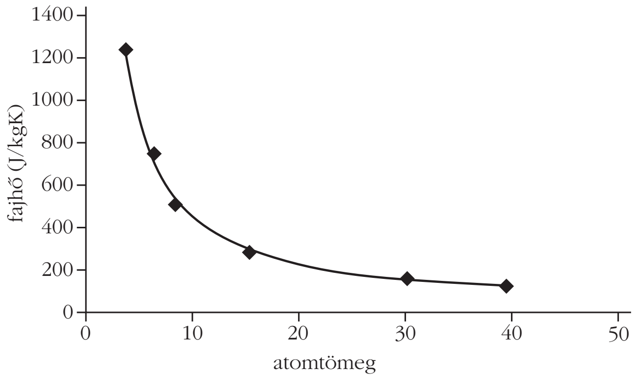
c) Számoljátok ki az egyes anyagok mólhőjét! Előtte gondoljátok meg, hogy mit vártok! Írjátok le, majd hasonlítsátok össze a számítás eredményével!

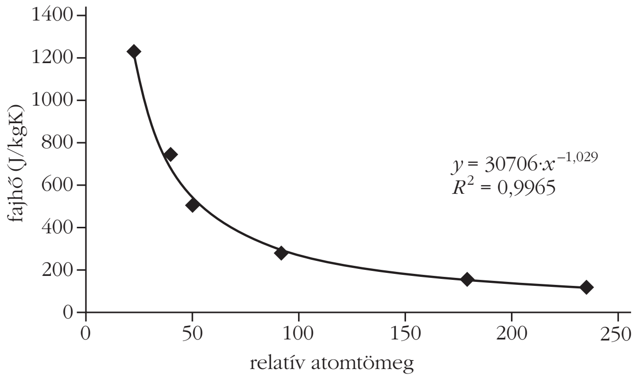
Megoldás:

– *Fordított arányosság* látható a relatív atomtömeg és a megfelelő fajhőadatok között (*3. ábra*).

A mólhőkre közel azonos értékeket, 25–28 J/molK-t kellett kapni.

anyag	atomtömeg (10^{-26} kg)	mólhő (J/molK)
nátrium	3,82	28,4
kálium	6,49	28,9
vanádium	8,46	25,4
nióbium	15,43	25,2
tantál	kb. 30	28,3
urán	39,55	26,6





3. ábra. A fajhő és a relatív atomtömegek kapcsolata.

A fajhő értéke annál nagyobb, minél több részecske alkotja az 1 kg tömegű anyagdarabot. Ebből következik, hogy azonos számú részecskét tartalmazó anyagdarabot véve, ugyanakkora energia szükséges a hőmérséklet 1 °C-kal való emeléséhez. Tehát, ha mólnyi mennyiségeket veszünk, akkor közel azonos értékeket kell kapnunk.

A szilárd test esetére egyszerű modell alkalmazható, amelynek alapján úgy képzeljük el, hogy a szilárd testben golyó alakú részecskék meghatározott rendben helyezkednek el. Egy részecske energiája 3 irányú mozgási (rezgési) és 3 irányú kölcsönhatási energiából tevődik össze, ami $f = 6$ szabadsági fokot jelent: $U = 3NkT$. (Ez a modell csak „magasabb hőmérsékletek” esetében érvényes, hiszen közismert, hogy a szilárd anyagok fajhője hőmérsékletfüggő, amely függés az anyagi minőséggel változik.)

Melegítsük a kristályt, ekkor, mivel nincs számottevő térfogatváltozás: $Q = \Delta U = 3Nk\Delta T$, $W = 0$. A szilárd anyag hőkapacitása: $C = 3Nk$. Egy mólnyi mennyiség esetében $C_M \approx 25$ J/molK.

Tehát hipotézisként azt vártuk el a diákoktól, rájöjjenek: körülbelül azonos értékeket kell kapniuk a mólhőkre. Ebben ténylegesen segítség volt a feladat a) és b) pontja, amelyek megoldása során rá kellett jönniük a fajhő és az atomtömeg közti fordított arányosságra. Ebből lehetett arra következtetni, hogy ha a részecskék száma azonos, akkor a mólhőknek közel azonosnak kell lenniük, amire néhány tanuló rájött.

A részecskeképpel kapcsolatos „jóslásokat” tovább lehet folytatni, és megnézni, hogy például ionos vegyületek esetében, ahol 1 mól esetében nagyobb a részecskeszám miként változik a mólhő.

vegyület	mólhő (kJ/molK)	vegyület	mólhő (kJ/molK)
AgBr (sz)	52,4	$AlCl_3$ (sz)	105
AgCl (sz)	50,8	BaO (sz)	47,5
AgJ (sz)	54,4	CuS (sz)	47,8

A *táblázatból* látható, hogy a mólhő nem 25 J/molK, hanem mintha annak többszöröse lenne. Ezek az anyagok vegyületek, amelyek 1 móljában több „darab" atomi részecske van, mint $6 \cdot 10^{23}$. Az ezüst-halogenidek esetében kétszer, az alumínium-klorid esetében pedig négyszer annyi, ami megmutatkozik a mólhő értékében! (De itt ez nem volt kérdés, csak érdekességként írtuk le.)

Többen érdekes hipotézist írtak, például:

– Voltak, akik a nátrium esetében várták a legnagyobb mólhőt; voltak, akik úgy gondolták, hogy nem függ az elem anyagi minőségétől; és voltak, akik azt várták, hogy a mólhő – a fajhőhöz hasonlóan – az atomtömeg növekedésével csökken. Volt olyan tanuló is, akinek sikerült a fentiekben leírt gondolatmenet alapján, a feladat a) és b) részének megoldása során felismert fordított arányosság felhasználásával kikövetkeztetnie a helyes választ. Volt, aki megpróbált matematikai jellegű összefüggést megfogalmazni, például $1/r$-es összefüggést, de az nem volt kapcsolatban semmiféle fizikai mennyiséggel, nem adták meg, hogy r alatt mit értenek.

– Sajnos a legtöbben már nem írták le a következtetést, pedig jól kiszámolták a mólhő-értékeket. Azonban itt is találtunk érdekes megjegyzéseket: voltak, akik elcsodálkoztak azon, hogy közel egyforma értékeket kaptak, pedig előzetesen másra számítottak, de nem keresték e tény okát, fizikai jellegű magyarázatát. Voltak, akik közel azonosat vártak, majd leírták, hogy a kapott eredmények megfeleltek a várakozásuknak. Volt egy tanuló, aki fizikai mennyiségekről való előzetes, tényleges gondolkodás nélkül hipotézist alkotott a várható eredményekre, ábrázolta azokat, majd $\sin x/x$ jellegű függvényt akart ráhúzni, ismét mindenféle fizikai jellegű meggondolás nélkül.

Az értékelésnél külön figyelembe vettük, hogy a diákok írtak-e valamilyen hipotézist, amelynek nem feltétlenül kellett jónak bizonyulnia. Pozitívumnak tekintettük, ha a hipotézis rendesen, logikusan volt megfogalmazva. Majd a következtetés levonásánál értékeltük azt, hogy miként vetették össze a kapott eredményeket az előzetesen felállított hipotézissel.

A 62 megoldás átlaga 37,7%-os volt, maximális pontszámot 5-en, 0 pontot 18-an kaptak, ők valójában nem foglalkoztak a feladattal.

Az alacsony teljesítmény oka az lehet, hogy az iskolában nem foglakoznak ilyen jellegű, gondolkodást, az ismeretek aktív mozgósítását igénylő feladatokkal, problémákkal.

A diákoknak szokatlan volt, hogy a megadott adatok alapján grafikont kellett készíteniük, és abból következtetni az ismeretlen mennyiségre. A fordított arányosságot ugyan többen felismerték, de csak kevesen voltak képesek meghatározni az ismeretlen atomtömeget.

A hipotézisalkotás, majd annak számításos – nem kísérleti – ellenőrzése is szokatlan volt a tanulóknak. Bár számításos feladatok esetében is szokás előre megbecsültetni az eredmény nagyságrendjét, majd a ténylegesen kapott értéket összehasonlítani vele, illetve vizsgáltatni realitását, azonban ez a feladat a megszokottnál összetettebb hipotézisalkotási folyamatot igényelt a diákoktól.

Végül a diákoknak következtetést kellett levonniuk. Össze kellett hasonlítaniuk a felvetést, a logikus gondolatsor eredményeképp megalkotott hipotézist a számítás útján kapott eredménnyel.

Fejlesztési lehetőségek

Tényleges kutatási tevékenység vagy kísérlet manuális elvégzésére sajnos nem mindig, nem minden téma esetében van lehetőség. Ilyenkor például filmet lehet nézni a kutatásról, a kísérletről, de kutatásokról szóló érdekes beszámolókat is lehet olvasni és a szövegeket a tanórán feldolgozni. Ez utóbbi esetben nem csak a feldolgozás konkrét szakmai tartalmára érdemes kitérni, hanem a kutatás menetének, a kutatás módszereinek elemzésére is, illetve a témánk szempontjából kiemelt rész, a hipotézisek megbeszélésére. Erre azért is szükség van, mert az elektronikus és írott médiából sokféle kutatási eredményről értesülhetünk, amelyek egy része tényleges, valódi kutatásnak tekinthető, de jó részük sajnos áltudomány. A természettudományos tanórák fontos képességfejlesztési feladata, hogy a diákok képesek legyenek a tudományos híradások elkülönítésére az áltudományos közlésektől [5].

Lehetséges kérdések a kutatási szöveg kutatással kapcsolatos vonatkozásainak elemzéséhez

1. Mi volt a kiindulási probléma?
2. Mi volt a kutatási kérdés?
3. Milyen hipotézisek (felvetések) fogalmazódtak meg a kutatás során?
4. Bevált-e a hipotézis?
5. Milyen módszert javasolt?
6. Hogyan tesztelték az ajánlott módszert?
7. Milyen eredménye volt az ajánlott módszernek?
8. Milyen hibaforrások lehettek a vizsgálat során?
9. Ti milyen további kutatási kérdéseket fogalmaznátok meg?
10. Ti milyen vizsgálatokat végeznétek még el? Mi lenne a kontrollkísérlet?
11. Milyen mennyiségeket mérnétek meg, mivel és hogyan?
12. Napjainkra nézve milyen hatásai vannak az adott kutatásnak?

13. Miként képzelitek el a tudományos törvények megszületését a fenti történet elolvasása után?
14. Mai elképzelésünk teljes mértékben megfelel annak, amit annak idején megalkottak, vagy vannak már újabb elméletek? Nézzetek utána!
15. Hogyan bővült az ismeretrendszer, mely tények nyertek azóta magyarázatot?

Írásomban a hipotézisalkotás fontosságát és annak a fizika tanításában való néhány alkalmazási lehetőségét mutattam be. Bízom benne, hogy a tanárkollégák számára sikerült új ötleteket adni tanóráik színesebbé, érdekesebbé és eredményesebbé tételéhez!

Irodalom

1. Radnóti K., Adorjánné Farkas M.: A kutatás alapú tanulás lehetőségei a fizikaórán. *Fizikai Szemle 65/6* (2015) 198–204.
2. Adey P., Csapó B.: A természettudományos gondolkodás fejlesztése és értékelése. In Csapó B., Szabó G. (szerk.): *Tartalmi keretek a természettudomány diagnosztikus értékeléséhez.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2012.
3. Fehér M., Hársing L.: *A tudományos problémától az elméletig.* Kossuth Könyvkiadó, Budapest, 1977.
4. Nahalka I.: *Hogyan alakul ki a tudás a gyerekekben? Konstruktivizmus és pedagógia.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.
5. http://www.sciencebuddies.org/blog/2010/02/a-strong-hypothesis.php
6. Radnóti K., Nagy M.: A rádium felfedezése. Kutatási szöveg feldolgozása a fizika- és/vagy a kémiaórán. *Nukleon VI/3* (2013) http://nuklearis.hu/nukleon/cikkek?page=2

HÍREK – ESEMÉNYEK

A MAJDNEM ÖRÖK ÉLET TITKÁNAK TUDÓJA

Kugler Sándorné, 1908–2016

Életútja lezárulásáról értesülve egy nyolc évvel ezelőtt tőle kapott levelet olvastam újra. Százéves születésnapján más egykori diákjaival lakásán látogattuk meg, ettük saját kezűleg sütött pogácsáját, átadtuk vallomásaink kötetét, amelyet *Kovács László,* egykori tanárjelöltje kezdeményezésére írtunk, és beszélgettünk. Egykori nagykanizsai gimnáziuma és a tanári karrierje második szakaszának otthont adó budapesti Radnóti Gimnázium diákjai először találkoztak és örömmel fedezték fel, hogy tanáruk ugyanazzal a szelíd ösztönzéssel, személyiségük romboló átalakításának szándékát messze elkerülve fordította érdeklődésüket a fizikus, a matematikus vagy a mérnöki hivatás felé.

Györgyi néni a beszélgetés közben egyszer csak a maga melletti székhez invitált és nekem szegezte a kérdést: „Mondd, mit jelent az, hogy a kvarkoknak színe van?” Nyolc év után kézbe véve a látogatás után kapott postai levelet, újra csodálattal töltött el írójának fizika iránti nem szűnő kíváncsiságát, minden bántó szándéktól mentes iróniáját, a népi mesélőket idéző ízes magyarságát egyszerre bizonyító, mesének álcázott vallomása arról, hogyan is élte meg a 20. század fizikájának fordulatait. Íme, a gyöngybetűkkel, zsinóregyenességű sorokkal íródott levél szövege:

„Kedves András!

Nagyon kellemes meglepetés volt látogatástok (megismételhető Anikóval) és köszönöm a könyvben írt elismerő szavaidat. A romantikus, múltba visszatekintő írásod inspirált, hogy én is visszatekintsek kicsit a múltba.

Amikor én 1931-ben diplomáztam, még nem ismerték a neutront. Kezdő tanárként nagy lelkesedéssel tanítottam a Bohr-modellt. Csináltunk egy faliképet (*Zobor Ervin* csinálta, aki később a rombolók közé állt a KFKI-ban). Középen volt a vár. Körülötte a várárok a lándzsás katonákkal a vár szabályai szerint. Béke volt és nyugalom. Aztán jöttek-jöttek a rombolók. Találtak egy bérgyilkost, aki hajlandó volt szétlőni a várakat. Majd a rendbontók behatoltak a várakba, kikutatták lakóikat, kinek mi volt a feladata. Leltárt is készítettek, mindenkinek nevet adva. De nem elégedtek meg a rombolással, a várlakókat arra kényszerítették, hogy egymást lövöldözzék, mint a Donkanyarban a katonák. Folyt a harc szakadatlan. És a magukat tudósoknak nevező rombolók sötét kamrákban gyönyörködtek a harcban. Voltak élelmesek, akik elfutottak, a legtöbb rabszolga maradt. Mikor már szilánkokká lőtték egymást, a rombolók furcsa nevet adtak ezeknek a szilánkoknak és nagy leltárt készítettek róluk. Szomorúan néztem egy ilyen leltárt – hol vannak a régi szép idők?

Feltűnt a leltárban egy név: Kvark. Három is volt belőlük, de mindegyiknek volt ikertestvére is. Elgondolkodtam, vajon ezeket az embriókat is szét fogják lődözni ezek a rombolók?