

Az iskolai természettudományos oktatás szemlélete

Írásunkban a természettudományok oktatásának céljait és szemléletét vázoljuk fel. A mai emberek számára a természettudományos ismeretek alapvető fontosságúak ahhoz, hogy technikai környezetüket megértsék, képesek legyenek otthonosan mozogni abban, és megfelelően tudjanak mérlegelni, akár döntéshozóként, akár esetleges népszavazások alkalmával „egyszerű” állampolgárként (például nukleáris berendezések telepítésével kapcsolatban). Bemutatjuk a történeti szemlélet alkalmazásának fontosságát, ami azért szükséges, mert a természet megismerésének történeti folyamata a gyermeki megismeréssel mutat hasonlóságot. Írásunk végén javaslatokat fogalmazunk meg egy újszerű tanítási módszer alkalmazására, mely a kutatási módszereket helyezi előtérbe az oktatás során.

A természettudományos tantárgyak tanításának régebbi céljai ma is érvényesek, azonban a 21. századra újakkal bővültek. A természeti jelenségek magyarázata, az egészséges gyermeki kíváncsiság kielégítése a tanítás egyik alapvető célja. Fontos célkitűzés, hogy fokozatosan megalapozzuk a diákok természettudományos gondolkodását az ok-okozati viszonyok feltárásán keresztül. A tanulók számára fontos bemutatni a tudományos modellalkotás módszerét. A tanulók szemléletformálása szempontjából az is lényeges, hogy a tanár rávilágítson arra, hogy a természetben vannak olyan jellemző mennyiségek, amelyek a természeti változások során is megmaradnak, például a tömeg, a lendület, az energia vagy a töltés.

A természettudományos tantárgyak tanításának fontos célkitűzése az is, hogy segítse az eligazodást napjaink technikai környezetében, és megteremtse annak lehetőségét, hogy a diákokban kialakuljon a technika vívmányait elfogadó és értelmesen használó társadalom alapját képező világgép. A társadalom számára létfontosságú, hogy azok a politikusok és közigazdászok, akik a kisebb vagy nagyobb közösség életét meghatározó kérdésekben döntenek, ezt természettudományos megalapozottsággal tegyék. Gondoljunk például egy új erőmű vagy üzem létesítésével kapcsolatos érvekre és ellenérvekre. A természettudományok feladata az is, hogy minél több jelenségre tudjanak kielégítő magyarázatot kínálni és kvantitatív előrejelzéseket tenni. A természettudományt oktató tanár feladata az is, hogy rámutasson arra, melyek az alapvető különbségek a természettudományos magyarázatok és a napjainkban egyre gyakrabban felbukkanó, az egyénre és a társadalomra egyaránt káros áltudományos nézetek között. Ez igen nehéz feladat, hiszen a tudományos megismerés útja nehéz, szemben az áltudományok által kínált könnyű megoldásokkal. A tudományos és áltudományos magyarázatok összevetése fejleszti

a tanulók kritikus gondolkodását. Fontos, hogy a tanulók világosan lássák a különbséget a tudományos kutatás során óhatatlanul előforduló tévedések és túlhaladott nézetek, valamint az áltudományok szándékosan megtévesztő állításai között.

Arról is beszélnünk kell a tanórákon, hogy mivel foglalkoznak napjainkban a természettudományos kutatók, illetve a fejlesztő mérnökök. Fontos, hogy azt is elfogadják a tanulók, hogy azoknak a kutatásoknak is van létjogosultságuk, amelyeknek nem látszik a közvetlen haszna, hiszen a kutatás célja az emberi kíváncsiság kielégítése és a világ megértésének vágya is. A tudománytörténeti ismereteken keresztül arra is rá kell mutatnunk, hogy ma sok olyan eszközt és jelenséget használunk, amelyekről a felfedezésük pillanatában nem is sejtették, hogy rövidebb vagy hosszabb idő múlva komoly hasznot hoznak az emberiség számára. Erre meggyőző példa az elektromosság és ezzel kapcsolatban az elektromágnesesség felfedezése, amely a váltakozó áram létrehozását tette lehetővé, vagy megemlíthetjük a röntgensugárzást és a radioaktivitást is, hiszen ezek a felfedezések forradalmasították az orvosi diagnosztikát. Az atommaghasadás felfedezése az energiatermelés területén hozott áttörést. Az energiatermelés globális problémájánál maradván megemlíthetjük azt is, hogy kutatók és mérnökök világszerte több évtizede dolgoznak azon, hogy fúziós erőműveket építsenek. Bár azt már Hans Bethe 1939-ben leírta, hogy az atommagfúziót a Földön is létre lehet hozni és energiatermelésre felhasználni, a gyakorlati megvalósításhoz, vagyis egy fúziós erőmű működtetéséhez még számtalan tudományos problémát meg kell oldani. További új kutatási területeket is említhetünk: a mikrofizikában az elemi kölcsönhatások egységes elméletének létrehozására törekednek, az ezzel szorosan összefüggő makrofizikában pedig az Univerzum kialakulásának és fejlődésének jobb megértése a cél. A kémiában – a biokémiai folyamatokat is beleértve – a reakciómechanizmusok jobb megértése sok új gyógyszer kifejlesztéséhez vezethet. E néhány példa is azt mutatja, hogy egyáltalán

nem lehet a fizika, a kémia és a biológia mint tudomány befejezettségéről beszélni, és ezt hangsúlyosan meg kell jeleníteni az oktatásuk során is. Fontos, hogy ráébredjenek a tanulók arra, hogy ma is vannak érdekes és nyitott, megoldásra váró kérdések, ezért érdemes természettudományos kutatóként, mérnökként dolgozni.

Fontos bemutatni azt is, hogy miként „működik” a tudomány, és hogyan ismerhetjük meg a világot. Érdekes feladat lehet annak taglalása, hogy miként kezdődött világunk megismerése, hogyan vetődtek fel az úgynevezett „jó kérdések”, melyek a későbbiekben hasznosnak bizonyultak egy-egy probléma megoldásában, sőt továbbfejlesztésre is alkalmasak voltak. Kiemelkedően fontosnak tartjuk ebben a vonatkozásban Galilei szerepét, aki bevezette a modell-

alkotást, az elvonatkoztatást, melyet a fizikán kívül a többi természettudomány, sőt napjainkban a társadalomtudomány is alkalmaz. Az ő megközelítése szerint a jelenségeket célszerű olyan leegyszerűsített körülmények között vizsgálni gondolatkísérletek segítségével, amelyek a valóságban nem figyelhetők meg: például magára hagyott test mozgása, szabadesés vákuumban. Miután így megvizsgáltuk a jelenséget, akkor már érdemes figyelembe venni a jelenség valódi lefolyásakor érvényesülő tényleges hatások



1. ábra. A természettudományok tanítási céljai

szerepét. Elengedhetetlen a matematika alkalmazása már a vizsgálat megtervezésekor: mi fog történni, például hová „kell” leesnie a golyónak, ha parabola alakú a pálya. Később kísérlettel ellenőrizni kell, hogy ténylegesen az történt-e, amit vártunk. Vagyis az elmélet és a kísérlet egymást kiegészítő szerepe érvényesül a jelenségek vizsgálatában és értelmezésében. Ez a gondolatmenet annyira sikeres napjainkban is, hogy nemcsak a természettudományi, de sok esetben a társadalomtudományi, gazdasági, pénzügyi jelenségek elemzése, tanulmányozása során is alkalmazzák.

Fontos célkitűzés a természettudományos leírasi, megismerési módszerek alkalmazása, melyeket sok-sok példán keresztül kívánunk bemutatni. Vagyis a természettudományos órákon nemcsak szaktárgyi ismereteket kell tanítani, hanem egy általánosan alkalmazható gondolkodásmód, szemléletmód kialakítását is célul kell kitűzni, és alapvetően ehhez keresni a példákat a természettudományokban felhalmozott ismeretanyagban (1. ábra).

A továbbiakban rövid történeti áttekintést adunk a mai modern természettudomány, a természettudományos gondolkodás, a természet megismerése mai formájának kialakulásáról.

A tudomány kialakulásának két fő vonulatát fogjuk vázlatosan nyomon követni, melyek az ókortól kezdve érdekelték az embereket. Az egyik a mozgás, a másik pedig az anyag szerkezetének a problémája, miszerint folytonosnak képzelhető-e el az anyag, vagy tovább nem osztható részecskékből áll. Ennek megértése kulcs volt a többi természettudományos tudás létrejöttéhez, a jelenségek megértéséhez. Ezért ezt a két fő témakört alapvetőnek tartjuk a természettudományok oktatása során is.

A mozgás leírása

A mozgásról a régi korokban úgy gondolkodtak, hogy egy test mozgásának állandó fenntartásához szükséges valamilyen szintén állandó külső hatás. Valójában a mai ember is így gondolkodik a hétköznapi élete során. A mindennapokban tényleg azt látjuk, hogy a gyerekkocsit tolni kell, az autók, buszok mozgásához üzemanyagot kell venni, a vilamosnak pedig elektromos energiára van szüksége ahhoz, hogy mozogjon. De ha azt szeretnénk, hogy a mozgó test megálljon, ahhoz is kell valamilyen külső hatás.

Galilei (1983) volt az, aki elsőként megfogalmazta az 1632-ben megjelent *Dialogo*-ban, hogy az egyenes vonalú egyenletes mozgás fenntartásához nem szükséges erőhatás. Ehhez a gondolathoz a test lejtőn való mozgásának vizsgálatából kiindulva jutott el. Galilei tisztában volt azzal, hogy ténylegesen nem lehet megfigyelni egyenes vonalú egyenletes mozgást, de el lehet azt képzelni! Ez tehát egy gondolat-kísérlet, melyeknek nagy szerepe van napjainkban is.

A gondolatmenet az 1638-ban megjelent *Discorsi*-ban teljesedett ki, amelyben Galilei (1986) a szabadesés problémájának megértését tűzte ki célul, és sikerült is megoldania, miközben bevezette a modern természettudomány számára fontos megismerési módszereket is. Ezek egyike az, hogy egy jelenség vizsgálata során nem kell minden hatást figyelembe venni, vannak olyanok, melyektől célszerű eltekinteni, legalábbis a leírás elején. Vizsgálta például a különböző sűrűségű testek különféle közegekben végzett mozgásait, majd ezekből általánosítással, szinte szabályos határátmenettel eljutott ahhoz az alapvető tételhez, hogy a vákuumban minden testnek, sűrűségétől és alakjától függetlenül, egyforma gyorsulással kell esnie. A következőt írta: „...ha a közeg ellenállását teljesen megszüntetnénk, minden test azonos sebességgel zuhanna”.

Tehát a szabadesés leírásánál a közeg hatását elhanyagolta, amit az oktatás során is meg szoktunk tenni, de mindig megemlítjük azt is, hogy létezik.

A szabadesés törvényszerűségei Galilei színre lépése előtt már közel egy évszázada foglalkoztatták a tudósokat. Sok problémát okozott, hogy vajon az egyenletes változás

az idő vagy pedig a hely függvényében értendő-e. Általában ez utóbbi elképzelést tartották valószínűnek, sokáig Galilei is így gondolkodott. Későbbi hipotézise szerint mégis az idő függvényében tekintette egyenletesen változónak a sebességet a szabadesés során (Vekerti, 1997).

A mérés közvetlen végrehajtásánál azonban felmerült egy nehézség: a szabadesés esetében túlságosan kicsi időket kellene mérni. Galilei zseniális ötlete volt az, hogy vett egy kis hajlásszögű lejtőt, és ezzel – megtartva a jelenség időbeli lefolyásának jellegét – lelassította a szabadesés folyamatát úgy, hogy a rendelkezésére álló időmérő eszközökkel kellően pontos méréseket tudott végezni.

Galilei módszere a következőképpen foglalható össze:

- A fogalmak tisztázása (az út, idő, sebesség és gyorsulás fogalmának „megsejtése”).
- Hipotézisalkotás a jelenség várható lefolyására vonatkozóan (az idő függvényében egyenletesen változik a sebesség).
- Hipotézisből matematikai úton olyan összefüggés levezetése, amely kísérletileg ellenőrizhető ($s/t^2 = \text{állandó}$).
- Az elméleti következtetések kísérleti úton történő ellenőrzése (Simonyi, 1978).

A mozgásokkal kapcsolatban Galilei volt az, aki először leírt egy elvégezhető és feltehetően általa ténylegesen el is végzett kísérletet úgy, hogy részletesen leírta a körülményeket is, ahogy azt ma elvárjuk egy tudományos közleményben. Toszán középiskolákban Galilei könyvéből származó eredeti idézetek felhasználásával tanulják a diákok a szabadesést (Straulino, 2008).

Galilei gondolkodásmódját jellemzi, hogy sok-sok jelenségben kereste, és nem egy esetben sikeresen meg is találta és ki tudta választani azt, amit felhasznált az általa elfogadott elmélet igazolására. Az ég felé fordított távcsövével azért találhatott nyomban oly sok kitűnő érvet a kopernikuszi világregend mellett, mert akkor már régen töprengett az Univerzum felépítéséről. Ugyanis egészen Newtonig a különböző modellek alkalmazásával csak arra törekedtek, hogy az égitestek helyét leírják, képesek legyenek előre jelezni a korábbi adatok felhasználásával, de mozgásuk okait nem kutatták. A továbblépéshez hozzájárult az is, hogy Galilei a kor fizikai tudásának szintjén írta le a korszak gondolkodását jellemző geocentrikus világképet, amelynek előzőleg sokáig ő maga is híve volt (Koestler, 1996). Ez azért fontos lépés a tudomány történetében, mert ilyen módon lehet számba venni egy elmélet alkalmazhatóságát, illetve alkalmazhatóságának korlátait. Ő volt az a fizika történetében, aki első ízben beszélt a mellékes hatások elhanyagolásának szükségességéről, elképzelte, hogy milyen is lehet az úgynevezett „ideális” eset. Ő volt az, aki ezzel bevezette a modellalkotást a természettudományos jelenségek leírásában, amely kiemeli a lényeges elemeket és a többit elhanyagolja, egyszerűsít, és ezzel a jelenséget hozzáférhetővé teszi a matematikai tárgyalás számára.

A kvantitatív magyarázat azonban egyúttal „jóslási” lehetőséget is ad. Ez azt jelenti, hogy a jelenséget nemcsak hogy megmagyarázzuk, hanem adott fizikai helyzetben az eredményt (jelen példánkban egy adott időtartam alatt megtett utat) előre ki is tudjuk számítani.

Napjainkban már természetes módon alkalmazzuk ezt a módszert. A fizika sok modelljét használjuk, mint súrlódásmentes mozgás, ideális gáz, merev test, pontszerű test, nyújthatatlan fonál stb.. A pontosabb leírás esetében pedig különböző kiegészítéseket alkalmazunk, például az ideális gáz állapotegyenlete helyett a Van der Waals-egyenletet stb. A társadalomtudományok esetében is használnak modelleket, igen gyakoriak például a gazdasági modellek; a Brown-féle mozgás modelljének alkalmazása a pénzügyekre egészen a közgazdasági Nobel-díjig vezetett. Napjainkban ez kiegészül a különböző számítógépes szimulációs programokkal. Tulajdonképpen ezekben az esetekben is a tudományos megismerés Galilei-féle útját kell követni. Ez a folyamat nagyon szépen fel-

ismerhető például az anyagtudományok esetében a matematikai modell, a számítógépes szimuláció és a kísérleti tapasztalatok kapcsolatában (Radnóti, 2009).

Vegyük észre, hogy a megismerési folyamatban szó sincs arról a fajta induktívna nevezett útról, melyet sok helyen lehet olvasni, miszerint először megfigyelünk, sok kísérletet végzünk, majd a kapott eredmények alapján állítunk fel összefüggéseket, melyeket esetleg matematikai formába önthetünk. Sok tanórán hallható, hogy a tanár bemutat egy-két kísérletet az adott jelenséggel kapcsolatban, majd azokból általánosít, hivatkozva arra, hogy ez más esetekben is így történik, és kimondja a törvényt, melyet a diákoknak meg kell tanulni.

A megismerés során nagyon fontos szerepe van a hipotézisnek, az előzetes elképzelésnek a jelenségek lefolyásával kapcsolatban: segítségével modellt alkothatunk, amit esetleg matematikai formába is lehet önteni, majd kísérletileg vizsgálni. Vagyis a matematikai leírás és a kísérleti megközelítés együttesen történik (Radnóti és Nahalka, 2002).

Galilei *Dialogo* című könyve volt az egyik nagyon fontos azon művek közül, melyekből Newton és kortársai tovább építkezettek, ténylegesen megértve a mozgás törvényszerűségeit, miszerint nem a test állandó sebességű mozgásának fenntartásához, hanem a sebesség megváltoztatásához, a vizsgált test gyorsításához szükséges erőhatás. Valójában Galilei és Newton munkássága nyomán kezdett el kialakulni a fizika tudománya, melynek szemléletmódja mintegy analógiaként szolgált a többi természettudomány számára.

Az anyag szerkezete: folytonos vagy részecskékből áll?

Mint azt bevezetőnkben említettük, a természet jelenségeinek megismerésében a másik fontos kérdés az anyag szerkezetének megértése volt. Az alapkérdés az volt, hogy az anyag folytonosnak képzelhető-e el, vagy részecskékből áll.

Az őselemekről, az őszanyaggal kapcsolatos legelső nézeteket a görög filozófusok hagyták ránk, azonban a régebbi kultúrnépek körében is voltak elképzelések, amelyeket valószínűleg ismertek, és ezek felhasználásával alkották meg a sajátjukat. A legrégebb görög filozófiai iskola az úgynevezett ión iskola, amelynek vezéralakja és alapítója, Thalész (i. e. 624–547), az ókori hét bölcs egyike, a vizet tartotta őselemnek. Szerinte minden ebből alakult ki, amely gondolat később is gyakran visszatért a történelem során, mivel a növényvilág fejlődése épp ezt látszik igazolni. Az ókori atomelmélet szintén vissza-visszatért a századok során, amelyet Anaxagorasz (i. e. 500–428) fejtett ki elsőként. Szerinte minden dolog parányi magokból épül fel, azonban nem nyilatkozik arról, hogy ezek oszthatók-e. Más esetekben viszont az atom mint valami többé-kevésbé meghatározott részecske gyakran őselemként is szerepel. Démokritosz (i. e. 460–370) szerint minden atomokból áll, amelyek tovább nem oszthatók. Az atomok közt azonban nincs minőségi különbség. Az atomokon és az üres téren kívül nem létezik semmi. A tárgyak különbsége csupán az atomjaik száma, nagysága, alakja és rendje szerinti különbségtől függ. Az atomok száma és alakja a világmindenségben végtelen.

Az anyag atomos elképzelése az esetek többségében materialista világképet tükrözött, és ebből kifolyólag az egész történelem során az idealista, vallásos irányzatok támadásának keresztüzében állt. A legfontosabb és a középkorban elfogadott, később dogmaként tisztelt elemelképzelést Arisztotelész (i. e. 384–322) alkotta meg. Arisztotelész elemelképzelése ősrégi indiai alapokon állt, miszerint a világon minden négy elemből: tűzből, levegőből, vízből és földből áll. Ezekhez hozzátett még egy ötödiket is: az étert, és ebből állónak képzelte a földi tárgyaktól lényegükben különböző égitesteket, vagyis ez egy égi princípium volt, mely örök és elpusztíthatatlan. A földi négy elem mellé négy őstulajdon-ságot is képzel Arisztotelész: a meleget, a hideget, a szárazat és a nedveset. Ezek harca okozza a változásokat.

Míg az atomista nézetek szerint az ütközések, az atomok egyesülése vagy szétoszlása okozza a kémiai és fizikai jelenségeket, addig Arisztotelész szerint ezek oka az őselemek, illetve az őstulajdonságok arányának megváltozása. Az anyag szerinte folytonosan osztható. Az anyag átalakulása állandóan folyik, például a Föld mélyében évezredek alatt a föld és a víz egyesül fémekké.

Az atomos és a folytonos anyagkép egymással párhuzamosan létezett hosszú évszázadokon keresztül. A folytonos anyagkép tanulói képzetekben is gyakran előkerül, hiszen a részecskéket nem lehet látni. Csak napjainkban vagyunk arra képesek, hogy az atomerő-mikroszkóppal mintegy „kitapogassuk” a részecskéket.

Csak a 17. század elejétől találkozhatunk olyan véleményekkel, amelyek már nem ragaszkodnak szigorúan az arisztotelészi elképzelésekhez, hanem módosítgatják, megfigyeléseknek, kísérleteknek vetik alá azt, és ezek alapján jutnak új következtetésekhez. Egyetértenek már abban, hogy a tűz nem lehet elem. A legjelentősebb közülük Jan Baptiste van Helmont (1577–1644). Ő jött rá arra, hogy az anyagoknak különböző halmazállapotai vannak, és az ezekbe való átváltozások nem változtatják meg az anyag minőségét, ahogy arra is, hogy nem minden, ami légnemű, azonos a levegővel. Felfedezte, hogy különböző gázok vannak, továbbá vizsgálta az oldódás folyamatát is.

Helmont és kortársainak megállapításai a halmazállapot-változásokról, az oldásról, továbbá arról, hogy az anyagi minőség ilyenkor a forma megváltozása ellenére változatlan marad, felvetette a kérdést, hogy miként lehet ezeket a tapasztalatokat magyarázni. És ekkor ismét előkerült az ókori atomelmélet. A korabeli szerzők írásaiban egyre többször fordult elő az atom szó, bár annak értelmezése még nagyon változó volt. Giordano Bruno (1548–1600) lehetett az első, aki határozottan visszanyúlt az atomelmülethez. Az atomokat Démokritoszhoz hasonlóan inkább mint őanyagot képzelte el. Galilei későbbi atomképe inkább a geometriai ponthoz hasonlatos, így nem hozható kapcsolatba az elemfogalom fejlődésével.

Daniel Sennert (1572–1637) német orvos a kémiai és fizikai jelenségek oldaláról vetette fel az atomok létének kérdését. Elképzelése szerint az anyag igen kicsi, egyszerű, tovább már nem osztható részecskékből áll, és ennek segítségével magyarázott számos jelenséget, mint például a már említett halmazállapot-változásokat és az oldódást. Az anyagok szaga is szükségszerűen feltételezi, hogy az igen kicsi részecskék elszabaduljanak belőle.

Egy francia pap, Pierre Gassendi (1592–1655) nyúlt vissza az eredeti ókori demokritoszi elképzelésekhez, mivel ő elismerte az üres tér létezését, amely pedig ellentétes volt Arisztotelész tanításával, aki szerint a természet iszonyodik az ürtől ('horror vacui'). Gassendi már ismerte az üres teret – Torricelli híres kísérletéből –, amely a higanyal töltött csőben képződik, ha annak nyitott végét higanyal telt tálba helyezzzük. A külső légnyomás ugyanis csak 760 mm magasan tartja meg a higanyt a csőben, efelett pedig légüres tér van (ténylegesen higanygőz). Elképzelése szerint a testeken belül is üres terek vannak, amelyekben az atomok mozognak. Az atomok egy őanyag legkisebb, tovább már nem osztható részecskéi, amelyek azonban nem pontszerűek. Anyagilag azonosak, nagyságuk, tömegük és alakjuk szerint azonban különbözőek. Az atomokból kis képződmények jöhetnek létre, amelyeket molekuláknak nevezett. Ettől kezdve az atomisztikus elképzelés már minden tudományos elméletben fellelhető volt, de az elem fogalma még nem alakult ki.

A kémiával foglalkozók, elsősorban az alkimisták, bár később már az orvosok is, nagyon sok anyagot előállítottak, sok reakciót megvizsgáltak. A kísérleti tapasztalatok közt meg kellett próbálni valamilyen rendet teremteni. Az orvosi kémia az élő szervezet vizsgálata során észrevette, hogy a folyamatokban nagy szerepet játszanak a vizes oldatok. Így az alkimisták olvadékai helyett (amelyekkel arany előállításának céljából kísérleteztek) a vizes oldatok vizsgálata került előtérbe. Felfigyeltek az egyes reakciók

közi hasonlóságokra, melyek eredményeképp elkülönítették a savakat és a bázisokat a növényi eredetű „indikátorok” segítségével. Észrevették a közömbösítési folyamatokat is. Felfigyeltek arra is, hogy vannak olyan anyagok, amelyeket lombikjaikban szét tudnak bontani, majd ismét előállítani, viszont vannak olyanok, amelyek néha eltűnnek, átalakulnak mássá, majd az új anyagból többnyire eredeti formában visszanyerhetők, maguk viszont tovább már nem bonthatók. Vagyis rájöttek arra, hogy vannak elemek és vegyületek.

A kémiai elem fogalmát először Robert Boyle (1627–1691) ír természetkutató definiálta. Hogy hány ilyen elem van, arra nem tudott válaszolni; úgy vélte, valószínűleg sokkal több, mint kettő, három vagy négy. Nézetei hamarosan általánossá váltak a kémikusok közt, bár hogy mely anyagokat tartották elemnek, az általában változó volt. Az elemek közé sorolták például a savakat és lúgokat, de érdekes módon a fémeket nem, hanem a fém-oxidokat tartották eleminek.

Tovább bővítette a kémiai elem fogalmát, illetve az elemek sorát a francia Antoine Laurent Lavoisier (1743–1794). (Ő az, akit a francia forradalom alatt kivégeztek.) A levegő és a víz összetett voltának felfedezése, az oxigén, a nitrogén és a hidrogén megismerése kapcsán a mai felfogáshoz hasonlóan minősítette az egyes anyagokat elemmé. Szerinte az elemeket sem fizikai, sem kémiai módszerekkel nem lehet tovább bontani.

A 18. századra jutott el a kémia olyan fokra, hogy a kémikusok a fizikusokhoz hasonlóan, illetve tőlük kicsit ellesve, elkezdtek kvantitatív összefüggéseket keresni, melyekkel a kémiai folyamatok leírhatók. Ezek birtokában lehetett ténylegesen tisztázni az elem – vegyület – keverék fogalmakat, melyek a kémia alapfogalmai. Ennek történeti kontextusban való bemutatása fontos a fogalmi rendszer alakításában, és az oktatás során is felhasználható ötleteket adhat.

Lavoisier színrelépéséig a kémikusok nem végeztek méréseket, csupán megfigyeltek és leírták megfigyeléseiket. Lavoisier úgy gondolta, sokkal fontosabb megmérni azt, ami megmérhető, és a tömeg éppen ilyen volt. A tömegmegmaradást a kémiai folyamatok alapelveként tekintette.

A Lavoisier mutatta úton a kémikusok elkezdtek keresni, majd fel is fedeztek bizonyos számszerűleg kifejezhető törvényeket. A közömbösítésnél, majd később az oxidok képződésénél rájöttek arra, hogy a vegyületek csak bizonyos meghatározott tömegarányok szerint jöhetnek létre, a keverékek esetében viszont tetszőleges lehet az arány.

Keveset szoktak hivatkozni a német Jeremias Benjamin Richterre (1762–1807), aki rendkívül nagyra tartotta a matematika szerepét a kémiában, és szerette volna a fizikához hasonlóan a kémiát is kvantitatív tudománnyá tenni. Doktori disszertációjának címe is az volt, hogy *A matematika alkalmazása a kémiában*. Ő vezette be a kémiai számításokra azóta is használatos sztöchiometria elnevezést, és ő a titrálás felfedezője is. Rájött, hogy az azonos mennyiségű (súlyú) savat semlegesítő különböző mennyiségű (súlyú) bázisok egyenértékűek egymással. 1792-ben azt is leírta, hogy a kémiai reakciókban a vegyületek mindig azonos súlyarányban reagálnak egymással, Joseph-Louis Prousttal (1754–1826) együtt pedig kimondta, hogy az egyes vegyületekben az elemek állandó súlyarányban szerepelnek. Ezzel az újkori atomelmélet előfutárává vált.

Proust továbbá felismerte, hogy ha két elem egymással többféle vegyületet alkot, akkor az arányok ugrásszerűen változnak, és minden vegyület határozott tömegarányban rendelkezik. John Dalton (1766–1844) jött rá arra, hogy ha két elem többféle vegyületet alkothat egymással, akkor az egyik elem azon mennyiségei, amelyek a másik elem ugyanazon mennyiségeivel képesek vegyülni, úgy aránylanak egymáshoz, mint a kicsiny egész számok. Ez a tény természetes módon következik az atomelméletből. Dalton atomelmélete azonban különbözik minden addigi atomelmélettől, mivel mennyiségi értelmezést is ad.

A 19. század második felében már sok elemet ismertek, amelyeket családokba rendeztek, de a családok egymással való kapcsolatáról nem sokat tudtak. A választ a napjainkban már jól ismert periódusos rendszer felismerése mutatta meg. Mengyelejev mondta ki először 1869-ben, két hónapi töprengés után hipotézisét. A periódusos törvény rendkívül merész általánosítás volt: az akkor még éppen elfogadott atomsúlyok (relatív atomtömegek) és az elemek természete közti összefüggést alapvető természeti törvényként állította be. Több, addig fel nem fedezett elem tulajdonságait „jósolta” meg hipotézise alapján, amelyek később helyesnek bizonyultak. A periódusos rendszerben mutatkozó szabályos ismétlődések nyilván csak úgy képzelhetők el, hogy az atomok kisebb alkotórészekből épülnek fel, valamilyen törvényszerűen ismétlődő csoportosulás szerint (*Balázs, Hronszky és Sain, 1981*). Ugyanakkor még ezekben az évtizedekben is voltak olyan kutatók, akik kételkedtek az atomok létében, és voltak, akik tovább akarták osztani azokat még elemibb részekre. Végül, mint azt ma már természetesnek vesszük, ez utóbbiaknak lett igazuk.

A 20. század elejére már nyilvánvalóvá vált, hogy az anyag részecskékből áll (ezek tömege egymástól különböző), melyek egymással kölcsönhatásba lépnek a kémiai folyamatok során (*Radnóti, 1997*). Mi mérni csak mérlegen tudunk tömeget, sok részecske tömegét, illetve mérőhengerrel térfogatot. A reakciók esetében azonban a részecskék száma a döntő. Ezért kell sokszor kiszámítani a kémiai reakcióban részt vevő anyagok tömegéből, illetve a térfogatából a részecskék darabszámát vagy a mólok számát. Igen sok iskolai kémia feladat ezzel kapcsolatos.

Az elemek tulajdonságai közötti eltéréseket és hasonlóságokat, amelyek alapján Mengyelejev elkészítette periódusos rendszerét, például már nem lehetett megmagyarázni az oszthatatlan atomokat feltételező részecskemodell segítségével. 1895-ben J. J. Thomson felfedezte az elektront, Becquerel felfedezése, majd a Curie házaspár munkássága nyomán pedig kialakul a nukleáris tudomány (*Horváth és Radnóti, 2012*).

A matematika fejlődésével megjelentek a statisztikai módszerek, például éppen a részecskékélfogadásával kapcsolatban a kinetikus gázelmélet, mely a gázok tulajdonságait a részecskesokaság mozgásának figyelembe vételével kezeli. Ezt a módszert azóta sokféle sokaság leírására használják mint analógiát, melyek óriási szerepét nem győzzük hangsúlyozni a megismerés során, különböző valószínűségi eloszlásokat megalkotva. Ilyen például a gázmolekulák sebességeloszlása, energia-eloszlása, de a társadalmi mozgások, jelenségek megértéséhez is fontos segítséget ad stb.

A számítógép megjelenése további új utakat nyitott meg a sokaság vizsgálatában. Óriási adatbázisokat lehet létrehozni, és a törvényszerűségeit vizsgálni, mint például a különböző hálózatokat, melyek lehetnek biokémiai reakcióhálózatok, életközösségek, biomok, emberi kapcsolatok vizsgálata a mobiltelefonhívások adatainak felhasználásával, az agy hálózatos szerkezetének megértése (*Veres és Csermely, é. n.*). Ez a típusú komplex gondolkodásmód napjainkban egyre fontosabb, például egy ipari létesítmény telepítésénél, ahol nagyon sokféle szempontot kell figyelembe venni.

A mozgás jelenségének megértése fontos volt az élőlények mozgásának megértéséhez is, az anyag részecskéképe pedig például az orvosi kémia, a biokémia, az élet mint kémiai reakcióhálózatok szemlélésében stb. A kémiai folyamatok és a mozgás megértése a földi környezet megismerésében is fontos szerepet játszott.

Paradigmaváltás, fogalmi váltás

A 'paradigma' kifejezést Polányi Mihály használta először, de világhírűvé Thomas S. Kuhn (1922–1996) tette *A tudományos forradalmak szerkezete* című könyvében. Ezen, mint írja, „olyan, általánosan elismert tudományos eredményeket értek, melyek egy bizonyos időszakban a tudományos kutatók közössége számára problémáik és problémamegoldásaik modelljeként szolgálnak”. (Kuhn, 1984).

Kuhn (1984, 153. o.) a tudománytörténet szempontjából vizsgálva a következőképpen jellemzi a paradigmaváltás folyamatát: „Amikor a tudománytörténész a jelenkori történetírás nézőpontjából tekinti át letűnt korok kutatási krónikáját, kísértésbe esik, hogy felkiáltson: a paradigmák megváltozásával maga a világ is megváltozik. Új paradigmákat követve, a tudósok új eszközöket alkalmaznak, és új területeket vesznek szemügyre. Még fontosabb, hogy forradalmak idején a tudósok új és más dolgokat látnak meg, mint azelőtt, noha megszokott eszközeiket használják ismert területeken. Mintha a szakmai közösség egyszer csak átkerült volna egy másik bolygóra, ahol az ismerős tárgyak más megvilágítást kapnak és ismeretlenekkel együtt jelennek meg.”

A fentiek fényében paradigmaváltásnak kell tekintetünk azt, amikor a mozgásról alkotott kép megváltozik, amikor a Nap kerül a Föld helyett a Világmindenség középpontjába, és amikor megváltozik az anyag szerkezetéről kialakított kép: a folytonos anyagképet felváltja a részecskekép. Ezek a folyamatok nem tekinthetők egyszerűen egy jól bevált paradigma bővülésének. És ezek azok a fő paradigmaváltások – a szakdidaktikában ezeket fogalmi váltásoknak hívjuk –, melyeket az oktatás során el kell érni a tanulókkal is a természettudomány tanulása/tanítása során (Korom, 2005).

A részecskekép elfogadása után (ez az 5–6. évfolyamra tehető) további fogalmi váltásokra is szükség van az oktatás során, melyek ténylegesen értelmezhetők a fogalom bővüléseként is (ezt nevezhetjük paradigmabővülésnek Tél Tamás [2012] nyomán). A szakirodalomban ezt fogalmi fejlődésnek nevezik. Tekintsük röviden végig a részecskekép alakulását (2. ábra) az oktatásban!

A 7. évfolyamon kezdetben még az úgynevezett oszthatatlan atomképet, a daltoni elképzelést célszerű használni. Ezzel magyarázhatók az oldódási jelenségek és az egyszerű kémiai folyamatok egyaránt. Ezt a képet a további tanulmányok során differenciálni kell. Ennek lépései a következők lehetnek: a különböző anyagok különböző részecskékből épülnek fel, melyek közül egyesek még tovább bonthatók. Vagyis be kell vezetni az atom és az atomokból kialakuló molekula fogalmát.

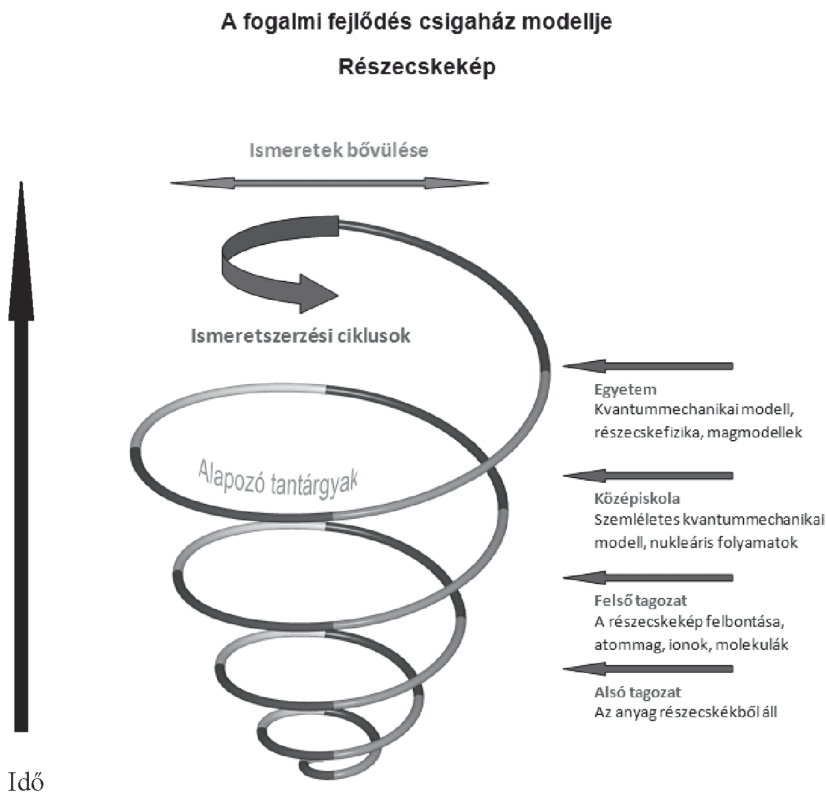
A következő lépés az, hogy az atomokat is tovább kell bontani, hiszen a kémiai folyamatok magyarázatához szükség van az elektronszerkezet ismeretére is. Be kell vezetni az atommag, elektronburok, ionok fogalmait is a jelenségek magyarázatához. Be kell mutatni az atomok elektronszerkezetét, az elektronszerkezet megváltozását a kémiai folyamatok során. Fontos az elektronburok héjszerű felépítésének (héjszerkezeti modell) tárgyalása, a kémiai változásokat jellemző vegyértékelektronok szerepének kiemelése.

Meg kell értetnünk tanítványainkkal, hogy az elektronok valójában egyformák, vagyis semmilyen módon nem tudunk köztük különbséget tenni. Ami meghatározó, az valójában a teljes elektroneloszlás. De ezt le lehet egyszerűsíteni, és bevezetni az atomtörzs és a kémiai tulajdonságokat meghatározó vegyértékhéj fogalmakat. Az elektroneloszlás leírásához tartozó további egyszerűsítés az úgynevezett „nemesgázszerkezet”, mely fogalom sok tankönyvben megtalálható. Ez ténylegesen azt jelenti, hogy az atommag körül egyenletes elektroneloszlás jön létre.

Tárgyalni kell röviden az atommag felépítését (protonok, neutronok). Meg kell ismerni az atomok periódusos rendszerét az elektronszerkezet alapján is.

A nukleáris ismeretek két iskolai tantárgy oktatása során jelennek meg. A diákok a 7. évfolyamban, a kémiai tanulmányaik során találkoznak először azzal, hogy van atom-

mag, mely protonokból és neutronokból áll. A 9. évfolyam kémia tananyagában szerepel az izotóp fogalma, sőt a könyvek jelentős részében megemlítik a szerzők a maghasadás és a magfúzió jelenségét is, kitérve Hevesy György munkásságának ismertetésére. A témakör részletesebb feldolgozása a 11. évfolyam fizika tananyagában szerepel néhány további elemi részecske ismertetésével, mintegy a részecskeképpel kapcsolatos ismeretek lezárásaképp a közoktatásban.



2. ábra. A részecskekép alakulása.

Törvények és modellek

Többféle modell használható napjainkban is a természettudományban egy jelenség leírásához is, például a kémiában a redox és a sav-bázis folyamatokra, melyek a kémia tankönyvekben is megtalálhatók.

Jelentős történeti fejlődésen ment át az oxidáció fogalma. A fogalomfejlődés legfontosabb állomásai: oxigénfelvétel, reakció oxigénnel, elektronleadás, részleges elektronleadás, oxidációszám-növekedés, mely a kémia oktatása során is így jelenik meg a diákok számára.

A fizika tudománya fejlődése során nagyon sok és sokféle modellt alakított ki, és használ az oktatás is, mint arra írásunkban több példát mutattunk. A fizika törvényszerűségeit is modellek segítségével fogalmazzuk meg. Például a Coulomb-törvény felírásához pontszerű töltéseket, a Newton-törvények felírásához tömegpontokat feltételezünk. A newtoni gondolkodásunk alapját jelentő Newton első axiómája például röviden úgy fogalmaz-

ható meg, hogy a magára hagyott test sebessége állandó. Mikor érdeklődő fiannak ezt 10 éves korában elmondtam (a többi axiómával együtt), körülbelül 5 perc múlva máris jött azzal a problémájával, hogy ilyen eset nem is létezik. Bármilyen messze is megyünk a csillagoktól, a galaxisoktól, akkor is van tömegvonzás. Vagyis mindennapi életünkben nem tapasztalhatjuk meg, abból le nem vezethető mintegy általánosítás gyanánt, ahogy az sok könyvben olvasható.

De mit tapasztalhatunk meg? Például egy mozgó járműben utazva, ha az fékez, akkor előre bukunk. Ez egy ismert jelenség. Azonban a leírásához, az előre bukás magyarázatára már többféle leírás is lehetséges. Egyrészt Newton első axiómája, miszerint a mozgó test megtartja mozgási állapotát. De gyorsuló vonatkoztatási rendszerben leírva a tehetetlenségi erőket okolhatjuk a mozgásállapot változásáért.

A cikk elején olvashatók Galilei gondolatai az elhanyagolásokról. Tehát törvényeink megalkotása nagyon komoly absztrakciókat, elvonatkoztatásokat, vagyis idealizált modellek megalkotását igénylik.

Amit az iskolában, az egyetemen tanítunk mint természettudományt, az elsősorban a görög filozófiai gondolkodásmódból eredő, majd a reneszánsz során kiteljesedő, a tapasztalatokat racionálisan, különböző alapelvek bevezetésével magyarázni, illetve valójában inkább leírni akaró rendszer. Mi csak az általunk bevezetett fogalmak által felépített rendszert ismerjük, amely ténylegesen jól működik a jelenségek leírásában, éppen ezért mást nem is tudunk elképzelni. Kicsit hasonló helyzetben vagyunk, mint a biológusok, akiknek az a problémájuk az életjelenségek lényegének megragadásával, hogy nincsenek „marslakók”. Vagyis nem ismernek másféle élő rendszert, csak azt, amely a Földön kialakult. Nincsenek olyan marslakók sem, akik a miénkhez hasonló fejlett technológiai civilizációt alakítottak volna ki, és nem tudjuk megismerni azokat a fogalmakat, melyek segítségével leírnák azt a világot, amelyben mi is élünk. Lehet, hogy az ő fogalmi rendszerük egészen más lenne. De nincs összehasonlítási alapunk. Így azt gondoljuk, hogy a miénk tökéletes.

Mi csak az általunk bevezetett fogalmak által felépített rendszert ismerjük, amely ténylegesen jól működik a jelenségek leírásában, éppen ezért mást nem is tudunk elképzelni. Kicsit hasonló helyzetben vagyunk, mint a biológusok, akiknek az a problémájuk az életjelenségek lényegének megragadásával, hogy nincsenek „marslakók”. Vagyis nem ismernek másféle élő rendszert, csak azt, amely a Földön kialakult. Nincsenek olyan marslakók sem, akik a miénkhez hasonló fejlett technológiai civilizációt alakítottak volna ki, és nem tudjuk megismerni azokat a fogalmakat, melyek segítségével leírnák azt a világot, amelyben mi is élünk. Lehet, hogy az ő fogalmi rendszerük egészen más lenne. De nincs összehasonlítási alapunk. Így azt gondoljuk, hogy a miénk tökéletes.

Kutatásalapú tanítás/tanulás

Több országban elterjedt gyakorlat a természettudományos nevelés mint kutatás, illetve a kutatásalapú természettudomány-tanítás koncepciója, amelynek lényege, hogy a kutatás képezi a természettudományos nevelés alapját, irányítja a tanulói tevékenységek

megszervezésének és kiválasztásának alapelveit (Nagyné, 2010). A kutatásalapú tanulás/tanítás, rövidítve KAT (angolul Inquiry-Based Learning, IBL) olyan módszer, amely biztosítja, hogy a tanulók átéljék a tudásalkotás folyamatait. A módszer fő jellegzetessége, hogy a diákok végezzenek kutatással kapcsolatos, illetve kutatás jellegű tevékenységeket a természettudomány tanulása során, mint:

- problémák keresése, kutatásra érdemes kérdések megfogalmazása,
- hipotézisek megfogalmazása,
- különböző alternatív magyarázatok megalkotása és elemzése,
- kutatások tervezése, vezetése,
- megfelelő eszközök és technikák használata az adatok gyűjtéséhez,
- az adatok elemzése,
- a természettudományos érvek/indokok közlése.

A vizsgálendő probléma sokféle lehet:

- Egy aktuális esemény, például valamilyen környezeti katasztrófa, környezetszennyezés vagy ipari baleset: tornádó, földrengés, olajömlés, nukleáris erőmű balesete, vörösiszap-ömlés, a Tisza vizének cián-szennyezése, stb. E problémák fölvetése történhet úgy, hogy a témáról megjelent cikket, riportot, ismeretterjesztő filmet elemezzük a tanulókkal.
- Egy olyan jelenség, ami mellett sokszor elmentünk anélkül, hogy fölfigyeltünk volna rá és kerestük volna a magyarázatát. A problémát fölvehetik a tanulók, de a tanár is felhívhatja a figyelmet egy olyan hétköznapi jelenségre, aminek magyarázata érdekes tudományos tanulságokkal szolgálhat.
- Egy új kutatási eredmény: ha végigkövetik azt az utat, mely a fölfedezéshez vezetett, a tanulók a megismerési folyamat fontos lépéseit ismerhetik meg, a probléma megfogalmazásától a tudományos publikáció elkészítéséig.
- Egy olyan létesítmény – például egy szeméttégető vagy egy erőmű – építése, üzemeltetése, amelynek környezeti hatásai is lehetnek.
- Egy olyan jelenség, melyről azt hisszük, hogy ismerjük a magyarázatát is, valójában mégis érdemes utánajárni a kérdésnek.

A tanár fontos szerepe, hogy keltse föl és/vagy tartsa fenn a tanulók kíváncsiságát:

- Gyűjtsék össze a tanulókkal együtt, hogy miért érdekes vagy fontos a kiválasztott probléma.
- Fogalmazzák meg a tanulókkal együtt a kérdéseket, melyekre választ keresnek. Gyűjtsék össze, hogy milyen előzetes ismeretük van a tanulóknak a témával kapcsolatban.
- Bővítsék ismereteiket a szükséges mértékben.
- Beszéljék meg a probléma tudományos hátterét.
- Beszéljék meg az esemény/jelenség helyi és globális környezeti hatásait.
- Fogalmazzák meg előzetes elképzeléseiket, hipotéziseiket a jelenség okára, következményére és a megoldásra vonatkozóan.
- Készítsenek részletes kutatási tervet.
- Határozzák meg, hogy milyen helyszíneken kell az egyes munkafázisokat végrehajtani:
 - külső helyszín, ahol a jelenség közvetlenül megfigyelhető, anyagminták vehetők, mérések végezhetőek, kutatókkal lehet találkozni, akikkel riportok, fölmérések készíthetők;
 - iskola, ahol kísérletek, mérések végezhetőek, illetve a további lépések tehetőek meg.

A tanulók határozzák meg, hogy milyen eszközök, anyagok szükségesek a feladat elvégzéséhez. Végezzék el a megfigyeléseket, kísérleteket, írásban rögzítsék a tapasztalataikat. Ha lehetséges, akkor külső helyszínen is végezzenek megfigyeléseket, méréseket, beszéljenek az ott élő, ott dolgozó emberekkel. Ha méréseket végeznek, azokat legalább kétszer ismételjék meg, de ha egymásnak ellentmondó adatokat kapnak, akkor még további mérések szükségesek. Igen fontos a fegyelmezett munkavégzés és a balesetvédelmi szabályok betartása – ezek ismertetése és a szükséges védőfelszerelések biztosítása tanári feladat. A tanulók további feladatai lehetnek:

- A megfigyelésekről készítsenek fényképeket, rajzokat, videofilmeket.
- Alkossanak modelleket.
- Rendszerezék a frissen szerzett ismereteket. Döntsék el, hogy melyek azon megfigyelések és adatok, melyek a fölvetett probléma szempontjából fontosak, és melyek azok, amelyek elhanyagolhatók.
- Ábrázolják grafikonon a mérési eredményeket. Állapítsák meg az egyes mennyiségek közötti matematikai összefüggést, amennyiben az lehetséges.
- Vonják le a következtetéseket. Találják meg az ok-okozati összefüggést. Mérlegeljék a következményeket. Vessék össze az eredményeiket az előzetes elképzeléseikkel.

Ha nem meggyőzőek az eredmények, akkor gondolják végig, hogy vajon az előzetes elképzelések voltak-e helytelenek, a mérés során követtek-e el hibát, vagy hol hagytak figyelmen kívül valamilyen fontos tényezőt. Előbbi esetben módosítani kell az előzetesen felállított elméletet, utóbbi esetben pedig meg kell ismételni vagy módosítani kell a kísérleteket, méréseket. Hasonlítsák össze az eredményeiket másokéival. Ha ugyanazt a jelenséget vizsgálták, ugyanolyan eredményeket kell kapniuk. Fontos a tanulókkal megérteni, hogy a természettudományok jellemzője a térbeli és időbeli megismételhetőség, tehát ha két kutató ugyanazt ugyanolyan körülmények között méri meg, akkor ugyanazt az eredményt kell kapniuk, hiába történtek a mérések különböző helyen és időben. A tanár hívja fel a tanulók figyelmét arra, hogy a kutatók is ehhez hasonló utat járnak végig munkájuk során! Habár a tudományos kutatás menetére általános recept nem adható, hiszen minden kutatásnak vannak egyedi jellegzetességei, de azért vannak közös vonások, illetve követelmények ahhoz, hogy a kapott új tudás tudományosnak tekinthető legyen.

A feladat befejezéseként a tanulók készítsenek posztert vagy kiselőadást. Ha helyi problémával foglalkoztak, akkor érdemes a helyi újságban, rádióban, tévében is közzétenni az eredményeiket, ez is inspiráló tényező lehet a tanulók számára.

A tényleges kutatási tevékenység manuális elvégzésére azonban nem mindig, nem minden téma esetében van közvetlen lehetőség. Ilyen esetekben lehet például filmet nézni a kutatásról, de lehet érdekes kutatásokról szóló beszámolókat is olvasni és azokat a szövegeket feldolgozni. Ez utóbbi esetben a feldolgozásnak nemcsak a konkrét szakmai tartalmára érdemes kitérni, hanem a kutatás menetének, a kutatás módszereinek az elemzésére is. Erre azért van szükség, mert napjaink embere nagyon sok és sokféle kutatási eredményről értesül a közmédiából. Ezek egy része tényleges, valódi kutatásnak tekinthető, de nagy részük sajnos az áltudományos kategóriába sorolható.

Javasoljuk a kollégáknak, hogy keressenek szövegeket diákjaik számára, illetve a diákok is javasolhassanak szövegeket elemzéshez. Ezek származhatnak a nyomtatott sajtóból, ismeretterjesztő folyóiratokból, de reklámszövegeket, illetve filmeket is érdemes hasonló szempontok alapján elemezni, melyekben kutatási eredményekre hivatkoznak. A természettudományos tanóráknak fontos képességfejlesztési feladata a ténylegesen tudományosnak tekinthető híradások elkülönítése az áltudományos közlésektől.

Összegzés

Írásunkban bemutattuk a természettudomány mai szemléletének kialakulásához vezető, általunk legfontosabbnak ítélt fő lépéseket, melyeket két paradigmaváltásban, a mozgás és az anyag szerkezetének megértésében találtunk meg. Ehhez szükséges volt még a modellalkotás mint munkamódszer megalkotása, hogy a jelenségek, majd később a törvények matematikai leírása megtörténhessen. A tudománytörténeti folyamat elemzésével párhuzamosan bemutattuk a tudományos jellegű kutatási módszer kialakulását és a téma oktatási vetületeit is.

Irodalomjegyzék

- Balázs Lóránt, Hronszky Imre és Sain Márton (1981): *Kémia történeti ABC*. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Galilei, G. (1983): *Párbeszéd. A két legnagyobb világrendszeréről: a ptolemaiosziról és a kopernikusziról*. Kriterion Könyvkiadó, Bukarest.
- Galilei, G. (1986): *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből*. Európa Könyvkiadó, Budapest.
- Horváth András és Radnóti Katalin (2012): A Becquerel-sugaraktól a chicago-i reaktorig I. *Nukleon*, 5. 2. sz. <http://mnt.kfki.hu/Nukleon/>
- Koestler, A. (1996): *Alvajárók*. Európa Kiadó, Budapest.
- Korom Erzsébet (2005): *Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Kuhn, Th. S. (1984): *A tudományos forradalmak szerkezete*. Gondolat, Budapest.
- Nagy Lászlóné (2010) A kutatásalapú tanulás/tanítás ('inquiry-based learning/teaching', IBL) és a természettudományok tanítása. *Iskolakultúra*, 20. 1. sz. 31–51.
- Radnóti Katalin (1997): A 100 éves elektron. *Iskolakultúra*, 7. 4. sz. 21–32.
- Radnóti Katalin (2009): Galilei szerepe a mai, modern világképünk kialakulásában. I–II. *Fizikai Szemle*, 59. 1. sz. 15–20., 2. sz. 59–61.
- Radnóti Katalin és Nahalka István (2002, szerk.): *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Simonyi Károly (1978): *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- Straulino, S. (2008): Reconstruction of Galileo Galilei's experiment: the inclined plane. *Physics Education*, 43. 3. sz. 316–321.
- Tél Tamás (2012): Milyen tudomány a fizika? Amit minden középiskolásnak tudnia kellene. *Természet Világa*, 143. sz. Melléklet. CLXXVII–CLXXXIII.
- Vekerdi László (1997): *Így élt Galilei*. Typotex Elektronikus Kiadó, Budapest.
- Veres Dániel és Csermely Péter (é. n.): Hálózatok az élővilágban. 2011. 07. 03-i megtekintés, <http://www.dgci.sote.hu/file.download.php?id=3318>