

Kémiai Bábel

A magyar vagy történelem óra metaforikus nyelvezete jóval közelebb áll a diákokhoz, akik ebben a nyelvben jóval gyakorlottabbak, mint a kémia végletekig precíz és sok esetben a köznapi logika szabályait felülíró nyelvhasználatában.

A bibliai őstörténet befejező elbeszélése szól Bábelről. Ebben kapunk magyarázatot a nyelvek sokféleségére. Eszerint valamikor az egész Föld egynyelvű volt, és az, hogy ma az emberek különféle nyelveken beszélnek, Isten büntetésének következménye. A gőgös embereket, akik égig érő tornyot akartak építeni, hogy nevüket megörökítsék, Isten azzal büntette, hogy nyelvüket csodálatos és hirtelen módon összezavarta, ezért az építkezést abba kellett hagyniuk. Az egymást nem értő emberek pedig szétszéledtek, és elszakadtak egymástól.

A hiányzó közös nyelv, a mondanivaló meg nem értésének egyértelmű következménye, hogy elszakadunk egymástól. Érvényes ez oktatásunkra, és benne fokozottan igaz a kémia tantárgyra. Amennyiben a tanuló nem tudja értelmezni, hogy a tanára miről beszél, akkor nem jön létre megértés, és a diák előbb-utóbb eltávolodik a számára egyre értelmetlenebbé váló kémiától.

Évek óta folyik a vita arról, hogy miként lehetne a kémia nyolcadik év végére bekövetkező népszerűségvesztését megállítani, miként lehetne igazán vonzóvá tenni a tárgyat a tanulók számára. A nehézséget nem az információk mennyisége jelenti elsősorban, hiszen magyar vagy történelem órán jóval több információt zúdítanak a diákokra, évszámokban, életrajzi adatokban, műelemzésekben.

A tárggyal kapcsolatos „nehézségek” közül legfontosabb a kémia absztrakt fogalmi rendszere. Ez az első olyan tantárgy a diákok számára, ahol egy olyan világ fogalmaival kerülnek kapcsolatba, amellyel kapcsolatosan nem hagyatkozhatnak a köznapi tapasztalataikra.

A másik ok a kémia tudományának nyelvezetében rejlik. Ez a nyelv a tárgyunk szempontjából büszkeségünk, erősségünk, hiszen egyfajta intellektuális kihívást jelent megérteni, ugyanakkor ez a gyenge pontja is a kémiának, mikor arra kerül a sor, hogy megpróbáljuk megtanítani a (kezdő) diákoknak. (Johnstone, 2000)

A kémia szaknyelvi problémái

A kémia nyelve olyan speciális csoportnyelvnek tekinthető, amelynek tanulása minden gyerek számára elő van írva. Bizonyos tanulóknál már az is teher, hogy a köznapi és az iskolai oktatás nyelve között különbség van; erre még ráakódik egy külön nehézség: a szakterminológiának az elsajátítása. A diákok olyan nyelvi kód felhasználására vannak kényszerítve, amelyet korábban soha nem használtak. A különböző természettudományos tárgyaknak ráadásul különbözők a kódrendszerei. A tanulóknak tehát nem pusztán az a feladatuk, hogy a köznapi kódról a speciális iskolai kódra váltsanak, hanem az is, hogy a különböző szaktárgyak nyelvi kódjai között is állandóan váltogassanak.

Ezzel kapcsolatosan Prophet és Towse (1999) arra a következtetésre jutottak, hogy egyre nyilvánvalóbb a természettudományok oktatásával foglalkozók számára, hogy a tárgyak tanításának problémái hasonlatosak az idegen nyelv tanulásának problémáihoz.

Ugyanerre a következtetésre jutott Osborne (1996) is, aki a fizikatanulás nehézségeit kutatva vonta le azt a következtetést, hogy „problémáink sokkal közelebb állnak a nyelvtanulás problémáihoz, mint például a történelmi tények tanítási problémáihoz.”

A nyelv központi szerepet játszik a természettudományos fogalmak fejlesztésében és használatában. Gondolataink nem pusztán szavakból állnak, hanem ezek a szavak egy nyelvi rendszerbe ágyazottan kerülnek napvilágra. Lemke (1982) szerint hibás feltételezni azt, hogy az egyes szavak jelentéstartalommal bírnak a diák számára; attól, hogy valaki nagyon sok szót ismer, nem lesz megfelelő a kommunikációja.

1975-ben Gardner a kémia tanulhatóságát, a kémiakönyvek nyelvezetét a diákok tudományos szóhasználatával vetette össze. Vizsgálatának egyik eredménye volt, hogy a diákok nem pusztán a kémia szakkifejezéseit tanulták meg, hanem a kifejezésekkel, fogalmakkal együtt a tankönyvekben megjelenő kötőszavakat is, mint amilyenek például az „akkor”, „tehát”, vagy „ellentétben” szavak. Ezek azok a szavak, amelyek logikailag kötik össze a tudományos érveléseket, definíciókat. A szövegben történő elhelyezésüktől függően befolyásolják a jelentést. A matematikai logika elemeinek a kémiai szövegekben való megjelenése a kémiai tanulmányai kezdetén járó diák számára további értelmezési problémákat okoz.

Sok hétköznapi szó, amelyet a tanár magától értetődőnek vesz, és használ az órán, nem a tartalma miatt válik nehezen érthetővé a diák számára, hanem mert nem tudja azt értelmezni a kémiai környezetben. A diákok számára nem pusztán a szakszavak jelentése problematikus, hanem az anyanyelv más kontextusba helyezése is.

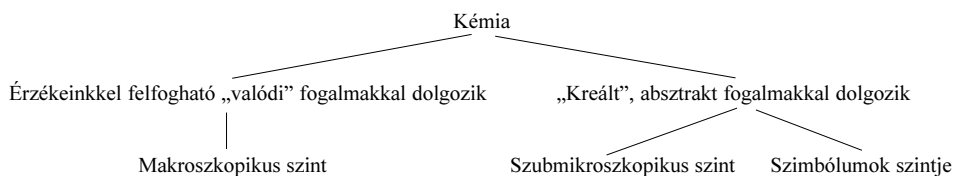
Ugyanakkor Cassels és Johnstone (1980) arra hívták fel a figyelmet, hogy sok hétköznapi szó, amelyet a tanár magától értetődőnek vesz, és használ az órán, nem a tartalma miatt válik nehezen érthetővé a diák számára, hanem mert nem tudja azt értelmezni a kémiai környezetben. A diákok számára nem pusztán a szakszavak jelentése problematikus, hanem az anyanyelv más kontextusba helyezése is.

A kémia az anyag leírását három szinten valósítja meg (Johnstone, 2000):

- makroszkopikus (a látható, „való” világ jelenségei tartoznak ide);
- szubmikroszkopikus (atomok, molekulák, ionok, elektronok a szereplői);
- szimbolikus (a képleteket, jelöléseket,

egyenleteket, képeket, diagramokat, modelleket értjük e szint egyedei közé). (1. ábra)

A kémia nem véletlenül tartozik a legnehezebb tárgyak közé, hiszen fogalmainak nagy része elméleti konstrukció.



1. ábra. Az anyag leírásának szintjei

Filozófiai fejtegetések nélkül, pusztán praktikussági szempontok alapján, az általános és középiskolai tanulók szintjén a szubmikroszkopikus szintet is az általunk kreált világ kategóriájába sorolhatjuk, a tankönyvekben felbukkanó elektronmikroszkópos kép ellenére is.

Hinton és Nakleh (1999) megállapítja, hogy

„...míg a hétköznapok során megszerzett, iskolán kívüli tapasztalataink segítenek a 'való' makroszkopikus világban történő eligazodásban, addig ezek a tapasztalatok az osztályteremben megkérdőjeleződnek. Ha [diákjaink] azt tapasztalják, hogy a kémia három szintjének [makroszkopikus, atomi és szimbolikus] különbözőek a méretkategóriái, különbözőek a rájuk vonatkozó előírások – és csaknem különböző a három szint nyelve is – a lehetséges problémák azonnal érthetővé válnak”.

Érdekes tehát megvizsgálni a kémia nyelvének felépülését. Ez nyelv is felosztható szintekre. (Jacob, 2001)

– Szimbólumok szintje: Itt történik meg a kémiai szimbólumok használatára vonatkozó speciális szabályok, előírások rögzítése, amely nyelvtani és jelentéstani szabályokon keresztül valósul meg.

– Definíciók, fogalmak szintje: itt történik a magának a szókészletnek, a fogalmi rendszernek a megalkotása. Itt definiálunk olyan fogalmakat, amelyek alapvető fontosságúak a kémia számára. Ez a nyelvi szint a magyar nyelv alapvető szabályaira épül, de annak egy módosított-specializált változata. Ez a szint alapvető fontosságú a kémiai kommunikáció számára, ugyanakkor az itt definiált elemeket más természettudományos ágak is felhasználják.

– Törvények, modellek szintje: azokból az elemekből, amelyeket az előző szinten definiáltunk, itt fogalmazhatjuk meg azokat a törvényeket és azokat a modelleket, amelyek segítségével világunk jelenségei között próbálunk meg összefüggéseket teremteni. Erre a szintre is igaz, hogy a magyar nyelv szabályaira épül.

A három nyelvi szint kapcsolatban van egymással, és az egyes nyelvi szintek által definiált egységeket a következő szint használja. Például az első szint Na szimbóluma a második szint „elem” egységébe tartozik, és a harmadik szinten erről az egységről állíthatjuk fel azt a hipotézist (amit a gyakorlat eddig még nem igazolt), hogy ha létezne asztáciummal vegyülete, akkor az a NaAt képlettel lenne leírható.

Hinton és Nakhleh (1999) a már említett munkájukban arra hívták fel a figyelmet, hogy:

„...amikor a diákunk megérti az egyik vagy másik szint reprezentánsainak jelentését, és használja is azt; azt nem fogja érteni, miként lehet kapcsolatot teremteni a különböző szintek ugyanazon névvel jelzett reprezentánsai között.”

A címként választott nyelvi zűrzavar realizálódik diákjainkban, amikor „a kémia néhez és érthetetlen tantárgy” véleményt fogalmaznak meg. A nehézség oka, hogy a kémia gyakorlatilag mindhárom reprezentációs szintjére kivetíti ezt a nyelvtani felosztást, és ennek következtében fogalmaz meg eltérő jelentést ugyanazon névvel jelölt fogalmakra.

A torony-hasonlatnál maradva, oktatásunk során egy háromszintes tornyot építünk kémiából, amelynek legalsó szintje a köznapi tapasztalatainkhoz legközelebb álló makroszint. Erre épül rá az atomok-molekulák szintje, amelynek fogalmai az emberi képzelet szüleményei, majd a torony harmadik emeletét képezi a szubatomi szint, ahol az atomi szint jelenségeit tovább lehet bontani az elemi részecskék szintjére.

A felosztást segít megvilágítani az 1. táblázat. A felsorolt példák közül is látható, hogy egy ugyanazon szóval jelzett fogalomnak a különböző szinteken más-más jelentése lehet. Ilyen fogalom például az elem, amelynek definíciója más atomi és szubatomi szinten. De ami bonyolultabbá teszi az értelmezést, ugyanazon a szinten értelmezett fogalmat is különböző módon lehet definiálni. Ilyen fogalom például az atom vagy a sav.

Az egyes szintek elemei között a szimbólumok teremtenek kapcsolatot. Ezek sok esetben bár ugyanazon jelöléssel rendelkeznek, az egyes szinteken más és más a jelentésük.

1. táblázat. A kémia ábrázolási szintjei és annak nyelvtani felosztása

			Példák	Példa a NaCl keletkezése során a jelölésre, és az értelmezésre	Példa a folyamatra alkalmazott törvényekre, szabályokra	
Absztrakciós szint	szubatomi szint	törvények modellek	Bohr és Rutherford atommodellje Ionizációs energia változása a periódusokban Sav Arrheneus vagy Broensted szerint	$\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$ $\text{Cl} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-$	töltésmegmaradás törvénye	
		fogalmak definíciók	Atom: protonokból, neutronokból és elektronokból felépülő semleges töltésű kémiai részecske Atom: atommagból és elektronhéjából felépülő semleges töltésű kémiai részecske Elem: azonos protonszámú atomok halmaza			
	atomi szint	törvények modellek	Daltoni atommodell Hess tétele Le Chatelier-elv	$2\text{Na} + \text{Cl}_2 = 2\text{NaCl}$		sztöchiometriai szabályok
		fogalmak definíciók	atom: kémiai módszerekkel tovább nem osztható részecske elem: azonos atomokból felépülő anyagi halmaz			
	makroszint	törvények modellek	vegyülő gázok térfogati törvénye tömegmegmaradás törvénye állapotegyenlet	23 g nátrium fém (jele Na) és 35,5 g klórgáz (jele Cl ₂) reakciójakor 58,5 g asztali só nevű anyag (képlete NaCl) keletkezik		tömegmegmaradás törvénye
		fogalmak definíciók	alkáli fém periódus			

A kémia fogalmaival kapcsolatos nehézségek

A fogalmaink olyan gondolati képzetek, amelyeket szavakkal fejezünk ki, és a világ dolgainak egy csoportjára hivatkoznak. A kutya fogalma például a kutya szavunkon keresztül jelenik meg, és a kutyák kategóriáját hivatott jelölni a világ dolgai közül.

A kategorizálás, a körülöttünk lévő világ jelenségeinek, egyedeinek osztályozása egy mentális szükséglet ahhoz, hogy a körülöttünk lévő világot megérthessük. Ha a világunk olyan jelenségeit akarjuk magyarázni, amelyek kívül esnek a közvetlen érzékelhetőség határain, akkor a kategorizálást megelőzendő, fogalomépítést végzünk; azaz létrehozunk egy új fogalmat, s felruhazzuk azt megfelelő gondolati képzetekkel.

A kémia fogalmai olyan nem látható objektumokra hivatkoznak, mint atom, molekula vagy elem. A természettudományos kutatások egy kritikus pontja éppen az ilyen nem érzékelhető objektumokra vonatkozó fogalmak kialakítása és fejlesztése. A kategorizálás tehát több annál, hogy a világot a benne található – megfigyelhető – dolgok tulajdonságainak segítségével felosztjuk; létre kell hoznunk olyan fogalmakat is, amelyek kellően mély magyarázattal szolgálnak ahhoz, hogy a feltételezett láthatatlan egyedek tulajdonságainak segítségével választ adjanak a világ működésére. Az ókori görögök is ezt tették, mikor megalkották az atomnak nevezett alapvető fogalmat, amely aztán használhatóvá vált a világunk számos tényének magyarázatára. (*Thagard és Toombs, 2005*)

Piaget (1999) az értelmi fejlődés szakaszairól szóló tanításban a 7–11 éves korra teszi a konkrét műveletek, és 11–16 éves korra a formális műveletek szakaszát.

A konkrét műveletek szakaszában járó diák számára nehéz megtanítani olyan fogalmakat, amelyek szemléletes-képi módon nem érzékeltethetők. (*Young, 2003*) A használt szavakat, fogalmakat számukra „kézzelfogható” tartalommal kell megtölteni. E szakasz diákja, ha feladatmegoldásra kerül a sor, előszeretettel használja a képletekbe történő behelyettesítést, nem szeret törtszámokkal dolgozni. Gyakorlati megfigyelései során az egyedit előnyben részesíti a többszörössel szemben, a minőségi dolgokat a mennyiségiel szemben. Sikeresen birkózik meg olyan fogalmakkal, mint tömeg, hosszúság, idő, de a mól vagy az olyan származtatott egységek, mint a súly vagy sűrűség már nehézséget jelentenek.

A formális szakaszba tartozó diák számára a fogalmak már elvont fogalmakként használhatósak. Kezelen tudja, hogy ugyanazon fogalmat alkotó egyedek esetleg egymásnak ellentmondó sajátossággal rendelkezhetnek. Például a királynő fogalmába beletartozhat a Walt Disney által sugallt mesebeli szépséges uralkodó, az angol királynő és akár a sakkjáték figurája is.

Ugyanezen az elven nem azonosítja az atomot sem a műanyag gömbcsont, sem a „hagymahéj-szerű” Bohr-modellel, tudja, hogy azok egyféle megjelenítései csupán az atomnak. Tud váltani a megfelelő savbázis elméletek között, logikai következtetéseket tud levonni bizonyos törvények megismerése után, nem csupán képleteket keres a megoldása során stb.

A szemléletes-képi fogalom elvont-differenciált fogalommá alakulása nem pusztán a kortól függ, hanem az érési folyamatot befolyásolja a fogalom tudásterület-specifikussága. Ha egy fogalom tapasztalatok hiányában, értelmezés nélkül rögzül, például a közlősúlykoló oktatás hatására, akkor az elvont fogalom ily módon üres marad, és a diák vagy egyáltalán nem tudja használni, vagy szemléletes-képi jelentést tulajdonít neki, vagy zavaros képi tartalmakkal tölti fel. Az elvont fogalmi gondolkodás elmaradása tehát nem pusztán a diák értelmi képességeivel kapcsolatos probléma, hanem az adott tudásterületen mutatózó konkrét-érzéki tapasztalatok hiánya áll a jelenség mögött.

Herron már 1975-ben megfogalmazta, hogy a kémia egésze és az a fajta megközelítés, amit mi a tanításunk során alkalmazunk, megköveteli, hogy a diák a formális szinten legyen, tudja alkalmazni e szint műveleteit, hogy felfoghassa azokat a fogalmakat, amelyeket elé tárunk.

Ugyanakkor a kémia fogalmainak tekintve, Young (2003) tapasztalatai szerint az első éves – nem természettudományos szakirányú – egyetemisták mintegy fele még nem éri el a formális szintet; és a természettudományos, de nem kémia szakos hallgatók esetén sem sokkal jobb ennél a helyzet.

A szimbólumok szintjének nehézségei

„Kémiai ábécénk” 110 szimbólumot használ. Ezen „elemi” szimbólumokból képezhetünk aztán újabb szimbólumokat, ha megfelelő módon kombináljuk azokat, például NaCl, HCl, H₂O.

A kombinálás során figyelembe kell venni a szintaktikai szabályokat. A szintaktikát olyan fogalmak alapozzák meg, mint a vegyérték, oxidációs szám vagy elektronegativitás.

A szintaktikai szabályokon belül célszerű megkülönböztetni egymástól a kémiai helyesírást és a kémiai nyelvtant.

A kémiai szemantika a kémiai nyelv képviselőinek (szimbólumok, képletek, reakció-egyenletek) jelentését a kémiai gyakorlat szemszögéből szabja meg.

Szintaktika

A kémiai helyesírás tartalmazza azokat a szabályokat (például vegyérték, oxidációs szám), amelyek meghatározzák, hogy mely szimbólumok és milyen arányban, miként kombinálhatók.

E szabály szerint a kősó képletét a NaCl szimbólummal jelöljük, és nem lehet helyes ugyanezen anyag jelölésére a Na₃Cl, mivel mind a Na, mind a Cl egységnyi pozitív, illetve negatív töltéssel rendelkező ionként található a vegyületben, ami feltételezi az 1:1 arányt.

Az elem periódusos rendszerben elfoglalt helyéből viszonylag egyszerű logikai módszerrel kikövetkeztethető tanulóink számára, hogy milyen betű és számkombináció felel meg egy adott anyagnak, azaz például az alumínium és az oxigén elemek milyen felállásban képezik az alumínium-oxid nevű vegyületet.

Míg a többi természettudományos tárgy szimbólumhasználata és szintaktikai szabályai többé-kevésbé racionális tervezésen alapulnak, addig a kémiai szimbólumok, képletek, egyenletek, és a kémiai szimbolizmus szintaktikai szabályainak jó része gyakorlati tapasztalatokon nyugszik.

A kémiai helyesírás által megszabott szabályrendszer meglehetősen nagy szabadságot biztosít számunkra, hiszen lehetővé teszi, hogy akár olyan szimbólumokat is definiáljunk, amelyeknek a gyakorlat szemszögéből nincs jelentése, nincs képviselője (például FrAt), de szintaktikailag teljesen helyes, és tudományosan is elfogadható. De míg létezik a hidrogén oxigénnel képzett vegyületei közül a H-O-H, a H-O-O-H is, de a homológ sor következő – egyébként szintaktikailag helyes – tagja már nem írható fel (H-O-O-O-H), mivel ez az anyag a gyakorlati tapasztalatok ismeretében nem létezhet (tartósan).

Ugyanígy gyakorlati okokra vezethető vissza, hogy a periódusos rendszerben egymás alatt lévő hidrogén és nátrium elemek klórral történő reakciójakor a diákok által hamarabb elsajátított

$2\text{Na} + \text{Cl}_2 = 2\text{NaCl}$ reakció mintájára felírt $2\text{H} + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$ miért hibás.

A kémiai nyelvtan a reakcióegyenletekre ír elő szabályokat. Ez szabja meg, hogy az egyenlet két oldalán miként kell érvényesülnie a sztöchiometriai szabályoknak.

Az eredeti példánál maradva ez szabja meg, miért nem helyes a

$\text{Na} + \text{Cl}_2 = \text{NaCl}$ egyenlet, szemben a $2\text{Na} + \text{Cl}_2 = 2\text{NaCl}$ egyenlettel.

A nyelvtani szabályok írják elő továbbá, hogy nyilat vagy éppen egyenlőségelet használjunk.

A nyelvtan és a helyesírás egymást feltételezik, hiszen a reakcióegyenletben szereplő képleteket a helyesírás feltételei szabják meg.

Ez a szabályrendszer teljesen logikus, és követhető a diákok számára. Kellő gyakorlat után helyes képleteket, sztöchiometriailag helyes reakcióegyenleteket prezentálnak diákjaink.

Ezzel kapcsolatosan a felmérések azt mutatták, hogy a diákok többsége egy reakcióegyenletben csupán betűk, számok és műveleti jelek kombinációját látja, és a felírt folyamat a számára nem jelenti a kötések felbomlását, új anyagok létrejöttét. A kémiai egyenlet rendezése a diákok számára nem több egy matematikai puzzle-nél, amelynek során egy jól működő algoritmus segítségével, a jelenség fogalmi megértésének hiányában is jó megoldáshoz lehet jutni. (*Wu, Krajcik és Soloway, 2000*)

Szemantika

Nehézség a kémia nyelvezetében a diákok számára a szemantikai jelentés ismerete is. Minden hetedikes évfolyamra íródott kémia tankönyv felsorolja, hogy a vegyjelnek, képletnek milyen minőségi és mennyiségi jelentést tulajdonítunk, de annak begyakoroltatására, elmélyítésére, hogy mikor melyik jelentését használjuk, csak nagyon kevés figyelem irányul.

Mivel a legtöbbször a minőségi jelentését használjuk, a többi jelentése lassan az enyészeté lesz a diákok gondolataiban.

Amíg a diákok nem szereznek kellő gyakorlatot a kémia tudományterületén, számukra sok esetben érthetlenné válik sok olyan szintaktikai szabály, amely egy kémiában jártas személy számára magától értetődik. Ilyen probléma például, hogy mikor kell „klór” kifejezés alatt a Cl, és mikor a Cl₂ jelölést értelmezni. A tanári szóhasználatban csak a legkritikább esetben hangsúlyozódik ki az, hogy milyen megjelenítési szinten értelmeződik éppen az a fogalom, ez többnyire csak a szövegkörnyezetből derülhet ki.

Az egyenletekre is igaz, hogy csak azok az egyenletek értelmezhetők a kémia számára, amelyek a szintaktikán túl gyakorlati jelentéssel is bírnak. Szintaktikailag nem lehet kifogásolni az alábbi egyenletet: $H_2 + O_2 = H_2O_2$, ugyanakkor szemantikailag helytelen, hiszen az egyenletnek nincs ilyen jelentése, a kiindulási anyagok reakciójakor ugyanis nem ez a termék képződik.

A felsoroltak érzékeltetik, hogy a kémiai fogalmak absztrakt jellege és a nyelv nagyfokú specifikussága miatt egy, az értelmi fejlődés konkrét szakaszában tartózkodó diák számára a kémia elsajátítása óriási kihívás.

A megfelelni vágyás kényszere miatt a legrövidebb útnak a gépies magolás marad. A hibásan vagy értelmezés nélkül megtanult, tévképzetekkel terhelt fogalmak pedig nem alkalmasak az egyre bonyolultabbá váló kémia értelmezésére; megkezdődik a túlélésre berendezkedés. Nem alapokat, hanem olyan kliséket, sémákat tanulnak meg, amelyekből aztán Patyomkin-falvakként építik fel ideiglenes fogalmi építményeiket.

A kutatásunkról

A Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertani Kutatócsoportja 2003 májusában és júniusában egy országos méretű, 726 tanuló bevonásával történő komplex, több szempont szerinti – többféle felmérőlapot tartalmazó – felmérést végzett. A felmérésben 17 hat- és nyolcosztályos gimnázium vett részt az ország legkülönbözőbb részeiből. A vizsgált korosztály a kémia tantárgy szempontjából releváns 7–11. évfolyamos diákok voltak. A vizsgálat hat- és nyolcosztályos gimnazistákra szűkítésének magyarázata, hogy ekkor nem történik a 8. évfolyam végeztével tanárváltás. A kémiai fogalmak fejlődését folyamatában vizsgálva nincs törés, azaz a diákok ugyanazon tanár ugyanazon módszerei szerint haladnak tovább tanulmányaikban.

A kémia alapfogalmait vizsgáló felmérőlap feladatai a következők voltak:

1. feladat: Atom, molekula, elemmolekula, vegyületmolekula, ion, kation, anion, egyszerű ion, összetett ion fogalma

2–3. feladat: Vegyjel, képlet jelentése

4–5. feladat: Az egyes anyagokat alkotó részecskék ismeretének vizsgálata

6. Részecskék töltésének vizsgálata

7–8. Az anyag szerveződése

A kiértékeléshez a hagyományos statisztikai módszereket és a tudástér-elméletet (Knowledge Space Theory) is felhasználtuk. Jelen írásban nem térek ki a feladatok részletes kiértékelésére, azokat az eredményeket emelném ki, amelyek a kémiai fogalmak absztraktsága, illetve nyelvezete miatt érdekesek egy gyakorló pedagógus számára.

Fogalmakkal kapcsolatos eredmények

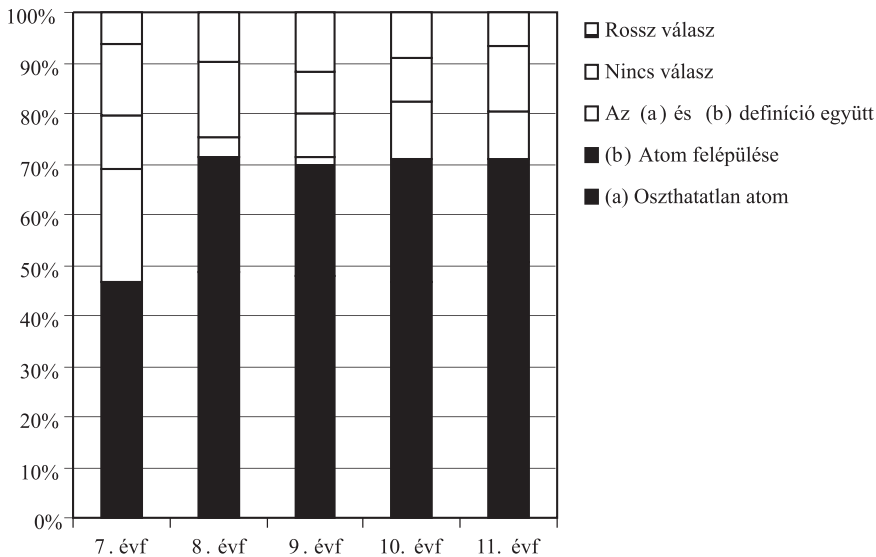
A kémia fogalmainak legfontosabbja az atomfogalom. Az első kémiás év végére oktatásunk a demokritoszi atomfogalomtól, a daltoni elemfogalmon át eljut a rutherfordi, majd a bohri atommodellig. Párhuzamosan több elméletet, több atomdefiniót ismernek a diákok, és ahogy az elméletek egymásutánisága létrehozta a tudományban a fogalmi váltást, ezt a fogalmi váltást várnánk diákjainktól is.

Sequeira és Leite (1990) felmérése alapján például a nyolcadikosoknak 29%-a a tizedikeseknek 10%-a nem tudott válaszolni arra a kérdésre, hogy mi az atom.

Német középiskolás diákok 50 százaléka egy gömbnek rajzolta az atomot, kvantummechanikai ismereteik ellenére is. (Bethge és Niedderer, 1996) Ugyanerre az eredményre jutott Harrison és Tregust (1996) is. Felmérésük szerint a diákok 55 százaléka csupán egy gömbként (körként) értelmezi (rajzolja) le az atomot.

Bethge és Niedderer (1996) vizsgálatai alapján a diákok a modellek közül azt tartják elfogadhatónak, amelyiket leginkább el tudják képzelni a valóságban.

A tanulói válaszok csoportosításánál – praktikus szempontból – az értékelhető válaszokat az oszthatatlan atom, illetve az atom felépülése kategóriákba soroltuk be. Feltételeztük azt, hogy az atomnak oszthatatlan részecskévé (gömbbé) nyilvánítása inkább a fogalmi fejlődés konkrét szakaszára jellemző, míg a az elemi részecskéket vagy az atommodelleket használó definíciókat adók túlléptek ezen a kezdeti szakaszon. A válaszok megoszlását mutatja a 2. ábra.



2. ábra. Az atom definícióinak megoszlása

Mint látható, a magyar diákok atomról alkotott elgondolása független attól, hogy melyik évfolyamra járnak. Gyakorlatilag minden évfolyamon a diákoknak mintegy 50 százaléka oszthatatlan golyóként, az anyagok felépítőjeként kezeli az atomot. A tanulók körülbelül 30 százaléka már az atom felépítését is belevonja definíciójába, míg diákjaink 20 százalékának egyáltalán nincs az atomról értékelhető elképzelése.

Ez utóbbi is igen elszomorító adat, de az, hogy az atomfogalom ennyire megreked a kezdeti szinten, az azt mutatja, hogy az oktatási folyamat nem eredményes, lényegében

nem változik a kémia tudásterületén azon diákok száma, akik az absztraktabb atomfogalomra térnének át.

A tanulmányok első éven túli szakaszában már az atom-, molekula-, ionfogalom memorizáláson túli értelmezése szükséges. Ha a fogalmi szint még mindig az oszthatatlan építőelem atomnál rekedt meg, akkor nagyon nehéz olyan fogalmakat bevezetni, ahol például elektronátadás, protonátmenet, oxidációs szám változás történik

Definíciókkal kapcsolatos észrevételek

A definíciók jelentős része nem felel meg a definiálás formai követelményeinek. Sok tanuló adott csonka definíciót. Ezekből hiányzik a besoroló fogalom, vagy a viszony, sokszor a fogalom neve sem szerepel. Például „apró részecske”, vagy „Minden test atomokból áll össze”, vagy „A legkisebb anyagi részecske”. Sok válasz állt egy szóból, vagy csupán egy adott képviselő képletével, vegyjelével válaszolták, hogy kikerüljék a nyelvi buktatókat.

A bevéso tanulás eredménye lehet, hogy a legkedveltebb – legelőször rögzült – atomdefiníció: „Az atom az anyagok legkisebb, oszthatatlan része” változatlan formában, tömegesen köszön vissza minden évfolyamon.

A mechanikus felidézés sematikusságára vezethető vissza az is, hogy a kémia két különböző szintjére adott atomdefiníció egyesítésével állítanak elő önellentmondásos atomdefiníciót:

„[Az atom] Oszthatatlan részecske, amely atommagból és elektronfelhőből épül fel.”

Az első két kémiás évfolyamon még nem birtokolják egészében a kémia nyelvezetét, ezért a köznapi szókészlettel próbálják meg körülírni az adott fogalmat:

Atom

„Legkisebb részegység, amit már tovább nem lehet bontani.” (7. évf.)

„Elemi parány” (7. évf.)

„A legkisebb alkotóelem” (7.évf.)

„Azonos fajtájú részecskék összessége” (7. évf.)

„Élőlények parányi eleme, része, az anyag kémiailag oszthatatlan része, atomrác is van” (8.évf.)

„A világmindenség legkisebb része” (8. évf.)

Molekula

„Összetett atomok” (8. évf.) azaz egymás mellé helyezett, összerakott atomok

„Atomok összessége” (9. évf.)

„Atomokból összeállt kémiai részecske” (8. évf.)

„Több atom kapcsolatba lépése után jön létre” (8. évf) azaz több atom összekapcsolódásával

„Atomokból álló csoport” (8. évf)

Az anyag szó is egyfajta jokerként szerepel sok diák definíciójában. Ezzel próbálják meg kikerülni, helyettesíteni az illető egység konkrét megnevezését:

Elemmolekula: „Egy anyag kapcsolódott állapotban.” (8. évf.)

„Csak egy bizonyos anyagból képződött molekula. Pl: H₂” (9.évf.)

Egyszerű ion: „Azonos minőségű anyagot tartalmazó ion” (10. évf.)

Atom: „Olyan anyagok, amelyekre ugyanazon tulajdonságok a jellemzőek” (9. évf.)

Vegyületmolekula: „Amikor két különböző anyag valami újat hoz létre” (9. évf.)

Ion: „Olyan anyag, aminek töltése van” (9.évf)

Molekula: „Elemekből felépülő anyag” (8. évf.)

A legérdekesebb észrevétel, ami eddig a kémia tévképzeteivel kapcsolatos gyűjteményekben nem szerepelt, az atom elemi részecskének nyilvánítása.

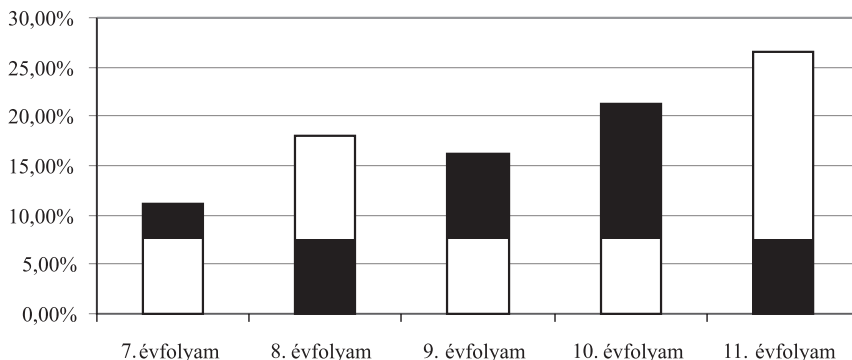
Például:

„[Az atom] Olyan elemi részecske, amely protonokból, neutronokból és elektronokból épül fel” 10. évf.

„[Az atom] Elemi részecske, kémiaiilag nem bontható tovább” 11. évf.

Az elemi jelző atomra értelmezett felbukkanása a definícióban teljesen lerontja annak értékét.

Az ilyen definíciókat adó tanulók számát mutatja a 3. ábra.



3. ábra. Az atomot elemi részecskének nyilvánító tanulók százalékos aránya

A hibás válaszok mellett elenyésző azok száma, akik valóban az atomot felépítő részecskéket értik az elemi részecske alatt.

Az elemi szó népszerűségének magyarázata egyértelműen nyelvi, értelmezési problémára vezethető vissza. Az elemi szó ugyanis nemcsak az atommal kapcsolatos definíciókban bukkan fel.

A H vegyjel jelentése: „Elemi hidrogénrészecske” (10. évf.)

„Kation: pozitív elemi töltéssel rendelkező elemi részecske” (10. évf.)

„Elemmolekula: a molekula kizárólag elemi részecskéket tartalmaz” (9. évf.).

Ugyanazon tanulóknál a definíciók, és a többi feladatra adott válaszok összevetése során kiderült, hogy az elemi szó a diákok többségénél nem a fizika által használatos elemi jelzőt takarja. Ennek egyik oka, hogy az elemi részecske hangsúlyos megjelenése a 12. évfolyam fizika tananyagához kötődik, kémiából pedig nem fordítunk különösebben nagy hangsúlyt arra, hogy a protont, neutron, elektront nevezzük elemi részecskének.

Ennek következtében a diákok számára az elemi jelző jelenti egyrészt az „alapvető-meghatározó” jelzőt:

„Legkisebb önálló elemi egység, a szó a görög oszthatatlan (atomosz) szóból, ered” (10. évf.) definíció például arra utal, hogy ez egy alapvető egység. Egy 11. osztályos diák például a következő definíciókat adta: „Az atom elemi részecske”, „A molekula több atomból felépülő elemi részecske”, és „Az ion töltéssel rendelkező elemi részecske”. Tehát az anyagokat felépítő alapegységeket minősíti az elemi jelzővel.

Másrészt az „elemből képződött” jelzőt:

„Elemmolekula: elemi atomokból álló kémiai részecske.” (10. évf.)

„Elemmolekula: elemi részecskék kapcsolódnak molekulává. PI O_2 , N_2 , H_2 (10. évf.)

A példák közül egyértelműen kiderül, hogy egy elemnek az atomjaiból álló molekula kifejezést érti rajta.

A fentebb idézett első definíción átszűrődik, hogy ez a daltoni elemdefinícióból származó, diákok általi rövidítés. (Dalton elemdefiníciója: „Az elem olyan anyag, amely azonos típusú atomokból áll.”)

A diákok a következő logikai utat követik: annak mintájára, hogy például Budapest lakói a budapestiek, ha az elemeket alkotó részecskéket atomoknak nevezzük, akkor ezek az elemi részecskék – elemi atomok.

Ennek ismeretében érthető, miért találtunk olyan sok „A legkisebb elemi részecske, alkotó részei: neutron, proton, elektron.” definíciót az atomra.

Az elemi szó jelentését tovább bonyolítja, hogy egy újabb kémiai fogalomban jelenik meg, az „elemi állapotú előfordulás”-ban. Ez további értelmezési zavart kelt diákjaink körében. (4. ábra)

Különösen nyilvánvalóvá válik ez az annál a kérdésnél, ahol az elemmolekula definíciójára kérdeztünk rá, ahol az elemi állapotú előfordulást ötvözni igyekeznek az elemmolekula fogalmával:

„Az adott elem a természetben így fordul elő, nem pedig atomként” (7. évf.)

„Ami a természetben is előfordul” (7. évf.)

„Egy adott elemnek a molekulája, egy anyag elemi állapotban csak elemként fordul elő (8. évf.)

„Az elemek molekulái, amiben természetes formában előfordulnak pl.: O_2 ” (9. évf.)

„1 molekula 1 atomból áll, nemesgázokból áll” (11. évf.)

Látható az igyekezet, hogy a természetben előforduló elemi állapotú gázmolekulákra vonatkoztassák a fogalmat.

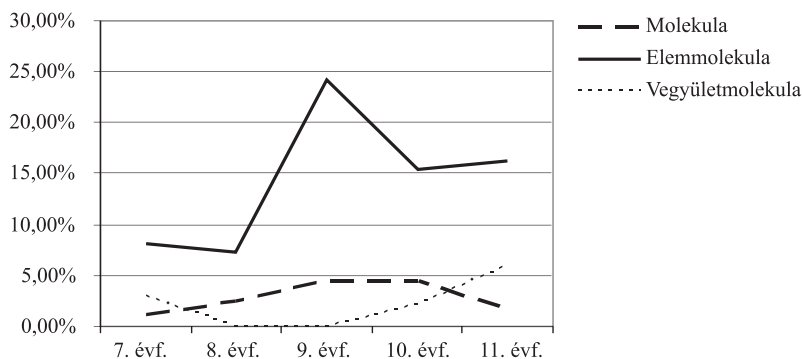
A molekula, elemmolekula és vegyületmolekula fogalma egyébként lehetőséget teremt arra, hogy a makro- és az atomi szinten adott fogalmak keveredését megtapasztaljuk diákjainkban. Nagyon gyakori az elem és az atom, illetve a vegyületet és a molekula fogalmának keveredése:

Elemmolekula:

„Elemekből felépülő molekula” (7–11. évf.)

„A molekula csak elemekből épül fel” (10. évf.)

„Két ugyanolyan elem összekapcsolódása H_2 , O_2 ” (10. évf.)



4. ábra. Az atom – elem fogalmának keveredése az egyes definíciókban

Ugyanez a fogalmi keveredés előáll a vegyületmolekula megfogalmazásánál is:

„Különböző elemeket tartalmazó molekula” (7–11. évfolyam)

„Különböző elemeket tartalmazó molekula $NaCl$, H_2SO_4 ” (8. évfolyam)

A vegyületmolekulánál nem nyilvánvaló a diákok számára, hogy melyik a nagyobb egység: a molekulák alkotják a vegyületet vagy a vegyületek alkotják a molekulákat, esetleg a két fogalom ekvivalens egymással? Nem ritka az ilyen meghatározás:

„Vegyületek által alkotott molekula (7–11. évf.)

„Olyan molekula, mely vegyületekből épül fel (7–11. évf.)

Magának a „vegyül” szónak a továbbgondolása jelenik meg a vegyületmolekula egyik értelmezésében, amikor úgy gondolják, hogy ez a fogalom olyan molekulát jelenthet, amely más molekulák vegyülésével/reakciójával állt elő:

„Például $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{CO}_3$ ” (11. évf.)

„Kétféle molekula vegyülete” (11. évf.)

„Többfajta molekulát tartalmaz” (9. évf.)

Ugyanez a logika jelenik meg az összetett ion fogalmánál. Az összetett szó a hétköznapi napokban az egymáshoz rakott, összeillesztett értelmezést is jelenti, ezt továbbgondolva születtek meg az alábbi definíciók:

„Kation és anion is megtalálható benne” (10. évfolyam)

„Többféle iont is tartalmaz pl.: Na^+OH^- ,” (8. évfolyam)

„Különböző töltéssel rendelkező ionok összekapcsolódása” (7–11. évfolyam)

„Az összetett ion több ionból épül fel pl.: Hg^{2+} , Cl^{2-} ,” (10. évfolyam)

Maga a sószerű vegyület jelenik meg a diákok definícióiban, hiszen az anion és kation rendeződik egymás mellé, „tevédik össze”.

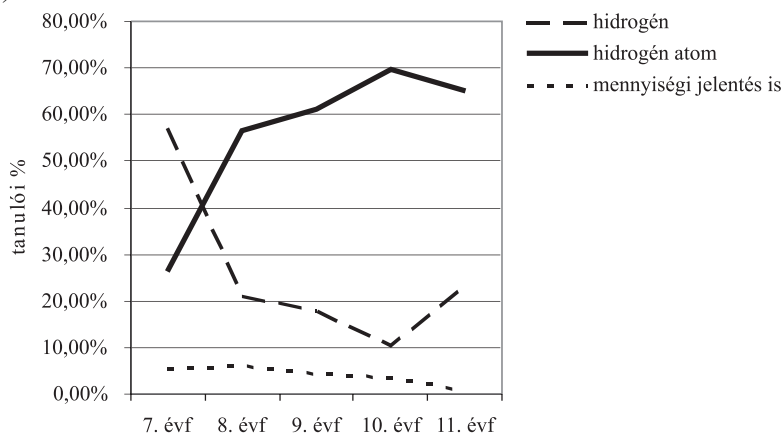
Ennél lényegesen egyszerűbb volt értelmezni azokat a válaszokat, ahol az egyszerű ion jelentéseként az egyszerű, negatív vagy pozitív töltéssel rendelkező iont jelölték, míg az összetett ion fogalmaként – szintén rosszul, de következetes logikával –, a többszörös töltéssel rendelkező ionokat adták meg.

Kémiai jelrendszerrel kapcsolatos eredmények

Wu, Krajcik és Soloway (2000) a természettudományos oktatással kapcsolatos találokozók egyikére készített cikkükben foglalták össze a tapasztalatokat. Szerintük a tanulók többségének kémiai megértését a köznap életből szerzett tapasztalatai irányítják, ezért hajlamosak az érzékelhető [makro] szinten megrekedni. Ezáltal nem képesek megjeleníteni a részecskeszinten bekövetkező jelenségeket, és azok szimbolikus leírását. Vizsgálatokat végeztek azzal kapcsolatban, hogy milyen szinten [makroszkopikus-atomi-szubatom] értelmezik a diákok az egyes kémiai jelöléseket, mint például $\text{Cu}_{(s)}$, $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$, és $\text{Cl}_{2(g)}$. A tapasztalat az volt, hogy a tanulók többsége összekeveri az atom és a molekula fogalmát. Sokan közülük a víz képletére történő kérdéskor annak makroszkopikus szinten tapasztalt tulajdonságait adták meg. Az atomi-molekuláris szint modelljeit helytelenül használták fel a magyarázataikhoz. Például a tanulók 20 százaléka tanulmányai során annál a gondolatnál maradt, hogy a víz képletében található H_2 azt jelenti, hogy a víz egy egységnyi H_2 gázt tartalmaz. Néhány tanuló azon a véleményen volt, hogy a $\text{H}_2\text{O}_{(f)}$ és a $\text{Cl}_{2(g)}$ egy részecske jelölése, és nem volt tudomása arról, hogy itt atomok összekapcsolódásáról is szó van. A tanulók sikerrel ismerték fel a klór és a hidrogén jelölését, de jelentésében már visszatértek a makroszintű tulajdonságokhoz. Nagyon sok tanuló még kémiai tanulmányainak végétével sincs tisztában a képlet jelentésével, néhányan csak a név rövidítéseként értelmezik a képletet, és nem az illető anyag felépülésére utaló információt látják benne. Mások a képletben található elemek szimbólumait úgy értelmezik, hogy a képlet ezen elemek keverékéből áll elő.

Vizsgálatunk arra irányult, hogy milyen jelentést tulajdonítanak diákjaink a vegyjelnek és a képletnek.

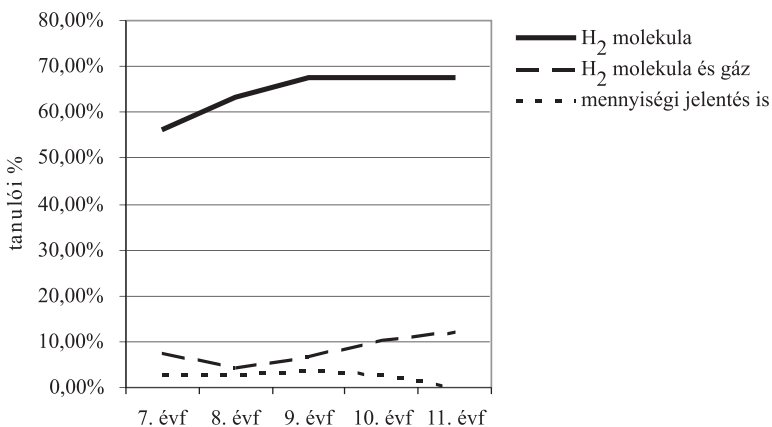
Tapasztalatunk szerint nagyon kevés volt az a diák, aki a H, a H₂, illetve a H⁺ jelölések értelmezésénél kitért a mennyiségi meghatározásokra is. A többség számára a vegyjel és a képlet az illető anyagfajta nevének rövidítését vagy egy entitását jelenti csupán. (5. ábra)



5. ábra. A H vegyjel értelmezése

Minden évfolyamon előfordult az a válasz, hogy a H jelölés „az elemi hidrogént” vagy „elemi állapotú hidrogént”, illetve „elemi hidrogénrészecskét” jelent. Ez korábbi értelmezésünk szerint a hidrogént mint elemet – téves szóhasználattal az „elemi hidrogént” jelöli.

A hidrogénmolekula esetén is a képlet minőségi jelentése szerepelt a legtöbb válaszban. (6. ábra)



6. ábra. A H₂ képlet értelmezése

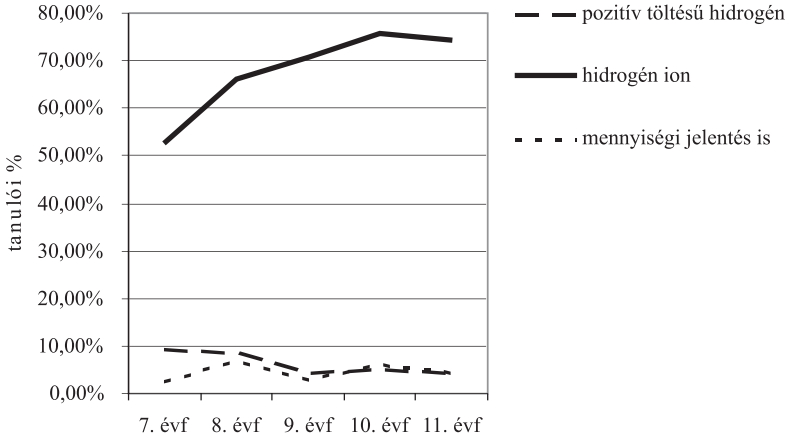
A H₂ jelentésére adott hibás válaszok között nálunk is megjelent a nemzetközi tapasztalatok által leírt válasz, hogy „Molekula, a víz képletében is így írjuk” (7. évf.). A diák számára ez a H₂ jelentésében megegyezik a víz képletében szereplő H₂(O)-val.

Sokkal gyakoribb hibának bizonyult, hogy a H₂ képletet összekeverték a ²H vegyjellel, a deutérium jelölésével.

„Deutérium: a hidrogénizotóp $1p^+$ és $1n^0$ tartalmaz” (7. évf)

„A hidrogén második izotópjá deutérium (2 neutron tartalmaz)” (8. évf.)

Tanulói részről a legsikeresebb definíciók közé tartozott az ion fogalma, hiszen nagyon egyszerűen megadható a fogalom („Töltéssel rendelkező részecske”). De a H^+ jelentésének értelmezésekor érzékelhető volt egy kis bizonytalanság. (7. ábra)



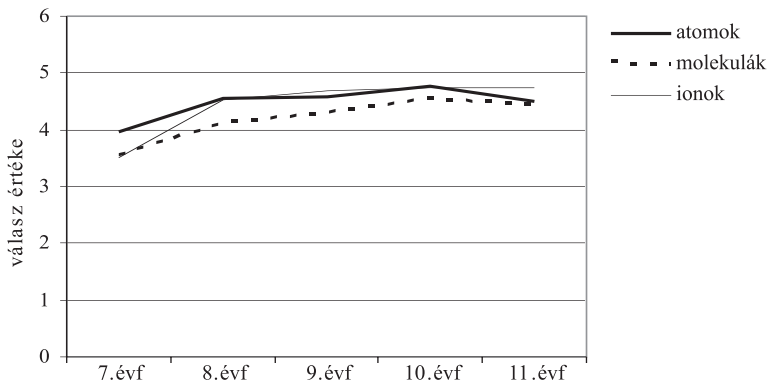
7. ábra. A H^+ jelölés értelmezése

Míg a H jelölést kötni tudták a periódusos rendszerben látható H vegyjelhez, vagy a H_2 jelölést a makroszint hidrogén gázához, addig az ionfogalomra nem található ennyire egyértelmű link a hétköznapi dolgainkra. Ezért adták sokan válaszként a H^+ -ra a pozitív hidrogént, amelyről nem dönthető el igazán, hogy mit is akar jelenteni, atomot, vagy molekulát, esetleg gázt.

Ugyanez az értelmezésbeli bizonytalanság jelenik meg, a „Pozitív töltésű egyatomos hidrogén gáz” (10. évf.), illetve a „Hidrogén, csak máshogy van leírva” (8. évf.) válaszban.

A kémiai jelölésrendszer vizsgálatánál a következőkről kellett eldönteni, hogy azok az elem, molekula vagy ion kategóriájába sorolhatók-e: C Ca^{2+} H_2O He Hg K^+ N_2 NH_3 OH^- S S_8 S^{2-} SO_4^{2-}

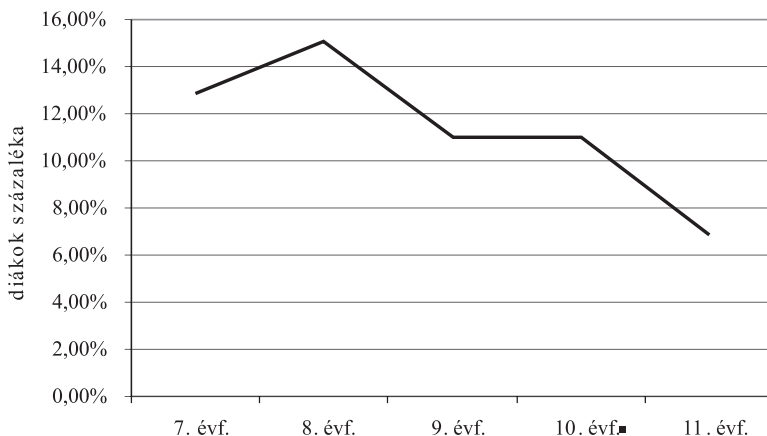
A feladat értékelésénél 5-ös volt a válasz értéke, amennyiben minden jelölést helyesen sorolt be a tanuló, de ha kihagyott valamit, vagy rossz anyagot sorolt be, ez mind egy-egy ponttal csökkentette a válasz értékét (0 pontig). (8. ábra)



8. ábra. A vegyjel, képletek besorolásának sikeressége

Látható, hogy az első kémiás év értelmezési nehézségei után egészen jó szinten ismerték fel a diákok a jelöléseket. Kialakítottak egy értelmezési sémát, amely szerint, ha a jobb alsó sarokban van index, az molekulát, ha pedig a jobb felső sarokban, az iont jelöl.

Várhatóan akkor következik be probléma, amikor alul és fölül is megjelenik az indexelés, amint az például a szulfát-ionban (SO_4^{2-}) látható. (9. ábra)



9. ábra. Azon diákok százalékos aránya, akik a szulfát-iont molekulaként értelmezik

Az első két évben sokan mind a molekula, mind az ion kategóriájába besorolták a szulfát-iont, mert nem tudták eldönteni, hogy melyik a magasabb rendű index, az ion vagy a molekula jelölése.

Következtetések

A kémia fogalmi rendszerének és szaknyelvének egyidejű elsajátítása óriási kihívás egy 7. évfolyamos diák számára. Ez az első olyan tárgy, amelynek fogalmi rendszere kívül esik a köznapi élet fogalmain, és a hozzátartozó nyelv elemei sem követik azt a logikai sorrendet, amely a köznapi nyelv esetében használatos.

Hogy diákunk otthonosan mozogjon a kémia világában is, az szükségeltetik, hogy kellő időt fordítsunk a fogalmi alapozásra. Értelmes tanulás csak akkor történhet, ha az új fogalmak szervesen be tudnak épülni a már meglévő fogalmi készletbe, ellenkező esetben a tanulás mechanikus bevésődés lesz. Mivel ritkán teremtünk közvetlen kapcsolatot a tudás elsajátítása és alkalmazása között, a megszerzett tudás a tanulók többségének idegen és érthetetlen, és éppen ezért megjegyezhetetlen is.

Tapasztalataink szerint a szaknyelv elsajátítása is gondokat okoz. A nyelv a kommunikáció eszköze, s amennyiben nem megfelelő a kódrendszer, a tanuló nem képes kommunikálni. A csökkenő óraszámok, a tanterv szorítása miatt még kevesebb a szóbeli feleltetés, és írásban sem az esszéjelleg dominál. Abból, hogy a diák használja az elsajátítandó fogalmakat, még nem következik, hogy érti is a fogalom lényegét. Ha csak tesztjellegű feladatokat, vagy rövid, egyszavas válaszokkal megoldható dolgozatokat íratunk, nem feleltetünk, nem javítjuk ki a szaknyelvvvel kapcsolatos hibákat, azzal mintegy rögzítjük a diák által felületesen megtanult ismereteket. (1)

Jegyzet

(1) Köszönetemet fejezem ki témavezetőmnek, Tóth Zoltánnak, a Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertani Részlege docensének, aki szakmai tanácsai-

val, iránymutatásával segítségemre volt e cikk megírásában. A munkát az OTKA (T-049379) támogatta.

Irodalom

- Bethge T. – Niedderer H. (1996): Students' conceptions in quantum physics. In *Ridvan Unal and Dean Zollman Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis*. <http://perg/phys.ksu.edu/papers>
- Cassels – Johnstone (1980): Understanding of non-technical words in science. In Prophet, Bob – Towse, Peter (1999): Pupils' Understanding of some non-technical words in science. *School Science Review*, 81, (295) 79.
- Thagard, P. – Toombs, E. (2005) Atoms, Categorization and Conceptual Change In Cohen, H. – Lefebvre, C. (2005, szerk.): *Handbook of Categorization in Cognitive Science*. Elsevier Science B.V. 243–253.
- Gardner, P. L. (1972): Words in Science In: Prophet, Bob – Towse, Peter (1999): Pupils' Understanding of some non-technical words in science *School Science Review*, 81, (295) 79.
- Jacob, C. (2001): Analysis and Synthesis: Interdependent Operations in Chemical Language and Practice. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 7, 1. www.hyle.org/journal/issues/7/jacob.htm
- Harrison, A. G. – Treagust, D. F. (2000): Learning about Atoms, molecules, and Chemical Bonds: A Case Study of Multiple-Model Use in Grade 11 Chemistry. *Science Education*, 84, 352–381.
- Herron J. D. (1975): Piaget for Chemists. *Journal of Chemical Education*, 52, (3), 146
- Hinton, Michael E. – Nakhleh, Mary B. (1999): Students' Microscopic, Macroscopic, and Symbolic Representations of Chemical Reactions. *Chem. Educator*, 4, 158–167
- Johnstone, Alex H. (2000): Chemical Education Research: Where from Here? *Chemistry Education*, 4, 34–38.
- Lemke, J. L. (1982): Talking physics. *Physics Education*, 17, 263–267
- Osborne, J. (1996): Untying the Gordian Knot: diminishing the role of practical work. In Prophet, Bob – Towse, Peter (1999): Pupils' Understanding of some non-technical words in science. *School Science Review*, 81, (295) 79.
- Piaget, J. – Inhelder, B. (1999): *Gyermeklélektan*. Osiris Kiadó, Budapest.
- Prophet, Bob – Towse, Peter (1999): Pupils' understanding of some non-technical words in science. *School Science Review*, 81, (295) 79.
- Sequeira, M. – Leite, L. (1990): On relating macroscopic phenomena to microscopic particles at the junior high school level. In *Ridvan Unal and Dean Zollman Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis*. <http://perg/phys.ksu.edu/papers>
- Young, John C. (2003): *From Concrete to Formal*. <http://ast.ednet.us.ca/journal/journal> 2006. október
- Wu Hsin-Kai – Joseph S. Krajcik – Elliot Soloway (2000): *Promoting Conceptual Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualisation Tool in the Classroom*. http://hi-ce.org/papers/2001/promoting_understanding/Wu-NARST00.pdf



Az Iskolakultúra könyveiből