

MŰHELY



Kérjük, hogy a MŰHELY című módszertani rovatba szánt írásaikat közvetlenül a szerkesztőhöz küldjék lehetőleg e-mail mellékletként vagy postán a következő címre: Dr. Tóth Zoltán, Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertan, 4010 Debrecen, Pf. 66. E-mail: tothzoltandr@yahoo.com, Telefon: 06 30 313 9753.

Ludányi Lajos

Az atomfogalom tanításának lehetőségei és problémái. I. Elméleti alapok

Bevezetés

Fogalmaink olyan gondolati képzetek, amelyeket szavakkal fejezünk ki, és a világ dolgainak egy csoportjára hivatkoznak. A fogalomalkotás egyfajta kategorizálás. A folyamat során világunkat kategóriákra osztjuk; így például a kutya fogalma a *kutya* szavunkon keresztül jelenítődik meg, és a kutyák csoportját hivatott jelölni a világ dolgai közül. Ahhoz, hogy a körülöttünk lévő világ történéseit értelmezni tudjunk, szükséges, hogy létrehozzunk olyan fogalmakat is, amelyek feltételezett, láthatatlan egyedek tulajdonságainak segítségével adnak választ világunk működésére. A természettudomá-

nyos kutatások sarkalatos pontja éppen az ilyen nem érzékelhető objektumokra vonatkozó fogalmak kialakítása és fejlesztése.

Ezzel kapcsolatos a kémia taníthatóságának nehézsége is, mert fogalmai olyan nem látható objektumokra hivatkoznak, mint *atom*, *molekula* vagy *ion*. Az ilyen elméleti fogalmak nem jöhetnek létre köznapi tapasztalatainkra támaszkodó kategorizálással, hanem előtte fogalomépítést kell végezni, hogy az adott kategóriát, fogalmat megfelelő gondolati képzetekkel lássuk el, amelynek révén használhatóvá válik világunk bizonyos jelenségeinek magyarázatában. Ezt tették meg például az ókori görögök az atom fogalmának megszüvegezésével, amely azután átalakulásokon keresztül, a természettudományok legsikeresebb, és – például Richard Feynman [1] Nobel-díjas fizikus szerint – a legfontosabb fogalmának bizonyult: ”Ha egy világkatasztrófa következtében minden tudományos ismeretanyag megsemmisülne, és csak egyetlenegy mondat maradna örökségül a következő civilizációra, mi lenne az a mondat, amely a leg-tömörebb megfogalmazásban a legtöbb információt sűrítene magában? Úgy vélem, ennek a mondatnak az atomok hipotézisét kellene tartalmaznia...”

A fogalomalkotásról

Egy fogalom definiálását többféle módon végezhetjük el. A klasszikus szemlélet értelmében a kategorizálás egy deduktív folyamat: megállapítjuk a szükséges és elegendő feltételeket az illető kategóriába való besoroláshoz. Egy fogalom definiálásához például megadjuk a tulajdonságoknak a szükséges és elégséges feltételeit. Például háromszög az a síkidom, amelynek éppen három oldala van. Az ilyen röviden megfogalmazható definíció a matematikán kívül igen ritka; gondban lennénk, ha a szekrény fogalmát akarnánk ilyen frappánsan megadni, a szépség vagy igazság definíciójáról nem is beszélve. De az atom diákok számára értelmezhető definícióját ilyen módon megadni sem tartozik az egyszerű feladatok közé.

Sok pszichológus, filozófus és kognitív kutató a prototípus szemlélet híve. Ez egy induktív folyamat, amelynek lényege, hogy meg kell keresni azokat a tulajdonságokat, amelyek legnagyobb egyezést mutatják az objektum és a hozzá legközelebb eső prototípus között, és ha megtaláljuk a legjobb egyezést, akkor annak a prototípusnak megfelelő csoportba soroljuk. Kutyaról például akkor van szó, ha annak a valaminek a tipikus tulajdonságai megegyeznek a prototípus kutya tulajdonságaival, azaz például négy lába, farka van, stb.

Egy másik szemlélet szerint nem a fogalom alapvető jellemzői tárolódnak agyunkban, hanem példák az illető fogalomra. Azok az emberek, akik már találkoztak kutyákkal, megfigyelték azokat, ezeket a képeket rögzítik memóriájukban, és amikor kategorizálni kell az illető dolgot, akkor a hasonlítás alapját ezek a példák jelentik. Kognitív pszichológiai vizsgálatok bizonyítják, hogy a minták fontos szerepet töltenek be az agyi hálózatunk működésében. Ha kellően sok példa tárolódik elménkben az illető kategóriára, annál nagyobb a valószínűsége, hogy kiváltódik az azonosítás folyamata, amikor hasonló objektummal kerülünk kapcsolatba.

A fogalmakkal kapcsolatos elméletek legmagasabb szintjén a „fogalmi megközelítés” áll. E szerint a fogalom nem csak a példák összessége, vagy a tipikus megfigyelhető tulajdonságok halmaza, hanem van egy nagyon fontos magyarázó szerepe is. Például a kutya fogalom magában foglalja a kutyával kapcsolatos egyéb jellemzőket is. Például, hogy bizonyos esetekben miként viselkedik, milyen választ ad bizonyos hatásokra, mit eszik stb. Megállapítható, hogy az olyan fogalom esetén, mint az atom, a leginkább használható elméletet oktatásunk számára a fogalmi megközelítés jelenti [2].

Az atomfogalom kialakításának problémái

A fogalom kialakításához tehát nem elég diákunknak pusztán definiálni az atomot: „az atom a legkisebb oszthatatlan részecske”; vagy arra kondicionálni, hogy a gömbcsont modellkészletből önállóan a

sárga műanyag golyót válassza kénatomnak; a fogalom kialakításában szerepelnie kell annak, hogy bizonyos esetekben az atom biliárdgolyóként pattog, miközben vatta(?)-, köd(?)szerű elektronfelhője van. Amikor a $pV=nRT$ összefüggést használjuk, akkor éppen golyóként, míg a H_2 molekula létrejöttékor elmosódott körvonalúnak képzeljük.

Mivel az atomfogalom egy elméleti konstrukció, a hetedik évfolyam kezdetén a diákok agyában nincsenek (használható) minták az atomra, köznapi életük során nem kerülnek olyan helyzetbe, hogy ezek kialakuljanak. Atomot sem a görögök, sem mi nem figyelhettünk meg soha, (a pásztázó-elektronmikroszkópos kép is csak egy számítógépes manipuláció eredménye), a tulajdonságai elméleti feltételezésekkel jöttek létre. Magának az atomfogalomnak a bevezetése az ókorban egy fogalmi váltás volt, és mi ugyanezt a fogalmi váltást igyekszünk megvalósítani diákjainkban az oktatás folyamán. Hogy korai-e 13-14 éves korban egy ilyen absztrakt fogalom bevezetése, erről megoszlanak a vélemények.

Az atomfogalom megértésével kapcsolatos vizsgálatok

Piaget [3] az értelmi fejlődés szakaszairól szóló tanításban a 7-11 éves korra teszi a konkrét és 11-16 éves korra a formális műveletek szakaszát. Egy, a konkrét műveletek szakaszába tartozó diák számára nehéz megtanítani olyan fogalmakat, amelyek szemléletes-képi módon nem érzékeltethetők. A használt szavakat, fogalmakat számukra „kézzelfogható” tartalommal kell megtölteni. Az ebbe a szakaszba tartozó diák, ha feladatmegoldásra kerül a sor, előszeretettel használja a képletekbe történő behelyettesítést, nem szeret tört-számokkal dolgozni. Sikeresen birkózik meg olyan fogalmakkal, mint tömeg, hosszúság, idő, de az anyagmennyiség, a mól már elképzelhetetlen számára, és az olyan származtatott egységek is, mint a súly vagy sűrűség már nehézséget jelentenek.

A formális szakaszba tartozó diák számára a fogalmak már elvont fogalmakként használatosak. Kezelen tudja, hogy ugyanazon fogalmat alkotó egyedek esetleg egymásnak ellentmondó sajátos-

sággal rendelkezhetnek. Így például, nem azonosítja az atom fogalmát sem a műanyag gömbcsont, sem a „hagymahéj-szerű” Bohr-moddal, 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 feladatmegoldása során.

A Piaget elmélete elleni támadások egyik iránya volt, hogy az általa megállapított korhatárok nem lehetnek általánosak. Young [4], egyesült-államokbeli vizsgálata szerint a természettudományos tanulmányokat folytató – de nem kémia szakos – egyetemisták fele, a kémia tudásterületét tekintve a formális szakaszhoz tartozónak tekinthető. Herron [5] már 1975-ben megfogalmazta, hogy a kémia egésze és az a fajta megközelítés, amit mi tanításunk során alkalmazunk, megköveteli, hogy a diák a formális szinten legyen, tudja alkalmazni a szint műveleteit, hogy felfoghassa azokat a fogalmakat, amelyeket elé tárunk.

A szemléletes-képi fogalom elvont-differenciált fogalommal 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 közlősúlyoló 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, mivel az adott tudásterületen mutatózó konkrét-érzéki tapasztalatok hiánya áll a jelenség mögött.

Az atomfogalom egy meglehetősen sokat vizsgált területe a kémiának. Franciaországi vizsgálat [6] eredménye, hogy „az atom- és molekula fogalom absztraktságából adódóan nincs kapcsolat a mindennapi tapasztalatok és a fogalmak között. A fogalmak az absztrakció olyan szintjét követelik meg a tanulóktól, hogy úgy tűnik, erre az egyetemre kerülő diákok alig 50%-a képes csupán.” Sequeira és Leite [7] felmérése alapján például a nyolcadikosoknak

29%-a, a tizedikeseknek 10%-a egyáltalán nem tudott válaszolni arra a kérdésre, hogy mi az atom. Német középiskolás diákok 50%-a gömbként rajzolta az atomot, kvantummechanikai ismereteik ellenére is [8]. Ugyanerre az eredményre jutott Harrison és Treagust is [9], akik ausztráliai felmérése szerint a diákok 55%-a csupán gömbként értelmezi az atomot, 32%-uk pedig atommagot és körülötte keringő elektronokat rajzol. A középiskolai kémiaoktatás végeztével a francia diákok 41%-a gömbként, 48 %-a pedig a bohri értelemben képzelel el az atomot [6].

Több vizsgálat is foglalkozott az atommodellek kérdésével, hiszen egyidőben, egyszerre 6 atommodellt használunk magyarázatainkhoz [10]. Ezzel kapcsolatban Albanese és Vicentini [11] azt állapította meg, hogy „Az oktatás nem emeli ki az atom modell voltát, csak mint eszközt szerepelteti az anyag makroszkópikus tulajdonságainak leírására. A tanulóknak nem az a vélemény rögzül az atomról, hogy az egy modell, amellyel magyarázni kívánjuk, hogy az elemeknek miért jönnek létre olyan tulajdonságaik a csoportosulásuk következtében, amelyekkel különben nem rendelkeznének, hanem csak az, hogy ez a legkisebb rész, amelyre a mikroszkópikus anyag még bontható, és még megőrzi kémiai jellemzőit”. Más vizsgálatok [12] szerint a tanulók számára a párhuzamos modellek a modellezni kívánt dolog, különböző (szó szerinti) megjelenési formáit jelentik.

Az atommal kapcsolatos tévképzetek

Ha a tanár nem körültekintően használja fel a modellt a tanítása során, akkor például az atommodellek esetében a következő tévképzeteket detektálhatja diákjai részéről: az atomok növekedhetnek és szaporodhatnak; az elektronszám az atommagot védi; az elektronszámhoz mozognak az elektronok, de az valami másból van [9].

Magával atommal kapcsolatos tévképzetek irodalma is igen kiterjedt. Ami érdekes, hogy ezek a tévképzetek jórészt függetlenek a földrajzi fekvéstől, gyakorlatilag minden ország diákjai esetén meg-

találhatók. Néhány fontosabb tévképzet az egyik internetes gyűjteményből [13]:

- Az atomok mikroszkóp segítségével megfigyelhetők.
- A fémek atomjai kemények, de amikor megolvasszjuk azokat, meglágyulnak az atomok is.
- A molekulák közti teret levegő tölti ki.
- A rézatom ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkezik, mint a fémes réz.
- Az atom az olyan, mint az építkezésnél a téglá.
- Az elektronok úgy keringenek a mag körül, mint a bolygók a Nap körül.
- Az atom mérete a protonszámtól függ.
- Az atomok sokszorozódhatnak, ha az atommagjuk szétválík, mint a sejteknél.
- Csak egy korrekt atommodell létezik.
- Az elektronhéj az olyasmi, mint a tojáshéj, vékony és kemény (szilárd).
- Az elektronhéj (shell) szerepe, hogy megvédje az atommagot, ahogy pl. a tojáshéj teszi.
- Az elektronfelhő olyan, mint az esőfelhő, és az elektronok úgy vannak benne szétszórva, ahogy az esőcseppek a felhőben.
- Az elektronfelhőben vannak az elektronok, de az elektronfelhő valami másból van.

Az atomfogalom tanításának időzítése

Hogy mikor és milyen módon célszerű bevezetni az atom és a molekula fogalmát, ezzel kapcsolatban megoszlanak a vélemények.

Egyesek szerint [14] ezeket a fogalmakat el kellene tolni a középiskolás kor végéig. Ezt a véleményt erősítették meg akkoriban az 5-8. évfolyamos szakfelügyelők, akik szerint „...ezeken az évfolyamokon csak nagyon kevés olyan diák van, aki megérti az atom- és molekulafogalom lényegét.” Ausztrália néhány állama követte ezt az elképzelést, és a tanterveikben az atomfogalom bevezetését

kitolták a kötelező oktatás végéig. Ugyanakkor Lee [15] arra mutatott rá, hogy a minőségi oktatás és a tantervi fejlesztés segédanyagai kedvező befolyással vannak az oktatási folyamatra, és „...nyilvánvaló, hogy ezek az elméletek [atom, molekula] nem mutatnak túl egy hatodik évfolyamos diák értelmi szintjén...”.

Az *AAAS Project 2061*-ben [16] már az az ajánlás szerepel, hogy „az atom és molekulafogalom 6-8. évfolyamon kívánatos, de a szubatomi részekre később kell sort keríteni”.

Taber [17] szerint bár szükség van az atomfogalomra, de az olyannyira túlhangsúlyozott a kémia oktatásában, hogy az már nem segíti a tanulót. Világunk ugyanis nem atomokból épül fel elsősorban, hanem ionokból, molekulákból, és a „minden anyag atomokból épül fel” mantra félreviszi diákjainkat.

Laszlo és Hoffmann [18] a tudomány szemszögéből közelíti az atomi és szubatomi részek tanításának kérdését: „A kémiában széles körben elterjedt az a gyermeteg elképzelés, hogy ne lépjünk túl a makroszintű jelenségeket leíró tulajdonságokon... A kémia atomi-szubatomi szintű tudománnyá vált. A magyarázatok rutinszerűen és paradigmátikusán a szubatomi szintből indulnak ki és haladnak a makroszkopikus tulajdonságok irányába; például amikor a delokalizálódott elektronok segítségével vezetjük le a festékek színét, vagy mikor a molekula alakjából és az adott pontjainak elektrosztatikus potenciáljával magyarázzuk az adott anyag gyógyhatását.”

Ez az irányzat figyelhető meg a magyar oktatásban is, hiszen a kerettanterv a 7-8. évfolyamon ajánlja bevezetni az atom és molekula fogalmát a „Célok és feladatok” részében a következő kitételrel: *„Az általános iskolában óvatosan kell bánni az absztrakt fogalmak használatával. Az atomok és molekulák mikrovilágát úgy kell bevezetni a tanulónak, hogy az a kémiai tulajdonságok és reakciók értelmezését látványosan könnyítse. A molekulamodellek, kristálymodellek használatával a szemmel láthatatlan részecskék világának térbeli viszonyait jelenítsék meg a gyerekek. A molekulamodellek legyenek az állandó tömegviszonyok megjelenítői is. Az atommagok*

és az elektronok kölcsönhatása szolgáljon kémiai reakciók energetikájának értelmezésére. A periódusos rendszer alapja az atomok felépítése, de meg kell mutatni, hogy annak alapján könnyű a tájékozódás az egyszerűbb elemek tulajdonságai között.” Azaz legkésőbb nyolcadik évfolyamra el kell jutni a szubatomi szintre, és ez nyújt majd segítséget a kémiai folyamatok magyarázatához. Az általam megvizsgált ma és egykor használatos 17 kémia tankönyv mindegyike hetedik évfolyamon bevezeti az atom fogalmát.

Összefoglalás

„Az atom, molekula és ion fogalma a legalapvetőbb, és legfontosabb fogalmaink közé tartozik. E fogalmakon alapul kémiaoktatásunk sikeressége. Bármely ezzel kapcsolatos tanulói tévképzet, vagy alternatív elképzelés a kémia további taníthatóságát akadályozza.” szögezte le Griffiths és Preston [19] tanulmányában.

Az atom- és molekulafogalommal kapcsolatos nemzetközi irodalomban tárgyalt problémák nem voltak különösebb hatással kémiaoktatásunkra. Kémiantanárokkal történő beszélgetéseim során egybehangzó volt az a vélemény, hogy az atommal, felépülésével, az elektronkonfigurációval kapcsolatos részek a legjobban taníthatók, ezt élvezik legjobban a diákok, és kellően sikeresek is belőle a számonkéréskor. Úgyanakkor az atommal kapcsolatos tévképzetek csaknem valamennyi fajtáját megtaláltam a magyar tanulók esetén is, és országos méretű felmérés során hasonló eredményre jutottam, mint amelyekre a korábbi fejezetekben utaltam. Diákjaink az atom- és molekulafogalom megértésében mutatkozó sikeressége tisztavirág életű. Ez a fogalom absztrakt jellegéből, a tanulói gondolkodás konkrét szakaszában tartózkodók nagy számából, és a tanulók munkamemóriájának korlátozott méretéből adódik. Young [4] szerint további probléma, hogy a kémiantanárok általában olyanokból kerülnek ki, akik maguk is korán váltak konkrétból formális szakaszba tartozóvá, és az egyetemi oktatás során sikeresen birkóztak meg az előadások óriási információmennyiségével is, ennél fogva nehezen

tudják elképzelni magukat a konkrét szinten lévő tanuló helyébe, ami rányomja bélyegét az oktatásukra is.

Irodalom

1. Richard Feynmann (1986): *Mai fizika* Műszaki Könyvkiadó Budapest
2. Thagard P. és Toombs E. (2005): *Atoms, Categorization and Conceptual Change* In: Cohen H. és Lefebvre C. (2005, szerk.): *Handbook of Categorization in Cognitive Science*. Elsevier Science B.V. 243-253.
3. Jean Piaget (1990): *Hat tanulmány* Primo Kiadó Budapest 48-50.
4. Young John C.(2003): *From Concrete to Formal* <http://ast.ednet.us.ca/journal/journal2003> 2006.október
5. Herron J. D. (1975): *Piaget for Chemists* Journal of Chemical Education. 52(3), 146
6. Aytakin Cokelez és Alain Dumont (2005): *Atom and molecule: upper secondary school French students' representations in long term memory* http://www.rsc.org/Education/CERP/issues/2005_3/P1_Dumont.asp
7. Sequeira M. és Leite L. (1990): *On relating macroscopic phenomena to microscopic particles at the junior high school level* In: Ridvan Unal és Dean Zollman Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis <http://perg.phys.ksu.edu/papers> 2006.október
8. Bethge T., Niedderer H. (1996): *Students' conceptions in quantum physics* In: Ridvan Unal és Dean Zollman *Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis* <http://perg.phys.ksu.edu/papers> 2006.október
9. Harrison A. G. és Treagust D. F. (1996): *Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry*. Science Education, 80(5), 509-534
10. Rosária Justi és John Gilbert (2000): *History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom'* Int.J.Sci.Educ, vol.22. No.9. 993-1009
11. Albanese A., Vicentini M. (1995) *Why do believe that an atom is colourless? Reflections about teaching of the particle* In: Ridvan Unal és Dean Zollman Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis <http://perg.phys.ksu.edu/papers> 2006.október
12. Harrison A. G. és 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.
13. www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf 2006.október
14. Wright T. (2005): *Images of Atoms* www.uq.edu.au/_sched_science_lesson/TWImagesatoms.html 2006.október

15. Lee O., Eichinger D. C., Anderson C.W. Berkheimer G.D. Blakeslee T.D. (1993): *Changing Middle School Students' Conceptions of Matter and Molecules* Journal of Research in Science Teaching vol. 30. No. 3. pp. 249-270
16. AAAS Project 2061 (2001) Science Literacy American Association for the Advancement of Science www.project2061.org 2006.október
17. Taber Keith S. (2001) *Building the Structural Concepts of Chemistry: Some Considerations from Educational Research* Chemistry Education: Research and Practice in Europe vol. 2 No. 2 pp.123-158.
18. Hoffmann R. és Laszlo R., (1991), *Representation in chemistry* In: Wu Hsin-Kai, Joseph S. Krajcik és 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
2006.október
19. Griffiths, A., és Preston, K. (1992) *Grade 12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules*, Journal of Research in Science Teaching, **29**, 611-628.

A munkát az OTKA (T-049379) támogatta.