

MŰHELY



Kérjük, hogy a MŰHELY című módszertani rovatba szánt írásaitak 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 52 512 900 / 22581-es mellék.

Iványiné Batta Beáta

Egykristályok fejlesztése

Bevezetés

Írásomban közkinccsé szeretném tenni mindazokat a tapasztalatokat és elméleti anyagot, amelyek a Berzsényi Dániel Gimnázium (Budapest) egy biológia-kémia tagozatos tanulócsoporttal elvégzett projekt megvalósítása közben ez idáig összegyűltek.

A 2 éves munkánk, melynek címe: *Szintetikus opál előállítás*, a Tempus Közalapítvány Socrates / Comenius 1. nemzetközi iskolai együttműködések támogató, pályázati rendszerben működő program keretében valósul meg.

Tevékenységünk első évében, a címből kiindulva, "Mi az opál?" kérdésre a választ megkeresve, gyorsan eljutottunk az ásványok csodálatos világába. Könnyen rámutattunk, hogy mi mindenre használta és használja az ember az ásványokat, valamint, hogy azok belső szerkezetét megértve a mai kor embere a modern technikában milyen területeken alkalmazza a mesterségesen előállított egykristályokat. Ebben segítséget nyújtott az

MTA Szilárdtest-fizikai és Optikai Kutatóintézet Kristálytechnológiai Osztálya is az által, hogy látogatást tehattünk a kristályfejlesztő laboratóriumukba. Itt a diákok számára világossá vált, hogy a kristályok tanulmányozása ma kiemelkedő feladata a tudománynak. Felhasználásuk kiterjed a sugárhajtóművek szenzoraitól a lézereken és a frekvenciasokszorozókon keresztül a számítógépes chipekig, azaz a modern technikai berendezések mindegyikében megtalálhatóak.

A tanulók a projekt kapcsán 4 fős csoportokban látványos egykristály-fejlesztő gyakorlatokat végeztek, amelyek mindegyike egy átlagos középiskolai laboratóriumban egyszerűen megvalósítható. Egyik sem eszköz- és anyagigényes. A sikeresen megvalósított négyféle kristály-előállítás, amelyek receptjeit a továbbiakban közlöm, szolgálhat annyi tapasztalattal és a témára való rálátással, hogy ezek után saját recepteket könnyű önállóan is összeállítani.

Az egykristály jellemzői: A test egészében a felépítő anyagi részecskék a tér mindhárom irányában periódikusan ismétlődő rend szerint helyezkednek el. A rácsszerű tökéletesen szabályos elrendeződés következménye, hogy a test így törésmentesen átlátszó, amely elérése nem egyszerű feladat. Az egykristályok minőségét is ez alapján határozzák meg.

A kristályos testek anizotróp sajátságúak, ami azt jelenti, hogy a fizikai tulajdonságok egy része függ az iránytól. Ilyen pl. a hasadás, optikai és elektromos tulajdonságok, valamint ennek legfeltűnőbb megnyilvánulása a síklapokkal határolt jellegzetes kristályalak, ami azzal magyarázható, hogy a kristályok a különböző irányokban különböző sebességgel növekednek.

Az egykristály-fejlesztés általános lehetőségei:

A lehető legtökéletesebb belső szabályos rend kialakításához, ami energetikailag optimális elrendeződést jelent, biztosítani kell, hogy az alkotó anyagi részecskék lassan találkozzanak. A kívánt tulajdonságú kristály anyagi összetételétől és jellegzetességeitől függően a fejlesztés különböző módjai vehetők igénybe.

1. Fejlesztés gázfázisban

A kristályalkotók elpárolgatás után a gázfázisban találkoznak és kicsapódnak. Ilyen folyamatot használnak ki pl. a halogénlámpákban. Az izzószálból elpárolgott wolfram reagál az üvegfalról szublimáló jódal, lecsa-

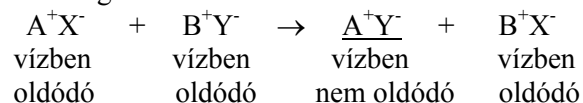
pódik a wolfram-jodid a forró szátra, ahol fénykibocsátás közben újra elbomlik.

2. Fejlesztés olvadékból

A kísérleti, de a nagyüzemi egykristály-fejlesztés leggyakrabban alkalmazott módszere. A kémiai tisztaságú anyagot megolvasztják, amely olvadék aztán lefolyik egy alacsonyabb hőmérsékletű tányérra előre odahelyezett oltókristályra. Itt egy körte alakú egykristály képződik, amely eltérő hosszúságú és 1-10 cm átmérőjű lehet. Ilyen módon készült egykristályokat használnak különböző „színű” lézer fény előállítására. Az elektronikában alkalmazott szilícium egykristályokat is ehhez hasonlóan olvadékból „húzzák” kb. 10 cm átmérőjű 1 m hosszú rudakká, majd ezt szeletelik vékony lapokká és darabolják megfelelő méretűre. Az infravörös spektroszkópiában optikai sajátságai miatt használt NaCl egykristályokat is így állítják elő.

3. Fejlesztés gélben

A vízben nehezen oldódó ionos vegyületek kristályait gélben (mint pl. megfelelő „feszességű” szilikagél) végrehajtott kicserélődéses reakciókkal is elő lehet állítani. Megfelelő két vízben oldódó kiindulási anyag reagál egymással a gélben a következő általános formula szerint:



A gél gondoskodik arról, hogy a két összetevő (A^+ és Y^-) lassan találkozzon egymással. Így lehet például a következő anyagok egykristályait előállítani: kalcium-tartarát, gipsz, ólom-jodid, ezüst-klorid.

4. Fejlesztés vizes oldatokból

Vízben jól oldódó anyagok egykristályainak előállítási módszerei tovább csoportosíthatók az oldhatósági görbe jellemzői alapján.

a) Lehűtési módszer alkalmazása akkor javasolt, ha az oldhatósági görbe jelentősen felfelé ívelő, vagyis melegen sokkal jobban oldódik az anyag. *Általában az eljárás:* Szobahőmérséklettől magasabb hőmérsékleten (kb. 35 °C – 45 °C) telített oldatot nagyon lassan (kb. 0,1 °C/nap) néhány hét alatt visszahűtünk. Ez idő alatt, ebben a zárt rendszerben, az oldatba függesztett oltókristály jelentősen megnő. Tökéletesíti az eljárást, ha a kristály és a folyadék mozog egymáshoz képest, például forgatjuk a

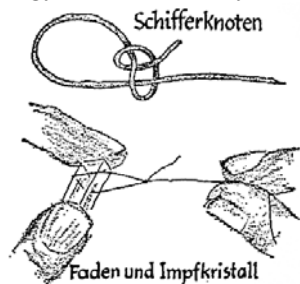
kristályt vagy a vízben keltünk hullámokat. Az így fejlesztett egykristály minősége kiváló. A zártságot, a kristály mozgását és a lassú hűtést biztosító úgynevezett kristályfejlesztő készülék házilag is összeállítható.

b) Túltelített módszer alkalmazása akkor javasolt, ha az oldhatósági görbe nem meredeken, de felfelé ívelő és nem áll rendelkezésre az előbb említett kristályfejlesztő készülék. Ehhez az eljáráshoz viszont szükséges egy olyan helység, ahol állandó a hőmérséklet, mint például egy pince-helység 19-20 °C-kal, vagy hűtőszekrény. *Általában az eljárás:* Szobahőmérséklettől 20-30 °C-kal magasabb rögzített hőmérsékleten készítünk egy olyan oldatot, hogy a bemért só még éppen feloldódjon. Az edényt lezárva elhelyezzük az állandó hőmérsékletű helységben egy nyugodt helyre. 1-2 napig állni hagyjuk. Az alacsonyabb hőmérsékleten feleslegessé vált só kiválik, így az oldat az adott hőmérsékleten telítetté válik. Leszűrjük egy szintén zárható edénybe. Ezután az oldatot ismét felmelegítjük arra a hőmérsékletre, amelyen az elején az oldást végeztük, és a kivált mennyiségtől kisebb tömegű sót még feloldunk. Belelógatjuk az oltókristályt és lezárva elhelyezzük ismét a nyugodt állandó hőmérsékletű helyen. Maximum 1 hét múlva a kristály felveszi az összes feleslegessé vált só mennyiségét és befejezi a növekedést. Az így keletkezett egykristályok minősége általában nem jó.

c) Bepárlásos módszer alkalmazása akkor javasolt, ha az oldhatósági görbe nem meredeken, de felfelé ívelő vagy gyakorlatilag lineáris, és nem áll rendelkezésre kristályfejlesztő készülék. Ehhez az eljáráshoz is szükséges egy olyan helység, ahol állandó a hőmérséklet, például egy pince-helység 19-20 °C-kal, vagy hűtőszekrény. *Általában az eljárás:* Az oldhatósági görbe ismeretében a szobahőmérséklettől kb. 10-15 °C-kal magasabb hőmérsékletnek megfelelő mennyiségű sót melegítés közben feloldunk megfelelő mennyiségű desztillált vízben. Ezután állandó hőmérsékletű nyugodt helyen 1-2 napig állni hagyjuk. Eközben a feleslegessé vált só kiválik, az oldat telített lesz. Leszűrjük. Ezután fonálra erősítjük az oltókristályt, és a telített oldatba merítjük optimális mélységig (nem túl közel az edény aljához, oldalához és a folyadékszinthez). Nyugodt, állandó hőmérsékletű helyen tároljuk nyitva, de nem fedetlenül. Az edényt takarjuk le papírvattával, vagy textildarabbal, abból a célból, hogy a víz párologhasson, de fékezze azt, valamint hogy kívülről semmilyen szennyeződés, még por se, hullhasson az oldatba. 1-2 hetes nyugalom után szépen fejlett kristály keletkezik. Ha időközben túl sok apró kristály kez-

dene növekedni az edény alján, oldalán, akkor időnként szűrjük le az oldatot. Nagyon enyhén melegítsük, hogy a kristálycsírák feloldódjanak, a kristályunkat visszahelyezve folytassuk a növesztést. Tetszőleges méretű kristályok fejleszthetők. Ennél az eljárásnál, ha a külső állandó hőmérséklet alacsonyabb, azzal lassabb a víz párolgása, így lassabb a kristály növekedése is, viszont jelentősen javulhat a minősége. Ilyen módszerrel könnyen előállítható egykristályok például: timsó ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), seignette-só azaz KNa-tartarát ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), konyhasó (NaCl), triglicin-szulfát azaz TGS ($(\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH})_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$).

d) Hidrotermálszintézis. A vizes oldatból való kristályfejlesztés egy olyan módja, ahol 400°C körül 1000 bar nyomáson történik a kristályosodás az autoklávban (nagy nyomásos berendezés). Így készül a rezgőkvarc, pl. a kvarcórák és a rádió-adóállomások számára. *Oltókristályok fejlesztése:* Szobahőmérsékleten telített oldat kis részletét (kb. 30 ml) kb. 1 napig hagyjuk állni papírvattával vagy textildarabbal letakarva. A kristályok fejlődése 1 órán belül már szemmel látható módon érzékelhető. Érdekes a folyamatot nyomon követni, akár óráról-órára, ugyanis oltókristálynak a teljesen átlátszó, jó minőségű, kb. $0,5 \times 0,5$ cm-es egykristályok a legalkalmasabbak. *Az oltókristályok rögzítése a fonálra:* Legalkalmasabb a 0,2 mm vastagságú horgászszinór. Cérnaszál nem alkalmazható, mert felszívja az oldatot és azon is megindul a kristálykiválás. Az ábra mutatja a speciális csomózást, amivel a kristály megfelelően rögzíthető.



Néhány egykristály előállításának leírása

A következőkben néhány egykristály előállításának részletes leírását adom meg.

Timsó egykristály ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) előállítása bepárlásos módszerrel

1. Melegítés közben oldjunk fel 100g timsót 500 ml desztillált vízben. Zárjuk le az edényt és hagyjuk 2 napig állni.
2. Szűrjük le az oldatot. A kivált kristályokat szárítsuk, majd egy oltókristálynak alkalmasat erősítsünk fel egy műanyag szálra.

A szűrletet nagyon enyhén melegítsük meg, hogy a kristálycsírák feloldódjanak. Helyezzük a telített oldatba az oltókristályt, és fedjük le lazán papírvattával.

3. Időnként (2 naponta) ellenőrizzük a kristály növekedését. Ha sok apró kristály kezd növekedni az edény alján vagy oldalán, érdemes leszűrni.
4. Kb. 1 hét elteltével szintelen kristályunk eléri az 1-1,5 cm-es hosszúságot, és formája megfelel az anyagra jellemző oktaédernek.

Ennél az eljárásnál a növesztés tovább folytatható, amíg az oldat még ellepi a kristályt.

Variáció 1.: 100g 5-30 % krómtimsót ($\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) tartalmazó timsót oldjunk föl 500 ml desztillált vízben, és az előzőekhez hasonlóan fejlesszünk egykristályt.

Ebben az esetben lila színű, de szintén oktaéder formájú kristályokhoz jutunk.

Variáció 2. : A Variáció 1.-ben kapott nem túl nagy lila oktaédert helyezzük át egy szintelen telített timsó oldatba, amit előzőleg „megkezelünk” egy-két csepp detergenssel. (A legjobban bevált az antibakteriális kék színű Cif mosogatószer.) Az így továbbnövesztett egykristály fokozatosan kocka alakot ölt, amely szintelen kocka belsejében jól látható a lila oktaéder.



Seignette-só – KNa-tartarát ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) szintetizálása borkőből (KH-tartarát $\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) kiindulva, majd egykristály fejlesztése

Nyers borkő tisztítása átkristályosítással

A nyers borkő, amely boroshordók alján kiválik és borászoktól beszerezhető, a szerves szennyeződések mértékétől függően piszkos fehér vagy homok színű, amely vízben rosszul oldódik. 1,5 l forrásban lévő csapvízben oldjunk fel 50g porrá tört borkövet kevergetés mellett. Feloldódás

után adjunk az oldathoz 5 evőkanál aktív szénport. Szűrjük le az oldatot. Használjunk ehhez előmelegített szűrőt és filtert, hogy megakadályozzuk a só időelőtti kiválását. A szűrletet hagyjuk egy napig hűlni. Ehhez használhatunk hűtőszekrényt is, azért hogy a kitermelési arányt javítsuk. A keletkező szalma kristályokat nuccsolással távolítsuk el az anyalúgtól, majd szárítsuk. Az 1. 2. lépéseket ismételjük addig, amíg elegendő mennyiségű tisztított KH-tartarátunk nem lesz.

Seignette-só szintetizálása

100g tisztított borkövet keverjük össze 200 ml desztillált vízzel. Kanállal adagoljunk a szuszpenzióhoz 45 g NaH-karbonátot. Amikor az erős gázfejlődés csendesedik, állítsuk edényünket 40 °C-os vízfürdőbe.

Oltókristályok fejlesztése

A gázfejlődés befejeződése után adjunk az oldathoz 2 kanál aktív szénport, majd nagyméretű (kb. 14 cm átmérőjű) Büchner-tölcsér segítségével szűrjük le. A szűrletet egy nagyméretű (kb. 20 cm átmérőjű) Petri-csészébe töltjük és nyugodt helyen állni hagyjuk. Pár nap múlva, a szűrlet betöményedése után, a keletkező kristályokat leszűrjük, szárítjuk és kiválasztunk közülük oltókristálynak néhányat. Melegítéssel bepárlással egy második kristályfrakció is kinyerhető az egykristály fejlesztéséhez.

Seignette-só egykristály fejlesztése

Az előző lépéseket ismételjük addig, amíg elegendő mennyiségű sónk nem lesz.

1. 500g KNa-tartarátot oldjunk fel melegítés közben 375 ml desztillált vízben. Zárjuk le az edényt és hagyjuk 2 napig állni hűtőszekrényben.
2. Szűrjük le az oldatot. A szűrletet nagyon enyhén melegítsük meg, hogy a kristálycsírák feloldódjanak. Helyezzük a telített oldatba az oltókristályt, fedjük le lazán papírvattával és tegyük vissza a hűtőszekrénybe.
3. Időnként (2 naponta) ellenőrizzük a kristály növekedését. Ha sok apró kristály kezd növekedni az edény alján vagy oldalán, érdemes leszűrni.
4. Kb. 1 hét elteltével szintelen kristályunk eléri az 3-4 cm-es hosszúságot, és formája megfelel az anyagra jellemző sokszög alapú hasábnak.

A KNa-tartarát egykristályai piezoelektromos tulajdonságúak, amely szemléltetését is ki lehet dolgozni.

Kalcium-tartarát egykristály ($\text{CaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) fejlesztése szilikagélben

1. Készítsük el a következő oldatokat:
 1. oldat: 5,5g borkősav + 100 ml desztillált víz
 2. oldat: 12,5 ml vízüveg + 76,5 ml desztillált víz
 3. oldat: 10 ml tömény NaOH-oldat.
2. Az 1. oldathoz kevertetés mellett lassan adagoljuk hozzá a 2. oldatot. A 3. oldat segítségével állítsuk be az oldat pH értékét 3,5-4 közötti értékre. Az így kapott elegyet töltsük szét három demonstrációs kémcsőbe 2/3-ig, és zárjuk le őket légmentesen.
3. 2 nap múlva, amikor befejeződött a gélesedés rétegezzünk a kémcsövek tartalmára külön-külön különböző töménységű CaCl_2 -oldatot.

Pl.: 0,8 g CaCl_2 + 13,5 ml desztillált víz
 0,8 g CaCl_2 + 20 ml desztillált víz
 0,8 g CaCl_2 + 27 ml desztillált víz
4. 1-2 nap múlva figyeljük meg a kialakult kristályokat. Jegyezzük fel minden esetben, hogy hol alakultak ki a kristályok, milyen a színük, formájuk, nagyságuk. Sikeres esetben 1-2 héttel a rárétegzés után apró 0,3-1 cm átmérőjű halványsárga oktaéder formájú egykristályok keletkeznek a gél belsejében.
5. Dolgozzunk ki variációkat minél fejlettebb és jobb minőségű egykristály előállítására úgy, hogy változtassuk az egyes pontban kapott elegy pH értékét, illetve a 2. pontban használt oldatot helyettesítsük más gyengébb savak Ca-sóinak oldatával, pl. Ca-formiáttal vagy Ca-acetáttal.

Konyhasó–szőlőcukor kettőssó-egykristály előállítása

1. Készítsünk különböző molarányú szőlőcukor és konyhasó keverékből szobahőmérsékleten tömény oldatokat, minden esetben kb. 75 ml desztillált vizet használva.

0,1 mol NaCl + 0,05 mol $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
 0,1 mol NaCl + 0,075 mol $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
 0,1 mol NaCl + 0,1 mol $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
 0,1 mol NaCl + 0,15 mol $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
 0,1 mol NaCl + 0,2 mol $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Az oldatokat töltsük rá nagyméretű (20 cm átmérőjű) óraüvegekre, hogy bepárlódjanak, ami eltarthat több napig is.

Naponta ellenőrizzük az oldatokat. Ha a harmadik napon sem indul meg a kristálykiválás, akkor kapargassuk meg üvegbottal az oldat alján az óraüveget. Figyeljük meg, hogy milyen molarányok esetén lesz a keletkezett kristályok formája eltérő a konyhasó jellegzetes alakjától.

2. Készítsünk 500 ml az 1. pontban meghatározott molarányú szobahőmérsékleten telített oldatot. Helyezzünk bele egy ugyanilyen molarányú felfüggesztett oltókristályt. Fedjük le lazán az edényt és helyezzük állandó hőmérsékletű helyre pl. hűtőszekrénybe.
3. Naponta ellenőrizzük a kristályok növekedését. Ha sok apró kristály kezd növekedni az edény alján vagy oldalán, érdemes leszűrni, még-hozzá ebben az esetben az oldat nagy viszkozitása miatt a vákuumszűrés a javasolt.
4. Kb. 1 hét elteltével színtelen kristályunk eléri az 1-1,5 cm-es hosszúságot, és a hexagonális trapezoédes osztályba tartozó két végén hegyes formájú.

Záró gondolatok

Diákjaim az általam közölt elméleti anyagot, a gyakorlatok elvégzésével szerzett tapasztalatokat, következtetéseket és gyűjtőmunkájuk eredményeit csoportonként összefoglalták egy-egy néhány oldalas dolgozatban.

Projektünk eddigi minden tevékenységét képek és letölthető dokumentumok formájában megismerheti bárki a <http://www.berzsenyi.hu/~dibusz/comenius/index.html> weboldaltól. Azt viszont, hogy egyszerű laboratóriumi műveletek eredményeként kezünk alatt születnek, és gondoskodásunknak köszönhetően növekednek ezek a szemet is gyönyörködtető egykristályok, valamint, hogy ezek tanulmányozása és fejlesztése közben tanulóink tudományos gondolkodása érezhetően változik, nem pótolható semmivel.

A 2 éves projekt 2. évében kerül sor ténylegesen az ékszer minőségű szintetikus opál előállítására, amelyről szeretnék majd ezeken az oldalakon szintén beszámolni.

Ludányi Lajos

Az atomfogalom tanításának lehetőségei és problémái. II. Hazai tapasztalatok

A cikksorozat első részében (KÖKÉL, 2006/5, 340. oldal) áttekintettem az atomfogalom tanításával kapcsolatos problémakör elméleti alapjait. Ebben a közleményben saját empirikus vizsgálataink alapján a magyarországi tapasztalatokról fogok beszámolni.

A felmérés körülményei

A Debreceni Egyetem Kémia Szakmódszertani Kutatócsoportja 2003 májusában és júniusában egy országos méretű, 726 tanuló bevonásával történő komplex, több szempont szerint – többféle felmérőlapot tartalmazó – felmérést végzett. A felmérésben 17 hat- és nyolcosztályos gimnázium vett részt az ország legkülönbözőbb részeiből. A vizsgált korosztály tagjai a kémia tantárgy szempontjából releváns 7-11. évfolyamos diákok voltak. A vizsgálat hat- és nyolcosztályos gimnazistákra szűkítésének oka volt, hogy az ilyen iskolákban nincs tanárváltás a nyolcadik év végén. A kémiai fogalmak, a kémiatudás fejlődését folyamatában vizsgálva nincs törés; azaz a diákok - jó esetben - ugyanazon tanár ugyanazon módszerei szerint haladnak tovább tanulmányaikban.

A 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 anyagokat alkotó részecskék vizsgálata
6. Részecskék töltésének vizsgálata
- 7-8. Az anyag szerveződése

A kiértékeléshez a hagyományos statisztikai módszereket (SPSS) és a magyar pedagógiai kutatásokban még viszonylag új – struktúrafeltáró – módszert, a tudástér elméletet is felhasználtuk.

Az értékelésből az atommal kapcsolatos eredmények egy részét ismertetem jelen tanulmányomban.

Az atomfogalom sokszínűsége

Az atom fogalmára adott definíciók értékelésekor azzal szembesültünk, hogy nehéz megadni az ideális definíciót a magunk számára is; még inkább nehézségbe ütközik ez, mikor egy a fogalmi fejlődés kezdeti szakaszában lévő tanuló definícióját kell értékelni.

Ez egyrészt ismeretelméleti okokra vezethető vissza. Az atom egy hipotetikus fogalom, és az, amit egy adott korban éppen megjelenít, aszerint változik, hogy milyen magyarázatot adott a kor tudósa egy-egy megfigyelés, mérési adat magyarázatára. Az atom fogalma drámaian megváltozott, amikor a felmerülő új eredmények arra kényszerítették a tudósokat, hogy felülvizsgálják korábbi feltételezésüket. Ez történt például Rutherford kísérlete vagy az elektron hullámtermészetének felfedezése után. Ezek a változások rendszerint megjelennek a tananyagban is, nem könnyítve meg a diák dolgát abban a kérdésben, hogy milyen definíciót is adjon az atom fogalmára.

A standardként használható definíció megtalálására nem voltak segítségünkre a tankönyvek sem, amelyek többnyire csak az első – az atom oszthatatlan, kémiaiilag oszthatatlan típusú – definíciót adták meg, majd a későbbiekben csak a fogalom fejlődését mutatták be, a tanulóra bízva a fogalom aktualizálását.

A vizsgálatunkba bevont 17 magyarországi kémia tankönyv atomdefiníciói a következő csoportokba voltak sorolhatók:

1. Demokritoszi megközelítés

pl. „A görögök az ókorban úgy gondolták, minden anyagra jellemző, hogy tovább már nem osztható, parányi részecskékből épül fel. Ezeket a részecskéket nevezték atomnak.”

2. Daltoni elemfogalomból származtatott

pl. „A kémiai elemek parányi részecskéit, amelyekből az elemhalmaz felépíthető: atomoknak nevezzük.”

3. Kémiai alapegység típusú megközelítés

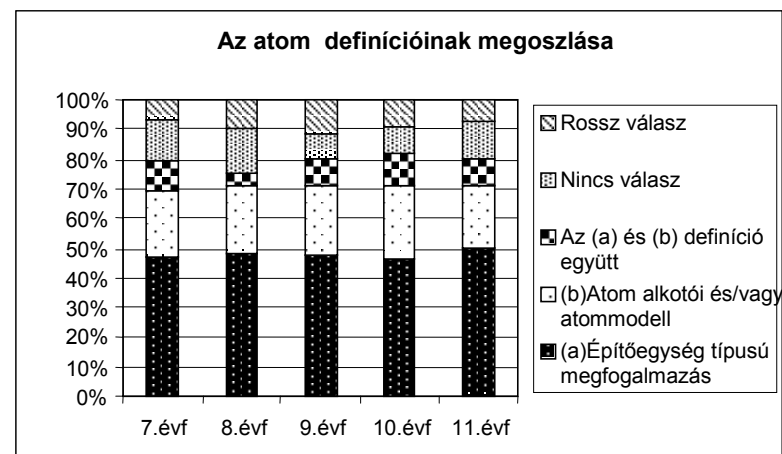
a, pl. „Az anyagok kémiai módszerekkel tovább már nem bontható egysége az atom.”

b, pl. „Atomok a legegyszerűbb olyan kémiai részecskék, amelyek a kémiai változásokban nem alakulnak át.”

4. Építőegység típusú megközelítés

pl. „Mai tudásunk szerint kémiai szempontból az atom a legkisebb önállóan is létező részecske.”

A tanulói definíciók jó része viszont az atomot nemcsak alapegység-építőegységként említette, hanem kitért annak felépítő alkotóira, esetleg az egyik atommodellel azonosította. Vizsgálatunkban ezért első megközelítésként a tanulói válaszokat aszerint osztályoztuk, hogy a tanulói válasz az építőegység, az atomot felépítő elemi részecskék vagy az atommodellel megadott válaszelemet is tartalmazta-e.



Látható, hogy az atom fogalma nagyon statikus, az évek előrehaladtával is alig változik a megközelítésének módja. Az évfolyamonkénti megoszlás szinte teljesen megegyezik, azaz az első évben bevett fogalmat a későbbi évek ismeretei sem írják felül. A tanulók fele mindvégig ragaszkodik az oszthatatlan atom definíciójához, de a fogalomról semmit nem tudók és rossz választ adók száma sem csökken az évek előrehaladásával. A diákok körülbelül 80%-a többé-kevésbé hiányos, de az atomfogalomra vonatkozó definíciót adott. Gyakorlatilag minden évfolyamon a diákok ~50%-a oszthatatlan golyóként, az anyagok felépítőjeként kezeli az atomot. A tanulók ~30%-a már az atom felépítését is belevonja definíciójába, míg diákjaink ~20%-ának egyáltalán nincs az atomról értékelhető elképzelése. Ez kísértetiesen egybeesik a tanulmány előző fejezetében az irodalomból citált adatokkal:

Amerikai tapasztalatok [1] Unal és Zollman	A diákok valamivel több mint 50 %-a az atomot mint az anyagok felépítőjét említi csupán, 33%-uk tér ki az alkotóira, és 42 % hozza be magyarázatába az atommodellt.
Ausztrál tapasztalatok [2] Harrison és Treagust	A diákok 55%-a csupán gömbként értelmezi az atomot, 32%-uk pedig atommagot és körülötte keringő elektronokat rajzol.
Francia tapasztalatok [3] Cokelez és Dumont	A végzős diákok 41%-a gömbként, 48 %-a pedig a bohri értelemben képzei el az atomot
Német tapasztalatok [4] Bethge és Niedderer	Középiskolás diákok közel 50%-a gömbként rajzolta az atomot, kvantummechanikai ismereteik ellenére is.

A diákok atomdefiníciói

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. Pl. „Apró részecske” vagy „Minden test atomokból áll össze” vagy „A legkisebb anyagi részecske”.

A bevéső 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 szintű atomfogalmának 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 köznap szókészlettel próbálják meg körülírni az adott fogalmat:

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

„Elemi *parány*.” (7. évf.)

„A legkisebb *alkotóelem*.” (7.évf.)

„Azonos *fajtajú* részecskék összessége.” (7. évf.)

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

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

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

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

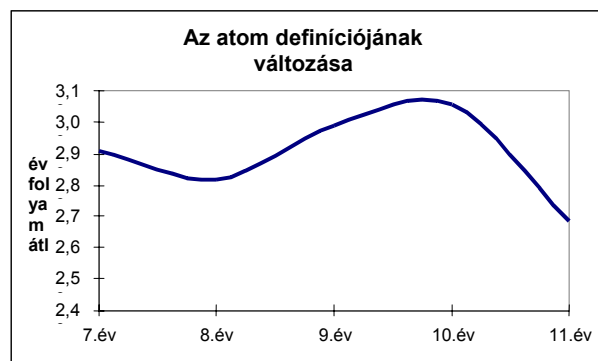
A definíciók kategorizálása

A válaszok értékelésénél nem állíthatjuk, hogy 11. évfolyamon a kvantummechanikai atommodell szerinti definíció a helyes, míg 7. évfolyamon elég a helyességhez a bohri elképzelés is. Ugyanolyan helyes definícióként kell elfogadnunk bármely évfolyamon a demokritoszi(?), a daltoni vagy akár a kvantummechanikai atommodellt is. Emiatt a következő -a tévképzetkutatás során használatos- skálát használtuk a tanulói válaszok értékelésére. Ebben is 0-5 között osztályoztuk a választ, bár ezek az értékek nem esnek minden esetben egybe a hagyományos iskolai osztályzás során használt ötös skála értékeivel.

Válasz kódja	Megértés szintje	Leírása	Példa rá
0	Nincs válasz		„Nem tudom”
1	Nincs megértés	a kérdés megismétlése, értelmetlen válasz	„Ez egy jelző. Atom = király”
2	Tévképzet	a válasz helytelen információt tartalmaz	„Az atom elemi részecske.”
3	Részleges megértés tévképzetrel	a válaszok jelzik az adott fogalom megértését, de tartalmaznak olyan állításokat is, amelyek tévképzetre utalnak	„Az elem egyik alkotórésze, különböző rétegeiben található a proton, neutron és elektron.”

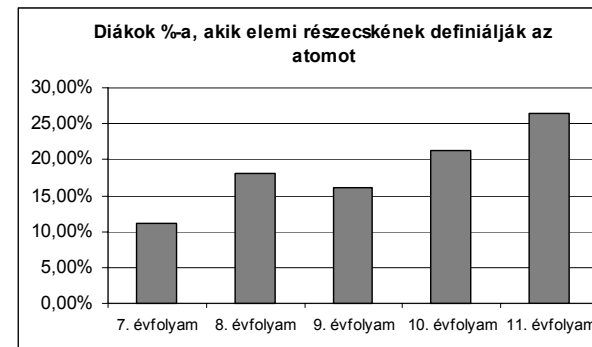
4	Részleges megértés	a válaszok a helyes válasz elemei közül legalább egyet tartalmaznak, de nem az egészt	„Protont, neutron, elektront tartalmazó részecske.”
5	Teljes megértés	a válaszok a helyes megoldás összes komponensét tartalmazzák	

Ábrázolva az évfolyamonkénti átlagok megoszlását, látható, hogy az atom definiálása 10. évfolyamon (szerves kémiai tananyagot követően) a legszínvonalasabb, míg 11. évfolyam végén (a szervetlen és az elektrokémia tananyagot követően) a legalacsonyabbra csökken a definíciók színvonala. A hullámszerű oka, hogy 8. és 11. évfolyamon a tévképzetek száma ugrás-szerűen megnövekszik. Ugyanakkor elkopnak olyan fontos jelzők, melyek nélkül a definíció nem csak az atomra érvényes (pl.: semleges, kémiai). A mindkét évfolyamon történő visszaesés elsődleges oka, hogy a definíciókban duplájára - másfélszeresére nő az előző évhez képest azok számára, akik az amúgy helyes definíciójukban az atomot elemi részecskének nyilvánítják. A skálázás miatt ez két-három egységgel is visszaminősíti az adott válasz értékét, ennek hatása tükröződik az átlagban is.



A kémiai szakirodalomban eddig sehol nem bukkant fel az a Magyarországon rendkívül elterjedt válasz, hogy az atomot elemi részecskének definiálják diákjaink. 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 jelzõt 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.

A diákok számára az *elemi* jelző jelenti:

1. az alapvető-meghatározó jelzõt

„Legkisebb önálló elemi egység, a szó a görög oszthatatlan (atomosz) szóból, ered” (10. évf.) definícióban az elemi jelző 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”. Egyértelmű, hogy az anyagokat felépítő alapegységeket minősíti az elemi jelzővel.

2. elemből képződött jelzõt

Elemmolekula: „Elemi atomokból álló kémiai részecske.” (10.évf.)
 Elemmolekula: „Elemi részecskék kapcsolódnak molekulává. pl. O_2 , N_2 , H_2 ” (10.évf.) A példákban egyértelműen kiderül, hogy az elem atomjaiból álló molekula kifejezést érti alatta. A fentebb idézett első definíción érződik, hogy ez a daltoni elemdefinícióból származó, diákok által helyes nyelvtani logikával levezetett következtetés (pl. ha a Budapesten élők, azt alkotók a budapestiek, akkor az elemet alkotó atomok azok az elemiek); de a kémiai nyelvezetnek ez nem felel meg.

A strukturális elemzés jelentősége

Azt a megállapítást, hogy „a diákokban az atomról alkotott kép meglehetősen statikus, az évek során sem változik”, ezt az egyszerű statisztikai módszerek sugallják. Ha struktúrafeltáró módszerekkel is analizáljuk az adatainkat, láthatóvá válik, hogy az egyes évfolyamokon, az atom fogalma milyen szerkezeti átrendeződésen megy keresztül.

A természettudományok oktatásával kapcsolatosan legelterjedtebb nézőpont, a konstruktivista szemléletmód értelmében megfigyeléseinket, érzékszerveinkkel által nyert tapasztalatainkat befolyásolják a már felépített gondolati rendszerünk előzetes elvárásai. Ennek megfelelően egy kísérlet értelmezését, egy tankönyvi ábra jelentését vagy a tanári magyarázat tanulói értelmezését is diákunk az előzetes ismereteinek megfelelően átformálja. Ezekre az előzetes ismeretekre támaszkodva építi tovább saját tudásrendszerét, amelybe több-kevesebb sikerrel igyekszik beilleszteni, hozzákapcsolni a tananyagban előkerülő újabb jelenségeket. Ennek köszönhetően a tanulás nem egyszerűen egy tudástranszfer a tanártól, vagy a tankönyvtől a diák felé, hanem a tanár számára láthatatlan és jórészt ellenőrizhetetlen, a tanuló által megvalósított építő folyamat.

Egyértelmű, hogy csak a strukturált módon kialakított tudást lehet hasznosítani: azaz az olyan tudást, amelyben a tudáselemek kapcsolódnak egymáshoz, egy rendszert hozva létre. Tudásunk kiépítésének módszere az, hogy az új ismeretet a már meglévő rendszerünk eleméhez, elemeihez kapcsoljuk. A tudás ennek következtében nem egyszerűen tények tárháza, hanem fogalmainknak kiterjedt hálózata, idegen kifejezéssel egy *kognitív struktúra*.

A tudás akkor használható fel leginkább, ha a strukturáltsága kompatibilis azzal, ahogy a többi ember kiépítette a saját struktúráját. Az oktatási fo-

lyamatra vonatkoztatva, ez azt jelenti, hogy a tanulók kognitív struktúrája akkor a legmegfelelőbb, ha a kiépülése követi a bennünk, tanároknak kiépült struktúráját.

Ez elvileg ellentmond több pszichológus megállapításának, akik szerint a tudás kiépítésének folyamata, a létrejövő szerkezet egyedi; mindannyian másként jutunk el a folyamat végére. Ezt a látszólagos ellentmondást azzal oldhatjuk fel, valóban, mindannyiunknak egyedi kognitív struktúránk van, de ezekben a struktúrákban nagyon sok a közös vonás.

Fenomenográfia

A tudástér elmélet módszere nagyszerűen alkalmas arra, hogy kellő számú (minimum 3) dolgozati kérdés segítségével felállítsa egy adott témakörön belül a kérdések-problémák hierarchiáját, fel tudjuk mérni segítségével a diákcsoportra jellemző tanulási utat, a különböző fogalmak egymásra épülését.

Nem használható azonban olyan esetben, amikor például csak egy itemből álló „feladatsorunk” van, mikor csak egyetlen fogalom finomszerkezetét kívánjuk feltárni. Eleve a tudástér módszere nem erre van kidolgozva. A dichotóm skála használata miatt a válasz vagy 1 vagy 0 értéket kaphat, attól függően, hogy a helyes választ kaptuk vagy sem. Egy nyíltvégű kérdés esetén ebből nem tudjuk megállapítani, hogy diákjaink milyen utat követnek az atom fogalmának megadásakor, ha csak jó vagy nem jó kategória létezik.

Egyetlen fogalom finomszerkezetének vizsgálatára dolgoztunk ki egy módszert, amelyben felhasználtuk a fenomenográfia módszerét [5], és a tudástér elmélet matematikai apparátusát.

A fenomenográfia egy vizsgálati módszer, amelynek segítségével feltérképezhetjük azokat a minőségileg különböző utakat, amelyeken a körülöttünk lévő világ jelenségeit észleljük, elképzeljük és megértjük. A fenomenográfiai vizsgálatok lényege, hogy egy jelenséghez fogalom vagy törvény megértéséhez korlátozott számú, egymástól minőségileg különböző úton juthatunk el. A fenomenografikus módszernél kategorizáljuk az adott dologról beérkezett leírásokat, ezek a kategóriák adják aztán a végeredményét a vizsgálatnak. A fenomenográfusok a leglényegesebb megkülönböztető jegyeket keresik meg a jelenség felépülésében. Ezen túl minden egyes kategória egy nagyobb szerkezetnek, a többi kategóriából létrehozott szerkezetnek a része. Mi nem álltunk meg a vizsgálattal a ka-

tegóriák megállapítása után, hanem χ^2 vizsgálatok sorozatával (Potter-féle program) megkerestük az adott évfolyamon azt az ideális (egy vagy több) gráfszerkezetet, amely legjobban illeszkedik a tanuló csoportnak az atom fogalmáról alkotott fenomenografikus szerkezetéhez.

Ennek révén a fogalom kiépülésének lényegét tudtuk megállapítani. Mivel a gráfok nehezen értelmezhetők, ezért a gráfokat Hasse-diagramok alkalmazásával tettük szemléletessé.

Az atom fogalmának fenomenográfiai megközelítése

Az atomfogalomra is igaz a fenomenográfiai megközelítés, hogy véges számú módon definiálható az atomfogalom. A tanulói válaszok elemzése alapján három lényegi kategória körvonalazódott az atom fogalmára:

1. Az anyag építőegysége típusú definíció

Ilyen definíció például: „Az atom az anyag legkisebb részecskéje.” vagy „Az anyag kémiaiilag tovább nem osztható részecskéje.”

2. Az atom alkotói típusú definíció

Pl. „Az atom protonból, elektronból és neutronból álló semleges részecske.” Vagy „Az atom atommagból és elektronból álló részecske (az atommagban található a proton és a neutron)”.

3. Az atom modellezése típusú definíció

„Az atomot atommag és elektronfelhő alkotja.” „... az atommag körül keringenek az elektronok” stb.

A diákok nyilván nem csak e három alapdefiníciót adták, hanem bizonyos szabályokat betartva, de ezekből építkezve komplexebb megfogalmazással is éltek. Az értékelhető válaszok 99%-át sikerült a három alaptípusra építve besorolni, ami azt bizonyítja, hogy fenomenográfiai szempontból sikerült megtalálni az ideális kategóriákat. Eszerint a tanulói definíciók hierarchiája a következő módon épül fel:

1+2+3: építőegység + alkotók + modell

Például: Az anyag kémiaiilag oszthatatlan részecskéje, amely protonból, neutronból és elektronból áll, a protonok és neutronok az atommagban helyezkednek el, e körül keringenek az elektronok.

2+3: alkotók+modell

Például: Az atomban van atommag, amelyben protonok és neutronok találhatóak, e körül keringenek az elektronok.

1+3: építőegység +modell

Például: Az anyag kémiaiilag oszthatatlan részecskéje, áll egy atommagból és e körül keringő az elektronokból.

3: modell

Például: Az atomot az atommag és a körülötte keringő elektronok alkotják.

1+2: építőegység+alkotók

Például: Az anyag kémiaiilag oszthatatlan részecskéje, amely protonból, neutronból és elektronból áll.

2: alkotók

Például: Az atom protonból, neutronból és elektronból felépülő egység.

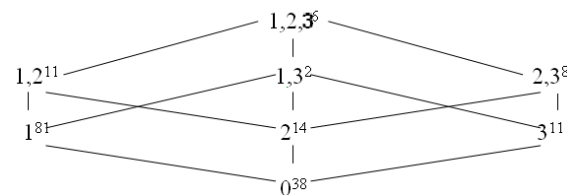
1: építőegység

Például: Az anyag kémiaiilag oszthatatlan részecskéje.

A definíciók megoszlása az egyes kategóriák között a következő volt:

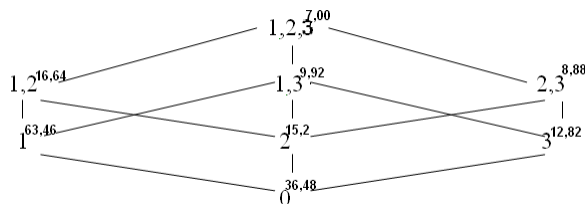
	7.évf	8.évf	9.évf	10.évf	11.évf
1-2-3 kategória	6	1	7	5	4
2-3 kategória	8	5	7	5	3
1-3 kategória	2	5	6	11	11
3 kategória	11	13	10	2	4
1-2 kategória	11	6	13	11	6
2 kategória	14	12	3	16	5
1 kategória	81	81	66	64	61
nincs válasz	25	24	11	12	15
rossz válasz	13	18	13	9	8
összesen	171	165	136	135	117

A *nincs válasz* és *rossz* válaszokat a 0 értékűnek vehetjük. Ekkor a diákok válaszszerkezetére a kevés kategóriának köszönhetően évfolyamonként hasonló gráf adódott:



A hetedikes tanulók válaszszerkezete. (Indexben az adott tudásállapotban tartózkodó tanulók száma.)

Mivel a gráf nem túl bonyolult - nem lehetett rajta lényegesen egyszerűsíteni - a Potter-féle számítógépes program idealizált gráf gyanánt is ezt adta. Az egyes állapotok melletti indexben a várható populációértékei vannak feltüntetve; azaz ideális esetben –belekalkulálva a puskázás, véletlen hiba lehetőségét is – ennyi tanulótól várható, hogy e részekből felépülő definíciót adják atomra az évfolyamról. Ennyi lenne azon tanulók száma, akik az állapot számozásának megfelelő kategóriájú definíciót adnák.



A hetedikes diákok Potter-féle számítógépes programmal illesztett tudáshierarchiája. (Indexben a program által jósolt populáció látható.)

Minden évfolyamra elvégezve a tudástér feltárását, a várható populációértékek segítségével meghatározhatóvá váltak a lineáris fogalomalkotás lépései, a jellemző tanulási – vagyis jelen esetben a jellemző fogalom felépülési – út. Nyolcadik és tizedik évfolyamon két ugyanolyan jó χ^2 -értékű út adódott.

Évfolyam	Atomdefiníció felépülésének sorrendje (magyar tanulók esetén)
7. évfolyam	1 → 2 → 3
8. évfolyam	1 → 2 → 3
	1 → 3 → 2
9. évfolyam	1 → 2 → 3
10. évfolyam	1 → 2 → 3
	1 → 3 → 2
11. évfolyam	1 → 3 → 2

Ami az évfolyamonkénti változást illeti, a lineáris fogalomalkotást feltételezve az a következtetés vonható le, hogy a diákok kezdetben a szakértői sorrendet követik (1-2-3). Az atomot elsősorban, mint az anyagok építőegységét (1) fogadják el, majd ezután az atom alkotói (2) – proton, neut-

ron, elektron – következnek, és a tanulási, megismerési út végére kerül az atommodell (3) ismerete. Ez a sorrend aztán átmeneti állapotokon keresztül alakul át olyanná, hogy 11. évfolyamra az atommodell fontossága meghaladja a definíciókban az atomot alkotó elemi részek fontosságát, és a diákok ezt előbbre helyezik definíciójuk megadásakor.

Amerikai diákok atomdefiníciói alapján is elvégeztük ezt a meghatározást. A magyar eredményekkel nem egyező definiálási utakat kaptunk. Ennek egyik oka lehet, hogy az ottani didaktikai felépítésben az atomfogalom bevezetése nem Demokritosszal, hanem Rutherforddal kezdődik. Sajnos csak három amerikai évfolyamról sikerült adatokat szerezni, így a kétféle oktatási vonulat teljes mértékben nem vehető egybe.

Évfolyam	Atomdefiníció felépülésének sorrendje (amerikai diákok esetén)
9. évfolyam	2 → 3 → 1
10. évfolyam	1 → 2 → 3
	1 → 3 → 2
11. évfolyam	1 → 2 → 3

Az atomfogalommal kapcsolatos kategóriák egymásra épülése

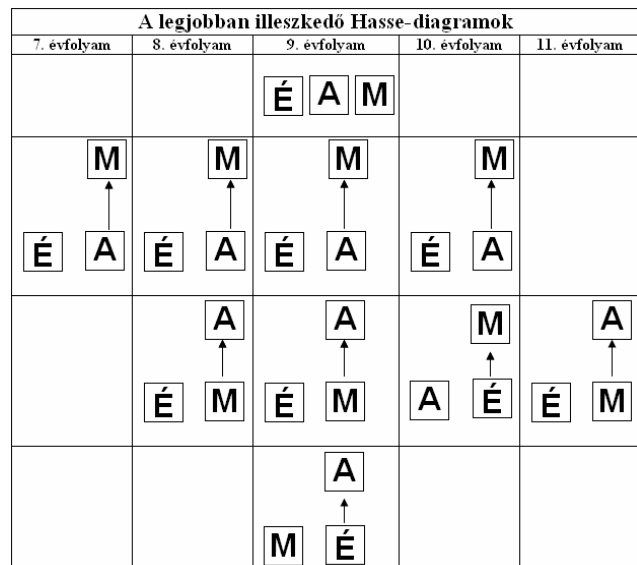
Az tanulmányok kezdetén, a hetedik évfolyamon csupán egyetlen szerkezettel sikerül leírni a tanulók atomdefinícióját. Ebben a tanulók a szakértői utat követik az atom definiálására. Elkülönül egymástól az építőegység felfogás az atom alkotói, és az atom modellként való fölfogásától. Ugyanakkor az atom alkotóira épül rá az atommodell. 7-10. évfolyamig mindig megtalálható ez a szerkezet. Sikeres volt a tanári munka. Nyolcadik évfolyamon már megjelenik az a szerkezet is, amelyben a tanulók számára az atommodell válik jelentősebbé, és erre épül rá az atom alkotóiról szóló tudás.

Több információhoz juthatunk a definíciók felépüléséről az egyes évfolyamokon, ha Hasse-diagramokká dolgozzuk át a kapott gráfokat. A táblázat jelmagyarázata:

É építőegységként kezelt atom

A az atom alkotói (p, n, e)

M az atommodellek



Kilencedik évfolyamra, amikor a tanulók számára ismertté válik például a kvantummechanikai atommodell is, a lehetséges struktúrák száma is megsokasodik. Az előzőleg említett szerkezeteken túl megjelenik például a teljesen kapcsolatok nélküli szerkezet, semmi nem függ össze semmivel, elszigetelt tudásegységek alkotják a szerkezetet; illetve egy olyan szerkezet, amikor a modell különül el a másik két összetevőtől, és az építőegység definícióra épül rá az alkotók ismerete. Tizedik évfolyamra a „klaszszikus” struktúra mellett megjelenik az a felfogás, amelyben az építőegység felfogásra épül rá az atommodell, elkülönülve az alkotóktól. Tizenegyedik évfolyamon ismét csak egyetlen szerkezet mutatható ki, amelyik alternatívaként már nyolcadik évfolyamon megjelent; azaz az atommodell kap nagyobb szerepet, és erre épül rá az összetevők ismerete. Ez utóbbi következik abból is, hogy ekkor a szervetlen kémiai tananyagban, vegyületek képletének meghatározása, gerjesztéssel létrejövő állapotok megálapítása az atom modellként való szerepeltetését feltételezi leginkább.

Látható tehát, hogy a látszólagos változatlanlanság alatt óriási strukturális átrendeződések történnek a kollektív kognitív rendszerben, az atom fogalmát illetően.

Záró gondolatok

A felmérés készültkor még 11. évfolyamig volt kötelező kémiaoktatás a gimnáziumokban, heti két órában. Ezek az adatok az akkori állapotot tükrözik. Ma elvégezve ugyanezt a felmérést, valószínűleg jóval gyengébb eredményt kapnánk; valószínűleg nem csak a 11. évfolyamra.

A felmérésünkből látható, hogy még ebben az ideális óraszámú korban sem volt tökéletes az atomfogalom elsajátítása. Eredményeink jórészt egybeesnek a külföldi tapasztalatokkal. Ez azért tűnhet problémának, mert az általunk vizsgált minta egyfajta elitnek számított oktatásunkban; egy a korcsoport legjobbjait lefőlöző válogatás eredményeként jöttek létre a 6 és 8 osztályos gimnáziumi osztályok.

A modern atomfogalom sikertelenségét a legkülönbözőbb okokkal magyarázzák a szakirodalomban:

„A modern atomfogalom kifejlesztésére idestova kétezer esztendőnk volt, így hát nincs okunk meglepődni azon, hogy diákjaink nem sajátítják el automatikusan az olyan fontos elméleti fogalmakat, mint az atom, molekula vagy elem. Ezt a több mint száz évet átívelő paradigmaváltás sorozatot akarjuk két-három óra időtartam alatt diákjainkban is végbeinni, úgy, hogy fel is tudják fogni annak jelentőségét. 13 évesen...” írja Thagard [6].

Taber [7] arra figyelmeztet könyvében, hogy „a tantárgy tradicionális fogalomalkotása a XX. század első évtizedeiből datálódik, amikor a molekuláris szint vizsgálata még újdonságnak számított, de ez nem tudott együtt fejlődni a tudományos ismeretekkel.”

Méheut egyfajta pszichológiai vonulatot is bevisz magyarázatába [8]: „A didaktikai kutatások által feltárt hibák és a tévképzetek sokasága bizonyítja, hogy a diákok idegenkednek attól, hogy elfogadjanak olyan „önkényes” hipotéziseket, mint amilyen az atom.”

Taber szerint a definícióalkotásunkkal is probléma van: „...nagyon sok fogalmunk sokkal komplikáltabb annál, mint amennyire első látásra tűnik. Ez amiatt van, hogy a 'szabályainkat' nagyon ravasz módon fejezzük ki. Ennek révén nagyon nehéz egyszerre érthető és precíz definíciót alkotni.” ... „A második nehézség pedig a definíciókban használt nyelvezet. Ez egyszerre két újabb problémát is rejt: néhány tanuló egyáltalán nem tud értelmezni egy bonyolultabb mondatot; másrésről a definíciókban használatos szavak több esetben más fogalmak által meghatározottak,

amelyeket szükséges ismerni a helyes értelmezéshez.” Ilyen értelmezési problémát jelent például a „kémiai módszerekkel osztható” kifejezés.

Dorothy Gabel [9] szerint: „A tankönyvek elemzése mutatja, hogy a tananyag felépítésének nagyon sok útja létezik. Mégis az az általános, hogy a legelméletibb fogalmat, az atomelméletet és a kötések ismertetik meg molekuláris szinten, még azelőtt, hogy ezt a makroszkopikus szinten is megjelenítenék. Azok számára, akik már a kémia tudásanyagának jó-részt a magukénak tudják (a tankönyvszerzők) ez a megközelítés semmi problémát nem jelent, de mi a helyzet egy a kémiával most ismerkedő esetén?”

Az eredményekből látható, hogy kémiaoktatásunk állapota, szintje nem különbözik jelentősen a nyugati világ oktatási állapotától. Ugyanazok a problémáink. Valószínűleg a jövő problémái is közősek lesznek. Hogy mi várhat ránk, erről John Petersen így ír a *The Road to 2015* [10] könyvében: „A természettudományos ismeretanyag inkább exponenciális, mint lineáris növekedést mutat. Ezzel együtt robbanásszerű technikai fejlődés is tapasztalható. ... Továbbá minden jel arra mutat, hogy az osztályok egyre változatosabbá, egyre inkább nemzetközivé és sokkal heterogénebbé válnak a tanulási háttér, szükséglet és érdeklődés szempontjából. Szerencsétlen módon a XX. század kémiai módszertani kutatásai csekély befolyással voltak a kémia oktatására. Azokat a változásokat, amelyeket felfedezhetünk az utóbbi négy évtized egy-két tankönyvében, nem a kutatók által tett megállapítások inspirálták. Annak ellenére, hogy a kutatók a kémia tananyag csaknem egészén feltérképezték a tévképzeteket, a tévképzeteket előidéző szituációkat, mégis tíz tanárból csupán egy van tisztában ezekkel a tényekkel, szervezi az ismeretátadását ennek megfelelően.”

Az American Chemical Society Exams Institute [11] már felhívta a figyelmet arra, hogy változtatni kell a tanítási módszereken. „A XXI. század diákjai gyakorlatilag ugyanazon a módon tanulnak, ahogy ez a kezdetekkor kialakult. Kellő időt kell biztosítani a visszajelzésre, a kognitív konfliktus kiváltására, ez segíti leginkább elő a fogalmak hatékonyabb és strukturált kialakítását. Ehhez figyelembe kell vennünk az oktatók, kutatók tapasztalatait, felhasználnunk az újabb modelleket, elméleteket, vagy akár lecserélnünk a régieket, hogy oktatásunk, magyarázatunk még hatékonyabb legyen.”

A munkát az OTKA (T-049379) támogatta.

Irodalom

1. Ridvan Unal és Dean Zollman *Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis* <http://perg/phys.ksu.edu/papers> 2006. október
2. 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
3. Aytekin 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
4. 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
5. Marton F. (1986) *Phenomenography – a research approach to investigating different understanding of reality* In: Ridvan Unal és Dean Zollman *Students' description of an Atom: A Phenomenographic Analysis* <http://perg/phys.ksu.edu/papers>
6. 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.
7. Taber, K. (2002): *Chemical Misconceptions: Prevention, Diagnosis and Cure*. Vol 1: Theoretical Background. Royal Society of Chemistry, London
8. Méheut Martine (2004): *Designing learning sequences about pre-quantitative particle models* International Journal of Science Education Vol. 26 No.5/April www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/E3.html
9. Dorothy Gabel (1999): *Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future* Journal of Chemical Education Vol. 76 No. 4
10. Petersen, J. L. *The Road to 2015*. Presented at the Future Visions '96 collaboration workshop of the Eisenhower National Clearinghouse for Mathematics and Science Education (ENC), Washington, DC, 1996. In: Dorothy Gabel (1999): *Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future* Journal of Chemical Education Vol. 76 No. 4
11. American Chemical Society. *General Chemistry Conceptual Examination*; Exams Institute: Clemson University, Clemson, SC, 1996