

Tóth Zoltán

A tanulók kémiai részecskékkel kapcsolatos fogalmi rendszerének vizsgálata fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélettel*

Előzmények

Az anyagok és kémiai változások részecskeszintű értelmezése elképzelhetetlen a kémiai részecskék (atomok, molekulák és ionok) ismerete nélkül. A nemzetközi szakirodalom ugyanakkor nem egységes abban a tekintetben, hogy a kémiai tanulmányok melyik szakaszában célszerű ezeket a fogalmakat tárgyalni. Van olyan vélemények, amelyek szerint a kémiai részecskéket a középiskolás kémiaoktatás vége felé kell részletesen tárgyalni, ugyanis korábban csak nagyon kevés tanuló képes helyes képet alkotni ezekről az elvont fogalmakról (*Wright, 2005; Taber, 2002*). Mások viszont azzal érvelnek, hogy a kémiai részecskék ismerete nélkül nem lehet az anyagi rendszerek tulajdonságait és a kémiai változásokat eredményesen tárgyalni (pl. *Lee és mtsai, 1993; AAAS, 2001*). Magyarországon a kémiaoktatás első évében – a 7. osztályban – ismerkednek meg a tanulók az atom, a molekula és az ion fogalmával.

A kémiában alapvető szerepet játszó három részecske közül legrészletesebben az atom fogalmával kapcsolatos tanítási-tanulási, megértési problémákat vizsgálták. Számos tanulmány foglalkozik a tanulók atomfogalommal kapcsolatos megértési nehézségeivel és tévképzeivel (pl. *Lee és mtsai, 1993; Harrison és Treagust, 1996; Taber, 2002; Cokelez és Dumon, 2005*). Ugyancsak bőséges irodalma van az atomfogalom tanítási problémáinak és lehetőségeinek is (pl. *Tsaparlis, 1997; Toomey és mtsai, 2001; Nelson, 2002; 2003; Tsaparlis és Papaphotis, 2002*). Oktatási szempontból a legkevésbé tanulmányozott kémiai részecske az ion. Az ionnal kapcsolatos kutatások elsősorban az ionos kötés vizsgálatára terjedtek ki. Két nagyon fontos tévképzetet tártak fel ezen a területen (pl. *Taber, 2002; Barker, 2003; Barke és mtsai, 2009*): Az egyik szerint az ionos kötés a kötést létesítő atomok közötti elektronátmenet. Egy másik tévkép-

* A tanulmány a szerzőnek az OTKA publikációs pályázat (PUB-K 106539) támogatásával megjelent „Alkalmazott tudástérelmélet” (Gondolat, Budapest, 2012) című monográfiája egyik fejezetének átdolgozott és bővített változata.

zet pedig azzal kapcsolatos, hogy az ellentétes töltésű ionok egymást semlegesítve molekulákat alkotnak. A kémiai részecskékkel kapcsolatos legfontosabb tévképzet pedig az, hogy a részecskék ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkeznek, mint azok az anyagi rendszerek, amelyek felépítésében a részecskék részt vesznek (Taber, 2002).

Kutatási kérdések és a kutatás eszközei, módszerei

Kutatási kérdéseink a következők voltak:

1. Milyen kategóriákkal lehet leírni a tanulók kémiai részecskékkel kapcsolatos definícióit?
2. Alkalmazható-e a tudástér-elmélet formalizmusa a tanulói válaszkategóriák közötti összefüggés elemzésére?
3. Milyen hatása van a kémiai tanulmányoknak a tanulók kémiai részecskékkel kapcsolatos elképzeléseire?

Kérdőíves kutatásunkban – egy nagyobb szabású kutatás részeként – azt kértük a tanulóktól, hogy írják le az atom, a molekula és az ion fogalmát (1. ábra). A felmérésben 17 hat- és nyolcosztályos gimnázium véletlenszerűen kiválasztott 724 tanulója vett részt. A minta évfolyamok szerinti összetétele a következő volt: 7. évfolyam: 171 tanuló; 8. évfolyam: 165 tanuló; 9. évfolyam: 136 tanuló; 10. évfolyam: 135 tanuló; 11. évfolyam: 117 tanuló.

<p>1. Írd le a következő fogalmakat!</p> <p>atom:..... </p> <hr/> <p>molekula:..... </p> <hr/> <p>ion:..... </p>
--

1. ábra: A kutatás során használt kérdőív részlete

Az adatfelvételre a 2002/2003-as tanév végén került sor.

A válaszokat – *Unal* és *Zollman* (1999) amerikai diákok atomfogalommal kapcsolatos elképzeléseinek vizsgálata mintájára – a fenomenográfia elveinek megfelelően értékeltük.

A fenomenográfia

A *fenomenográfia* (phenomenography) olyan kutatási módszer, amely azoknak a minőségileg különböző utaknak az azonosításával és leírásával foglalkozik, amelyek során az emberek a körülöttük lévő világ jelenségeit próbálják megérteni (*Marton*, 1981; 1986). A fenomenográfia alapvetése, hogy bár az egyének rendkívül különböző tapasztalatokat szereznek a környező világról, a minőségileg megkülönböztethető leírások száma véges. Az elemzéshez a vizsgált csoport válaszait össze kell gyűjteni, majd többször értékelni és csoportosítani, hogy azonosítsuk a minőségileg különböző leírásokat. Az azonosítás során a következő 3 fő elvre kell tekintettel lenni:

1. A kategóriákat a tanulói válaszokból kell képezni.
2. A kategóriák nem lehetnek kölcsönösen kizáró vagy egymásban foglaló kapcsolatban, de egymástól különbözőnek kell lenniük.
3. A válaszok kellően konkrétak legyenek ahhoz, hogy kategóriákba sorolhatók lehessenek.

A fenomenografiás elemzés menete a következő:

1. A minőségileg különböző meghatározásokból kategóriák képzése, majd
2. a kapott kategóriák sorba rendezése a megértés növekvő szintje szerint.

A tudástér-elmélet

A nemzetközi szakirodalomban megjelent kutatási eredmények szerint a tudás szerveződésének és a tudásszerkezet változásának vizsgálatára alkalmas a valószínűségi elemeket is figyelembe vevő sokdimenziós modell, a matematikai pszichológusok (*Doignon* és *Falmagne*, 1999) által kifejlesztett tudástér-elmélet (*knowledge space theory*), amelyben az ismeretek kognitív szerveződését egy jól tagolt tudástérrel próbáljuk leírni.

A tudástér (*knowledge space*) egy adott témakör (pl. tantárgy) megértéséhez szükséges ismeretek összessége. A matematikában és a természettudományokban ez általában problémák (feladatok) olyan csoportját jelenti, amelyet a tanulónak ismeretei alapján tudnia kellene megoldani. Ezek a problémák, illetve a megoldásukhoz szükséges ismeretek többé-kevésbé hierarchikus rendszert képeznek. A hagyományos értékelés szerint a tanulók tudását egyetlen mérőszámmal, a helyesen megoldott feladatok számával jellemezzük. A tudástér-elmélet alapján viszont árnyaltabb képet alkothatunk a tanulók tudásáról, amennyiben megadhatjuk az egyes tanulók tudásállapotát. A tudásállapot (*knowledge state*)

azon problémák összessége, amelyeket a tanuló helyesen oldott meg. A feladatok között lévő előfeltétel-kapcsolatok alapján megállapíthatjuk a feladatok hierarchiáját. Ezt a hierarchiát szemléletesen egy ún. Hasse-diagramon ábrázolhatjuk. A Hasse-diagram egy irányított gráf, melynek csomópontjai a feladatok, a köztük fennálló előfeltétel-kapcsolatot a csomópontokat összekötő irányított élek fejezik ki.

A tudástér-elmélet alapfeltevése szerint: ha egy tanuló meg tud oldani egy, a hierarchiában magasabb szinten álló feladatot, akkor várható, hogy minden olyan feladatot meg tud oldani, amely a hierarchiában e feladat alatt helyezkedik el. A tudásállapotok rendezett rendszerét tudásszerkezetnek (*knowledge structure*) nevezzük. A tudásszerkezetben csak olyan tudásállapotok fordulhatnak elő, amelyeket az előfeltétel-kapcsolatból lehet levezetni. A tudásszerkezet ismeretében kijelölhetjük a megismerési folyamat alternatív lehetőségeit, az ún. tanulási utakat (*learning pathway*) is. Ezek az utakon valósul meg az a pedagógiai elvárás, hogy az ismeretek fokozatosan és logikusan épüljenek egymásra. A tanulási utak ismerete tehát fontos a tanítási-tanulási folyamat – az ismeretelsajátítás sorrendje – tervezéséhez. A tudástér-elmélet részletes leírása, az elemzés példákon keresztül történő bemutatása magyar nyelven is elérhető (Tóth, 2005; Tóth, 2012).

A fenomenográfiás elemzéssel kombinált tudástér-elmélet

Feltevésünk szerint a fenomenográfiás elemzés során nyert kategóriák közötti hierarchikus kapcsolatok leírására a tudástér-elmélet formalizmusa is alkalmazható. Ebben az esetben tudástér helyett a témakörrel kapcsolatos tanulói elképzelések leírásából létrehozott *kategóriateret* használjuk. A fenomenográfiával kombinált tudástér-elméletben tehát a „tudástér” elemeit nem egy szakértő állapítja meg, hanem azok a tanulói válaszokból következnek. A tudástér-elmélettel ellentétben az értékelés során nem a válaszok helyes vagy helytelen voltát értékeljük dichotóm skálán, hanem azt, hogy az adott kategória megjelenik-e a tanuló válaszában vagy sem. A fenomenográfiás értékelés során kapott kategóriák közötti hierarchiát viszont – ellentétben a fenomenográfiával – nem egy szakértő állapítja meg, hanem a tudástér-elmélet formalizmusa alapján határozzuk meg. A tudástérelmélet, a fenomenográfia és a kombinált elmélet legfontosabb jellemzőinek összehasonlítását láthatjuk az 1. táblázatban.

Tudomásunk szerint a tudástér-elmélet ilyen módon való kiterjesztése korábban ismeretlen volt a szakirodalomban.

1. táblázat: A tudástér-elmélet, a fenomenográfia és a fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet fontosabb jellemzőinek összehasonlítása

<i>Tudástér-elmélet</i>	<i>Fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet</i>	<i>Fenomenográfia</i>
A tudástér elemeit egy szakértő állítja össze.	A „tudástér” elemeit a tanulói válaszokból kapott kategóriák alkotják.	
A válaszok értékelése: jó (1) vagy rossz (0).	A válaszok értékelése: az adott kategóriát tartalmazza (1) vagy sem (0).	
	A kategóriák hierarchiáját a tanulói válaszokat legjobban leíró modell adja.	A kategóriákat egy szakértő rendezi hierarchiába.

Az eredmények bemutatása

Az atom leírásával kapcsolatos eredmények (Tóth és Ludányi, 2007a)

A tanulók válaszait – *Unal* és *Zollman* (1999) kutatásaihoz hasonlóan – hat kategóriába tudtuk besorolni. Ezek a következők voltak:

1. Nincs válasz;
2. Nem tudom;
3. Az atom az anyag legkisebb építőegysége;
4. Az atom alkotóegységei (protonok, elektronok, neutronok);
5. Az atom szerkezete, atommodellek;
6. Egyéb.

Ezek közül elemzésre a 3-5. kategóriákat választottuk ki, és a továbbiakban a következőképpen jelöljük:

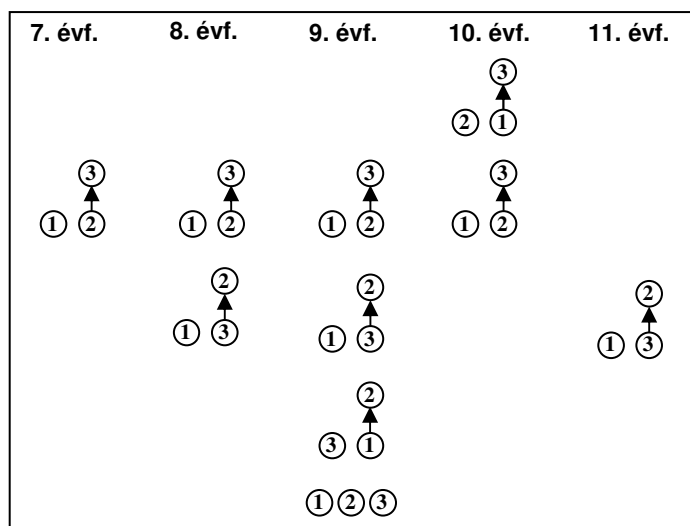
- ① Az atom az anyag legkisebb építőegysége.
- ② Az atom alkotóegységei.
- ③ Az atom szerkezete, atommodellek.

Az érdemi választ adó tanulók leírásaiban e három kategória valamelyikét, illetve ezek kombinációit lehetett kimutatni.

Megállapítottuk, hogy a vizsgált tanulók válaszait kiugróan magas arányban (kb. 50%) egyetlen kategóriával (① Az atom az anyag legkisebb építőegysége) lehetett leírni. A tanulók válaszaiból származtatott három kategória lehetséges hierarchiáját a tudástér-elmélet alapján határoztuk meg. Valamennyi tanulócsoport (évfolyam) esetén elvégeztük az elméletileg elképzelhető összes (19 féle) modell jóságának elemzését, és minden tanulócsoport esetén megállapítottuk a legjobban illeszkedő modellt vagy modelleket. Az eredményeket a 2. ábrán láthatjuk.

A 2. ábrán látható modellekből a következő fontos következtetéseket lehet levonni:

1. A tanulók atommal kapcsolatos „tudásszerkezetét” leíró modellek száma kilencedik osztályig az évfolyammal egyre nő, kilencedik osztálytól viszont folyamatosan csökken. Ez arra utal, hogy a 7. és a 11. évfolyamosok „tudásszerkezete” viszonylag egységes, míg a 9. évfolyamosoké meglehetősen dif-fúz. Ez a kép az atommal kapcsolatos fogalmi fejlődés és fogalmi váltás tipikus profilját mutatja. A kezdeti – viszonylag egységes – modell a tanulmányok előre haladásával differenciálódik, újabb modellek jönnek létre, majd elkezdődik egy „letisztulási” folyamat, és végül kialakul egy újabb, viszonylag egységes modell.
2. Szinte valamennyi modellben megfigyelhető, hogy az „^① Az atom az anyag legkisebb építőegysége” kategória izolált elemként fordul elő a jellemző „tudásszerkezetben”. Ez érthető, hiszen a legkisebb – esetleg tovább nem osztható – építőegység nehezen egyeztethető össze azzal, hogy az atom protonokból, elektronokból és neutronokból épül fel és határozott szerkezete van.
3. Látható, hogy a kezdeti – 7. osztályos – modell és a végső – 11. osztályos – modell különbözik egymástól. Míg 7. évfolyamon a tanulók általában az atom összetevőire vezették vissza a felépítést, az atommodelleket, addig 11. évfolyamra ez a kép megfordul és a 11. osztályosok jellemzően az atommodellekből vezetik le az atom összetevőit. Ez egyfajta induktív → deduktív váltást jelent.



2. ábra: A magyar tanulók atommal kapcsolatos „tudásszerkezetét” legjobban leíró modellek („kategória-hierarchiák”) különböző évfolyamok esetén

Elemzéseink szerint tehát a 7-11. évfolyamos tanulók tudásszerkezetében kimutatható az atom fogalmával kapcsolatos fogalmi váltás.

Az ion leírásával kapcsolatos eredmények (Tóth és Ludányi, 2007b)

A tanulók ionnal kapcsolatos leírásai alapján a következő hat kategóriát tudtuk képezni:

1. Nincs válasz;
2. Nem tudom;
3. Az ion egy részecske;
4. Az ionnak töltése van;
5. Az ion elektron vagy proton felvételével vagy leadásával keletkezhet;
6. Egyéb.

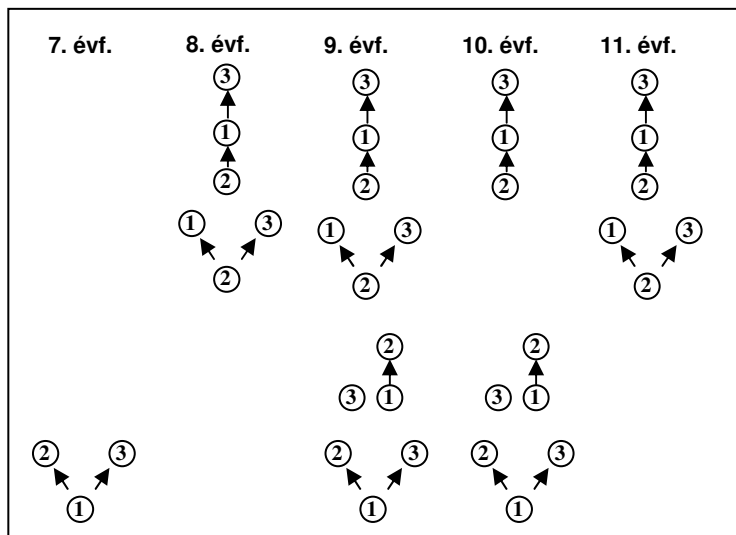
Ezek közül elemzésre itt is a 3-5. kategóriákat választottuk ki, és a továbbiakban a következőképpen jelöljük:

- ① Az ion egy részecske.
- ② Az ionnak töltése van.
- ③ Az ion elektron vagy proton felvételével vagy leadásával keletkezhet.

Az érdemi választ adó tanulók leírásaiban e három kategória valamelyikét, illetve ezek kombinációit lehetett kimutatni.

A tanulók válaszainak többségét (40-60%) – valamennyi évfolyam esetén – az első két kategória (① Az ion egy részecske. ② Az ionnak töltése van) együttesével lehet leírni. A tanulók ionnal kapcsolatos leírásainak komplexitása az évfolyammal egyre nő. Legnagyobb növekedés 8. osztályban következik be. Megjegyezzük azonban, hogy a 11. évfolyamon gyakran észlelt visszaesés itt is kimutatható.

A három kategória közötti hierarchikus kapcsolatot legjobban leíró modellt a 3. ábra szemlélteti. Ebben az esetben is megfigyelhető a fogalmi fejlődésre és fogalmi váltásra utaló profil. A 7. osztályosokra jellemző modell, amelyben az ion részecske jellege az alapvető, 8. osztályra átalakul két olyan modellé, amelyekben már a töltés a meghatározó. Az ionfogalom esetén is 9. osztályban kapjuk a leginkább diffúz képet: négy különböző modellel is le lehet írni a tanulók ionnal kapcsolatos „tudásszerkezetét”. 10. évfolyamtól megindul a „letisztulási” folyamat, és 11. évfolyamra már csak két modell marad, mindkettőben a töltés játszik alapvető szerepet.



3. *ábra*: A magyar tanulók ionnal kapcsolatos „tudásszerkezetét” legjobban leíró modellek („kategória-hierarchiák”) különböző évfolyamok esetén

A molekula leírásával kapcsolatos eredmények

A tanulók molekulával kapcsolatos leírásai alapján a következő hat kategóriát tudtuk képezni:

1. Nincs válasz;
2. Nem tudom;
3. A molekula egy részecske;
4. A molekulát atomok alkotják;
5. A molekulát kötés tartja össze;
6. Egyéb.

Ezek közül elemzésre a 3-5. kategóriákat választottuk ki, és a továbbiakban a következőképpen jelöljük:

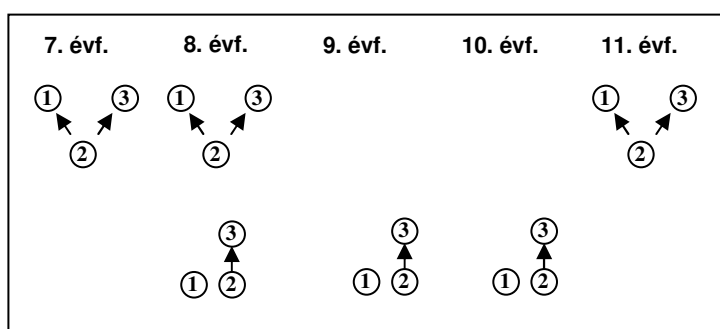
- ① A molekula egy részecske.
- ② A molekulát atomok alkotják.
- ③ A molekulát kötés tartja össze.

Az érdemi választ adó tanulók leírásaiban ezen három kategória valamelyikét, illetve ezek kombinációit lehetett kimutatni.

A tanulók válaszaiban – valamennyi évfolyamon – az utóbbi két kategória (② A molekulát atomok alkotják. ③ A molekulát kötés tartja össze.) együttese fordult elő a leggyakrabban. Jelentős volt még azoknak a válaszoknak a részaránya is, amelyeket az első két kategória (① A molekula egy részecske. ② A molekulát atomok alkotják.) együttesével, vagy csak a második kategóriával (② A molekulát atomok alkotják.) lehetett leírni. Ezek azt jelzik, hogy a tanulók mole-

kulával kapcsolatos elképzelésének legfontosabb eleme, hogy a molekula atomokból épül fel vagy atomokra bontható.

Ezt támasztják alá a tudástér-elmélet alapján végzett vizsgálatok is (4. ábra). Ellentétben az atom és az ion esetén tapasztaltakkal, a molekula fogalma esetén kevésbé szépen rajzolódik ki a fogalmi fejlődés és a fogalmi váltás. Bár 8. osztályban megfigyelhető a 7. osztályos modell differenciálódása, majd kismértékű módosulása, a változás nem tartós, 11. osztályban egy visszarendeződés következik be.



4. ábra: A magyar tanulók molekulával kapcsolatos „tudásszerkezetét” legjobban leíró modellek („kategória-hierarchiák”) különböző évfolyamok esetén

Összefoglalás

A fenomenográfiával kombinált tudástér-elmélet új lehetőségeket teremt a tanulók fogalmi megértésének, fogalmi fejlődésének és fogalmi váltásának vizsgálatában. Sikerült kimutatni, hogy az iskolai oktatás hatására bekövetkező fogalmi fejlődés először a kezdeti, viszonylag egységes modell differenciálódásával, a fogalmi rendszer diffúzzá válásával jár, majd egy letisztulási folyamat eredményeként újra egy viszonylag egységes modell alakul ki, amely vagy különbözik a kiindulási modelltől (fogalmi váltás), vagy nem.

IRODALOMJEGYZÉK

- AAAS Project 2061 (2001): *Science Literacy American Association for the Advancement of Science*. www.project2061.org (Utolsó látogatás: 2011. 05. 27.)
- BARKE, H.-D., HAZARI, A. ÉS YITBAREK, S. (2009): *Misconceptions in chemistry – Addressing perceptions in chemical education*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- BARKER, V. (2003): *Beyond appearances: Students’ misconceptions about basic chemical ideas*. www.rsc.org/images/Misconceptions_update_tcm18-188603.pdf (Utolsó látogatás: 2011. 04.13.)

- COKELEZ, A. ÉS DUMONT, A. (2005): Atom and molecule: upper secondary school French students' representations in long term memory. *Chemistry Education: Research and Practice*, 6 (3), 119-135.
- DOIGNON, J-P. ÉS FALMAGNE, J-C. (1999): *Knowledge Spaces*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- 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.
- LEE, O., EICHINGER, D.C., ANDERSON, C.W., BERKHEIMER, G.D. ÉS BLAKESLEE, T.D. (1993): Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (3), 249-270.
- MARTON, F. (1981). Phenomenography – describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10, 177-200.
- MARTON, F. (1986). Phenomenography – a research approach to investigating different understanding of reality. *Journal of Thought*, 21, 29-39.
- NELSON P.G. (2002): Teaching chemistry progressively: from substances to atoms and molecules to electrons and nuclei. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3, 215-228.
- NELSON P.G. (2003): Basic chemical concepts. *Chemistry Education: Research and Practice*, 4, 19-24.
- TABER, K. (2002): *Chemical Misconceptions – Prevention, Diagnosis and Cure; Vol I-II*; Royal Society of Chemistry; London, 2002.
- TÓTH Z. (2005): A tudásszerkezet és a tudás szerveződésének vizsgálata a tudástér-elmélet alapján. *Magyar Pedagógia*, 105 (1), 59-82.
- TÓTH Z. ÉS LUDÁNYI L. (2007): Combination of phenomenography with knowledge space theory to study students' thinking patterns in describing an atom. *Chemistry Education: Research and Practice*, 8 (3) 327-336.
- TÓTH Z. ÉS LUDÁNYI L. (2007): Using phenomenography combined with knowledge space theory to study students' thinking patterns in describing an ion. *Journal of Baltic Science Education*, 6 (3) 27-33.
- TÓTH Z. (2012): *Alkalmazott tudástérelmélet*. Gondolat Kiadó, Budapest.
- TSAPARLIS, G. (1997): Atomic and molecular structure in chemical education – a critical analysis from various perspectives of science education. *Journal of Chemical Education*, 74, 922-925.
- TSAPARLIS G. ÉS PAPAPHOTIS G. (2002): Quantum-chemical concepts: are they suitable for secondary students? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 3, 129-144.
- TOOMEY R., DEPIERRO E. ÉS GARAFALO A. (2001): Helping students to make inferences about the atomic realm by delaying the presentation of atomic structure. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 2, 183-202.
- UNAL R. ÉS ZOLLMAN D. (1999): Students' description of an atom: a phenomenographic analysis. Lásd: <http://perg.phys.ksu.edu/papers/vqm/AtomModels.PDF> (Utolsó látogatás: 2011. 05. 27.)
- WRIGHT, T. (2005): *Images of atoms*.
www.uq.edu.au/_sched_science_lesson/TWImageatoms.html (Utolsó látogatás: 2006. okt.)