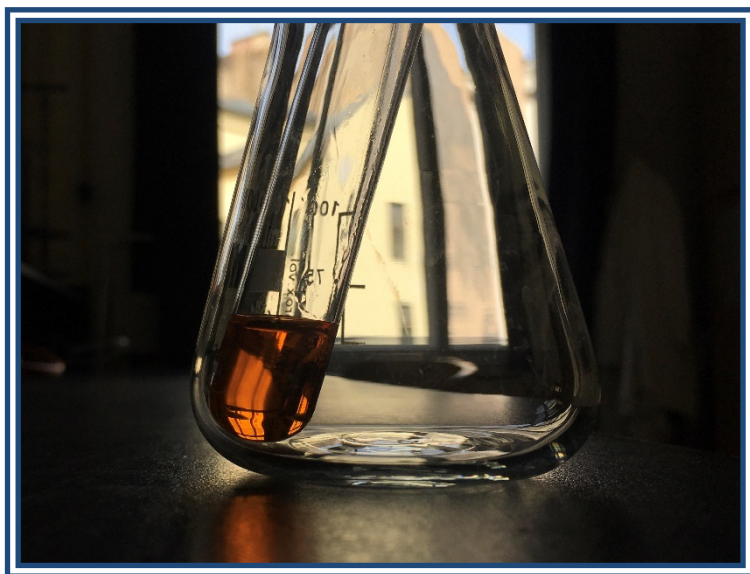
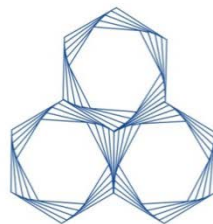


# Középiskolai Kémiai Lapok



**XLVI.**

**2019/5.**



A lap megjelenését a Nemzeti Kulturális Alap, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Nemzeti Tehetség Program és a Magyar Tudományos Akadémia támogatja.

# Középiskolai Kémiai Lapok

A Magyar Kémikusok Egyesülete  
Kémia tanári Szakosztályának folyóirata

<b>2019. november</b>	<b>XLVI. évfolyam</b>	<b>5. szám</b>
-----------------------	-----------------------	----------------

**Alapító:** **Dr. Várnai György**

**Főszerkesztő:** **Zagyi Péter**

**A szerkesztőbizottság:**

**Elnöke:** **Dr. Magyarfalvi Gábor**

**Tagok:** **Dr. Borbás Réka, Dr. Horváth Judit, Dr. Ósz Katalin,  
Tóth Edina, Dr. Tóth Zoltán, Dr. Varga Szilárd, Zagyi Péter**

<b>Szerkesztőség:</b>	Magyar Kémikusok Egyesülete, 1015 Budapest Hattyú u. 16. E-mail: kokel@mke.org.hu      06-1-201-6883
-----------------------	---

**Kiadja:** Magyar Kémikusok Egyesülete

**Felelős kiadó:** Androsits Beáta

**Terjeszti:** Magyar Kémikusok Egyesülete

**Előfizethető:** postai utalványon a Magyar Kémikusok Egyesülete,  
1015 Budapest Hattyú u. 16. II. 8. címre vagy átutalással a CIB  
Bank Zrt. 10700024-24764207-51100005 pénzforgalmi  
jelzőszámmon „MKE9068” megjelöléssel.

**Készült:** Europrinting Kft.

**Megjelenik** évente ötször.

**Előfizetési díj** a 2019. évre: 4000 Ft, mely összeg magában foglalja az áfát.

A Magyar Kémikusok Egyesülete tagjai számára kedvezményes előfizetési  
díj: 3000 Ft.

**ISSN 0139-3715 (nyomtatott)**

**ISSN 2498-5198 (online)**

<http://www.kokel.mke.org.hu>

A lapot az MTA MTMT indexeli és a REAL archiválja, továbbá az Országos  
Széchényi Könyvtár (OSZK) Elektronikus Periodika Adatbázisa és Archivuma  
(EPA) archiválja.

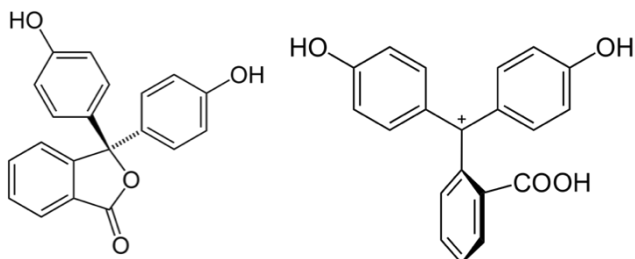
A címlapfotó Benkő Dávid munkája.

A kiadó számára minden jog fenntartva. Jelen kiadványt, illetve annak részleteit  
tilos reprodukálni, adatrendszerben tárolni, bármely formában vagy eszközzel  
– elektronikus, fényképezési úton vagy módon – a kiadó engedélye nélkül  
közölni.

## Címlapfotó

### Fenolftalein kénsavban

A fenolftalein egy közismert, nagyon hasznos sav-bázis indikátor. 8,2-10 pH értékek között a jól megszokott liláspiros színt veszi fel. Azonban van sokak által nem ismert alakja is. Erősen lúgos ( $\text{pH} > 10$ ) oldatokban elszíntelenedik, erősen savasban ( $\text{pH} < 0$ ) pedig a címlapon látható narancssárga szín jelenik meg. A fenolftalein semleges vagy gyengén savas oldatban a bal oldali szerkezetet veszi fel.



Savas közegben ez protonálódik, és a jobb oldali szerkezettel jellemezhető kation alakul ki, amiben karbonsavcsoport van

Ebben a szerkezetben a hatos gyűrűk konjugált kettőskötés-rendszere összekapcsolódik. Ennek a delokalizációnak köszönhetően már a látható fény is képes lesz gerjeszteni a molekula elektronjait. A molekula legerősebben épp a narancssárga komplementer színének megfelelő energiájú fotonokat nyeli el.

Az oldatot úgy lehet elkészíteni, hogy 95%-os kénsavba fenolftalein vizes-alkoholos oldatát csepegtetjük (de vigyázni kell, mert a kénsavval keveredve fröcsöghet az oldat, mert a víz exoterm reakcióba lép a savval).

(Benkő Dávid)

Borbás Réka Szilvia

## Az elsőrendű kötések négy fajtájáról

Nem, nincs hiba a címben, ugyanis, ha az újabb kutatások nem tévednek, akkor előbb-utóbb ki kell bővítenünk a tankönyvek kötésekről szóló fejezetét. Hogy mivel? Erről lesz szó ebben a cikkben.

Ha az anyagok fizikai, kémiai tulajdonságait szeretnénk megismerni, megérteni, és ezzel a tudással az anyagokat felhasználni, átalakítani saját céljainkra, fontos tudnunk, miből és hogyan épülnek fel. Éppen ezért minden valamirevaló kémiakönyvben sok szó esik az atomok, ionok, részecskék közötti kölcsönhatásról, a kötésekről.

Az elsőrendű kémiai kötések a kölcsönhatások elsődleges szintjét jelentik (innen a neve), azaz az anyagot felépítő atomok (ionok) közötti közvetlen kapcsolatot. A kémia (tan)könyvek kivétel nélkül három ilyen kötést tárgyalnak: a kovalens, az ionos és a fémes kötést. 2018 decemberében viszont Matthias Wuttig professzor kutatócsoportja megnevezett egy negyedik kötéstípust is, amelyet „*metavalent*” kötésnek neveztek el angolul (erre jelenleg a *metavalens* elnevezést fogom használni, mivel a magyar szakirodalomban még nem találtam megfelelőt). Mielőtt mélyebben beleásnánk magunkat az új elméletbe, vegyük sorra, mit is takarnak a különféle kötések.

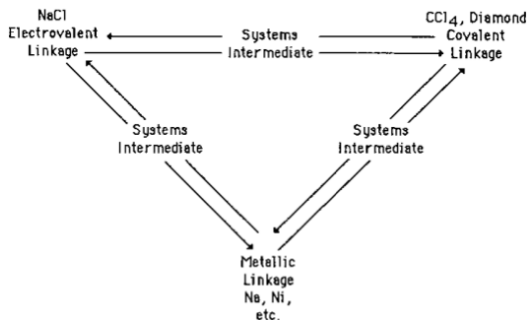
A tankönyvi definíciókat idézve, a kovalens kötés megosztott elektronpár(ok)on alapuló kötés, ahol a közös elektronpár mindkét atommag vonzása alá tartozik. Az elektronegativitásoktól függően a párok nem mindig egységesen oszlanak meg a két atom között, így jutunk poláris kovalens kötéshez. Az ionos kötés ellentétes töltésű ionok között fellépő elektrosztatikus vonzás. Elemekből történő kialakulása során teljes elektronátmenet történik. A kisebb elektronvonzó képességű atom adja át a nagy elektronegativitású atomnak egy vagy több elektronját. A kis elektronegativitású fématomok halmazában pedig fémes kötés alakul ki, amelyben a különféle rácsszerkezetbe rendeződött fématomtörzsek között oszlanak meg a delokalizált elektronok.

Definícióink hosszú évtizedek letisztult munkái, de hogyan is jutottak el elődeink egy-egy kötéstípushoz? Az első utalás a kémiai kötés ter-

mészetére 1881-re vezethető vissza, amikor Helmholtz a brit Királyi Kémiai Társaság meghívására, Faraday tiszteletére rendezett híres előadásában azt állította, hogy minden kémiai „kombináció” töltéssel rendelkező ionok közötti elektrosztatikus vonzás eredménye. (1) Természetesen az ionkötés elméletét tovább finomították. Thomson (akinek nevéhez a „Mazsolás Puding” atomelmélet is fűződik) már elektronátmenettel számol, majd tovább módosítások során a mai értelemben vett ionkötés fogalma van Arkel és de Boer 1929-es könyvében jelenik meg. (2)

Az elektronmegosztáson alapuló kémiai kötésmodellek már 1908-tól jelen vannak. Több próbálkozást követően Lewis fekteti le az „elektronpár kötés” meghatározását 1916-ban (3), amelyet néhány évvel később Langmuir nevez el kovalens kötésnek. Goldschmidt pedig már 1926-ban egyértelműen elkülönít ionrácsos és atomrácsos anyagokat (1).

Fernelius és Robey 1935-ben írt cikkükben (4) megpróbálják tisztázni a fémes kötés természetét, rendet tenni az elméletek és a kísérleti tapasztalatok között. Érdekes módon korábban az elemeket a fémek közé kémiai tulajdonságaik alapján sorolták be, de ezek nagyon különbözőek is lehetnek. Nem csoda, hogy volt némi zavar és egyet nem értés a témában. Fernelius és Robey kijelentik, hogy a fémes „állapot” nem atomi, hanem szerkezeti tulajdonság. Így a fémeket fizikai tulajdonságaik (elektromos vezetés anyagátmenet nélkül, csillogó felület, jó megmunkálhatóság) és szorosan illeszkedő atomokra épülő szerkezetük alapján kell meghatározni. Mindezek lényegében az atomok között fellépő kötésből származtathatók. Kimondják, hogy olyan esetekben alakul ki fémes kötés, ahol nincs elég vegyértékelektron, hogy az atomok a nemesgáz-elektronszerkezetet elektronmegosztással elérjék, így több atom osztozik az elektronokon. Mindeközben rávilágítanak arra, hogy milyen analógia áll fenn a fémes és az ionkötés között (a fématomok leadják elektronjaikat a „közösbe”), valamint a fémes és a kovalens kötés között (a közös elektronokon osztoznak az atomok). Cikkük utolsó mondatában bíznak abban, hogy a jövő diákjai egy teljesebb és átfogóbb képet adnak majd a kötések természetéről.

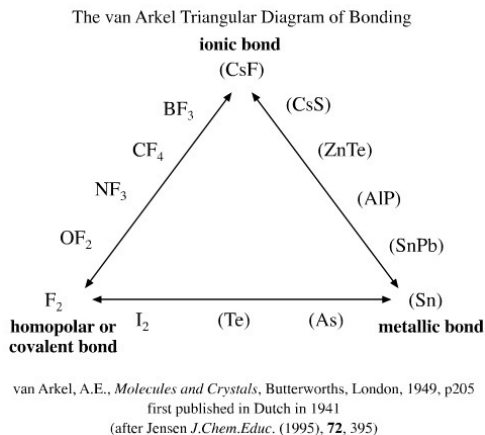


1. ábra. Fernelius és Robey által rajzolt diagram a vegyérték-kötések típusaira (4)

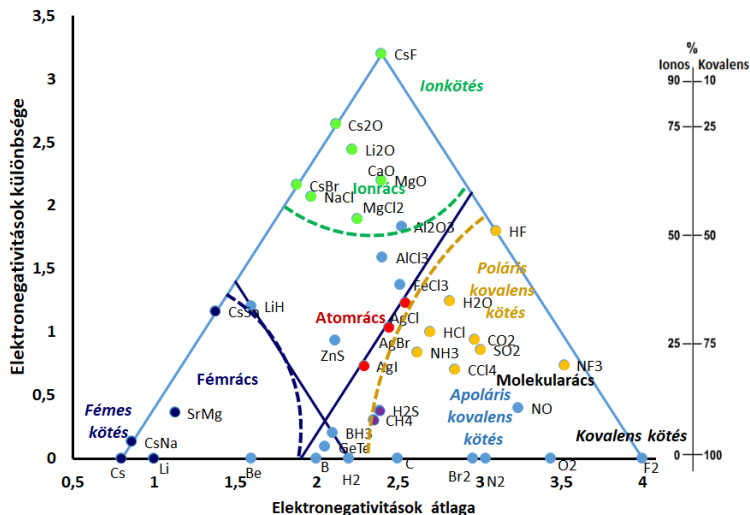
Metallic Linkage: fémes kötés, Covalent Linkage: kovalens kötés, elsősorban a homopoláris (azaz apoláris) kötést értették alatta, Electrovalent Linkage: az ionkötés és a heteropoláris (azaz poláris) kötés együttese, Systems Intermediate: közbenső rendszerek

Ha a definíciók már a helyükre kerültek, felmerül a kérdés, hogy melyik kötés milyen atomok és milyen körülmények között alakul ki? Ha veszünk képzeletben két atomot, jó lenne könnyen eldönteni, milyen kötéstípust várhatunk. Vannak tiszta esetek, amikor ez nem okoz problémát, de több atompár között a három kötéstípus közül valamelyik kettő átmenete lép fel. (Természetesen a valóságban nem csak atompárok között vizsgáljuk a kötések, hanem legtöbbször atomok sokasága között.) Van Arkel meghatározott három anyagot, amelyben az egyes kötéstípusokat ideálisnak vette (ez volt a  $F_2$ , a  $CsF$ , és az  $Sn$ ), amelyet az 1. ábra háromszögéhez hasonlóan helyezett el, majd további anyagokat jelölt meg az oldalak mentén, amelyek a különféle kötések közötti átmenetre adnak példákat (2. ábra). (5)

Hasonló, lényegesen továbbfejlesztett ábrákat már a mai kémiai tankönyvekben és cikkekben (pl. (6) és (7)) is rendszeresen találhatunk. Ezek a tankönyvi definíciókban felmerült elektronegativitásra, elektronvonzó képességre építve rajzolják meg a háromszöget, elkülönítve a kötéstípusokat. A 3. ábra egy ilyen háromszögre ad példát.



2. ábra. Van Arkel ábrája a három kötéstípust képviselő anyagról, és az azok közötti átmenetről



3. ábra. A kötéstípusok és kristályráctípusok elkülönülése az elektronegativitás átlagának és különbségének függvényében

Az ábra  $x$  tengelyén a két, kötésben lévő atom elektronegativitásának átlagát, az  $y$  tengelyen pedig a különbségét ábrázoltam. A háromszög

három csúcsa a fémes kötés (kis elektronegativitású atomok között), a kovalens kötés (nagy elektronegativitású atomok között) és az ionkötés (olyan atomok között, melyeknek az elektronegativitása jelentősen különbözik). Ha megfigyeljük a fluormolekulát és a cézium-fluoridot összekötő háromszögöldalt, olyan vegyületeket láthatunk, amelyekben a kapcsolódó atomok átlagos elektronegativitása fokozatosan csökken, míg a különbségük nő. Így ezeken a vegyületeken keresztül az apoláris kovalens kötéstől a poláris kovalens kötésen át jutunk el az ionkötésig, egy folytonos átmenettel. Ezt illusztrálja az ábra jobb szélén feltüntetett százalékos ionos jelleg: bemutatva, hogy a kovalens kötéseknek van egy ionos jellege, és viszont. Figyeljük meg az ábrán, hogyan nő az AgCl – AgBr – AgI vegyületekben a kötések kovalens jellege, amely összhangban áll azzal is, hogy ilyen sorrendben csökken vízoldhatóságuk.

A hasonló ábrákon több területet is elkülönítenek, de ne felejtjük el, hogy bármilyen területet is jelölünk ki, annak a valóságban nem lehet éles határa a fokozatos átmenetek okán. Az ábrán két, a háromszög egy-egy oldalával párhuzamos szakaszt húztam be, a szilícium (a legkisebb elektronegativitású félfém) EN értékénél a fémes kötés – ionkötés oldalával párhuzamosan, a másikat a hidrogén elektronegativitásánál, ezzel a háromszöget négy területre vágva fel. A fémes kötés csúcsánál lévő trapézba azok az anyagok tartoznak, amelyek fémrácsosak: azaz kristályos állapotában fémes kötés tartja össze ezeket. A kovalens kötés csúcsánál molekulárcsos anyagok találhatóak: hiszen a nemfémek egymás közt kisebb molekulákat alkotva szilárd halmazállapotban ilyen kristályrácsot alkotnak. Persze a molekulákon belül többé-kevésbé poláris kovalens kötések találhatóak. Természetesen az elemek között található néhány kivétel, hiszen például az atomrácsos gyémánt vagy vörösfoszfor elég sok kovalens kötést képes saját atomjaival kialakítani, hogy atomrácsban érje el stabil kristályos módosulatát. A háromszög felső csúcsánál lévő paralelogrammában már vegyesebb a kép. Nagyobb elektronegativitás-különbségnél nagyobb a kötések ionos jellege, ezek az anyagok ionrácsosak, de a háromszög közepében már olyan erős a kötések kovalens tulajdonsága, így itt találhatóak az atomrácsos, kovalens kötésekkel összetartott anyagok.

A negyedik terület, a kis háromszög az  $x$  tengelyen lesz izgalmas az új, negyedik kötéstípus szempontjából. Ezt a területet bizonyos források

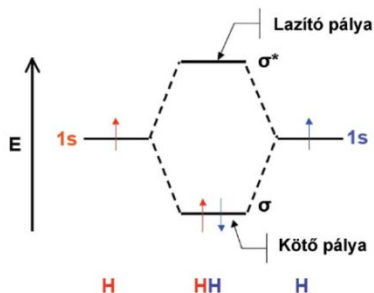


(8) a félvezetőknek tulajdonítják, de ha az elektronegativitáson túl más paramétereket is figyelembe veszünk, akkor tovább kell árnyalnunk a képet.

Az új kötéstípus lehetősége a fázisváltó anyagok (phase change materials, PCM) vizsgálata során merült fel. Ezek az anyagok külső hatásra gyorsan képesek átalakulni a kristályos szerkezetükből amorffá és viszont (9). A két szilárd halmazállapotbeli szerkezet fizikai tulajdonságai jelentősen különböznek, amelyeket jól lehet hasznosítani – ezekről még több szó esik később. Összetételüket tekintve az ilyen anyagok a kalkogenidek és azok származékai: ide tartozik például a germánium-tellurid, GeTe, ólom-tellurid, PbTe (pl. (10)). A periódusos rendszert vizsgálva megfigyelhető, hogy a germánium a 4., a tellúr pedig a 6. főcsoport félfémes eleme. (A tellúr egyébként az az elem, amelyet Müller Ferenc fedezett fel az erdélyi aranybányák kőzeteiből a XVIII. század végén.) Nem csak ez a két elem, hanem az irodalom alapján a hasonló anyagokat felépítő elemek mindegyike a félfémek közül került ki (egy-adelékanyagok pedig az átmeneti fémek közül, mint például az ezüst, indium (11), vagy a ritkaföldfémek közül, pl. eurórium, szamárium (12)).

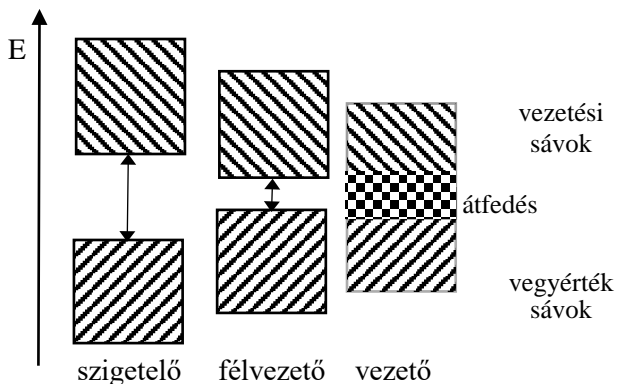
A fázisváltó anyagokra öt közös fizikai tulajdonság jellemző, amelyek átfogóan a mérsékelt vezetőképesség, a félvezetőkénél nagyobb, de a fémrácsnál kisebb koordinációs szám, a külső hatásra érzékeny optikai jellemzők, a kötések és a rács nagy polarizálhatósága (azaz az elektronfelhő torzíthatósága), illetve a rács anharmoniaja. Nézzük ezeket a tulajdonságokat részletesebben.

A kristályrácsos anyagok közül a fémek jellemzően a vezetők, illetve az atomrácsos anyagok közül a félvezetők. Miért is lehet vezető egy anyag? Egy atomnak az elektronjai atomi pályákon helyezkednek el, ha nincs kölcsönhatásban más atommal. Ez például a hidrogén esetében az 1s pálya. Ha más atommal átfed az elektronfelhője, akkor az atompályák közös pályákká kombinálódnak (4. ábra). Így látható, hogy a két atomi pályából a hidrogénmolekulában két molekulapálya képződött, amelyből a kisebb energiaszintűt nevezzük kötő elektronpályának (a két kötő elektron ezen található), a magasabb energiaszintűt pedig lazítópályának. Az így keletkező pályákra is érvényes a Pauli-elv, tehát egy pályán legfeljebb két elektron helyezkedhet el.



4. ábra. A hidrogén atomi-, kötő- és lazító pályái

Ha a gondolatmenetet továbbvisszük, a két atom helyett sok atomot véve, igen sok „keresztezett” pálya jön létre, például egy fém rácsában. Az így kialakult pályák fele kötő, a másik fele lazító pálya lesz. Ha azonos atomok kapcsolódnak, akkor az atomok pályáinak energiája nagyon közel van egymáshoz, vagy teljesen azonos. Így a kombinációk során a keletkező pályák energiája annyira kis mértékben tér el egymástól, hogy energiaszintek helyett energiasávokról lehet beszélni. Az alacsonyabb energiaszintű sávot (a kötőpályák sávját) nevezzük vegyértéksávnak, a magasabb energiaszintűt (a lazító pályákkal) vezetési sávnak (5. ábra).



5. ábra. A vegyértéksáv és vezetési sáv energiaszintjei különböző vezetőképességű anyagokban.

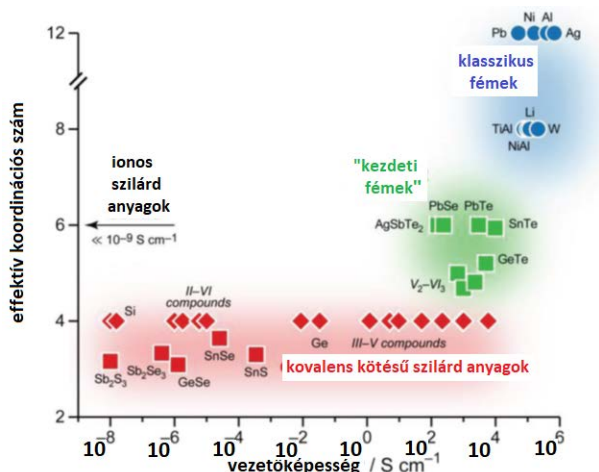
Szénatomok esetén például a gyémánt rácsában a vegyértéksáv minden pályája telített lesz, a vezetési sáv pedig üres. A két sáv energiaszintje között jelentős energiakülönbség van (ezt az energiaszint-

különbséget nevezik tiltott sávnak), ezért az elektronoknak nagy energiára lenne szükségük, hogy átugorjanak a vezetési sávba, így a gyémánt elektromosan szigetelő. A félvezetők esetében pedig a tiltott sáv szélessége lényegesen kisebb (azaz kicsi a két sáv közötti energia-különbség, amely a hőmérséklet emelkedésével még könnyebben átléphető), fele-tizede a szigetelőkében tapasztalható alsó határértéknek. A fémek esetében a két sáv átfed, így már kis energia hatására is (akár szobahőmérsékleten, sőt még az alatt is) jól vezetik az áramot. (Lásd pl. (13).)

A fázisváltó anyagok vezetőképessége a félvezetők és a fémek között van, ezért is javasolta Wuttig először az *incipient metals*, „kezdeti fémek” elnevezést (9). Több anyag vezetőképességét hasonlították össze (6. ábra  $x$  tengelye). A zöld négyzettel jelölt adatok tartoznak az ún. „kezdeti fémekhez”, melyek jól elkülönülnek a fémektől (körökkel jelölve) és a kovalens kötésű anyagoktól, félvezetőkötől (rombuszok) is. Ezeknek az anyagoknak a vezetőképessége a fémek és a félvezetők vezetőképessége között van, némileg átfedve. Tehát a vezetőképesség szempontjából átmenetet képeznek a kettő között.

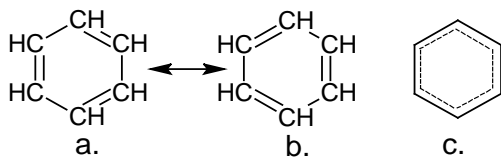
De nem ez az egyetlen tulajdonság, ahol a két anyagcsoport között átmenet figyelhető meg. Az  $y$  tengelyen az ún. effektív (tényleges) koordinációs szám látható, amely megmutatja, hogy hány másik atommal van kötésben, kapcsolatban a szilárd anyag egy rácspontja. Ez szilícium esetében például 4, mivel négy kovalens kötést tud kialakítani, de fémek esetében 8 vagy 12, rácstípustól függően.

Ha az anyagok vezetőképességét és koordinációs számát egyszerre ábrázoljuk egy kétdimenziós térképen (6. ábra), akkor valóban jól látható a vizsgált anyagok jól elkülönülő csoportja. A fázisváltó anyagoknak nem csak a vezetőképessége van a fémek és kovalens kötésű anyagok jellemző értékei között, hanem a koordinációs számuk is: a szorosan illeszkedő fémekéinél lényegesen kisebb, de az atomoknak több szomszédjuk van, mint amennyit a kovalens kötés megenged. Milyen kötésbeli, szerkezetbeli okkal magyarázható vajon mindez? Ehhez Wuttig professzor és csapata két éven keresztül próbálta a grafithoz hasonló rezonanciakötések elméletét hozzáilleszteni, de nem sikerült (10).



6. ábra. A különböző anyagok effektív (tényleges) koordinációs számai és a vezetőképesség az egyes anyagtípusok esetén (9) alapján fordítással

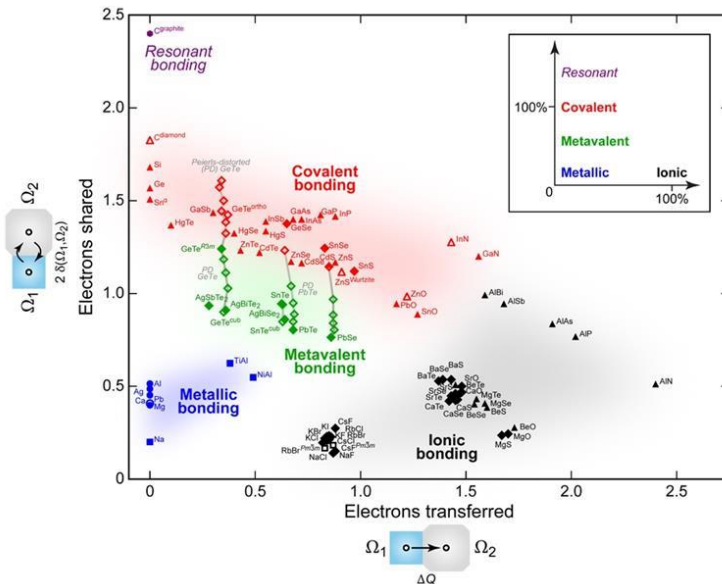
Nézzük meg először, hogy mit jelentenek a rezonanciakötések, rezonanciaszerkezetek vagy más néven határszerkezetek. Ha a benzolt (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) tekintjük (ahogy tette ezt Pauling is 1938-ban (14), és azóta is lényegében hasonló szemlélettel tekintik a kémia tankönyvek), a hat szénatom között felrajzolható 3 kettős kötés és 3 egyszeres kötés: azaz a 6  $\sigma$ -kötéshez 3  $\pi$ -kötés társul, ahogy ez a 7. ábra a. és b. részén látható. A két szerkezet között az a különbség, hogy melyik két atom között van kettős kötés. Ez a két lehetőség lényegében két határeset, azaz két határszerkezete a molekulának. A modell szerint a két szélsőség között lesz az elektronszerkezet. Tehát átlagosan a benzolt a c. ábrával írhatjuk le: egy erős kovalens  $\sigma$ -kötésre további, átlagosan fél  $\pi$ -kötés jut. Ez összhangban van azzal, hogy a benzolban a szénatomok közötti hat kötés egyenértékű, nincs közöttük különbség. Mindezekkel jellemezzük tehát a benzol delokalizált elektronrendszerét.



7. ábra. A benzol határszerkezetei és kötésrendet mutató ábrája

Terjesszük ki a fentieket a grafitra: mindegyik szénatom három másikkal létesít kovalens kötést  $\sigma$  kötéssel, a szénatomok negyedik elektronja egy jellegzetes  $\pi$ -kötésekből (a hozzá tartozó  $\pi$ -pályákkal) álló rendszert alkotnak, és ezek az elektronok a rezonancia-szerkezetek által meghatározott módon delokalizálódnak.

Miért nem működik mégsem a rezonancia szerkezet a fázisváltó anyagokra? Az egyik bizonyíték a koordinációs szám: így még kisebb értéket kéne kapni, mint ha minden kötés lokalizált lenne. (Mint például a gyémántban 4 a koordinációs szám, de a delokalizációval is rendelkező grafitban csak 3.) Ezenkívül a kötések által meghatározott fizikai tulajdonságok (mint például az elektronfelhő torzíthatóságát mérő paraméterek, vagy a nyomás hatására megváltozó optikai tulajdonságok) minőségileg és mennyiségileg is mások a fázisváltó anyagokban, mint a rezonanciaszerkezettel jellemezhetőben (9).



8. ábra. A különféle kristályrácsos anyagok elektronsűrűsége a kapcsolódó atomok közötti megosztott (*electrons shared*) és átadott (*electrons transferred*) elektronszám alapján (15)

*Metallic bonding:* fémes kötés, *ionic bonding:* ionos kötés, *covalent bonding:* kovalens kötés, *resonant bonding:* rezonancia kötés. A teli jelek termodinamikailag stabil, az üres jelek metastabil állapotot jelölnek.

Egy további bizonyíték kvantumkémiai számítással adható. Raty, Wutting és munkatársaik számításokat végeztek az atomok közötti elektroneloszlásra különféle szilárd anyagokban (15). Eredményeiket két paraméter mentén összegezték (8. ábra). Az  $x$  tengelyen az egyik atomtól a másíknak átadott elektronok száma látható, az  $y$  tengelyen pedig az atomok között megosztott elektronok száma.

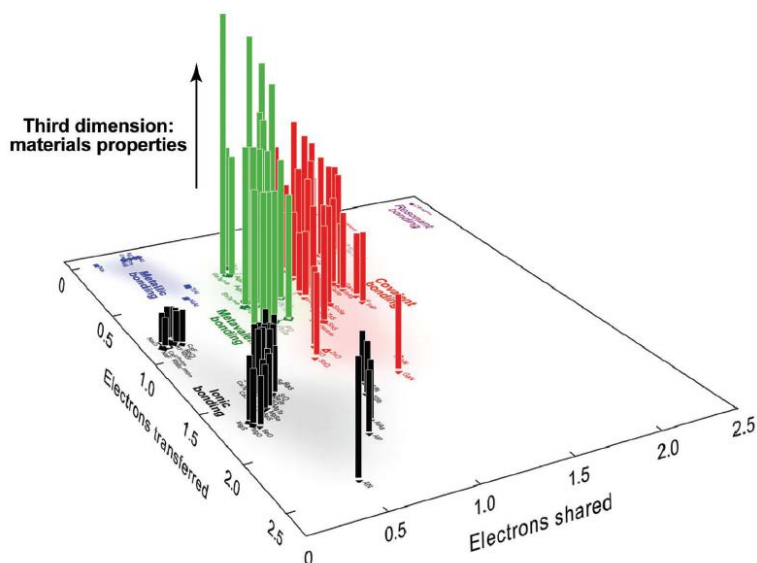
Mielőtt az új kötéstípus, a metavalens kötés különbségeiben elmerül-nénk, érdemes a számítások eredményeit (15) az „iskolapéldákon” megnézni. A nátrium-klorid tipikus ionvegyület, mely képződéséről már 7. osztályban megtanultuk, hogy a nátriumatom egy elektront ad át a klóratomnak. Tehát ideális esetben ez lenne az ábra (1, 0) pontja: 1 átadott elektron, 0 megosztott elektron. A számítások szerint 0,87 elektron kerül átadásra, azaz még ennek a kötésnek is van némi kovalens jellege. Hasonlóan a MgO-ban 1,71 elektron adódik át, ami szintén jelentős kovalens jelleget mutat. (Ez összhangban van egyébként a 3. ábrával.)

A gyémánt atomrácsában minden szénatom 4 kovalens kötést alkot úgy, hogy 2-2 elektront oszt meg két-két szomszédos atom, de a kvantumkémiai számítások alapján a megosztott elektronok száma csak 1,83 (ami jól közelíti az ideális esetet). Viszont az átadott elektronok száma nulla, a szimmetria miatt itt ionos jellegről szó sem lehet. Ez úgy magyarázható, hogy a vegyértékelektronok részben egyetlen atom körül helyezkednek el. A rezonancia kötéssel összetartott grafit esetében 2,4 megosztott elektront számítottak, ami valóban jól mutatja, hogy nem csak egy elektront osztanak meg a kapcsolódó atomok egymás közt, hanem a delokalizálódott további, negyedik elektron is részt vesz a kötésben.

A nátrium rácsa esetében 0,2 elektron került megosztásra (természetesen átadásra 0), ami azt jelenti, hogy itt kovalens jellegről nem beszélhetünk. És végül az Ar-Ar „kötésre” (helyesen dimerre) 0,026 megosztott elektron adódik – a kötés itt valóban erősen idézőjelezendő.

És hova kerültek a fázisváltó anyagok, mint például a GeTe? Az előbb felsorolt kötéstípusok között középen: kötés tekintetében átmenetet képeznek a kovalens és a fémes között. Van egyfajta kovalens jellege a kötéseknek, erre utal, hogy a megosztott elektronok száma 0,8 körüli érték a stabil módosulatokban - lényegesen kisebb, mint a rezonancia-kötés esetén. Viszont míg például a kovalens és ionkötés közötti átme-

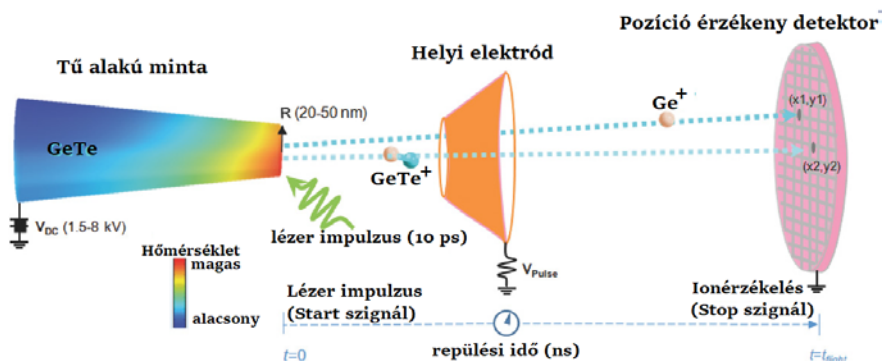
net (a poláris kötésen keresztül) a fizikai tulajdonságok fokozatos átmenetével jár együtt (mint például a vízben való oldhatóság), addig a fázisváltó anyagok metavalens kötése esetében a fizikai tulajdonságok drasztikusan megváltoznak, és nem hasonlítanak semelyik végletre sem (9. ábra).



9. ábra. A fizikai tulajdonságok (*materials' properties*) jellemző változása (polarizálhatóság, az elektronfelhő torzíthatósága) a megosztott és átadott elektronok függvényében (15). Az ábra vízszintes síkja a 8. ábrának felel meg, a harmadik tengelyen a fizikai tulajdonságok jellegzetes változása látható szemantikus ábrázolással.

Ha mindezek még kevésnek bizonyulnának a fázisváltó anyagok egyedi kötéstípusára, a kutatócsoport további vizsgálatokat is végzett: egy *atom probe tomography* (APT) elnevezésű eljárással vizsgáltak több anyagot is. (16) Az eljárás lényege, hogy egy tű alakú mintát feszültség alá helyeznek, majd gyors lézerimpulzusokkal világítják meg, ezáltal atomok vagy molekulatöredékek párolognak el. Az elpárolgott részecskéket ionizálják, majd egy olyan érzékelőre kerül az ionizált részecske, amely nem csak az ion becsapódását érzékeli, hanem azt is, hogy mi-

lyen pozícióba érkezett a részecske, és hány atomból áll. (A mérés elve a 10. ábrán látható.)



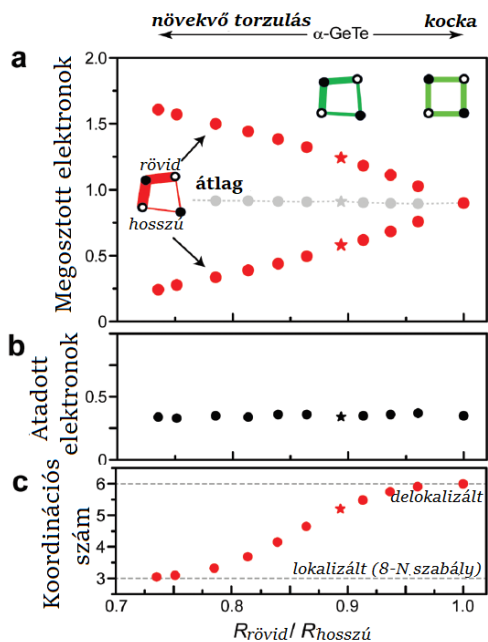
10. ábra Lézerrel kiváltott APT (16)

Mi mindenre is jó ez a mérés? A lézer hatására atomok vagy atomcsoportok szakadhatnak le a mintáról. A gyémántrácsos, kovalens kötésű szilícium kristályból kb. 90%-ban egyetlen atom szakad le és ionizálódik, és ez jellemző általában nem csak a kizárólag kovalens kötésű kristályrácsokra, hanem a fémrácsos anyagokra is. Például Fe, Al, W esetében 87-96%-ban egyetlen fématomból eredő iont detektált az érzékelő. A fázisváltó anyagok esetében viszont lényegesen kisebb, tipikusan 31-43% a magányos atomok jelének aránya. Tehát bizonyos esetekben az érzékelőre több, egymással összekapcsolódott atomból álló ion is érkezik. Ennek oka lehetne az is, hogy a molekulák, vagy molekulatöredékek aprózódnak tovább, viszont az ilyen eseteknek tipikus „ujjlenyomatuk” van, melyet a fázisváltó anyagok esetében nem figyeltek meg (16). Tehát ezek az anyagok nem lehetnek molekuláris szinten kötöttek, mégis egyfajta „összetartás” jellemzi őket. Az egy atomhoz tartozó kötő pályák a közvetlen szomszédokon túl is terjednek. Tehát egy-egy atom nem csak a közvetlen szomszédjával van kötésben, hanem azon túl is. Így, ha felszakítjuk a kötéseket, akkor a legközelebbi szomszédokkal együtt távozik egy-egy atom, de nem molekulaként, hiszen az atomok együtt egy hálózatot alkotnak. Ezért ismét leszögezhetjük, hogy ezekben az anyagokban nem tisztán kovalens vagy fémes kötés van, hanem a kettő egymással versengve egy új típust alakít ki. Ezt Wuttig és társai azért nevezték el *metavalent* kötésnek, mert ez a két kötési-



pus nevének összeolvasztása (*metallic* és *covalent bonding*), illetve utal a görög „meta” szó arra, hogy ez a kötéstípus a közönséges kovalens kötésen túlmutat. Én jelenleg ennek a magyarosított metavalens elnevezését javaslom.

Izgalmas kérdés, hogy ha a fázisváltó anyagokban található metavalens kötés valóban egy átmenet a fémes és a kovalens kötés között, akkor lehet-e a kettő között váltani. A válasz az, hogy igen. Ugyanis ezek az anyagok két szilárd szerkezet típus között változtathatják a kötéseiket. Megfigyelték, hogy a GeTe stabil módosulata ( $\alpha$ -GeTe) egy kockához hasonló szerkezettel rendelkezik, de nem szabályos, hanem a kocka éleinek fele rövidebb, mint a többi. Kvantumkémiail számításokkal igazolták (15), hogy ha az ideális kocka alakot veszi fel, azaz minden kötése egyenlő hosszú, akkor a kötéseken megnő a delokalizáció. Torzult formában az elektronok átrendeződnek, így a rövidebb kötések erőssége növekszik (nő az elektronsűrűség), míg a hosszabbaké csökken (kiseb elektronsűrűség), de az átlaguk változatlan marad (11. ábra).



11. ábra A fázisváltó anyagok kötésének változása a kristályszerkezet függvényében ( (15) alapján fordítva)

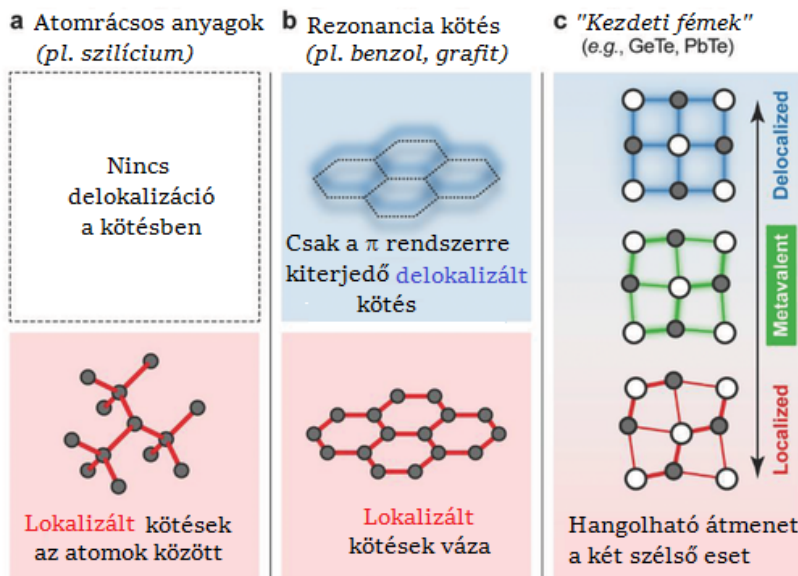
Érdekes, hogy a kötés „ionossága”, azaz az átadott elektronok száma nem változik a torzulás során, míg a koordinációs szám fokozatosan csökken a fémes jellegű 6-osról a félvezetőkre jellemző kovalens kötések kialakulása során várhatóig (jelenleg 3). Az ábrán a csillag jelzi a metavalens kötésű stabil GeTe számított értékeit, amely tehát egy enyhén torzult térszerkezetben, magas koordinációs számmal ötvözi a kovalens és a fémes kötés bizonyos tulajdonságait. A metavalens kötés elektronjainak a szerkezet torzulásra adott speciális, nem szimmetrikus választását nevezik a kötés anharmoniójának.

Az  $x$  tengelyen a rövid és hosszú élek hosszának aránya (szabályos kockában az egyenlőség miatt ez az érték 1, torzult esetben egynél kisebb tört), az  $y$  tengelyen: a. a megosztott elektronok száma, b. az átadott elektronok száma, c. az effektív (tényleges) koordinációs szám.

A kovalens kötéssel összetartott szilárd anyagok (mint amilyen például a szilícium is) esetében a kötések elektronjai lokalizáltak, azaz a legnagyobb elektronsűrűség a két atom között található. A rezonanciakötéssel jellemezhető grafitban (vagy benzolban) a  $\pi$ -kötések delokalizáltak, de rendelkezik az anyag egy erős, lokalizált elektronokkal rendelkező kovalens kötésű vázzal is. Ezekkel ellentétben a metavalens kötésű anyagokban nem  $\pi$ -kötések delokalizálódnak, hanem az atomokat összetartó egyetlen kötés, de csak közeli szomszéd atomok között. Sőt, bizonyos hatásokkal a két szélsőség (teljes lokalizáltság, illetve delokalizáltság) között hangolható is a kötés. (12. ábra) A torzulás befolyásolásával, például ötvözéssel, hibahelyek kiépítésével, a nanoszerkezet módosításával a metavalens kötésű anyagok tulajdonságai tervezhetők, hangolhatók egy adott célra.

De mégis milyen célra is használjuk a metavalens kötésű fázisváltó anyagokat? Ahogy már említettem, azért nevezzük fázisváltónak, mert az amorf és a kristályos változatuk rendkívül gyorsan tud külső hatásra (pl. nyomás) átalakulni egymásba. Az amorf a kovalens jellegű, a kristályos pedig a metavalens kötéssel rendelkező. A két változat optikai és termoelektromos tulajdonsága jelentősen különbözik (9) (10), ezért lehet logikai kapcsolóként használni – a kristályos módosulat az 1 bit, az amorf a 0 bit. Így nanoréteg vastagságban megfelelő hordozóra rétegezve nagyon jól használható ultragyors optikai kapcsolónak (16), flexibilis kijelzőnek (9), nem illékony adathordozónak (9) (11) (17). Ez segíthet abban, hogy mennél kisebb helyen mennél nagyobb adatmeny-

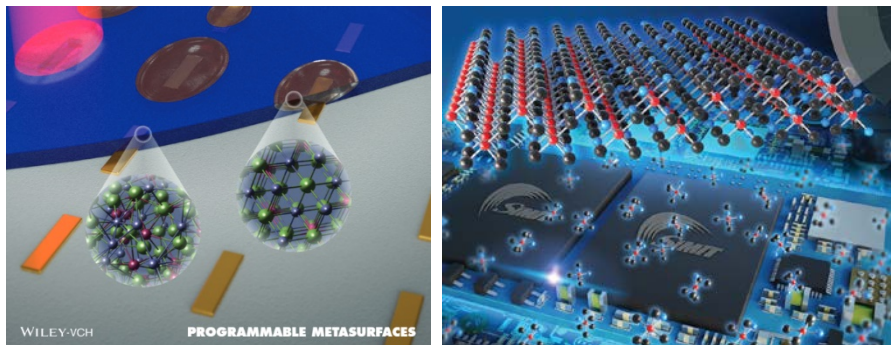
nyiséget tároljunk tartósan, és gyorsan hozzáférhetően. Hasonló eszköz pedig már a piacon is van, az Intel/Micron 3D Xpoint márkanéven forgalmazza (12).



12. ábra. A kovalens, a rezonancia és a metavalens kötés összehasonlítása az elektronok lokalizáltsága (helyhez kötöttsége) és delokalizáltsága alapján (9)

Az *Advanced Materials* 2019. júliusi számának címlapborítóján (13. ábra, bal oldal) egy olyan kutatás eredménye látható, ahol a kristályos és amorf formáját vörös lézervény hatására lehet egy fázisváltó anyagnak ( $\text{Ge}_3\text{Sb}_2\text{Te}_6$ ) egymásba alakítani. Ezáltal néhány atom átrendezésével gyorsan megváltoztathatók a felület optikai tulajdonságait, optikailag programozva azt (18). Gondoljunk bele, mennyi lehetőség adódik abból, ha néhány atomnyi helyen tudnánk információt tárolni. Igen sok kutatás zajlik az optikai tárolás ilyen irányú fejlesztésében. A *Nanoscale* 2019/11 számának borítóján (13. ábra, jobb oldal) egy olyan kutatáshoz tartozó illusztráció látható, amely egy optikai tároló lehetséges ötvözet, egy GeSe – GeTe ötvözet elektromos kapcsolóként való ideális felhasználását kutatja, megmutatva, hogy ez az ötvözet még

200°C körüli hőmérsékleten is jó 10 évre vetített adattárolásra lenne képes (19).



13. ábra. Az *Advanced Materials* 2019. júliusi és a *Nanoscale* 2019/11 számának címlapborítója

Egy másik fontos felhasználási terület a termoelektromos hatás kihasználása. A hulladékhő befogása és elektromossággá való átalakítása, a termoelektromos generátorok továbbfejlesztése egy ígéretes alternatív energiaforrás. A fázis-váltó anyagok termoelektromos hatása is több éve ismert (ld. pl. (20) irodalma 1957-től kezdve). Az ezüsttel ötvözött PbTe a kutatások szerint alkalmas lehet ezek továbbfejlesztésére (21).

Miért is nem fedezték fel a metavalens kötést korábban, ha ez egy elsőrendű kémiai kötés, tehát alapvetően az elsődleges szerveződési szint bizonyos atomok között? A fentieket átnézve egyértelműnek tűnik: maga a kötés is nagyon új lehet, hiszen olyan anyagokban lép fel, amelyek mesterségesek, így a természetben nem is fordulhat elő. Speciálisan bizonyos kalkogenidekben található, amelyek ásványokként nem a félfémekkel ötvöződnek természetes körülmények között.

Rendszerezzük egyetlen táblázatba a négy kötésről megismert tulajdonságokat. (Az adatok egy része a (9)-es forrásból származik.)

A táblázatból valóban látható, hogy a metavalens kötéssel rendelkező anyagok egy jól körülhatárolható csoport. Egyedi tulajdonságokkal jellemezhetők, így van létjogosultsága a negyedik elsőrendű kötésről beszélni. Fontosságát az is kifejezi, hogy a három alapvető cikkre, melyek az elmúlt egy évben jelentek meg, és a kötés alapjait tárják fel, már most összesen 66 hivatkoznak a szakirodalomban: (9) 16, (16) 45, (15)

5 hivatkozással, a megjelenés időrendi sorrendjében. Az persze kérdés, hogy bekerül-e a kémia tankönyvekbe, és ha igen, mikor.

	ionkötés	kovalens kötés	metavalens kötés	fémes kötés
Példa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• elemek</li> <li>• vegyületek</li> </ul>	nincs NaCl, MgO	C, Si GaAs, SiO <sub>2</sub>	nincs (?) GeTe, PbTe, PbSe	Cu, Fe, Na NiAl,
elektromos vezetőképeség	nagyon alacsony (szigetelő) <10 <sup>-8</sup> S/cm	nagyon alacsonytól (szigetelő nemfémek) mérsékeltig (félvezetők) 10 <sup>-8</sup> - 10 <sup>2</sup> S/cm	mérsékelt 10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup> S/cm	magas >10 <sup>5</sup> S/cm
Tényleges koordinációs szám (szerkezeti jellemző)	6 (NaCl) 8 (CsCl)	általában 8- <i>N</i> ( <i>N</i> = vegyérték-elektronok száma)	a 8- <i>N</i> szabály nem érvényesül, 8-nál kisebb	8 (Na) 12 (Au)
optikai dielektromos állandó (külső tér hatására változó optikai jellemző)	alacsony	mérsékelt	magas	(nem alkalmazható)
a kötés polarizálhatósága	alacsony	mérsékelt	magas	(nem alkalmazható)
a kötés anharmonia	mérsékelt	alacsony	magas	alacsony

**Köszönetnyilvánítás:** Megköszönöm Bodroghy Kristófnak, egykori tanítványomnak a lektorálás során adott rendkívül hasznos megjegyzéseit.

### Felhasznált irodalom:

1. *The Historical Development of the van Arkel Bond-Type Diagram.* **Jensen, W. B.** 1992, Bull. Hist. Chem., Vol. 13/14, pp. 47-59.
2. **van Arkel, A. E., de Boer, J. H.** *Chemische Bindung.* Amsterdam : Centen, 1929. pp. idézve: The Historical Development of the van Arkel Bond-Type Diagram. Jensen, William B. 1992., Bull. Hist. Chem., 13/14. kötet, old.: 47-59.
3. *The Atom and the Molecule.* **Lewis, G. N.** 1916, J. Am. Chem. Soc., Vol. 38, p. 4.
4. *The Nature of the Metallic State.* **Fernelius, W.C., Robey, R.F.** 1935, J. Chem. Educ., pp. 12, 53-68.
5. **van Arkel, A. E.** *Molecules and Crystals.* London : Butterworths, 1949. p. 205. Az első holland kiadás 1941-ben jelent meg. Jensen, W. B. A Quantitative van Arkel Diagram, J. Chem. Ed. (1995) 72(5), 395. alapján..
6. **Villányi, A.** *Kémia, Összefoglaló középiskolásoknak.* Budapest : Műszaki Kiadó, 2010. p. 32.
7. *A Quantitative van Arkel Diagram.* **Jensen, W. B.** 5, 1995, J. Chem. Ed., Vol. 72, pp. 395-398.
8. **Leach, M. R.** Chemogenesis Webbook. *A Truncated Tetrahedron of Structure, Bonding & Material Type.* [Online] [Cited: 08 19, 2019.] [https://www.metasyntesis.com/webbook/38\\_laing/tetrahedra.html](https://www.metasyntesis.com/webbook/38_laing/tetrahedra.html).
9. *Incipient Metals: Functional Materials with a Unique Bonding Mechanism.* **Wuttig, M., Deringer, V. L., Gonze, X., Bichara, Ch., Raty, J-Y.** 2018, Adv. Mater., Vol. 12, p. 1803777.
10. **Ball, P.** Bonding rethink called for as new metavalent bond proposed. [Online] [Cited: 08 19, 2019.] <https://www.chemistryworld.com/news/bonding-rethink-called-for-as-new-metavalent-bond-proposed/3009908.article>.
11. *Rare Earth Doping Brings Thermal Stability Improvement in Zn<sub>0.15</sub>Sb<sub>0.85</sub> Alloy for Phase Change Memory Application.* **Zou H., Hu Y., Zhu X., Sun Y., Wang F., Zhang J., Sui Y.** 7, 2019, J. Electronic Mater., Vol. 48, pp. 4362-4367.

12. *Direct atomic insight into the role of dopants in phase-change materials.* **Zhu M., Song W., Konze P. M., Gault B., Chen X., Shen J., Lv S., Song Z., Wuttig M., Dronskowski R.** 2019, Nat. Comm., Vol. 10, p. 3525.
13. **Veszprémi, T.** *Általános kémia.* Budapest: Akadémiai Kiadó, 2008. pp. 406-407.
14. **Pauling, L.** *The Nature Of The Chemical Bond.* New York: Cornell University Press, 1938. pp. 183-220.
15. *A Quantum-Mechanical Map for Bonding and Properties in Solids.* **Raty J.-Y., Schumacher M., Golub P., Deringer V. L., Gatti C., Wuttig M.** 2019., Adv. Mater., Vol. 31, p. 1806280.
16. *Unique Bond Breaking in Crystalline Phase Change Materials and the Quest for Metavalent Bonding.* **Zhu M., Cojocaru-Miréidin O., Mio A. M., Keutgen J., Küpers M., Yu Y., Cho J.-Y., Dronskowski R., Wuttig M.** 2018, Adv. Mater., Vol. 30, p. 1706735.
17. *Sc-Centered Octahedron Enables High-Speed Phase Change Memory with Improved Data Retention and Reduced Power Consumption.* **Wang Y., Guo T., Liu G., Li T., Lv S., Song S., Cheng Y., Song W., Ren K., Song Z.** 2019, Appl. Mater. Interfaces, Vol. 11, pp. 10848-10855 .
18. *Advanced Optical Programming of Individual Meta-Atoms Beyond the Effective Medium Approach.* **Michel A.-K. u., Heissler A., Meyer S., Pries J., Yu Y., Kalix T., Lewin M., Hanss J., De Rose A., Mass T. W. W., Wuttig M., Chigrin D. N., Taubner T.** 2019, Adv. Mater., Vol. 31, p. 1901033.
19. *Electrical switching properties and structural characteristics of GeSe–GeTe films.* **Ren K., Zhu M., Song W., Lv S., Xia M., Wang Y., Lu Y., Ji Z., Song Z.** 2019, Nanoscale, Vol. 11, p. 1595.
20. *Thermoelectric Performance of IV–VI Compounds with Octahedral-Like Coordination: A Chemical-Bonding Perspective.* **Cagnoni M., Führen D., Wuttig M.** 2018, Adv. Mater., Vol. 30, p. 1801787.
21. *Tailoring Thermoelectric Transport Properties of Ag-Alloyed PbTe: Effects of Microstructure Evolution.* **Sheskin A., Schwarz T., Yu Y., Zhang S., Abdellaoui L., Gault B., Cojocaru-Miréidin O., Scheu C., Raabe D., Wuttig M., Amouyal Y.** 45, 2018, Appl. Mat. Interfaces, Vol. 10, pp. 38994-39001.

## Mi lett belőled ifjú vegyész? – Zádor Judit, a Sandia National Laboratories, USA vezető kutatója

*Mikor nyertél vagy értél el helyezést kémiai versenyeken?*

1996-ban 12., 1997-ben pedig 1. lettem az OKTV nem tagozatos (I.) kategóriájában.

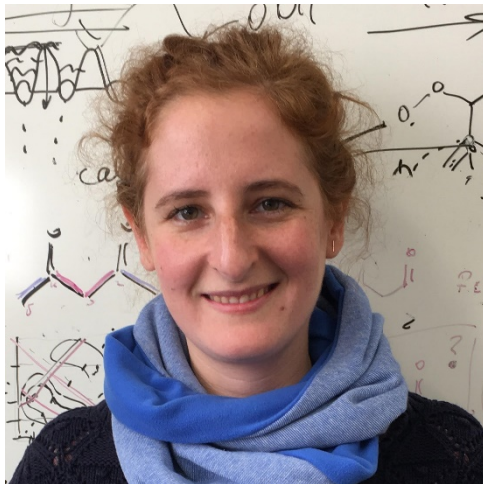
*Ki volt a felkészítő tanárod? Hogyan gondolsz vissza rá?*

A Fazekasba jártam, Hobinka Ildikó és Szabó Szabolcs készítettek fel. Nagyon jó emlékeim vannak. Most eszembe jutott erről az egész felkészülés, a sok feladat, a szertár jellegzetes szaga, a pipettázás, a lekénsavazott vadi új farmer. A szakkörön nagy volt a verseny, de az ilyenek azért alapvetően összekovácsolják az embereket. Jó volt nagyon! Egyszer télvíz idején elvonultunk kémiázni pár napra vidékre. Délutánonként jég-hokiztunk. Azt hiszem, hogy nekem a kémia ment jobban.

A Fazekasban nem csak a szokásos versenyfeladatokkal foglalkoztunk, hanem részt vettünk mindenféle projektben is. Én vízmintákat mértem, a Dunán meg a Balatonon. Így készült életem első poszttere, és így jutottam ki Németországba egy nemzetközi környezetvédelmi diák konferenciára, ahol Blumenau Eszterrel, a csapattársammal azt nyertük, hogy részt vehettünk egy német erdei környezetvédelmi táborban, ahol további érdekes dolgokat mértünk. Aztán ennek révén még egyszer meghívtak minket Berlinbe. Ezek a hatások nagyon fontosak voltak, itt tartottam először angolul előadást is például.

*Milyen indíttatásból kezdted el a kémiával komolyabban foglalkozni?*

Már kiskoromban is sok kémiás könyvet olvastam, érdekelt a periódusos rendszer, tetszett az egész. Nem voltam az a típus, aki felgyűjtja a konyhát, de szerettem dolgokat kipróbálni, meg gyűjtöttem





az ásványokat, ebben is a kémiát láttam. A kémia, mint tantárgy, már az elején, hetedikben beakadt nálam. Talán mert a kémiatanárunk az általános iskolában (Szemere 5., Murvai József) valamit nagyon jól csinált. De az is lehet, hogy ez genetikus. A nagynéném is vegyész kutató volt, és most az egyik unokatestvérem fia is lehet, hogy az lesz. Egyébként nem biztos, hogy komolyan gondolok a kémiára, ez nem munka, legalábbis amikor tényleg van időm a kutatásra koncentrálni. Engem alapvetően érdekel a molekulák magánélete.

*Ismerted-e diákkorodban a KÖKÉL-t?*

Igen, és már egyszer írtam is bele cikket (KÖKÉL, 2004/5, 381, [http://www.kokel.mke.org.hu/images/stories/docs/2004\\_5/381-390.pdf](http://www.kokel.mke.org.hu/images/stories/docs/2004_5/381-390.pdf)) az ózonréteg kialakulásáról.

*Hozzásegítettek-e a pályaválasztásodhoz a versenyeken elért eredmények?*

Persze. Motiváló olyan szakra menni, ahol az ember tudja, hogy neki ez menni fog. De azt hiszem nem is tudtam elképzelni, hogy bármi mást csináljak, teljesen egyértelmű volt nekem meg a barátaimnak és a családomnak is, hogy vegyész szakra fogok járni. Ugyanígy az sem volt kérdés, hogy jelentkezsek-e a PhD-re. Nálam ezek a dolgok valahogy egyértelmű lépések voltak.

*Mi a végzettséged és a pillanatnyi foglalkozásod? Maradtál-e a kémiai pályán?*

Az ELTE vegyész szakán végeztem, ott is doktoriztam. Már lassan 13 éve Kaliforniában élek és dolgozom egy nemzeti kutatólaborban, amit Sandia National Laboratories-nek hívnak. Berkeley-ben lakom, nem messze San Franciscótól. Elméleti fizikai kémikus vagyok, a kvantumkémia és a statisztikus mechanika segítségével azt számolom ki, hogy a különböző molekulák hogyan és milyen gyorsan reagálnak egymással. Eddig főleg olyan reakciókat tanulmányoztam, amelyek szén alapú anyagok égésekor vagy a légkörben játszanak szerepet, de mostanában katalízissel is foglalkozom. Ezenkívül sokat dolgozom a számolások automatizálásán, hogy minél gyorsabban és hiba nélkül tudjuk elvégezni őket, illetve mint sokan mások, én is kacsintgatok a mesterséges intelligencia felé, mint segédeszköz a kutatásban. Mindig van valami újat tanulni. Szeretem a munkámat, sokat dolgozom együtt

a kollégáimmal, posztdokokkal, meg külső emberekkel is. Van, aki kísérleti kutató, van, aki alkalmazott matematikus, jó ez a sokféleség.

*Nyertél-e más versenyt, ösztöndíjat (hazait, külföldit)?*

Voltam egy évig Leeds-ben (Nagy-Britannia) az egyetem utolsó évében Erasmus ösztöndíjjal. Már Magyarországon is kutattam, Turányi Tamás témavezetésével, de talán Leeds-ben nyílt ki igazán a szemem. Mike Pilling volt a témavezetőm, ott ismerkedtem meg a légkörkémiával, és ott kerültem be abba a közegbe, ami a későbbiekben segített, hogy a jelenlegi állást megkapjam.

A mostani státuszomban már nincsenek versenyek a klasszikus értelemben, de helyette az ember pályázatokat ír, és ha nyer, az nagyjából olyan érzés, mintha versenyt nyert volna.

*Van-e kémikus példaképed (akár kortárs is)? Miért pont ő?*

Sok kémikust csodálok, nagyon sok kiváló kutatót és embert ismerek. Nőként nagyon érdekel, hogy más nők miket érnek el vagy értek el kémiában. Javaslom, hogy keressen mindenki rá híres kémikus nőkre, nagyon inspiráló történeteket lehet olvasni az interneten.

*Mit üzensz a ma kémia iránt érdeklődő diákoknak?*

A globális felmelegedés és az óceánok szennyezettsége csak két kiemelkedő példa arra, hogy micsoda lehetőségek és kihívások állnak a kémia előtt. Nagyon fontos, hogy sok vegyész legyen a világon, és hogy sokfélék legyenek. Kellenek olyan emberek, akik egész nap bonyolult egyenleteket oldanak meg vagy lézerekkel próbálnak eltalálni egy-egy molekulát, olyanok is, akik az iparban próbálnak korszerűsíteni technológiákat, olyanok is, akik gyerekeknek tanítanak kémiát, és olyanok is, akik a politikusokkal együtt dolgozva alakítják ki a környezetvédelmi törvényeket. A kémiában minden érdeklődő megtalálhatja a neki legjobban tetsző területet, és ha végül úgy dönt, hogy mégsem kémiából akar megélni, akkor még mindig lehet pl. német kancellár.

Ha valaki konkrétan elmélettel szeretne foglalkozni, akkor azt javaslom, hogy minél több matematikát és programozást tanuljon az egyetemi évek alatt. A befektetett energia többszörösen meg fog térülni.

*Mi az, amit mindenképp szeretnéd, ha megtudnának rólad? Pl. Mi a hobbid - a kémián kívül? Van-e kedvenc anyagod (ha igen, miért éppen az)?*

Az ásványgyűjteményemben a kedvencem az ulexit. Ez egy  $\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  összetételű ásvány. A szerkezete olyan, mintha egy nagy köteg optikai szálát tennénk egymás mellé. Ha a csiszolt ulexitet rárajuk egy felszínre, mondjuk egy könyv lapjára, akkor a kép felvetül az ulexit felső felszínére. Emiatt az optikai hatás miatt TV kristálynak is hívják az ulexitet.

A kémián kívül sok más is szeretek csinálni, szeretem a jó színházat és filmeket, a klasszikus koncerteket, szeretek sportolni, főzni, kirándulni, várost nézni. Ennek ellenére jelenleg csak egy hobbim van: a majdnem kétéves kislányom, aki szinte minden szabadidőnket leköti.

## Mestersége kémiatanár – Mostbacher Éva

### *Bemutakozás*

Mohácson születtem, de az iskolai tanulmányaimat már Pécsen végeztem. Érettségi után a PTE tanárképző karának matematika-kémia szakán tanultam tovább, majd ennek elvégzését követően tanulmányaimat a debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetemen folytattam, ahol 1988-ban szereztem diplomát. Pályám kezdetén volt alkalmam kipróbálni magam az általános iskolás, a főiskolás korosztályban, rövid ideig még a felnőttképzésben is tanítottam, de nagyon örültem, amikor 1993-ban felkértek, hogy legyek a Ciszterci Rend Nagy Lajos Gimnáziumának tanára. Úgy érzem, a legnagyobb kihívások itt vártak rám, ahol egykor édesapám is tanult. Hálás vagyok a Mindenhatónak, hogy nagy tanáregyéniségekkel dolgozhattam együtt, tőlük vehettem át a stafétabotot, amely kötelez. Idén már 26. éve állok ennek az intézménynek a katedráján, és jelenlegi kollégáimmal is remek kis csapatot alkotunk. A kezdetektől két missziós területem van, a korrepetálás és a tehetséggondozás. Mindkettőt nagyon szívesen csinálom, mert szeretem a tanítványaimat, szeretnék nekik adni. Egyiknél „csak” az a cél, hogy ne utálja a kémiát, olyan tudást kapjon, ami segíti őt az eligazodásban, a kritikus gondolkodásban, a környezettudatos magatartás megélésében, a másik pedig igazi kihívás, a tanári pálya sava-borsa. Mindkettő motivál, és gyakran visszasugárzik, ennek köszönhetem a kapott elismeréseket is.



Gimnáziumának tanára. Úgy érzem, a legnagyobb kihívások itt vártak rám, ahol egykor édesapám is tanult. Hálás vagyok a Mindenhatónak, hogy nagy tanáregyéniségekkel dolgozhattam együtt, tőlük vehettem át a stafétabotot, amely kötelez. Idén már 26. éve állok ennek az intézménynek a katedráján, és jelenlegi kollégáimmal is remek kis csapatot alkotunk. A kezdetektől két missziós területem van, a korrepetálás és a tehetséggondozás. Mindkettőt nagyon szívesen csinálom, mert szeretem a tanítványaimat, szeretnék nekik adni. Egyiknél „csak” az a cél, hogy ne utálja a kémiát, olyan tudást kapjon, ami segíti őt az eligazodásban, a kritikus gondolkodásban, a környezettudatos magatartás megélésében, a másik pedig igazi kihívás, a tanári pálya sava-borsa. Mindkettő motivál, és gyakran visszasugárzik, ennek köszönhetem a kapott elismeréseket is.

*Milyen diák volt? Voltak például csínytevései, kapott-e intőket?*

Tanári szemmel nézve úgy gondolom, sok gondot nem okoztam nevelőimnek, általában szorgalmas, szabálykövető diák voltam az

iskolában. Csínytevééseimet inkább otthon éltem ki, melyekkel néha nagyon is próbára tettem szüleim türelmét. A középiskolában összesen egy negatív visszajelzésre emlékszem, de szerencsére intő abból sem született. Az történt, hogy az egyik laborgyakorlaton tréfából az osztálytársam zsebébe fröcsköltem a desztillált vizet, melyet ő hangos felháborodással fogadott, és ezzel felhívta magunkra a tanár figyelmét. Az esetnek az lett a következménye, hogy büntetésből nekem kellett mindent elmosogatnom az óra után.

*Miért választotta a tanári pályát? Miért éppen a kémia tantárgyat választotta?*

Nem pedagógus családból származom, így igazából belülről soha nem láttam mi mindennel jár ez a gyönyörű hivatás, ennek ellenére mióta az eszemet tudom, erre a pályára készültem. Mindig kíváncsi gyerek voltam, hajtott a tudás utáni vágy, de nem az ismeretek birtoklása, hanem inkább annak továbbadása jelentett örömet. Ebben az értelemben hasonlítok édesanyámra, aki szintén egy nagyon karitatív személyiség volt, mindig másokon segített. Én is szívesen foglalkoztam a szomszéd gyerekekkel, az osztálytársaimmal, és az ő sikereik okoztak igazi boldogságot. Már az általános iskolában első tanítóim szeretete, kedves következetessége is vonzó volt számomra, de a pályaválasztás szempontjából középiskolai osztályfőnököm, Kopeczky Lóránt gyakorolta rám a legnagyobb hatást. Ő kiváló tanár volt, nagyon sokat köszönhetek neki. Nemcsak szaktárgyának, a matematikának volt mestere, hanem remek humorérzékét és emberismeretét is csodáltuk. Pontosan tudta, mikor van szükség precizitásra, és mikor lehet nagyvonalú diákjaival szemben. Nemcsak szakóráin volt magával ragadó magyarázataival, hanem élete példáján keresztül is nevelt bennünket. Kirándulásainkat mindig úgy szervezte, hogy magyarságtudatunkat erősítse. Nagy hódolója volt a művészeteknek, szenvedélyes természetjáró volt, ismerte a Mecsek minden zegzugát, szeretett lovagolni, síelni, és mindent megtett, hogy az ezek iránti vágyat bennünk is felébressze. A természettudományok iránti szeretetem a családból származik. Édesapám vegyész volt, ezért a családi beszélgetések állandó témái voltak a kémiai problémák, és az ezek megoldásához vezető utak latolgatása. Már gyerekként érdeklődve, csodálattal hallgattam ezeket a beszámolókat, számomra egy varázslatos világot nyitottak meg, és nagyon vágytam arra, hogy

idővel ne csak passzív hallgatója, hanem értő, aktív részese lehessen ezeknek a beszélgetéseknek. Ezért is jelentkeztem a pécsi Vegyipari Szakközépiskolába, ahol a laborgyakorlatokon megtanultuk előre megtervezni és összehangolni a feladatokat, ízelítőt kaptunk a tudományos munkából és közben manuális és megfigyelőképességünk is fejlődött. Élveztük, hogy saját tapasztalataink alapján kezdtünk neki a szerkezeti elemzéseknek, itt nyertek értelmet a kémiai számítások, amelyek egy-egy kísérlet kimenetelének becsléséhez, vagy éppen kiértékeléséhez voltak szükségesek.

*Milyen tervekkel vágott neki a pedagógusi pályának? Mennyiben valósultak meg ezek?*

Nagyon szeretem a gyerekeket, a szaktárgyaimat, és abban bíztam, hogy ha elég hiteles, lelkes, és jó vagyok, akkor őket is képes leszek lázba hozni e tudomány iránt. A jó hír az, hogy évről évre vannak diákjaim, akikkel ez sikerül, de sajnos minden igyekezetem ellenére nem 100 %-os az eredmény. Én azonban nem adom fel, újra és újra próbálkozom.

*Mit gondol, mitől jó egy kémiaóra?*

Fontos a kölcsönös bizalmon és tiszteleten alapuló, elfogadó, nyugodt, barátságos légkör, a témához kapcsolódó felütéssel a tanulók érdeklődésének felkeltése, és a gondosan tervezett feladatkiosztással, munkáltatással annak fenntartása. Ha a tanórán a diákok nem csak álmélkodtak, hanem elmélkedtek is, fejlődött a gondolkodásuk, vitakészségük, és sikerült őket lázba hozni, akkor úgy gondolom, elértük a célunkat.

*Ön szerint milyen a „jó” gyerek?*

Kíváncsi, érdeklődő, kötelességtudó, becsületos, de legyen benne egy adag vagányság, tudjon és akarjon küzdeni.

*Van kedvenc anyaga vagy kedvenc kísérlete? Miért éppen az?*

Az egyik kedvenc kísérletem az elefántfogkrém, mert nagyon látványos, gyorsan elvégezhető, és sok témánál bemutatatható (pl. kémiai reakciók, bomlás, redoxireakciók, gázfejlődéssel járó reakciók, termokémia, kolloid rendszerek stb.).

*Ha csak egyetlen (vagy néhány) kémiaórát tarthatna, arra milyen témát választana?*

Kedvencem a szerves kémia, azon belül gyakorlatilag bármi. Itt a legkönnyebb motiválni a diákokat, mert annyira szoros a gyakorlati étellel való kapcsolata.

*Volt-e olyan pillanat vagy esemény a pályáján, amit különösen emlékezetesnek tart?*

Nagyon meghatódtam, amikor arról értesültem, hogy diákjaim pályázata alapján kaptam meg a Kémiaoktatásért díjat (2010), valamint a Mester-M díjat (2011). Számomra ez azért volt felbecsülhetetlenül nagy elismerés, mert nem pusztán az elért eredményekért ítelték nekem a kitüntetést, hanem azok véleménye alapján, akikkel egész évben minden órán együtt dolgozom. Ők látják a napi küzdelmeket, a fáradt pillanatokot is, és mindezekkel együtt úgy gondolták, hogy megérdemlem az elismerést. Számomra ez a legnagyobb díj, no meg azok a visszajelzések, amelyeket azoktól a diákjaimtól kapok, akik már elhagyták a középiskolát.

*Hogyan látja a kémiaoktatás jelenlegi helyzetét?*

Véleményem szerint a természettudományos tantárgyak, így a kémia oktatása is méltatlanul és érthetetlenül háttérbe szorult a közoktatásban. Pont most, amikor a reklámok által agyonmanipulált világunkban a legfigyelmesebbnek, legtájékozottabbnak kell lennünk ahhoz, hogy a haszonelvű társadalom kívülről ugyan csábító, ugyanakkor egészségtelen, és veszélyes anyagainak nemet tudjunk mondani. Itt nem csupán arról van szó, hogy megtaníttuk, miért nem szabad a hypót sósavval összeönteni, illetve mit, mivel mossunk, vagy hogyan lehet a házilag túlecetezett ételt ehetővé tenni, és még sorolhatnám. A kémia ennél sokkal több. Meggyőződésem, hogy logikus következtetésre, érvelésre csak akkor képes egy diák, ha birtokában van az ismereteknek, alapösszefüggéseknek. Ezért az ismeretközpontú oktatáson nem szabad átlépnünk, hiszen a kompetenciák végleges kialakítását csak erre az alapra lehet építeni. Persze én is fontosnak tartom a mozgást, az idegennyelv-tudást, a számítógépes ismereteket, de ezek a legtöbb esetben nem célok, csak eszközök, ezért ezeket jobban be kellene építeni más tantárgyak oktatásába. Véleményem

szerint egy kémiatanár elsősorban nem azért van nehéz helyzetben, mert túlzottan elvont ismereteket közvetít, hanem azért, mert nem kap elegendő időt ennek felfedeztetésére. Az óraszám csökkentésével sokkal nehezebb lett a tanárok helyzete, hiszen éppen a diákok számára meghatározó élmények maradnak ki, amelyeken keresztül elvarázsolhatnánk őket. A mai gyerekeknek is fontos, hogy robbanjon, színes legyen, stb., és ha folyamatosan palléroztuk az elméjüket, akkor már maguk is igénylik a magyarázatokat, ez az, ami továbbgondolkodásra ösztönözi őket.

*Mivel foglalkozik legszívesebben, amikor éppen nem dolgozik? Mit osztana meg a munkáján kívüli életéből?*

Szabadidőmben szeretek olvasni, színházba, koncertre járni, vagy éppen otthon a családi kamaraegyüttessel muzsikálni. Számomra a hegedülés az önkifejezés egyik legfontosabb formája, mely teljesen kikapcsol, és feltölt.

*Mit tanácsolna a kezdő tanároknak, vagy azoknak, akik tanári pályára készülnek?*

Egy Shakespeare-idézettel szeretném biztatni őket: „Ahol szeretetet vetünk, ott öröm sarjad.” Vessenek bátran, mert ez a legjobban kamatozó befektetés.



# GONDOLKODÓ



## Feladatok

*Szerkesztő: Borbás Réka, Magyarfalvi Gábor, Varga Szilárd,  
Zagyai Péter*

A megoldásokat 2019. december 16-ig lehet a [kokel.mke.org.hu](http://kokel.mke.org.hu) honlapon keresztül feltölteni, vagy postára adás után regisztrálni. A formai követelmények figyelmes betartását kérjük. A postacím:

**KÖKÉL Gondolkodó**

ELTE Kémiai Intézet

Budapest 112

Pf. 32

1518

A **K** feladatsorra beküldött megoldásokból a legjobb 5 feladatot számítjuk csak be fordulónként. A 11-12. évfolyamos diákok esetében a nehezebb (csillagozott) példák mindenképp bekerülnek az 5 közé.

**K339.** A XIX. század közepén az urán atommégegként eltérő értékeket jelentettek meg kutatók. Berzelius szerint 120, Armstrong szerint 180, Mengelejev szerint 240. Mindhárom értéket az urán ugyanazon, ásványként is fellelhető oxidjának analíziséből kapták. Az oxid tömegszázalékos urántartalma 84,8%.

a) *Mit gondolt az ásvány képletének a három tudós?*

b) *Mi a vegyület igazi képlete, és mi benne az elemek oxidációs száma?*

(ukrán feladat)

**K340.** A tanár aluminotermiás reakciót mutatott be a kémiaórán. Ehhez 30 gramm vas(III)-oxidot kevert össze 8,0 gramm alumíniumporral. Az órán látványosan lezajlott a kísérlet, és nem is kevés olvadt vas keletkezett, ami a kísérletes edényből szépen kicsepegett. A kísérletes

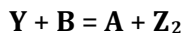
edényben visszamaradt szilárd anyagot aztán bevitte szakkörre kísérletezni.

A szakkörösök a szilárd keverék 3,55 grammos mintáját fölös HCl-oldatban oldották. Ekkor  $87,5 \text{ cm}^3$  gáz keletkezett ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -on és standard nyomáson). A feloldott mintához ekkor feleslegben NaOH-oldatot adtak, levegőn kevergetve, majd leszűrték a csapadékot, és megszáritották. A száraz csapadék tömege  $2,67$  grammnak adódott. A szakkörösök a száraz csapadékot  $\text{FeO(OH)}$ -nak tekintették, hogy meg tudják becsülni az összetételt.

*Számításuk szerint mi volt a szakkörre bevitt szilárd minta tömegszázalékos összetétele?*

(Borbás Réka)

**K341.** Az  $\text{X}_2$  elem  $\text{Y}$  elemmel heves, exoterm reakcióban reagál, sárga fénytűnemény közben. A reakció során a vízben jól oldódó  $\text{A}$  vegyület képződik, amelyben az alkotók molaránya  $1:1$ .  $\text{Y}$  a  $\text{Z}_2$  elemmel is reagál, miközben  $\text{YZ}$  vegyület képződik.  $\text{YZ}$  vegyület vízzel hevesen reagál, miközben gyúlékony gáz keletkezik. A  $\text{B}$  vegyületet elő lehet úgy állítani, hogy az  $\text{X}_2$  elem reagál robbanásszerűen  $\text{Z}_2$ -vel. A keletkező  $\text{B}$  vízben nagyon jól oldódik,  $1 \text{ cm}^3$  víz szobahőmérsékleten kb.  $470 \text{ cm}^3$   $\text{B}$ -t képes oldani. Az alábbi (nem rendezett) egyenlet is végbemegy:



Az  $\text{U}$  elem nem lép reakcióba  $\text{Z}_2$ -vel, de  $\text{B}$ -vel igen. Ekkor a keletkező  $\text{C}$  vegyület százalékos fémtartalma  $44,06 \text{ m/m}\%$ . Ha  $\text{U}$ -t  $\text{X}_2$ -vel reagáltatjuk, nem  $\text{C}$  keletkezik, hanem annak egy rokon vegyülete, de abban kisebb a fémtartalom.

*Add meg  $\text{A}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{C}$  vegyületek képletét,  $\text{X}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Z}$ ,  $\text{U}$  elemek vegyjelét, és a lejátszódó reakciók egyenletét!*

(Borbás Réka)

**K342.** A laborban találtunk némi régebbi fehérgálicot ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), és úgy gondoltuk, érdemes lenne átkristályosítani. Ezért kb.  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ -os meleg vízben feloldottuk a sót, majd  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra lehűtve  $46,06$  gramm kristályos fehérgálic vált ki.  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra tovább hűtve újabb  $10,08$  gramm

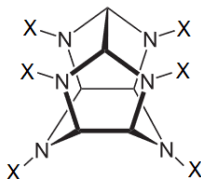
só vált ki. Az oldatot még melegen megsűrve 0,24 g oldhatatlan szennyezést szűrtünk ki, és oldható szennyezésre nem számítunk.

- a) *Mekkora tömegű sóból és vízből indultunk ki?*  
 b) *Mekkora tömegű só válna még ki, ha az oldatot tovább hűtenénk 0 °C-ra? Az eredeti só tömegének hány százalékát tudtuk 0 °C-ig való hűtéssel visszanyerni?*

100 gramm víz 0°C-on 41,6 g, 10°C-on 47,2 g, 20°C-on 53,8 g, 70°C-on 75,4 g ZnSO<sub>4</sub>-ot old.

(Borbás Réka)

**K343.** Egy robbanószer, amely rakéta-hajtóanyagba keverve füstcsökkentő hatású lehet, szerkezete az ábrán látható. Az X hat egyforma csoportot jelöl, amely egy központi atomon keresztül csatlakozik a nitrogénhez. (Ebben az ún. vonalképletben a vonalak – kovalens kötések – találkozásánál szénatomokat kell elképzelnünk, a megfelelő számú hidrogénatommal.)



A vegyület 38,36 tömegszázalék nitrogént tartalmaz, és 1 móljának tökéletes égéséhez 1,5 mol oxigénre van szükség.

- a) *Milyen csoportot jelöl X? Írd fel a tökéletes égés egyenletét!*

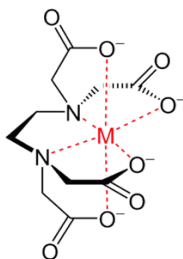
Égéspróbát végeznek a vegyülettel. Egy 2,00 grammos mintát egy 10 dm<sup>3</sup>-es nyomásálló tartályban helyeznek el, amely standard nyomású, 25 °C-os levegővel van töltve, majd a mintát meggyújtják. Az égetés végén a hőmérséklet 410 K.

- b) *Mekkora a nyomás a tartályban az égés végén?*

(Borbás Réka)

**K344.\*** A kezdő élelmiszermérnöknek 600 dm<sup>3</sup> oldatot kell készítenie, amelyben a kalciumionok koncentrációja 0,70 g/dm<sup>3</sup>. Ki is számolta, hogy mekkora tömegű CaCl<sub>2</sub>-ot kell ehhez bemérnie. Ekkor eszébe jutott, hogy nem desztillált vízzel készíti az oldatot, hanem csapvízzel,

amely tartalmaz oldott kalciumionokat. Így megmérte, mennyi az összes kalcium- és magnéziumion koncentrációja a csapvíznek. Ezért 10,0 cm<sup>3</sup> csapvizet tett titrálólombikba, majd ehhez lúgos kémhatású pufferoldatot öntött, és 0,010 mol/dm<sup>3</sup> koncentrációjú EDTA mérőoldattal titrálta, eriokrómfekete T indikátor mellett. Az EDTA az etilén-diamin-tetraecetsav nátriumsója, ami lúgos közegben komplexet képez a kalcium- és magnéziumionokkal 1:1 arányban, azaz egy EDTA egy fémiont tud megkötni.



Az etilén-diamin-tetraecetsav anionja a megkötött fémionnal

A mérések során az átlagos fogyás 2,20 cm<sup>3</sup> volt. Tudja, hogy a Ca<sup>2+</sup> és Mg<sup>2+</sup> anyagmennyiség-aránya átlagosan 2:1 körüli érték szokott lenni Magyarország vizeiben. A mérések eredményét figyelembe véve kiszámította, így mennyi lesz a bemérendő CaCl<sub>2</sub> tömege.

- Hány százalék az eltérés, ha nem számol a csapvízben található kalciumionokkal a desztillált vízhez számított értékhez képest?
- Mekkora (százalékban kifejezett) hibát követ el akkor, ha nem veszi figyelembe, hogy az oldatkészítéshez kalcium-klorid-dihidrát áll rendelkezésére, nem vízmentes CaCl<sub>2</sub>?

(Borbás Réka)

**K345.\*** Vas(II)-szulfidot oldunk fel sztöchiometrikus mennyiségű 150 cm<sup>3</sup> térfogatú 35,0 tömegszázalékos 1,26 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű kénsavoldatban. 100 g víz 28,8 gramm vas(II)-szulfátot old a kísérlet hőmérsékletén. A telített oldat FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O kristályokkal tart egyensúlyt.

Mennyi a szilárd fázis és folyadékfázis tömegaránya a reakció teljes lezajlása után?

(Borbás Réka)

**K346.\*** A nyers sajtokat préselés után olyan sóoldatban kell áztatni hosszabb időn át, amely nátrium-kloridra nézve 23  $m/m\%$ -os, és enyhén savas a kémhatása. A kezdő élelmiszermérnöknek egy ilyen oldatot kell elkészítenie. A 700 kg oldatot úgy készíti, hogy a NaCl-ot olyan ecetsavoldatban oldja, amelynek pH-ja 5,2 (hidrogénion-koncentrációja  $6,31 \cdot 10^{-6}$  mol/dm<sup>3</sup>). Ennek elkészítéséhez 20%-os ecetet használ, melynek ecetsavtartalma 200 g/dm<sup>3</sup>. Az ecetsav savállandója  $1,75 \cdot 10^{-5}$ .

- Mekkora térfogatú 5,2 pH-jú ecetsavoldatra lesz szükség?*
- Mekkora térfogatú 20%-os ecetre van szükség az oldat elkészítéséhez?*
- Mi lesz a  $m/m\%$ -ban és mol/dm<sup>3</sup>-ben kifejezett koncentrációja a sajtok sófürdőjének konyhasóra és ecetsavra nézve, ha az ecetsavas sóoldat sűrűsége 1,1 g/cm<sup>3</sup>?*

(Borbás Réka)

**H316.** A nátrium-klorát ipari előállítása vizes nátrium-klorid-oldat elektrolízisével történik. Az ekkor lezajló kémiai reakciók egyik gyakori felírás módja az, hogy az ilyenkor szokásos elektródreakciókat két diszproporciós reakció is követi az oldatban, s ezek közül a második terméke a klorátió.

- Írd fel az elektródreakciók és a diszproporciók kémiai egyenletét!*
- Legalább mekkora az áramerősség egy folyamatosan működő üzemben, amely naponta 1 tonna nátrium-klorát előállítására képes?*
- Naponta hány kWh energiát használ fel egy ilyen üzem, ha az elektrolizáló feszültség 1,9 V?*

(Lente Gábor)

**H317.** A vízben oldhatatlan **B** vegyület 2,5 grammját adták az **A** vegyület 20 tömegszázalékos oldatának 10,0 grammjához. Így 3,232 gramm csapadékot és 0,898 g szagtalan gázt kaptak. A csapadék feletti oldat gyakorlatilag tiszta víznek, a csapadék pedig kristályvízmentesnek bizonyult az analízis során. A két anyag reakciója nem redoxireakció.

*Add meg a kiindulási anyagok és a kapott csapadék összetételét!*

(orosz feladat)

**H318.** (Elképzelt részlet Dr. Watson naplójából)

– Jó reggelt, Holmes! Még mindig a sovány bankár esetén dolgozik?

– Természetesen. Biztos vagyok benne, hogy mérgezés okozta a halálát, és mivel a piros paprikát csak ő szerette a családban, abban is biztos vagyok, hogy ebbe a paprikába rejtették el a mérget. Előző este csirkét ettek, amit a bankár alaposan megfűszerezett. A család elmondása szerint panaszkodott, hogy ízetlen a paprika, és tetemes mennyiséget szórt az ételére, de még a színe is mintha sárgásabb lett volna az ételen, mint szokott. Nem is hagyott számomra túl sok mintát, de ezzel a mennyiséggel is elvégezhető néhány kísérlet.

Ekkor Holmes 0,400 unciányi piros port mért le, amelyet vízben próbált feloldani. A piros por egy része leülepedett az edény aljára.

– De Holmes, a paprika nem oldódik vízben!

– Drága Watsonom, ezt én is tudom, és ha jól sejtem, a mérge sem, így a port leszűrve az eredeti tömeget kell majd visszakapnom.

Ezután a piros port leszűrte, megszáritotta, majd a tömegét lemérve 0,074 unciának találta. Bár Holmes-on ritkán látszik a meglepődés, most mégis úgy gondoltam, a dolog kissé megdöbbenetete.

– Úgy tűnik, gyilkosunk rafináltabb, mint gondoltam. Kérem, barátom, szerezzen Mrs. Hudson-tól egy tojást.

Bár nem értettem, hogy mi szüksége lehet egy tojásra, természetesen hoztam egyet. Először a szűrés utáni oldatot gondosan két egyenlő részre osztotta, egyik felét gondosan ledugaszolva félretette. Azután a tojást felütötte, majd a fehérjét elválasztva ahhoz egy keveset adott az oldat másik feléből, amely ettől összecsomósodott, mintha túró lenne.

Rövid töprengés után a szűrlethez halvány sárga, kellemetlen szagú folyadékot adott.

– Mi ez a fertelmes folyadék? – kérdeztem.

– Ne nevezze fertelmesnek, sok anya életét mentették meg ezzel! Bár kétségtelen, hogy hosszan belélegezve irritálni fogja a torkát.

Eközben a folyadék barna színűvé változott. Holmes elővett egy keveset abból az anyagból, amelyet fényképeinek rögzítéséhez használt, és ezt hozzáadta a barna oldathoz, ami ezek után színtelenné vált.

– Azt hiszem, tudom, milyen anyagot használt a gyilkos, hogy a mérreg feloldódjék vízben. De még egy kísérletet elvégeztek, hogy biztos legyen benne.

Ezek után Holmes egy kevéske port egy kanálron beletartott a meggyújtott lángba. Az égett paprika szaga elviselhetetlen volt, de a kanálból mintha egyszerűen eltűnt volna az anyag egy része. A maradékot a lángba szórta, és ibolyaszínre festette a lángot.

Némi idő elteltével visszamentem a laborba. Ekkorra Holmes kiszellőztetett.

– Mit sikerült kiderítenie? – kérdeztem a barátomat.

– Hogy milyen anyag hozzákeverésével tette a mérregét oldhatóvá. Most pedig lássuk, hogy mennyi van abból a mérregből a fűszerhez keverve, amely piros, mint a paprika, és amelyből 43 ezred uncia is elég ahhoz, hogy egy 150 fontos embert eltegyenek láb alól.

Amíg ezeket elmondta, addig a korábban félretett szűrletet egy lombikba öntötte, egy készülékben gázt fejlesztett, amelyet az oldatba vezetett. Az oldat zavarosodni kezdett.

– Holmes, ma el akar innen üldözni? Olyan szag van, mintha a reggeli tojásunkat Mrs. Hudson záptojásból készítette volna! Meddig csinálja még ezt?

– Ameddig ez a fehér csapadék fokozatosan el nem sötétedik. Először sárga, majd narancs, utána piros, később barna lesz, majd akkor hagyhatjuk abba, amikor már teljesen fekete.

Én ezt már nem vártam meg a laborban, csak akkor mentem vissza, amikor barátom a száraz, fekete csapadék tömegét mérte a mérlegen.

– Pontosan 0,0295 uncia. Mivel a bankár aligha lehetett több 100 fontnál, számításaim szerint tetemes mennyiségű paprikát kellett elfogyasztania, de hát kinek milyen az ízlése...

a) *Milyen anyaggal mérgezték meg a bankárt? Válaszodat indokold!*

b) *Mit tartalmazott a paprikán kívül a keverék? Hogyan segítette ez elő a mérreg oldódását?*

c) *Mi volt a „fűszer” tömegszázalékos összetétele?*

d) *Mekkora mennyiséget kellett elfogyasztania a bankárnak a halálos dózishoz?*

(Borbás Réka)

**H319.** A  $C_6H_{10}O$  összetételű vegyület gyakorlatilag tisztán előállítható a következő módon. Egy gömblobbikba acetont tesznek, a lombikra egy papírhüvelyben bárium-oxidot tartalmazó feltét, és annak tetejére pedig egy visszafolyó hűtő kerül (ld. az ábrát, a papírhüvely helyét a csillag jelzi). Az acetont vízfürdőn forrásban tartva a lecsapódó folyadék az oxiddal érintkezve kerül vissza a lombikba. Néhány óra után jó termeléssel a várt vegyület marad vissza a lombikban.

- Rajzold fel a termék szerkezetét! Mivé alakul a  $BaO$  a reakció során?
- Hol játszódik le a reakció: a lombikban, a feltétben vagy a hűtőben? Hogyan és miért változik a kitermelés, ha a  $BaO$  közvetlenül a lombikba kerül?

(orosz feladat)



**H320.** A fémionok és a különböző ligandumok között vizes oldatban kialakuló koordinációs komplexek egymást követő egyensúlyok sorozatában alakulnak ki. Még ha ismerjük is az egyes lépések egyensúlyi állandóit, a különféle komplex ionok koncentrációit nem egyszer csak közelítésekkel használva vagy pedig számítógépes, numerikus módszerekkel tudjuk kiszámítani.

Tekintsük egy hexafluoro-aluminát só 0,1 M koncentrációjú vizes oldatát, amelyben a különféle alumínium-fluorid komplexek koncentrációit az alábbi kumulatív stabilitási állandók határozzák meg, ha eltekintünk az egyes ionok hidrolízisétől és a víz autodisszociációjától.

$$\beta_1 = 10^{6,1}, \beta_2 = 10^{11,2}, \beta_3 = 10^{15,0}, \beta_4 = 10^{17,7}, \beta_5 = 10^{19,4}, \beta_6 = 10^{19,7}$$

A KÖKÉL 2008/5. számának 360. oldalán megjelent összefoglaló pl. tartalmazza az állandók definícióját.

- Írd fel az egyes kumulatív stabilitási állandók kifejezéseit! Írj fel egy összefüggést, amiben csak az oldat teljes alumíniumkoncentrációja ( $C_{Al}$ ) és a szabad fluoridion egyensúlyi koncentrációja ( $[F^-]$ ) szerepel az állandók mellett!



A fent kapott összefüggés egyszerűen nem oldható meg. Két közelítéssel lehet élni ilyenkor. Az egyik szerint csak a kiindulási komplex ionja, valamint szabad alumínium- és fluoridionok vannak jelen az oldatban. A másik közelítés viszont csupán a komplex disszociációjának első lépését veszi figyelembe.

- b) *Becsüld meg a fenti oldatban a szabad fluoridion koncentrációját mindkét közelítés segítségével! Melyik lehet közelebb a tényleges megoldáshoz?*
- c) *A kalcium-fluorid oldhatósági szorzata  $K_{sp} = 10^{-10,5}$ . Milyen eredményt kapunk a kalciumionok csapadékképződés nélküli maximális koncentrációjára a fenti oldatban, ha a két közelítést használjuk?*

(lengyel feladat)

# KERESD A KÉMIÁT!

*Szerkesztő: Keglevich Kristóf*



## Kedves Diákok!

Az előző számban megjelent idézetek megoldását a következő számban közlöm, most két újabb feladat következik. A kérdések egyike-másika talán szokatlanul hat, de szakkönyvekben, illetve az interneten való nyomozással előzetes szervetlen, illetve szerves kémiai tanulmányok nélkül is meg tudjátok válaszolni őket. Remélhetőleg érdekes dolgok is kiderülnek majd, miközben az adventi, illetve karácsonyi témájú megfajtások után nyomoztok. A kémia velünk él!

A feladatmegoldásokat szokott módon a <http://kokel.mke.org.hu> honlapra feltöltve lehet beküldeni, illetve esetleg – ha ezt a tényt a honlapon jelzitek – postai úton is: Keglevich Kristóf, Fazekas Mihály Gimnázium, 1082 Bp. Horváth Mihály tér 8.

**Beküldési határidő: 2019. december 16.**

Sikeres munkát, jó versenyzést kívánunk mindenkinek!

## 4. idézet: karácsonyi kémia (19 pont)

*Tegnap harangoztak,  
Holnap harangoznak,  
Holnap után az angyalok  
Gyémánt-havat hoznak.*

*Szeretném az Istent  
Nagyosan dicsérni,  
De én még kisfiú vagyok,  
Csak most kezdek élni.*

*Isten-dícséretre  
Mégis csak kiállok,  
De boldogak a pásztorok  
S a három királyok.*

*Én is mennék, mennék,  
Énekelni mennék,  
Nagyok között kis Jézusért  
Minden szépet tennék.*

Uj csizmám a sárban  
Százszor bepiszkolnám,  
Csak az Urnak szerelmemet  
Szépen igazolnám.

(Így dúdolgattam én  
Gyermek-hittel, bátran,  
1883  
Csúf karácsonyában.)

(Ady Endre: Kis, karácsonyi ének [1911])

### Kérdések:

- a) Mi annak a két kémiai elemnek a vegyjele, melyek rendszáma megegyezik a lehetséges legrövidebb ideig tartó adventi időszak napjainak a számával, illetve a lehetséges leghosszabb adventi időszak napjainak a számával?
- b) Adventben, december 13-án van Luca ünnepe. Luca neve a latin *lux* (fény) szóból ered. Írj fel három olyan kémiai reakciót, mely fény hatására indul be vagy játszódik le!
- c) Az adventi időszakban az utcai árusok forralt bort is kínálnak a nézelődőknek. Egy pohár elfogyasztásakor több vagy kevesebb alkoholhoz jutunk, mint ha forralás előtt innánk meg ugyanennyit? Válaszodat indokold!
- d) Készül a beigli, süli a mézeskalács és egyéb finomságok. Nevezd meg három anyagot, amelyet a tésztahoz adva, az „könnyű” lesz! (Megkeleszti, felfújja, laza szerkezetűvé teszi a tésztát.) Ahol lehet, írd reakcióegyenletet!
- e) Az adventi koszorún gyertyák égnek. Kémiai összetételét tekintve két különböző típusú gyertya létezik. Melyek ezek? Mi a fő különbség köztük (összetétel szerint)?
- f) Karácsony este csillagszórókat is gyűjtünk. Milyen összetételűt válasszunk, ha zöld színű szikrákat (is) szeretnénk? Melyik összetevőnek (legalább hármat említs!) mi a szerepe?
- g) Az eredeti karácsonyfadíszek – mások mellett – foncsorozott üveggömbök voltak. Hogyan vihető rá az üveggömb felületére az ezüstréteg? Két lehetséges eljárást említs!

(Rakota Edina)

## 5. műelemzés: almakeréki szárnyasoltár (11 pont)



*A háromkirályok imádása, részlet az erdélyi almakeréki (Malmkrog, Mălâncrav) szász evangélikus templom 15. század végi szárnyasoltáráról*

### Kérdések:

- A kisdjed Jézus a napkeleti bölcsektől aranyat, tömjént és mirhát kapott. Mi ez a három anyag természettudományos szempontból és mit szimbolizálnak a Biblia szövegében?
- Jézus születése idején már ismert volt néhány (mai értelemben vett) elem. Sorold fel azokat, amelyeket biztosan ismertek akkor a Római Birodalom területén!
- A mellékelt képen a harmadik, jobb oldalt álló király bíbor kesztyűt és sarut visel. Miből állították elő az ókorban a bíborfestéket? Melyik vegyület a bíborfesték fő alkotórésze? Ki, hogyan állapította ezt meg?
- A középkorban jellemzően földfestékeket, pl. ólomfehéret, ólomsárgát, okkereket, cinóbert, zöldföldtet és azuritot használtak a színes festékek alapjául. Add meg az említett anyagok képletét vagy közelítő összetételét!

(Keglevich Kristóf)

# **KÉMIA IDEGEN NYELVEN**



## **Kémia angolul**

**Szerkesztő: Tóth Edina**

### **Előszóban:**

A középiskolás kémiakönyvek tudása „kanonizált”: egyértelmű, ellenőrzött, elfogadott és egységes alaptudás. Az interneten a már-már végtelennek tűnő forrásból elérhető tudás egy kusza labirintus, amiből anélkül kellene kitalálni, hogy a Minótauroszként leselkedő tévedések és ellenőrizetlen, féltudományos vagy akár hamis információk bekerülnének a beadandó dolgozatba. Angol nyelven tovább nő a találatok száma, nehezítésül olyan fogalmakkal is találkozunk, amelyek a) nem rendelkeznek magyar megfelelővel, b) jóval magasabb szinten használatosak, mint a kutakodó diák tudása.

Az angol szaknyelv és tulajdonképpen a természettudomány jellegét kiválóan szemléltető 2 kisebb szöveg fordítása a feladat. A témájuk pedig a nyilvánvaló eltéréseik ellenére is ugyanaz: a p-mező fémei.

A lefordított anyagokat 2019. december 16-ig küldjétek be a <http://kokel.mke.org.hu> weblapon keresztül!

## **TEXT 1: Post-Transition Metals**

### **Definition: What are Post-Transition Metals**

The post-transition elements in the periodic table are a group of elements located between the transition metals (to the right) and metalloids (to the left). Due to their properties, they are also called ‘other’ or ‘poor’ metals.

## Location of the Post-Transition Metals in the Periodic Table

Although there are some conflicting theories, generally the post-transition metals include elements from groups 13-15.

<b>List of Post-Transition Metals</b>	
Aluminium	Al
Gallium	Ga
Indium	In
Tin	Sn
Thallium	Tl
Lead	Pb
Bismuth	Bi

The elements 113-116 on the periodic table, i.e. nihonium (Nh), flerovium (Fl), moscovium (Mc), and livermorium (Lv), are considered to possibly belong to the post-transition metal family, though it is yet to be confirmed due to some unknown properties of the elements.

Polonium is sometimes also included in the list of post-transition metals. The same may be done for zinc, cadmium and mercury (otherwise considered as transition metals), and for germanium and antimony (otherwise considered as metalloids).

## Properties and Characteristics of Post-Transition Metals

### Physical Properties

- Soft or brittle, poor mechanical strength
- Melting points lower than transition metals
- Boiling points are also usually lower than transition metals
- Covalent or directional bonding shown by crystalline structures

- High density

### **Chemical Properties**

- Tendency to form covalent bonds
- Acid – Base amphotericism
- Can form half-metallic compounds

### **Periodic Trends of Post-Transition Metals**

Generally, atomic radii decrease, ionisation energies increase, as a result fewer electrons are available for metallic bonding, and so ions are smaller, more polarising and tend to form covalent bonds. Hence they show lesser metallic nature.

### **Uses of Post-Transition Metals**

Different elements in this family have different uses. Aluminium and tin are respectively used for making utensils, in electronics, as well as for soldering and plating steel. Bismuth is used to make Pepto-Bismol, a drug used to soothe upset stomachs. Indium is used for electronics, for example, making touch screens and flat panel displays, while Gallium has application in semiconductors and fuel cells. Lead is used in making batteries, among other things.

### **Interesting Facts**

Aluminium is the most abundant post-transition metal, and the third most abundant element on earth.

The post-transition metal bismuth was considered to be the heaviest stable element until recently, before it was discovered to be mildly radioactive.

## TEXT 2: Everyday Uses of Basic Metals

We encounter different metals every single day, though some we may see more frequently than others. How many pieces of metal did you use this morning? The aluminum in your soda can? The stainless steel in your jewelry? The lithium and cadmium in your cell phone's battery? Metal is everywhere, and today we're going to take a closer look at the basic metals. Also known as poor metals, you probably encounter quite a few of these in your daily life.

### Basic Metals Properties

The basic metals sit to the right of the transitional metals on the periodic table, which also earns them the name post-transitional metals. This group includes:

Aluminum	Thallium	Flerovium
Gallium	Nihonium	Moscovium
Indium	Lead	Livermorium
Tin	Bismuth	

Aluminum is the third most common element on the planet, coming in behind oxygen and silicon. Gallium, lead, tin and thallium come next, followed by indium and bismuth.

Occasionally, you will see zinc, cadmium and mercury classified as basic metals. You may also see germanium and antimony included in this group as well, even though these elements are classified as metalloids.

### Chemical and Physical Traits

Most basic metals share many of the same characteristics. They're solid under most conditions, though they're softer than transitional metals and have lower boiling and melting points. Gallium's melting point is so low that it will melt in the palm of your hand!



## Real-Life Applications

Where might you encounter these elements in your daily life? Let's go through the list.

### Aluminum

Aluminum is a lightweight metal that's naturally resistant to corrosion, and you probably use it every single day of your life. Soda cans, metal utensils, automotive parts and even buildings are all made of aluminum because it's so malleable and strong.

Several aluminum alloys exist that can make the metal even stronger and more corrosion resistant. Make sure you don't eat it, though — on the genetic level, aluminum bonds with the phosphates in human DNA and can contribute to dementia.

### Gallium

Gallium is primarily used as a semiconductor in electrical applications and as a material for mirrors because of its inherent shine. It isn't used for things like eating utensils, though, because its melting point is so low that it will melt in your hand.

If you ever want to play a prank on someone, have them stir their coffee with a gallium spoon — it's non-toxic, and it will be hilarious to see their face as their spoon melts away.

### Indium

Indium has similar uses to gallium, and when alloyed with the latter metal, it will melt at room temperature. It is used to make mirrors, transistors and other electrical components.

### Thallium

Thallium, the next element on our list, doesn't have as many uses today as it used to. This bluish metal used to be part of rodent poison, until it was discovered that it was just as poisonous to humans as it was to the rodents.

Today, radioactive thallium isotopes are used in medicine. If you're having a problem with your heart, your doctor might use thallium 201 to determine how well it's functioning.

## Tin

You might not find tin in cans anymore, but there is still plenty of it out there. It doesn't corrode, so it is used as a primary component in anti-corrosive coatings. When paired with niobium, tin also makes a powerful superconducting magnet.

## Lead

You probably encounter more lead than you might think — it's in the protective vest at the doctor's office when you get an x-ray, your fishing weights, and inside the battery of your car. It can also be used as a protective coating for wires. It is toxic, though, so make sure you're not nibbling on any lead-based paint!

## Bismuth

You've probably got bismuth in your medicine cabinet — though it's radioactive, it is also used as one of the primary ingredients in Pepto-Bismol. This brittle metal is also used in fire extinguishers and smoke detectors.

## Other Elements

The other four elements on our list — nihonium, flerovium, moscovium and livermorium — are all short-lived radioactive elements that are created in a lab and have no other applications beyond lab research.

And there you have it — everyday uses for the basic or post-transitional metals. Are you surprised by how many of these metals you use every day without realizing it? The next time you successfully start your car or crack open a cold soda or beer, make sure you think of the basic metals that make up that can.

Source of TEXT 1:

Article entitled '*Post-Transition Metals*' on website '*Chemistry Learners It's all about Chemistry*' available at <http://www.chemistrylearner.com/post-transition-metals?fbclid=IwAR25EP870FVjS3D6lGB4x-Ew3icQObhHEBPE-zNKZIW-HXeKYAdmxKqsU> (date of latest access: 27.10.2019)

Source of TEXT 2:

Article entitled '*Everyday Uses of Basic Metals*' on website '*Schooled by Science*' available at <https://schooledbyscience.com/everyday-uses-of-basic-metals/> (date of latest access: 25.10.2019)

## A szám szerzői

**Benkő Dávid** középiskolai tanuló, Fazekas Mihály Gimnázium, Budapest

**Dr. Borbás Réka** középiskolai tanár, Szent István Gimnázium, Budapest

**Dr. Keglevich Kristóf** középiskolai tanár, Fazekas Mihály Gimnázium, Budapest

**Dr. Lente Gábor** egyetemi tanár, PTE TTK, Kémiai Intézet

**Dr. Magyarfalvi Gábor** egyetemi adjunktus, ELTE TTK, Kémiai Intézet

**Rakota Edina** középiskolai tanár, Fazekas Mihály Gimnázium, Budapest

**Tóth Edina** középiskolai tanár, Petrik Lajos Szakgimnázium, Budapest

**Zagyi Péter** középiskolai tanár, Németh László Gimnázium, Budapest

## TARTALOM

<b>CÍMLAPFOTÓ</b> .....	361
Benkő Dávid: Fenolftalein kénsavban.....	361
Borbás Réka Szilvia: Az elsőrendű kötések négy fajtájáról.....	362
<b>MI LETT BELŐLED IFJÚ VEGYÉSZ?</b> – Zádor Judit .....	382
<b>MESTERSÉGE KÉMIATANÁR</b> – Mostbacher Éva .....	386
<b>GONDOLKODÓ</b> .....	391
<b>KERESD A KÉMIÁT!</b> .....	400
Keglevich Kristóf: Keresd a kémiát! .....	400
<b>KÉMIA IDEGEN NYELVEN</b> .....	403
Tóth Edina: Kémia angolul .....	403