Dancsó Éva

A kémiai reakciók sebessége

(kémia óraterv)

Bevezetés

A jelenleg hatályos Nemzeti alaptanterv (NAT 2012)[[1]](#footnote-1) Ember és természet műveltségterületéhez tartozó kémia közműveltségi tartalmak mindkét változata előírja a 9-10. évfolyamon a reakciókinetika alapjainak tanítását, az alábbiak szerint.

* **1. változat**: „Reakciósebesség vizsgálata, a kémiai folyamatok sebességének értelmezése. Katalizátorok.” (10756. old.)
* **2. változat**: „Reakciósebesség vizsgálata, a kémiai folyamatok sebességének értelmezése, a reakciósebesség hőmérséklet- felület- és koncentrációfüggése, katalizátorok.” (10770. old.)

Ennek megfelelően a NAT 2012-re épülő gimnáziumi kerettantervek ismeretkörei és fejlesztési követelményei között is szerepel ez a téma. Például a Kerettanterv a gimnáziumok 9-12. évfolyama számára[[2]](#footnote-2) két változatában a következők olvashatók.

* **A változat**: „Reakciósebesség, hőmérséklet-, felület- és koncentrációfüggése, robbanás” (7. old.)
* **B változat**: „A reakciósebesség fogalma és szabályozása a háztartásban és az iparban. A reakciósebesség függése a hőmérséklettől, illetve a koncentrációtól, katalizátorok. Kémiai reakciók sebességének befolyásolása a gyakorlatban. A reakciósebesség befolyásolásával kapcsolatos kísérletek tervezése. (10. old.)

A jelen óraterv a kémiai reakciók feltételeinek és energiaviszonyainak tárgyalása után, valamint a kémiai egyensúlyok tanítása előtt illeszthető be a **9. osztályos gimnáziumi kémia** tananyagba.

**Adaptációs lehetőségek**

1. Emelt szintű (tagozatos) kémiaórákon a 9. évfolyamon vagy kémia érettségire felkészítő (fakultációs) órákon a 11-12. évfolyamon részletesebben (akár két tanórán) is tárgyalható a sztöchiometriai egyenlet és a *v* = *k* × *c* reakciósebességi egyenlet kapcsolata (ahol „*k*” a reakciósebességi állandót, a „*c*”, ill. a „[ ]” zárójel az adott anyag koncentrációját jelöli). A egyenlet értelmezésekor bemutathatók a következő példák:

2NO + Cl2 = 2NOCl *v* = *k*'[NO]2[Cl2]

2NO + F2 = 2NOF *v* = *k*''[NO][F2**]**

H2 + I2 = 2HI *v* =*k*'''[H2][I2**]**

H2 + Br2 = 2HBr 

A fenti két reakciópár és a hozzájuk tartozó sebességi egyenletek is jó példák annak a ténynek a magyarázatához, hogy a bruttó reakció egyenlete (a sztöchiometriai egyenlet) egyáltalán nincs kapcsolatban a reakciósebességi egyenlettel. A sebességi egyenletet kísérleti úton, mérésekkel kell meghatározni.

Továbbá fel lehet hívni a diákok figyelmét arra, hogy még az olyan, nagyon egyszerűnek tűnő és régóta ismert reakció is, mint a hidrogén égése, a valóságban nagyon sok elemi lépésen keresztül zajlik le. Ugyanis rendkívül ritkák az olyan reakciók, amelyek három részecske ütközésével valósulnak meg. Ezért a hidrogén vízzé való égése sem úgy történik, hogy két hidrogénmolekula és egy oxigénmolekula ütközik egymással. Négy vagy több részecske ütközésének pedig annyira kicsi a valószínűsége, hogy ilyen reakciók nem is léteznek. Az elemi reakciók különböző reakciósebességi egyenletei és kapcsolatuk eredményezi a fentebb ismertetett, esetenként bonyolultabb képlettel leírható összesített reakciósebességi egyenletet.

A *v =* Δ*c/*Δ*t* egyenlet mellett emelt szinten megemlíthető a *v =* Δ*n/*Δ*t* egyenlet is. (Hiszen például biológiai rendszerekben homeosztázis esetén a koncentrációk közel állandók lehetnek, miközben folynak a reakciók.). Ennek kapcsán házi feladatként adható az is, hogy a diákok keressenek az interneten kémiai reakciókat és hozzájuk tartozó sebességi egyenleteket.

2. Ki lehet térni arra is, hogy a kénsav erősebb sav, mint a tiokénsav, ezért először felszabadítja a tiokénsavat a sójából. A tiokénsav aztán diszproporcionálódik kénessavra és elemi kénre. A kénessav viszont bomlik kén-dioxidra és vízre. Minderre később, a redoxireakciók és a sav-bázis reakciók tanítása után is vissza lehet térni. Akkor meg lehet kérni a diákokat, hogy írják fel ezeknek a reakcióknak az egyenleteit, és adják meg azt is, hogy az egyes reakciók milyen típusba tartoznak. Ilyenkor a diszproporciós folyamat már oxidációs számokkal is értelmezhető.

Na2S2O3 + H2SO4 = H2S2O3 + Na2SO4

 2 0 4

H2S2O3 = S + H2SO3

H2SO3 = H2O + SO2

3. Emelt szintű (tagozatos) matematikát tanuló osztályokban vagy versenyzők számára szakkörön részletesebben elemezhetők a *k* reakciósebességi állandót befolyásoló tényezők is. Felírható és értelmezhető az Arrhenius-egyenlet:



*E*a= aktiválási energia (az anyagi minőségtől és a katalizátor jelenlététől függ)

*T* = termodinamikai (abszolút) hőmérséklet

*R* = moláris gázállandó

*A* = akciókonstans (az anyagi minőségre jellemző)

*e* = Euler-féle szám, amely a természetes logaritmus alapszáma (2,718)



Ezzel a képlettel mennyiségileg is indokolható, hogy miért okoz a hőmérséklet emelése sokkal meredekebb (exponenciális) növekedést a reakciósebességben, mint a koncentrációk növelése. Továbbá kvantitatív alapon lehet végig gondolni azt is, hogy miért okozza a reakciósebesség növekedését, ha a katalizátor csökkenti az aktiválási energiát. (Mindez azonban csak a szakirányú felsőoktatásban kötelező tananyag.)

Ennek kapcsán házi feladatként adható például az is, hogy a diákok helyettesítsenek be 1-et, 2-t, 3-at, 10-et, 100-at a *n* helyébe az  kifejezésbe, hogy ezen a példán keresztül is lássák, hogy hogyan működik a sorfejtés.

**Óraterv**

**A pedagógus neve:** Dancsó Éva

**Műveltségi terület:** Ember és természet

**Tantárgy:** kémia

**Osztály:** 9.

**Az óra témája:** A kémiai reakciók sebessége

**Az óra cél- és feladatrendszere:**

* A reakciók időbeli lefolyása jelentőségének megértése.
* A sebesség fogalmának általánosítása, a reakciósebesség fogalmának megismerése.
* A reakciósebességet befolyásoló tényezők hatásának meghatározása és vizsgálata.
* A manuális készségek, valamint a megfigyelés, lényegkiemelés, együttműködési és kommunikációs készségek fejlesztése a tanulókísérletek végrehajtásakor.
* A természettudományos gondolkodás fejlesztése a tanulók által tervezett, végrehajtott és értelmezett kísérletek kapcsán.
* A reakciósebességi egyenlet és a reakciósebességi állandó megismerése.
* A reakciósebességi egyenlet és a sztöchiometriai egyenlet kapcsolatának megértése.

**Az óra didaktikai feladatai:**

* Ismétlés: a kémiai reakciók lejátszódásának feltételei.
* Motiváció: a reakciósebesség jelentősége a háztartásban és az iparban (pl. főzés, hűtés, lángok, robbanások).
* A reakciósebesség fogalmának bevezetése és befolyásolási lehetőségeinek feltárása.
* A kiindulási anyagok koncentrációja és a hőmérséklet reakciósebességre gyakorolt hatásának vizsgálata a gyakorlatban (tanulókísérletek).
* A katalizátor hatásának megismerése (tanári bemutató kísérlet).
* A reakciósebességi egyenlet és sztöchiometriai egyenlet kapcsolata.
* Összefoglalás és rögzítés, házi feladat.

**Tantárgyi kapcsolatok:**

* Fizika: kinetika, sebesség, hőmérséklet, hőmérsékletskálák.
* Matematika: arányosság, hatványozás, sorfejtés.

**Felhasznált források:**

* Villányi A. (2013): Kémia 9, Műszaki Kiadó, Budapest
* Veszprémi T. (2008): Általános kémia, Akadémiai Kiadó, Budapest
* Villányi A. (2003): Kémia a kétszintű érettségire, Kemavill Bt., Budapest
* Rózsahegyi M., Wajand J. (2000): Látványos kémiai kísérletek, fénymásolat a pedagógus szakvizsgára való felkészítésre, ELTE, Budapest
* Simonyi K. (1986): A fizika kultúrtörténete, Gondolat Kiadó, Budapest
* Tóth Z. (1999): Egy kémiai tévképzet nyomában, Iskolakultúra, IX. évf. 2. szám, 108-112. (<http://epa.oszk.hu/00000/00011/00024/pdf/iskolakultura_EPA00011_1999_02_108-112.pdf>) (utolsó letöltés: 2014. 08. 15.)
* <http://garfield.chem.elte.hu/Turanyi/oktatas/langok/Egesek_2013.pdf> (utolsó letöltés: 2014. 08. 15.)
* [http://hu.wikipedia.org/wiki/Kinetika\_(fizika)](http://hu.wikipedia.org/wiki/Kinetika_%28fizika%29) (utolsó letöltés: 2014. 08. 15.)
* <http://www.chem.elte.hu/w/modszertani/fellap2.html> (utolsó letöltés: 2014. 08. 15.)
* http://everythingscience.co.za/grade-12/07-rate-and-extent-of-reaction/07-rate-and-extent-of-reaction-03.cnxmlplus (utolsó letöltés: 2014. 08. 15.)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Idő-keret** | **Az óra menete** | **Nevelési-oktatási stratégia** | **Megjegyzések** |
| **Módszerek** | **Tanulói munkaformák** | **Eszközök** |
| 1-4. perc | Ismétlés: a reakciók végbemenetelének feltételei. | Frontális tanári kérdés. | Válaszadás a kérdésre. |  |  |
| 5-8. perc | Motiváció: a reakciók időbeli lefolyásának jelentősége (háztartás, ipar). | Frontális megbeszélés (pl. a robbanásokról, főzésről, hűtésről). | Válaszadás a kérdésre, további ötletek, asszociációk. | Videó/fénykép pl. lángokról, robbanásokról. | Szemléltetési lehetőségek az **1. melléklet**ben. |
| 9-13. perc | A sebességfogalom általánosítása, a reakciósebesség definíciója. | Egyéni munka, induktív megközelítés (pl. a fizikában és a biológiában tanultakra építve). | Válaszadás a feladatlap kérdéseire, [**2., 3. melléklet**, 1. a-d) feladat], jegyzetelés. | Tanulói feladatlap, toll, tanári segédanyag, tábla, kréta (**2., 3., 4. melléklet**). | A tanulók a saját feladatlapjukat később a füzetükbe ragasztják. |
| 14-18. perc | A reakciók csoportosítása a sebességük szerint. | Frontális megbeszélés (példák pillanatszerű, közepes sebességű és lassú reakciókra). | Válaszadás a kérdésre. Tanulókísérlet: egy közepes sebességű reakció végrehajtása (**2. melléklet**, 2. feladat). | Tanulói feladatlap, munkabiztonsági és balesetvédelmi szabályok, tábla, kréta, füzet, toll, kísérleti eszközök és anyagok (**2., 3., 4., 5., 6. melléklet**). | Bemutatható tanári kísérletként egy gyors reakció, de elég rá hivatkozni is, ha korábban már látták.Gyorsítható a kísérlet végrehajtása azzal, ha a csoportok előre rajzolt ábrákat kapnak, amelyeket a kémcsövek alá tehetnek. |
| 19-21. perc | A reakciósebességet befolyásoló tényezők meghatározása. | Problémafelvető kérdés (pl.: „Hogyan lehet gyorsítani vagy lassítani a kémiai reakciókat?”) | Problémamegoldás, ötletbörze osztályszinten, frontálisan, jegyzetelés. | Tábla, kréta, füzet, toll (**4. melléklet**). | Hétköznapi példák: hűtőszekrény, kuktafazék stb. |
| 22-35. perc | A reakciósebesség koncentrációtól és a hőmérséklettől való függésének vizsgálata. | Kooperatív csoportmunkában kísérlettervezés, majd a tanulókísérletek végrehajtása és értelmezése.Közben a kísérletek terveinek, majd végrehajtásuk után az eredményeiknek a megbeszélése frontálisan. | Értő olvasás, kísérletek tervezése, majd a kísérletek terveinek megbeszélése. A tanulókísérletek végrehajtása, jegyzetelés, az eredmények csoportos, majd frontális értelmezése [**2., 3. melléklet**, 4. feladat]. | Tanulói feladatlap, toll, kísérleti eszközök és anyagok (**2., 3., 5. melléklet**). | Időtakarékossági célból a csoportok párhuzamosan vizsgálhatják a kétféle kiindulási anyag koncentrációjának, ill. a hőmérsékletnek a hatását a reakciósebességre. Az általuk nem végzett kísérletekről szóló részeket a megbeszéléskor töltik ki a feladatlapon.A kereszt eltűnését a kémcső szája felől kell figyelni. |
| 36-38. perc | A katalizátor hatása a reakciósebességre. | Tanári bemutató kísérlet (pl. a hidrogén-peroxid kobalt-tartarát által katalizált bomlása).Frontális munka és megbeszélés. | Figyelem összpontosítása a kísérletre. A kísérlet értelmezése. Együttműködés a tanárral, jegyzetelés. | Kísérleti eszközök és anyagok, tábla, kréta, füzet, toll (**4., 5. melléklet**). | Érdeklődő osztályokban be lehet vezetni az inhibitor fogalmát is (pl. biológiában az enzimműködés gátlása). |
| 39-43. perc | A reakciósebességi egyenlet és a reakciósebességi állandó.A reakciósebességi egyenlet és a sztöchiometriai egyenlet kapcsolata. | Frontális tanári magyarázat.Problémafelvető kérdés (pl. „Hol vannak „elrejtve” a koncentrációtól eltérő paraméterek?”). | Együttműködés a tanárral. Válasz a kérdésre.Az összefüggések megértése, jegyzetelés. | Tábla, kréta, füzet, toll (**4. melléklet**). | A reakciósebességi egyenlet hatványkitevői csak elemi (egy lépésben végbe menő) reakciók esetében egyeznek meg a sztöchiometriai számokkal. Másrészt a sztöchiometriai számok csak arányokat jelentenek, de a sebességi egyenletben fontos a hatványkitevők abszolút értéke. |
| 44-45. perc | Összefoglalás és rögzítés, a házi feladat kitűzése. | Frontális tanári kérdések és utasítások. (pl.: Házi feladat kijelölése a tankönyvből és a munkafüzetből.) | Figyelem összpontosítása, jegyzetelés. | Füzet, toll. | Szorgalmi házi feladat lehet olyan videók internetes linkjeinek a gyűjtése, amelyeken lángok, robbanások, órareakciók vannak. |

**1. melléklet: Tanári segédanyag a reakciósebességgel kapcsolatos motivációhoz**

1. Bármely, robbanásokról, lángokról (esetleg órareakciókról vagy oszcilláló reakciókról) készült látványos videó, illetve fénykép használható motivációra a reakciósebesség fogalmának bevezetése előtt. Ha a technikai feltételek nem adottak az osztályteremben filmek lejátszásához, illetve képek kivetítéséhez, akkor elegendő a beszélgetés szemléltetéseként bemutatni néhány papírra nyomtatott képet. Ebben az esetben az alábbi filmek megtekintése, illetve hasonló, látványos videók linkjeinek gyűjtése házi feladatnak adható.

2. A következő linkeken letölthető videók előnye az, hogy lassított felvételeket is bemutatnak. Továbbá a lassítások közben a képernyőn látható digitális időjelző felhívja a figyelmet a reakciók időbeli lefutásának jelentőségére. Természetesen nem fontos minden, alább jelölt filmrészletet bemutatni, de ha adottak a lehetőségek rá, akkor ajánlott legalább egy, jól megválasztott, rövid (néhány másodperces) filmrészlet lejátszása:

1. A hidrogén levegőben való égése látható ezen a linken, idő: 1:16-1:45 (30 s)

<https://www.youtube.com/watch?v=i81q19RpyqY> (utolsó letöltés: 2014. 08. 15.)

1. Metanolgőz-levegő elegy égése látható ezen a linken, idő: 0:07-0:28 (22 s)

<https://www.youtube.com/watch?v=xPVyAAkYwXk> (utolsó letöltés: 2014. 08. 15.)

1. Metanolgőz-tiszta oxigén elegy égése látható ezen a linken, idő: 1:03-1:13 (11 s)

<https://www.youtube.com/watch?v=umgjXTe3SWg> (utolsó letöltés: 2014. 08. 15.)

1. Vízzel mint katalizátorral indított égés látható ezen a linken, idő: 2.30-3.15 (46 s) <https://www.youtube.com/watch?v=i81q19RpyqY> (utolsó letöltés: 2014. 08. 15.)

3. Ha a fenti linken lévő videók megtekintését az előző órán házi feladatként kapják a diákok, akkor a motiváció mellett alapul szolgálhatnak a reakciósebességet befolyásoló fontosabb tényezők meghatározásához. A fenti videók ugyanis arra is alkalmasak, hogy a későbbi megbeszélés során rávezessék a tanulókat arra, hogy a reakciók sebességét befolyásolja:

* a hőmérséklet (szobahőmérsékleten nem gyullad meg a hidrogén)
* az anyagi minőség (a hidrogén és a metanolgőz égésének összehasonlítása)
* a koncentráció (a levegővel, illetve a tiszta oxigénnel kevert metanolgőz égésének összehasonlítása)
* a katalizátor hatása (a cinkpor, a szilárd ammónium-nitrát és a szilárd ammónium-klorid keverékben lejátszódó reakció megindítása néhány vízcseppel).

**2. melléklet: Tanulói feladatlap**

**1.** Válaszoljatok az alábbi kérdésekre!

a)Mit tanultatok fizikaórán a sebesség fogalmáról?

…………………………………………………………………………………………………...

b) Nem csak az úton való haladásnak lehet sebessége. Írjatok még néhány jelenséget, aminek sebessége van!

…………………………………………………………………………………………………...

c) Általánosságban (nem csupán az útra vonatkoztatva) hogyan definiálnátok a sebességet?

…………………………………………………………………………………………………...…………………………………………………………………………………………………...

d) A kémiai reakciókban az anyagmennyiségek, illetve a koncentrációk változnak meg. Hogyan definiálnátok tehát a kémiai reakciók sebességét?

…………………………………………………………………………………………………...

**2.** Végezzétek el az alábbi kísérletet, írjátok le a tapasztalataitokat és magyarázzátok meg azokat a reakció egyenlete alapján!

Kísérletek:

a) A tálcátokon lévő egyik műanyag fecskendőbe vagy osztással rendelkező műanyag pipettába szívjatok fel 2,0 cm3 0,1 mol/dm3 koncentrációjú nátrium-tioszulfát-oldatot az azt tartalmazó edényből (Na2S2O3; fixírsó).

b) A másik műanyag fecskendőbe vagy osztással rendelkező műanyag pipettába szívjatok fel 2,0 cm3 0,1 mol/dm3 koncentrációjú kénsavoldatot az azt tartalmazó edényből (H2SO4).

c) Tegyetek a kémcső alá egy olyan fehér papírlapot, amelyre előtte vékonyan fogó fekete vagy kék színű tollal egy keresztet vagy X-et rajzoltatok (úgy, hogy a kémcsőbe nézve a kereszt vagy az X a kémcső alja alatt látható legyen.

d) Egymás után nyomjátok bele a fecskendőkben vagy pipettákban lévő oldatokat a kémcsőbe! (Vigyázzatok, hogy közben a fecskendők vagy a pipetták ne érjenek a kémcső falához!) Utána azonnal rázzátok össze a kémcső tartalmát és felülről, a kémcső szája felől a kémcsőbe nézve, az folyadékon keresztül figyeljétek a fehér papírlapra rajzolt keresztet vagy X-et!

Tapasztalat:

…………………………………………………………………………………………………...

Magyarázat: A reakció egyenlete: Na2S2O3 + H2SO4 = H2O + SO2+ Na2SO4 + S

Melyik szilárd termék kiválása okozta a tapasztalt változásokat?

…………………………………………………………………………………………………...

3. A 2. pontban végrehajtott reakciót felhasználva tervezzetek egy-egy kísérletsorozatot annak vizsgálatára, hogy milyen összefüggés van:

a) az egyik kiindulási anyag (Na2S2O3) koncentrációja és a reakciósebesség között (1. csoport);

b) a másik kiindulási anyag (H2SO4) koncentrációja és a reakciósebesség között (2. csoport);

c) a hőmérséklet és a reakciósebesség között (3. csoport)!

A tervezéskor tartsátok szem előtt azt az elvet, hogy egyszerre csak egy paramétert változtatunk, minden más változatlanul hagyásával (latinul ezt így mondják: „*ceteris paribus*”)!

a) A reakciósebesség függése a Na2S2O3 koncentrációtól (1. csoport):

A kísérlet terve: …………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

Tapasztalat: ……………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

Magyarázat: …………………………………………………………………………………...….

…………………………………………………………………………………………………...

b) A reakciósebesség függése a Na2S2O3 koncentrációtól (2. csoport):

A kísérlet terve: …………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...

Tapasztalat: ……………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

Magyarázat: …………………………………………………………………………………...….

…………………………………………………………………………………………………...

c) A reakciósebesség függése a hőmérséklettől (3. csoport):

A kísérlet terve: …………………………………………………………………………………..

…………………………………………………………………………………………………...…………………………………………………………………………………………………...

Tapasztalat: ……………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...

Magyarázat: …………………………………………………………………………………...….

…………………………………………………………………………………………………...

…………………………………………………………………………………………………...…………………………………………………………………………………………………...

**3. melléklet: Tanári segédanyag a Tanulói feladatlap kitöltéséhez és frontális megbeszéléséhez**

**1.** Válaszoljatok az alábbi kérdésekre!

a)Mit tanultatok fizikaórán a sebesség fogalmáról?

P**l.: *v* = *s*/*t* vagy *v* = (*a*/2)*t*2 vagy *v* = Δ*s*/Δ*t***

b) Nem csak az úton való haladásnak lehet sebessége. Írjatok még néhány jelenséget, aminek sebessége van!

**Pl.: Élőlények növekedése, kémiai reakció, írás, olvasás, beszéd, elektromos áramlás, infláció stb.**

c) Általánosságban (nem csupán az útra vonatkoztatva) hogyan definiálnátok a sebességet?

**Valamilyen mennyiség (jelöljük pl. *x*-szel) időegység alatti megváltozása: *v* = Δ*x*/Δ*t.***

d) A kémiai reakciókban az anyagmennyiségek, illetve a koncentrációk változnak meg. Hogyan definiálnátok tehát a kémiai reakciók sebességét?

***v =* Δ*c/*Δ*t* (egy adott anyag koncentrációjára vonatkoztatva).**

**Megjegyzés: Mivel deriválást még az ilyen korú diákok nem tanultak, középiskolában ezzel a képlettel szokás (első közelítésben) definiálni a reakciósebességet. Azt azonban a tanulókísérletek elvégzése után az érdeklődőbb osztályokban tudatosítani lehet, hogy a koncentrációk változásával a reakciósebesség is változik. Valamint fel lehet hívni a figyelmet arra is, hogy e szerint a definíció szerint a reakció sebessége függ attól, hogy melyik anyag koncentrációjának változását követjük (hiszen az egyenletben különbözők lehetnek az egyes kiindulási anyagok, ill. termékek sztöchiometriai számai).**

**2.** Végezzétek el az alábbi kísérletet, írjátok le a tapasztalataitokat és magyarázzátok meg azokat a reakció egyenlete alapján!

Kísérletek:

a) A tálcátokon lévő egyik műanyag fecskendőbe vagy osztással rendelkező műanyag pipettába szívjatok fel 2,0 cm3 0,1 mol/dm3 koncentrációjú nátrium-tioszulfát-oldatot az azt tartalmazó edényből (Na2S2O3; fixírsó).

b) A másik műanyag fecskendőbe vagy osztással rendelkező műanyag pipettába szívjatok fel 2,0 cm3 0,1 mol/dm3 koncentrációjú kénsavoldatot az azt tartalmazó edényből (H2SO4).

c) Tegyetek a kémcső alá egy olyan fehér papírlapot, amelyre előtte vékonyan fogó fekete vagy kék színű tollal egy keresztet vagy X-et rajzoltatok (úgy, hogy a kémcsőbe nézve a kereszt vagy az X a kémcső alja alatt látható legyen.

d) Egymás után nyomjátok bele a fecskendőkben vagy pipettákban lévő oldatokat a kémcsőbe! (Vigyázzatok, hogy közben a fecskendők vagy a pipetták ne érjenek a kémcső falához!) Utána azonnal rázzátok össze a kémcső tartalmát és felülről, a kémcső szája felől a kémcsőbe nézve, az folyadékon keresztül figyeljétek a fehér papírlapra rajzolt keresztet vagy X-et!

Tapasztalat: **A keletkezett oldat opálosodik, majd tejszerű, de lassan sárguló oldat keletkezik. Egy idő után felülről (a kémcső szája felől) a kémcsőbe nézve, az oldatrétegen keresztül a kereszt vagy az X már nem látszik. Szúrós szagú gáz is képződik.**

Magyarázat: A reakció egyenlete: Na2S2O3 + H2SO4 = H2O + SO2+ Na2SO4 + S

Melyik szilárd termék kiválása okozta a tapasztalt változásokat? **A (kolloid állapotú) kén.**

3. A 2. pontban végrehajtott reakciót felhasználva tervezzetek egy-egy kísérletsorozatot annak vizsgálatára, hogy milyen összefüggés van:

a) az egyik kiindulási anyag (Na2S2O3) koncentrációja és a reakciósebesség között (1. csoport);

b) a másik kiindulási anyag (H2SO4) koncentrációja és a reakciósebesség között (2. csoport);

c) a hőmérséklet és a reakciósebesség között (3. csoport)!

A tervezéskor tartsátok szem előtt azt az elvet, hogy egyszerre csak egy paramétert változtatunk, minden más változatlanul hagyásával (latinul ezt így mondják: „*ceteris paribus*”)!

**Megjegyzések:**

* **A fenti feladat például a következő gondolatokkal vezethető be. Hétköznapi tapasztalataink alapján a főzéskor olyan folyamatok is lejátszódnak, amelyek egyébként nem mennének végbe. Az eredmény (vagyis az étel íze) nagymértékben függ attól, hogy milyen anyagokból mennyit és milyen hőmérsékleten főztünk vagy sütöttünk. Az iparban is nagyon fontos szabályozni azt, hogy mekkora legyen egy reakció sebessége (már csak azért is, hogy elkerüljék a veszélyes helyzeteket, pl. robbanásokat). Ezért most az osztályt háromféle csoportra bontjuk:**

**1. csoport (vagy csoportok): azt fogják megvizsgálni, hogy hogyan függ a reakciósebesség az egyik kiindulási anyag (a Na2S2O3) koncentrációjától;**

**2. csoport (vagy csoportok): azt fogják megvizsgálni, hogy hogyan függ a reakciósebesség a másik kiindulási anyag (a H2SO4) koncentrációjától;**

**3. csoport (vagy csoportok): azt fogják megvizsgálni, hogy hogyan függ a reakciósebesség a hőmérséklettől.**

* **A tapasztalatok szerint a műanyag pipettával való munka során a mért idők nem mutatnak jelentős eltérést a fecskendővel végzett kísérletek eredményeihez képest, tehát a kétféle térfogatmérés pontossága közel azonos.**

a) és b): A reakciósebesség függése a két kiindulási anyag koncentrációjától:

* A kísérlet terve: **Az egyik vagy a másik oldatból (a harmadik fecskendőbe vagy műanyag pipettába felszívott) desztillált vagy ioncserélt vízzel végzett hígítással többtagú oldatsorozatot készítünk, és ennek tagjaival végezzük el a fenti kísérletet. (A desztillált vagy ioncserélt vízzel hígított oldatok végtérfogatának mindig azonosnak kell lenni az eredeti – vagyis a legtöményebb – oldattal végzett kísérletben alkalmazott végtérfogattal.) Minden kísérlet esetében mobiltelefonon található stopperórával mérjük az utolsó oldat hozzáadásától és az oldatok összerázásától addig eltelt időt, amikor a kémcsőben lévő folyadékon keresztül már éppen nem látszik az alatta lévő papíron a kereszt vagy az X.**

Megjegyzés: **Gyorsíthatja a munkát, ha minden csoporttag egy adott hígítású oldat esetében végzi el a kísérletet, részben egymással párhuzamosan (sorban használva a fecskendőket vagy pipettákat). Jó lenne, ha a diákok rájönnének, hogy akkor végez a csoport a leghamarabb, ha a leghígabb oldattal dolgozó diák kezdi a mérést. Szükség esetén rávezető kérdésekkel segíthető a hatékony munkaszervezés.**

Tapasztalat: **Például 24 °C hőmérsékletű oldatokkal végezve az alábbi kísérleteket, az alábbi táblázatban láthatókhoz hasonló adatokat kaphatunk.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **0,1 mol/dm3 Na2S2O3 (cm3)** | **Desztillált víz (cm3)** | **0,1 mol/dm3 H2SO4 (cm3)** | ***c*(Na2S2O3)****(mol/dm3)** | ***c*(H2SO4)****(mol/dm3)** | **Kb. idő****(s)** |
| **2,0** | **0** | **2,0** | **0,050** | **0,050** | **60** |
| **1,5** | **0,5** | **2,0** | **0,038** | **0,050** | **90** |
| **1,0** | **1,0** | **2,0** | **0,025** | **0,050** | **200** |
| **0,5** | **1,5** | **2,0** | **0,013** | **0,050** | **300** |
| **2,0** | **0,5** | **1,5** | **0,050** | **0,038** | **75** |
| **2,0** | **1,0** | **1,0** | **0,050** | **0,025** | **85** |
| **2,0** | **1,5** | **0,5** | **0,050** | **0,013** | **95** |

**1. csoport: Minél nagyobb a kiindulási anyagok (pl. nátrium-tioszulfát) koncentrációja, adott állapot eléréséhez annál kevesebb idő szükséges, vagyis annál nagyobb a reakciósebesség, de nincs egyszerű arányosság a mennyiségek között.**

**2. csoport: Minél nagyobb a kiindulási anyagok (pl. kénsav) koncentrációja, adott állapot eléréséhez annál kevesebb idő szükséges, vagyis annál nagyobb a reakciósebesség, de nincs egyszerű arányosság a mennyiségek között.**

Magyarázat: **A nagyobb koncentrációjú oldatban gyakrabban ütköznek a részecskék, ezért nagyobb a reakciósebesség.**

**Megjegyzések:**

* **A papírra halványabb keresztet vagy X-et rajzolva ezek az időtartamok (időtakarékosság miatt) tovább rövidíthetők.**
* **Nem csak anyagtakarékossági és környezetvédelmi okokból célszerű a kísérleteket ilyen kicsi oldattérfogatokkal, kémcsőben megvalósítani, hanem azért is, mert a reakció során kis mennyiségű, de mérgező kén-dioxid gáz is keletkezik, amelynek a szúrós szaga is érzékelhető. Nagyobb oldattérfogatokkal ezért is nem érdemes dolgozni. Ráadásul az oldatréteg vastagságának növelése nem rövidíti le a reakcióidőket, viszont megnehezíti az oldatok összerázását.**
* **Az oldatok töményítése is felmerülhet lehetőségként, de erre a tervek megbeszélésekor azt kell válaszolni, hogy jelenleg nem adottak hozzá a feltételek (nincs például az osztályban mérleg, szilárd fixírsó, töményebb kénsavoldat).**
* **Célszerű a diákokat rávezetni arra, hogy az adataikat táblázatban foglalják össze.**
* **Mivel ez egy összetett reakció, a kinetikája igen bonyolult. Az értelmezéskor elegendő azt hangsúlyozni, hogy a reakciósebességet a kiindulási anyagok koncentrációjának növekedése valamilyen függvény szerint növeli. A két különböző kiindulási anyag koncentrációjának változása esetében mért reakcióidőbeli változások különbözősége jól bizonyítja ezt az állítást.**
* **A frontális megbeszéléskor érdemes rákérdezni arra, hogy milyen okai lehetnek annak, hogy a különböző csoportok elvben azonos módon végzett kísérletek esetén is különböző adatokat mértek, sőt ugyanaz a csoport is különböző időtartamot mérhet egy kísérlet megismétlésekor. Ennek kapcsán ugyanis átismételhető a rendszeres és a véletlen hiba fogalma.**

c) A reakciósebesség függése a hőmérséklettől:

A kísérlet terve: **Különböző hőmérsékleten tartott oldatok összeöntésével hajtjuk végre a kísérletet. Minden kísérlet esetében mobiltelefonon található stopperórával mérjük azt az időt, amikor a pohárban lévő folyadékon keresztül már éppen nem látszik a kereszt vagy az X.**

Tapasztalat: **Például a különböző hőmérsékletű vízfürdőkbe állított poharakban tartott oldatok esetében a következőhöz hasonló adatokat kaphatunk:**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **0,1 mol/dm3 Na2S2O3 (cm3)** | **0,1 mol/dm3 H2SO4****(cm3)** | **Vízfürdő hőmérséklete** | **Idő****(s)** |
| **2,0** | **2,0** | **kb. 0-10 °C (jeges vízfürdő)** | **120** |
| **2,0** | **2,0** | **kb. 30 °C** | **50** |
| **2,0** | **2,0** | **kb. 40 °C** | **40** |
| **2,0** | **2,0** | **kb. 90-100 °C (forró vízfürdő)** | **10** |

**Tehát a reakciósebesség a hőmérséklet emelkedésével meredeken (exponenciálisan) nő.**

Magyarázat: **Magasabb hőmérsékleten a részecskék nemcsak gyakrabban ütköznek, hanem több részecske is rendelkezik a reakció végbemeneteléhez szükséges aktiválási energiával, így jóval nagyobb a hasznos ütközések esélye.**

**Megjegyzések:**

**A hőmérsékletfüggés vizsgálatakor is célszerű úgy eljárni, hogy egy diák csak egy adott hőmérsékletű oldattal végzi el a kísérletet, s azt a reakcióidőt méri meg. Így a fecskendőket vagy pipettákat egymás után használva, részben párhuzamosan dolgozhatnak, ami lerövidíti a kísérletekhez szükséges időt. Jó lenne, ha a diákok rájönnének, hogy akkor végez a csoport a leghamarabb, ha a leghidegebb oldatokkal dolgozó diák kezdi a mérést. Szükség esetén rávezető kérdésekkel segíthető a hatékony munkaszervezés.**

* **Természetesen hasznos lenne, ha minden csoportnak jutnának saját, különböző hőmérsékletű vízfürdők és hőmérő (és elegendő idő a használatukra). Azonban ha nincs elegendő eszköz és idő, akkor a különböző hőmérsékletű vízfürdőket a tanári asztalon előre el lehet készíteni, és az azokba helyezett, nagyobb mennyiségű oldatokból tudnak a csoportok a fecskendőikkel vagy műanyag pipettáikkal felszívni annyit, amennyi a kísérletek elvégzéséhez szükséges. Kis oldattérfogatok esetén ilyenkor jelentős lehet a reakció végrehajtásáig a hőmérsékletváltozás és meg kell szervezni a diákok mozgását is. Nagyobb oldattérfogatok esetében a vízfürdőből kivett oldatok hőmérséklete kevésbé változik meg a reakció lejátszódásáig, ezért ott a reakciósebesség emelkedése a hőmérséklet növekedésével sokkal meredekebb.**
* **A frontális megbeszélés során ki kell térni arra, hogy a hőmérséklet emelésével sokkal meredekebben növekszik a reakciósebesség, mint a koncentrációk növelésével.**
* **Házi feladatnak adható grafikonok készítése is a kísérletekről.**

**4. melléklet: Táblakép**

**A kémiai reakciók sebessége**

I. Reakciósebesség:

1. def.: *v* = Δ*c/*Δ*t*
2. fontos a háztartásban, iparban.

II. A reakciók csoportosítása:

1. pillanatszerű (pl. Ag+ + Cl- = AgCl)
2. közepes sebességű, lásd feladatlap
3. lassú (pl. rozsdásodás, korhadás, autógumi öregedése stb.).

III. A reakciósebesség függ:

1. anyagi minőségtől
2. koncentrációktól (gázok esetében a nyomásuktól, határfelületen lejátszódó reakciók esetén a felület nagyságától). ld. feladatlap
3. hőmérséklettől, ld. feladatlap
4. katalizátortól:

**K**: Kálium-nátrium-tartarátot + CoCl2-ot tartalmazó meleg oldat + részletekben tömény H2O2-oldat.

**T**: Rózsaszín → zöld (pezsgés) → rózsaszín.

(+H2O2-oldat hozzáadására többször ismételhető.)

**M**: A rózsaszín kobalt-tartarát katalizálja a 2 H2O2 → 2 H2O + O2 reakciót és annak lezajlása után visszaalakul.

IV. *a*A + *b*B = *c*C + *d*D általános reakcióra: *v* = *k*[A]*n*[B]*m*

1. [A]*n*[B]*m*: a kiindulási anyagok koncentrációjától való függés.
2. az *n* és az *m* csak méréssel határozhatók meg:
	1. Egy lépésből álló (elemi) reakcióban: *n* = *a* és *m* = *b*.
	2. A reakciók azonban általában több lépésben mennek végbe.
3. A többi tényező (ld. III. pont) hatása: a *k* reakciósebességi állandóban.

**5. melléklet: Technikai segítség**

**I. Anyagok és eszközök**

1. A tanulókísérletekhez (a koncentrációfüggést vizsgáló minden csoportnak):

* 5 db kémcső
* 3 db műanyag fecskendő vagy osztással rendelkező műanyag pipetta (0,5-2,0 cm3 kimérésére alkalmas)
* 0,1 mol/dm3 koncentrációjú nátrium-tioszulfát-oldat
* 0,1 mol/dm3 koncentrációjú kénsavoldat
* desztillált (vagy ioncserélt) víz
* fehér papírlap
* sötét színű toll
* mobiltelefon vagy stopperóra

2. A tanulókísérletekhez (a hőmérsékletfüggést vizsgáló minden csoportnak):

* 5 db kémcső
* 2 db műanyag fecskendő vagy műanyag pipetta (2,0 cm3 kimérésére alkalmas)
* 0,1 mol/dm3 koncentrációjú nátrium-tioszulfát-oldat
* 0,1 mol/dm3 koncentrációjú kénsavoldat
* fehér papírlap
* sötét színű toll
* mobiltelefon vagy stopperóra

3. A hőmérsékletfüggést vizsgáló tanulókísérletekhez közös vízfürdőkben (pl. jeges vízben, kézmeleg vízben, forró vízben) a tanári asztalon temperálva

* 0,1 mol/dm3 koncentrációjú nátrium-tioszulfát-oldat
* 0,1 mol/dm3 koncentrációjú kénsavoldat.

4. A tanári bemutató kísérlethez:

* 100 cm3 desztillált vízben oldott 8 g kálium-nátrium-tartarát (I. oldat)
* 50 cm3 desztillált vízben oldott 0,4 g kobalt(II)-klorid (II. oldat)
* néhányszor 5 cm3 30%-os hidrogén-peroxid-oldat (mérőhengerben)
* elektromos melegítő vagy gázégő vasháromlábban és kerámiás dróthálóval
* mágneses keverő vagy üvegbot
* 1 db nagy (1 dm3) főzőpohár

**II. A tanári kísérlet végrehajtása**[[3]](#footnote-3): Az I.-es és II.-es oldatot összeöntjük és kb. 70 oC-ra melegítjük. Folyamatos keverés mellett 5 cm3 30%-os hidrogén-peroxidot adunk az oldathoz. (Az utolsó lépést még néhányszor megismételhetjük.)

**Megjegyzések:**

1. Az I. és a II. oldatok összeöntése, valamint megmelegítése már a tanulókísérletek alatt elvégezhető.

2. Más, a katalizátor hatását demonstráló kísérlet is bemutatható (élőben, esetleg filmen). A fenti kísérletnek az az előnye, hogy a színváltozások mutatják a katalizátor visszaalakulását a reakció lejátszódása után.

**6. melléklet: A tanulókísérletek során betartandó munkabiztonsági és balesetvédelmi szabályok**

1. A tanulókísérletek során csak a megbeszélt kísérlet végezhető el, kizárólag a tanár jelenlétében. A munkát elkezdeni csak engedéllyel szabad.
2. A kísérletek elvégzésekor a tanulóknak ügyelniük kell a saját és a mások testi épségére.
3. Az egyes anyagokra és műveletekre vonatkozó munkavédelmi és balesetvédelmi szabályokat ismerni kell, és be kell tartani. A vegyszereket csak szabályos módon (a szagokat magunk felé legyezve) szabad megszagolni. A kémcső tartalmának összerázásakor tilos a kémcsövet az ujjunkkal befogni.
4. A kiadott munkavédelmi eszközök (gumikesztyű, védőszemüveg) használata a kísérlet veszélyességi szintjének megfelelően kötelező. Minden kísérletet a tálca fölött kell végezni.
5. Sérült, balesetveszélyes eszközökkel nem szabad dolgozni. Ilyen esetben szólni kell a tanárnak, és ki kell cserélni azokat ép eszközökre.
6. A kísérletezés helyén ételt és italt, illetve oda nem való eszközöket tartani, ott enni és inni tilos.
7. Melegítés közben a kémcsövet folytonosan mozgatni kell, és mindig úgy kell tartani, hogy a szája ne mutasson ember felé.
8. Nyílt lángot még rövid időre sem szabad őrizetlenül hagyni.
9. A kísérlet közben keletkezett anyagokat azok veszélyességi fokozata, kezelési utasítása szerint kell gyűjteni.
10. A kísérleti eszközöket és anyagokat munka közben is rendben kell tartani, a feladat befejezése után rendezett állapotban kell visszaadni.
11. Az esetleges balesetet azonnal jelezni kell a tanárnak.
12. A munka helyszínén elsősegélynyújtó eszközöknek kell készenlétben lenniük. Ezeket csak szakember használhatja.
13. A vegyszerek és a hulladékok kezelésekor mindig be kell tartani a biztonsági adatlapjaikon szereplő előírásokat. Tömény hidrogén-peroxid-oldat használatakor védőfelszerelés alkalmazása kötelező

További tanácsok:

* A tanulókísérleteket a lehető legkisebb számban és csak a minimálisan szükséges oldattérfogatokkal szabad végezni, mivel végrehajtásukkor (a keletkező kénessav bomlása révén) kis mennyiségű mérgező kén-dioxid keletkezik. A kísérleteket ezért tanácsos nyitott ablak mellett végezni vagy a kísérletek befejezése után azonnal kiszellőztetni.
* A forró vízfürdő használatakor ügyelni kell arra, hogy a diákok ne rántsák azt magukra vagy egymásra.
* Közös vízfürdők használata esetén a balesetveszély elkerülése érdekében ki kell jelölni az osztályteremben azokat az útvonalakat, amelyeken az egyes csoportok tagjai közlekedhetnek. Fel kell hívni a figyelmüket arra is, hogy szaladgálni, illetve egymást meglökni balesetveszélyes és ezért tilos.
* A tanári kísérletet nagy edényben (pl. legalább 600 cm3 térfogatú főzőpohárban) kell végezni, mert különben könnyen kifut.

**REFLEXIÓ**

**A pedagógus neve:** Dancsó Éva

**Műveltségi terület:** Ember és természet

**Tantárgy:** kémia

**Osztály:** 1. kipróbálás: 2014. január 19. 9. AB (alap csoport)

2. kipróbálás: 2015. január 19. 9. C (1. csoport)

3. kipróbálás: 2014. január 22. 9. E (1. csoport)

**Az óra témája:** A kémiai reakciók sebessége. A reakciósebességre ható tényezők vizsgálata, a reakciósebességi egyenlet megismerése.

**Kitűzött célok és fejlesztési követelmények**: Lásd a fenti óravázlatban.

**Eredmények:**

Legeredményesebbnek a 3. kipróbálást tekintem, amikor a tanulói tálcán található anyagok és eszközök ismeretében a diákok maguk tettek javaslatokat az elvégzendő kísérletekre. Ez a csoport egy öt évfolyamos nyelvi előkészítős osztály egyik fele volt, tehát bár kilencedikesek, a második tanévet töltik iskolánkban, és érettebbek a kilencedikesek átlagánál. Két-három fős csoportokban dolgoztak. Összesen hat tanulói tálcát használtak. Megfelelő ötleteik voltak az elvégzendő kísérletekre vonatkozóan. Ügyesek voltak a végrehajtásban. Jól együttműködtek a tananyag kérdve kifejtő feldolgozásában és a koncentrációk kiszámolásában. Az óra végére megfelelő kép alakult ki a gondolkodásukban a kémiai reakciók sebességére ható tényezőkről.

**Reflexiók az órával kapcsolatban:**

* Diákjaim ügyessége ellenére még a 3. csoporttal is időzavarba kerültem. Nagyon kevés idő maradt a reakciósebességi egyenlet megbeszélésére.
* A másik két csoportnál is hasonló gondjaim voltak az időbeosztással. Bár esetükben a fenti óraterv olyan változata alapján dolgoztunk, amikor nem a diákoknak kellett a kísérleteket kitalálni, hanem receptszerű leírások alapján végezték el azokat, a koncentrációkat és reakcióidőket tartalmazó táblázat megalkotása még így is nehézkesebben ment.
* Korábbi években ezt a tananyagot úgy tanítottam, hogy a diákok a tálcákon előre elkészített megfelelő koncentrációjú oldatokat kaptak. Így nem kerültünk időzavarba, és elegendő idő maradt a reakciósebességi egyenlet megbeszélésére.
* Az, hogy a diákok maguk hozzák létre az eltérő koncentrációjú oldatokat, a csoport összetételétől, gyakorlottságától függően más és más hosszúságú időt igényel, de mindenképpen értékes perceket vesz el az órából. Ez kétségtelenül hátrány.
* Amennyiben IBSE (*inquiry based science education*, azaz kutatásalapú tanulás) jellegű órát szeretnénk tartani, akkor elkerülhetetlen a diákok saját kezű oldatkészítése. Remélhető, hogy ez elmélyültebb és hatékonyabb tanulási forma a számukra. Véleményem szerint csak egy jól együttműködő, jó képességű csoporttal érdemes így szervezni az órát. Teljes osztállyal nagyon kockázatos.
* Jó képességű, gyakorlott kísérletező csoporttal saját kísérlettervezés nélkül is érdemes lehet megpróbálkozni azzal, hogy a diákok maguk készítsék az oldatokat. Hiszen így nem csupán elhiszik a kémcsövekre ráírt adatokat, hanem tudják is, hogy mi van bennük és maguk számolják ki a koncentrációkat, ami meggyőzőbb lehet a számukra, valamint segít rögzíteni az oldatok koncentrációjának kiszámolását, mint korábbi ismeretet.
* Mindenképpen föl kell hívni a diákok figyelmét arra, hogy a reakcióidő modellezésére használt papírra rajzolt kereszt eltűnését a kémcső szája felől fölülről kell figyelni. (Az óraterv fenti változatában szereplő feladatlapon már el is végeztük ezt a módosítást.) Ezt esetleg táblai rajzzal is érdemes megerősíteni.
* Egész osztállyal, vagy gyengébb képességű diákokkal két tanítási órát érdemes szánni erre a nem könnyű tananyagra, vagy le kell mondani arról, hogy a diákok maguk készítsék az oldatokat.

A megtartott órán készült fényképfelvételek az alábbi linkről tölthetők le:

<https://onedrive.live.com/redir?resid=17868054d49e038f!225&authkey=!AOCjS5dGHz9mpdo&ithint=file%2czip>

Budapest, 2015. április 5.

 Dancsó Éva

1. A Kormány 110/2012 (VI.4.) rendelete a Nemzeti laptanterv kiadásáról, bevezetéséről és alkalmazásáról, Magyar Közlöny, 2012. évi 66. szám [↑](#footnote-ref-1)
2. #####  51/2012. (XII. 21.) számú EMMI rendelet 3. melléklete, letölthető: <http://kerettanterv.ofi.hu/03_melleklet_9-12/index_4_gimn.html> (utolsó letöltés: 2014. 08. 16.)

 [↑](#footnote-ref-2)
3. Rózsahegyi M., Wajand J. (1998): 575 kísérlet a kémia tanításához, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, (158-159. old.) [↑](#footnote-ref-3)