

Elektrokémiai kísérletek

TAMÁSSYÉ WAJAND JUDIT

Állandóan változó, sürgő-forgó világunkban lépten-nyomon elektrokémiai jelenségekbe botlunk. Fiatalok hallgatják zsebrádió-magnetofonjukat, aranyozott ékszerek csillognak a kirakatokban, az órák mutatják a pontos időt, gyerekek és felnőttek lázasan "számítógépeznek", bosszankodunk az autó rozsdásodó karosszériján stb.

Ha egy átlagos felkészültségű és képességű középiskolásnak feltesszük a kérdést: "Mivel foglalkozik az elektrokémia? Milyen elektrokémiai folyamatokkal találkozol környezetemben?" Jó esetben a többé-kevésbé pontos definíciókat, az elektrokémiai folyamatok megtanult csoportosítását, esetleg laboratóriumi példákkal illusztrált bemutatását hallhatjuk. Ezek után nem meglepő, hogy a tanulók zöme száraznak, unalmasnak, nehezen megtanulhatónak és sokszor feleslegesnek érzi az elektrokémiai ismereteket és nem használja, illetve nem tudja felhasználni a közvetlen és távolabbi környezetében tapasztaltak magyarázatára, megértésére.

Az általános gimnáziumi kémiatanításban az elektrokémiai folyamatok tárgyalása a redoxi-reakcióktól elszakítva, ezt követően kb. egy év múlva történik. Ekkor a tanulók a fémekről, azok tulajdonságairól még nagyon keveset hallottak és tudnak. A galvánelemek és az elektrolízis tárgyalása után, a nemfémek és a fémek leíró kémiai ismereteit követi a fémek elektrokémiai korróziójának tárgyalása. Ebből, de főként a gyakorlat és elmélet szoros kapcsolatát bizonyító kísérletek hiányából adódhat sok tanulónál az elektrokémiai ismeretek iránti érdektelenség, illetve a hiányos tudás.

Ez utóbbin szeretnénk kissé változtatni azzal, hogy közreadjuk néhány egyszerűen elvégezhető elektrokémiai kísérlet leírását. Ezek látványosságuknál, érdekességüknél fogva segítenek felkelteni a tanulók érdeklődését a kémia egyik legszebb, legérdekesebb és a gyakorlati életben talán legjobban hasznosítható ága, az elektrokémia iránt.

1. A redoxipotenciál szerepe egyszerű kémiai reakciónál

Az oxidációs-redukciós reakciók végbemenetelének feltétele az egymásra ható kémiai rendszerek redoxipotenciál-értékei közötti megfelelő nagyságú különbség. Ennek demonstrálására mutathatjuk be a következő egyszerű kísérletet.

A kísérlet elvégzéséhez szükséges anyagok, eszközök

0,1 mol/dm³ koncentrációjú réz-szulfát-oldat, 50 cm³-es főzőpohár 2 db, óraüveg 2 db, koncentrált ammóniaoldat, csipesz, koncentrált sósavoldat, vasszög 2 db, dörzspapír, desztillált víz.

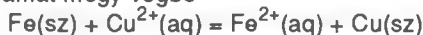
Végrehajtás

Dörzspapírral tisztítsunk meg két vasszöget, koncentrált sósavoldatban áztassuk

néhány percre, majd öblítsük le desztillált vízzel. A két főzőpoharat töltsük meg kétharmad részig a réz(II)-szulfát-oldattal. Az egyikbe csepegtessünk ammóniaoldatot, amíg a kezdetben keletkezett világoskék csapadék mélykék színű réz-tetraminkomplex képződése közben feloldódik. Ezután mindkét főzőpohárba tegyük bele az előkészített vasszöveget és várjunk néhány percre, majd emeljük ki csipesszel a vasszöveget, és helyezzük az óraüvegekre. Megfigyelhetjük, hogy míg az egyik szög vörös lett a kivált réztől, a másik változatlan maradt.

Magyarázat

A Cu/Cu^{2+} redoxirendszer standardpotenciálja $E = +0,34$ volt, a $\text{Cu}/[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ redoxirendszer standardpotenciálja $-0,05$ volt, a Fe/Fe^{2+} rendszer standardpotenciálja $-0,44$ volt. A tiszta réz(II)-szulfátot tartalmazó főzőpohárban az alábbi redoxifolyamat megy végbe



A másik főzőpohárban ez a redoxifolyamat nem megy végbe a $\text{Cu}/[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ redoxirendszernek Cu/Cu^{2+} redoxirendszerénél negatívabb standardpotenciálja miatt. A rendszer bonyolultsága következtében (nagy ammóniafelesleg stb.) kinetikai okok is szerepet játszhatnak, de középiskolai szinten jó demonstrációs lehetőséget nyújt a redoxipotenciálok és a kémiai reakciók kapcsolatának bemutatására.

2. Higanyszív

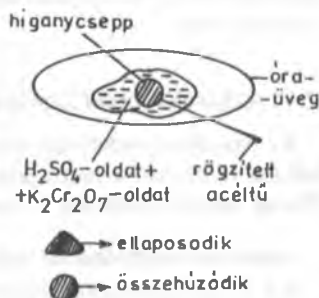
Az elektronleadás, elektronfelvétel és a redoxipotenciálok kapcsolatára, illetve az elektromos töltéskiegyenlítődre igen szemléletes, érdekes, látványos és elgondolkodtató kísérlet. A kémiai oxidációs-redukciós reakciók és az elektrokémiai folyamatok kapcsolata is jól érzékeltethető vele. Elvégzése, bemutatása írásvetítőn ajánlott, mert így nagyon jól megfigyelhető és a látványossága is fokozható.

A kísérlet elvégzéséhez szükséges anyagok, eszközök

~10 cm³ kénsavoldat (6 mol/dm³ koncentrációjú), ~5 cm³ kénsavoldat (18 mol/dm³ koncentrációjú), ~2 cm³ K₂Cr₂O₇-oldat (0,1 mol/dm³ koncentrációjú), 1 csepp higany, 1 db acéltű, írásvetítő, 10 cm átmérőjű óraüveg.

Végrehajtás

Tegyük egy csepp higanyt óraüvegre és helyezzük az írásvetítő munkaasztalára. A higany-cseppet vegyük körül 6 mol/dm³ koncentrációjú kénsavoldattal, majd adjunk hozzá 1 cm³ 0,1 mol/dm³ koncentrációjú K₂Cr₂O₇-oldatot. Helyezzünk egy acéltűt az óraüvegre úgy, hogy a hegye éppen érintse(!!!) a higanyt, és a tű az óraüveg sugara mentén fekdjön. Lassan csepegtessünk 0,5-2 cm³ 18 mol/dm³ koncentrációjú kénsavat a higany-csepre. Amint a higany-csepp ritmikus mozgásba jön, szüntessük meg a savadagolást. Megfigyelhetjük a higany-csepp folyamatos lüktetését, ha a vasdrót rögzített. Ezért célszerű az acéltűt rögzíteni! Így maximális "ütésidő" biztosítható. Az ütések során a higany-csepp háromszögszerűvé válik, majd újra kör alakot vesz fel. Ezért nevezték el lüktető szívnek. (1. ábra)



Magyarázat

Az itt leírt értelmezés egyike a lehetségeseknek. A higany felületi feszültsége a cseppfolyós higanyon lévő elektromos töltésmennyiség függvénye. Amikor a higany-csepp felületén a töltés nő, a felületi feszültség is nő, és a higanycsepp gömbölyű formát vesz fel, összehúzódik, ha pedig a felületen lévő töltésmennyiség, illetve felületi feszültség csökken, a higanycsepp ellaposodik, szétterül. A higany és az acéltű körül létrehozott oxidáló közegben, mind a higany, mind pedig a vas oxidálódik, és így a higany, illetve a vas felületén sok elektron marad vissza. Magasabb redoxipotenciál értéke miatt több töltés marad a vason, mint a higanyon. Amikor a vas érinti a higanyt, töltéskiegyenlítő hatás indul meg, így a higanyon a negatív töltésmennyiség nő, és a higany összehúzódva gömbölyű formát vesz fel. Az oxidáló közegben lévő $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -ionok ekkor megkezdik a negatív töltés (elektronok) felvételét a higany felületéről, a higanyon a negatív töltésmennyiség csökken, a higany újra ellaposodik. Ez a ciklikusan visszatérő formaváltozás csak akkor jöhet létre, ha a higany kapcsolatban van a vassal.



3. Kísélet elektrolit fagyasztásával. Elektrolit oldatok vezetőképességének hőmérsékletösszefüggése

Az elektrolitos (másodfajú) vezetés a galvánelemeknek, illetve az elektrolízis működésének elengedhetetlen feltétele. Ennek demonstrálására szolgál a következő kísérlet.

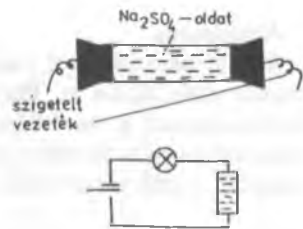
Elektrolitoldatok vezetőképességének hőmérsékletfüggése

A kísérlet elvégzéséhez szükséges anyagok, eszközök

~10 tömeg %-os NaCl vagy Na_2SO_4 oldat, jég, só (NaCl v. CaCl_2), üvegcső, 10-15cm hosszú, 0,5-1 cm átmérőjű rézdrót-elektrodok, egyenáramú feszültségforrás, áram-feszültségmérő műszer, izzó (1,5 volt), dugók.

Végrehajtás

Az üvegcsövet megtöltjük a nátrium-szulfát-oldattal, majd mindkét végét lezárjuk egy-egy olyan dugóval, amelybe bevezettük a rézdrótelektrodokat. A két elektródot árammérő, vagy izzólámpa közébeiktatásával az egyenáramú áramforrás két sarkához csatlakoztatjuk és megfigyelhetjük, hogy az elektrolitoldat vezet-e elektromos áramot. Ezután a csövet hűtőkeverékbe helyezzük és az elektrolitoldat fagyáspontja alá (-12°C) hűtjük. A hűtés során az áramvezetés fokozatosan csökken, majd az áram az elektrolitoldat megfagyásakor 0 lesz (megszűnik). (2. ábra)



Az előző kísérlethez hasonló módon bemutatathatjuk az elektrolitos vezetés feltétlen szükségességét a galvánelemek működésénél. Bármilyen módon összeállított galvánelem elektrolit tartó edényeit helyezzük hűtőkeverékbe és hűtsük le az elektrolitoldatok fagyáspontja alá a rendszert. Megfigyelhetjük, hogy ebben az esetben a galvánelem áramot nem szolgáltat, mivel az elektrolit áramvezető képessége 0 lesz.

4. Egyszerű galvánelem tojánhéj diafragmával

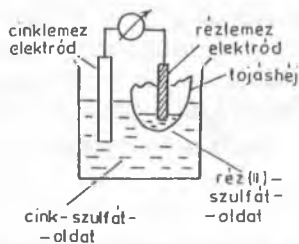
Galvánelem összeállítása lehetséges a hagyományos módon főzőpoharak, elektrolitoldatos agar-agar cső, a megfelelő elektrolitoldatok és elektródok segítségével is. Az alábbi kísérletben a másodfajú vezetés tojánhéj diafragmával biztosított.

A kísérlet elvégzéséhez szükséges anyagok, eszközök

1,0 mol/dm³ koncentrációjú réz(II)-szulfát és cink-szulfát-oldatok, 1 db cinklemez, 1 db vörösrézlemez, tojánhéj, nagy bemenő ellenállású egyenáramú feszültségmérő műszer, vezetékek krokodilcsipesszel, 200-250 cm³-es főzőpohár.

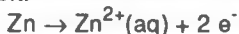
Végrehajtás

A tojánhéjat ráerősítjük a pohárra és a poharat 3/4 részig megtöltjük a cink-szulfát-oldattal, a tojánhéjat pedig réz(II)-szulfát-oldattal. A cink-szulfát-oldatba helyezzük a cinkelektrodát, a réz-szulfát-oldatba pedig a rézelektrodát. Az elektródokat a feszültségmérő műszer sarkaira kötjük és megfigyeljük, hogy a műszer mutatja az így összeállított elem kapcsolásfeszültségét. (3. ábra)



Magyarázat

Ha a réz- és cinklemez között fémes összeköttetést létesítünk, és biztosítjuk az elektrolitos vezetést is, akkor a cink által leadott elektronok:



a vezetőn keresztül jutnak el a rézlemez felületére, ahol a Cu^{2+} -ionok veszik fel azokat.



Így létrejön egy galvánelem, jelen esetben Daniell-elem:



Az elektromotoros erő nagysága az elektród anyagi minőségétől és az oldat koncentrációjától függ. Ha a galvánelemben lévő mindkét elektrolitoldat koncentrációja 1 mol/dm³, akkor elektromotoros erő a standardpotenciálok különbségéként adódik.

$$E = 0,34 - (-0,76) = 1,10 \text{ V}$$

Megjegyzés

A fenti összeállításból nagyon jól bemutatható a nátrium-klorid szén-elektrodok közötti elektrolízise is. Ebben az esetben a katódot a tojánhéjba helyezzük és természetesen a mérőműszer helyett egyenáramú áramforrást kapcsolunk rá. A tojánhéjban lévő oldatba indikátort csepegtetve a katódtér bázikus kémhatása az elektrolízis után kimutatható.

5. Zöldség- és gyümölcsselemek

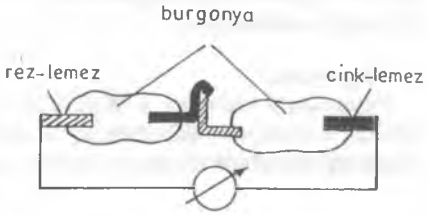
A galvánelemek készítésének és működésének demonstrálására nagyon jól felhasználhatók a zöldségekből és gyümölcsökből összeállítható Daniell-elemek. Elkészítésük egyszerű, olcsó, segítségükkel jól magyarázhatók az elektrokémiai folyamatok, sőt hídak jelenthetnek a kémia és a biológia között is.

A kísérlet elvégzéséhez szükséges anyagok, eszközök

Burgonya 4-5 db, alma 4-5 db, citrom 4-5 db, hagyma, vagy paradicsom, vagy narancs, cinklemezek (felület 10 cm^2), rézlemezek (felület 10 cm^2), nagy bemenő ellenállású mérőműszer (Volt, Amper), huzalok, krokodilcsipeszek.

Végrehajtás

Helyezzünk be egy cink- és egy rézlemez egy burgonyába, kb. 1-2 cm mélyen, és kapcsoljuk a rézlemez egy nagy bemenő ellenállású feszültségmérő-műszer pozitív, a cinklemez a negatív sarkához. Mérjük meg az így létrejött galvánelem kapcsolófeszültségét. Réz- és cinkelektrodok esetén bármely zöldség vagy gyümölcs elem kapcsolófeszültsége a fenti feltételek mellett 0,8 voltok adódik, mivel csak az elektrolitoldatokban van különbség. (4. ábra)



Kapcsoljunk sorosan több krumplielemet és mérjük meg az összeadóó kapcsolófeszültséget. A kísérletet másféle zöldséggel és gyümölccsel is megismételhetjük! Megfelelő módon változtathatjuk az elektródok anyagát is.

Magyarázat

A burgonyában és a különböző zöldségekben elektrolitoldat található (sejtnedv). A két különböző fém (réz, cink) az elektrolitoldattal szemben különböző potenciálkülönbséget mutat. Vezetővel összekötve töltéskiegyenlítődé indul meg, amely elektromos áramot eredményez.

6. Az ionvándorlás szemléltetése

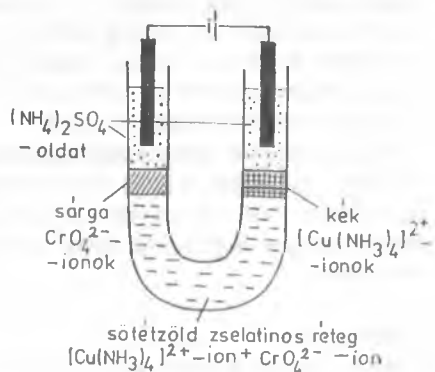
Egyenáram hatására a különböző töltésű ionok a velük ellentétes töltésű elektródok (pólusok) felé vándorolnak. Az ionvándorlás értelmezése az elektródfolyamatok az elektrolízis, megértéséhez, magyarázatához feltétlenül szükséges. Az ionvándorlásokon alapul az úgynevezett póluspapír is, amikor pl. valamilyen ismert színű és töltésű ion (pl. MnO^{4-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), megfelelő irányú elmozdulásából következtethetünk.

*A kísérlet elvégzéséhez szükséges**anyagok, eszközök*

telített réz(II)-szulfát-oldat, telített kálium-kromát-oldat, telített ammónium-szulfát-oldat, koncentrált ammóniaoldat, étkezési zselatin, 2 db. szénrúd-elektrod, U-cső üvegből, vezetékdrótok, krokodilcsipeszek, egyenáramú áramforrás, kémcsövek, üvegporhárak, vasháromláb, Bunsen-égő.

Végrehajtás

Telített réz(II)-szulfát-oldathoz adjunk annyi telített ammóniaoldatot, hogy kezdetben kiváló világoskék csapadék telje-



sen feloldódik mélykék színnel. Az így nyert oldatot keverjük össze telített kálium-kromát-oldattal, és adjunk hozzá 1-2 kanál étkezési zselatint. Helyezzük vízfürdőre és oldjuk fel, amíg egy sötétzöld színű kolloidoldatot kapunk (réz-tetramin- és kromátionok keveréke). Ezt a zselatinos oldatot öntsük U-csőbe (kb. $\frac{2}{3}$ részig) és hagyjuk lehűlni. (5. ábra) Ha az oldat megdermedt, öntsünk az U-cső mindkét szárába a zselatinréteg fölé ammónium-szulfát-oldatot és helyezzünk bele egy-egy szénelektrodot. Kössük össze a két elektródot egyenáramú feszültségforrással. Maximálisan (~24 V) egyenfeszültséggel dolgozzunk. Rövid idő múlva az anódtér sárga, a katód-tér pedig sötétkék lesz.

Magyarázat

Egyenáram hatására a negatív töltésű kromát ($\text{Cr}^{2}\text{O}^{2-}_4$)-ionok az anód a pozitív töltésű réz-tetramin ($[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$)-ionok a katód felé áramlanak. A sárga sáv szélesége ugyanakkora idő alatt nagyobb lesz, mert a kromátionok mozgékonyabbak.

7. A víz elektrolízise egyszerűen

Tudjuk, hogy a víz elektrolízisekor az anód környezete savas, a katódé pedig bázikus lesz. Indikátorral az eddig ismert kísérletekben ezt nehezen lehetett kimutatni, mivel akár Hoffmann-féle vízbontóval, akár U-csőben végeztük a víz elektrolízisét, a jobb ionvezetés érdekében vívő elektrolitként savat, vagy bázist adtunk a rendszerhez, illetve valamilyen sóoldatot, pl. nátrium-szulfát-oldatot elektrolizáltunk víz helyett. A következőkben ismertetett nagyon egyszerű kísérletben csapvíz elektrolízise megy végbe és az elektródok környezetének pH-változása látványosan kimutatható.

A kísérlet elvégzéséhez szükséges anyagok, eszközök

Tiszta, fehér vászon, vagy szűrőpapírcsik, univerzál indikátoroldat, négyszögletes üveglap, kétszer meghajlított fémlemez 2 db, krokodilcsipesszel ellátott vezeték 2 db, egyenáramú áramforrás ~10-14 volt.

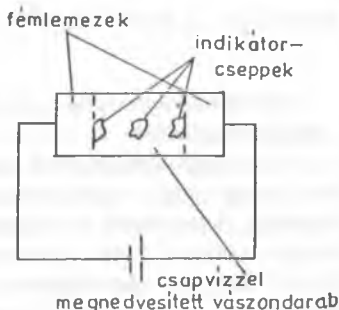
Végrehajtás

Egy tiszta, fehér pamutdarabot vagy szűrőpapírcsikot áztassunk be csapvízbe (ne túl sokáig), és helyezzük rá a négyszögletes üveglapra. Csíptessük rá a kétszer meghajlított két fémlemez az üveglap két oldalára, és csatlakoztassuk a krokodilcsipeszes vezeték segítségével az egyenáramú áramforrás pozitív és negatív sarkára (~14 volt). Körülbelül 5-10 perc múlva cseppentsünk középre, illetve a katód és anód köré 1-2 csepp univerzál indikátoroldatot. (6. ábra)

Megfigyelhetjük, hogy a középre cseppentett indikátor semleges (zöldes szín), a katód környezetében lévő bázikus (kék szín), míg az anód környezetében lévő savas (piros szín) kémhatást mutat.

Magyarázat

Az anódon és katódon a víz oxidációs, illetve redukációs reakciója megy végbe.



katód: $2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- = \text{H}_2(\text{g}) + 2 \text{OH}^-$

Az anód környezete ezért savas, a katód környezete pedig bázikus kémhatást mutat.

8. Elektrolízis burgonyában

A zöldség-gyümölcs elemekhez hasonlóan a burgonya nagyon alkalmas az elektrolízis bemutatására, szemléltetésére, magyarázatára. A kísérletnél felhasználjuk a burgonya sejtjeiben lévő elektrolitoldatot, ennek keményítőtartalmát, továbbá különböző anyagú elektródokat és segéd-elektrolitokat.

A kísérlet elvégzéséhez szükséges anyagok, eszközök

Néhány burgonya, kálium-jodid-oldat (koncentrált vagy reagens), univerzál-indikátoroldat vagy zöldségindikátorok, egyenáramú áramforrás, vezetékek, 2 db rézlemez 10 cm^2 felületű, 1 db ezüst kiskanál vagy ezüstdrót.

Végrehajtás

a) A burgonyába oldalról vezessünk be egy rézlemez, illetve másik oldalról egy ezüstkanalat vagy ezüstdrót. A rézlemez kapcsoljuk az áramforrás negatív, az ezüstkanalat a pozitív pólusára. 9-14 voltos egyenárammal elektrolizáljuk 10-15 percig, majd szakítsuk meg az áramkört. Vágjuk ketté a burgonyát az elektródok mentén, hosszanti irányban és cseppentsük meg az anód, illetve a katód környezetét univerzál-indikátoroldattal. Megfigyelhetjük, hogy a katód környezete bázikus, az anódé pedig savas kémhatást mutat.

b) A burgonyába az előbbi módon vezessünk be anódként és katódként is egy-egy rézlemez és a) szerint elektrolizáljunk. Vágjuk ketté a burgonyát és figyeljük meg, hogy az anód környezete megkékült. Ezután cseppentsük meg a katód környékét indikátorral és figyeljük meg, hogy az indikátor bázikus kémhatást jelez a katód környezetében.

c) A burgonyába mélyedést vágunk, ebbe kevés kálium-jodid-oldatot öntünk. Két rézelektrodot, vagy katódként rézet és anódként ezüstöt vezetünk be a burgonyába az előbbi módon. 10-15 perces elektrolízis után a burgonyát kettévágva megfigyelhetjük, hogy az anód környezete megkékült, míg a katód környezetét indikátorral megcseppentve bázikus kémhatást tapasztalunk. (7. ábra)



Magyarázat

a) Egyenáram hatására a következő folyamatok mennek végbe az elektródokon:

anód: $4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_3\text{O}^+ + 4 \text{e}^-$

katód: $2\text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- = \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$

A víz elektródfolyamatai miatt az anódtér savas, a katódtér bázikus kémhatású lesz.

b) A katódon az előbbivel megegyező elektródfolyamat megy végbe, ezért bázikus kémhatású lesz. Az anódon a következő folyamat megy végbe:

$\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^-$

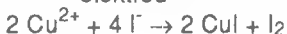
A hidratált réz(II)-ionok jelenlétét mutatja az anódtér megkékülése.

c) Az elektród-folyamatok a következők:

Réz anód és katód esetén:



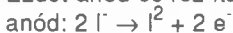
elektród



Az így kivált jódot adja a burgonya keményítőjével a kék színreakciót.

A katódon az a), b)-vel megegyező folyamat megy végbe, így a katódtér lúgos kémhatású lesz.

Ezüst-anód és réz-katód esetén:



Az így keletkezett jódot adja a burgonya keményítőjével a kék színreakciót. A katódreakció megegyezik az előzőekkel.

9. Az etán előállítása elektrolízissel

A kísérlet alkalmas a szerves és szervetlen kémia közötti kapcsolat megmutatására és jó példa az összetett ionok elektród-reakcióinak szemléltetésére is

A kísérlet elvégzéséhez szükséges anyagok, eszközök

10 %-os ecetsavoldat, 2 mol/dm^3 koncentrációjú Na vagy CH_3COONa -oldat, Hoffmann-féle vízbontó készülék, egyenáramú feszültségforrás.

Végrehajtás

Hoffmann-féle vízbontó készüléket töltünk meg 10 tömeg%-os ecetsavoldattal, amelybe előzőleg néhány csepp (100 cm^3 oldathoz $0,5 \text{ cm}^3$) reagens nátrium-hidroxidot vagy nátrium-acetátot adtunk. Indítsuk meg az elektrolízist és figyeltessük meg, hogy a katódon jóval kisebb térfogatú gáz fog keletkezni, mint az anódon.

Magyarázat

Az elektrolízis a vízbontásnál jóval lassabban megy végbe. Vigyázz!!! Ha túl sok nátrium-hidroxid vagy nátrium-acetát kerül a rendszerbe, a víz elektrolízise megy végbe.



Az acetátion oxidációjakor keletkezett szén-dioxid és etángáz együttes térfogata a katód-folyamat során keletkezett hidrogéngáz térfogatának háromszorosa.