

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Matematikai és Fizikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

LVI. évfolyam

7. szám

2006. július

GÁZKISÜLÉSES ANALÍZIS A KÖRNYEZETVÉDELEMBEN

Jánossy Mihály emlékének ajánlva, aki mindig figyelemmel kísérte,
támogatta és bátorította ezt a kutatást

Mezei Pál, MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutató Intézet
Cserfalvi Tamás, Aqua-Concorde Kutató Laboratórium

Egy speciális, egyenáramú ködfénykisülést ismertetünk, amelyet a szennyvizek nehézfém (Zn, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb) koncentrációjának közvetlen mérésére hoztunk létre.

Az egyik legártalmasabb környezetkárosítás a vizek, szennyvizek nehézfémekkel történő szennyezése. Ezt azok az üzemek okozzák, amelyek a magas nehézfém-tartalmú ipari vizeket nem szállítják el a veszélyeshulladék-tárolóba, hanem éjjel és hétvégeken a közüzemi csatornába engedik le. A csatornahálózaton keresztül ez a szennyezés a szennyvízkezelő telepekre, illetve a természetes vizekbe jut. Mivel ezek a nehézfémek igen mérgezőek, a velük szennyezett folyó vagy állóvíz az egész élővilágra veszélyes. Ezt a környezetszennyezést csak úgy lehet csökkenteni, valamikor talán majd megszüntetni, ha a csatornában, főleg a lehetséges szennyező forrásoknál, a szennyvíz nehézfém-koncentrációját állandóan (éjjel-nappal) mérik, monitorozzák. A szennyvíztelepekre bejövő szennyvizek állandó ellenőrzése azért is szükséges, mert a nehézfémek lehetetlenné teszik a szennyvizek biológiai tisztítását is.

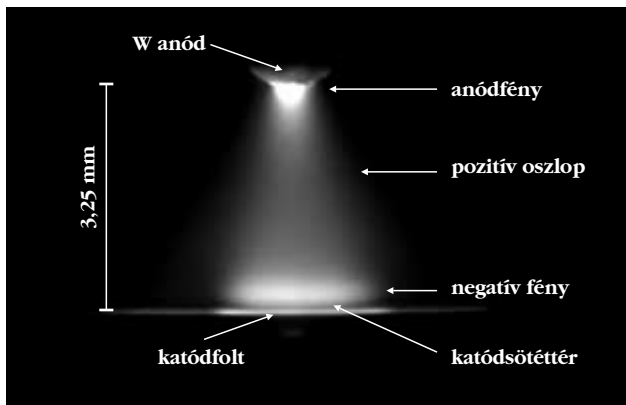
A jól ismert spektroszkópiai mérési eljárások, mint például az atomabszorpciós spektrometria (AAS = Atom Absorption Spectrometry), a plazma-atom emissziós spektrometria (ICP-AES = Inductive Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry) monitorként nem használhatóak. Ezek ugyanis laboratóriumi nagyberendezések, amelyek méretük miatt sem helyezhetőek ki a fenti helyszínekre. A zsíros emulziókat, lebegő anyagokat tartalmazó szennyvizet ezekbe a berendezésekbe közvetlenül nem lehet bevezetni. A kívánt mérések komoly mintaelőkészítést, mintafeltárást igényelnek. Ezek pedig laboratóriumi eljárások, amelyek egy külső helyszínen nem végezhetőek el. Végül, de nem utolsó sorban, a fent említett monitorozási célra ezek igen drága berendezések, áruk több százezer dollárnál kezdődik. Szennyvízmoni-

torként a felületi érzékelésen alapuló módszerek (szenzorok) szintén nem használhatóak, mivel ezek ilyen közegben már egy mérés után tönkremennek.

Mindezek alapján nyilvánvaló, hogy a szennyvizekben működő nehézfémmonitor elkészítéséhez egy teljesen új mérési eljárás szükséges. Ez az új módszer az általunk felfedezett elektrolitkatódos, atmoszférikus nyomáson működő ködfénykisülés (Electrolyte Cathode Atmospheric glow Discharge = ELCAD). Itt a szennyvíz, amely feloldva tartalmazza a nehézfémeket (ez egy vizes elektrolitoldat), maga a katód. Ennek felszíne felett, attól körülbelül 3 mm távolságban elhelyezett wolfram rúd (1,4 mm átmérőjű) az anód. E két elektróda között a levegőben, atmoszférikus nyomáson, egyenáramú kisülést hozunk létre (kisülési áram ~50–80 mA, égési feszültség ~700–850 V). A kisülés ideje alatti állandó folyadékszint megtartása érdekében az elektrolitot áramoltatni kell. Ha az elektrolitoldat megfelelően savazott (pH < 2,5), akkor a kisülés emittált spektruma tartalmazza a benne feloldott fémek atomi vonalait [1, 2]. Ezek intenzitásait megmérve az elektrolitbeli nehézfémek koncentrációja meghatározható. Az ELCAD működése automatizálható, működését a szennyvizetbe zsíros emulziók, lebegő anyagok nem zavarják (a durvább, nagyobb lebegő anyagok egy fémháló segítségével egyszerűen kiszűrhetők). Az ELCAD tehát nem igényel semmilyen mintaelőkészítést, mérete sem nagy. Ennek alapján a helyszínen telepíthető, a nehézfémmonitor elkészíthető.

Az ELCAD főbb jellemzői

Az ELCAD egy atmoszférikus nyomáson működő ködfénykisülés, amelynek a következő, szabad szemmel megkülönböztethető részei vannak (1. ábra). Az elektro-



1. ábra. Az ELCAD-kisülés képe

litkatód felületén észlelhető fényes folt a katódcsötöttér, ez a kisülés által lefedett katódterület. Felette helyezkedik el a katódcsötöttér, amelyet a negatív fény, majd pedig a pozitív oszlop követ. Az anódon az anódfény látható.

A ködfénykisülések egyik legfontosabb paramétere a katódcsötöttéren eső feszültség, a katódcsötöttés (U_{cf}), a kisülés fenntartásához szükséges, betáplált energia. Ezt az elektródák távolságának függvényében mért égési feszültségből kapjuk meg, ha ezt a függvényt a zérus elektródcsötöttésre extrapoláljuk. Az ELCAD esetében ez $U_{cf} = 515 \text{ V}$ ($i = 80 \text{ mA}$). Ha az elektrolit pH-ja kisebb, mint 4, a savazás növelésével (a pH csökkentésekor) az égési feszültség és az U_{cf} jelentősen csökken.

A katódcsötöttér hossza $d = 10^{-4} \text{ m}$, amit a kisülés képének nagyítása alapján mértünk meg. Lineáris teret feltételezve a csötöttéren (a katódnál maximális, a csötöttér–negatív fény határán pedig zérus), a fenti két adatból az

$$E_c = \frac{2 U_{cf}}{d}$$

képlet alapján számolt elektromos tér nagysága a katódnál $E_c = 10^7 \text{ V/m}$ [3].

Elektrolitkatód, önfenntartási folyamatok

Egy hagyományos, fémkatódos ködfénykisülés önfenntartási mechanizmusa a következő: a katódba becsapódó pozitív ionok hatására a katódból szekunder elektronok lépnek ki. Ezek a katódcsötöttéren lévő tértől energiát nyerve ütközéses ionizációk sorozatát indítják el. Így létrehozzák az adott áramhoz tartozó, a kisülés önfenntartásához szükséges töltésmennyiséget. A fémek esetében a szekunder elektronok emisszióját nagyjából értjük is, hiszen a fémek szabad elektronokkal rendelkeznek. A vízben azonban nincsenek ilyen szabad elektronok. A kisülés mégis működik, tehát valami történik, amit meg kell értenünk.

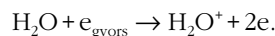
Hart és Anbar szerint az elektronok a vízből egy kémiai alagúteffektus segítségével is kiléphetnek. Ez a 2. ábrán vázolt körfolyamat révén lehetséges [4].

A kisülésből érkező, a vízbe csapódó pozitív ionok a felületi rétegben a H_2O molekulákkal ütköznek, és egy ionizációs reakciósorozatot indítanak el. Ennek közbülső termékeként hidratált proton H_3O^+ és szolvatált elektron

e_{aq}^- keletkeznek. Ezek között egy igen gyors reakció megy végbe, amely semleges H-atomokat hoz létre. A hidrogén igen illékony, ezért könnyen a folyadék felületére jut, ahol azonnal ionizálódik, azaz e_g^- és H^+ keletkeznek. A H^+ -iont a tér visszalöki a vízbe, az elektron pedig a plazmabeli ionizációs és gerjesztési folyamatokban vesz részt a továbbiakban.

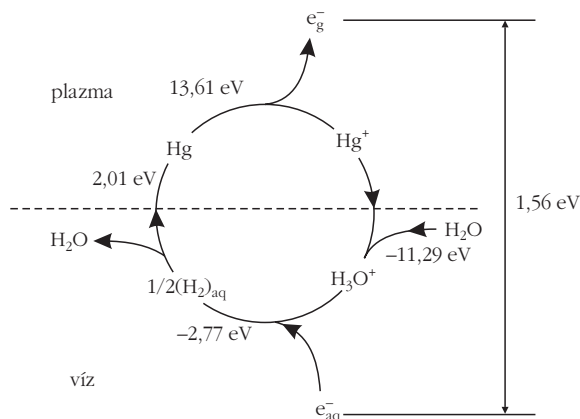
A vízből való közvetlen elektronkiléptetés 6,1 eV energiát igényel, a fenti körfolyamatnál ehhez 1,55 eV energia is elegendő. Amikor az oldatot savazzuk, az oldat nagymértékű protontöbbletre tesz szert. Emiatt a szolvatált elektronok befogásának és ezen keresztül a fenti körfolyamatnak a határfoka jelentősen megnő a többi reakcióhoz képest, a vízből kilépő elektronok száma is emelkedik. Tehát a nagyobb oldatbeli savkoncentrációhoz több kilépett elektron, nagyobb szekunder elektronemisszió tartozik. Ezért a katódcsötöttéren, egy adott kisülési áramhoz tartozó töltésmennyiség létrehozásához kevesebb ionizáló ütközés, azaz kisebb befektetett energia, kisebb katódcsötöttés szükséges.

Habár az ELCAD levegőben, atmoszférikus nyomáson működik, a kisülés során fellépő katódporlasztás és részben a párolgás miatt a kisülési plazma telített vízgőzben alakul ki. Ezt alátámasztja az a kísérleti tapasztalat is, hogy zárt cellát használva, N_2 , He és Ar atmoszférában is működtetve az ELCAD-ot, az égési feszültségben és az emittált intenzitásokban semmilyen változást nem észleltünk. Ez azt jelenti, hogy a katódcsötöttérenbeli ionizációs ütközések az elektronok és a H_2O molekulák között mennek végbe. Az irodalom szerint ebben az esetben a legvalószínűbb ionizációs folyamat a következő:



Az ELCAD-plazmában tehát a H_2O^+ molekulaionok a pozitív ionok. Atmoszférikus nyomáson, ahol az ELCAD működik, a H_2O^+ molekulaionok legvalószínűbb veszteségi forrása az, hogy elektronokkal ütközve semleges részecskékre esnek szét (disszociatív rekombináció): $\text{H}_2\text{O}^+ + e \rightarrow \text{H} + \text{OH}$. Ez az oka annak, hogy míg egy klasszikus, fémelektrodák között működő ködfénykisülés esetében a katódos áramsűrűség a nyomás négyzetével arányos, $j_c \approx \text{konst.} \cdot p^2$, az ELCAD esetében a kísérleti eredmények szerint, a $p \sim 25 \text{ torr} - 1 \text{ atm}$ nyomástartományban, a $j_c \approx \text{konst.} \cdot p^{1/2}$ összefüggés érvényes.

2. ábra. A Hart–Anbar-körfolyamat



Az emittált spektrum

Kísérleteinkben elektrolitoldatként csapvizet használtunk (ennek átlagos összetétele Budapesten: Na 16 mg/dm³, Ca 80 mg/dm³, Mg 25 mg/dm³). A többi, vízben nem található fémeket egy több elemes, minden fémre 5000 mg/dm³ koncentrációjú törzsoldatból adtuk a mintához, amivel a hozzáadott fémekre nézve 0,1–50 mg/dm³ koncentrációtartományt állítottunk be. A savazásra HCl-ot használtunk.

Az ELCAD-plazma által kibocsátott színekben megjelennek az elektrolitban feloldott fémek atomi vonalai, így a H_β 486 nm-es vonala, az OH ultraibolya sávjai, az N₂ 334 és 405 nm sávjai. Az atomi fémvonalak főbb tulajdonságai a következők:

1. Létezik egy savazási küszöb: pH ~ 2,5. Csak ennél kisebb pH esetén jelentkeznek az atomi fémvonalak az emittált spektrumban, és ekkor a pH további csökkentésével (savazás növelésével) az intenzitásuk nő.

2. Létezik egy nyomás küszöb: $p \sim 600$ mbar. Csak ennél nagyobb nyomásokon figyelhetőek meg az atomi fémvonalak. A nyomás növelésével az intenzitásuk is nő körülbelül 1500–2000 mbar értékig, majd ezután az intenzitások csökkennek.

3. Létezik egy áramküszöb: $i \sim 25\text{--}30$ mA. Csak ennél nagyobb kislüési áramoknál jelentkeznek az atomi fémvonalak az emittált spektrumban, azt elérve intenzitásuk az árammal együtt nő.

4. Az intenzitások jelentős elemfüggést mutatnak.

Az 1. és a 2. megfigyelés egymással szorosan összefügg. Miként korábban említettük, a savazás növelése csökkenti a katódosítást és így a kislüésbeli átlagos elektronenergiát (kT_e). Ha a nyomást növeljük, az ütközések számának emelkedése miatt a kT_e csökken. Az 1. és a 2. eredmény szerint az emittált atomi fémvonalak intenzitása tehát nő, ha a kT_e csökken. Ezt az alábbi módon értelmezhetjük.

A katód egy oldat, amelyben a feloldott fémek pozitív ionokként vannak jelen. A kislüés alatt működő katódporlás hatására ezek a pozitív fémionok (M⁺) kilépnek az oldatból, de a katód előtt lévő pozitív tértöltés csak úgy juthatnak át, ha rekombináció révén semlegesítődnének. Erre, az ELCAD esetében, a kételektronos ütközéses rekombináció adódott a legvalószínűbbnek: $M^+ + 2e \rightarrow M + e$. A reakció mértéke (r) kT_e -vel fordítottan arányos. (Pontosan $r \sim kT_e^{-9/2}$. Az így számolt intenzitás nyomásfüggése igen jól egyezett a mért eredményekkel). A létrejött semleges fématomok a negatív fénybe diffundálnak, ahol elektronütközéssel gerjesztődnek.

A savazás, illetve a nyomás növelése egyaránt kT_e -t csökkenti, ami viszont növeli a rekombináció mértékét, tehát a semleges fématomok számát. A megfigyelt küszöbök ahhoz a kT_e értékhez tartoznak, amely már elegendően alacsony ahhoz, hogy ez a rekombináció végbemenjen.

Az áramküszöb fellépte a katódporlás áramfüggésével magyarázható. Kis áramoknál a katódporlás mértéke elhanyagolható, nem lép ki elegendő számú M⁺ fémion ahhoz, hogy a fenti folyamatok végbemenjenek. Az elektronütközéses gerjesztés és a rekombináció mértéke is függ az elektronok sűrűségétől, amelyet a kislüési áram határoz meg. Ezért nagyobb áramhoz nagyobb M⁺ sűrűség, na-

gyobb elektronsűrűség és nagyobb mértékű rekombináció tartozik, ami az intenzitás növekedéséhez vezet.

Az emittált spektrumban csak fémek atomi vonalait figyeltük meg, ionos vonalakat általában nem észleltünk. Kivétel: a Ca-II 393,4 nm és az Mg-II 297,6, 280,3 nm ionvonalak. Ennek oka az, hogy a legkülső elektronhéj a többi egyszeresen ionizált fém esetében a nemesgázokéhoz hasonlóan teljesen betöltött, így ezek gerjesztett nívói igen magasak (20–30 eV) ahhoz, hogy az ELCAD-plazmában gerjesztődjenek.

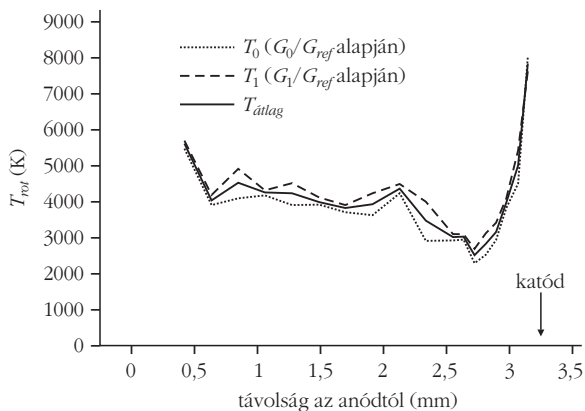
Az emittált intenzitások igen jelentős elemfüggésének megértéséhez az előbbi rekombinációs modellt némileg módosítani kell: A katódporlasztás során nem M⁺ fémionok, hanem M⁺-OH⁻ komplexek lépnek ki az elektrolitból. E komplexek kötése annál erősebb, minél inkább kovalens jellegű a kötés. Ez pedig az egyes fémek és az OH-gyök elektronegativitásának különbségétől függ. Ha ez a kötés gyenge (ionos jellegű), akkor a közvetlenül a katódfelületnél lévő igen nagy elektromos tér szétszakítja, a keletkezett pozitív fémiont pedig visszalöki a katódba. Emiatt a plazmabeli fématomok sűrűsége és így az emittált atomi fémvonalak intenzitása is kicsi. Ha ez a kötés erős, akkor az adott komplex bomlás nélkül áthalad a katódhoz közeli, nagy térerősségű részen, és a sötétter katódtól távolabbi tartományába kerül. Itt, miként a következő részben bemutatjuk, a hőmérséklet elég magas ahhoz, hogy a komplex széteszen. Az elektromos tér pedig már annyira lecsökkent, hogy a rekombinációhoz a megfelelő számú és alacsony energiájú elektron jelen van. Így elegendően nagyszámú semleges fématom keletkezik, ami a korábban leírtak szerint nagy emittált fémintenzitást eredményez. Ez a módosított modell jól egyezik a mérési eredményekkel, de van kivétel, ezek közül a legfontosabb a króm. E modell szerint az ELCAD emittált spektrumában nagyintenzitású atomi krómvonalat kellene megfigyelni. Ezt azonban eddig nem tapasztaltuk. Holott, az ICP-s kísérletek egyértelműen nagy mennyiségű króm jelenlétét jelzik a kislüési plazmában. Ennek tisztázása további kutatást igényel.

Hőmérsékletek és intenzitások eloszlása

Az ELCAD-plazmában a gáz- (T_G) és az elektronhőmérséklet (T_e) eloszlását is megmértük a kislüés függőleges tengelye mentén. A T_G -t az OH ultraibolya, nem felbontott, $G_0 = 306,5$ nm, $G_1 = 306,8$ és a $G_{ref} = 308,9$ nm sávfejeinek intenzitásarányaiból (G_0/G_{ref} vagy G_1/G_{ref}) kapott rotációs hőmérséklettel közelítettük. Ebben az esetben ugyanis $T_{rot} \approx T_G$.

Az anód közelében $T_{rot} \sim 5700\text{--}6000$ K. A kislüési plazma központi részében, a pozitív oszlop tartományában $T_{rot} \sim 4000$ K, a katódnál pedig $T_{rot} \sim 7500\text{--}8000$ K. Ez utóbbi érték igen jól egyezik a korábbi független számításainkkal, miszerint a katódfelület–katódsötétter határteregben $T_G \sim 7000$ K.

Mivel az ELCAD atmoszférikus nyomáson működik, ahol az irodalom szerint az elektronok energiaeloszlása Maxwell-szerűnek vehető, a T_e -t az emittált Cu-I 510,5 nm és a Cu-I 515,3 nm vonalak mért intenzitásainak arányából határoztuk meg (4. ábra).



3. ábra. A mért G_0/G_{ref} és G_1/G_{ref} intenzitásarányból és ezek átlagából számolt T_{rot} az anódtól mért távolság függvényében.

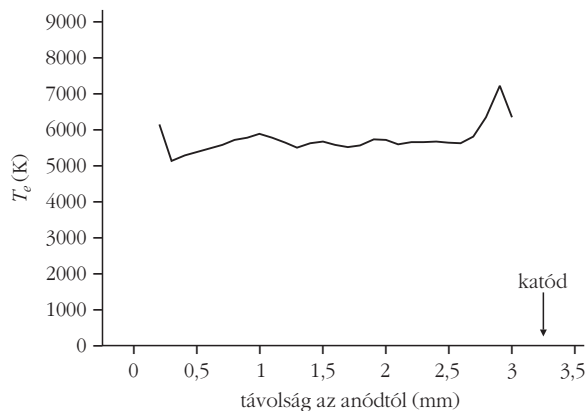
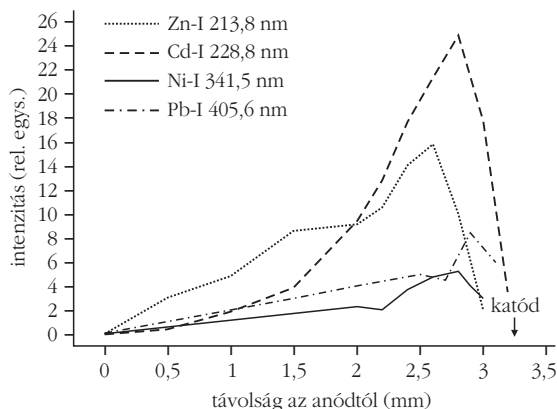
Az anódnál $T_e \sim 6000$ K, a pozitív oszlopban $T_e \sim 5500$ K, a katód közelében pedig a legnagyobb, ~ 7500 K, elektronhőmérséklet érték adódott.

A fenti eredmények szerint a rotációs és az elektronhőmérsékletek térbeli eloszlása az ELCAD-plazmában egymáshoz igen hasonló. Mindkét esetben az anód és a katód közelében a hőmérsékletek növekednek, ezt az anód és a katód felé növekvő elektromos potenciálnak, az anódesésnek, illetve a katódesésnek tulajdoníthatjuk. Az anódhoz és a katódhoz közeli tartományokban a $T_{rot}/T_e \rightarrow 1$, míg a kisülési plazma más helyein ez az arány körülbelül 0,6–0,8. Figyelembe véve a hőmérsékletek meghatározásának ~ 20 – 30% -os bizonytalanságát, a T_{rot} és T_e közötti eltérés nem jelentős. Itt meg kell említeni, hogy a T_{rot} a T_G -nek csak egy jó közelítése. Ezek alapján az ELCAD-plazmában kapott T_{rot}/T_e arányok igen jó eredménynek tekinthetők, amelyek az irodalommal egyezően azt mutatják, hogy atmoszférikus nyomáson a T_{rot}/T_e arány az 1-hez közeli értékű.

Az elektrolitban feloldott fémek emittált atomi vonalainak intenzitás-eloszlását mutatja ábra az 5. ábra.

Az intenzitások maximumait a negatív fény tartományában figyeltük meg. Az emittált vonalak ismertett mechanizmusa alapján, a kisülés többi részéhez képest, a semleges fématomok diffúziós vesztesége a negatív fényben a legkisebb, mivel ez van legközelebb a semleges fématomok keletkezési helyéhez, a katódsötétterhez. A

5. ábra. Az elektrolitban feloldott fémek emittált atomi vonalainak intenzitáseloszlása az anódtól mért távolság függvényében (spektrális szélesség = 0,2 nm, pH = 1,55, oldat áramlási sebessége = 160 ml/h).



4. ábra. A Cu-I 510,5 nm és a Cu-I 515,3 nm vonalak mért intenzitásarányából számolt T_e az anódtól mért távolság függvényében.

kisülés egyéb részeihez viszonyítva a semleges fématomok sűrűsége itt a legnagyobb. Továbbá, a mérések szerint a negatív fényben T_e értéke elég magas. Ezért az elektronütöközéssel gerjesztett fématomok sűrűsége ebben a tartományban a legnagyobb, tehát itt mutatnak az emittált intenzitások maximumot. A negatív fényben ugyanakkor a háttérvonalak és -sávok (H_β , OH, N_2 stb.) intenzitásai a kisülés más részeihez képest a legkisebbek. Ezért a legjobb jel/zaj viszonyt akkor érjük el, ha a negatív fényt képezzük le a monokromátor belépő részére.

Kapilláris ELCAD

Az ELCAD érzékenységének növelése érdekében egy kapilláris elrendezésű ELCAD-ot készítettünk. Egy 5 mm külső és 1 mm belső átmérőjű üvegapillárisban áramoltatjuk az elektrolitoldatot. A kapilláris lecsapott végén kialakuló folyadékfelszín felett jön létre a kisülés. A katódfelettel a rendelkezésre álló teljes folyadékfelületet, katódfelettel befedi, ezért ez egy úgynevezett abnormális ködfénykisülés. (A korábbi ELCAD-ok esetében az elektrolitkatód felülete jóval nagyobb volt, mint a katódfelettel, ezért ezek úgynevezett normál kisülések voltak.) Ennek megfelelően a kapilláris ELCAD-ban az áramsűrűség körülbelül hatszorosára, a katódesés másfélszeresére növekedett annak, mint amit egy normál ELCAD-plazmában mértünk. Az emittált atomi fémvonalak intenzitása pedig egy nagyságrenddel nőtt a korábbi, normál kisülésben észleltekhöz képest.

A kisülés stabilitását nagymértékben javítottuk azáltal, hogy a folyadék áramoltatását egy dugattyús (syringe) pumpával végeztük. Továbbá, hogy elkerüljük az elektrolitkatódban a kisülés során fellépő hidrogénképződés nem kívánt, instabilitásokat okozó káros hatásait, a kapillárisbeli elektrolitoldatot egy ionos vezető közbeiktatásával kapcsoljuk a tápegység negatív pólusához. Így egy nagyon stabil folyadékfelszín alakult ki a kapilláris végén, ami jelentősen csökkentette az intenzitás zajokat. Ez az igen stabil kisülés lehetővé tette, hogy a kapilláris ELCAD-cellát egy áramló oldatos, mintabeinjektáló, analízis rendszerbe (Flow Injection Analysis System) építsük. Egy mintaváltó szelep segítségével 30 μ l-nyi, meghatározott koncentrációjú mintaoldatot injektálunk be az áram-

ló alapelektrolitba. A kívánt atomi fémvonalak intenzitásának időbeli változását mértük egy a számítógépbe helyezett, MTA SZFKI gyártmányú adatgyűjtő kártya segítségével. A mért intenzitásokat az oldat áramoltatási sebességének függvényében optimalizáltuk. Így, elemektől függően, 0,5–1,2 nanogramm abszolút kimutatási határokat értük el. Sajnos, a króm itt is kivétel.

Az ELCAD gyakorlati alkalmazása

Az ELCAD-elven működő monitor első prototípusát a 90-es években, a Fővárosi Csatornázási Művek észak-pesti szennyvíztelepén helyeztük üzembe. Ez a készülék a csatornahálózatból a szennyvíztelepre beáramló szennyvíz nehézfém-koncentrációját mérte folyamatosan. Így sikerült kimutatni azt, hogy a gyárak az összegyűjtött, nehézfém-tartalmú szennyvizeket valóban hétvégeken és éjjel engedik le a közüzemi csatornába, amikor ellenőrzés nincs. Egy készülék a W.R. Grace Co. Washington Research Center, Columbia MD, USA laboratóriumban, egy pedig a YUIL Environmental Center, Szöul, Koreában működik.

Az ELCAD-monitort természetesen hazai és nemzetközi szabadalmak védik.

További feladatok

A környezetvédelmi előírások szigorodása egyre kisebb nehézfém-koncentráció kimutatását igényli. E cél eléréséhez az ELCAD érzékenységet növelni kell. Olyan megol-

dásokat kell keresni, amelyek révén az emittált atomi fémvonalak intenzitása nő úgy, hogy közben a háttér vonalainak és sávjainak intenzitása nem emelkedik, hanem lehetőleg csökken (a jel/zaj viszony javul). Így az ELCAD észlelési határa is jelentősen csökkenthető.

A kapilláris elrendezésű ELCAD, a króm emittált intenzitását kivéve, sok tekintetben megfelel ezeknek a feltételeknek. Mivel a króm az egyik legveszélyesebb nehézfém, döntő fontosságú, hogy az ELCAD képes legyen az egyre kisebb krómkoncentrációk kimutatására. Ezért kutatásokat kell végezni annak megértésére, hogy, habár a króm jelen van az ELCAD-plazmában, az emittált atomi vonalainak intenzitása miért olyan gyenge. Ezek alapján keresni kell a módokat, miként tudjuk az emittált króm-vonal intenzitását növelni.

Biológiai szempontból fontos bizonyos nyomelemek (B, Ba, As, Se) koncentrációjának közvetlen mérése vizes oldatokban. Eddigi megfigyeléseink szerint ezen elemek emittált vonalait nem észleltük az ELCAD-plazmában. Kisülésfizikai és kémiai szempontból is igen érdekes feladat kideríteni ennek az okát, és a probléma valamilyen megoldását megtalálni.



Az itt ismertetett kutatásokat az OTKA T-042493, 029112, 4227 pályázatok támogatásával végeztük.

Irodalom

1. T. CSERFALVI, P. MEZEI, P. APAI – J. Phys. D.: Appl. Phys. 26 (1993) 2184–2188
2. T. CSERFALVI, P. MEZEI – J. Anal. At. Spectrom. 9 (2004) 345–349
3. P. MEZEI, T. CSERFALVI, M. JÁNOSSY – J. Phys. D.: Appl. Phys. 31 (1998) L41–L42
4. E.J. HART, M. ANBAR: *The hydrated electron* – John Wiley, New York, 1970, 63

TÁVOLSÁGMÉRÉS SZUPERNOVÁKKAL: TÉNYEK ÉS TALÁNYOK

Vinkó József
SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Az elmúlt évtized egyik legnagyobb hatású tudományos felfedezése volt annak felismerése, hogy az Univerzum egyre gyorsulva tágul [1, 2]. Az Ósrobbanásmodell széles körű elfogadása óta, körülbelül a 60-as évek közepétől kezdve a kozmológiai tankönyvek egyetértettek abban, hogy az egyetlen kozmológiai skálán ható erő, a gravitáció mindenképpen lassítja a tágulást. A kérdés csak az volt, hogy milyen mértékben – elegendő-e a lassulás ahhoz, hogy véges idő alatt a tágulás összehúzódnába forduljon, vagy a tágulás minden határon túl folytatódik, igaz, egyre csökkenő ütemben. A gyorsuló tágulás felfedezése ennél fogva roppant érdekes kérdéseket vetett fel: mi az az erő, vagy kölcsönhatás, amely a gravitáció ellenében képes gyorsítani a tágulást, milyen hatással volt ez az Univerzum korábbi korszakaira stb. Számos kozmológiai elmélet látott napvilágot ezek magyarázatára. A gyorsulást okozó titokzatos kölcsönhatást *sötét energiának* (dark energy) nevezték el, ez

nem tévesztendő össze a galaxisok sötét gravitáló anyagával (dark matter). A sötét energia mibenlétének kutatása napjaink egyik „forró” témája a fizikai kozmológiai szakirodalomban.

A gyorsuló tágulás kimutatására a csillagászok nagyon távoli szupernóva-robbanások fotometriai jellemzőit használták. A felfedezés ellenőrzése és az esetleges szisztematikus hibák kiküszöbölése érdekében nagyon fontos lenne más, független módszerrel is igazolni a gyorsuló tágulást, jelenleg azonban egyedül a szupernóvák alkalmasak erre. Ezért az összes ezzel kapcsolatos tudásunk azon alapul, hogy mennyire ismerjük a szupernóvák fizikáját, illetve mennyire pontosak a velük végzett távolságmérési eljárások. Ebben a cikkben röviden áttekintjük a szupernóvák típusait, a róluk szóló alapvető fizikai ismereteket, a távolságmérésben betöltött szerepüket, illetve azokat a pontokat, melyek még tisztázásra szorulnak.