

200 EV ENERGIÁJÚ ELEKTRONOK ÁTVEZETÉSE EGYEDI, TEFLON KAPILLÁRISON

Bereczky Réka Judit, Tókési Károly – MTA Atomagkutató Intézet, Debrecen

Aleksandar R. Milosavljević, Bratislav P. Marinković – Belgrádi Egyetem Fizikai Intézete, Szerbia

Töltött részecskék terelődési jelensége

Napjainkban számos kutatócsoport foglalkozik nagy töltésű ionok és kapillárisok belső felülete közötti ütközések tanulmányozásával. A fő cél a kölcsönhatások komplex megismerése.

Az első, szigetelő mintával, polimerekbe (polietilén-tereftalát, PET) maratott nanométeres, hengeres csövecskékkel, úgynevezett multikapillárisokkal történt kísérletek [1] azt a nem várt eredményt hozták, hogy a szigetelő kapillárisok képesek átvezetni töltésállapot-változás nélkül a nagy töltésű ionokat, még akkor is, ha a geometriai feltételek ezt nem tennék lehetővé.

A töltött részecskék kapillárisokon történő átvezetése a kapillárisokban kialakuló elektromos mezővel hozható összefüggésbe. Az átvezetéshez a kapillárisok belső falának töltést kell felhalmozniuk egyrészt azért, hogy az elektromos taszítás megakadályozza az ionok közeli ütközéseit a felülettel, ezáltal meggátolva az elektronbefogást a felületről, másrészt azért, hogy az ionokat a kijárat nyílás felé terelje. Átvezetés akkor figyelhető meg, amikor a falba való ütközés (feltöltődés) és a tömbi vagy felületi transzport (kisülés) között egyensúlyi állapot alakul ki.

Az elméleti eredmények azt mutatják [2], hogy a lerakódó töltések jelentős része a kapilláris bemene-ténél helyezkedik el. Már ez az egy töltésfelhalmozódás által keltett elektromos tér elegendő a beérkező ionok kapillárison történő átvezetéséhez. A kapilláris nyálábtengelyhez képesti dőlésszögétől, a kapilláris hosszától és a beérkező töltés mennyiségétől függően további kisebb feltöltődött foltok alakulhatnak ki a kapilláris belső felületén.

Az első mérésekhez használt multikapillárisok hátránya, hogy azok számos hibaforrást visznek a kísérletekbe, például a fóliába maratott vagy bombázással kialakított csövecskék tökéletes párhuzamosságát nem lehet biztosítani. Hasonló nehézséget jelent a megfigyelések elméleti leírása is. Az egymás közelében lévő, feltöltődött kapillárisok kölcsönhatnak egymással, így a pontos ionpályák meghatározásához a kapillárisok közege kollektív hatását is figyelembe kell venni, ami igen bonyolulttá teszi az elméleti leírást. Ezért – a kísérleti körülményeket egyszerűsítendő – multikapillárisok helyett egyedi, mikroszkopikus méretű kapillárisokkal vizsgáltuk a töltött részecske-terelés jelenségét. A jelenlegi technikai feltételek mellett

egyedi, nanoméretű csővel nem lehet megvalósítani a kísérleteket, mert bonyolult ilyen típusú mintát előállítani, másrészt pedig a kísérlet kivitelezése is nehézségekbe ütközik.

Amellett, hogy ilyen típusú mintákkal az elméleti feltételek egyszerűbbé, könnyen ellenőrizhetővé válnak, ezen minták technikai alkalmazást is sejtetnek. Az eddigieknél sokkal egyszerűbben és kevesebb anyagi befektetéssel lehet ionoptikai elemeket előállítani. A kapilláris ionterelő képessége a biológia és az orvoslás területén is felhasználható. Egy egyedi kapilláris segítségével nemcsak egy sejt, hanem annak egy meghatározott része is besugározható [3].

Elektronok terelése szigetelő kapillárisal

Az elektronok szigetelő mikro- és nanokapillárisokon történő átvezetésének tanulmányozása még az ionterelés kutatásoknál is frissebb terület. Ezen kutatásokat az motiválja, hogy a kisenergiájú elektronok mikro- és nanométeres skálán való manipulálhatósága alkalmazható lehet a nagy mértékben fejlődő bio-nanotechnológia területén.

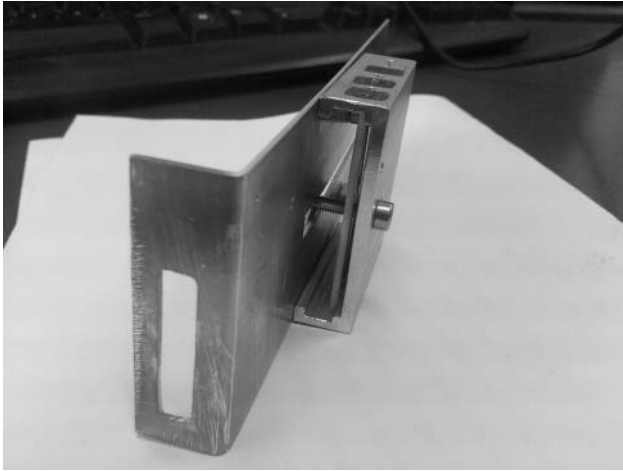
Míg a nagy töltésű ionok szigetelő kapillárisokkal történő terelése alaposan tanulmányozott és megértett területe a kapillárisokkal folytatott kutatásoknak, addig az elektronok továbbítása szigetelő kapillárisokkal sokkal összetettebb probléma. Az általános felfogás szerint mind a Coulomb-eltérítésnek – ahogyan a nagy töltésű ionok esetében is –, mind az elektron-fal kölcsönhatásnak köze van az elektronterelési folyamathoz. Az elektron-átvezetésről szóló munkák többségében a nagy töltésű ionok terelési folyamatának analógiájaként vizsgálták nanokapilláris fólián [4, 5], vagy egyetlen üveg mikrokapillárison keresztül [6, 7] rugalmasan továbbított elektronokat.

A kapillárison belüli rugalmatlan ütközésekkel kapcsolatban kevés eredmény született. *Milosavljević* és munkatársai [8, 9] kimutatták, hogy a kapillárisból kijutó elektronok döntő része nagyon kis kinetikus energiával, közel 0 eV-tal, rendelkezik. Napjainkig ezen alacsony energiájú elektronok tulajdonságait nem vizsgálták.

Ebben a munkánkban a 200 eV-os energiájú elektronok egyedi, teflon kapillárison történő átvitelét tanulmányoztuk.

Kutatásaink célja a kapillárison a kezdeti, beesési energiával átjutott elektronok szögeloszlásának, a kapillárisból kijutó elektronok kinetikusenergia-eloszlásának és az átviteli intenzitás időfüggésének tanulmányozása volt. Úgy hisszük, hogy munkánk új össze-

A munka a Szerbiai Oktatási és Kutatási Minisztérium (Project No. 171020) és a magyar Országos Tudományos Kutatási Alapprogram, OTKA No. NN 103279 támogatásával készült.



1. ábra. A teflon kapilláris minta.

függésekre deríthet fényt az elektronok terelésével kapcsolatban, és érdekes alkalmazási lehetőségekhez is vezethet. Ilyen például a nagyon alacsony energiájú (monokromatizált) mikro/nano elektronnyaláb felülethez közeli irányítása.

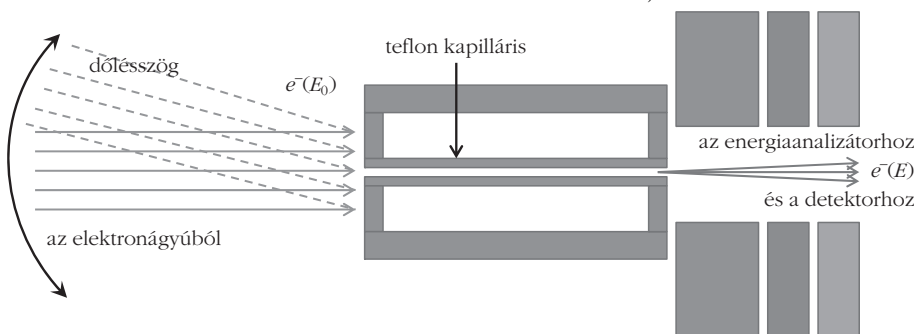
A kísérleti berendezés

A kísérletek során használt teflon kapilláris belső átmérője 0,8 mm, külső átmérője 1,6 mm, hossza 44,15 mm, így a hossz-átmérő aránya 55,2 volt. A kapilláris bemeneti és kijárat felületét grafitral vontuk be, hogy meggátoljuk a minta makroszkopikus feltöltődését. Az MTA Atomkiban készített mintát alumínium mintatartóba rögzítettük ultranagyvákuum-kompatibilis ragasztó segítségével (1. ábra).

A méréseket Belgrádi Egyetem Fizikai Intézetének Atomi Ütközési Folyamatok Laboratóriumában végeztük. Az UGRA elektron-spektrométert – amelyet általában elektron és atomi ütközések vizsgálatára használnak – átépítettük úgy, hogy alkalmas legyen kapillárisok elektronterelési tulajdonságainak tanulmányozására.

A kísérleti berendezés sematikus felépítése a 2. ábrán látható. A vákuumkamrában a nyomás körülbelül 4×10^{-7} mbar volt, amit egy turbomolekuláris szivattyú segítségével értünk el. Minden mérés előtt legalább 24 órán át szívtuk a rendszert, így a nyomás stabil volt. Az elektronágyú segítségével jól kollimált

2. ábra. A kísérleti berendezés sematikus rajza.



elektronnyaláb állt rendelkezésünkre, amelynek átmérője és szögdivergenciája 200 eV energiánál körülbelül 1 mm, illetve 1° . A nyaláb energiaszórása kevesebb, mint 0,5 eV volt.

Jelen kísérletben a kapilláris minta-tartót földeltük, ezért a kapilláris bejáratához érkező elektronáramot nem lehetett közvetlenül mérni. Egy korábbi, hasonló paraméterekre vonatkozó becslés alapján az elektronágyú nagyjából 30-50 nA áramerősségű elektronnyalábot bocsátott ki. Ugyanakkor egyértelműen nem állapítható meg, hogy az áram mely része érkezik meg ténylegesen a minta bemenetéhez, hiszen ez annak dőlésszögétől és a nyaláb fókuszálásától is függ.

A kapillárisból távozó elektronokat egy dupla hengertűkörös típusú energiaanalizátorra fókuszáltuk, amit detektorként egy egycsatornás elektronsokszorozó követ. A kapilláris minta-tartót úgy pozicionáltuk, hogy a kapilláris vége közel legyen az analizátor előtti bejáratú lencsék első földelt elektródájához. Az elektronágyú forgatható, így az elektronnyaláb becsapódási szöge a kapilláris tengelyéhez képest változtatható. Ezt a szöget nevezzük kapilláris-dőlésszögnek.

A transzmisszió energiafüggése a négy elemű analízatorlencse fókuszálási tulajdonságaitól függ. Az átvitel korrekciója – jelen kísérleti paraméterek esetén – elektronpálya-szimulációval jól becsülhető. A szögfelbontást korábban – a nemesgázokról rugalmasan visszaszórt elektronok differenciális hatáskeresztmetszete alapján – $2-3^\circ$ -ra becsültük.

Eredmények

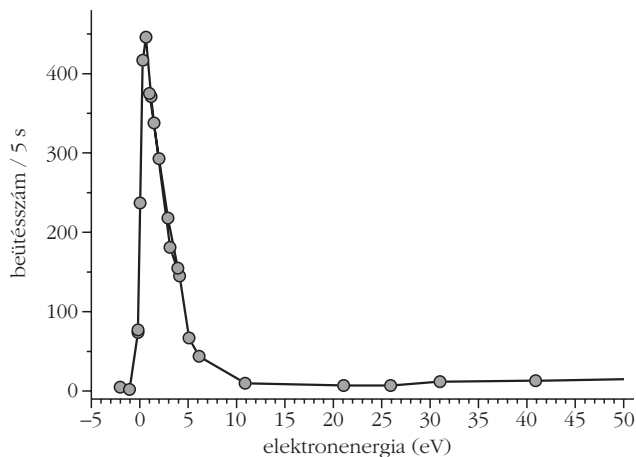
A 3. ábrán a 0 fokos szögben rögzített teflon kapillárisból kilépő kis energiájú elektronok kinetikusenergia-eloszlása látható. A kapillárisba bejutó elektronok kezdeti energiája 200 eV volt.

Ahogy azt korábban megmutattuk, az elektronok szigetelő kapillárison történő áthaladása az elektron-fal kölcsönhatás következményeként intenzív, kis energiájú másodlagos elektronok megjelenésével jár [8, 9].

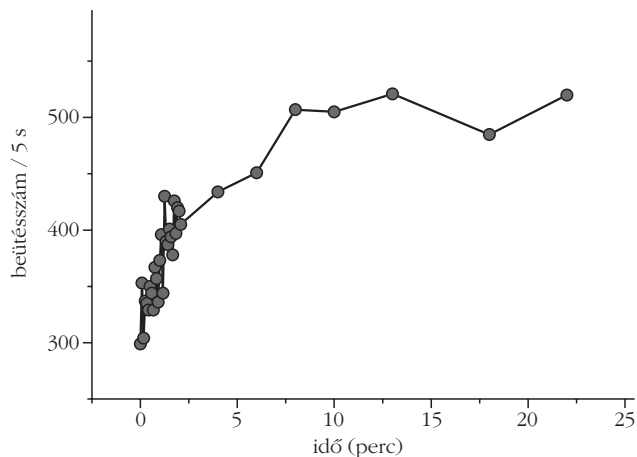
A továbbiakban a 3. ábrán látható, 0 és 10 eV közötti, kis energiával rendelkező csúcs maximumához tartozó elektronáram viselkedését tanulmányoztuk a kapilláris dőlésszögének függvényében. A kapillárisból kijutó kis energiájú (közel 0 eV) elektronok intenzitásának szögfüggését a 4. ábra mutatja.

A rugalmasan szóródott elektronokkal ellentétben – ahol mindig nagy mértékű dőlésszögfüggés volt tapasztalható – a kis energiájú elektronáram nagy tartományban gyakorlatilag független a kapilláris dőlésszögétől.

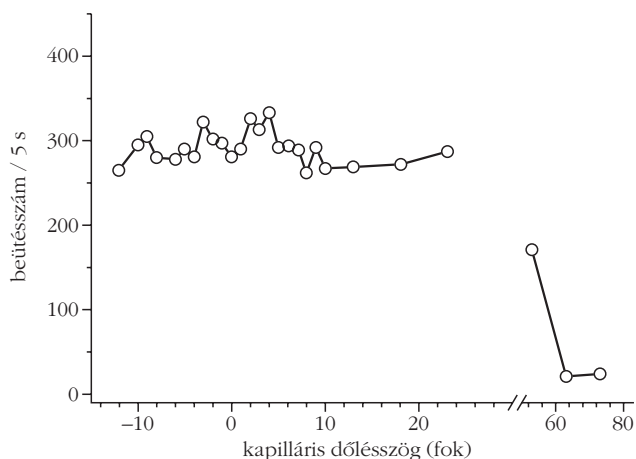
Az 5. ábrán a kis energiájú elektronáram időfüggése látható 200 eV-os energiával beszórt elektronok esetén, a kapilláris 0° -os dőlésszögénél.



3. ábra. A teflon kapillárisból kijutó kis energiájú elektronok kinetikusenergia-eloszlása.



5. ábra. A kapillárison átjutó kis energiájú elektronáram időfüggése. A kapilláris tengelye egybeesik a nyaláb tengelyével.



4. ábra. A teflon kapillárisból kijutó kis energiájú elektronok szög-eloszlása.

Összefoglalás

200 eV energiájú elektronok egyedi, teflon kapillárison történő átvitelét tanulmányoztuk. A kutatás célja a kapillárison a kezdeti beesési energiával átjutott elektronok szögeloszlásának, a kapillárisból kijutó elektronok kinetikusenergia-eloszlásának és az átviteli intenzitás időfüggésének vizsgálata volt. Az eredmények azt mutatják, hogy az elektronok nagy dőlésszögek esetén is – amikor a direkt átvitel geometriailag már nem lehetséges – átjutnak a kapillárison. Azt tapasztaltuk, hogy az átviteli áram intenzitása időben változik, és a mért spektrumban a rugalmatlanul szóródott elektronok jelentős hozama figyelhető meg. Mérési eredményeink érdekessége az a tapasztalat, hogy a kapillárisból kijutó, kis energiájú másodlagos elektronok intenzitása csak kis mértékben függ a kapilláris dőlésszögétől.

További méréseket tervezünk néhányszor 100 eV-os elektronok egyedi kapillárison történő átvitelének vizsgálatára, amelyeket rövidesen publikálni fogunk.

Irodalom

1. N. Stolterfoht, J. H. Bremer, V. Hoffmann, R. Hellhammer, D. Fink, A. Petrov, B. Sulik, *Phys. Rev. Lett.* **88** (2002) 201.
2. K. Schiessl, W. Palfinger, K. Tőkési, H. Nowotny, C. Lemell, J. Burgdörfer, *Phys. Rev. A* **72** (2005) 062902.
3. T. Ikeda, T. M. Kojima, T. Kobayashi, W. Meissl, V. Mäckel, Y. Kanai, Y. Yamazaki, *J. Phys. Conf. Series* **399** (2012) 012007.
4. A. R. Milosavljević, Gy. Víkor, Z. D. Pesić, P. Kolarz, D. Sević, B. P. Marinković, S. Mátéfi-Tempfli, M. Mátéfi-Tempfli, L. Piraux, *Phys. Rev. A* **75** (2007) 030901(R).
5. S. Das, B. S. Dassanayake, M. Winkworth, J. L. Baran, N. Stolterfoht, J. A. Tanis, *Phys. Rev. A* **76** (2007) 042716.
6. B. S. Dassanayake, S. Das, R. J. Bereczky, K. Tőkési, J. A. Tanis, *Phys. Rev. A* **81** (2010) 020701(R).
7. B. S. Dassanayake, R. J. Bereczky, S. Das, A. Ayyad, K. Tőkési, J. A. Tanis, *Phys. Rev. A* **83** (2011) 012707.
8. A. R. Milosavljević, J. Jureta, Gy. Víkor, Z. D. Pesić, D. Sević, M. Mátéfi-Tempfli, S. Mátéfi-Tempfli, B. P. Marinković, *EPL*, **86** (2009) 23001.
9. A. R. Milosavljević, K. Schiessl, C. Lemell, K. Tőkési, M. Mátéfi-Tempfli, S. Mátéfi-Tempfli, B. P. Marinković, J. Burgdörfer, *Nucl. Instrum. Meth. B* **279** (2012) 190.



**SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY
A FIZIKA BARÁTJA!**

**Támogasd adód 1%-ával az Eötvös Társulatot!
Adószámunk: 19815644-2-41**