

Report 2016 –OTKA NN-103279

Károly Tőkési

Projektvezető

Kutatási idő: 12.06.01-16.08.31

Kiemelt eredmények

Vizsgáltuk néhányszor 100 eV energiájú pozitronok egyedi kapillárison történő átvezetését. Megmutattuk, hogy pozitron esetében is felépül a vezető elektromos tér a kapilláris belső felületén, amely átvezeti és fókuszálja is a beeső nyalábot.

Elsőként vizsgáltuk lassú töltött részecskék egyedi kapillárisokon történő átvezetésének hőmérsékletfüggését. Megmutattuk, hogy a terelési folyamat optimalizálásának egyik módja a szigetelő anyag elektromos vezetőképességének megváltoztatása lehet.

Méréseinkkel először sikerült megmutatni, hogy szigetelő kapilláris képes elegendő töltést felhalmozni ahhoz, hogy a potenciálja megközelítse vagy akár túl is lépje a kV tartományt, és így valóban önszerveződő elektrosztatikus lencseként kezdjen működni.

Elsőként bizonyítottuk, hogy az ionterelődés MeV ionok esetében is megfigyelhető. Az idő múlásával az átvitel három teljesen különböző szakaszát azonosítottunk be. A nyaláb nagy hatékonyságú átvitele eredeti energia- és töltésállapotban azt bizonyítja, hogy az 1 MeV-es ionnyaláb terelése lehetséges az optimális körülmények megfelelő megválasztásával.

Vizsgáltuk az elektron átvitel viselkedését Al_2O_3 kapillárison. Kísérleti eredményeinket a makroszkopikus transzport modellel vetettük össze. A feltöltődési fázis nem szükséges elektronok esetében ahhoz, hogy átjussanak a kapillárison. A töltés folt lehet pozitív és negatív is.

Vizsgáltuk Ag, In és Sn L-héjának pozitronok által keltett röntgen keltési elméleti hatáskeresztmetszeteit 5 és 30 keV közötti bombázó pozitron energiákon.

Egyetlen platina csövön keresztül, kísérleti és elméleti módszerekkel tanulmányoztuk 200 eV-es elektronok átvitelét. Azt találtuk, hogy az elektronok transzmissziója kis beesési energiákkal még nagy dőlésszög mellett is érzékelhető.

Pozitronium és hélium atom ütközését vizsgáltuk a részecskék klasszikus pályáinak elemzésével. Meghatároztuk a domináns csatornához tartozó hatáskeresztmetszeteiket 1-5.7 a.u. sebességű pozitronium lövedék esetében.

Különböző minták esetében a rugalmasan visszaszórt elektronok energiaeloszlásának részletes elméleti elemzését adtuk meg.

15.06.01-16.08.31

A kúpos kapillárison átvezetett nyaláb eltérülését mint ideális elektrométer használtuk, amellyel a töltött részecskével kölcsönható kúpos kapilláris potenciálját monitoroztuk az idő függvényében. A kapilláris potenciáljának pontos és egyedi mérése, amit az átvezetett nyaláb intenzitása követ, a kulcsa ennek a munkának és nagy érdeklődésre tarthat számot a kapillárisokkal foglalkozó közösségre. Valójában nagyon gyakori, hogy a kúpos kapillárisokban a nyaláb átvitele hirtelen eltűnik. Ezt a tényt sok kutató megállapított már. Azonban hasznos lenne beazonosítani, hogy az átvitel blokkolódása a Coulomb-blokkolás miatt következik be (a kapilláris potenciálja egyenlő vagy nagyobb, mint az ionenergia), vagy azért, mert például az aszimmetrikus kapilláris és/vagy a nem megfelelően a nyaláb tengelyébe beállított kapilláris miatt egyszerűen a nyaláb eltérül a kapilláris kijárata felől. Az általunk elsőként bevezett technika alkalmas arra is, hogy meghatározzuk, hogy a kapilláris alkalmas-e, és ha igen akkor mikor éri el azt a potenciált, amikor az elektrosztatikus lencseként működik. A méréseinkkel először sikerült megmutatni, hogy a kapilláris képes elegendő töltést felhalmozni ahhoz, hogy a potenciálja megközelítse vagy akár túl is lépje a kV tartományt. Ez egy fontos tulajdonság, mert ha a kapilláris potenciálja megközelíti a kionófeszültség 80%-át, akkor valóban önszerveződő elektrosztatikus lencseként kezd működni, ezáltal nem csak terelve, hanem fókuszálva is a nyalábot a kapilláris kijáratára. Jóval a geometriai átvitel feletti transzmissziót lehet elérni, ezzel egy új területet nyitva az ionnyaláb-traszportban a kúpos üvegekaptillárisokkal. Végezetül, egy egyszerű modell segítségével mennyiségileg is meg tudtuk határozni azokat a kúszóáramokat, amelyek a kapilláris töltését meghatározzák. Egyértelműen megmutattuk, hogy a szekunderelektronok egy 'hamis' töltésemlegesítő csatornát jelentve hatással vannak a kapilláris töltésdinamikájára, amennyiben az nincs megfelelően leárnýékolva a szekunderelektron forrásoktól. Esetünkben, az adott bemenő nyalábintenzitásoknál ezek az elektronok megakadályozták a potenciál 600 V fölé emelkedését

Kísérleti eredményeket mutattunk be az 1 MeV energiájú proton mikronyaláb PTFE kapillárison keresztüli transzmissziójáról. Az egyedi, hengeres PTFE makrokapilláris 1 fokba volt döntve a nyaláb tengelyéhez képest. Az átvezetett nyaláb időbeli fejlődését egy Faraday-kalitka segítségével, míg az átvezetett részecskék energiaspektrumát részecskedetektorral mértük. A nyaláb eltérülését egy fluoreszcens ernyőn figyeltük meg, a töltésállapotot pedig egy elektrosztatikus eltérítő lemezpár segítségével azonosítottuk be. Az eredményeink bebizonyították, hogy az ionterelődés MeV ionok esetében is megfigyelhető, így szignifikáns transzmisszió alakulhat ki akkor is, ha a makrokapilláris minta meg van döntve és a geometriai átvitel nem lehetséges. Ez az eredmény nagy érdeklődésre tarthat számot a tudományos világban, mivel például lehetőség nyílna nagyenergiájú ionnyalábok fókuszálására passzív eszközökkel, tápegységek nélkül. Az átvezetett protonok energiaeloszlását is megmértük a kapilláris feltöltődési folyamatának különböző szakaszaiban. Az idő múlásával az átvitel három teljesen különböző szakaszát azonosítottunk be. Először, amikor a kapilláris belső falán a töltésfolt még csak elkezd kialakulni, az átvezetett protonok energiaspektruma csak rugalmatlan hozzájárulásokat tartalmazott. Ezt a minta atomjain történő rugalmatlan szóródás okozta. Később, a rugalmas csúcs is megjelent és egyre szignifikánsabbá vált. Végül pedig, a harmadik szakaszban, amikor a falon lerakott töltés dinamikus egyensúlyba került, stabil iontereléssel történő átvezetést tapasztaltunk. A domináns hozzájárulás az átvezetett protonok energiaspektrumában nem szenvedett energiavesztéséget. Az egész nyaláb megtartotta az 1+ töltésállapotát, azaz protonok maradtak, nem pedig semleges H atomok. A nyaláb nagy hatékonyságú átvitele eredeti energia- és töltésállapotban azt bizonyítja, hogy az 1 MeV-es ionnyaláb terelése lehetséges az optimális körülmények megfelelő megválasztásával.

Fémek optikai konstansainak abszolút kinyerési módszerét mutattuk meg a mért visszaszórt elektron energiavesztési spektrumokból (REELS) az általunk kifejlesztett úgynevezett fordított Monte Carlo (RMC) technikával. A módszer az electron felszín közeli rugalmas és rugalmatlan szórásának közvetlen fizikai modellezésén alapszik, ahol a felületi gerjesztése fontos ahhoz, hogy teljesen leírassuk az elektron energiavesztési jellegét a rugalmas csúcs intenzitásához képest. Az oszcillátor paraméterek optimalizálását végeztük el – amely az energiavesztési függvényben (ELF) jelentek meg, hogy leírják az elektron rugalmatlan szórását a tömbi és felületi gerjesztések hatására – folytonos közelítést alkalmazva a mért és szimulált REELS spektrumok összehasonlítása során. A vas ELF-jét és a hozzá tartozó optikai állandókat a REELS spektrumokból kaptuk meg, melyeket 1000, 2000 és 3000 eV energián mértünk. A meghatározott optikai adatok érvényességét az f- és ps-összegzési szabályokkal igazoltuk, megmutatva a jelen közelítés pontosságát és alkalmazhatóságát. Az adatainkat más forrásokból származó, korábbi optikai adatokkal is összehasonlítottuk.

Egy klasszikus pályákon alapuló Monte-Carlo programot fejlesztettünk ki, amellyel 1 MeV H⁺ mikronyaláb átvezetését tanulmányoztuk szigetelő mikrokapillárison keresztül. A számításainkat a saját kísérlet elrendezésünknek megfelelően végeztük el. A fókuszált protonnyalábot a kapilláris bejáratától indítottuk 1 fokos beesési szög alatt. A nyaláb először a kapilláris belső falának ütközött és a protonok vagy beimplantálódtak a kapilláris falába vagy visszaszóródtak, főleg a nyaláb iránya felé. A falon kialakuló töltésfolt a Coulomb taszításnak köszönhetően elkezdte eltéríteni a nyalábot. Egy bizonyos mennyiségű töltés felhalmozódása után az eltérítés szöge elég nagyvá vált, hogy áterelje a protonokat a kapillárison a felülettel való ütközések nélkül. A kapilláris felszínén, annak véges elektromos ellenállása miatti töltésvándorlást figyelembe vettük. A jelen munkában az átvezetett nyaláb időbeli fejlődését vizsgáltuk meg különböző bejövő intenzitások esetében. Azt találtuk, hogy kis intenzitások esetén az átvitel hatékonysága a bejövő nyalábintenzitástól függ. Egy adott intenzitástartományban stabil, nagy határfokú átvitelt tapasztaltunk, ami a kísérleti eredményeinkkel összhangban van. Egy kritikus intenzitás fölött, azonban, az átvitel leesett a töltésfolt túltöltődése miatt.

Monte-Carlo módszeren és klasszikus transzport elméleten alapuló, realiztikus számítógépes szimulációt végeztünk el elektronok platina (Pt) kapillárison keresztüli transzmissziójának meghatározására (átmérő $d=3.3\text{mm}$, hosszúság $l=48\text{mm}$). A szimulációban mind az elsődleges elektronok Pt felszínnel történő rugalmas és rugalmatlan szóródása, mind pedig a kapilláris falából kilépő másodlagos elektronok pályáit figyelembe vettük. Annak érdekében, hogy a szimulált és kísérleti energiaspektrumok jól egyezzenek, a sokszoros szóródáson keresztülment pályák modellezése a vártnál nagyobb súllyal szerepel. Kiváló egyezést találtunk a szimulált elektron-spektrumok és a jelenlegi kísérleti adataink között 200 eV-os primer elektronokra.

Elméleti úton vizsgáltuk a gyors, nagy töltésű ionok által indukált elektronemissziót dimerből. A számításokra az időfüggő Schrödinger egyenlet kétdimenziós rácson történő megoldását használtuk. Numerikus számítások, az elektronemisszió előtt, a sokszoros szóródási utakhoz kapcsolódó gazdag struktúrákat mutatnak. Ezt a Young-típusú oszcillátorra szuperponált további nagyfrekvenciájú oszcillációk jelenléte igazolja a megfigyelt electron-kibocsátási spektrumban. Nem ez az eset áll fenn, amikor a számításokat a szuperpozíció alapelveire alapozva végezzük el, amelyben a végső hullámfüggvény csak egy koherens összege az azt alkotó hullámfüggvényeknek, amelyek két független atom elektronemissziója ír le. Ebben a közelítésben csak egy közvetlen elektronemissziós folyamatot veszünk figyelembe. Azt találtuk, hogy a sokszoros szóródási utakból származó hozzájárulások megváltoztatják a dinamikus elektronemissziós folyamatot, és ezáltal a fenti alapelv inkorrekt alkalmazhatóságát

mutatják, összhangban azzal az egyszerű háromréses interferencia kísérletben találtakkal, amelyet R. Sawant et al publikált [Phys. Rev. Lett. 113, 120406 (2014)].

Antiproton lövedék energiavesztési mechanizmusait vizsgáltuk He gázban, nagy pontosságú ab initio számításokkal. Kiszámítottuk a teljes energiavesztési hatáskeresztmetszetet a lövedékenergia függvényében, az energiavesztési hatáskeresztmetszetet minden egyes disszipációs csatornára (egyszeres és kétszeres ionizáció, gerjesztés), a teljes és részleges (az energia disszipációs csatornán túli) stragglng hatáskeresztmetszeteket a lövedékenergia függvényében. Azt találtuk, hogy az egyszeres ionizáció a domináns csatorna. A stragglng hatáskeresztmetszet maximuma a fékeződési hatáskeresztmetszethez képest nagyobb energián figyelhető meg. Kis lövedékenergián a Barkas-Andersen korrekciók szignifikánsak.

Az időfüggő Schrödinger egyenlet közvetlen megoldásával atomok ionizációját vizsgáltuk (H, He, Ne, Ar) néhány ciklusú XUV lézerekkel. Érdeklődésünk az intra-impulzus interferencia hatásainak vizsgálatára fókuszált a hullámfüggvény dinamika szintjén, ahol részletesen tanulmányozzuk, hogy milyen hatással van az interferencia mintázatra az azt határoló Coulomb potenciál alakja és erőssége.

Egy kiterjesztett, fordított Monte Carlo módszert mutattunk be, amellyel ultravékony filmek és szilárdtestek optikai állandói határozhatók meg. Az eredményeink azt mutatják, hogy a módszer jól működik kísérletileg mért visszaszórt electron energiavesztési spektrumokból (REELS) történő információk kinyerésére. 100 nm-es nickel film energiavesztési függvényét (ELF) határoztuk meg egy relatív nagy energiavesztési tartományban 0-200 eV-ig. Számításaink jó egyezésben vannak mások adataival.

1 MeV-es proton mikronyaláb terelését vizsgáltuk kúpos, szigetelő makrokapillárison keresztül. Az átvezetett nyaláb intenzitását és az átvezetett részecskék energiaeloszlását mértük. Azt találtuk, hogy a nyaláb szignifikáns része képes átjutni a kapillárison jelentős energiavesztés nélkül, ami azt mutatja, hogy a kapillárisban jól definiált elektromos mező épült fel.

Vizsgáltuk a hélium autoionizációs állapotainak elektronütközés hatására történő gerjesztését, az azt követő bomlásukat ugyanabba a He⁺ 1s-1 végső ionállapotba, és ezen folyamatok interferenciáját. Munkánkban a hélium 2s2(1S) és 2p2(1D) autoionizációs állapotainak kicserélődési interferenciájára irányult. Egy kritikus energia körül gyors változásokat figyeltünk meg a CIS (állandó ion állapot) spektrumokban, amely jelzi a kicserélődési interferencia hatások jelenlétét.

Az elmúlt években növekvő kutatási érdeklődés irányult a csontminták komponenseinek pontos meghatározására. Ezek a kutatások mind a csontban lévő fő, mind pedig a nyomelemekre fókuszáltak. A területen végzett munkákat nagyban motiválja az, hogy a különböző fő és nyomelemek jó nyomjelzői lehetnek különböző betegségeknek. Jól ismert tény másrésről, hogy a testben a csontok a toxikus elemek végső állomásai. Ezért lehetőségünk van azonosítani és tisztázni az állati csontokban különböző környezeti hatásokat. Egy vizsgálatsorozatban a húsevő és növényevő állatok csontösszetételének hasonlóságait és különbségeit kutattuk. Infravörös spektroszkópiát használtunk a csontok ásványi tartalmának és kémiai összetételének meghatározására. A csontok nyomelemeinek meghatározására induktívan csatolt plazma optikai emissziós spektrometriát (ICP-OES) használtunk. Őz és borz koponyát vizsgáltunk. Azt találtuk, hogy az őz koponyában a környezeti szennyezés több jele

mutatható ki, mint a borz esetében. Ez egy közvetlen bizonyítéka annak, hogy a növényevő állatok a levelel lévő kemikáliákkal közvetlenebb kapcsolatban állnak.

Vékony, kétrétegű Au-C mintáról rugalmasan visszaszórt elektronok energiaeoszlásának részletes elméleti elemzését adtuk meg. Az elemzés Monte Carlo szimulációra épül, ami figyelembe veszi a célatom magján történő visszaszóródást és a Doppler hatást reflexiók és transzmissziós geometria esetében fix, 44.3° szórás szögénél és 40 keV primer energiánál. A relativisztikus korrekciót is figyelembe vettük. A kísérletileg mérhető energiaeoszláson kívül a szimuláció sok más független eloszlást is kiszámolt attól függően, hogy hány rugalmas szórás (egy-, és a többszörös szórás különböző módjai) történt. Továbbá részletes analitikus számítással megadtuk az egyszeres szórás fő paramétereit ideális szórás geometriát, azaz végtelenül kis szögtartományt, és a valódi, véges szögtartományt használva. Eredményeinket négy különböző geometria és rétegvastagság kombinációra adtuk meg a rugalmas csúcs intenzitás arányokra a csúcscsökkentésekre és kiszélesedésekre. Míg a csúcs intenzitásának aránya az arany és szén rétegekre transzmisszióban igen jó összhangban van az egységes szórás modell eredményeivel, addig különösen nagy eltéréseket kaptunk reflexióban. A csúcsok elkülönülése a geometria és a rétegvastagság függvényében kisebb, a csúcsok szélessége nagyobb, mint az a névleges primer energia, szóródás szög, és az atomok átlagos kinetikus energia értékekből várható. Azt is megmutattuk, hogy a csúcsok aszimmetrikusak még az egységes szórás esetében a véges szögtartomány figyelembe vételével. Végül a szimulációink eredményeit kísérleti adatokkal hasonlítottuk össze. A számított és kísérleti adatok igen jó egyezést mutatnak

Bizonyítottuk, hogy az attoszekundumos csíkozódási technika fotoemisszió során képes energetikailag degenerált állapotok megkülönböztetésére. Mint egy tipikus eset, vizsgáltuk a közel-szabad elektron fém, a Mg plazmon energiavesztési spektrumát. Megmutattuk, hogy a fotoelektron spektroszkópia és a csíkozódási technika egyesítése lehetőséget ad az „intrinsic” és extrinsic” plazmonkeltési valószínűségek igen nagy pontossággal való meghatározására. Továbbá, a karakterisztikus elektron transzport hossz is tesztelhető angstrom pontossággal. Számításainkkal igazoltuk, hogy ez a módszer alkalmas sokkal bonyolultabb rendszerek soktest válaszainak részletes vizsgálatára.

Kifejlesztettünk egy kétlépcsős szemiklasszikus modellt ionizációs folyamatok vizsgálatára erős mezők esetére, amikor figyelembe vesszük a térbeli interferenciát az alagút ionizációval szabaddá váló elektronra. A fázistér dinamikát a klasszikus pályájú Monte Carlo módszer keretein belül kezeljük, míg a fázist a szemiklasszikus modellel közelítjük. Megmutattuk, hogy a megfelelően választott kezdeti impulzuseloszlással az alagút ionizáció első lépésekor, modellünk igen jó egyezést ad a Schrödinger egyenlet egzakt megoldásával kapott eredményekkel. A két dimenziós fotoelektron impulzus eloszlások, az elektron spektrumok és szögeloszlások a megfelelő kvantum eredményekkel egyeznek meg.

4.06.01-15.05.31

Egyetlen platina csövön keresztül, kísérleti és elméleti módszerekkel tanulmányoztuk 200 eV-es elektronok átvitelét. Azt találtuk, hogy az elektronok transzmissziója kis beesési energiákkal még olyan nagy dőlésszög mellett is érzékelhető, ahol a cső geometriailag nem áteresztő. A transzmisszió a dőlésszög növelésével exponenciálisan csökken. A cső mögött detektált elektronok energia spektruma rugalmatlan szóródásból és másodlagos elektron emisszióból álló

alacsony energiás tartományt is tartalmaz. A mért spektrumok jó egyezést mutatnak a síkfelületen végzett számításokkal, ami tovább segít megérteni kölcsönhatást.

Ahhoz hogy meg tudjuk vizsgálni külső elektromos mező önszerveződő töltött foltokra gyakorolt hatását egy makroszkopikus kapilláris belsejében, megterveztünk és megépítettünk egy elektródákkal bevont makroszkopikus üveg kapillárist. Kidolgoztunk módszereket, hogy Cu elektródákat tudjunk rögzíteni megfelelő vezetékezéssel kicsi üveg kapillárisokra, amit egy Al tartóba rögzítettünk. A konstrukció sikeresen átment a nagyfeszültségű teszten UHV körülmények alatt. 'Poisson Superfish' programmal végzett számítások megmutatták, hogy a kapillárison belül elő lehet állítani lencse-hatásokat. Ezzel a mintával kísérleteket tervezünk a közel jövőben, amik remélhetőleg hozzájárulnak az irányított jelenség fundamentális jobb megértéséhez és elvezetnek gyakorlati alkalmazásokhoz is.

Alacsony intenzitású alacsony energiájú egyszeres töltésű nitrogén ionok egyedi kapillárisokon történő vezetését vizsgáltuk. Az időbeli intenzitás lefutás mérések megmutatták, hogy az irányítás erősíti a nyalábot, de ez az erősítés minimális. Arra is rámutattunk, hogy az irányítás még a nyaláb pikoamper alatti intenzitásánál is előfordul. Habár a minimálási intenzitás, amit vizsgálni tudtunk ezzel a módszerrel még mindig több nagyságrenddel nagyobb, mint amit előző pozitronos tanulmányainkban használtunk, a kérdés, hogy pozitronok esetében is stabil vezetés érhető-e el még mindig kérdéses.

Kiszámoltuk Ag, In és Sn-re az L-héj ionizációs hatáskeresztmetszetét két klasszikus mechanikákra épülő módszerrel. A BEA számításokat különböző sebesség eloszlásokkal végeztük el. A „szabad esés modell”, a nem relativisztikus és relativisztikus hidrogén modelleket és a HFR eljárást használtuk erre a célra. A CTMC számítások három test rendszerhez készültek, a BEA számításokból kiderült, hogy a relativisztikus és a hullámfüggvény hatás jelentéktelen szerepet játszik az L-héj ionizációs folyamatban pozitron lövedék esetében. A BEA számítások jó egyezést mutatnak a kísérleti eredményekkel és más elméleti modellekkel. A CTMC számítások jól egyeznek a DWBA számításokkal és a mért értékekkel.

250 eV-es elektronok platina felületről történő visszaszóródását vizsgáltuk Monte Carlo módszerrel. A spektrumokat 150 eV és 250 eV közötti energia tartományban számítottuk ki. Figyelembe vettük mind a rugalmas és rugalmatlan ütközéseket a szimuláció alatt, figyelembe vettük a visszaverődött elektron energia veszteségeloszlását az elsődleges és másodlagos elektronoknak. Meghatároztuk a Pt mintába behatoló elektronok maximális behatolási mélységének eloszlását is.

Kimutattuk, hogy az atomi ütközések klasszikus megközelítéssel való vizsgálata igen jól reprodukálja a N⁺ ionok argonnal való kölcsönhatása által kibocsátott elektronok energiaspektrumát. A Fermi-shuttle típusú ionizáció jelei felismerhetőek az elektron spektrumban, ami jelzi, hogy ez a többszörös szóródási mechanizmus fontos a kis energiájú ion-anyag kölcsönhatások során keletkezett elektronok energiájának leírásában. Ezek az elektronok jelentősen hozzájárulhatnak a plazma további gerjesztődéséhez. Az ennek megfelelő adatok bekerülnek az ITM adatstruktúrába.

1 keV-es egyszeresen töltött nitrogén-ionok kúp kapillárison keresztül történő transzmisszióját vizsgálták kísérletileg és elméletileg. Kúp alakú, makroszkopikus dimenziójú kapillárisokon áthaladó kis energiájú ionok pályáira vonatkozó klasszikus Monte Carlo szimulációk jól bizonyítják, hogy a kis energiájú és intenzitású ionnyalábot irányítani és fókuszálni lehet makroszkopikus szigetelő kapillárisokkal. Továbbá kimutatták, hogy a transzmissziós arány emelkedik a nyaláb intenzitásával és elérhető egy stabil rendszer, ami megegyezik a kísérletekben feltárt eredményekkel. Végül megmutattuk, hogy a stabil transzmissziós rendszerben a nyaláb egy körülbelül 15 mikrométer átmérőjű pontra fókuszálódik.

1 MeV-es proton mikronyaláb transzmisszióját vizsgáltuk paralel síklemezek közötti áthaladás esetén. Három különböző anyagot használtunk a kísérleteink során. Szigetelőként politetrafluoretilént és boroszilikát üveglemezeket, és arany bevonatú üveget vezetőként. A lemezek felületei merőlegesek voltak a nyaláb tengelyére és az egyik lemezt közelítettük a nyalábhoz. Az energiaeloszlást és a kibocsátott nyaláb eltérülését mértük a minta nyalábhoz viszonyított távolságának függvényében. Azt találtuk, hogy szisztematikus eltérés van a fémes és a szigetelő minták viselkedésében. A proton nyaláb szignifikáns elhajlást mutatott a minta felülete felé, amikor vezető anyagot használtunk. Az üveg és politetrafluoretilén lemezek esetén a nyaláb az ellenkező irányba tért el és a protonok nem szenvedtek szignifikáns energiavesztéset, ami az irányító hatás közvetlen következménye.

1 MeV-es proton mikronyaláb és egyetlen egyenes szigetelő mikropillárisal esetében vizsgáltuk az ion átvezetési jelenség feltöltési folyamatához szükséges időt. A mintának a protonnyaláb tengelyéhez viszonyított dőlésszöge 1° volt, ami egy geometriailag nem átlátszó rendszert eredményezett a kapilláris nagy mérete és a fókuszált protonnyaláb kis elhajlása miatt. A kibocsátott áram, a beeső nyaláb intenzitásához volt normálva a 8-150 pA tartományban és ezt az idő függvényében mértük. A transzmisszió minden esetben 25% körül kezdődött. A maximális kibocsátás (90% a beeső áramhoz viszonyítva) eléréséig eltelt időt megmértük. Azt találtuk, hogy a maximális transzmisszió eléréséhez szükséges idő 90% körül reciprokálisan emelkedik beeső sugár áramerősségével.

A He atom egyszeres és kétszeres ionizációját vizsgáljuk antiprotonnal való ütközése során, ahol a lövedék energiája 3 keV-től 1000 keV-ig változott. Pontos hatáskeresztmetszeteket kapunk a Schrödinger egyenlet két, teljesen korrelált elektronra vonatkozó, időfüggő direkt megoldása által. A hatáskeresztmetszetek jó egyezést mutatnak a létező kísérleti eredményekkel. Teljes ab initio számításokat végeztünk kétszeresen differenciális hatáskeresztmetszetek meghatározására 10 és 100 keV ütközési energiánál és összehasonlítjuk azokat a klasszikus Monte Carlo szimuláció eredményeivel. Ezekben a differenciális hatáskeresztmetszetekben megkülönböztetjük a kétszeres ütközési csúcsot az anticusp minimumtól. Továbbá rámutattunk, hogy az ütközés utáni kölcsönhatás erősen gátolja az előre szögben történő elektronemissziót.

Kísérletileg vizsgáltuk 1 MeV-es proton mikronyaláb transzmisszióját szigetelő kapillárison történő áthaladásakor. Egyetlen, henger alakú, mikrométeres nagyságú PTFE kapillárist használtunk céltárgyként. A kapilláris a protonnyalábhoz képest meg volt döntve, így

geometriailag nem áteresztő volt a kapilláris méretei és a nyaláb kapilláris tengelyéhez képesti döntése miatt. A továbbított nyaláb töltöttségi állapotát, az elhajlást és az intenzitás időbeli alakulását vizsgáltuk. Azt találtuk, hogy a feltöltési folyamat után egy stabil átvitel alakul ki. A átvitt nyaláb elérte vagy meghaladta a beeső nyaláb intenzitásának a 90% -át. A nyaláb elhajlása megegyezett a kapilláris dőlésszögével. A továbbított részecskék töltése 1+ maradt, mert így térülhettek el az elektrosztatikus mezőben. Ez az irányító hatás közvetlen bizonyítéka MeV / amu energián.

Vizsgáltuk a H atom ionizációját különös tekintettel az interferencia effektusok figyelembevételével, intenzív néhány ciklusú lézerpulzusokkal, mint a lézer impulzus hordozó-burkoló fázisának (CEP) a függvénye. A kontinuum elektronok eloszlásában, kétféle interferencia hatás figyelhető meg, nevezetesen az időbeli és térbeli interferencia. A térbeli interferencia során egy időben elektronikus hullám csomagok emittálódnak, de a különböző utak megtétele után találkoznak ismét és egy mérhető interferencia mintához vezet az elektron spektrumban. Ez úgy is értelmezhető, mint közvetlen és a szórt hullám közötti interferencia, és a térbeli interferencia minta, mint a holografikus letérképezése (HM) a céltárgynak. A HM mintát erősen befolyásolja a hordozó-burkoló fázis, a lézer impulzus alakján keresztül. Itt azt vizsgáltuk, hogyan módosítja a CEP a HM minta alakját és megtaláltuk az optimális CEP-et a HM megfigyelésére.

13.06.01-14.05.31

Néhány 100 eV-es energiájú elektronok egyedi, Teflon kapillárison történő átvitelét vizsgáltuk. Ezen kutatás célja a kapillárison a kezdeti, beesési energiával átjutott elektronok szögeloszlásának, a kapillárisból kijutó elektronok kinetikus energia eloszlásának és az átviteli intenzitás időfüggésének a tanulmányozása volt.

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 feltöltődését. Az MTA Atomki-ban készített mintát egy alumínium mintatartóba rögzítettük ultra nagy vákuum kompatibilis ragasztó segítségével.

Az elektron spektrométert, melyet általában atomi ütközések vizsgálatára használnak, átépítettük, hogy alkalmas legyen kapillárisok elektronterelési tulajdonságainak vizsgálatára. Az elektronágyú segítségével egy jól kollimált elektronnyaláb állt a rendelkezésünkre, melynek átmérője és szögdivergenciája 200 eV energiánál körülbelül 1 mm illetve 1° , a nyaláb energiaszórása kevesebb, mint 0,5 eV volt. Az elektronágyú forgatható, így változtatni lehetett az elektronnyaláb becsapódási szögét a kapilláris tengelyéhez képest. Ezt a szöget nevezzük a kapilláris dőlésszögnek. A kapillárisból kijutó elektronokat egy dupla hengertűkörös típusú energia analizátorra fókuszáltuk, amit a detektor, egy egycsatornás elektronsokszorozó követ. Az eredmények azt mutatják, hogy az elektronok nagy dőlésszögek esetén is, amikor a direkt átvitel geometriailag már nem lehetséges, átjutnak a kapillárison, ezáltal igazolva az átviteli tér felépülését. Mindezek mellett azt tapasztaltuk, hogy az átviteli áram intenzitása időben változik, és a domináns rugalmas csúcs mellett a rugalmatlanul szóródott elektronok jelentős hozama is megfigyelhető. A mérési eredményeink érdekessége az a tapasztalat, hogy a kapillárisból kijutó,

kis energiájú másodlagos elektronok áramának intenzitása csak kis mértékben függ a kapilláris dőlésszögétől.

További méréseket tervezünk néhányszor 100 eV-es elektronok egyedi, fém kapillárison történő átvitelének vizsgálatára. Ezen kísérletekhez a minták elkészültek, és az első tesztmérések is megtörténtek. Ezen méréseket kívánjuk folytatni és az eredményeket hamarosan publikálni.

A mérési eredmények értelmezésére egy új Monte Carlo program kifejlesztésébe is belefogtunk. Célunk főleg a fémes kapillárisok és elektronok kölcsönhatásainak tanulmányozás. Első számításainkban síkfelületű Pt mintáról visszaszóródott elektronok veszteségi spektrumait tanulmányoztuk. Eredményeinket kísérleti eredményekkel is össze fogjuk hasonlítani.

A nikkelt nagy energiafeloldású visszaszórt elektron energiaveszteségi spektrumait (REELS) mértük. A REELS mérések rögzített fékezési arány mellett történtek. Minden esetben olyan fékezési arányt választottunk, hogy a rugalmas csúcs energiánál az analizátor átmenő energiája 100 eV legyen. Az elektronok beesési szöge a minta felületi normálisához képest 50° , detektálás szöge 0° volt. A mérések során a mérőkamrában a nyomás legalább 1.5×10^{-9} mbar volt. A REELS mérésekből származó spektrumok alapján, valamint egy újonnan fejlesztett Monte Carlo módszerrel, meghatároztuk a nikkelle vonatkozó gerjesztési valószínűségeket. Eredményeink nagy mértékben növelik ismereteinket a Ni optikai módszerekkel meghatározott optikai tulajdonságairól. Az általunk, REELS-szel mért energiáknál a rugalmatlan szóródási szabad úthossz néhány nanométer, ami a szilárd testek felület közeli szerkezetének vizsgálatát teszi lehetővé, ezáltal alkalmas nanoszerkezetek elektronszerkezetének és fizikai tulajdonságainak a tanulmányozására.

Az elmúlt évtizedekben az atomok pozitron bombázás hatására bekövetkező ionizációját mind elméleti mind kísérleti módszerekkel igen széles körben tanulmányozták. A legtöbb esetben azonban nemesgáz atomokat választottak célatomnak. Az olyan új, napjainkban végzett kísérletek, mint például az antianyag előállítása, sok más atomra vonatkozó hatáskeresztmetszet adatot is megkövetelnek.

Ezért vizsgáltuk Ag, In és Sn L-héjának pozitronok által keltett röntgen keltési elméleti hatáskeresztmetszeteit, ahol a bombázó pozitron energiája 5 keV és 30 keV közötti energiatarományban volt. Elméleti számításainkban a háromrészes klasszikus pályájú Monte Carlo módszert és a bináris ütközési modellt alkalmaztuk. Azt találtuk, hogy a jelenlegi ütközési rendszer klasszikus leírásával kapott hatáskeresztmetszet értékeink meglehetősen jó egyezést mutatnak a közelmúltban mért adatokkal.

A szigetelő kapillárisoknál megfigyelhető ionterelés során a kapillárisba érkező ionok eredeti töltésállapotukat megőrizve, jelentős energiaveszteség nélkül jutnak át a mintán. A jelenség akkor is kialakulhat, ha a kapilláris a nyalábbal olyan nagy szöget zár be, hogy az geometriailag már átlátszatlan a számára.

Mi a kísérleti körülményeket leegyszerűsítve, kapillárisok helyett síkfelületekkel végeztünk méréseket. A sík lemezek felszínét a nyaláb tengelyével párhuzamosan állítottuk be, és a lemezeket a nyaláb felé közelítve, a távolság függvényében vizsgáltuk a nyaláb eltérülését. Azt tapasztaltuk, hogy az 1 MeV-es proton mikronyaláb a kialakuló tükröltés hatására jelentős eltérést szenved. Emellett tanulmányoztuk a lemezek között átjutó nyaláb energiaspektrumát különböző anyagú lemezek esetében. A szigetelő és vezető anyagú minták terelési tulajdonága között szisztematikus különbségeket figyeltünk meg.

12.06.01-13.05.31

Vizsgáltuk néhányszor 100 eV energiájú pozitronok egyedi kapillárison történő átvezetését. Első kísérleteink azt mutatják, hogy a pozitronok (elektronok) egy része képes átjutni a kapillárison még akkor is, ha azt a geometria feltételek nem tennék lehetővé. Megmutattuk, hogy az átjutott részecskék száma a kapilláris dőlésszögével csökken. Azonban további vizsgálatok szükségesek annak eldöntésére, hogy a pozitronok hasonlóan viselkednek-e, mint a lassú nagytöltésű ionok. További kísérleteket elvégzését tervezzük. A kísérleti megfigyelések értelmezésére elméleti számításokat is végeztünk. Számításaink a részecskék klasszikus pályáinak elemzésén alapultak. Megmutattuk, hogy bár a korábbi mérések során nagy töltésű ionok esetében használt, a kapillárisba bejutó ionok áramához képest a pozitron forrás jóval alacsonyabb intenzitású volt, ez a kicsi intenzitás már elegendő arra, hogy felépüljön a vezető elektromos tér a kapilláris belső felületén.

Elsőként vizsgáltuk lassú töltött részecskék egyedi kapillárisokon történő átvezetésének hőmérsékletfüggését. A terelési folyamat optimalizálásának egyik módja a szigetelő anyag elektromos vezetőképességének megváltoztatása. Az üveg elektromos vezetőképességének erős hőmérséklet függése (közel exponenciális-függés) a kulcsa a terelési mechanizmus szabályozásának, amely segítségével csökkenthető az átvezetésnek az áramingadozásból következő instabilitása.

A hőmérsékletfüggés tanulmányozása új lehetőségeket nyit a terelési jelenség mechanizmusának, a kapilláris belső felületén történő töltéscsúcs felépülésének és megszűnésének még alaposabb megértéséhez. Emellett a hőmérséklet változtatásával lehetőség nyílik az ionterelés optimalizálására, aminek a gyakorlati alkalmazásban lehet nagy szerepe. A hőmérsékletfüggés vizsgálatához egy teljesen új, hűthető-fűthető mintatartót terveznünk és építettünk meg, amelyek úgy működnek, mint egy kemence. Két vezető, réztömb teljesen körbeveszi a kapillárist, ezáltal egyenletes hőmérsékletet biztosítva annak teljes felülete mentén. A réztömbök hőmérsékletét K-típusú hőelemmel mértük. Az egyes réztömbök melegítését koaxiális rozsdamentes acél fűtőelemekkel biztosítottuk. A fűtés teljesítménye PID (proportional, integral, derivate) szabályozóval történt. A minta hűtését egy réz összekötéssel valósítottuk meg, amely a mérőkamrán kívül egy cseppfolyós nitrogén tartályhoz csatlakozott. Az ily módon kialakított rendszerrel -30°C és 90°C közötti tartományban tudtuk változtatni a kapilláris hőmérsékletét. Ez a speciális mintatartó lehetővé teszi a terelési jelenség pontos és reprodukálható vizsgálatát.

Megmutattuk, hogy a kapilláris hőmérsékletének megváltoztatásával több nagyságrenddel tudjuk változtatni a boroszilikát üveg elektromos vezetőképességét. Ezáltal tanulmányozható a vezetőképesség hatása a kapilláris belsejében végbemenő töltésfolt felépülésére és a kisülés folyamatára.

Bebizonyítottuk, hogy az üveg hőmérséklete nagymértékben befolyásolja a kapillárison át történő ionáramlást, aminek hatása kompenzálható a bemenő ionáram szabályozásával. Az ionterelés állapota az alacsony hőmérsékleten bekövetkező ionterelés blokkolásától, a szobahőmérsékleten létrejövő maximális hatékonyságú átvezetésen át, az átvezetés teljes megszüntetéséig szabályozható.

Vizsgáltuk az elektron átvitel viselkedését Al_2O_3 kapillárison. Kísérleti eredményeinket a makroszkopikus transzport modellel vetettük össze. A lassú nagytöltésű ionok viselkedéséhez képest eltéréseket találtunk. A feltöltődési fázis nem szükséges elektronok esetében ahhoz, hogy átjussanak a kapillárison. A töltés folt lehet pozitív és negatív is. Az elektron átvitelt a többszörös kisszögű felületi szórások is befolyásolják.

Az MTA Atommagkutató Intézet proton mikronyaláb csatornáját alkalmassá tettük egyedi kapillárisok és protonok kölcsönhatásának vizsgálatára. A kapillárisokat az erre a célra tervezett kapilláris tartóban helyeztük el. Több kapilláris befogására alkalmas a mintatartó. Így a mintakamra megbontása nélkül több kapillárison is tudunk méréseket végezni. A kapilláris végen kilépő ionok töltés szeparálására eltérítő lemez párt szereltünk fel.

Elsőként vizsgáltuk 1 MeV proton mikronyaláb terelődési mechanizmusát különféle egyedi, szigetelő mintákon keresztül. Elsőként vizsgáltuk az átjutott protonok energia eloszlását.