



*Magasabb rendű folyamatok foton- és töltött részecske-atom
ütközésekben*

*Higher-order processes in photon- and charged particle-atom
collisions*

doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Ricsóka Tícia

Debreceni Egyetem
Természettudományi Kar
Debrecen, 2007

Készült:

A Magyar Tudományos Akadémia
Atommagkutató Intézetének
Atomi Ütközések Osztályán

Témavezető:

Dr. Kövér Ákos

Bevezetés

Napjainkban az elektronspektroszkópai módszereket széles körben alkalmazzák atom- és molekulaszervezeti vizsgálatokra ill. felületanalitikai célokra. Különböző gerjesztő források alkalmazásával az atomok és molekulák ill. a lejátszódó kölcsönhatások más és más tulajdonságai tanulmányozhatók. A mérési módszerek és berendezések fejlődése az atomi folyamatok jobb megismerését és az elméleti modellek egyre pontosabb ellenőrzését teszi lehetővé.

A foton illetve töltött részecske bombázást követő elektronemisszió kétszeresen differenciális hatáskeresztmetszetének mérése egy nagyon érzékeny módszer az ionizációs folyamatok vizsgálatára. Az ilyen típusú mérések hagyományos berendezések alkalmazásával meglehetősen időigényesek és nehézkesek. Az elmúlt két évtizedben az ATOMKI-ban számos olyan speciális elektrosztatikus elektron spektrométert fejlesztettek ki, amelyek alkalmasak a mintából kilépő elektronok energia- és szögeloszlásának egyidejű analizisére. Ezek használata nemcsak a mérési időt csökkenti, hanem jelentősen megnöveli az adatok megbízhatóságát. A berendezések nagy térszögének köszönhetően kis valószínűségű (pl. másodrendű) folyamatok is megbízhatóan tanulmányozhatók.

A dolgozatomban kétszeresen differenciális hatáskeresztmetszet mérésekben elért eredményeimet ismertetem, különös tekintettel a magasabb rendű kölcsönhatásokból és a több lépcsőben végbemenő folyamatokból származó effektusokra. A fotoionizáció során kilépő fotoelektronok kétszeresen differenciális hatáskeresztmetszetében az elektromos dipól (E1) és a magasabb rendű vagy nondipól (E2, M1) járulékok fotonenergia-függését vizsgáltam lineárisan polarizált szinkrotron sugárzás alkalmazásával. A szögeloszlást meghatározó anizotrópia paraméterek fotonenergia-függéséből következtetni lehet az atomok sokelektronos tulajdonságaira és a csatorna-kölcsönhatások fontosságára. Vizsgáltam ion-atom, ion-molekula és molekulaion-atom ütközésekben szabaddá vált elektronok többszörös szóródását a céltárgy és a lövedék Coulomb-terén (Fermi-féle gyorsítási folyamat) a céltárgy atomszámának függvényében, kiemelt figyelemmel kísérve a magasabb rendű (háromszoros, négyszeres szórással járó) gyorsítási szekvenciákat.

Az értekezésem felépítése a következő: A 2. fejezetben tárgyalom a sokelektronos atomok leírására használt elméleti közelítéseket ill. azokat az atomi ionizációs, gerjesztési és átrendeződési folyamatokat, amelyek szorosabban kapcsolódnak az általam vizsgált területhez. Bemutatom a Fermi-féle gyorsítási mechanizmust és a leírására leggyakrabban használt klasszikus pályájú Monte-Carlo (CTMC) közelítést. Ez a fejezet tartalmazza még a munkámhoz kapcsolódó irodalom rövid áttekintését is. A 3. fejezetben a mérésekhez használt berendezéseket (gerjesztő források és elektron spektrométerek) tekintem át. Végül a 4. fejezetben ismertetem az eredményeimet, amelyek egyrészt a fotoelektronok szögeloszlását jellemző anizotrópia paraméterek (β , γ és δ) fotonenergia-függésének vizsgálatával, másrészt az ion-atom, ion-molekula és molekulaion-atom ütközésekben kilépő elektronok többlépcsős Fermi-gyorsításával (magasabb rendű gyorsítási szekvenciákkal is) és ezek következményeivel kapcsolatosak.

Eredmények

1) A fotoelektronok szögeloszlását az ESA-22 elektrosztatikus elektron spektrométerrel mértem, amelynek mérési geometriája jelentősen eltér a hagyományos mérőrendszerekétől, ezért a korábbiaktól eltérő intenzitás-kalibrálási módszert kellett kidolgozni. A vizsgálatokat a foton polarizációs és impulzus vektora által kifeszített síkban végeztem, ahol az összes anizotrópia paraméter megfigyelhető. Korábban ebben a síkban nem történtek mérések, így a fotoelektronok szögeloszlása ismeretlennek tekinthető kísérleti szempontból. Az elektron spektrométer hatásfokának meghatározására kidolgoztam egy módszert, amely egy izotróp Auger-vonalra való normáláson alapul. Ezen eljárás alkalmazásával egyetlen szögeloszlásból meghatározhatók a fotoelektronok dipól és nondipól paraméterei. Ez pedig jelentős mérési idő megtakarítást jelent, ami fontos pl. szinkrotron nyalábon végzendő méréseknél. [K1-K4]

2) A Xe 5s héj fotoionizációjára vonatkozó elméleti leírások rezonanciaszerű viselkedést jósolnak a dipól (β) és nondipól (γ és δ) paraméterek fotonenergia-

függésében az ionizációs küszöbtől távol a 90-230 eV fotonenergia-tartományban. Elsőként sikerült kísérletileg igazolnom azt az elméleti előrejelzést, hogy az anizotrópia paraméterek értéke érzékeny a különböző ionizációs csatornák közötti kölcsönhatásra. Eredményeimet a relativisztikus független részecske modellel (RIPM) és a relativisztikus véletlen fázisú közelítéssel (RRPA) kapott értékekkel hasonlítottam össze ill. a nondipól anizotrópia paramétereket a nem relativisztikus véletlen fázisú közelítéssel (RPAE) kapottakkal is. Az összevetéséből világosan kiderült, hogy az RRPA számolás írja le helyesebben a Xe 5s héjról származó fotoelektronok szögeloszlását. Következtetni lehetett arra is, hogy az ionizációs csatornák mellett a rezonáns gerjesztési csatornák szerepe is fontos a Xe 5s héj fotoionizációjában. Utóbbiakat az előbb említett elméletek elhanyagolják. Ezek az első kísérleti adatok a Xe 5s fotoelektronok nondipól paramétereire vonatkozóan. [K1]

3) Hasonló vizsgálatokat végeztem a Xe 5p héj esetében a 100-200 eV fotonenergia-tartományban. Méréseim során a jó energiafelbontásnak köszönhetően szét tudtam választani a Xe 5p héj spin-pálya komponenseit. Ebben a fotonenergia-tartományban ezek az első olyan mérések, amelyekben az alhéjakra vonatkozó dipól (β) és nondipól (γ és δ) anizotrópia paramétereket külön-külön sikerült meghatározni. Eredményeimet az RIPM és RRPA elméletekkel hasonlítottam össze. Az RRPA számolás által, a vizsgált energiatartományban, jósolt rezonanciaszerű viselkedés a nondipól paraméterekre kísérletileg nem igazolódott. Ez erős indikáció arra, hogy az ionizációs csatornák mellett a gerjesztési csatornák jelentősen befolyásolják az anizotrópia paraméterek fotonenergia-függését. A spin-pálya komponensek kísérleti anizotrópia paraméterei különböznek egymástól, ami a relativisztikus effektusok fontosságára utal. Az RRPA elmélet ezeket az effektusokat felülbecsüli a nondipól paraméterek esetén. Elsőként mutattam ki, hogy a magasabb multipólusoknak jelentős járuléka van a Xe 5p héj fotoionizációjában. [K2]

- 4) Az előző méréseim alapján kísérleti indikáció volt arra nézve, hogy a gerjesztési csatornák is fontos szerepet játszhatnak a fotoelektronok szögeloszlását meghatározó anizotrópia paraméterek fotonenergia-függésében. Egy R-mátrix számolás rezonanciaszerű viselkedést jósol az Ar 3*p* héjről származó fotoelektronok dipól paraméterében a $2p_{1/2,3/2} \rightarrow ns/md$ rezonáns gerjesztés tartományában (246-253 eV fotonenergia-tartomány). Az eddigi méréseimből egyértelműen adódott ennek az elméleti előrejelzésnek az ellenőrzése. Ezt kísérletileg igen nehéz volt megvalósítani, hiszen az Ar 3*p* héj spin-pálya komponenseinek kis energiatávolsága miatt nagyon jó energiafelbontásra volt szükség mind a fotonnyaláb mind az elektron spektrométer oldaláról. Széles fotonenergia-tartományban (90-330 eV) végzett méréseim egyértelműen mutatták, hogy az RIPM elmélet nem tudja leírni az anizotrópia paraméterek fotonenergia-függését, mivel a mért adatok rezonanciaszerű viselkedést mutattak a 150-260 eV fotonenergia-tartományban ellentétben az RIPM számolással. Részletes, nagy energiafelbontású vizsgálataim a 246 eV és a 253 eV közötti energiatartományban jó egyezést mutattak mind az R-mátrix eljárás mind a multikonfigurációs Dirack-Fock (MCDF) számolás eredményeivel a dipól paraméterekre vonatkozóan mindkét spin-pálya komponens esetén. (Számolások csak dipól paraméterekre vannak.) Ez egyértelműen mutatja az interferencia létezését a direkt fotoionizáció és a rezonáns gerjesztést követő participátor Auger-átmenetek között. Ezek az első olyan kísérleti dipól és nondipól adatok, melyek ezen interferencia létét bizonyítják a fotoabszorpciós folyamatokban. Vizsgálataimban elsőként határoztam meg kísérletileg az Ar 3*p* fotoelektronok dipól és nondipól anizotrópia paramétereit a 90-330 eV fotonenergia-tartományban. [K3, K4]
- 5) Vizsgáltam ion-atom, ion-molekula és molekulaion-atom ütközésekben szabaddá vált elektronok többszörös szóródását a céltárgy és a lövedék Coulomb-terén a céltárgy atomszámának függvényében (Fermi-féle gyorsítási folyamat). E célból a $0.75 \text{ MeV } N^+ + Ar$, $1 \text{ MeV } N^+ + N_2$, $1 \text{ MeV } N^+ + Ne$ és $1.5 \text{ MeV } N_2^+ + Ar$ ütközések során emittált elektronok kétszeresen differenciális abszolút hatáskeresztmetszeteit határoztam meg. A klasszikus pályájú

Monte-Carlo számolással (CTMC) igen jól egyező méréseim megmutatták, hogy a Fermi-gyorsítás többszörös szórási sorozatai nagyban hozzájárulnak a nagy energiájú elektronok emissziójához a vizsgált ütközésekben az 1-2 a.u. lövedéksebesség-tartományban. A CTMC pályák analízise ugyanis azt mutatta, hogy a 250 eV elektronenergia fölött emittált CTMC “elektronok” több mint 60%-a a háromszoros (P-T-P) és négyszeres (P-T-P-T) sorozatban szabaddá vált elektronokkal azonosítható. Ez a munka egy olyan szisztematikus vizsgálat első lépése, ahol az ütközési rendszerek széles tartományában a Fermi-gyorsítást kísérletileg és elméletileg együttesen tanulmányozzuk. [K5, K6]

- 6) A $0.75 \text{ MeV } N^+ + Ar$ és $1.5 \text{ MeV } N_2^+ + Ar$ ütközések esetén az azonos sebességű atomi és molekuláris nitrogénion lövedékekkel kiváltott elektron-spektrumokban jól azonosíthatók a céltárgyionizáció során kialakuló háromszoros (P-T-P) és négyszeres (P-T-P-T) szórási sorozatok. Az N_2^+ lövedékekkel keltett kísérleti elektronemissziós hatáskeresztmetszetek és az N^+ lövedékionnal mért hatáskeresztmetszetek kétszerese között nincs szignifikáns eltérés, ami azt mutatja, hogy a céltárgyionizációs folyamatban nem lép fel számottevő molekuláris effektus a vizsgált bombázóenergián. Ezek alapján molekuláris lövedéknél a kísérleti hatáskeresztmetszeteket a klasszikus pályájú Monte-Carlo (CTMC) számolás N^+ hatáskeresztmetszeteinek kétszeresével hasonlítottam össze. A mért adatok mindkét ütközési rendszer esetén nagyon jól egyeznek a CTMC számolásból kapott értékekkel. [K5, K6]

English summary of the thesis

The electron spectroscopy is widely used for studying the structures of atoms, molecules and solids. The nature of the different interactions can be investigated with various excitation sources. The development of instruments and methods helps to understand better the basic atomic processes and to test the theoretical models in details.

The measurements of the double differential cross section of the electrons ejected in different processes using photons and charged particles as projectiles

are very efficient tools to investigate the atomic ionization and rearrangement processes. These kinds of measurements are technically difficult and time consuming. In the last 20 years several special electrostatic electron spectrometers were developed at the ATOMKI for simultaneous investigation of the energy and angular distribution of the electrons emitted in different processes. These spectrometers reduce the measuring time and improve the reliability of the measured data. Due to the relatively large solid angle of the analyzers, processes with small probability can be studied well.

In this thesis the results of my double differential cross section measurements are presented, in special consideration of higher-order effects and multi-step processes. In the photoionization the photon energy dependence of the dipole (E1) and nondipole (E2 and M1) contributions of the angular distribution of photoelectrons was investigated with linearly polarized synchrotron radiation. These dependences reflect the many-electron properties of atoms and the importance of channel interactions. The target atomic number dependence of the multiple scattering of the electrons ejected in ion-atom, ion-molecule and molecular ion-atom collisions (Fermi-shuttle type acceleration mechanism) was also studied. In this mechanism the electrons undergo multiple scattering on the Coulomb fields of the target and projectile.

The present thesis consists of the following parts: In the second chapter an overview of the theoretical descriptions of many-electron atoms and of the atomic ionization, excitation and rearrangement processes related to my studies is given. The Fermi-shuttle type acceleration mechanism, the classical trajectory Monte-Carlo method (CTMC) and the literature of the above mentioned fields are reviewed. Chapter 3 contains the experimental setup (excitation sources and electron spectrometers). Finally in chapter 4 my results on the photon energy dependence of the anisotropy parameters and on the target atomic number dependence of the multiple electron scattering on the fields of the projectiles and targets are presented.

My results are summarized in the following:

- 1) The angular distribution of the photoelectrons was measured with the ESA-22 electrostatic electron spectrometer. These studies were performed in the plane of the polarization and momentum vectors of the photon where all anisotropy parameters could be determined. To the best of my knowledge no experimental data have been published for this plane. Since the measuring geometry of the ESA-22 analyzer is very different from the traditional ones, I introduced a new method for the efficiency calibration of the electron spectrometer based on the normalization relative to an isotropic Auger line. The dipole and nondipole parameters can be determined from an angle-resolved photoelectron spectrum using this calibration method, which can save a lot of measuring time. [K1-K4]
- 2) The theoretical descriptions for the Xe 5s shell photoionization predict a resonant-like behavior in the photon energy dependence of the dipole (β) and nondipole (γ and δ) parameters relatively far from the ionization threshold in the 90-230 eV photon energy range. My investigation was the first experimental verification of the theoretical predictions that the anisotropy parameters depend on the interaction among the various ionization channels. My experimental data were compared with the results obtained from the relativistic independent particle model (RIPM) and from the nonrelativistic and relativistic random phase approximation (RPAE and RRPA). The agreement between the RRPA and the experimental values clearly showed that the RRPA described properly the angular distribution of Xe 5s photoelectrons. It also showed the importance of the ionization and the resonant excitation channels in the photoionization of Xe 5s shell. The latter one is neglected in the above mentioned photoionization theories. These are the first experimental data for the nondipole parameters of the Xe 5s shell. [K1]
- 3) A similar investigation was performed for the Xe 5p shell in the 100-200 eV photon energy range. The spin-orbit components of the Xe 5p photoelectron lines could be well separated due to the high-resolution settings. These were the first measurements in the studied energy range where the dipole and nondipole anisotropy parameters of the Xe 5p_{1/2} and Xe 5p_{3/2} subshells were

determined separately. The results were compared with the RIPM and the RRPA calculations. The experimental data did not confirm the resonant-like behavior predicted by the RRPA theory. It strongly indicates that the excitation channels cannot be ignored in the photon energy dependence of the anisotropy parameters. The different anisotropy parameters of the spin-orbit components demonstrate the importance of the relativistic effects. The RRPA theory overestimates these effects for the nondipole parameters. These were the first measurements where the contributions of the higher-order multipoles were observed in the photoionization of Xe $5p$ shell. [K2]

- 4) The above mentioned experiments suggested that the excitation channels could play an important role in the photon energy dependence of the anisotropy parameters. A R-matrix calculation predicts a resonant-like behavior in the dipole parameter of Ar $3p$ photoionization in the range of the $2p_{1/2,3/2} \rightarrow ns/md$ resonant excitation (246-253 eV photon energy range). The experimental investigation of the anisotropy parameters of the Ar $3p$ shell was very difficult due to the small energy separation of the spin-orbit components. The measurement in the wide photon energy range (90-330 eV) clearly demonstrated that the RIPM theory could not reproduce the measured anisotropy parameters because a resonant-like behavior was found experimentally in the energy range of 150-260 eV. In the high energy resolution measurements the values of the experimental dipole parameters of the spin-orbit components were in good agreement with both the R-matrix and the multi-configuration Dirac-Fock (MCDF) calculations between 246 eV and 253 eV photon energies for the spin-orbit components. (There are calculations only for dipole parameters.) The good agreement clearly demonstrates the existence of the interference between the direct photoionization and resonant participator Auger transitions in the photoabsorption processes. These were the first investigations where the dipole and nondipole anisotropy parameters of the Ar $3p$ shell were determined experimentally in the 90-330 eV photon energy range. [K3, K4]

- 5) The target atomic number dependence of the multiple scattering of the electrons ejected in ion-atom, ion-molecule and molecular ion-atom collisions (Fermi-shuttle type acceleration mechanism) was investigated. In this mechanism the electrons undergo multiple scattering on the Coulomb fields of the target and projectile. The absolute double differential cross sections of emitted electrons were determined for the following collision systems: 0.75 MeV $N^+ + Ar$, 1 MeV $N^+ + N_2$, 1 MeV $N^+ + Ne$ and 1.5 MeV $N_2^+ + Ar$. My experimental results (in good agreement with the classical trajectory Monte-Carlo calculation, CTMC) showed that the multiple scattering due to the Fermi-shuttle type acceleration mechanism strongly contributed to the high-energy electron emission in the studied collisions in the 1-2 a.u. projectile velocity range. More than 60% of the “CTMC electrons” “emitted” above 250 eV could be identified as Fermi-shuttle accelerated electrons, liberated in P-T-P or P-T-P-T processes. The present work is a starting point of a systematic investigation where combined experimental and theoretical studies are carried out for wide range of collision systems. [K5, K6]
- 6) In the case of the 0.75 MeV $N^+ + Ar$ and 1.5 MeV $N_2^+ + Ar$ collision systems the multiple scattering target ionization structures (P-T-P and P-T-P-T) clearly appeared in the spectra. There was no significant difference between the experimental emission cross sections of the equal-velocity atomic and molecular nitrogen ion projectiles when the cross section of the atomic projectile was multiplied by two. This indicates that the molecular effects do not play an important role in the target ionization process in the studied energy range. On the basis of this experimental finding the measured double differential cross sections of the molecular nitrogen ion were compared with the theoretical values multiplied by two for the nitrogen ion (obtained from the CTMC). For both the atomic and the molecular projectile ions, the experimental double differential cross sections were in good agreement with the theoretical values obtained from the classical trajectory Monte-Carlo calculation (CTMC). [K5, K6]

A tézisek alapjául szolgáló közlemények (Published articles related to the thesis)

- [K1] S. Ricz, R. Sankari, Á. Kövér, M. Jurvansuu, D. Varga, J. Nikkinen, T. Ricsóka, H. Aksela and S. Aksela: *Strong nondipole effect created by multielectron correlation in 5s photoionization of xenon*, Physical Review A **67**, 012712 (2003).
- [K2] R. Sankari, S. Ricz, Á. Kövér, M. Jurvansuu, D. Varga, J. Nikkinen, T. Ricsóka, H. Aksela and S. Aksela: *Angular distribution of Xe 5p spin-orbit components at 100-200 eV photon energies*, Physical Review A **69**, 012707 (2004).
- [K3] S. Ricz, J. Nikkinen, R. Sankari, T. Ricsóka, Á. Kövér, D. Varga, S. Fritzsche, H. Aksela and S. Aksela: *Interference effects in the angular distribution of the Ar 3p photoelectrons across 2p→ns/md resonances*, Physical Review A **72**, 014701 (2005).
- [K4] T. Ricsóka, S. Ricz, Á. Kövér, R. Sankari, J. Nikkinen, D. Varga, S. Aksela: *Interferencia effektusok az argon 3p héjának fotoionizációjában*, Tavaszi Szél 2005, Debrecen, Hungary, 5-8 May, 2005, Konferencia-kiadvány, p. 336-339.
- [K5] T. Ricsóka, Gy. Víkor, Sz. Nagy, K. Tőkési, Z. Berényi, B. Paripás, N. Stolterfoht and B. Sulik: *Accelerating multiple scattering of the emitted electrons in collisions of ions with atoms and molecules*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms **235**, 397 (2005).
- [K6] B. Sulik, K. Tőkési, N. Stolterfoht, T. Ricsóka, Gy. Víkor, Sz. Nagy, Z. Berényi, R. Hellhammer, Z. Pesic, D. Berényi: *Fermi-shuttle processes in the emission by ion impact: Contribution to radiation damages*, Radiation Physics and Chemistry **76**, 483 (2007).

Konferencia előadások, poszterek (Conference talks and posters)

- [P1] S. Ricz, R. Sankari, Á. Kövér, M. Jurvansuu, D. Varga, J. Nikkinen, T. Ricsóka, H. Aksela and S. Aksela: *Measurement of dipole and nondipole anisotropy parameters of the spin-orbit components of Xe 5p-shell in 65-200 eV photon energy range*, 23rd International Conference on Photonic Electronic and Atomic Collisions (XXIII ICPEAC), Stockholm, Sweden, 23-29 July, 2003 (Book of abstr.: We007).
- [P2] S. Ricz, R. Sankari, Á. Kövér, M. Jurvansuu, D. Varga, J. Nikkinen, T. Ricsóka, H. Aksela and S. Aksela: *Nondipole effect created by multielectron correlation in 5s photoionization of xenon*, 23rd International Conference on Photonic Electronic and Atomic Collisions (XXIII ICPEAC), Stockholm, Sweden, 23-29 July, 2003 (Book of abstr.: Tu006).
- [P3] T. Ricsóka, S. Ricz, Á. Kövér, R. Sankari, J. Nikkinen, D. Varga and S. Aksela: *Higher-order effects in the photoionization of 3p shell of argon*,

- 8th Workshop on Fast Ion-Atom Collisions (VIII FIAC), Debrecen, Hungary, 1-3 Sept., 2004.
- [P4] T. Ricsóka, Gy. Víkor, Sz. Nagy, K. Tökési, Z. Berényi, B. Paripás, N. Stolterfoht, and B. Sulik: *Accelerating multiple scattering of the emitted electrons in collisions of ions with atoms and molecules*, 12th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions (XII HCI), Vilnius, Lithuania, 6-11 Sept., 2004 (Abstr.: p. 195).
- [P5] T. Ricsóka: *Accelerating multiple scattering of the emitted electrons in collisions of ions with atoms and molecules*, University of Oulu, Oulu, Finland, 28 Nov., 2004.
- [P6] T. Ricsóka, S. Ricz, Á. Kövér, R. Sankari, J. Nikkinen, D. Varga, S. Aksela: *Interferencia effektusok az argon 3p héjának fotoionizációjában*, Tavasz Szél 2005, Debrecen, Hungary, 5-8 May, 2005, (Abstr.: p. 336).
- [P7] T. Ricsóka, S. Ricz, Á. Kövér, R. Sankari, J. Nikkinen, D. Varga and S. Aksela: *Higher-order effects in the photoionization of 3p shell of argon*, Nordic and European Summer School in Synchrotron Radiation Science, Max-Lab, Lund and Röstanga, Sweden, 13-20 June, 2005.
- [P8] T. Ricsóka, S. Ricz, J. Nikkinen, R. Sankari, Á. Kövér, D. Varga, S. Aksela and H. Aksela: *Interference effects in the photoionization of Ar 3p*, XXIV International Conference on Photonic Electronic and Atomic Collisions (XXIV ICPEAC), Rosario, Argentina, 20-26 July, 2005 (Abstr.: Vol. 1, p. 4).
- [P9] R. Sankari, S. Ricz, J. Nikkinen, Á. Kövér, T. Ricsóka, H. Aksela and S. Aksela: *Non-dipole effects in low photon energy of Ar and Xe atoms*, XXIV International Conference on Photonic Electronic and Atomic Collisions (XXIV ICPEAC), Rosario, Argentina, 20-26 July, 2005 (Abstr.: Vol. 1, p. 10).
- [P10] T. Ricsóka, Gy. Víkor, Sz. Nagy, K. Tökési, Z. Berényi, B. Paripás, N. Stolterfoht and B. Sulik: *Accelerating multiple scattering of the emitted electrons in collisions of ions with atoms and molecules*, XXIV International Conference on Photonic Electronic and Atomic Collisions (XXIV ICPEAC), Rosario, Argentina, 20-26 July, 2005 (Abstr.: Vol. 2, p. 436).
- [P11] T. Ricsóka, S. Ricz, J. Nikkinen, R. Sankari, Á. Kövér, D. Varga, S. Fritzsche, H. Aksela and S. Aksela: *Interference effects in the photoionization of Ar 3p*, 3th Conference on the Elementary Processes in Atomic Systems (III CEPAS), Miskolc, Hungary, 31 Aug.-2 Sept, 2005 (Abstr.: p. 81).
- [P12] K. Tökési, B. Sulik, N. Stolterfoht, T. Ricsóka, Gy. Víkor, Sz. Nagy, Z. Berényi, R. Hellhammer, Z. Pesic, D. Berényi: *Fermi-shuttle processes in the electron emission by ion impact: low and medium energies*, 3th Conference on the Elementary Processes in Atomic Systems (III CEPAS), Miskolc, Hungary, 31 Aug.-2 Sept, 2005 (Abstr.: p. 43).
- [P13] T. Ricsóka: *Higher-order effects in the photoionization of 3p shell of argon*, University College London. London, UK, 4 Nov., 2005.

- [P14] B. Sulik, K. Tőkési, T. Ricsóka, B. Berényi Z., Gy. Víkor, Sz. Nagy, D. Berényi: *Fast electrons form accelerating multiple electron scattering by ion impact: Contribution to radiation damages*, Radiation Damage in Biomolecular Systems. RADAM Conference 2006. Groningen, Netherlands, 6-9 June, 2006 (Abstr.: p. 28).