

Bevezetés

A huszadik század második felében az atommagfizikai kutatásokra kifejlesztett kísérleti berendezések (pl. gyorsítók, detektorok, stb.) és elméleti módszerek lehetővé tették az atomi ütközésekben lejátszódó atomfizikai folyamatok részletesebb tanulmányozását. Ezzel megnyílt az út olyan magasan gerjesztett atomi és ionállapotok szelektív létrehozására és tanulmányozására, amelyek a természetben egyébként csak igen forró plazmákban fordulhatnak elő, ahol kísérletileg többnyire nem vizsgálhatók. Noha atomi ütközésekben a nagy energiáknak köszönhetően több elektron átmenetével járó folyamatok is létrejöhetnek, az ütközéses atomfizikai vizsgálatok kezdetben főként az egyelektronos folyamatok alaposabb megértésére irányultak. Ilyen például az egyszeres gerjesztés, ionizáció vagy befogás folyamata. Az elméleti leírás természetes kiindulási pontja a gyorsan mozgó, pontszerű töltések által kiváltott Coulomb-gerjesztés tárgyalása volt a perturbációszámítás első rendjében. Érthető módon, kezdetben a kísérletek is az egyszerűbb folyamatok, mechanizmusok feltérképezésére irányultak. Természetesen az időközben felgyűlt mérési adatok egy jelentős része az egyelektron-átmenettel járó folyamatok segítségével nem volt értelmezhető. Ugyanakkor az egyszerűbb folyamatok megismerése és az elméleti módszerek fejlődése fokozatosan lehetővé tette, hogy az érdeklődés középpontjába a bonyolultabb, több elektron átmenetével járó folyamatok kerüljenek. Az egyelektron-átmenettel járó folyamatok alapos megismerése megnyitotta az utat mind a több elektron átmenetével járó folyamatok, mind a bonyolultabb időbeli fejlődéssel leírható, az elsőrendű perturbációszámítás alkalmazhatósági határain kívül eső folyamatok tanulmányozása előtt is. Példa erre, hogy napjainkban az atomi ütközések fizikájának egyik jelentős területévé vált a két ütköző centrumon levő elektronok közötti kölcsönhatás szerepének vizsgálata az ütközésekben lejátszódó folyamatokban.

A dolgozat többelektronos, illetve több lépcsőben megvalósuló folyamatok leírásával foglalkozik. A többelektronos folyamatokat két esetben vizsgáljuk. Egyik a kétcentrumú elektron-elektron kölcsönhatás, illetve ennek egy speciális megnyilvánulása, amikor az elektronjai által leárnýékolt gerjesztő partner

hoz létre egyszeres gerjesztési folyamatokat. A másik eset az, amikor a vizsgált állapot ténylegesen több elektron átmenetével valósul meg. Ez létrejöhet egyszerre mindkét ütköző partneren is, amelyet dielektronikus folyamatnak nevezünk. A dolgozatban a több elektron átmenetével járó folyamatok közül a dielektronikus, illetve részletesebben a befogással és ionizációval járó, úgynevezett transfer-loss folyamatokat tárgyaljuk.

A több lépcsőben megvalósuló folyamatok arra az esetre vonatkoznak, amikor a vizsgált állapot kialakulásában szerepet játszó elektron több közbenső állapoton keresztül kerül abba az állapotba, amely a vizsgálat szempontjából fontos. Ide sorolható a dolgozatban tárgyalt transfer-loss-cascade folyamat és az ütközésekben ionizálódó elektronok többszörös szóródása.

Az értekezés a következőképpen épül fel: az 1. fejezet ismerteti a dolgozatban alkalmazott elméleti módszereket. A 2. fejezetben az elektronokat is hordozó gerjesztő partner árnyékolt terének figyelembevételére kidolgozott, úgynevezett árnyékolási modell kerül bemutatásra. Ez a fejezet tartalmazza az árnyékolt lövedék által létrehozott egyelektronos céltárgyátmenetek mátrixelemeinek számítására kifejlesztett programcsomag ismertetését is. A további fejezetek egy-egy jelenség kísérleti vizsgálatára épülő elemzéseknek, esettanulmányoknak tekinthetők. A 3. fejezet az O^{5+} és F^{6+} ionoknak He atomokkal és H_2 molekulákkal való ütközéseiben létrejövő $|1s2s^2\ ^2S\rangle$, $|1s2s2p_{a,b}^2\ ^2P\rangle$ állapotainak kialakulásában szerepet játszó egy- és kételektronos folyamatokat tárgyalja. Ugyanezen ütközésekben létrejövő O^{5+} és F^{6+} ionok $|1s2s2p^4\ ^4P\rangle$ állapotának kialakulása kapcsán a többelektronos, illetve többlépcsős transfer-loss folyamatok leírása a 4. fejezetben kerül bemutatásra. Az 5. fejezet 1.8 MeV és 2.8 MeV C^+ és Xe ütközésben kilépő elektronok többlépcsős Fermi-gyorsításának kinematikai elemzését adja, és röviden ismerteti a háromszoros illetve négyszeres szórással járó gyorsítási szekvenciákra vonatkozó kísérleti bizonyítékokat is.

Eredmények

Új tudományos eredményeimet a következő tézispontok tartalmazzák:

1. Kifejlesztettem és teszteltem egy számítógépes programcsomagot, amely

lehetővé teszi a Ricz és munkatársai¹ által kidolgozott árnyékolási modell széles körű alkalmazását. Ennek során:

- (a) Kidolgoztam egy könnyen programozható eljárást az $I_{n+\frac{1}{2}}(x)$ és $K_{n+\frac{1}{2}}(x)$ Bessel-függvények tetszőleges rendű deriváltjainak meghatározására [1, 6].
 - (b) Kifejlesztettem két számítógépes program-modult az $I_{n+\frac{1}{2}}(x)$ és $K_{n+\frac{1}{2}}(x)$ Bessel-függvények széles n és x tartományban történő pontos, numerikus meghatározására [1, 6].
 - (c) Kifejlesztettem egy számítógépes programot árnyékolt Coulomb-potenciálok által létrehozott, kötött állapotok közötti atomi átmenetek mátrixelemeinek nagy pontosságú numerikus számítására, tetszőleges kezdeti és végállapot hullámfüggvények segítségével [1, 6].
2. (a) Gerjesztési hatáskeresztmetszeteket határoztam meg a lítiumszerű oxigén és fluor ionoknak He és H₂ céltárgyakkal való ütközéseire vonatkozóan, az 5 – 47 MeV lövedékenergia tartományban. Az $|1s2s^2^2S\rangle$ egyszeresen gerjesztett állapotokba való átmenetek hatáskeresztmetszetét a félklasszikus közelítés első rendjében, az $|1s2s2p_{a,b}^2P\rangle$ állapotokba történő gerjesztéseket a félklasszikus közelítés második rendjében számítottam. A céltárgyak erőterét árnyékolt Coulomb-potenciálokkal írtam le [2].
- (b) A kísérleti adatokkal való összevetés érdekében valamennyi ütközési rendszerre kiszámítottam a dielektronikus (eeE) folyamatok (és a transfer-loss folyamat, lásd 3. tézispont) járulékát is [2].

¹Phys. Rev. A **47**, 1930 (1993)

- (c) Az (a) és (b) tézispontokban szereplő – az O^{5+} és F^{6+} ionokra vonatkozó – számításokat úgy árnyékolt hidrogénszerű, mint Hartree–Fock–Slater típusú hullámfüggvények esetén elvégeztem. Megmutattam, hogy a várakozásokkal ellentétben a hidrogénszerű hullámfüggvények $Z=8, 9$ esetén sem alkalmasak a lítiumszerű ionok állapotainak leírására. A realiztikusabb Hartree–Fock–Slater hullámfüggvények használata viszont általában jó egyezést adott a kísérleti adatokkal [2].
3. A $3 - 10$ a.u. lövedéksebesség tartományban megvizsgáltam a lítiumszerű oxigén és fluor $|1s2s2p\rangle$ konfigurációval jellemezhető állapotainak kialakulásában a transfer–loss folyamatok szerepét, nevezetesen a lövedék $2p$ héjára történő befogással járó $T_{2p}L$ transfer–loss folyamat, valamint a magasabb héjakra történő befogásokat is magába foglaló T^2L (double–transfer–loss) és a TLC transfer–loss–cascade folyamatok szerepét.
- (a) A független részecske modell keretében meghatároztam a $T_{2p}L$ és T^2L folyamat hatáskeresztmetszeteit egyelektron átmenetek valószínűségeinek felhasználásával [3, 7].
- (b) Megállapítottam, hogy a fenti lövedéksebesség tartományban a metastabil $|1s2s2p^4P\rangle$ állapot kialakulásában már a $T_{2p}L$ folyamat is jelentős szerepet játszik, de a kettőnél több lépésben lejátszódó TLC transfer–loss–cascade folyamatnak általában nagyobb a járuléka. Ugyanakkor a T^2L folyamat járuléka csak a legkisebb lövedékenergiáknál számottevő [3, 7]. Ezen három folyamat eredőjeként kapott elméleti görbék jól megközelítik a mért hatáskeresztmetszet értékeket. Figyelemreméltó, hogy az elméleti számítások a kísérleti hatáskeresztmetszetek lövedékenergia függvényében való viselkedését mind a négy vizsgált ütközési rendszerre jól leírják.

4. Részt vettem szén ionok és nemesgáz atomok ütközéseiben szabaddá váló elektronok úgynevezett Fermi–gyorsítási mechanizmusának vizsgálatához kapcsolódó mérésekben, illetve a mért adatok kiértékelésében. Ezekben a mérésekben sikerült először kimutatnunk háromszorosan és négyszeresen szóródó elektronokat, közepes ütközési energiákon, $C^+ + Xe$ ütközésekben [2,3].

Ebben a témában saját eredményem, hogy a többszörös szórás kinematikai elemzése alapján meghatároztam azokat az energia- és szögterományokat, ahol az elektronspektrumban a többszörös szórási járulékok várhatóak és azonosíthatóak voltak.

English summary of the thesis

Experimental and theoretical investigations of atomic collisions in the twentieth century started by studying one-electron processes like single excitation, ionization or capture. The accumulated knowledge about such simple transitions and the development of the theoretical models made gradually possible the investigation of multi-electron and multi-step processes. In the present work, one of the discussed multi-electron processes is a specific case of the two-center electron-electron interactions, namely the screening effect. Here the nucleus of the exciting partner is screened by its electrons, which reduces the excitation probabilities. In the other studied cases, the collision really takes place with the transition of more than one electron. In the thesis, we study the role of two-center dielectronic processes in collisional excitations. Besides, we study the transfer–loss processes in the formation of lithium–like single excited states of oxygen and fluorine ions, in details. In multi-step processes, an atomic system undergoes several intermediate states before it reaches the observed final state. Examples for multi-step processes discussed in the thesis are the transfer–loss–cascade process and the accelerating multiple scattering of electrons ionised in atomic collisions.

The dissertation consists of the followings parts: in Chapter 1. a brief introduction to the applied theoretical methods is given. Chapter 2. presents the screening modell applied in calculations, and it also contains a brief

presentation of a program package designed to calculate one-electron transition matrix elements induced by the screened Coulomb potential of the exciting partner. The further chapters of the thesis are case studies of experimentally investigated processes. Chapter 3. is devoted to study one- and two-electron processes in case of the formation of the lithium-like $|1s2s^2\ ^2S\rangle$ and $|1s2s2p_{a,b}^2\ ^2P\rangle$ states of the O^{5+} and F^{6+} ions in collisions with He and H_2 molecules. For the same collision systems the study of the multi-electron and multi-step transfer-loss processes, in the formation of the state $|1s2s2p\ ^4P\rangle$ of the lithium-like oxygen and fluorine ions, is given in Chapter 4. . Chapter 5. contains the kinematical analysis of the Fermi-shuttle acceleration mechanism of electrons emitted from 1.8, 2.8 MeV $C^+ + Xe$ collisions, and briefly shows the experimental evidence for the triple and quadruple electron scattering.

The results regarding the description of the above processes are summarized as follows:

- I have developed and tested a program-package to facilitate the application of the screening model worked out by Ricz *et al.* [Ric93] in a wide range of atomic collision calculations. The present code has been designed to calculate matrix elements for transitions between atomic bound states, induced by the screened field of the exciting partner. The code supports the use of a wide class of screening potentials and arbitrary numerical wave functions for the initial and final atomic states. The package includes subroutines for accurate calculations of the Bessel functions $I_{n+\frac{1}{2}}(x)$ and $K_{n+\frac{1}{2}}(x)$, for wide ranges of the argument x and the order n . It contains also subroutines for the determination of different order derivatives of the Bessel functions $I_{n+\frac{1}{2}}(x)$ and $K_{n+\frac{1}{2}}(x)$.
- I have determined excitation cross sections for the lithium-like oxygen and fluorine ions in collisions with He and H_2 molecules, in the 5 – 7 MeV projectile energy range. The calculations have been performed within the framework of the semiclassical approximation. The excitation probabilities for state $|1s2s^2\ ^2S\rangle$ were calculated in first order, while for the states $|1s2s2p_{a,b}^2\ ^2P\rangle$ in second order. The exciting field of

the neutral targets was described by screened Coulomb-potential. In the formation of the studied single excited states the contributions of the dielectronic (eeE), and the transfer-loss processes have also been taken into account. The calculations were performed using H-like as well as Hartree-Fock-Slater wave functions for the description of the initial and final states of the O^{5+} and F^{6+} ions. We have shown that, in contrary to earlier expectations, H-like wave functions can not satisfactorily describe the lithium-like states for $Z=8, 9$. Calculations based on the more realistic Hartree-Fock-Slater wave functions, are in good agreement with the experimental data.

- For the lithium-like oxygen and fluorine ions, the role of the transfer-loss processes was analyzed in the formation of single excited states, belonging to the $|1s2s2p\rangle$ configuration. The Auger-decaying states were created in collisions with He and H_2 target in the 3–10 a.u. projectile velocity range. In the studied collisions, the observed transfer-loss processes consist of the ionization of one of the $1s$ electrons of the lithium-like ion, and the simultaneous capture to the higher shells of the ion from the target. Three transfer-loss contributions have been studied: the $T_{2p}L$ process with the specific $2p$ final state for capture and the more complicated T^2L (double-transfer-loss) and TLC (transfer-loss-cascade) processes. Cross sections for the transfer-loss processes have been determined within the framework of the independent particle model using one-electron probabilities. Comparing the theoretical results with the experimental data, we found that in the studied velocity range, the $T_{2p}L$ process has an important role in the formation of the metastable $|1s2s2p^4P\rangle$ state. However, the TLC process, which includes the capture to higher shells has been found to provide a larger contribution. The calculated contribution of T^2L process is negligible except for very low projectile energies. The sum of the three processes provides a qualitative agreement with the experimental data. It is remarkable that the theoretical calculations, performed within the independent particle model, reproduce the impact energy dependence of

the experimental data, for all the four studied collision systems.

- I participated in experiments which were conducted to demonstrate the existence of the Fermi–shuttle acceleration of the electrons emitted in intermediate velocity collisions of carbon ions with noble gases. In these experiments, evidence has been found for triple and quadruple electron scattering sequences before ejection. I took part in the measurement and in the evaluation of the experimental data. Moreover, based on a classical analysis of the multiple scattering processes, I have determined the angle and energy range, where the multiple scattered electrons were expected to appear and later observed in the double differential spectra.

A t ezisek alapj aul szolg al o k ozlem enyek (Published articles related to the thesis)

[1] A. Orb an, B. Sulik: The evaluation of transition matrix elements for atomic excitations by a screened Coulomb potential, *Comput. Phys. Comm.* **151**, 199 (2003).

[2] A. Orb an, T.J.M. Zouros, B. Sulik: Wave- function effects in the formation of 2S , ${}^2P_-$, ${}^2P_+$ states in collision of lithium-like O^{5+} ions with He target, *Nucl. Instr. Meth. B* **205**, 464 (2003).

[3] B. Sulik, T.J.M. Zouros, A. Orb an, L. Guly as: Theoretical investigation of transfer-loss process in 0.2-2 MeV/u collisions of O^{5+} ions with H_2 and He targets, *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **114-116**, p. 191 (2001).

[4] B. Sulik, K. T ok esi, Cs. Koncz,  . K ov er, S. Ricz, A. Orb an, N. Stolterfoht, J-Y. Chesnel and D.Ber enyi: Multiple scattering of the emitted electrons in intermediate velocity $C^+ + Ne$ collisions: Search for Fermi-shuttle acceleration in experiment and CTMC calculations, *Physica Scripta* **T92**, 463-466 (2001).

[5] B. Sulik, Cs. Koncz, K. Tőkési, A. Orbán, D. Berényi: Evidence for Fermi-Shuttle Ionization in Intermediate Velocity $C^+ + Xe$ Collisions, Phys. Rev. Lett. **88**, p. 073201 (2002).

[6] A. Orbán, B. Sulik: The inclusion of the electron screening potential in impact-parameter calculation, Uzhhorod University Scientific Herald, Series Physics, Issue **8**, Part 2, p. 305 (2000).

[7] B. Sulik, T.J.M. Zouros, A. Orbán, L. Gulyás: Transfer-loss process in 0.2-2 MeV/u $O^{5+} + He$ collisions, Uzhhorod University Scientific Herald, Series Physics, Issue **8**, Part 2, p. 325 (2000).

Konferencia előadások, poszterek (Conference talks and posters)

[P1] Orbán A., Sulik B.: The electronic screening effect in impact-parameter calculations (Abstr.: p. 137). Europhysics Conference. Elementary Processes in Atomic Systems. CEPAS 2000. Uzhgorod, Ukraine, 25-28 July, 2000.

[P2] Orbán A., Zouros T.J.M., Gulyás L., Sulik B.: Study of the transfer-loss process in collisions of Li-like ions with light targets at intermediate energies (Abstr.: p. 138). Europhysics Conference. Elementary Processes in Atomic Systems. CEPAS 2000. Uzhgorod, Ukraine, 25-28 July, 2000.

[P3] Sulik B., Koncz Cs., Orbán A., Tőkési K., Berényi D.: Multiple scattering of the electrons emitted in 150-250 keV/U $C^+ +$ inert gas collisions (Abstr.: p. 143). Europhysics Conference. Elementary Processes in Atomic Systems. CEPAS 2000. Uzhgorod, Ukraine, 25-28 July, 2000.

[P4] Sulik B., Tőkési K., Koncz Cs., Kövér Á., Ricz S., Orbán A., Stolterfoht N., Chesnel J.-Y., Berényi D.: Multiple scattering of the emitted electrons in

intermediate velocity $C^+ + Ne$ collisions: Search for Fermi-Shuttle acceleration in experiment and CTMC calculations. 10th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions. Clark-Kerr Campus of the University of California, Berkeley, USA, 30 July - 3 Aug., 2000.

[P5] Orbán A., Sulik B.: The electronic screening effect in impact-parameter calculations (Program schedule and abstract book: p.294). 8th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure. Berkeley, Calif., USA, 8-12 Aug., 2000.

[P6] Orbán A., Zouros T.J.M., Gulyás L., Sulik B.: Study of the transfer-loss process in collisions of L-like ions with light targets at low energies (Program schedule and abstract book, p. 295). 8th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure. Berkeley, Calif., USA, 8-12 Aug., 2000.

[P7] Sulik B., Koncz Cs., Tőkési K., Orbán A., Berényi D.: Signatures of multiple scattering in the spectra of electrons emitted in intermediate velocity $C^+ +$ inert gas collisions (Program schedule and abstract book, p. 298). 8th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure. Berkeley, Calif., USA, 8-12 Aug., 2000.

[P8] Sulik B., Koncz Cs., Tőkési K., Orbán A., Berényi D.: Multiple scattering of the emitted electrons in intermediate velocity $C^+ + Xe$ collisions. (Abstracts book, p. TP111). 10th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions. Clark-Kerr Campus of the University of California, Berkeley, USA, 30 July - 3 Aug., 2000.

[P9] Orbán A., Sulik B.: The electronic screening effect in impact-parameter calculations (Abstracts of Invited lectures and contributed papers. Europhysics Conference Abstracts, 24F, 2000, 106-107). 15th Europhysics Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases. Miskolc-Lillafüred, Hungary, 26-30 August, 2000.

[P10] Orbán A., Zouros T.J.M., Gulyás L., Sulik B.: Study of the transfer-loss process in collisions of Li-like ions with light targets at low energies (Abstracts of invited lectures and contributed papers. Europhysics Conference Abstracts, 24F, 2000, 108-109). 15th Europhysics Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases. Miskolc-Lillafüred, Hungary, 26-30 August, 2000.

[P11] Sulik B., Koncz Cs., Tőkési K., Orbán A., Berényi D.: Emission of high-energy electrons in intermediate velocity $C^+ + Xe$ collisions: multiple scattering (Abstracts of invited lectures and contributed papers. Europhysics Conference Abstracts, 24F, 2000, 484). 15th Europhysics Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases. Miskolc-Lillafüred, Hungary, 26-30 August, 2000.

[P12] Orbán A., Zouros T.J.M., Sulik B.: Calculation of $1s \rightarrow 2l$ excitation of lithium like ions in 0.5-2 MeV/u collisions with He target (Abstr.: p.468). 22nd International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions i (XXII ICPEAC). Santa-Fe, New Mexico, USA, 18-24 July, 2001.

[P13] Orbán A., Sulik B., Zouros T.J.M., Benis E.P., Gulyás L.: Formation on the $1s2s2p\ ^4P$ state by transfer-loss in collision of Li-like O^{5+} ions (Abstr.: p.452). 22nd International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (XXII ICPEAC). Santa-Fe, New Mexico, USA, 18-24 July, 2001.

[P14] Sulik B., Koncz Cs., Tőkési K., Orbán A., Kövér Á., Ricz S., Chesnel J.-Y., Stolterfoht N., Berényi D.: Hot electrons from intermediate velocity $C^+ +$ inert gas collisions: experimental signatures of Fermi-shuttle ionization (Abstr.: p. 429). 22nd International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (XXII ICPEAC). Santa-Fe, New Mexico, USA, 18-24 July, 2001.

[P15] Sulik B., Koncz Cs., Tőkési K., Orbán A., Kövér Á., Ricz S., Chesnel J.-Y., Stolterfoht N., Berényi D.: Multiple electron-scattering in ion-impact

ionization: evidence for Fermi shuttle acceleration. Workshop on Atomic Physics and X-ray Free Electron Laser Related Dynamics. Dresden, Germany. 13-15 Dec., 2001.

[P16] Orbán A., Zouros T.J.M., Gulyás L., Sulik B.: Transfer-loss process in collisions of Li-like ions with gas targets (Poster No. B2-2-14, Book of abstr.: p. 99). 11th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions. HCI-2002. Caen, France, 1-6 Sept., 2002.

[P17] Orbán A., Zouros T.J.M., Sulik B.: The formation of the $^2P_-$ and $^2P_+$ doublet states in 0.5-2 MeV/u collisions of Li-like F^{6+} and O^{5+} ions with He target (Poster No. B2-2-31, Book of abstr.: p. 99). 11th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions. HCI-2002. Caen, France, 1-6 Sept., 2002.

[P18] Sulik B., Koncz Cs., Tőkési K., Orbán A., Kövér Á., Ricz S., Chesnel J.-Y., Stolterfoht N., Berényi D.: Hot electrons from ion-atom collisions: Fermi-Shuttle type scattering (Abstr.: p. 108). 11th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions. HCI-2002. Caen, France, 1-6 Sept., 2002.

[P19] Sulik B., Koncz Cs., Tőkési K., Orbán A., Kövér Á., Ricz S., Stolterfoht N., Hellhammer R. 4 , Chesnel J., Richard P., Tawara H., Aliabadi H., Berényi D.: Multiple electron scattering in ion-atom collisions: Fermi-Shuttle acceleration in ionization. 19th International Conference on X-Ray and Inner-Shell Processes. Roma, Italy, 24-28 June, 2002.

[P20] Sulik B., Koncz Cs., Tőkési K., Orbán A., Kövér Á., Ricz S., Chesnel J.-Y., Hellhammer R., Stolterfoht N., Berényi D.: Fermi-Shuttle acceleration of electrons in ion-matter interaction (Abstr.: p. 28). 20th International Conference on Atomic Collisions in Solids. ICACS-20. Puri, India, 19-24 Jan., 2003.