

Eddigi pályám során kutatásaimat a következő területeken végeztem:

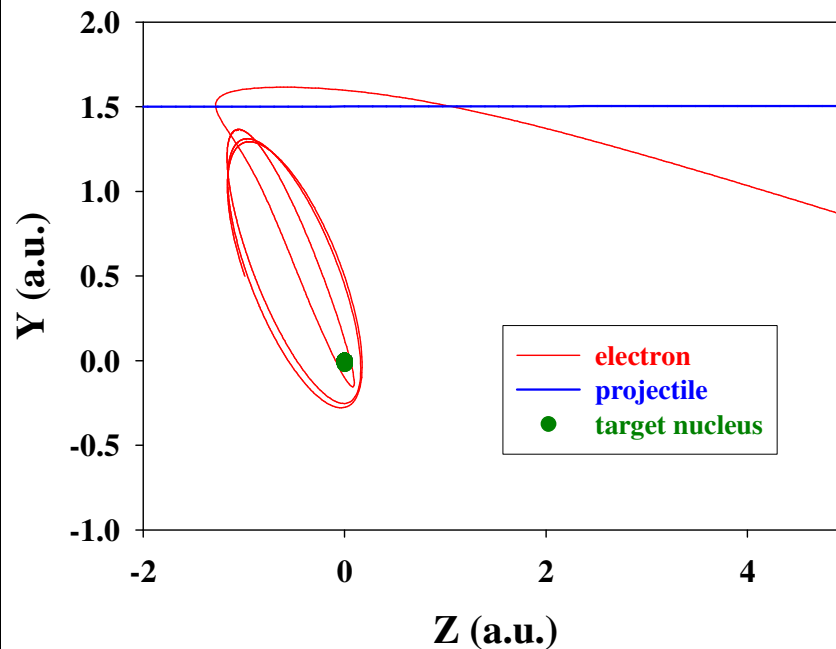
- elektronoptika
- elektronspektroszkópia
- elektron-atom, ion-atom ütközési rendszerek kísérleti tanulmányozás
- elméleti számítások a klasszikus pálya Monte Carlo módszer segítségével
- elektrontranszport folyamatok szimulációja Monte Carlo módszerrel
**Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézete
(ATOMKI) Debrecen**
- ionok és szilárdtest-felületek kölcsönhatásának tanulmányozása
- nagy töltésű ionok kölcsönhatásainak vizsgálata vezető mikro-kapillárisokkal
- nagy töltésű ionok, elektronok és pozitronok kölcsönhatásainak vizsgálata szigetelő mikro- és egyedi makro-kapilláris felületekkel
- intenzív lézer impulzusok kölcsönhatásainak vizsgálata atomokkal és molekulákkal
- kisenergiájú antiprotonok ütközései atomokkal és molekulákkal

Többszörös szórások atomi ütközésekben

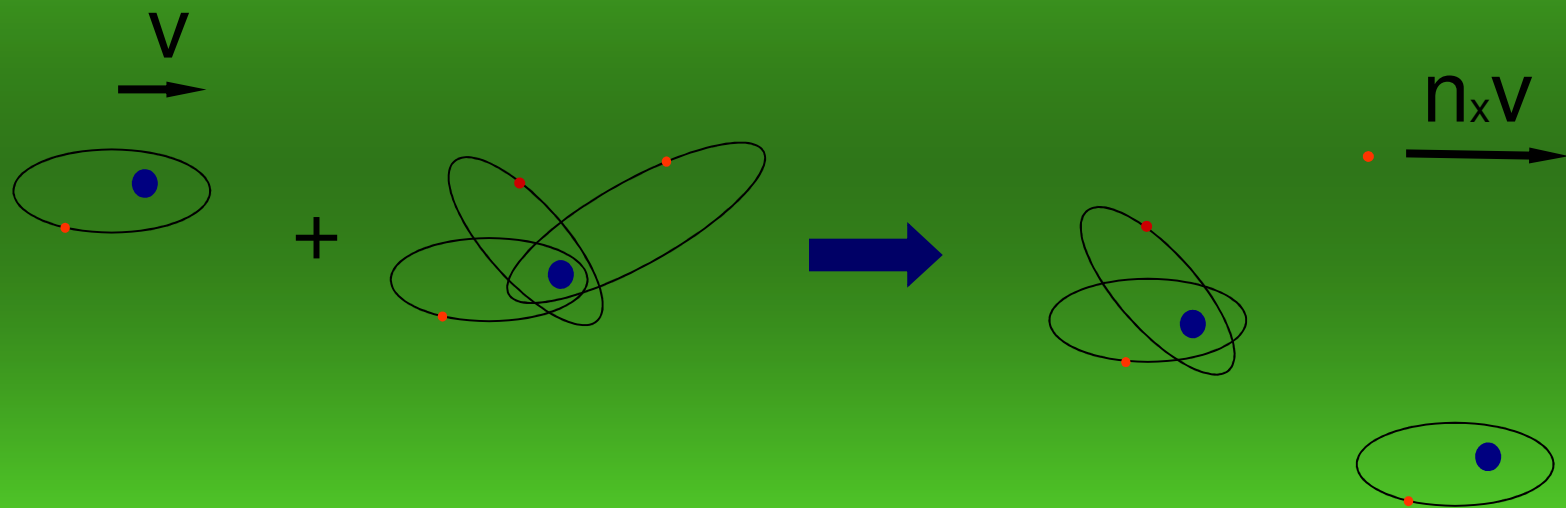
Tőkési Károly



Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy
of Sciences, (ATOMKI), Debrecen, Hungary



Klasszikus ütközési kép

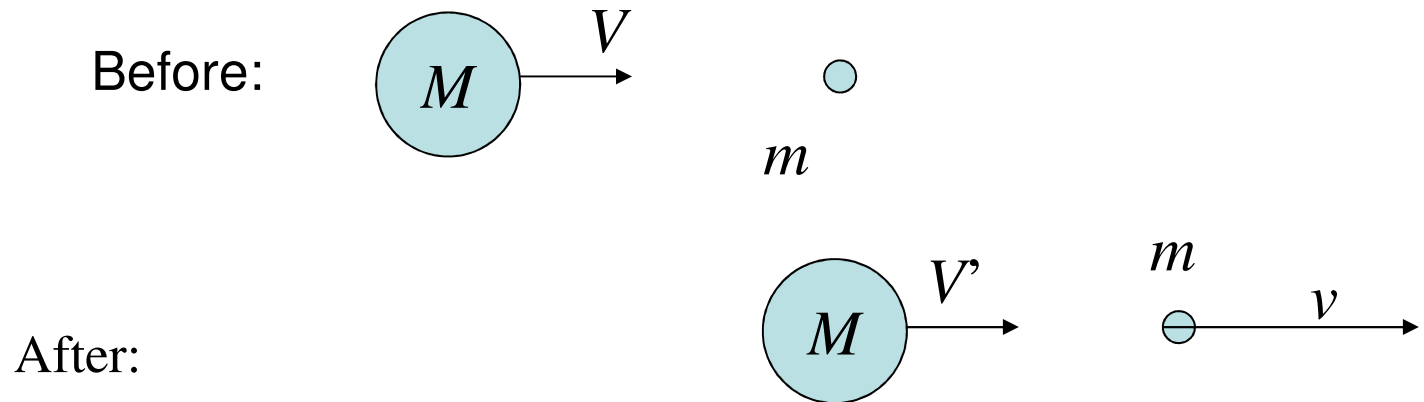


Kivonat

- Alap ötlet
- Miért?
- Rövid történet
- Klasszikus pályájú Monte Carlo technika
 - analízis – többszörös szórás
- Jelenlegi helyzetkép
 - Példák
- Összegzés

Ping-pong game: heavy paddle – light ball

Elastic scattering:



Momentum conservation: $MV = MV' + mv$

Energy conservation: $\frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}MV'^2 + \frac{1}{2}mv^2$

$$V' = V \frac{1 - m/M}{1 + m/M}$$

$$v = 2V \frac{1}{1 + m/M}$$

The final velocity of
the light particle in the
laboratory frame

Large energy gain

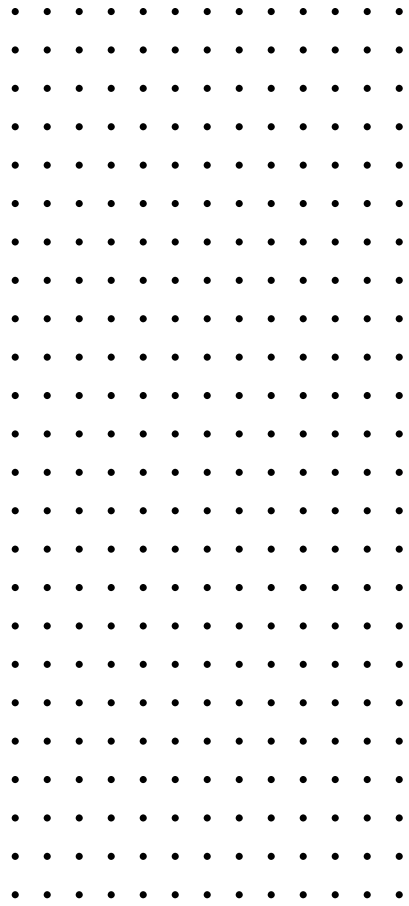
Energy gain in ping-pong game

Projectile velocity (V)

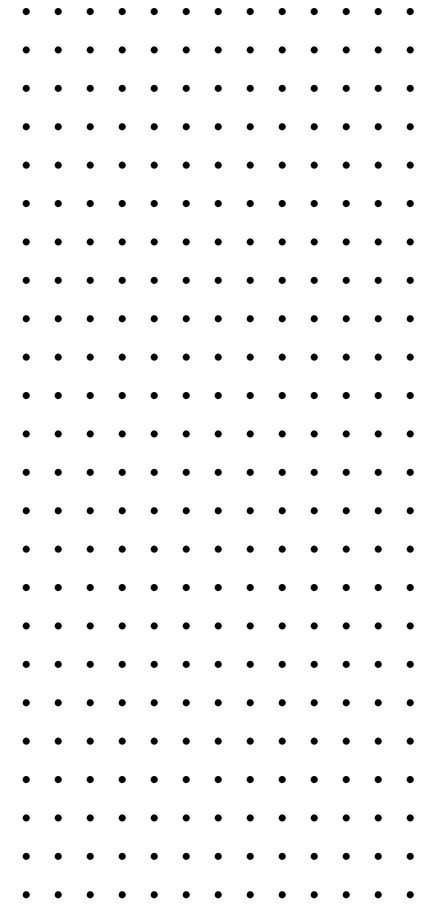
$$E_V = 0.5 m_e V^2$$

kicks:	1	2	3	4	5
ball velocity:	2V	4V	6V	8V	10V
ball energy:	4 E_V	16 E_V	36 E_V	64 E_V	100 E_V

Töltött részecskék mozgó mágneses terekben



B_1

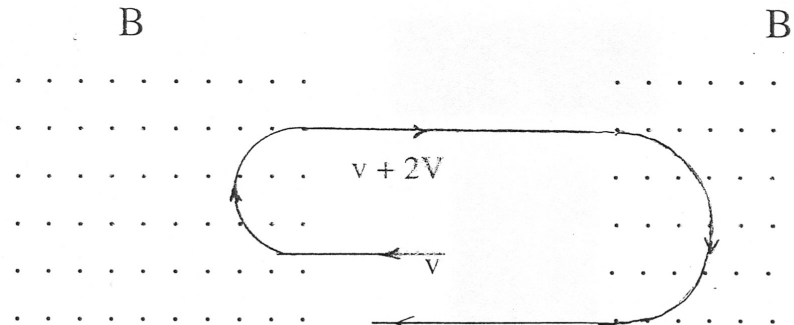


B_2

Töltő

Üttörő munka: **E. Fermi, Phys Rev. 75 (1949)**

A kozmikus sugárzás nagyenergiájú részecskéinek eredete



Atomi ütközésekben?

Tipikus értékek:

B: $\sim 10^5$ gauss

V: ~ 30 km/s

Energianyereség: ~ 10 eV / visszaverődés

Ütközések száma: $\sim 10^8$

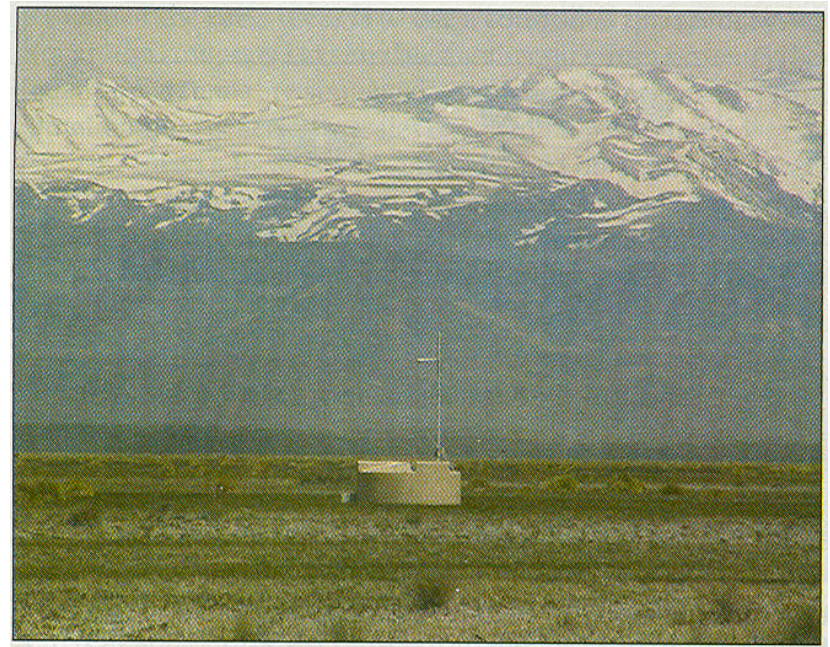
Kezdeti energia: néhány MeV (protonokra)

Végenergia: néhány GeV

B_1

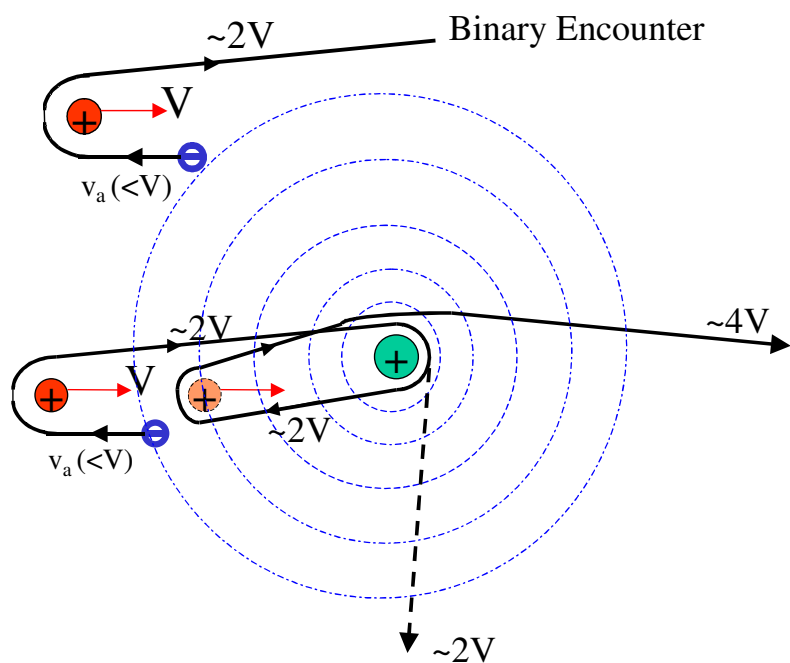
Energy distribution of the cosmic particles (**particle / (m² sr s GeV)**)

Pierre Auger project - Argentina
1600 detectors in 3000 km²

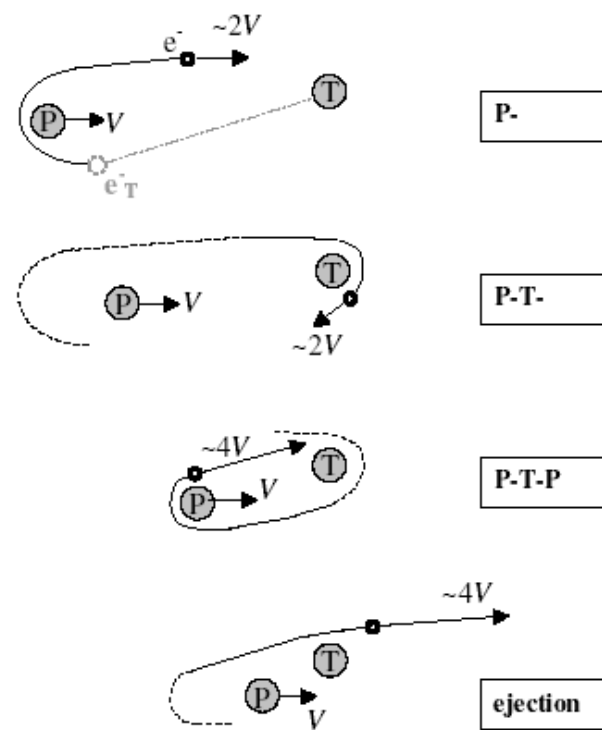


Source: M. Boratav, Probing theories with Cosmic rays
Europhysics News, September/October (2002), 162

Mechanism



Movie



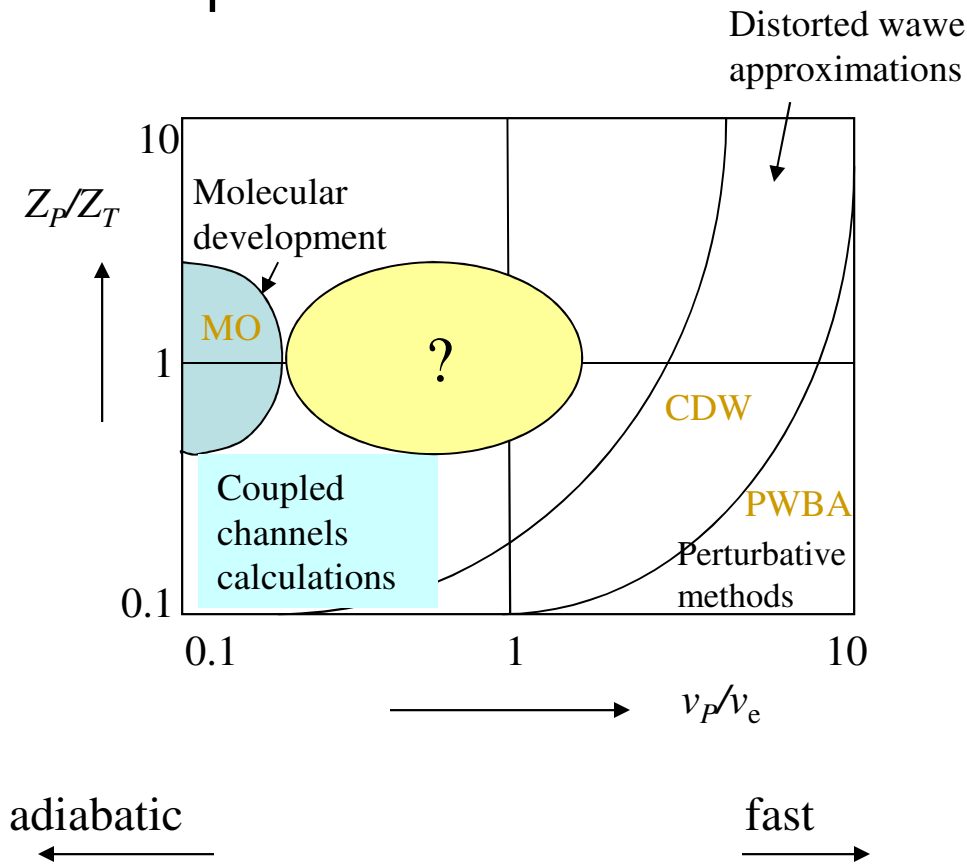
Start with: target ionization: projectile ionization (loss):
 $v_e = 2V, 4V, 6V, \dots$ or $V, 3V, 5V, \dots$

References:

1. B. Sulik *et al.*, Phys. Rev. Lett. **88**, 73201(2001),
2. B. Sulik, K. Tőkési, Advances in Quantum Chemistry **52** (2007) 253.

Ionization in ion-atom collisions

Description:

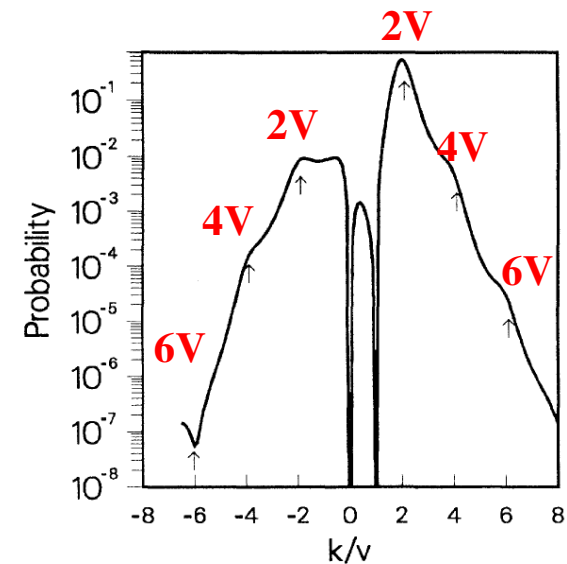


Non-perturbative models:

Classical (CTMC)- see later

Exact quantum models, e.g., one dimensional „scattering” on a delta potential

Surprise (Wang et al., 1991):

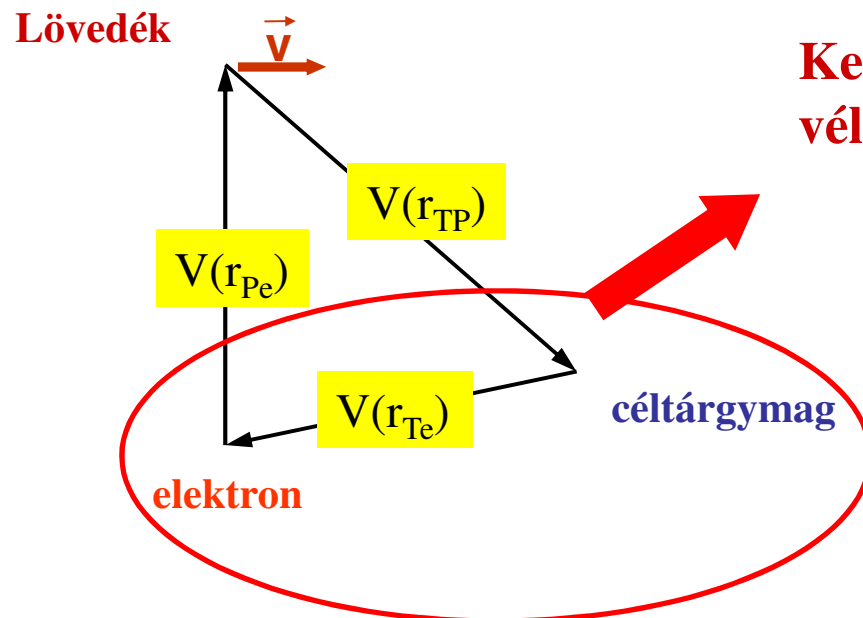


Vizsgálati módszer: Klasszikus pályájú Monte Carlo közelítés

- **Klasszikus nemperturbatív módszer** – „*Elméleti kísérlet*”
- **A többtest kölcsönhatások figyelembevétele**

Coulomb vagy modell potenciál:

$$V(r) = -\frac{(Z-1)\Omega(r)+1}{r}, \quad \text{where } \Omega(r) = [Hd(e^{r/d}-1)+1]^{-1}$$

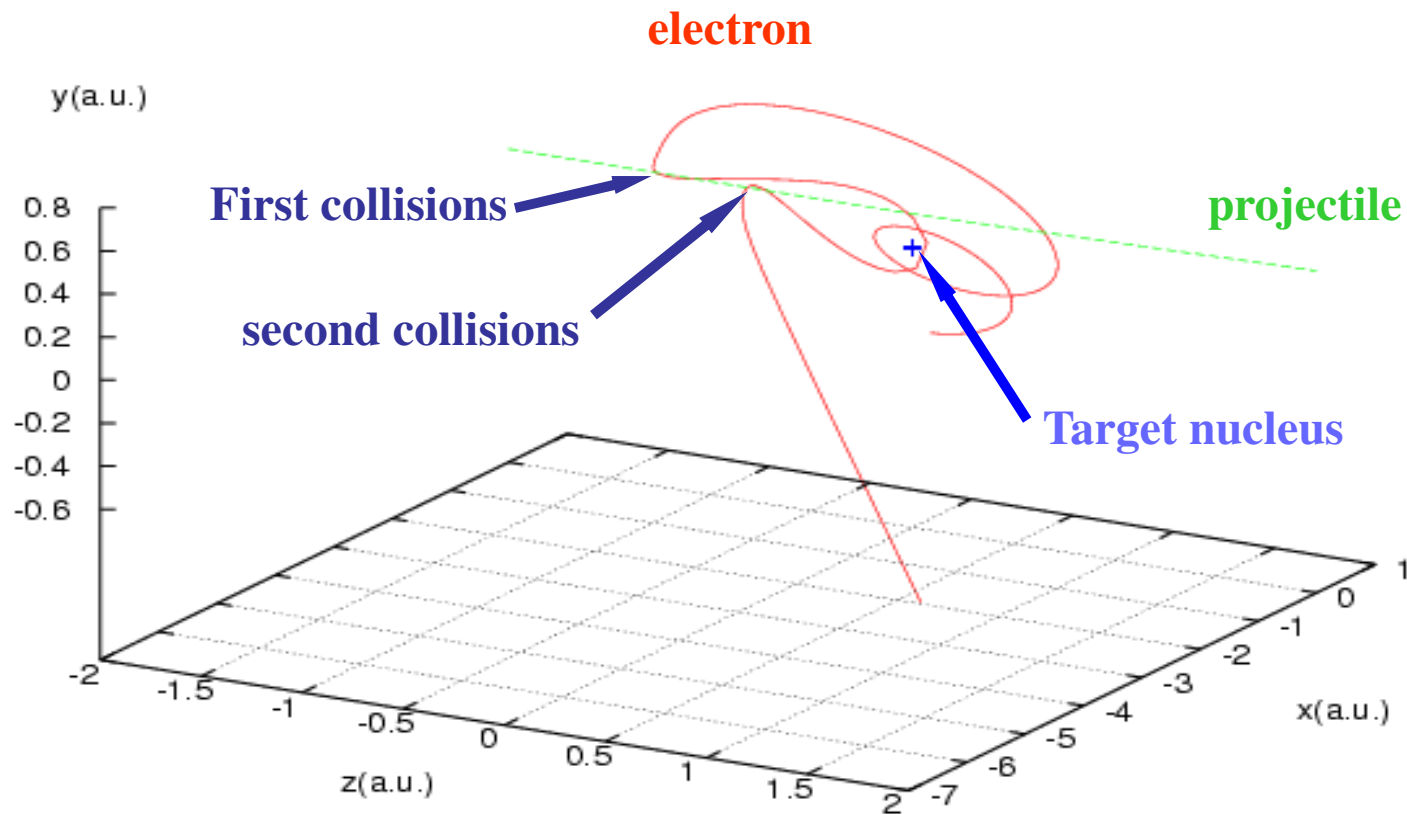


**Kezdeti feltételek
véletlen választása**

**Ütközést leíró paraméterek
meghatározása:**

**Nagyszámú egyedi pálya
nyomon követése.**

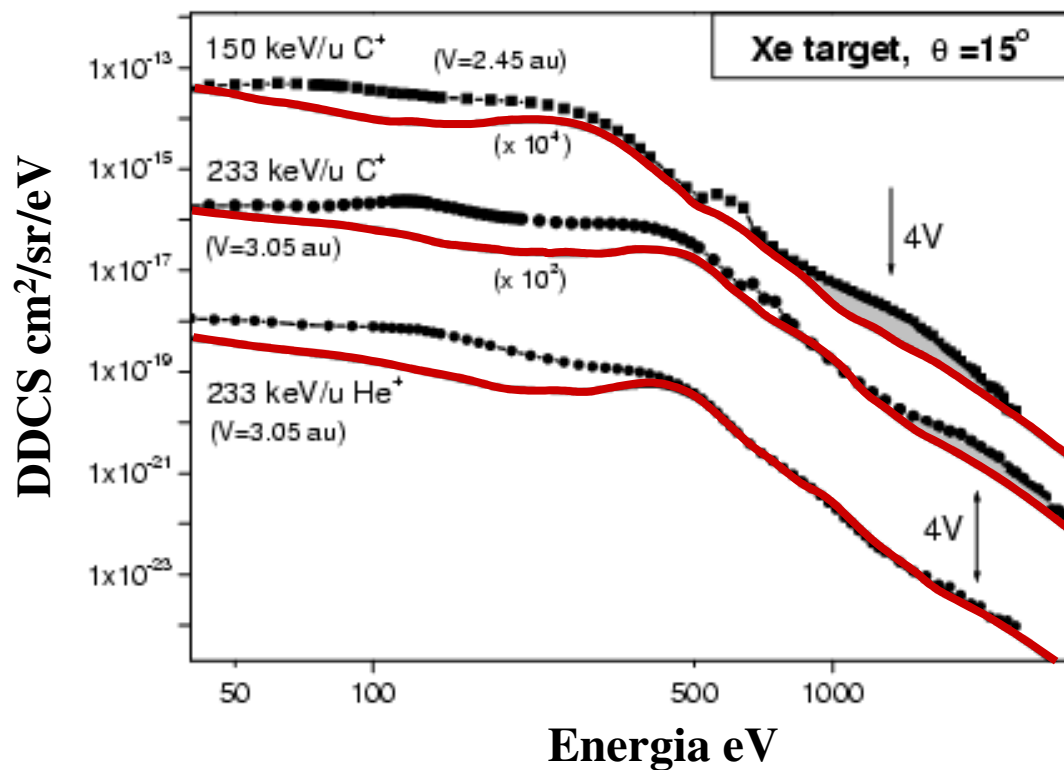
Example



A Fermi-féle ionizációs mechanizmus megfigyelése a kétszeresen differenciális hatáskeresztmetszetekben. **A többszörös szórás járulékának szétválasztása.**

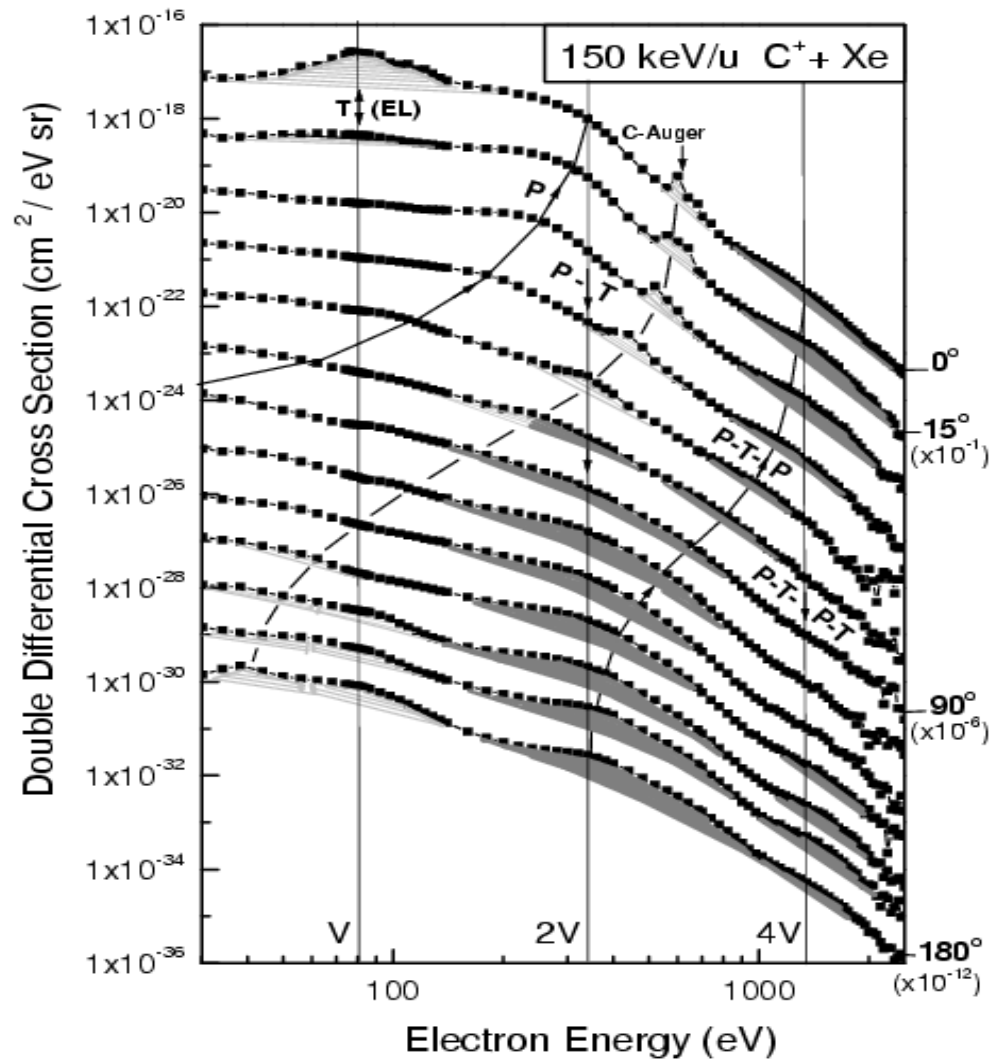
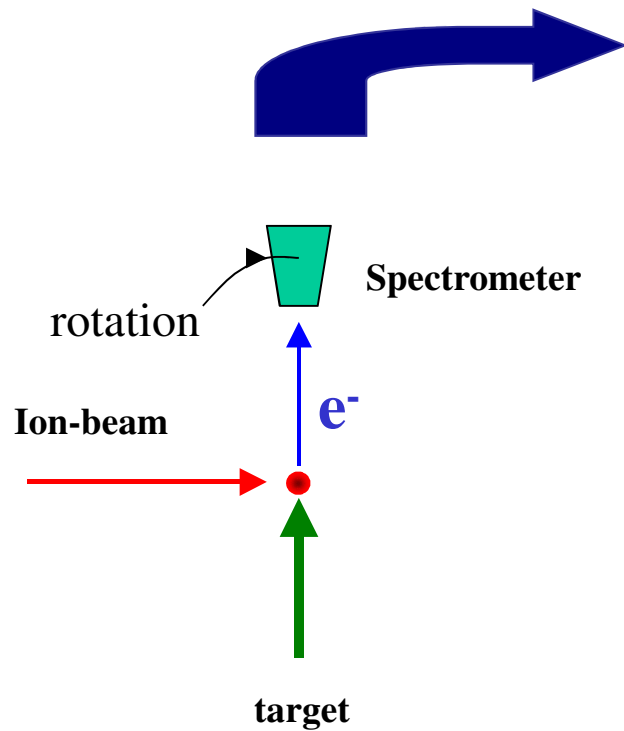
Elsőrendű Born közelítés kiválóan alkalmazható könnyű és gyors lövedékek esetében.

Magasabb rendű folyamatok járuléka: az elsőrendűekre ráakódott többletjárulék.

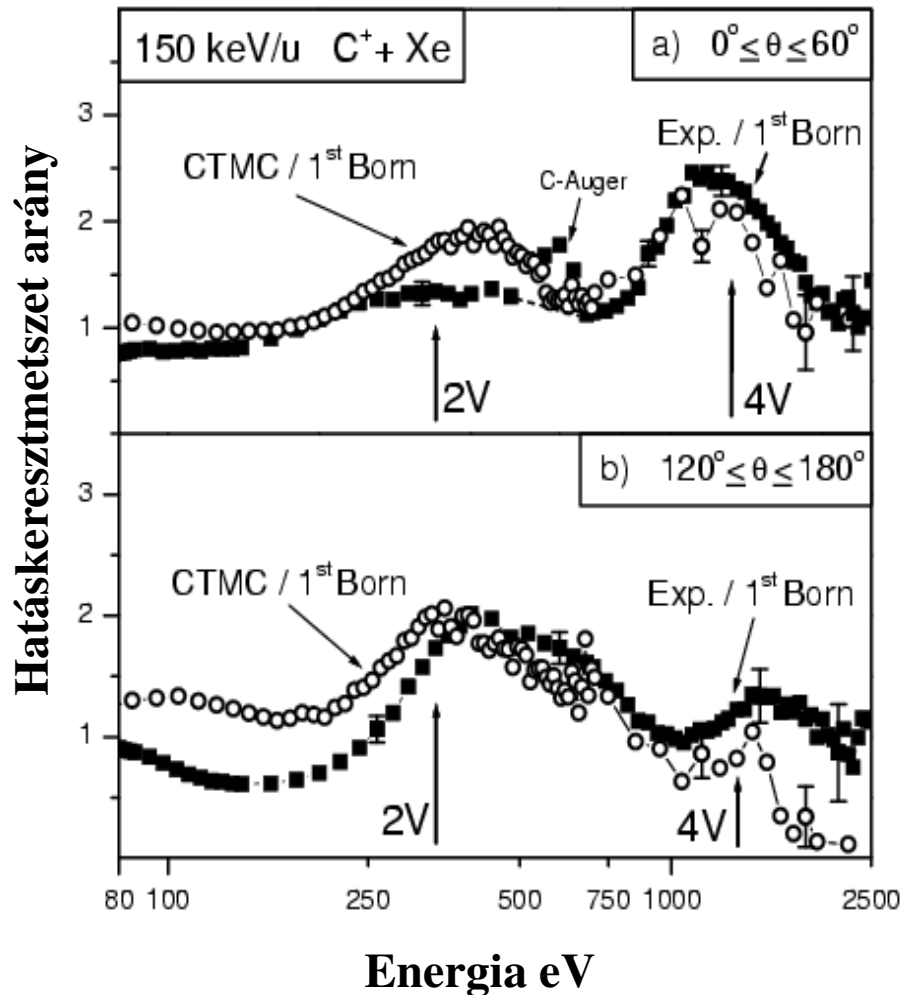


Az azonosítás kulcsa: kinematika

Observation of the Fermi-shuttle process in the double-differential electron spectra. **Angular distributions.**



Integrális hatáskeresztmetszetek előre és hátra szögekben



Exp/Born



CTMC/Born

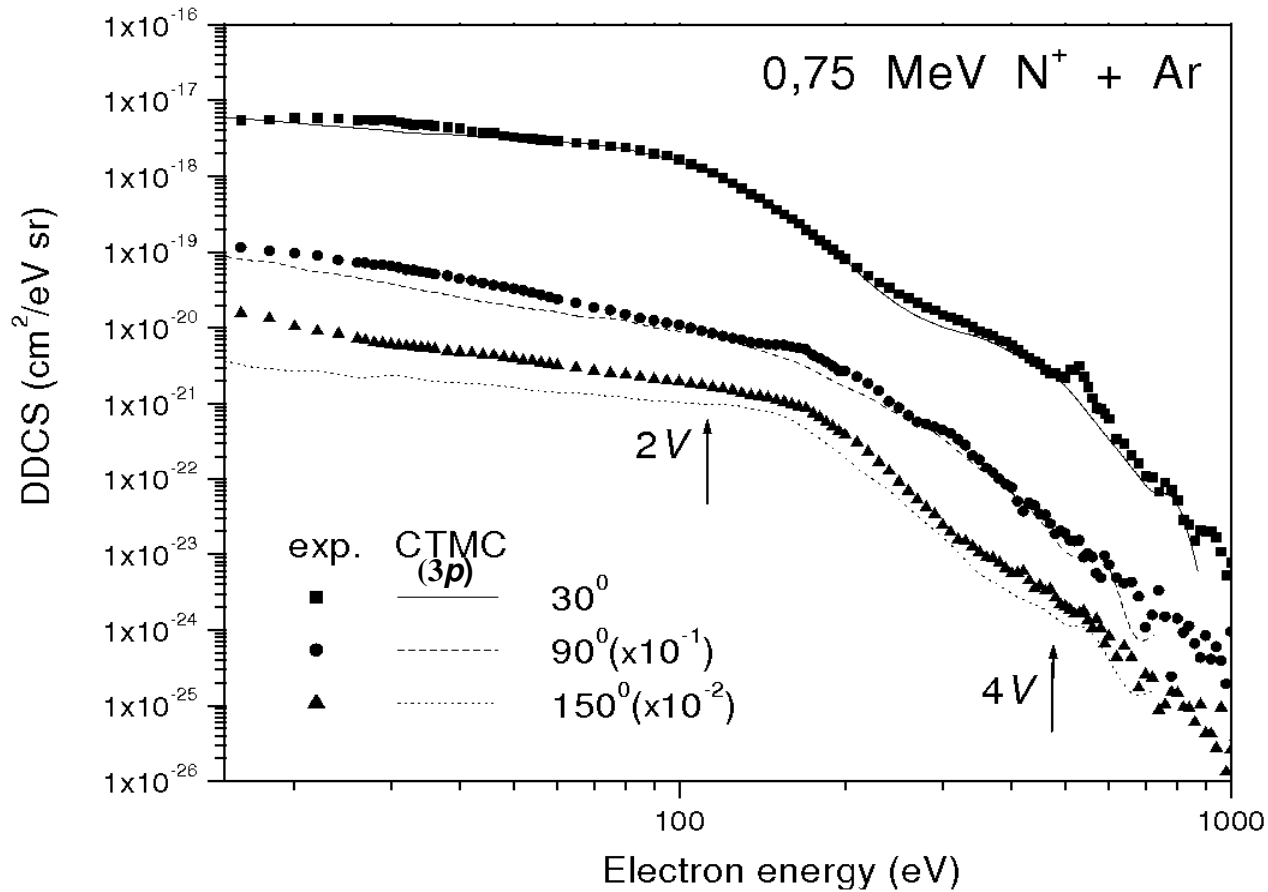
for Xe 5p, 4d shells

Héj	0-60 fok		120-180 fok	
	<u>esemény</u>	<u>P-T-P</u>	<u>esemény</u>	<u>P-T-P-T</u>
3d	45	84%	29	90%
4d	80	80%	26	65%
5p	21	71%	4	75%

Somewhat lower ion impact energies

Absolute cross sections

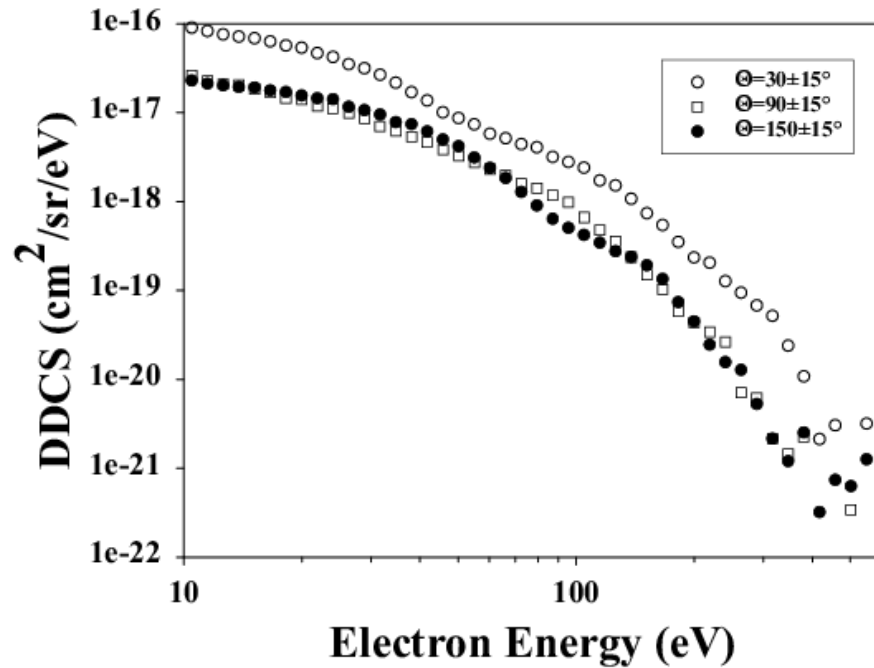
Debrecen



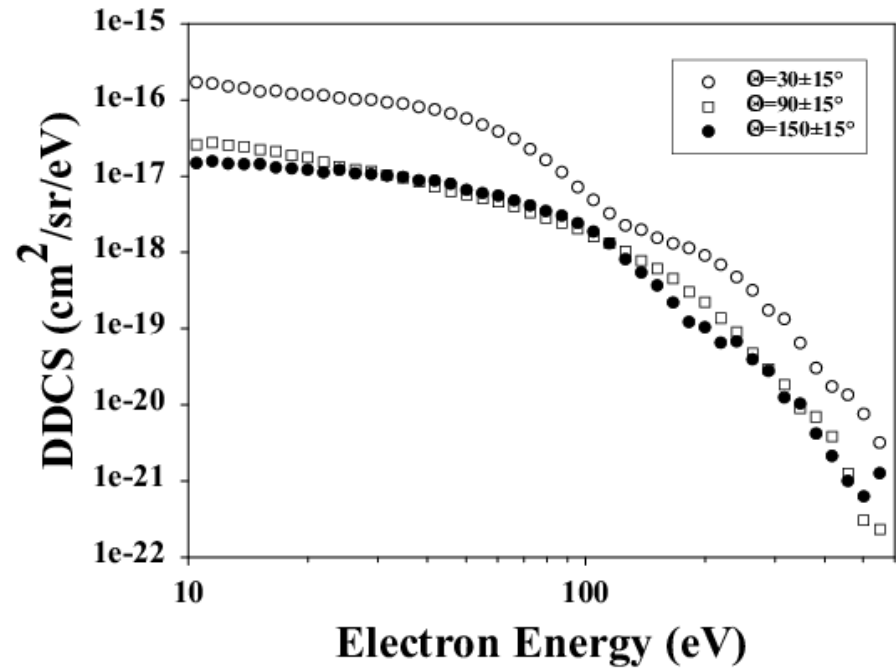
→ 85% P-T-P and P-T-P-T

CTMC results

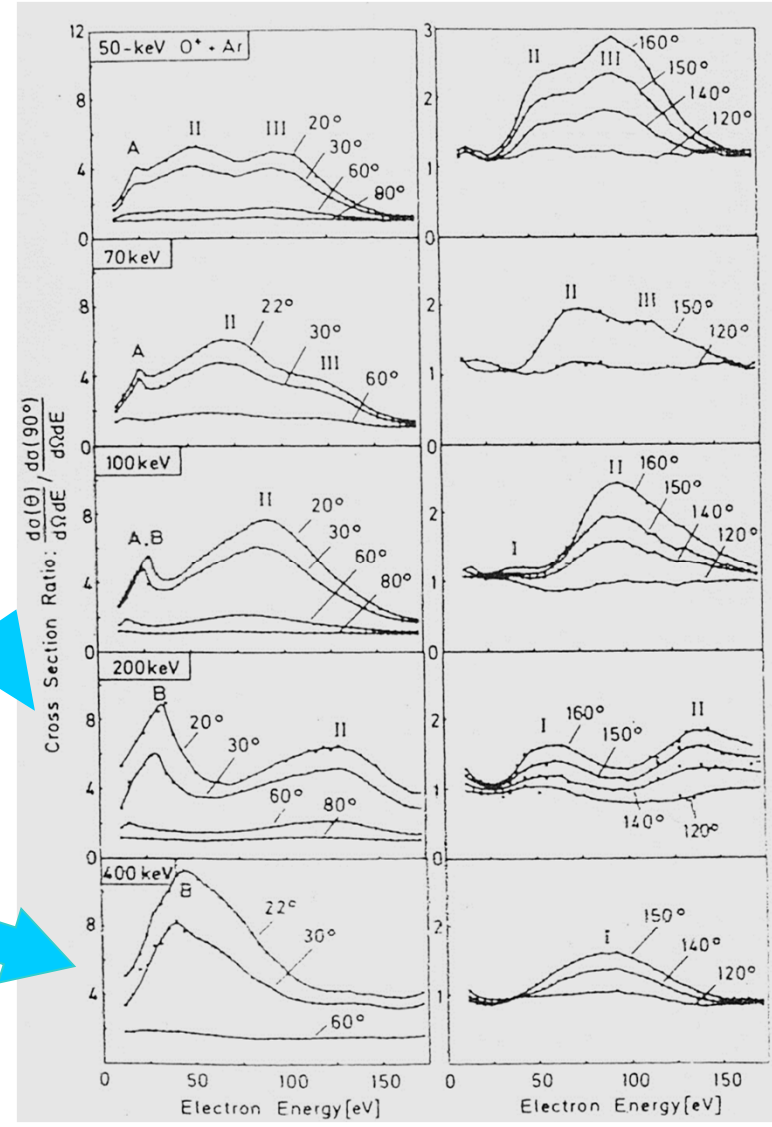
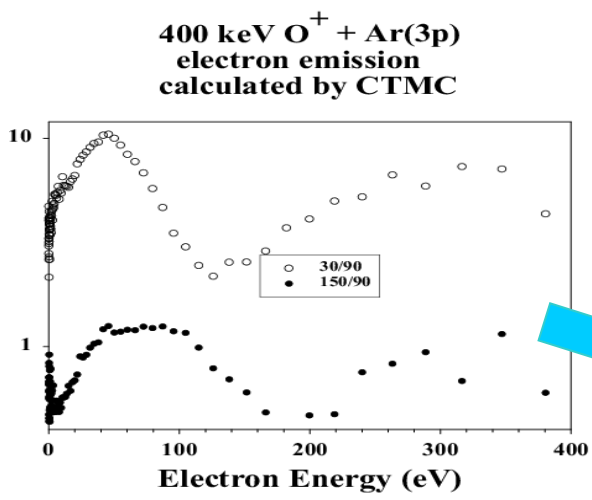
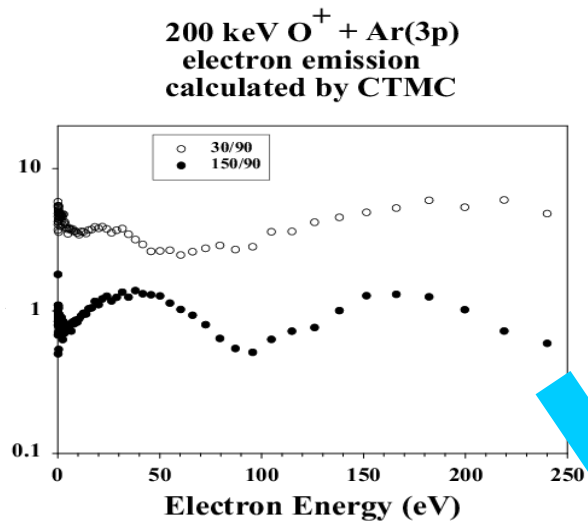
200 keV O^+ + Ar(3p)
electron emission
calculated by CTMC



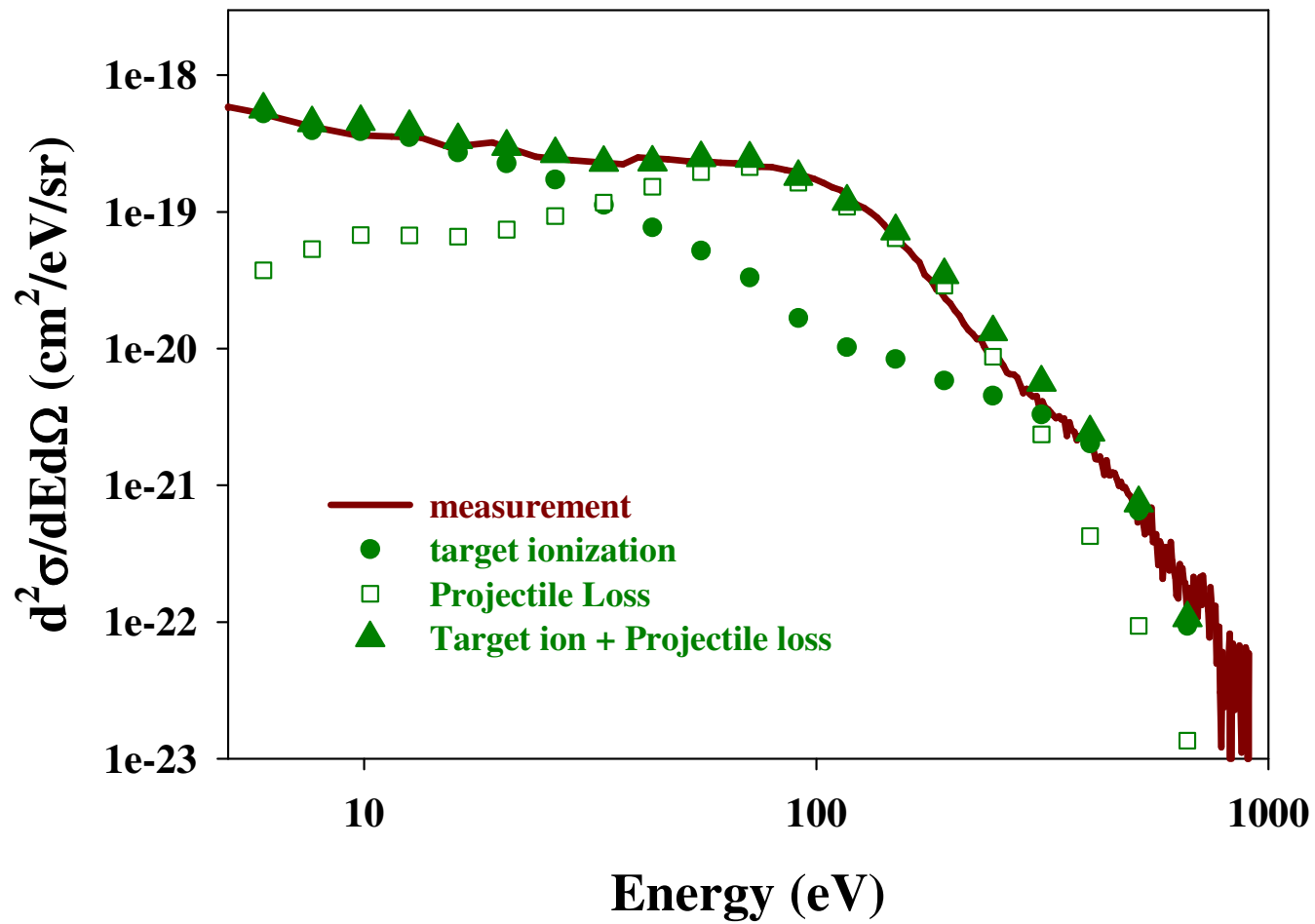
400 keV O^+ + Ar(3p)
electron emission
calculated by CTMC



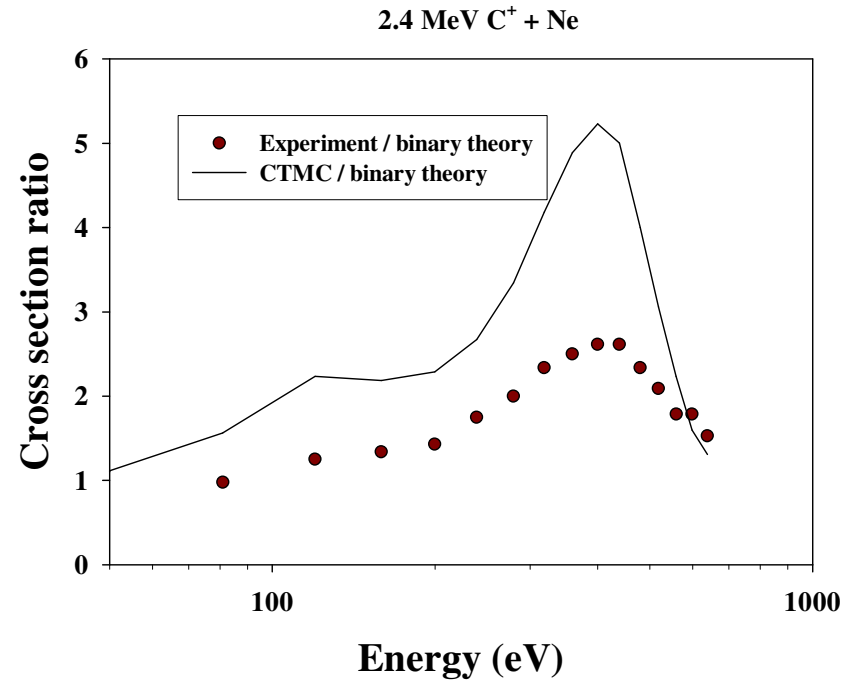
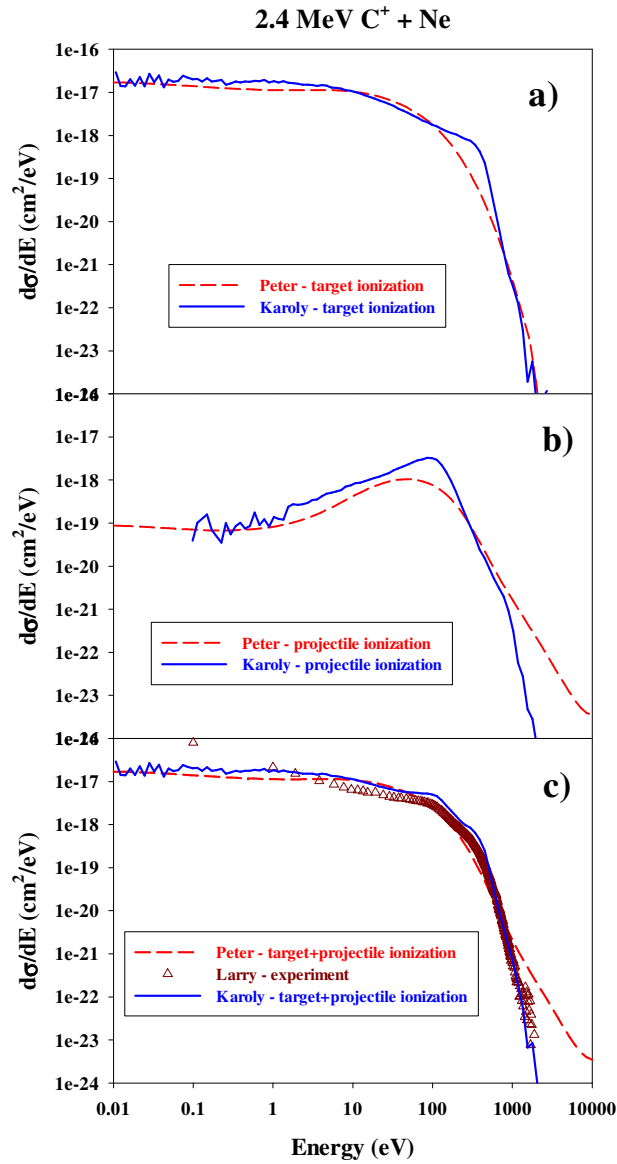
CTMC results - ratios



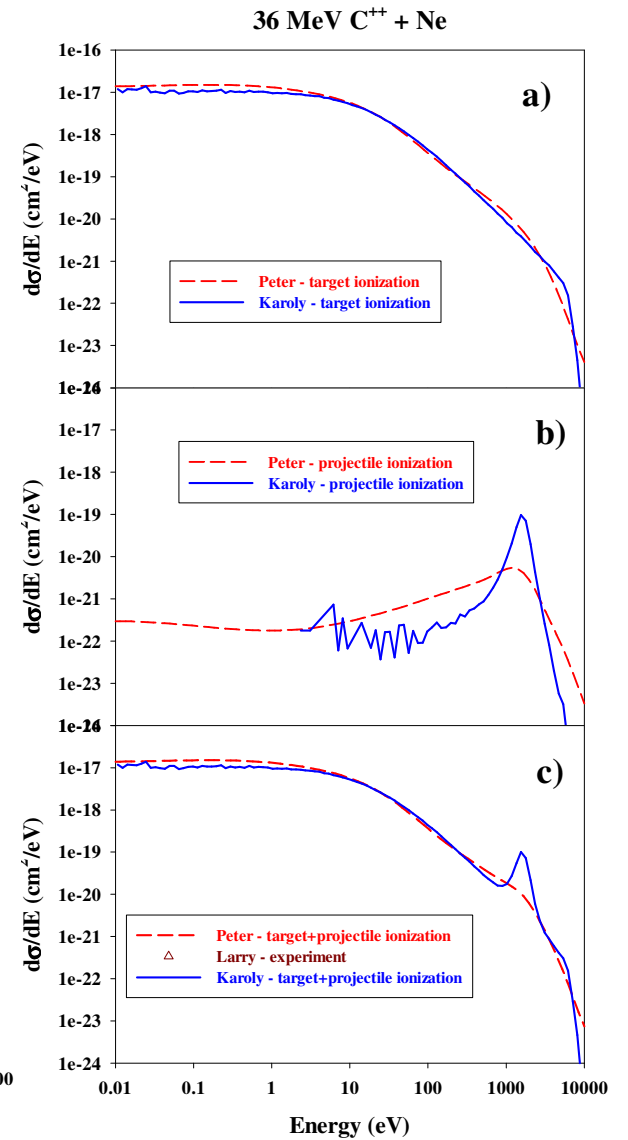
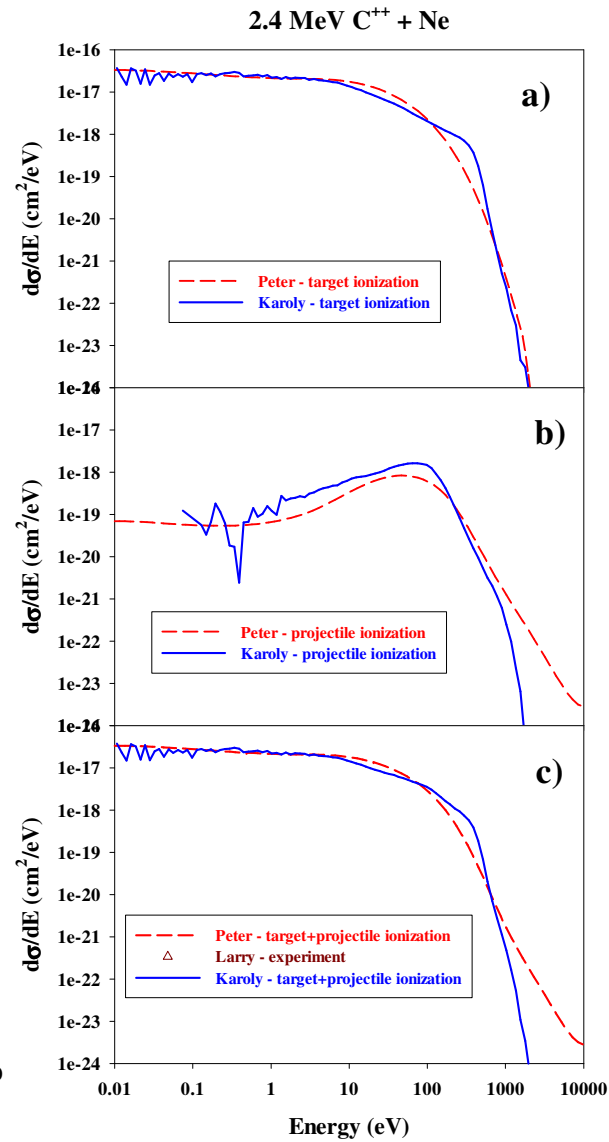
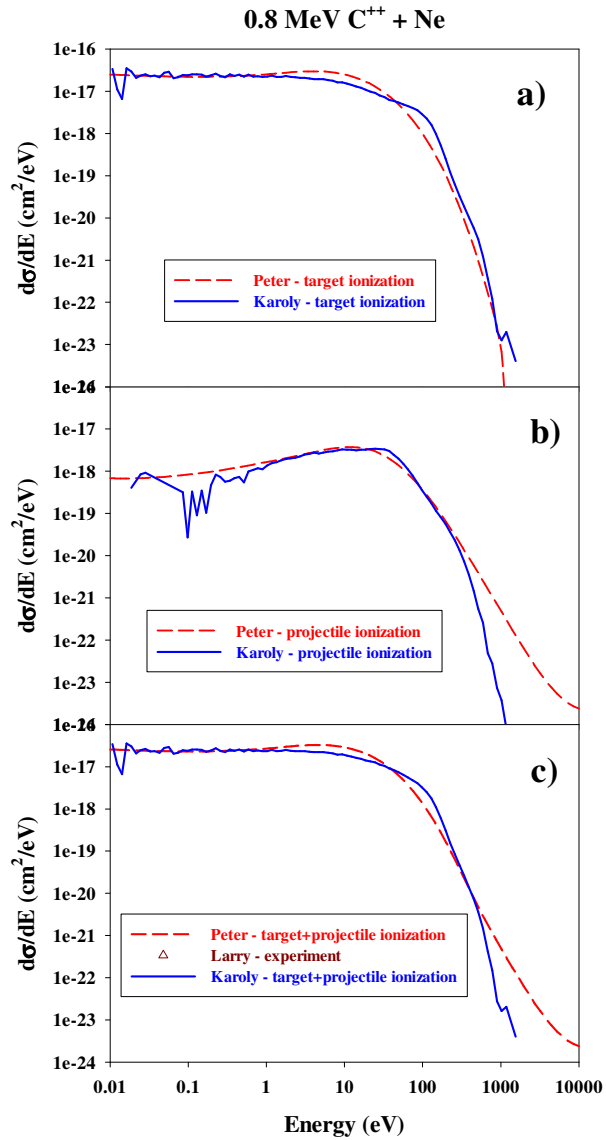
**Doubly differential cross sections for ionization of neon by 2.4 MeV C+ ions.
 $\theta = 130^\circ$**



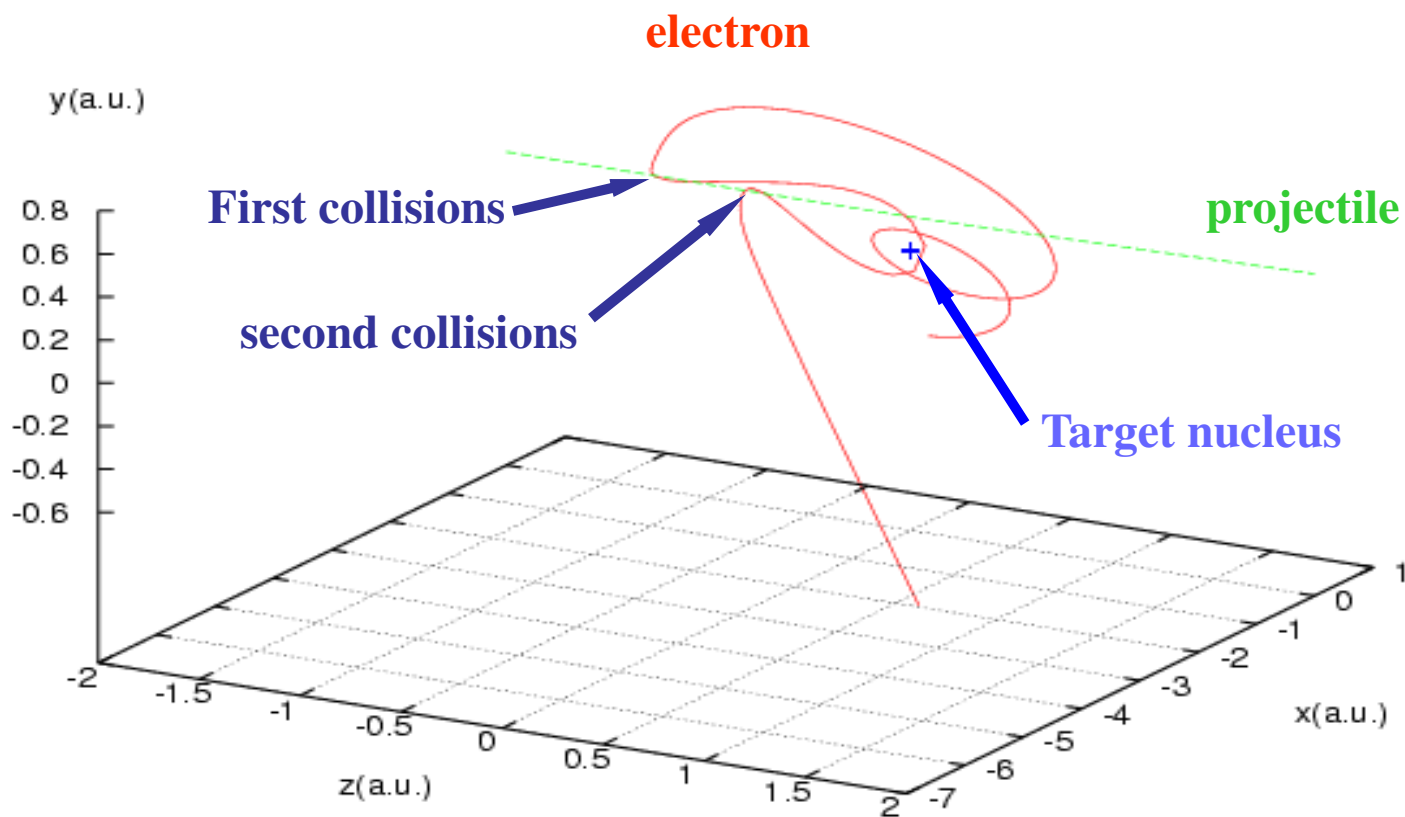
Energiaspektrumok 2.4 MeV C⁺ és Ne ütközésben



Energia spektrumok C^{++} és Ne ütközésben



Example

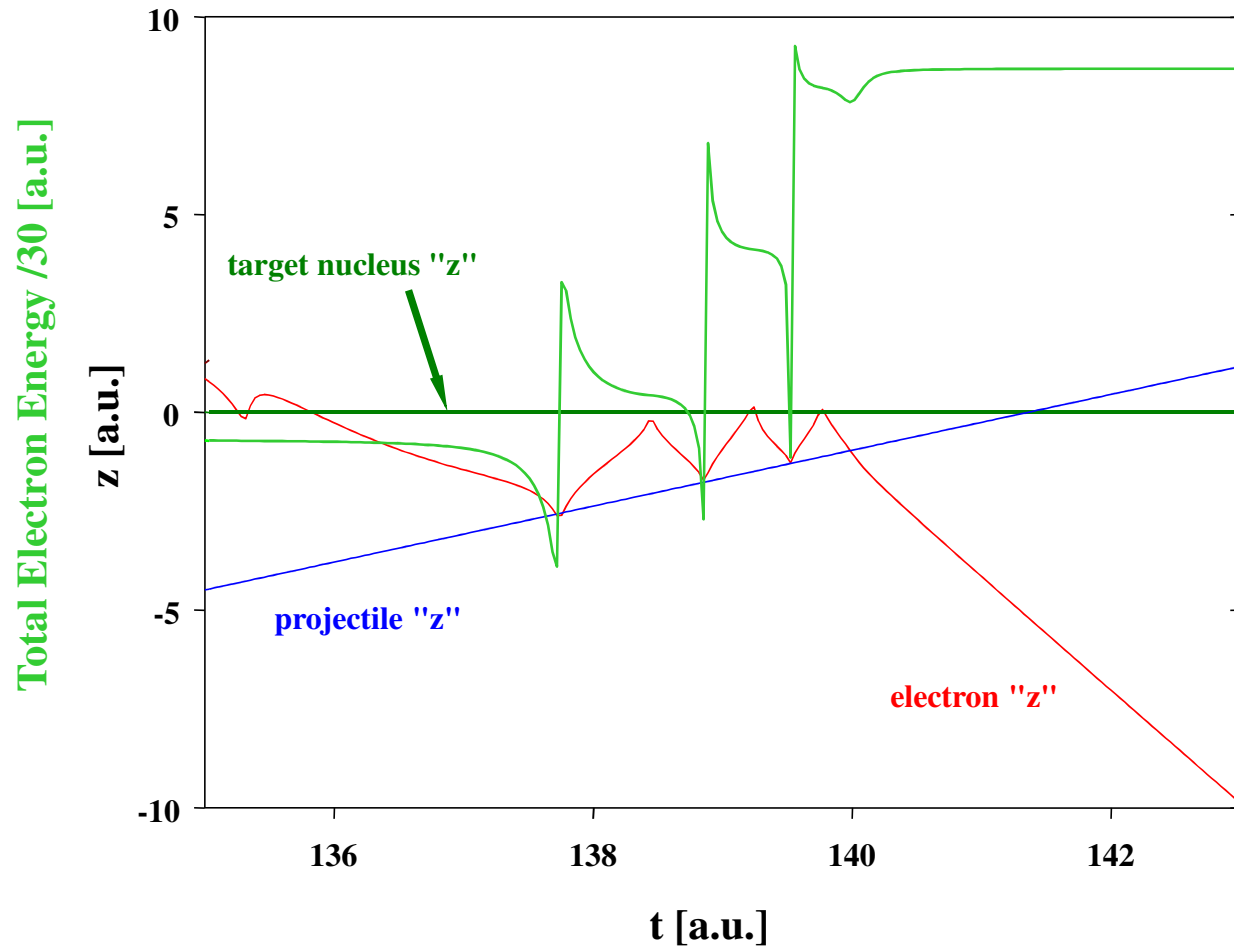


CTMC trajectories

200 keV O^+ + Ar(3p)

$E_{\text{electron}} = 260 \text{ eV}$, $\theta = 155^\circ$

$b = 0.91 \text{ a.u.}$

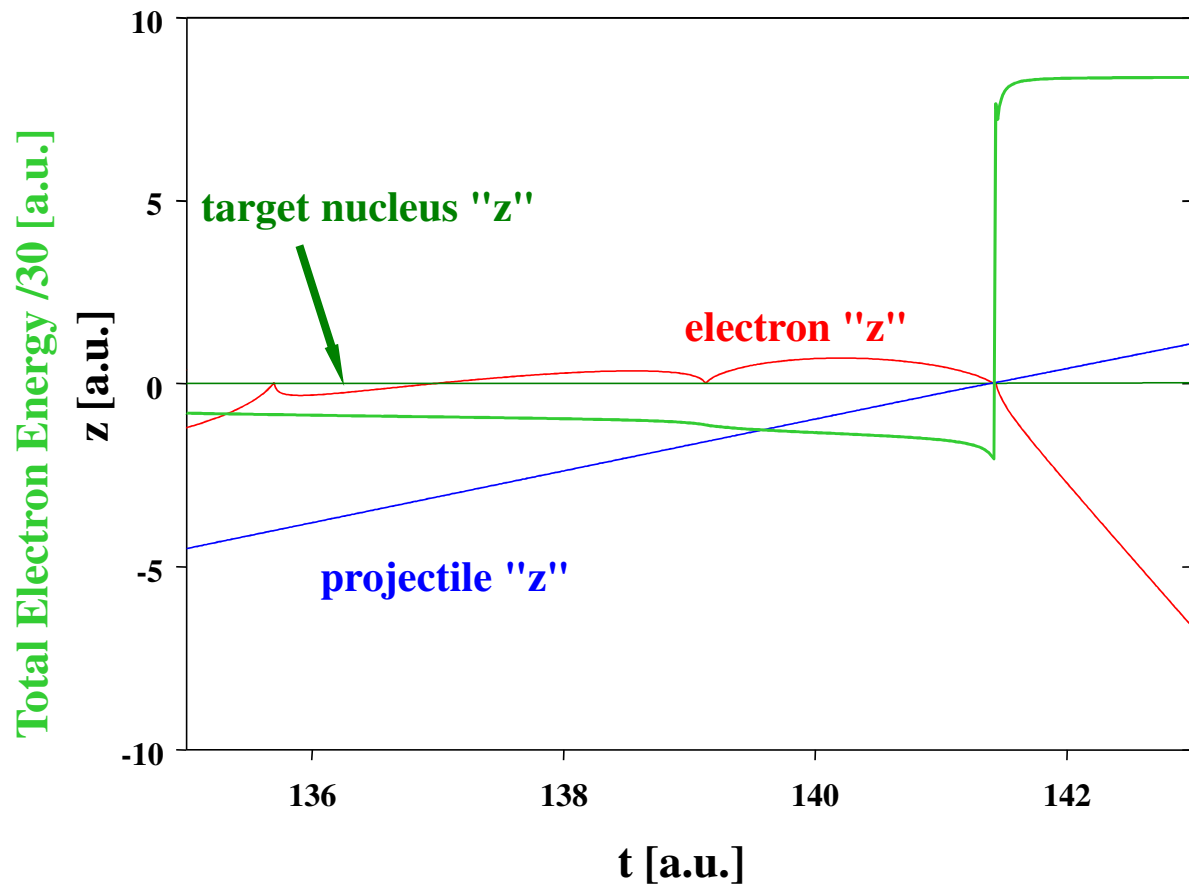


CTMC trajectories

200 keV O^+ + Ar(3p)

$E_{\text{electron}}=250$ eV, $\theta=155^\circ$

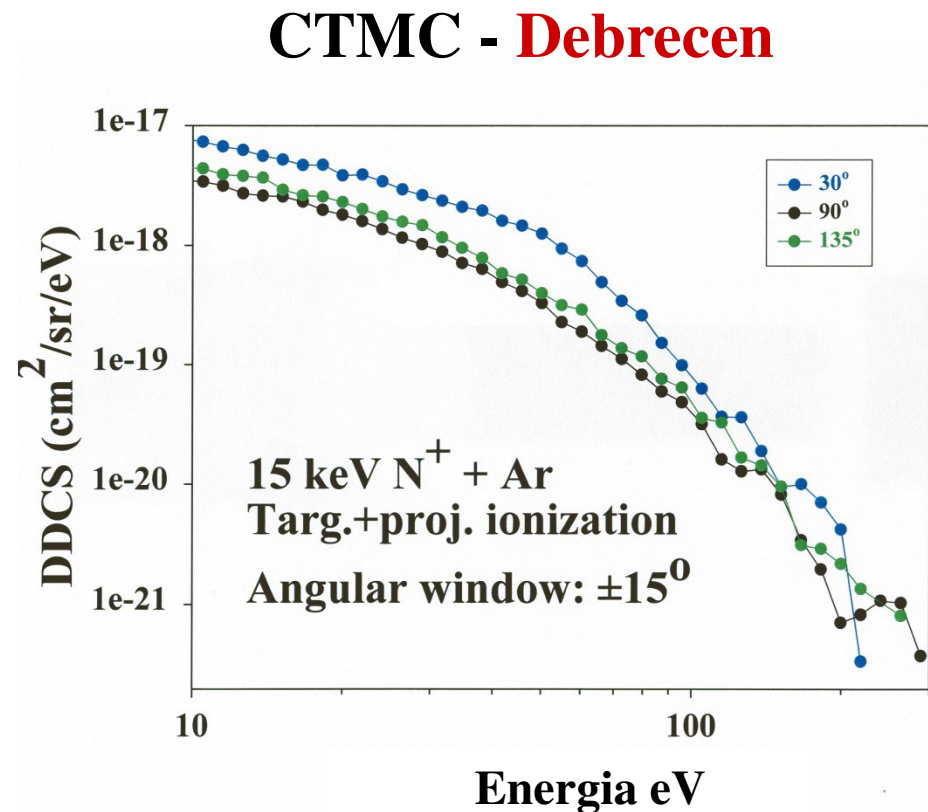
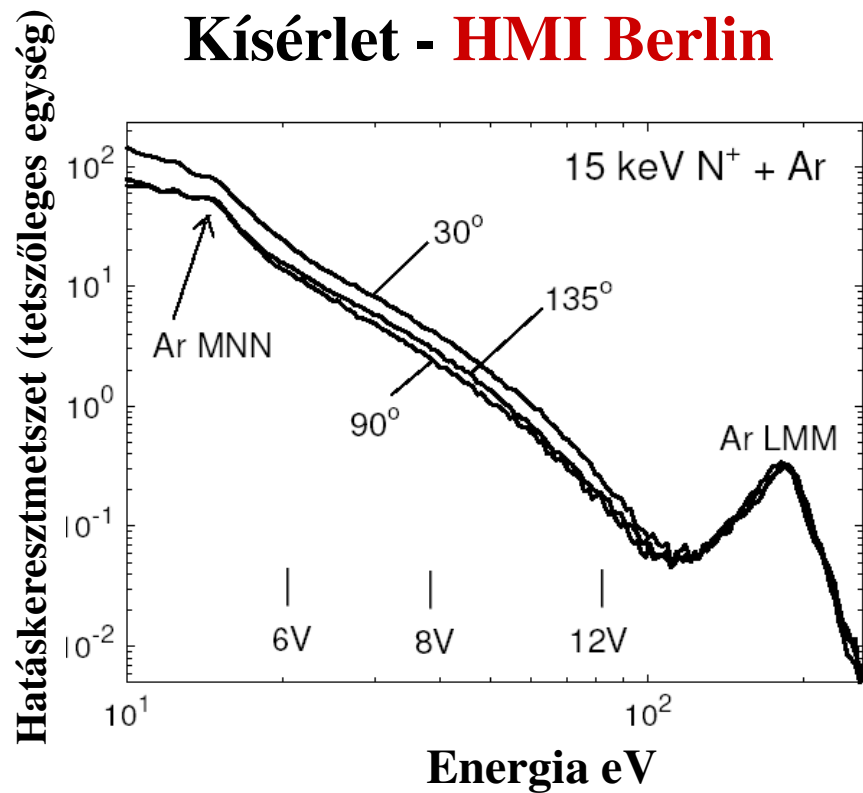
$b=0.07$ a.u.



Estimated ratio: $< 10\%$
(by sampling)
(for $E_e > 100$ eV)

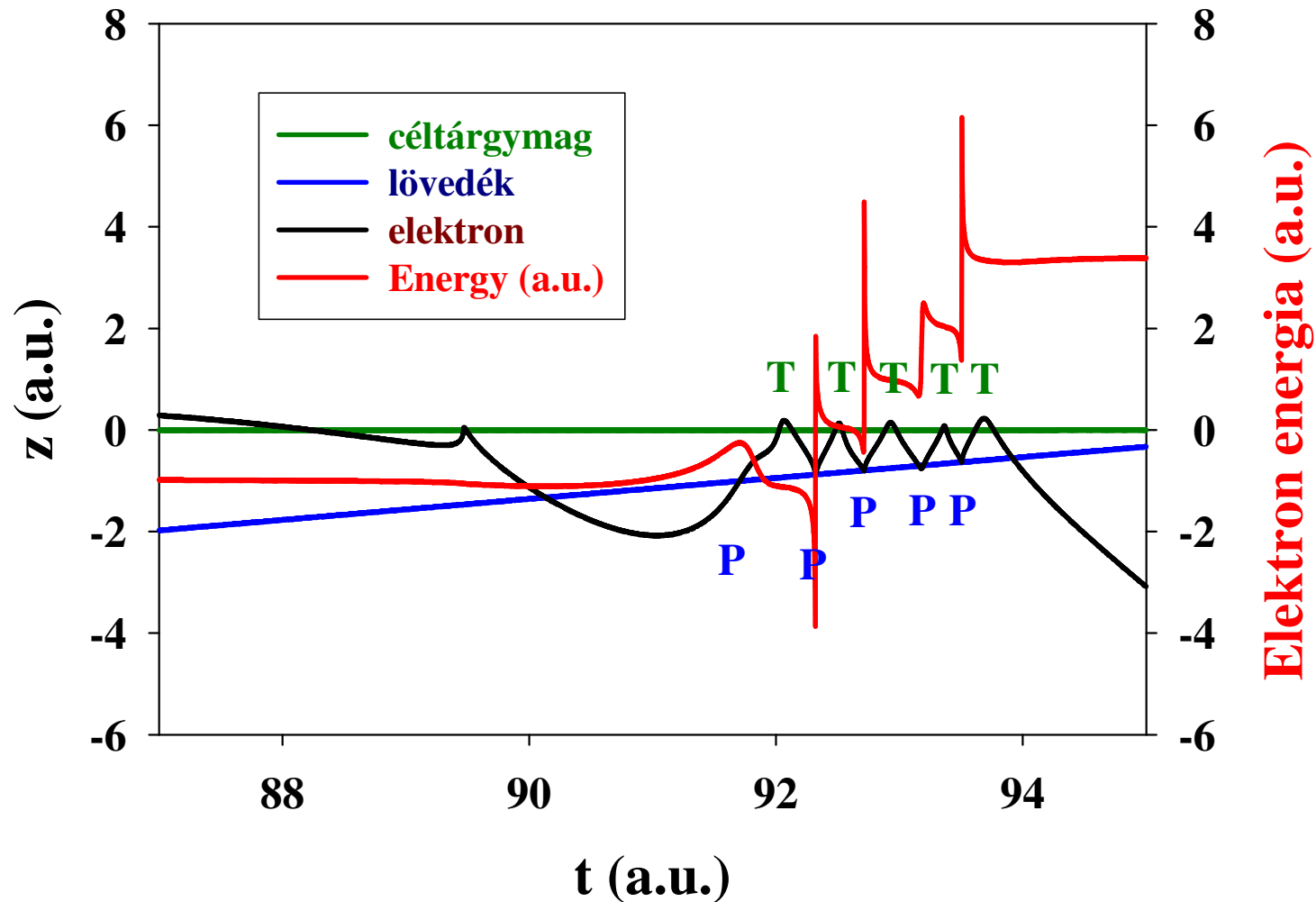
The majority of events looks
to be accelerating scattering
(or – with other words –
non-
adiabatic quasimolecular
development)

Magasabb rendű folyamatok - Kisenergiájú ütközések (>98% ping-pong)



Hosszú ping-pong játszma (15 keV N⁺ + Ar)

P-T-P-T-P-T-P-T-P-T



Összegzés

-A CTMC igen hatékony leírási mód lassú (1-30 keV/u) lövedékek és atomok ionizációs hatáskeresztmetszeteinek.

-Eredményeim igen jó egyezésben vannak a kísérleti megfigyelésekkel, a többszörös szórási folyamatok által eredményezett határozott csúcsokat és vállakat is részletesen leírják. Számításaim azt mutatják, hogy nagy elektronenergiáknál ($E > 400$ eV) mind a lövedék, mind a céltárgy ionizációját a Fermi-gyorsítással járó, többszörös elektronszóródási folyamatok uralják.

- 15 keV-es N^+ ionok és Ar atomok ütközésekor a kiszámolt egyedi pályák elemzésével azt kaptam, hogy a 10 eV feletti energiájú elektronok megjelenését az elektronspektrumban a többszörös szórások eredményezik. CTMC modellszámításaimmal megmutattam, hogy az emittált elektronok ebben az energiatartományban több, mint 98%-ban a Fermi-féle folyamatból származnak, azaz a Fermi-típusú ionizáció jelentős vagy domináns kisenergiájú ütközésekben. Klasszikus elemzéseim szerint az ion-atom ütközésekben 10-12-szeres elektronszóródási sorozatok is kialakulhatnak .

ICACS Debrecen - 13-18 July, 2014



ICACS (the International Conference on Atomic Collisions in Solids) is a biannual meeting, which deals with physical and chemical phenomena induced by the interaction of low and high energy beams (hyperthermal up to relativistic velocities) of charged or dressed particles (singly up to highly charged ions, atoms and clusters, photons, electrons, antiprotons, etc.) with the surface and the bulk of solids and also liquids.

Köszönöm
a figyelmet!