

Elektronentransfer in das Projektilkontinuum in relativistischen Ionen-Atom Stößen

Inst. f. Kernphysik, Univ. Frankfurt

S. Hagmann
R. Dörner

Max Planck Inst. f. Kernphysik, Heidelberg

J. Ullrich, R. Moshhammer, M. Nofal
A. Voitkiv, B. Najjari, A. Surzhykov

GSI- Darmstadt

Th. Stöhlker, Chr. Kozhuharov,
R. Reuschl, U. Spillmann,
S. Heß, F. Bosch, D. Liesen

LMU - München, Mathemat. Institut

D. Jakubaßa-Amundsen

Fudan University, Shanghai

X. Wang, B. Wei
Y. Zhou

Physikal. Inst., Univ. Heidelberg

S. Fritzsche

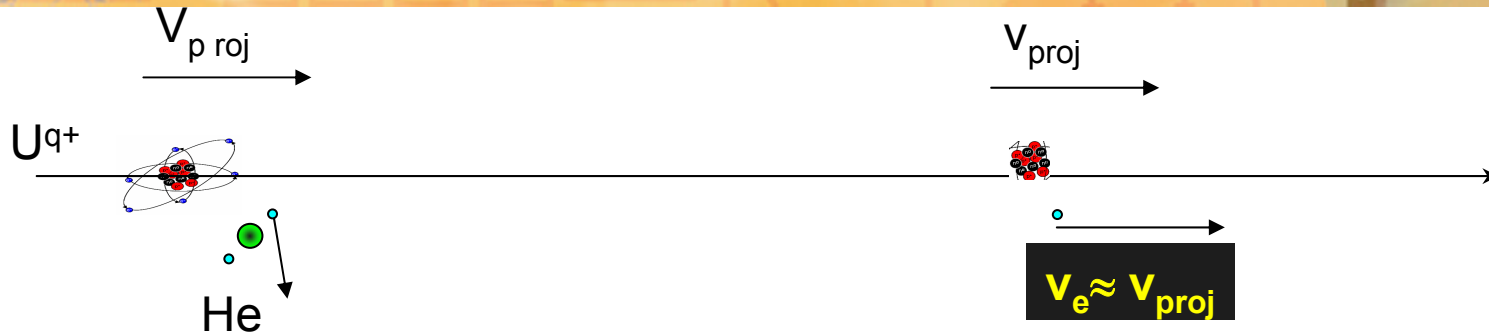
CIRIL, GANIL, Caen, France

H. Rothard

INFN, Catania, Italy

G. Lanzaò, E. deFilippo

Übersicht



- I. Ionisation und Transfer
- II. Experiment am 0^0 -Elektronenspektrometer
im ESR -Speicherring
- III. Experimentelle Ergebnisse
- IV. Ausblick

I. Elektronentransfer ins Projektilkontinuum a) ELC



Target

Electron Loss to Continuum(ELC):

e.g.



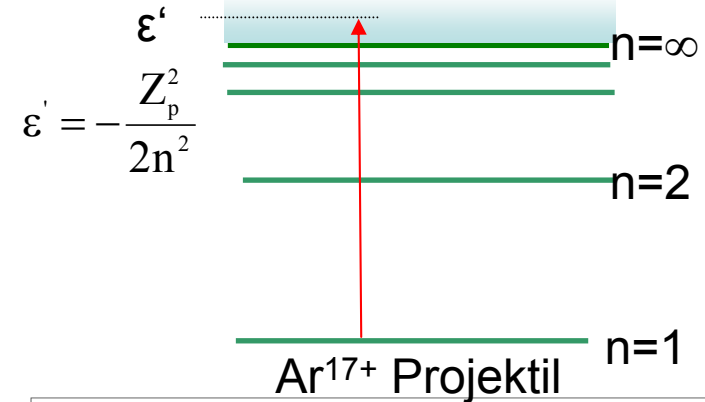
-Anregung des Projektil e^{-} ins Projektilkontinuum durch Stoß mit e^{-} oder Kern des Targets

- Impulsübertrag $q \approx \Delta E/v_{\text{Proj}}$ ist klein
($d\sigma \sim q^{-4}$)

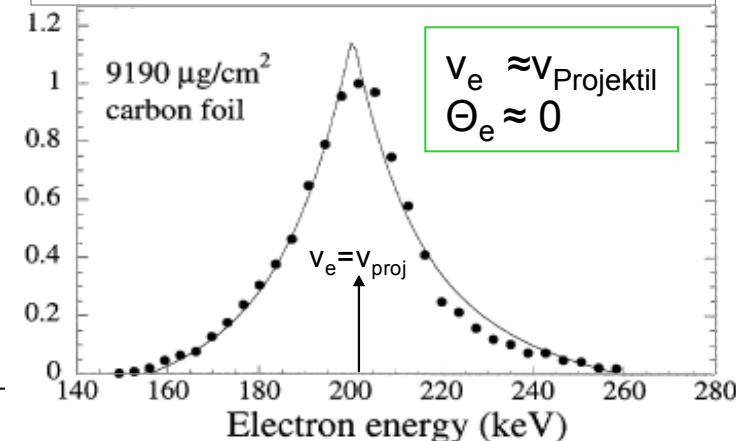
- $\epsilon' \ll \frac{1}{2} m v_{\text{Proj}}^2$ nahe der Schwelle im Projektilsystem

-symmetrische Linienform

-Breite durch Comptonprofil gegeben



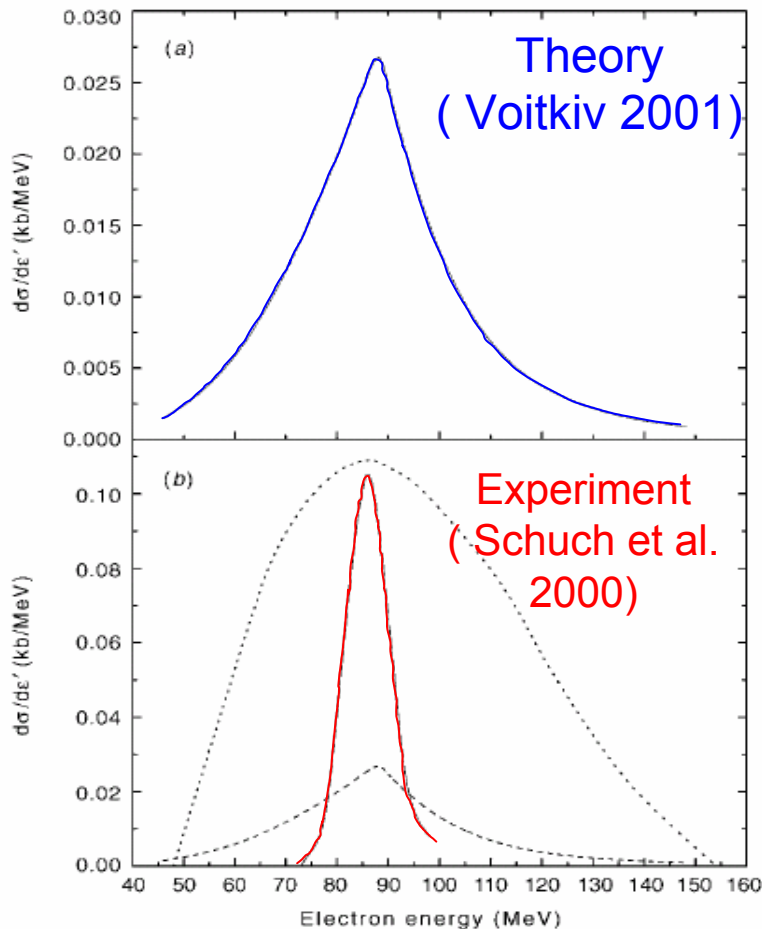
390 A MeV $\text{Ar}^{17+} + \text{C}$
Convoy Cusp Y. Takabayashi et al.



I. Elektronentransfer ins Projektilkontinuum a) ELC für $\gamma=160$



160AGeV $\text{Pb}^{81++} + \text{Al} \rightarrow \text{Pb}^{82+} + e_{\text{Cusp}}$

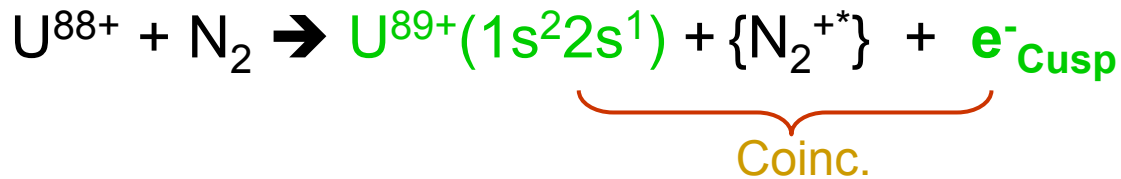


Bei $\gamma=160$ kann relativistische Störungstheorie 1. Ordnung die Linienbreite des ELC- Cusp nicht wiedergeben.

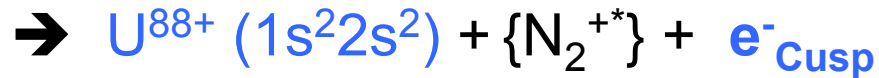
(neueste Rechnungen von Voitkiv - im Druck bei PRL - zeigen durch Einschluß intermediärer Zustände schmalere Profile)

I. Elektronentransfer ins Projektilkontinuum für $U^{88+}(1s^22s^2)$

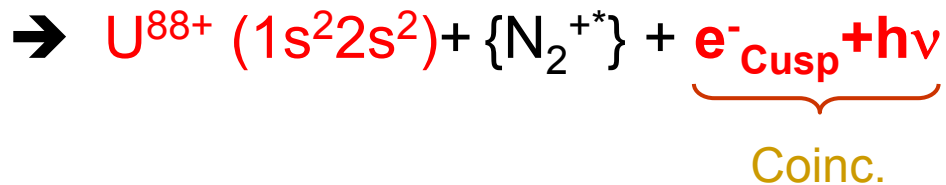
OFFENE KANÄLE FÜR Elektronentransfer in Projektilkontinuum:



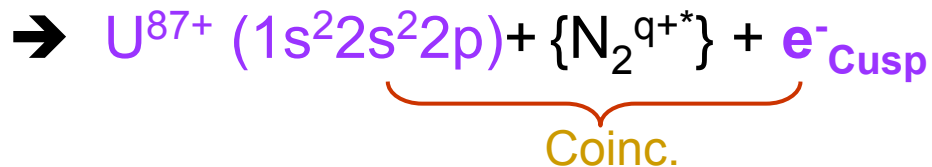
ELC electron loss
to continuum
(nearly symmetric cusp)



ECC electron
capture to continuum

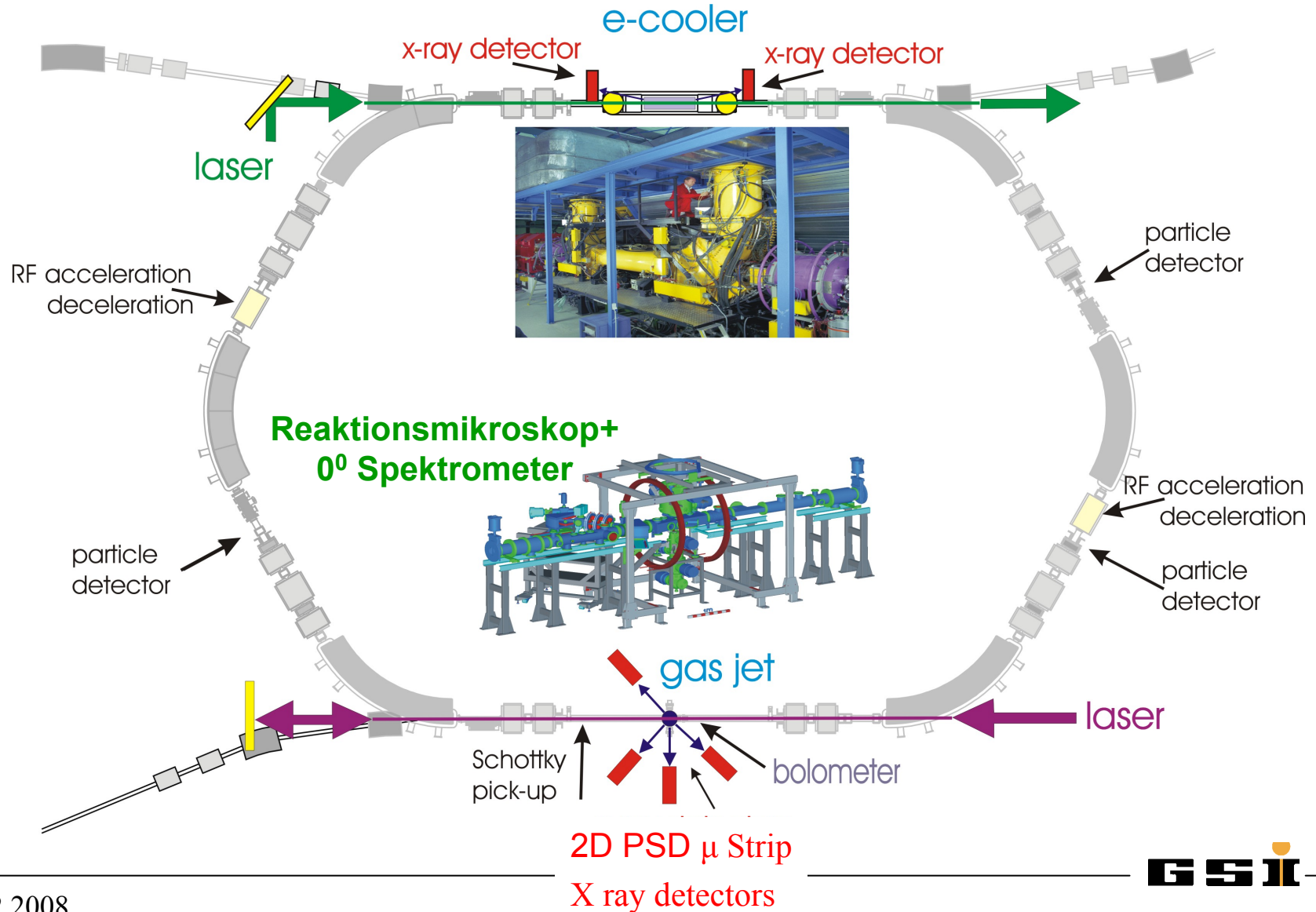


RECC radiative
electron capture
to continuum

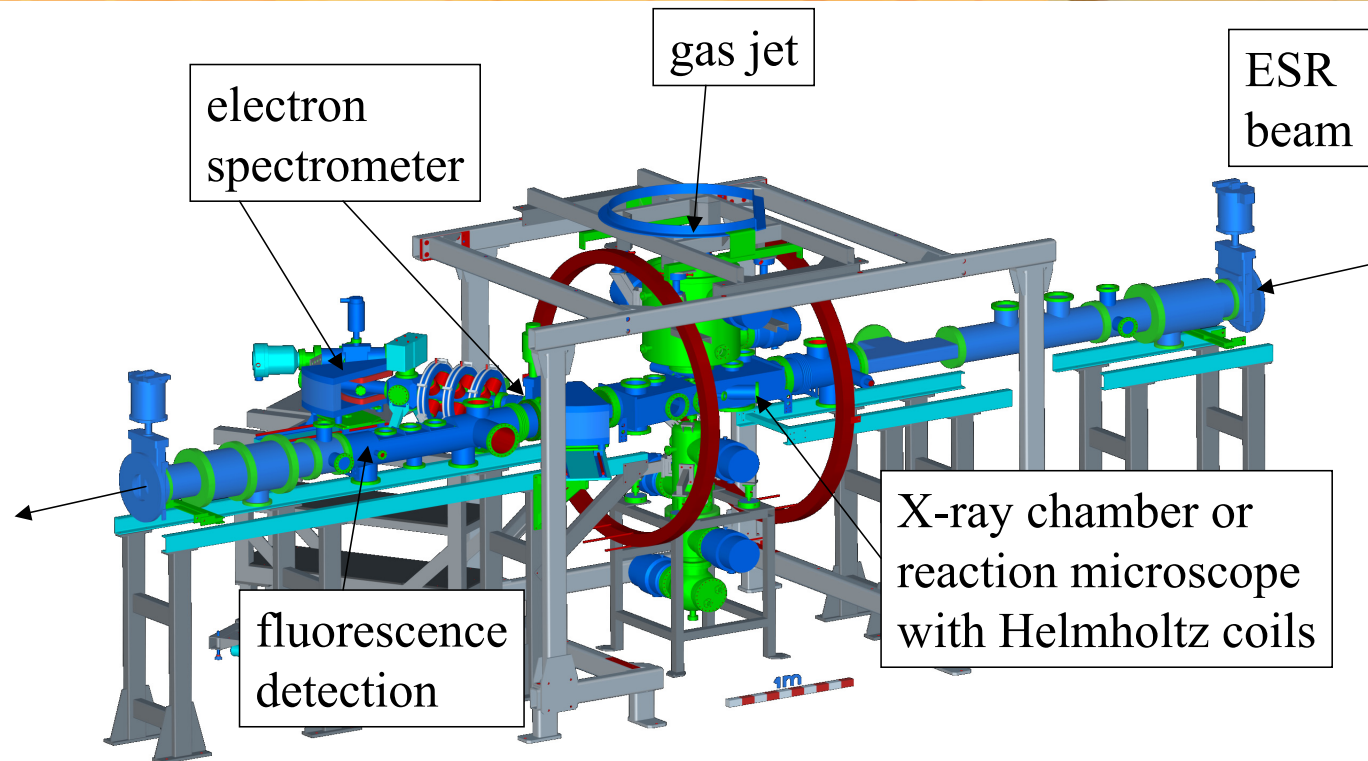


ECC2 2e-electron
capture to bound and
to continuum

II. Experimentelle Einrichtungen im ESR

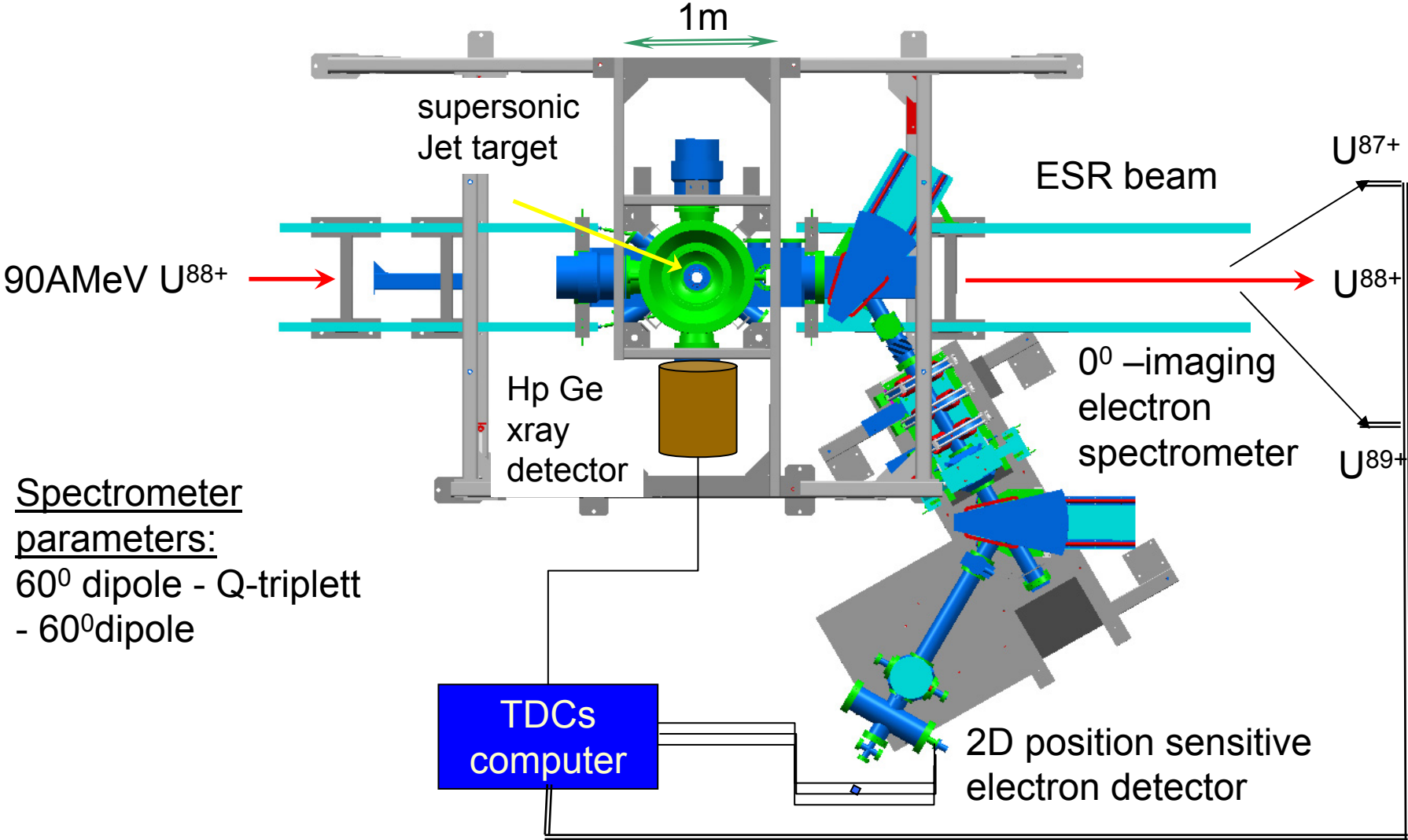


II. Targetzone im ESR mit Überschalljet

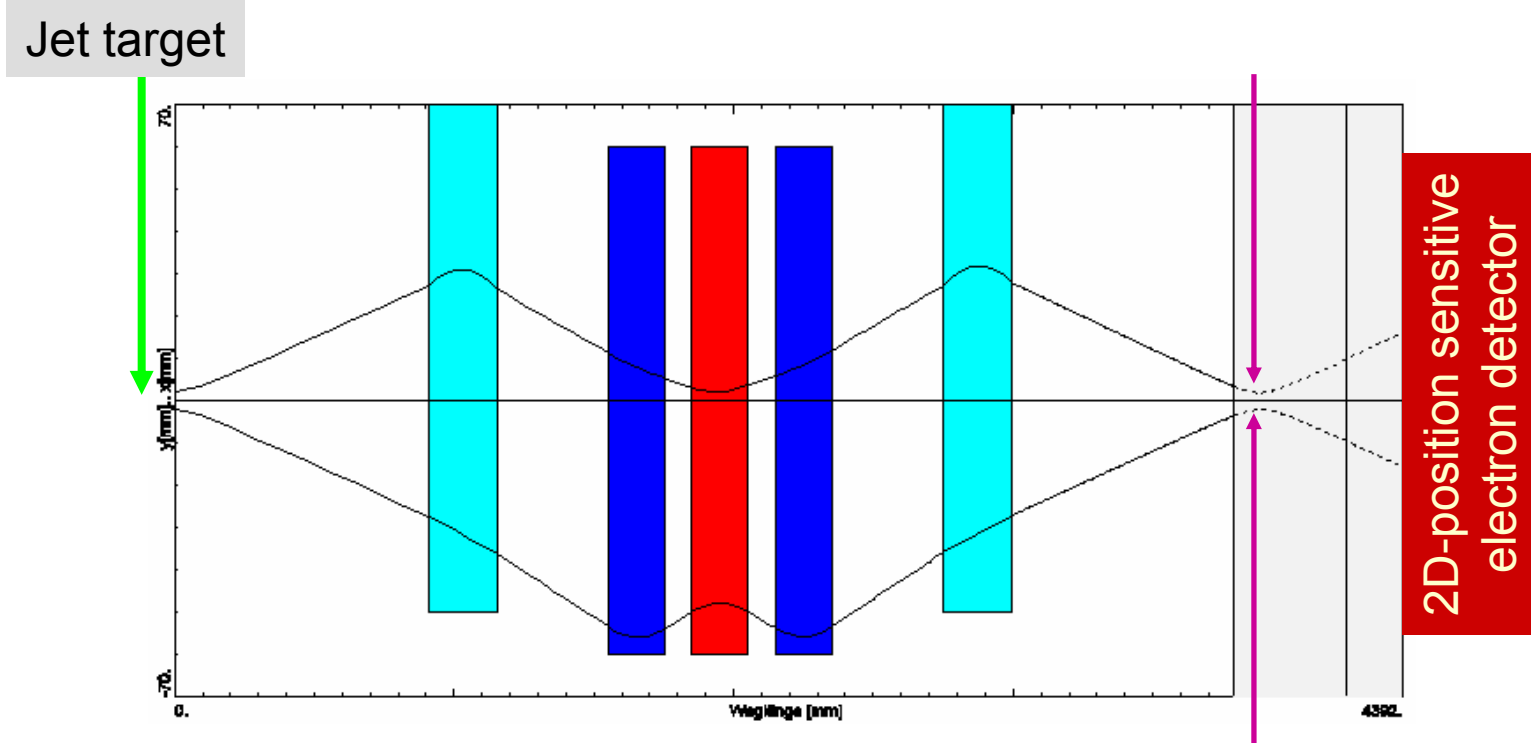


Das Elektronenspektrometer ermöglicht die Rekonstruktion der ursprünglichen Vektorimpulse von Elektronen, die mit $v_e \approx v_{\text{Proj}}$ um 0° herum emittierten werden, also gegebenenfalls auch der Streuebene (wenn andere Reaktionsprodukte auch gemessen werden).

II. Konfiguration des Vorwärts-Elektronenspektrometers am internen Target des ESR



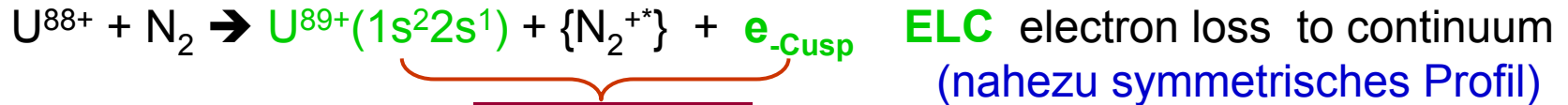
Teleskopische Abbildung vom Target auf den 2D PSD im 0°-Spektrometer



Das Elektronenspektrometer ermöglicht durch die teleskopische Abbildung $|M_x|=|M_y|=1$ die Rekonstruktion der ursprünglichen Vektorimpulse der emittierten Elektronen.

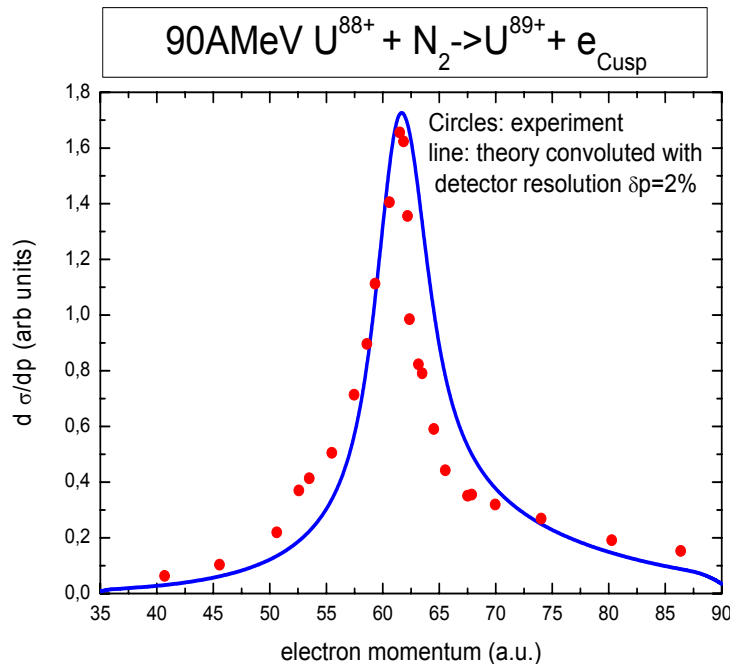
(H. Enge/MIT)

III. Electron Loss zum Kontinuum Cusp ELC im Laborsystem für 90 AMeV U⁸⁸⁺



Koinzident.

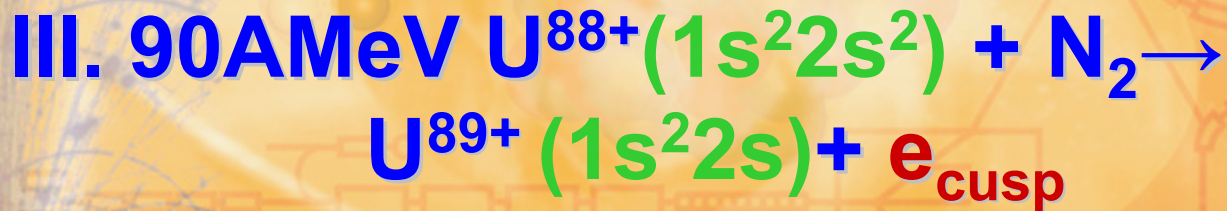
Vergleich CDW und Experiment



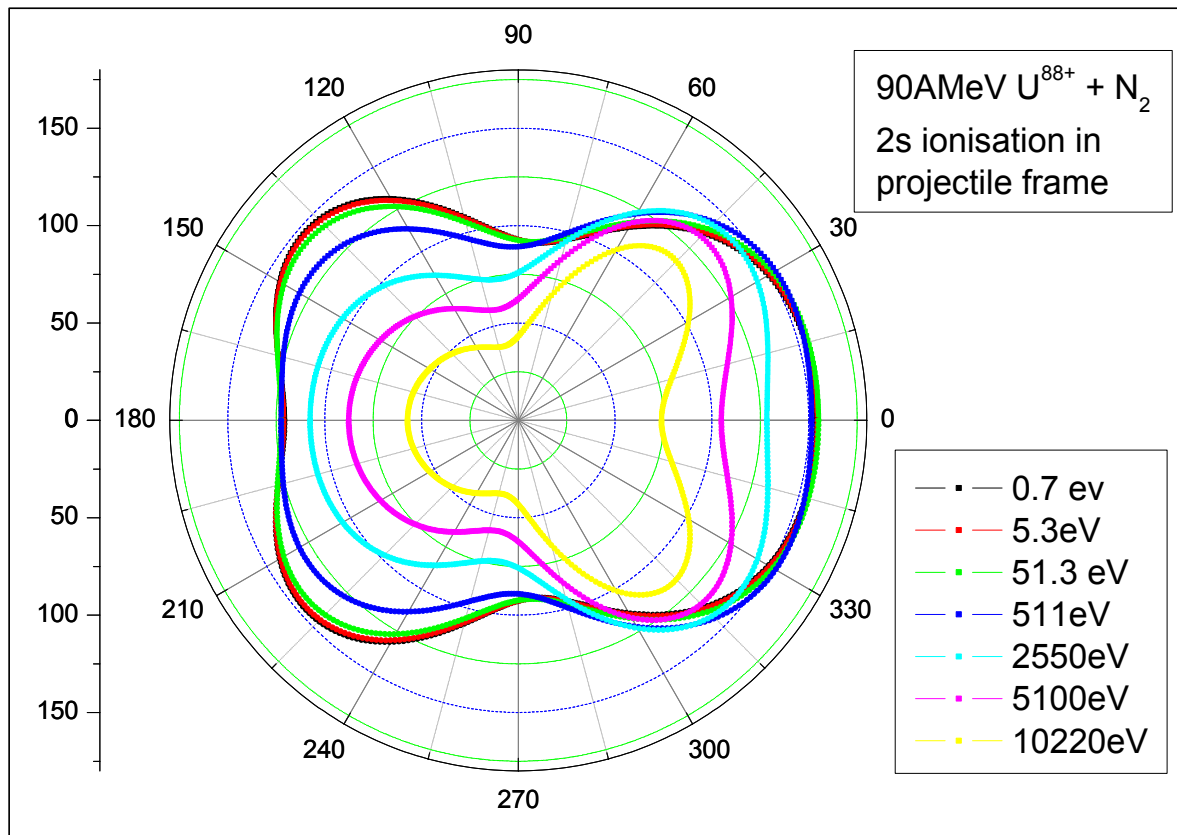
Der theoretische differentielle Ionisationsquerschnitt wird im Projektilsystem berechnet und ins Laborsystem transformiert mittels

$$\frac{d^2\sigma'(p', \Omega')}{dp' d\Omega'} = \frac{(p')^2}{p^2} \frac{\gamma}{\gamma'} \frac{d^2\sigma(p, \Omega)}{dp d\Omega}$$

(gestrichen= Laborsystem,
ungestrichen=Projektilsystem)



Theoretische DDCS für 2s- Ionisation von U^{88+} im Projektilsystem(CDW)



$$\sigma_1(2s) \gg \sigma_1(1s)$$

Die Winkelverteilung von 2s Ionisation: Vorwärts-und Rückwärtsmax.

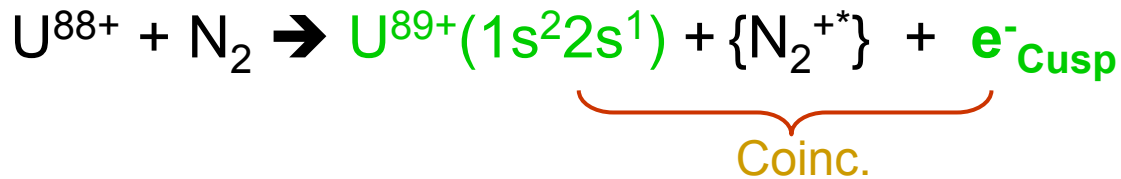
Rückwärtsmax. nimmt mit Energie der Elektronen ab.

N.B.: 1s-Ionisation hat Max bei 80 Grad

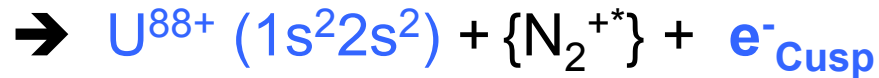
Surzhykov, Fritzsche

Elektronentransfer ins Projektilkontinuum für $U^{88+}(1s^22s^2)$

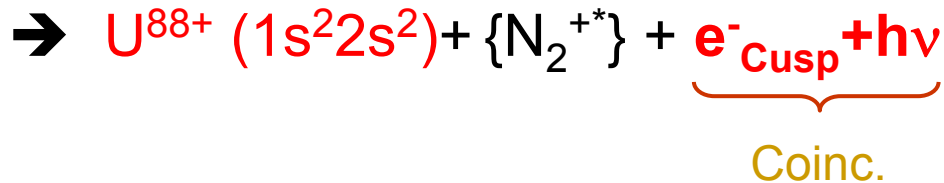
OFFENE KANÄLE FÜR Elektronentransfer in Projektilkontinuum:



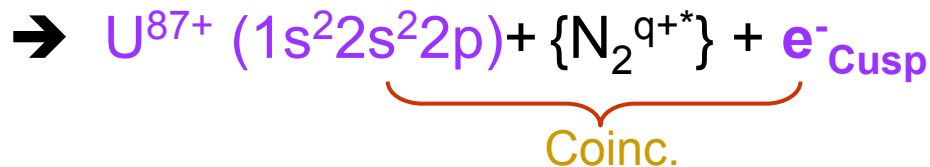
ELC electron loss
to continuum
(nearly symmetric cusp)



ECC electron
capture to continuum



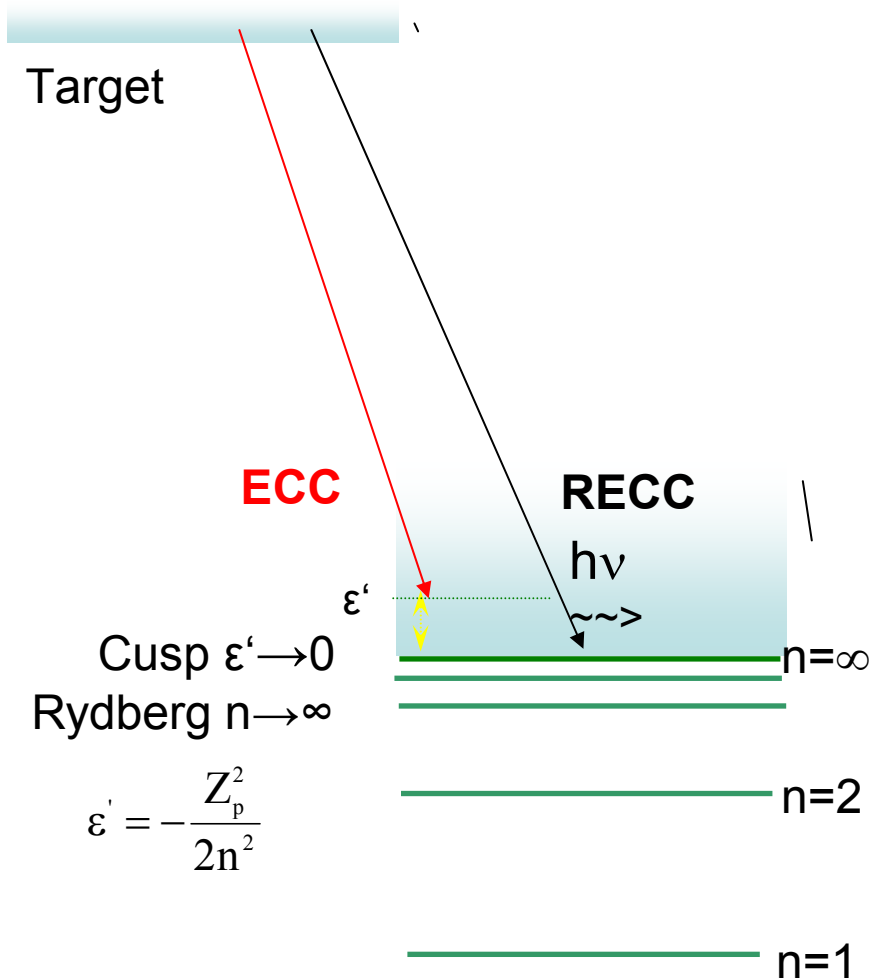
RECC radiative
electron capture
to continuum



ECC2 2e-electron
capture to bound and
to continuum

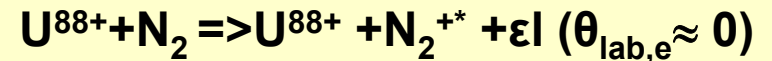
Elektronentransfer ins Kontinuum

b) ECC + RECC



**α) nicht-radiativer Elektronen -
einfang ins Projektilkontinuum:**

ECC



Energie des aktiven Elektrons

$$\epsilon' \approx 0 \quad \text{im Proj. -system}$$

$$\epsilon \approx \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Labor-system}$$

$$d\sigma \sim Z_p^5 Z_T^5 v^{-12} \quad [\sim (\gamma v)^{-11}, \text{ höhere Born }]$$

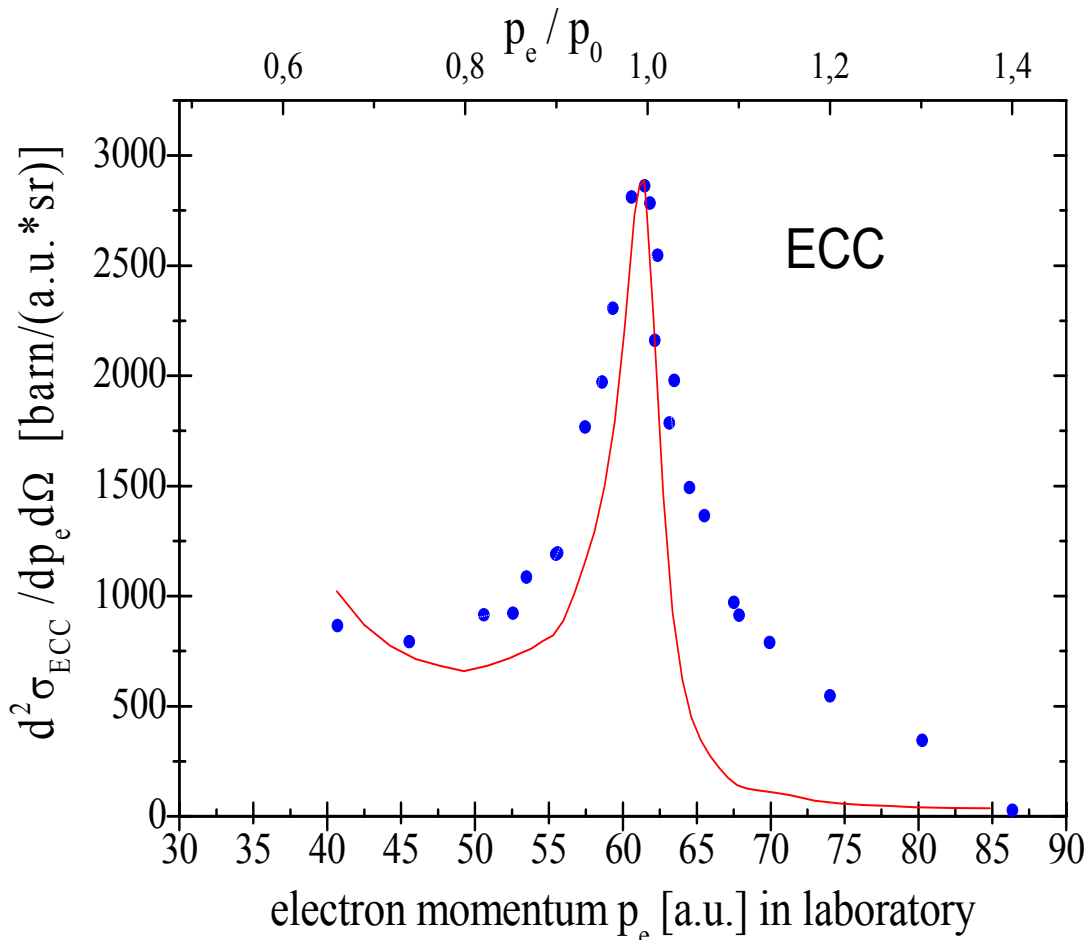
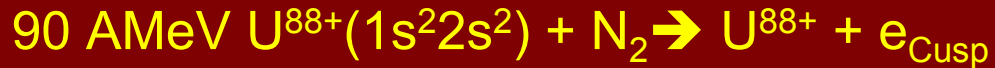
→ großer IMPULSÜBERTRAG

$$|q_{\text{min}}| \approx |v_{\text{Proj}}|$$

zum Vergleich : $q_{\text{min,ELC}} = \Delta E / v_{\text{proj}}$

**→ Elektronen stammen aus dem Bereich
der hohen Impulskomponenten im Target**

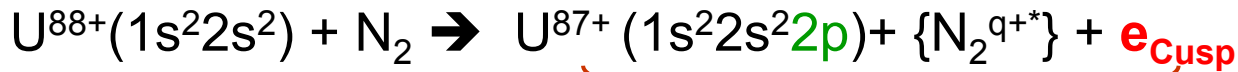
III. Nicht-radiativer Elektroneneinfang ins Projektilkontinuum ECC



Theoretischer DDCS aus der relativistischen Impulsnäherung (Jakubassa) im Vergleich mit dem Experiment. Die experimentelle HWHM ist wesentlich größer als die des RECC- Cusp:
 HWHM: 3.5au für ECC
 HWHM: 1.5 au für RECC auf der Niederimpulsseite

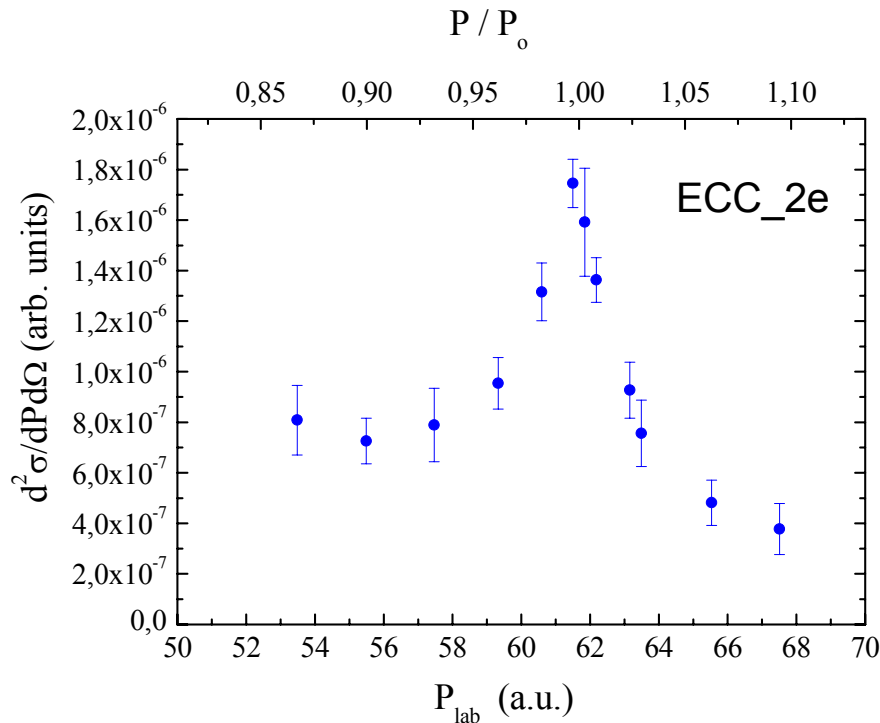
Die Asymmetrie enthält die Anregungsamplituden der beitragenden Partialwellen.

III. 2-Elektronen ECC2



Koinzidenz

ECC2 2e-electron capture to bound and to continuum state of projectile

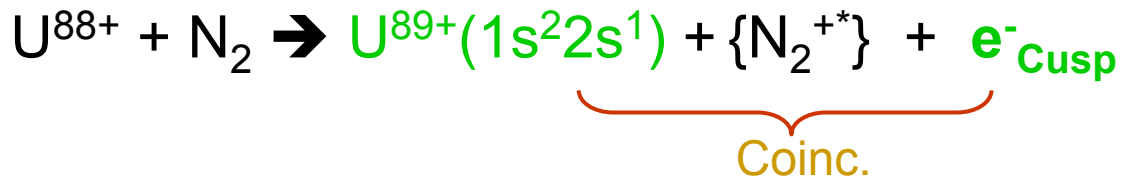


Der nicht-radiative Einfang ins Projektilkontinuum wird von simultanem Einfang in einen gebundenen Zustand des Projektils begleitet.

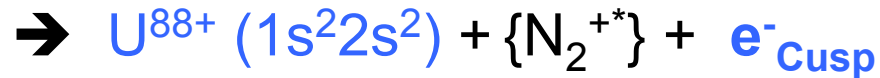
ECC2 und ECC haben gleichsinnige Asymmetrie zur Niederenergieseite
 ECC2 ist NICHT Doppeleinfang mit Autoionisation (AI führt zu symmetr.cusp)

I. Elektronentransfer ins Projektilkontinuum für $U^{88+}(1s^22s^2)$

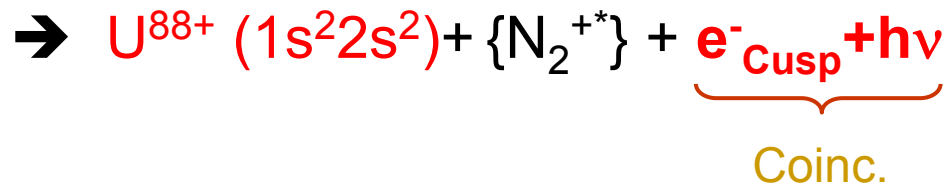
OFFENE KANÄLE FÜR Elektronentransfer in Projektilkontinuum:



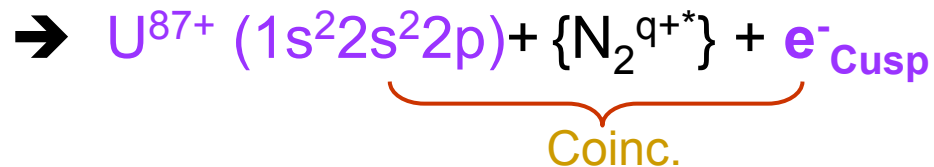
ELC electron loss
to continuum
(nearly symmetric cusp)



ECC electron
capture to continuum



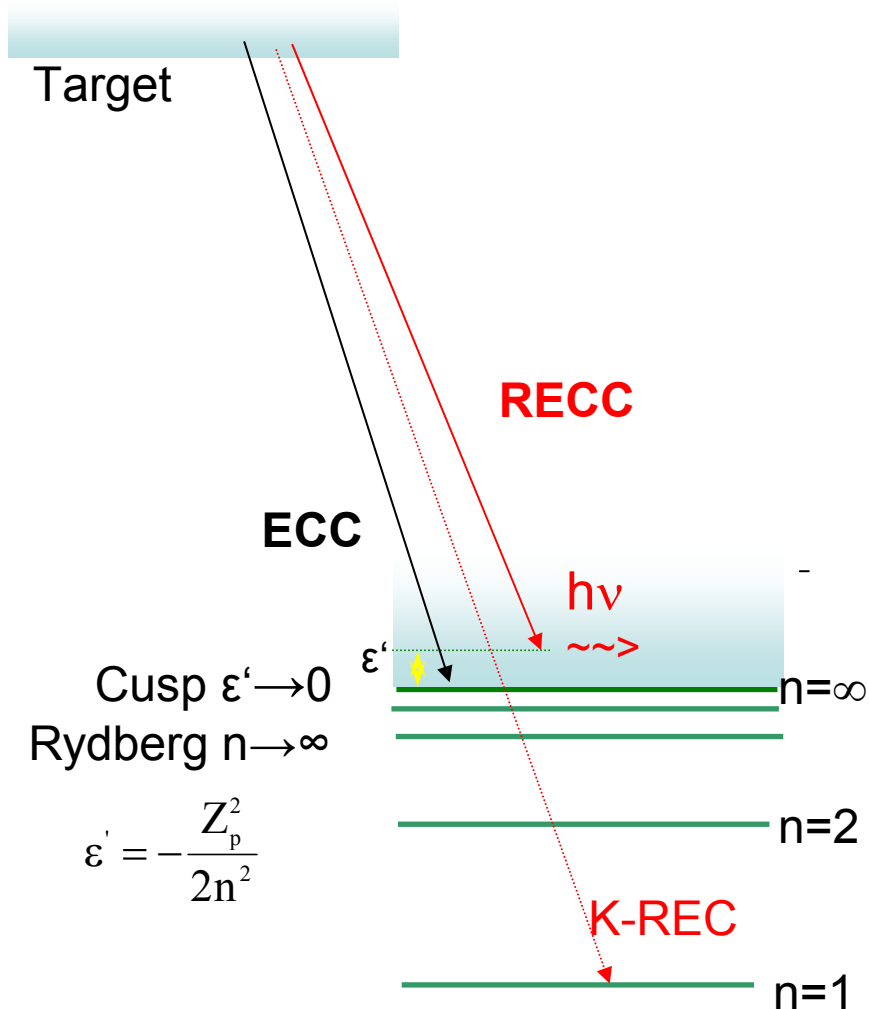
RECC radiative
electron capture
to continuum



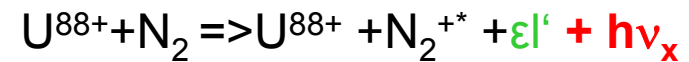
ECC2 2e-electron
capture to bound and
to continuum

I. Elektronentransfer ins Kontinuum

b) ECC + RECC



β) radiativer Elektroneneinfang in das Projektilkontinuum (RECC)



Elektron liegt im Cusp bei $\theta_{lab}=0$,

$\epsilon' \approx 0$ im Projektilsystem

$\epsilon \approx \frac{1}{2}v_{proj}^2$ im Laborsystem

emittiertes Photon:

Energieerhaltung im Proj.system:

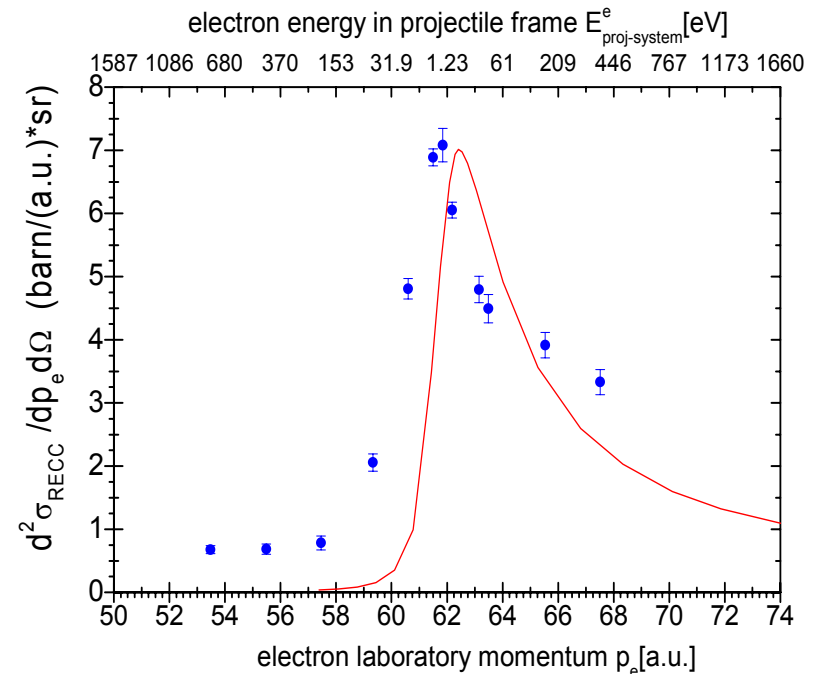
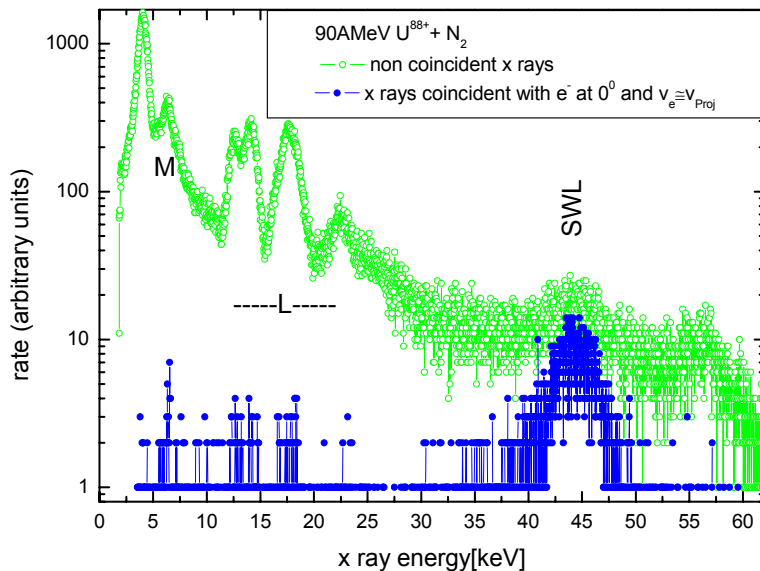
$$\Delta E_{loss}(\text{Elektron}) = \Delta E_{gain}(\text{photon})$$

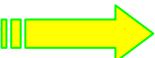
$$h\nu_1 = \frac{1}{2}v_{proj}^2 = E_{max}$$

$$d\sigma \sim Z_p^2 Z_T v^{-5}$$

Bei hohem v_{Proj} : $\sigma(\text{RECC}) > \sigma(\text{ECC})$

III. Radiativer Elektroneinfang RECC und e-N Bremsstrahlung

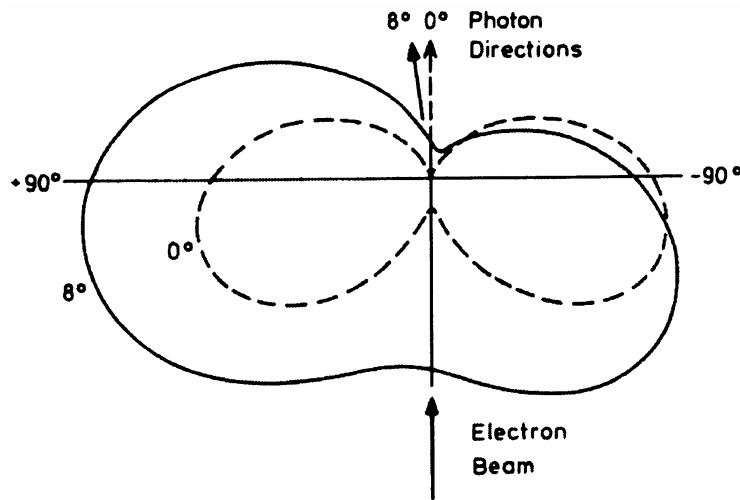


- a) Im mit 0^0 -Elektronen koinzidenten Röntgenspektrum gibt es fast nur Photonen vom **kurzwelligen Limit (SWL)** des Bremsstrahlungsspektrums
- b)  **Das SWL kann über die Koinzidenz mit RECC Elektronen in hoher Auflösung untersucht werden, dies ist mit Standardkinematik nicht möglich.**

zukünftige Experimente: RECC und Elektron-Kern Bremsstrahlung

Am kurzwelligen Limit (SWL) der Bremsstrahlung:

$$E_{e,final} \approx 0, E_{h\nu} = E_{0,init}$$



300 keV e^- + Al: $E_{h\nu} = 300\text{keV}$ (Haug)

Theoretische Elektronenwinkelverteilung
am SWL für $\theta_x = 0^\circ$ and $\theta_x = 8^\circ$;
BS ist vollständig polarisiert in der
Emissionsebene (außer für $\theta_x = 0^\circ, 180^\circ$)

➡ Inverse Kinematik, z.B. $U^{88+} + N_2$,
erlaubt am SWL **Test der Äquivalenz
von BS-theorie und relativistischer
Theorie der Photoionisation (Fano,
Pratt)** durch **Koinzidenz von BS-Photon
und Winkelverteilung des RECC- Elektrons**
im Projektilsystem.

Zusammenfassung

- a) Wir haben erste experimental Ergebnisse für gleichzeitige Messung der differentiellen Wirkungsquerschnitte für 4 Elektronentransferprozesse für 90 AMeV $U^{88+} + N_2$ gemessen.
- b) RECC, und ECC, ECC2 zeigen entgegengesetzte Asymmetrien für radiative und nicht-radiative Kanäle.
- c) Sogar bei $\beta=0.41$ ist der simultane Einfang in gebundene und Kontinuumszustände des Projektils aktiv.
- d) Der RECC ist der Elektronenkanal zum kurzwelligen Limit der Elektron-Kern Bremsstrahlung
- e) RECC \otimes Bremsstrahlung Koinzidenzen werden ermöglichen kinematisch vollständig TDCS am kurzwelligen Limit der Elektron-Kernbremsstrahlung zu messen