

LABORATORIJA ZA FIZIKU ATOMSKIH SUDARA

Ciklus predavanja za poslediplomce iz oblasti atomskih sudara

Predavanje br.6:

dr Bratislav Marinković
Institut za fiziku, Beograd

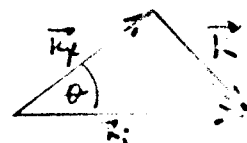
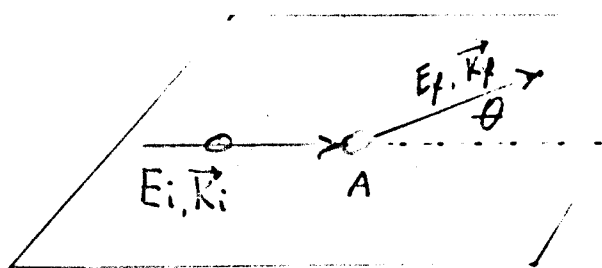
DEFINICIJA PRESEKA, DIFERENCIJALNI PRESECI I MERENJE PRESEKA

Predavanje će se održati u utorak 17.III 1992. u 9^h u sali 10
Instituta za fiziku, Zemun, Maksima Gorkog 118.

LABORATORIJA ZA FIZIKU ATOMSKIH SUDARA

CIKLUS PREDAVANJA ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE IZ OBLASTI
ATOMSKIH SUDARA

DEFINICIJA PRESEKA, DIFERENCIJALNI PRESECI I MERENJE PRESEKA



$$\vec{k}_i - \vec{k}_f = \vec{k}$$

$$|\vec{k}| = |\vec{k}_i|^2 + |\vec{k}_f|^2 - 2|\vec{k}_i||\vec{k}_f|\cos\theta$$

- STACIONARNI OPIS
- DEF. PROBLEMA RASEJANJA
- KONTINUALNI SPEKTAR

$$(\nabla^2 + k^2) \psi(\vec{r}) = \frac{2\mu}{\hbar^2} \hat{V}(\vec{r}) \psi(\vec{r}), \quad k^2 = \frac{2\mu E}{\hbar^2}$$

$$\varphi_i(\vec{r}) = \exp i(\vec{k}_i \cdot \vec{r}), \quad \vec{k}_i = \frac{\hbar}{2\mu i} (\psi_i^* \nabla \psi_i - \psi_i \nabla \psi_i^*) = \frac{\hbar \vec{k}_i}{\mu}$$

$$\text{tad} \quad \psi(\vec{r}) = \varphi_i(\vec{r}) + f_{fi} \frac{e^{i\vec{k}_f \cdot \vec{r}}}{r}, \quad f_{fi} = -\frac{\mu}{\alpha \hbar^2} \langle \varphi_f | \hat{V} | \psi \rangle$$

AMPLITUDA RASEJANJA

$$f_{fi} = f_{fi} \frac{e^{i\vec{k}_f \cdot \vec{r}}}{r}$$

DIFERENCIJALNI PRESEK ZA RASEJANJE SE DEFINIŠE KAO KOLIČNIK BROJA ČESTICA RASEJANIH U JEDINICI VREMENA U PROSTORNI UGAO $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$ I GUSTINE FLUKSA UPADNIH ČESTICA

$$d\sigma = \frac{j_r v^2 d\Omega}{|\vec{j}_i|} = \frac{k_f}{k_i} |f_{fi}|^2 d\Omega$$

U JEDINICI VREMENA $j_r v^2 d\Omega$ ČESTICA ĆE PROĆI KROZ ELEMENT POUČINE $v^2 d\Omega$, PRI ČEMU JE GUSTINA FLUKSA j_r RASEJANIH (RADIJALNO) ČESTICA

$$j_r = \frac{\hbar}{2\mu i} \left[\psi_r^* \frac{\partial \psi_r}{\partial r} - \psi_r \frac{\partial \psi_r^*}{\partial r} \right] = \frac{\hbar \vec{L}_x}{\mu r^2} |f_{fi}(\theta, \varphi)|^2$$

ELASTIČNO RASEJANJE : UNUTRAŠNJA STANJA I STRUKTURA SUDARAJUĆIH ČESTICA SE NE MENJAJU.

ZA LAKE ATOME KOD KOJIH JE SPIN-ORBITNA INTERAKCIJA SLABA TE KAO POSLEDICA TOGA I UKUPNI SPIN I NJEVOVA PROJEKCIJA SU OČUVANI

- 1) ATOMI SA NULTIM SPINOM - U SUDARU SA MLEKOM e^- NE DOLAZI DO SPINSKE POLARIZACIJE ATOMA

$$\sigma(\theta) = |f(\theta)|^2$$

- 2) ATOMI SA SPINOM $\vec{S}_A$ - DVE NEZAVISNE KOMPLEKSNE AMPLITUDE ODREĐUJU ELASTIČNO RASEJANJE

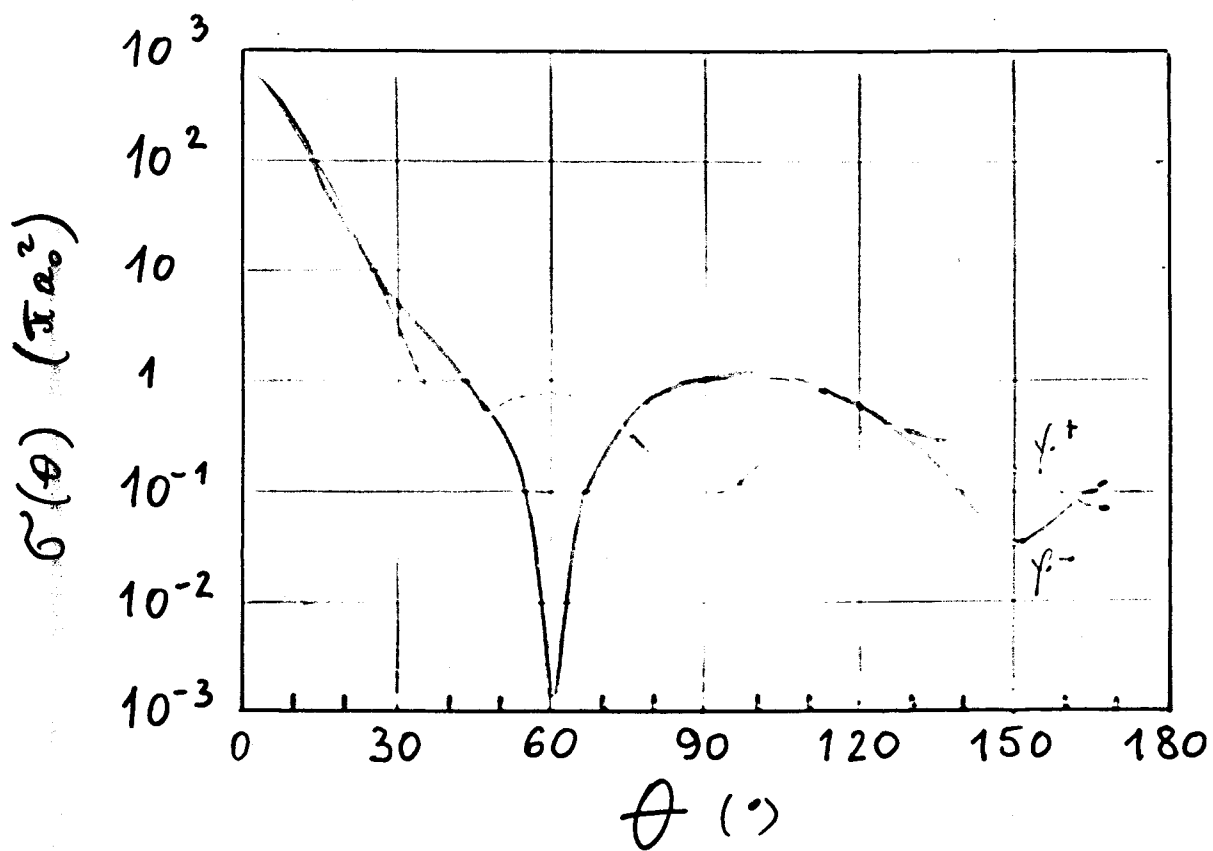
- a) DIREKTNOM (f) I IZMENSKO (g)

$$\sigma(\theta) = \frac{1}{2} (|f(\theta)|^2 + |g(\theta)|^2 + |f(\theta) - g(\theta)|^2)$$

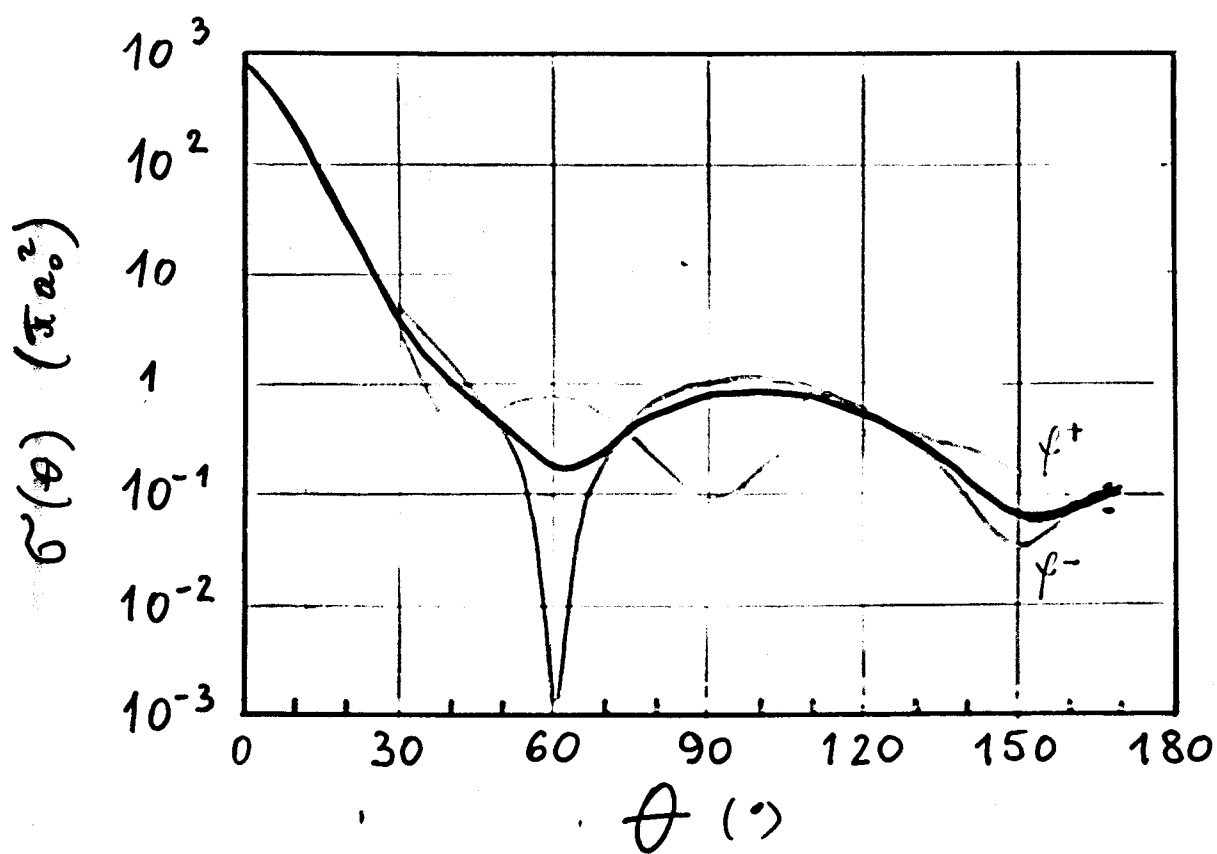
- b) SINGLETNO (f^+) I TRIPLETNO (f^-) $\vec{S} = \vec{S}_A \pm \frac{1}{2}$

$$\sigma(\theta) = \frac{1}{4} (|f^+(\theta)|^2 + 3|f^-(\theta)|^2)$$

Na 10 eV ELASTIČNO
Oza (NIST) 4CC



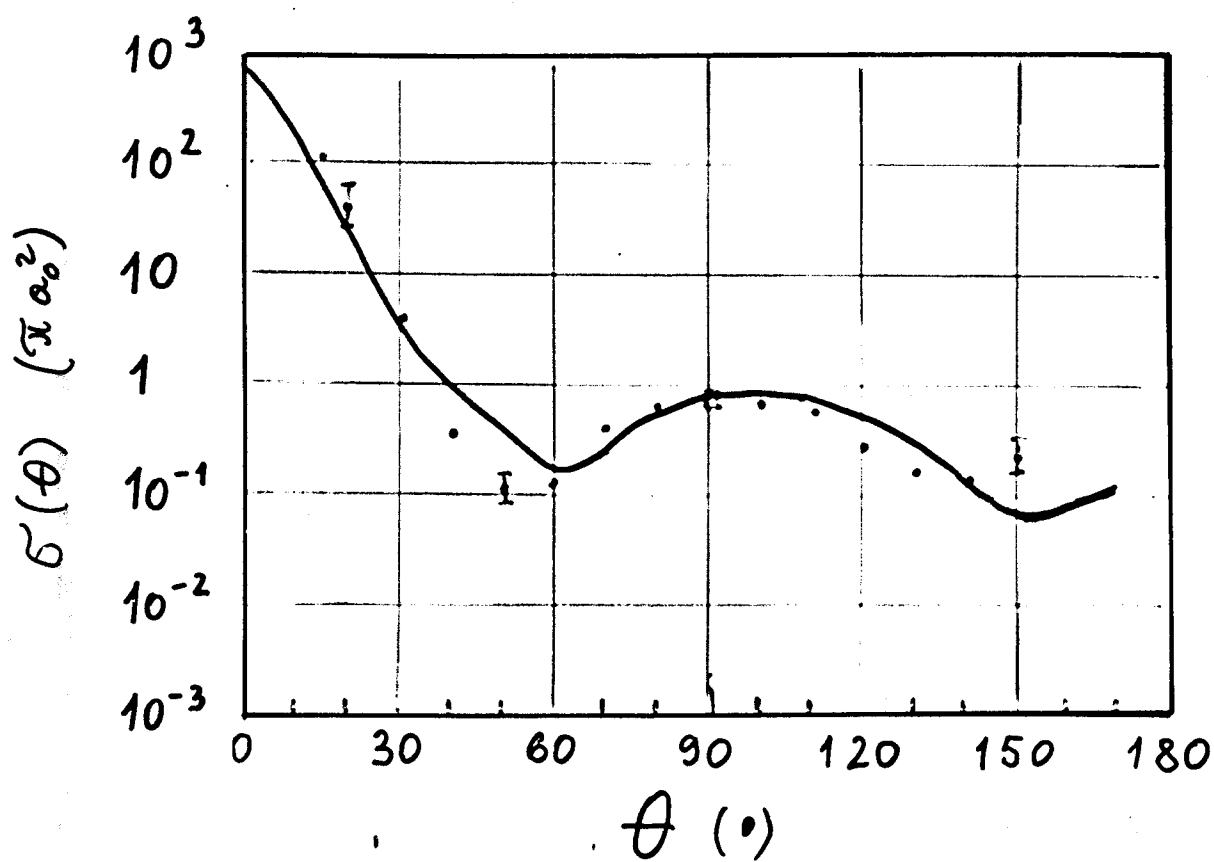
Na 10 eV ELASTIČNO
 O_{2a} (NIST) 4CC



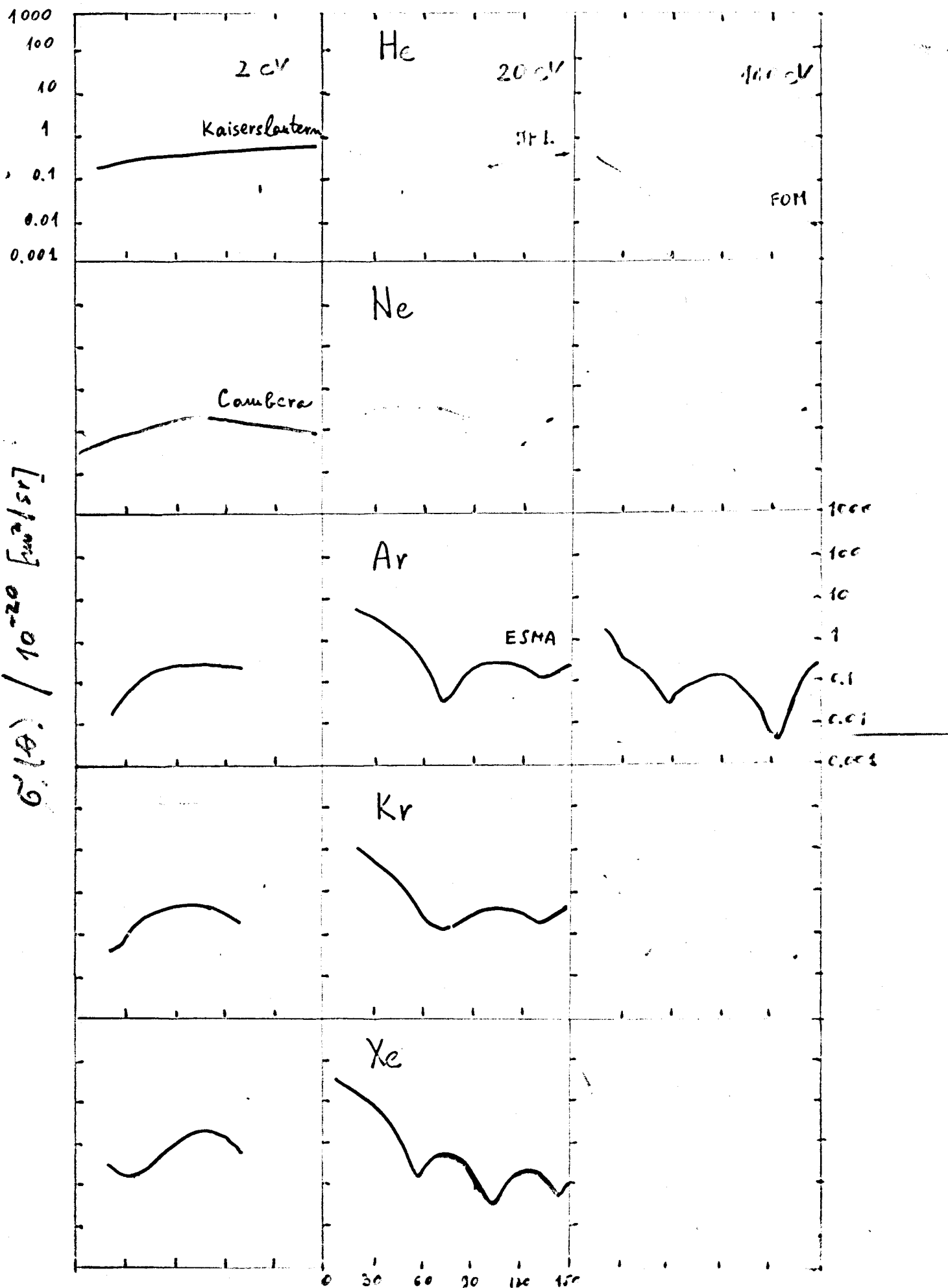
$$\sigma(\theta) = \frac{1}{4} (|\varphi^+(\theta)|^2 + 3 |\varphi^-(\theta)|^2)$$

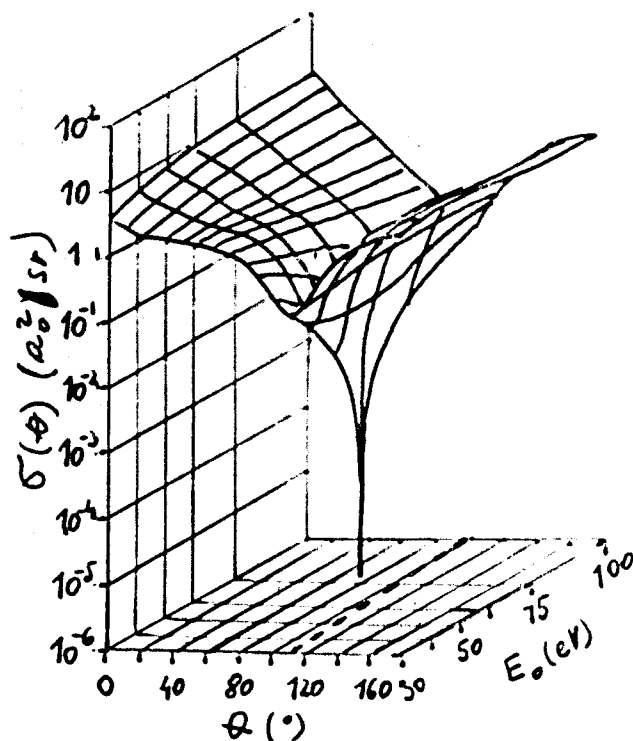
Na 10eV ELASTIČNO

ESMA $\lambda_{\text{max}} = 30^\circ$
 — OZA (NIST)



$$\sigma(\theta) = \frac{1}{4} (|\varphi^+(\theta)|^2 + 3 |\varphi^-(\theta)|^2)$$





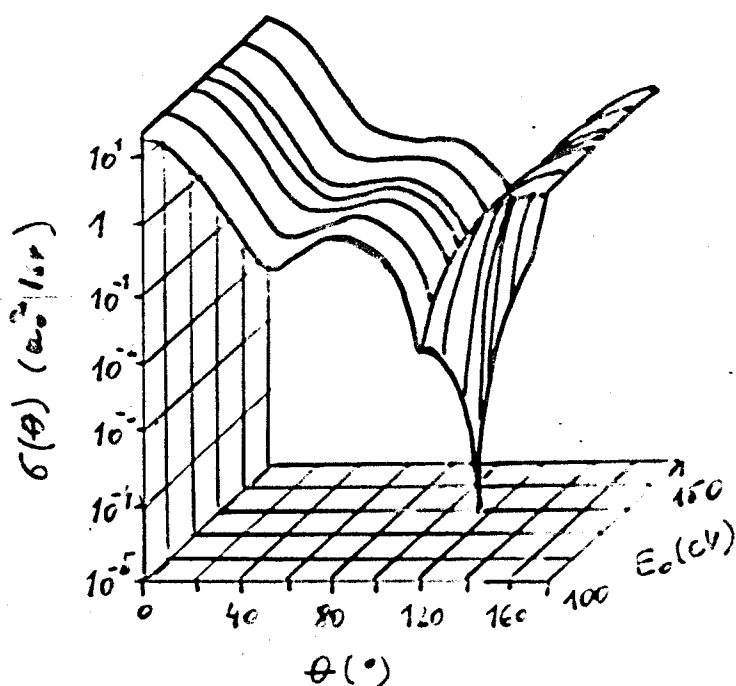
Ne

Walker DW

Adv. Phys. 20, 257 (1971)

Kollath KJ & Lucas CB

Z. Phys. A 292, 245 (1979)



Ar

Kessler 1976

VIII SPIG, p. 62

BÜHRING (Z. Phys. 208 (1968) 286) PRI UPADNIM ENERGIJAMA I UGLOVIMA RASEJANJA NA KOSIMA DIF. PRESEK $\sigma(\theta)$ DOSTIŽE NAŠMANJE VREDNOSTI ZAVIŠA SE TOTALNA POLARIZACIJA SPINA ELEKTRONA.

METOD PARCIJALNIH TALASA

Ako je potencijal sferno simetričan tada je moment impulsa integral kretanja. Znači da stanja koja odgovaraju različitim momentima impulsa, nezavisno učestvuju u rasejanju

$$\psi_i(\vec{r}) = e^{ikz} = \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell+1) i^{\ell} j_{\ell}(kr) P_{\ell}(\cos\theta)$$

Rešenje u obliku: $\psi(\vec{r}) = \frac{1}{kr} \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell+1) i^{\ell} R_{\ell}(r) P_{\ell}(\cos\theta)$

$$R_{\ell}(r) = \frac{1}{2} i \left[e^{-i(kr - \frac{1}{2}\ell\pi)} - \underline{S}_{\ell} e^{i(kr - \frac{1}{2}\ell\pi)} \right] \quad kr \gg a$$

Koeficijent $\underline{S}_{\ell}$ određuje promenu odlazećeg talasa, zavisi od energije relativnog kretanja - diagonalni matični element matrice rasejanja

$$\psi(\theta) = \frac{i}{2k} \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell+1) (1 - \underline{S}_{\ell}) P_{\ell}(\cos\theta)$$

$\underline{S}_{\ell}$ - kompleksna veličina - izražena preko realne veličine (za elastično rasejanje)

δ_{ℓ} - faznog pomaka

$$\underline{S}_{\ell} = e^{2i\delta_{\ell}} \quad \underline{S}_{\ell} - 1 = 2ie^{i\delta_{\ell}} \sin\delta_{\ell}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |\psi(\theta)|^2, \quad \psi(\theta) = \frac{1}{2ik} \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell+1) (e^{2i\delta_{\ell}} - 1) P_{\ell}(\cos\theta)$$

$$2ik\psi(\theta) = \sum_{\ell=0}^{\infty} (2\ell+1) (e^{2i\delta_{\ell}} - 1) P_{\ell}(\cos\theta) + C_L(\theta)$$

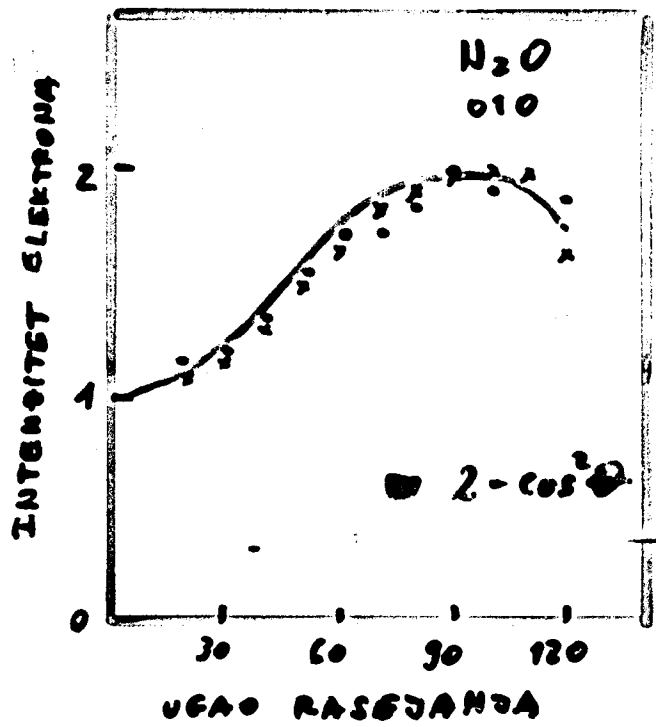
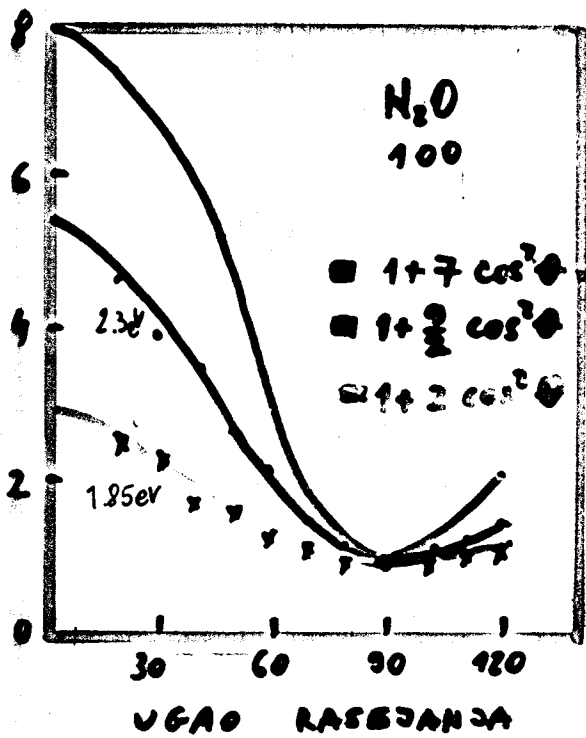
$$C_L^0(\theta) = 2i\pi\alpha k^2 \left[\frac{1}{3} - \frac{1}{2} \ln \frac{\theta}{2} - \sum_{\ell=1}^L \frac{P_{\ell}(\cos\theta)}{(2\ell+3)(2\ell-1)} \right]$$

He, 2eV

$$\delta_0 = 2.616, \quad \delta_1 = 0.052$$

Andrick (1975) J. Phys. B 8 p. 393

$$\chi^2 = \frac{1}{N-P} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\sigma_m^i - \sigma_{th}^i}{\Delta\sigma_m^i} \right)^2 \quad \chi^2 \rightarrow 1$$

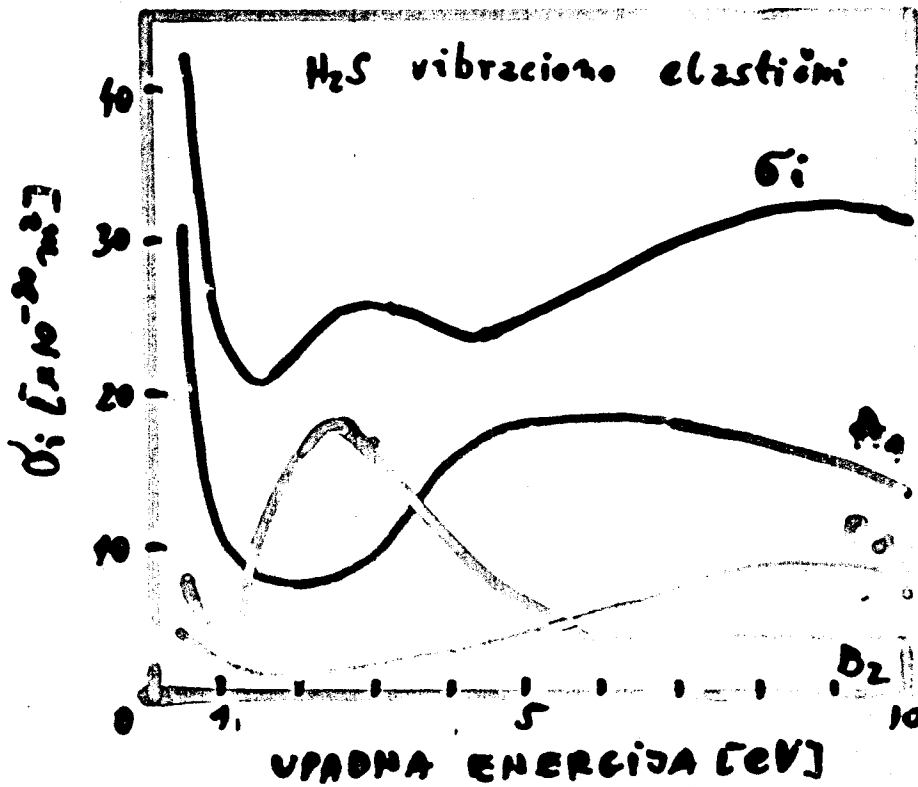


$$\Sigma_{10} \rightarrow \Sigma_{10} \rightarrow \Sigma \quad 1 + 7 \cos^2 \theta$$

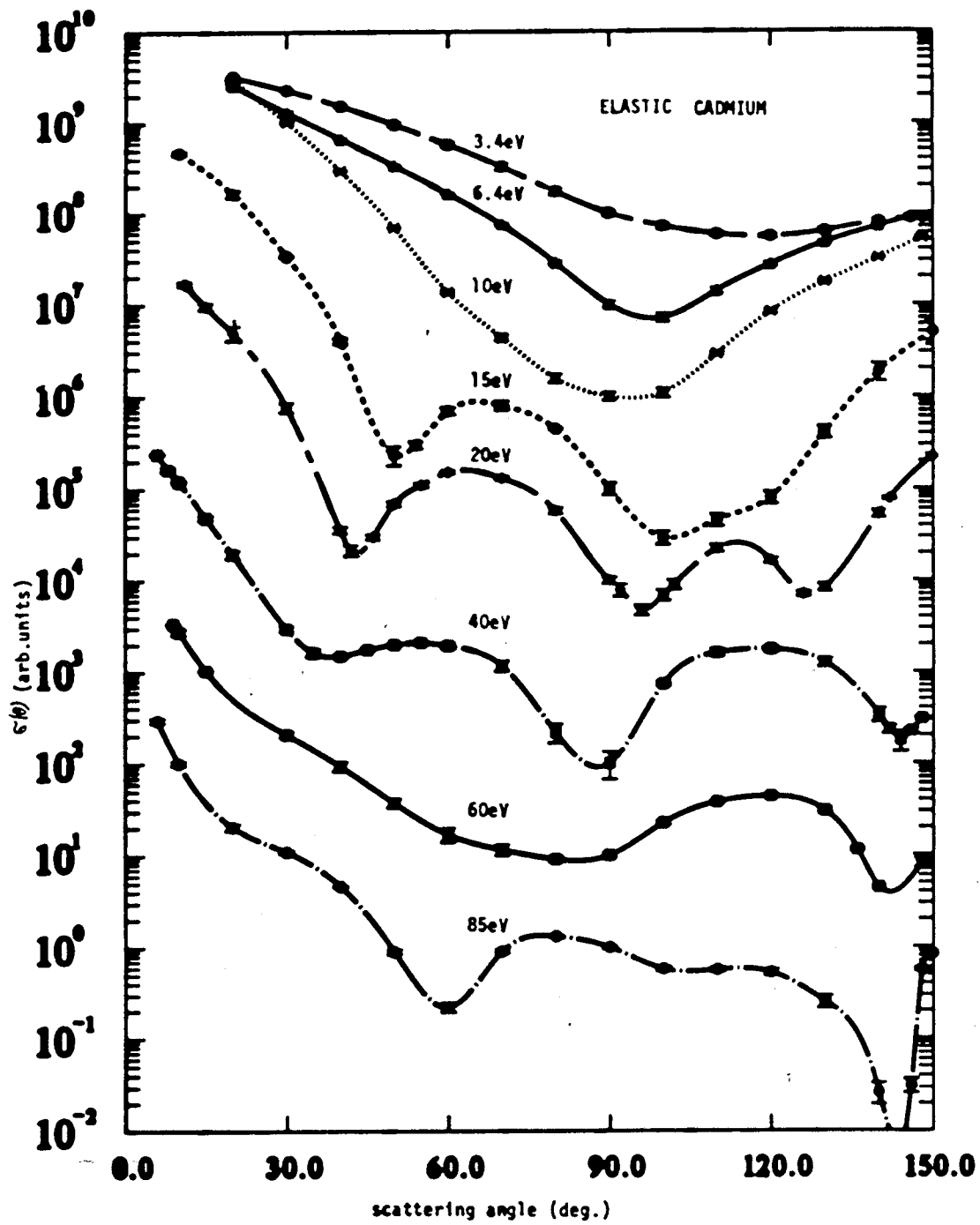
$$\Sigma_{10} \rightarrow \Sigma_{11} \rightarrow \Pi \quad 2 - \cos^2 \theta$$

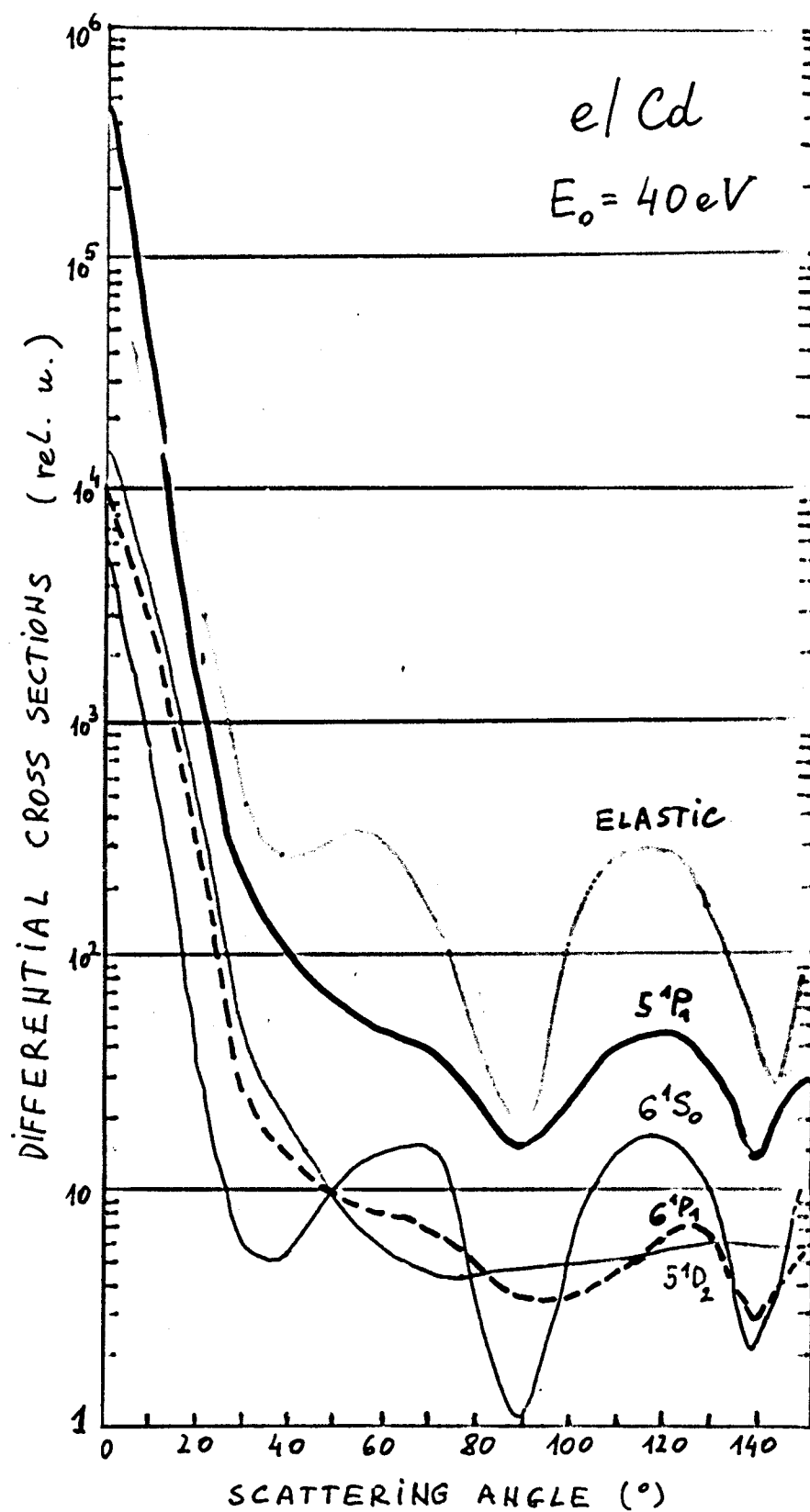
$$\Sigma_{11} \rightarrow \Pi_{11} \rightarrow \Sigma \quad 1 + 7 \cos^2 \theta$$

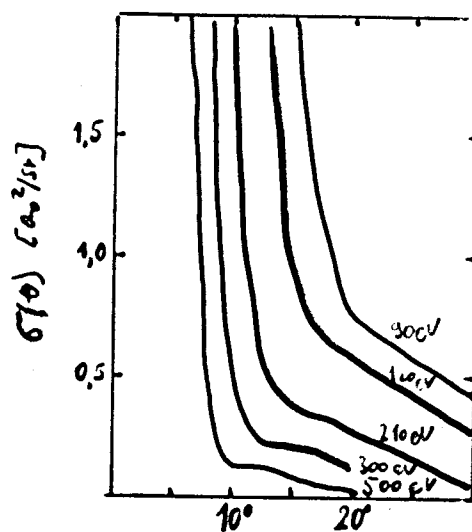
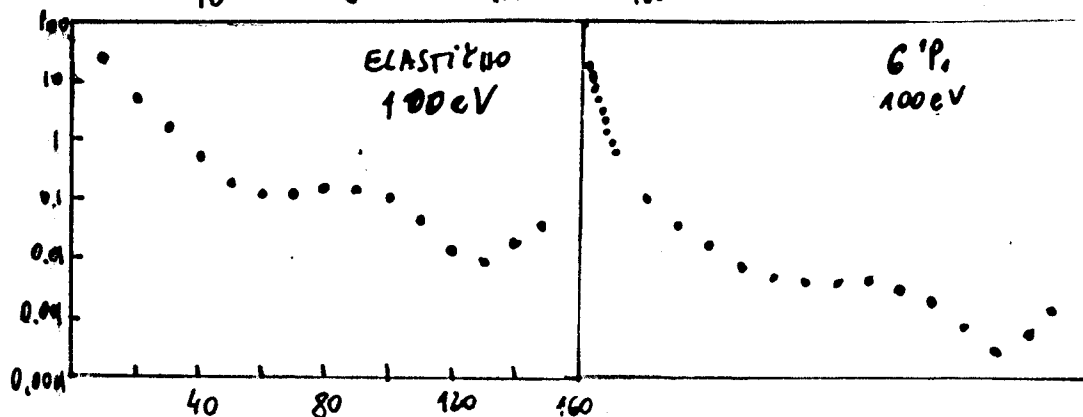
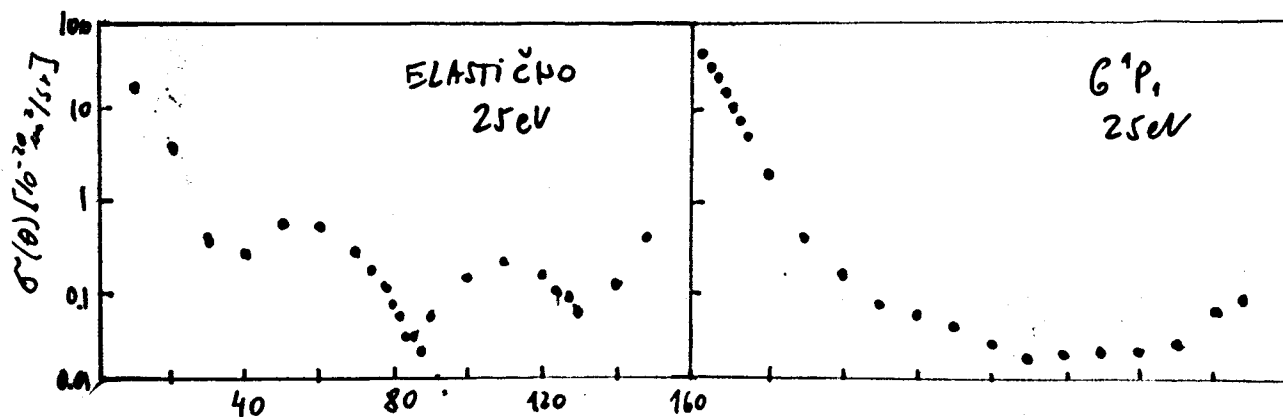
$$\Sigma_{11} \rightarrow \Pi_{10} \rightarrow \Pi \quad 2 - \cos^2 \theta$$



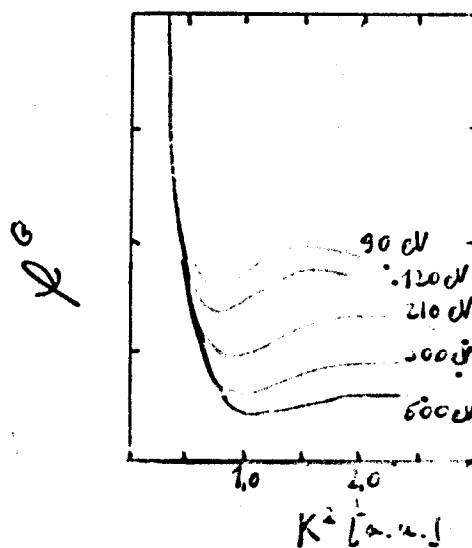
Jain and
Thompson,
J. Phys. B, 17
(1984) 443







$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{2}{K^2} \frac{K_f}{K_i} \frac{1}{\Delta E} \rho^G(K)$$



EKSCITACIJA - BETE (PLEMENITI) CASOVI

$n p^{5(n+1)s}$ 4 EKSCITOVANA STANJA
 $j-l$ $|(n+1)s[\frac{3}{2}]_J^0\rangle$ $J=2,1$ i $|(n+1)s'[\frac{1}{2}]_J^0\rangle$ $J=0,1$

Russell-Saunders $|(n+1)^3P_{2,1,0}\rangle$ i $|(n+1)^1P_1\rangle$

SPIN-ORBITNA INTERAKCIJA "MEŠA" R-S STANJA SA $J=1$

OVA STANJA U $j-l$ SPREŽANJU POSTAJU LIN. KOMB. (SUPERPOZICIJA)

$|(n+1)^3P_1\rangle$ i $|(n+1)^1P_1\rangle$ R-S STANJA - Tzv. ^{PRELAZNO} MEŠO SPREŽANJE :

$$(1) \quad |(n+1)s[\frac{3}{2}]_2^0\rangle = |(n+1)^3P_2\rangle$$

$$(2) \quad |(n+1)s[\frac{3}{2}]_1^0\rangle = \beta |(n+1)^1P_1\rangle - \alpha |(n+1)^3P_1\rangle$$

$$(3) \quad |(n+1)s'[\frac{1}{2}]_0^0\rangle = |(n+1)^3P_0\rangle$$

$$(4) \quad |(n+1)s'[\frac{1}{2}]_1^0\rangle = \alpha |(n+1)^1P_1\rangle + \beta |(n+1)^3P_1\rangle$$

STANJA (2) i (4) SE MOGU POBUĐITI DIREKTNO ILI IZMENSKI
 SPINSKA DINAMIKA DVE KOHERENTNE KOMPONENTE - POLARIZOVANIM e^-
 STANJA 3P_2 i 3P_0 SU DOBRO OPISANA KAO ČISTA R-S STANJA
 SA DEFINISANIM SPINOVIMA, POGUĐUJU SE JEDINO IZMENSKI

ISPITIVANJE EFEKTA SPIN-ORBITNE INTERAKCIJE :

$$r = \sigma(|(n+1)^3P_2\rangle) / \sigma(|(n+1)^3P_0\rangle)$$

A. IMPULSNA EKSCITACIJA ($\vec{J}, \vec{L}$, s-o, l-s, št. 2311 $r=5$)
 exp

B. SPREGNUTA EKSCITACIJA ($\vec{J}$, ne s.t., talasni paket $eE_0 t = t$)

DEVIJACIJA OD $r=5$ UKAZUJE NA FIZIČKE EFEKTE KOJI SU
 MANIFESTACIJA SPIN-ORBITNOG SPREŽANJA ZA VREME SUDARA

TEORIJE 1. REDA, 2. RED : $(0) \xrightarrow{(2)} \sum_{(4)}^{(1)} \xrightarrow{(3)}$ 2. RED DGM. NA MALIM θ

NA VELIKIM θ : STANJA $^3P_{2,0}$ PROMENJENA ZBOG SPIN-ORBITNE INTERAKCIJE

TEST ZA TEORIJU SPINSKIH - IZMENSkih PROCESA BEZ POLARIZOVANIH e^-

- JPL
- ESMA
- × FOMBT
- ▲ DWBA

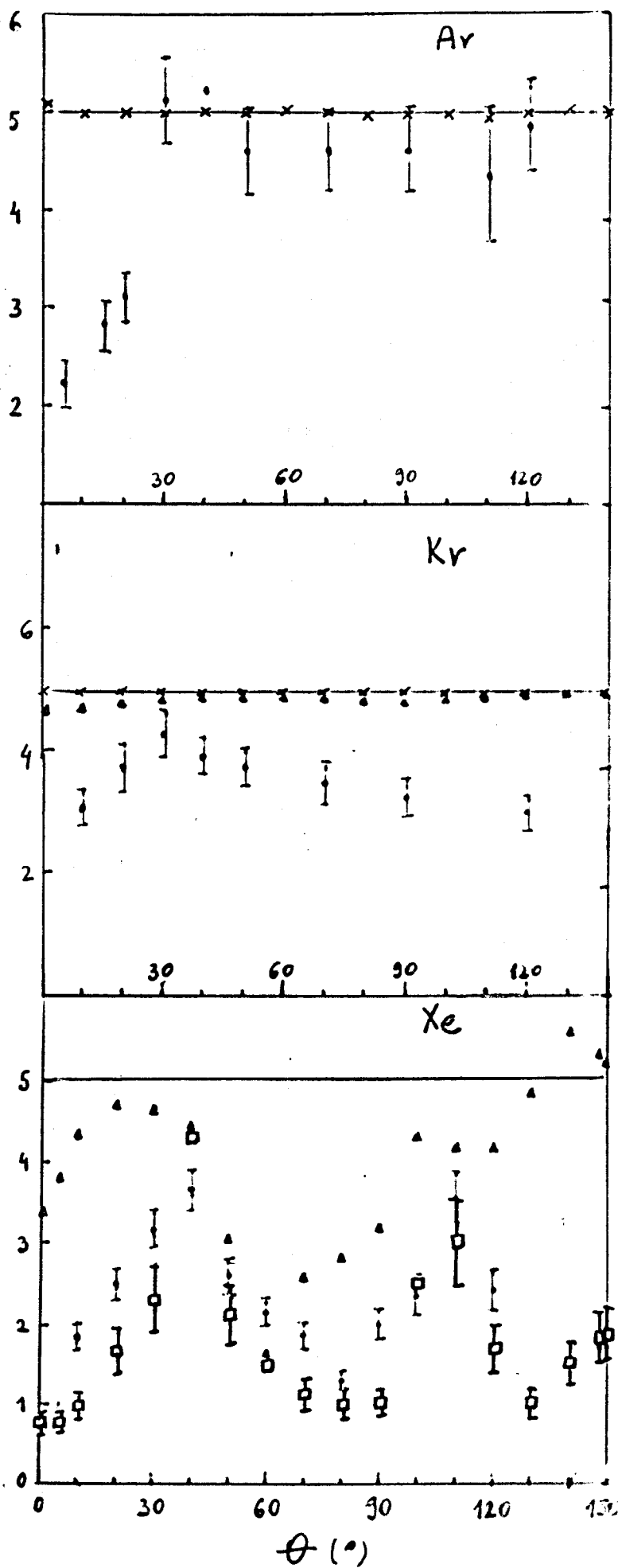
$$r = \frac{\sigma(1(\pi\pi)^3 p_2)}{\sigma(1(\pi\pi)^3 p_0)}$$

$$E_0 = 30 \text{ eV}$$

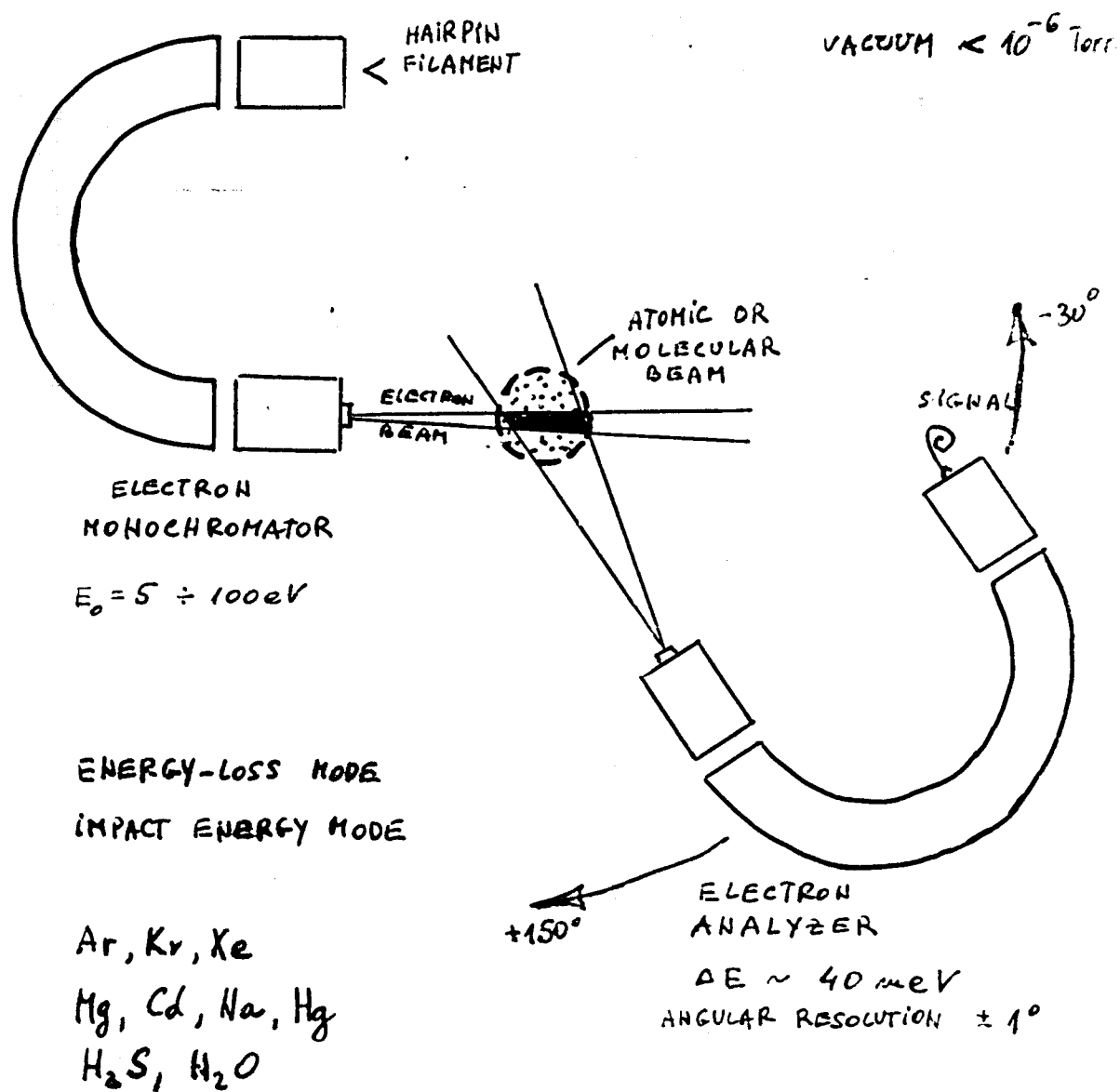
r

r

r



ELECTRON SPECTROMETER "ESMA"



MERENJE DIFERENCIALNOG PRESEKA

ODNOS IZMEĐU PRESEKA I MERENOG INTENZITETA SIGNALA RASEJANIH ELEKTRONA JE RELATIVNO KOMPLIKOVAN I ZAVISI OD GEOMETRIJSKIH I INSTRUMENTALNIH OSOBINA TAKODE.

- INSTRUMENTALNA UGAONA I ENERGIJSKA REZOLUCIJA
- PROMENLJIVA ZAPREMINA INTERAKCIJE, NELOKALIZOVANI I NEHOMOGENI MLAZEVI A I C
- ZAVISNOST BRZKASNOSTI DETEKCije (EL. OPTIKA) OD ENERGIJE

$$I(E_0, E, \Omega) = \iiint_{\vec{r}} \int_{E'_0} \int_{E'} \int_{\Omega'(\vec{r})} p(\vec{r}) \varphi(E'_0, \vec{r}) F(E'_0, E', \Omega'(\vec{r})) \frac{\partial^3 \sigma(E'_0, E', \Omega')}{\partial E'_0 \partial E' \partial \Omega'} dE'_0 dE' d\Omega' d\vec{r}$$

$$\varphi(E'_0, \vec{r}) = \varphi_1(E'_0) \cdot \varphi_2(\vec{r})$$

$$F(E'_0, E', \Omega'(\vec{r})) = F_1(E'_0, E') \cdot F_2(\Omega'(\vec{r})) = F_3(E'_R) \cdot F_2(\Omega'(\vec{r}))$$

INSTRUMENTALNA FUNKCIJA $\approx$ KONST. U ODNOSU ENERGIJSKE REZOLUCIJE

3- DIF. PRESEK USREDNJEAN PO ENERGIJSKOJ RASPODELI MLAZA ELEKTRONA I PO ENERGIJSKOJ REZOLUCIJI DETEKTORA

$$I(E_0, E, \Omega) = \int_{\vec{r}} p(\vec{r}) \varphi_2(\vec{r}) F_1(E_0, E) \int_{\Omega'(\vec{r})} F_2(\Omega'(\vec{r})) \left\langle \frac{\partial^3 \sigma}{\partial E_0 \partial E \partial \Omega} \right\rangle_{E_0, E} d\Omega'(\vec{r}) d\vec{r}$$

USREDNJEVANJE PO UGAONJOJ REZOLUCIJI

$$\left[\left\langle \frac{\partial^3 \sigma}{\partial E_0 \partial E \partial \Omega} \right\rangle_{E_0, E} \right]_{\Omega'(\vec{r})} \downarrow \theta'$$

SLUČAJNA ORIJENTACIJA ČESTICA METE (ϕ)

$$\text{PRIRODA PROCESA: } \left[\left\langle \frac{\partial^3 \sigma}{\partial E_0 \partial E \partial \Omega} \right\rangle_{E_0, E} \right]_{\theta'(\vec{r})} = e^{-\alpha(\theta - \theta'(\vec{r}))} \langle \sigma(E_0, E, \theta) \rangle$$

$$I(E_0, E, \theta) = \langle \sigma(E_0, E, \theta) \rangle F_1(E_0, E) \underbrace{\int_{\vec{r}} p(\vec{r}) \varphi_2(\vec{r}) d\Omega'(\vec{r}) e^{-\alpha(\theta - \theta'(\vec{r}))} d\vec{r}}_{V_{\text{eff}}} \\ = \langle \sigma(E_0, E, \theta) \rangle F_1(E_0, E) V_{\text{eff}}$$

V_{eff} - ZAVISI OD VRSTE ČASA, PRITISKA, OBLIKA ELEKTRONSKOG MLAZA, PRIRODE PROCESA I GEOMETRIJE

METODI PREVOĐENJA RELATIVNIH DIFERENCIJALNIH PRESEKA NA APSOLUTNU SKALU

I DIREKTNE EKSPERIMENTALNE METODE

1. METOD SA COORDINATNIM PODOBNOŠĆIMA
DETERMINACIJSKE SISTEMA

$$F_3(E_R), \quad \rho(\vec{r}), \quad \chi(\vec{r})$$

2. METOD KOJIM SE METE KALIBRIRAJU

$$\ln \frac{I_r}{I_0 p} \sim p$$

II METODE NORMALIZACIJE

1. METOD RELATIVNIH KASHIH PROTOKA

$$K_n = \langle \lambda \rangle / L$$

$$\frac{\sigma_1(\theta)}{\sigma_2(\theta)} = \frac{\dot{N}_1^e}{\dot{N}_2^e} \cdot \frac{M_2}{M_1} \cdot \frac{\dot{N}_2^m}{\dot{N}_1^m}$$

2. METOD NORMIRANJA NA INTEGRALNE PRESEKE

$$\sigma_i(E) = 2\pi \int_0^\pi \sigma(E, \theta) \sin \theta d\theta$$

3. METOD NORMIRANJA NA TOTALNE PRESEKE

$$\sigma_{tot} = \sigma_{el} + \sum_m \sigma_{exc} + \sum_i \sigma_i$$

4. METOD NORMIRANJA GENERALISANU JAČINU OSCILATORA

$$\lim_{K \rightarrow 0} \chi^K = \chi^0$$

DRUGI METODI MERENJA

- 1) METOD UZMAKA - DETEKTOJU SE ATOMI NALAZI SUDARA SA ELEKTRONOM. PREMA IMPULSU NOŠI INFORMACIJU O VELI RASEJANJA
- 2) METOD BAZIRAN NA DVOSTEPENOJ EKSCITACIJI (e^- , Ry_2) I DETEKCIJI DOPLEROVOG POMAKA REKSCITIRANOG FOTONA
ODREĐENI DIF. PRESECI ZA EKSCITACIJU MAGNETSKIH PODNIVOVA 3^2P STANJA NARIJUMA

