

KATEDRA FIZYKI ZJAWISK ELEKTRONOWYCH

Laboratorium

Metody Badań Spektroskopowych

Badanie własności 180° selektora hemisferycznego



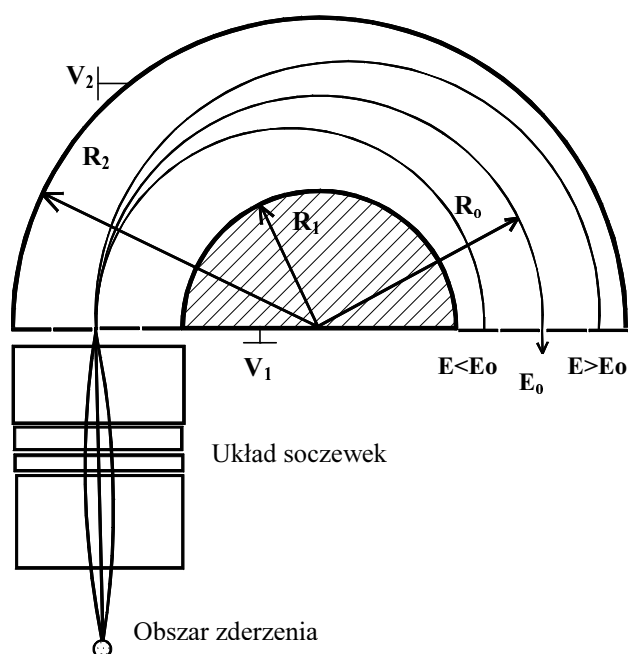
BADANIE WŁASNOŚCI 180° SELEKTORA ELEKTROSTATYCZNEGO

Celem ćwiczenia jest zbadanie podstawowych własności (dyspersja, zdolność ogniskowania, zdolność rozdzielcza) półsferycznego analizatora elektrostatycznego przy użyciu symulacji komputerowej za pomocą programu CPO (Charge Particle Object).

1. ZASADA DZIAŁANIA SELEKTORA ELEKTROSTATYCZNEGO

1.1 Budowa i parametry selektora 180°.

Selektor 180° składa się z dwóch współśrodkowych półsferycznych elektrod o promieniach R_1 i R_2 , (rys.1). Pole elektryczne powstaje wewnątrz selektora przez przyłożenie różnicy potencjałów między wewnętrzną i zewnętrzną hemisferą, tak aby natężenie pola E spełniało zależność $E \sim R^{-2}$ gdzie R jest odległością od środka układu hemisfer.



Tory elektronów wewnątrz selektora ulegają zakrzywieniu, w zależności od przyłożonych potencjałów oraz od energii kinetycznej cząstek.

Po opuszczeniu selektora wiązka skupiana jest przez układ soczewek na obszarze zderzenia. Elektrony o energii E_0 wprowadzone w obszar pola selektora poruszają się po torze o stałym promieniu krzywizny $R_0 = (R_1 + R_2) / 2$. Energię E_0 nazywamy energią charakterystyczną. Elektrody o energiach mniejszych bądź większych od energii E_0 poruszają się po torach o promieniach odpowiednio mniejszych lub większych od promienia charakterystycznego R_0 .

Rys.1. Schemat selektora półsferycznego oraz tory ruchu elektronów o różnych energiach

Potencjały przyłożone do wewnętrznej i zewnętrznej elektrody można zdefiniować przez rozmiary geometryczne elektrod:

$$V_1(R_1) = V_0 \left[\frac{2R_0}{R_1} - 1 \right] \qquad V_2(R_2) = V_0 \left[\frac{2R_0}{R_2} - 1 \right] \qquad (1)$$

gdzie V_0 jest potencjałem charakterystycznym tj. $E_0 = eV_0$. Zakładając brak występowania efektów niejednorodności pola na brzegach selektora radialny rozkład pola elektrycznego dany jest zależnością:

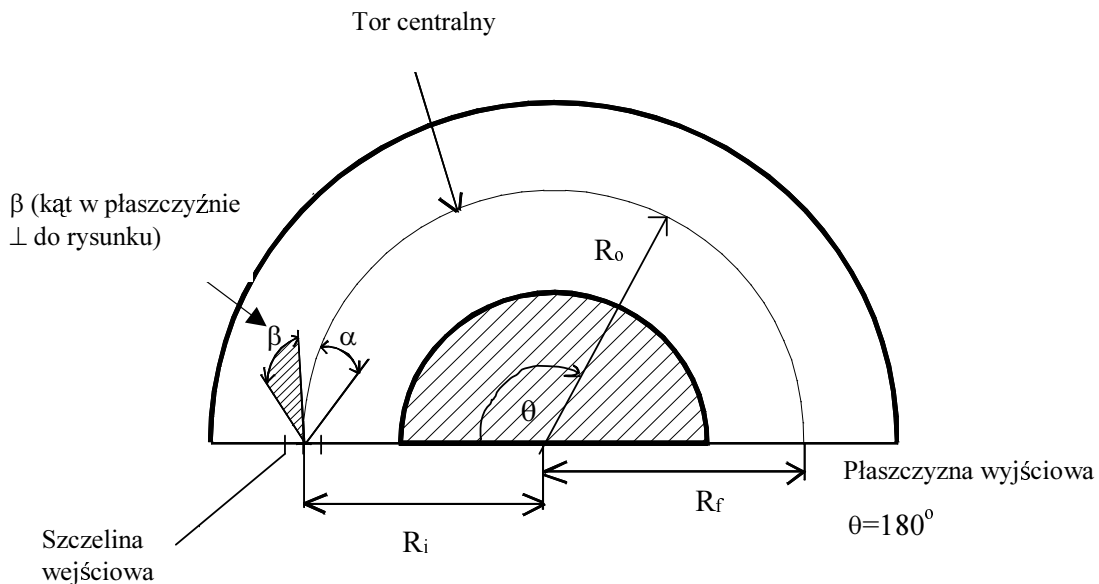
$$E(R) = \frac{(V_2 - V_1)R_2R_1}{(R_1 - R_2)} \frac{1}{R^2} \qquad (2)$$

1.2 Własności dyspersyjne analizatora 180°

Tor ruchu elektronu w polu selektora oraz położenie cząstki po przejściu przez selektor zależne są od energii kinetycznej E cząstki u wejścia do selektora, ale także od współrzędnych początkowych cząstki oraz tego, pod jakim kątem została ona wprowadzona do selektora. Dla idealnie sferycznego pola elektrycznego tor ruchu cząstki można opisać zależnością:

$$\frac{R_i}{R} = \left[\frac{1 - \cos \theta}{\frac{R_i}{R_o} \cdot \frac{E}{E_o} \cdot \cos^2 \alpha} + \cos \theta - \tan \alpha \sin \theta \right] \quad (3)$$

gdzie R i θ - współrzędne biegunowe (rys.2), E_i i R_i - początkowe wartości energii i promienia elektronu w szczeliny wejściowej, R_o , E_o - promień średni i energia charakterystyczna.

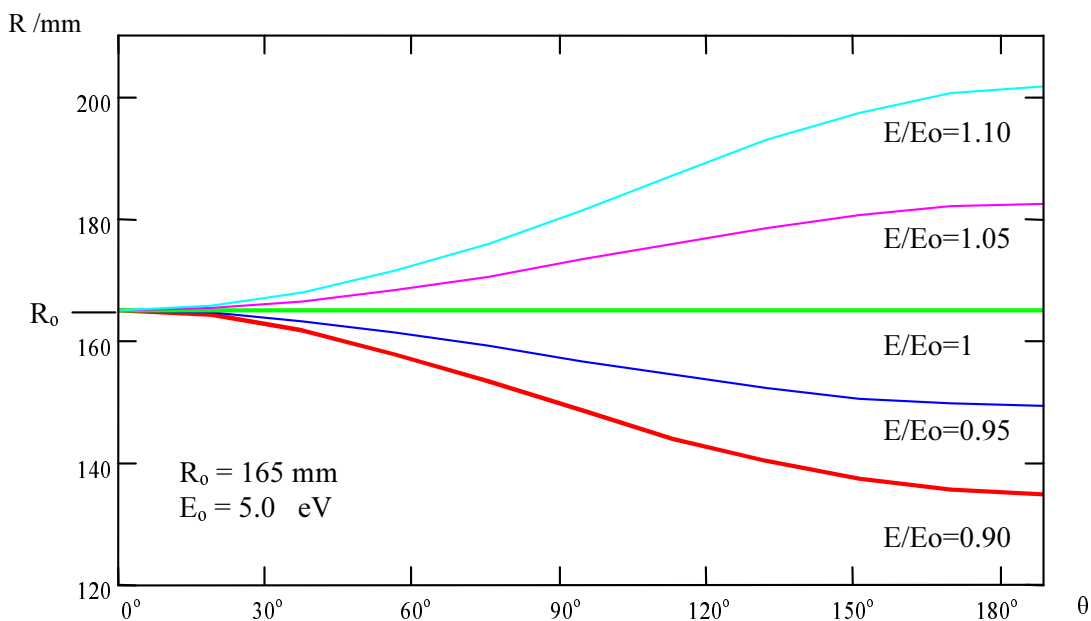


Rys.2. Parametry ruchu elektronów w selektorze 180°.

Dla elektronów wprowadzanych do obszaru selektora wzdłuż toru o promieniu krzywizny $R=R_o$ pod kątem $\alpha=0^\circ$, różnym energiom kinetycznym odpowiadać będą zależne od tych energii tory, których kształt można opisać równaniem:

$$\frac{R_i}{R} = \left[\frac{1 - \cos \theta}{\frac{E}{E_o}} + \cos \theta \right] \quad (4)$$

W związku z tym położenie końcowe elektronów względem toru $R=R_o$ będzie uzależnione od wartości ich energii kinetycznej, co jest miarą dyspersyjnych własności analizatora. Rys. 3. pokazuje zależność końcowego położenia elektronów R_f w funkcji kąta θ dla selektora o promieniu $R_o=165$ mm i energii charakterystycznej $E_o=5$ eV, dla różnych wartości E/E_o . Można stwierdzić, że mamy tu do czynienia z dyspersją liniową, odstępstwa od tej liniowości spowodowane są przede wszystkim efektami występującymi na brzegach selektora.



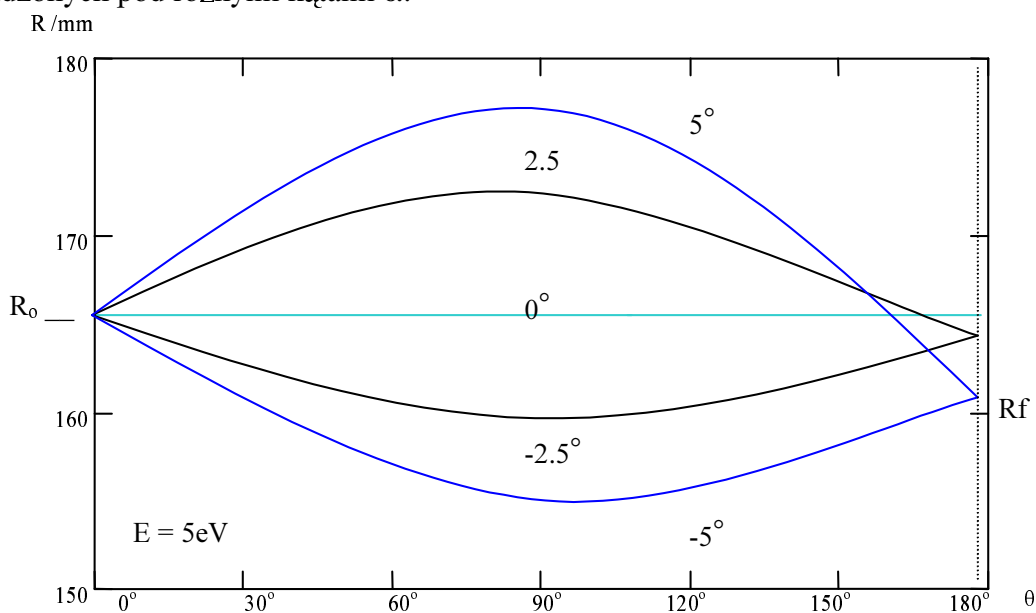
Rys.3. Położenie elektronów o różnych energiach kinetycznych w selektorze półsferycznym. Elektrony wypuszczane są z punktu $R_0 = 165$ mm pod kątem $\alpha = 0^\circ$.

1.3 Własności ogniskujące selektora

Korzystając ponownie z zależności (3) można prześledzić związek między końcowym położeniem elektronu R_f a kątem, pod jakim został wprowadzony do selektora α . Przyjmując, że na płaszczyźnie wyjściowej selektora $\theta = 180^\circ$ oraz $R_i = R_0$, dla danej energii E :

$$\frac{R_f}{R_0} = \frac{E \cos^2 \alpha}{2E_0 - E \cos^2 \alpha} \quad (5)$$

Rys. 5. ilustruje własności skupiające selektora dla elektronów o tej samej energii $E = 5$ eV wprowadzonych pod różnymi kątami α .



Rys. 4. Tory ruchu elektronów dla różnych wartości kąta α

Dla małych wartości kąta α oraz gdy $R_f/R_o \approx 1$ równanie (5) można przekształcić do postaci:

$$\frac{E}{E_o} \cong 1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{R_f}{R_o} - 1 \right) + \alpha^2 - \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{R_f}{R_o} - 1 \right)^2 \quad (6)$$

zakładając, że $(1-R_f/R_o) \ll 1$ można otrzymać:

$$\frac{R_f}{R_o} \approx 1 - 2\alpha^2 \quad (7)$$

Analizator skupia także elektrony wprowadzone pod różnymi kątami β , gdzie β jest kątem w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny rys.2. Wynika to z własności symetrii pola elektrycznego wytworzonego w selektorze.

1.4 Zdolność rozdzielcza analizatora 180°

Dla wiązki elektronów wprowadzonych do analizatora pod kątem $\pm\alpha$ w punkcie $R=R_o$ całkowita szerokość zmierzona w połowie maksimum (Full Width at Half Maximum = FWHM) rozkładu energetycznego u wyjścia z monochromatora dana jest zależnością:

$$\Delta E_{1/2} = E_o \left[A_{1/2} \frac{w_s}{2R_o} + B_{1/2} \cdot \alpha^2 \right] \quad (8)$$

gdzie $w_s = (w_{en} + w_{ex})$ jest sumą szerokości szczeliny wejściowej (w_{en}) i wyjściowej (w_{ex}) a stałe $A_{1/2}$ and $B_{1/2}$ są parametrami zależnymi od typu analizatora oraz geometrii i rozmiarów szczelin.

Jak wynika z równania (8) zdolność rozdzielcza analizatora zależy liniowo od wartości energii charakterystycznej E_o . Chcąc otrzymać jak najlepszą zdolność rozdzielczą należy więc używać niewielkich energii charakterystycznych. W praktyce nie stosuje się jednak energii mniejszych od 1 eV ze względu na zmniejszanie się transmisji elektronów.

1.5. Korekta efektów brzegowych

Obszar w pobliżu szczelin wejściowej i wyjściowej jest obszarem granicznym pola wytworzonego w selektorze, linie sił pola odbiegają tu znacznie od sferycznej symetrii, co powoduje silne zniekształcenie toru ruchu elektronów. Dlatego stosuje się w tym obszarze dodatkowe elektrody, których celem jest zminimalizowanie niekorzystnych efektów brzegowych. Najpopularniejsze są 2 metody: pierścienie korekcyjne i korektory Josta. Pierścienie korekcyjne - dodatkowe pierścienie w płaszczyźnie wyjściowej i wejściowej, do których przyłożone są potencjały, tak aby spełniony był warunek $V \sim 1/R$. Metoda Josta - obszar między hemisferami w płaszczyźnie wejściowej i wyjściowej wypełniony jest trzema elektrodami, z których wewnętrzna i zewnętrzna połączone są z półsferami, a elektroda środkowa zawierająca szczelinę wejściową i wyjściową jest na potencjale charakterystycznym.

2. PROGRAM CPO

2.1 Metoda Ładunku Powierzchniowego

Do znalezienia potencjałów elektrostatycznych na poszczególnych elementach projektowanego układu program CPO wykorzystuje tzw. Metodę Ładunku Powierzchniowego. Metoda ta opiera się na podstawowym założeniu, że w układzie przewodzących elektrod w chwili przyłożenia do nich określonego potencjału pojawia się na nich rzeczywisty ładunek. Ten ładunek powierzchniowy jest źródłem wszelkich potencjałów i pól w układzie. W programie elektrody są zastępowane odpowiadającym im rozkładom ładunku. Jediną częścią eksperymentu, którą należy zaprojektować jest więc żądany układ elektrod oraz gęstość ich podziału.

2.2 Obsługa programu

Model selektora 180^0 zaprojektowany jest w pliku *selektor180* i obsługiwany jest przez program CPO-3D. W wykonywanym tu doświadczeniu wykorzystano 4 pierścienie korekcyjne, do których należy odpowiednio dobrać potencjały tak aby transmitowana była wiązka elektronów o żądanej energii charakterystycznej. Wprowadzanie jakichkolwiek zmian w geometrii układu, potencjałach lub kształcie wiązki umożliwia DATABUILDER. Wyniki obliczeń (np. wartości potencjału, końcowe położenia i energie elektronów) rejestrowane są w pliku *temp1a.dat*.

3. ZADANIA

- 3.1 Ustalić wartości potencjałów na elektrodach dla zadanej energii charakterystycznej.
- 3.2 Z badać zależność potencjału $V(R)$ w pobliżu szczeliny wejściowej lub wyjściowej oraz w środku selektora.
- 3.3 Badanie dyspersji: Zaprojektować wiązkę o parametrach: R_0 , $\alpha=0^0$, $\Delta E=\pm 0.1E_0$, prześledzić zachowanie elektronów o określonych energiach oraz ich końcowe położenie. Wykonać wykres $R_f=f(E)$ i na jego podstawie określić liniowość dyspersji selektora.
- 3.4 Badanie zdolności ogniskowania: Zaprojektować wiązkę o parametrach: $R=R_0$, $\alpha=\pm 5^0$, $\beta=\pm 5^0$, $E=E_0$, zbadać zależność końcowego położenia elektronów wprowadzonych pod określonym kątem α i β oraz wykonać wykresy zależności $R_f=f(\alpha)$ i $R_f=f(\beta)$. Porównać otrzymane zależności z wnioskiem (7).
- 3.5 Badanie zdolności rozdzielczej selektora: Zaprojektować wiązkę o parametrach: $\Delta R=0.1(R_1-R_2)$, $\alpha=\pm 5^0$, $\beta=\pm 5^0$, $\Delta E=\pm 0.1E_0$. Zbadać parametry wiązki po przejściu przez selektor tzn. jej rozmycie geometryczne, kątowe i energetyczne. Znaleźć szerokość połówkową wiązki po przejściu przez selektor oraz transmisję selektora.