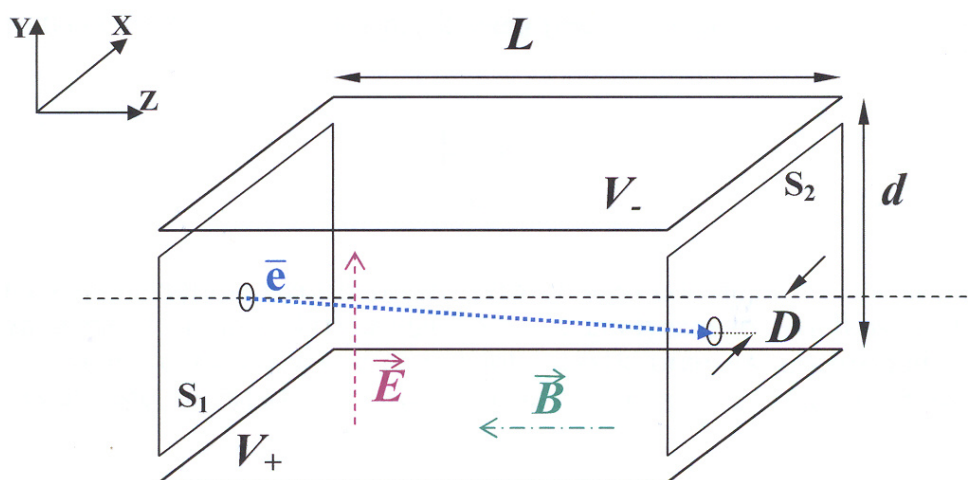


1 Trochoidalny selektor elektronów

W trochoidalnym selektorze elektronów **TEM** (Trochoidal Electron Monochromator) stosuje się skrzyżowane i jednorodne pola: elektryczne i magnetyczne. Jako pierwsi taki układ zbudowali w 1968 r. Stamatovic i Schultz. Przyrządy tego typu wielokrotnie stosowane były jako monochromatory wiązek w spektroskopii elektronowej (Sanche i Schultz 1972, Allan 1989, Zubek 1994). Zapobieganie rozmyciu wiązki przez pole magnetyczne pozwala np. na oddzielenie elektronów od jonów ujemnych oraz przeciwdziała docieraniu elektronów do detektora jonów w przypadku, gdy układ wykorzystywany jest jako analizator jonów. TEM wykorzystany został także jako analizator energii elektronów w plazmie (Guyomarch i Doveil 2000) i w badaniu rozproszeń wstecznych (Roy i Burrow 1975).

1.1 Własności selektora

Układ selektora jest podobny do monochromatora hipercykloidalnego, z tą różnicą, że pole elektryczne wytwarzane jest przez dwie płasko-równoległe elektrody. Budowę układu przedstawia schematycznie rysunek (1). Wiązka elektronów, po wejściu przez otwór w elektrodzie wejściowej S_1 w obszar skrzyżowanych pól, ulega odchyleniu w kierunku $(-X)$, a następnie opuszcza obszar oddziaływania pól przez otwór w elektrodzie wyjściowej S_2 . Równanie ruchu



Rysunek 1: Schemat ideowy budowy selektora trochoidalnego.

elektronu w obszarze selektora ma postać

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{e}{m} [\vec{E} + (\vec{v} \times \vec{B})], \quad (1)$$

gdzie \vec{v} jest wektorem prędkości elektronu. Działające siły nie mają składowej w kierunku pola magnetycznego, zatem w kierunku osi Z cząstka porusza się ze stałą prędkością. W

selektorze cząstka ta porusza się po torze, którym jest trochoida (Stamatovic i Schulz 1970). Jest to krzywa zakreślana przez punkt na okręgu toczącym się bez poślizgu po prostej. Równanie ruchu ma postać (Coulter i Sanche 1989)

$$\begin{aligned}x(t) &= -R_c \cdot \sin \omega t + v_d \cdot t + x_0, \\y(t) &= R_c \cdot (\cos \omega t - 1) + y_0, \\z(t) &= v_{0z} \cdot t + z_0,\end{aligned}\tag{2}$$

gdzie

$$R_c = \frac{E \cdot m_e}{e \cdot B^2}, \quad \omega = \frac{e \cdot B}{m_e}, \quad v_d = \frac{E}{B},$$

a

x_0, y_0, z_0 są współrzędnymi początkowymi elektronu,
 v_{0z} jest składową prędkości początkowej elektronu w kierunku Z ,
 ω jest częstością kątową,
 v_d jest prędkością dryfu cząstki.

Rodzaj trochoidy zależy od kąta, pod jakim elektron został wprowadzony do selektora. Cząstka zatacza w nim pętle o promieniu R_c

$$R_c = \frac{E \cdot m_e}{e \cdot B^2}.\tag{3}$$

Prędkość dryfu \vec{v}_d , będąca prędkością przesunięcia cząstki w kierunku X , jest równa

$$\vec{v}_d = \frac{|\vec{E} \times \vec{B}|}{B^2}.\tag{4}$$

Przesunięcie to następuje wzdłuż płaszczyzny stałego potencjału, w kierunku prostopadłym zarówno do pola elektrycznego jak i magnetycznego. Wielkość przesunięcia D można wyznaczyć, rozważając czas przelotu cząstki przez monochromator (dla ułatwienia zakłada się, że cząstki wprowadzane są równoległe do linii pola magnetycznego)

$$D = v_d \cdot t_k = v_d \frac{L}{v_{0z}} = v_d \cdot L \sqrt{\frac{m_e}{2W_0}},\tag{5}$$

gdzie

t_k jest czasem, jaki cząstka spędza w obszarze oddziaływań pól,
 L jest długością elektrod wytwarzających pole elektryczne,
 $W - 0$ to energia początkowa elektronu.

Do otworu wyjściowego monochromatora dostają się te elektrony, które będą miały odpowiednią prędkość, a więc i energię.

Różniczkując równanie (5) otrzymuje się warunek na poszerzenie energetyczne wiązki transmitowanej przez TEM (Stamatovic i Schulz 1970)

$$\Delta W = 2W_0 \frac{\Delta D}{D}, \quad (6)$$

w którym ΔD jest sumą średnic otworów wejściowego i wyjściowego monochromatora.

Wielkość ΔW określa szerokość rozkładu energetycznego wiązki przy podstawie. Z zależności (6) widać, że najmniejsze rozmycie transmitowanej wiązki uzyskuje się przy niskiej energii początkowych wiązki elektronów.

Podobnie jak w przypadku selektora hemisferycznego, w wyrażeniu na rozmycie energetyczne dodaje się czynnik

$$2 \cdot e \cdot E \cdot r_1. \quad (7)$$

Czynnik ten pochodzi od spadku potencjału na otworze (o promieniu r_1) elektrody wejściowej selektora.

Tak jak w przypadku monochromatora hemisferycznego możemy wprowadzić parametr P_{TEM} charakteryzujący monochromator, który ma postać

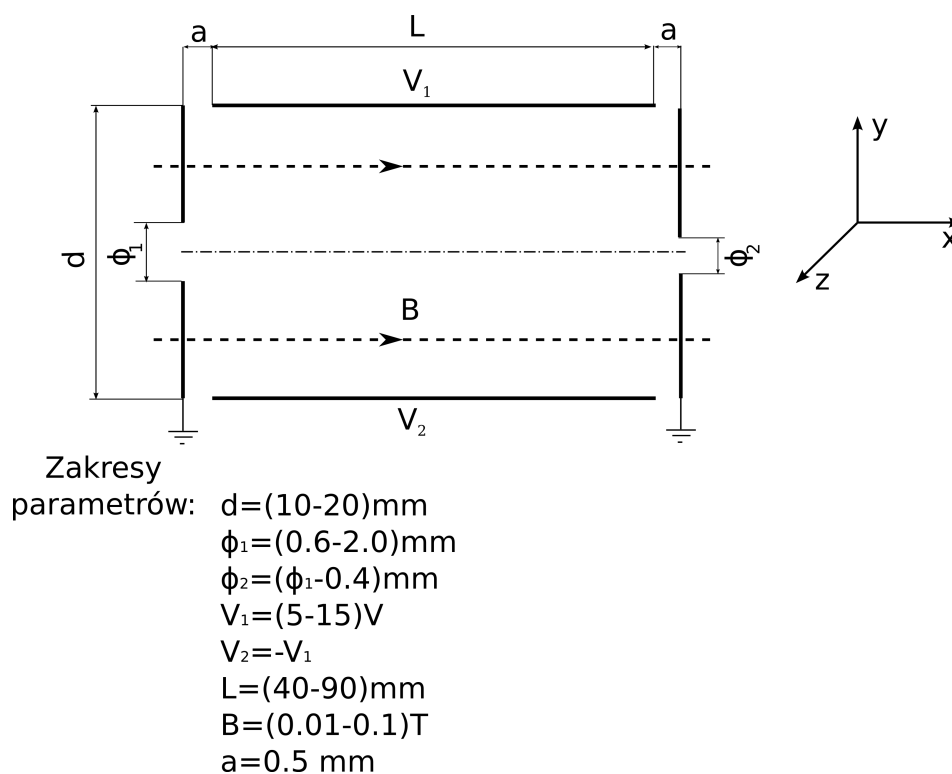
$$P_{TEM} = 1 = \left(\frac{D}{L}\right)^2 \cdot \frac{D}{R_c}. \quad (8)$$

Przeprowadzono wiele badań dotyczących optymalnych parametrów geometrycznych monochromatora, umożliwiających jak najlepsze parametry pracy (McMillan i MOore 1980). Oprócz optymalnego doboru rozmiarów i stosowanych pól, spotkać można także układy, w których w celu poprawienia rozdzielczości energetycznej wykorzystuje się metodę pól hamujących (Grill et al 2001).

W monochromatorach trochoidalnych elektrody wytwarzające pole elektryczne mają kształt walca z wycięciem o szerokości odpowiadającej odległości między okładkami, natomiast elektrody (wejściowa i wyjściowa) mają kształt dysków o średnicy równej średnicy walca.

1.2 Projekt selektora trochoidalnego i przeprowadzenie pomiarów

Budowa i analiza selektora trochoidalnego przeprowadzona będzie przy pomocy programu CPO 3D. W tym celu należy wprowadzić do programu kod opisujący budowę i właściwości selektora TEM zgodnie z rysunkiem (2). Dobór kształtu elektrod będzie ustalony przed rozpoczęciem ćwiczenia.



Rysunek 2: Schemat do konstrukcji selektora trochoidalnego.

Po zaprojektowaniu selektora TSE należy wykonać następujące zadania:

1. Wykreślić linie ekwipotencjalne wewnątrz selektora TSE.
2. Wykreślić linie pola magnetycznego wewnątrz selektora TSE.
3. Wyznaczyć trajektorie elektronu o energii z przedziału $(5 - 60)\text{eV}$ w zależności od kąta wpadania do osi x - kąt może się zmieniać w przedziale $(0^\circ - 12^\circ)$ w płaszczyźnie XY i XZ aby elektron przemieszczał się w selektorze. Pojedynczy elektron startuje centralnie ze szczeliny o średnicy Φ_1 .
Na podstawie tych danych należy wyznaczyć wielkość przesunięcia D dla każdego z elektronów, prędkość dryfu, długość trajektorii każdego elektronu oraz wykonać trajektorie wszystkich elektronów na jednym wykresie.
4. Wyznacz rozdzielczość energetyczną tego selektora dla elektronów wpadających równolegle do osi x oraz elektronów wpadających pod kątem 3° do osi x

5. Jak zmieni się wynik z poprzedniego punktu jeżeli
- a) pole magnetyczne zwiększymy/zmniejszymy dwukrotnie,
 - b) potencjał V_1 zwiększymy/zmniejszymy dwukrotnie,
 - c) średnicę Φ_2 zmniejszymy dwukrotnie.

Podsumowaniem ćwiczenia jest wykonanie sprawozdania z przeprowadzonych pomiarów wraz z analizą tych danych. Sprawozdanie powinno być wykonane w edytorze tekstu a do sprawdzenia dostarczone w wersji papierowej jak i w formacie PDF poprzez e-mail do prowadzącego ćwiczenie.