



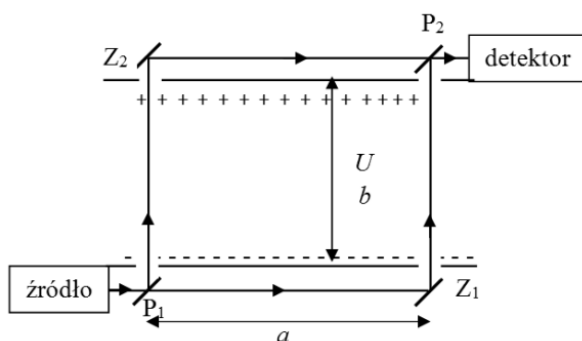
# LXVII OLIMPIADA FIZYCZNA

## ZADANIA ZAWODÓW I STOPNIA

### CZĘŚĆ TEORETYCZNA

**Nazwa zadania** Detekcja wiązki elektronów.  
**Rok** 2017/2018  
**Źródło** Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;  
 Andrzej Wysmołek, sekretarz naukowy ds. zad. dośw. KGOF, IFD UW;  
 W. Ungier, A. Wysmołek: Fizyka w Szkole nr 5, 1998;  
 T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

#### Zadanie T - LXVII OF, I stopień.



Na rysunku przedstawiono schemat interferometru, w którym wiązka nierelatywistycznych elektronów o energii kinetycznej  $E$  pada na płytkę półprzepuszczalną  $P_1$ , skąd część wiązki biegnie dalej drogą  $P_1 - Z_1 - P_2$ , a część – drogą  $P_1 - Z_2 - P_2$ . Za płytką półprzepuszczalną  $P_2$  (identyczną z  $P_1$ ) rozdzielone wiązki nakładają się, a obraz interferencyjny jest rejestrowany przez detektor. W części obszaru od płytek  $P_1, Z_1$ , do płytek  $Z_2, P_2$  występuje stałe pole elektryczne, równoległe do dróg od  $P_1$  do  $Z_2$  oraz  $Z_1$  do  $P_2$ , w wyniku czego na tych drogach energia kinetyczna elektronów zmienia się. Napięcie między obszarem  $Z_2 - P_2$ –detektor a obszarem źródło– $P_1 - Z_1$  wynosi  $U$  i jest nieujemne. Długości odcinków  $P_1 - Z_1$  oraz odcinków  $Z_2 - P_2$  są takie same i wynoszą  $a$ . Długości odcinków  $P_1 - Z_2$  oraz  $Z_1 - P_2$  są takie same, a droga każdej z wiązek w polu elektrycznym wynosi  $b$ .

Dla jakiej najmniejszej wartości  $U > 0$  natężenie wiązki rejestrowane przez detektor jest równe 0? Wiązkę elektronów potraktuj jako falę de Broglie'a. Płytki półprzepuszczalne rozdzielają tę falę. Ładunek elektronu oznacz przez  $-e$ , jego masę przez  $m$ . Stała Plancka to  $h$ .

**Rozwiązanie zadania T - LXVII OF, I stopień.**

Zauważmy, że odcinki  $P_1 - Z_2$  oraz  $Z_1 - P_2$  są tej samej długości, pole elektryczne jest na nich takie samo, a energia początkowa elektronu (oraz początkowy pęd i długość fali) w punktach  $P_1$  oraz  $Z_1$  jest również taka sama, zatem te odcinki nie dają wkładu do przesunięcia fazowego między wiązkami.

Pęd elektronu na odcinku  $P_1 - Z_1$  wynosi  $p_1 = \sqrt{2mE}$ , czyli długość związanej z nim fali jest równa

$$\lambda_1 = \frac{h}{p_1} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}, \quad (1)$$

gdzie  $h$  jest stałą Plancka.

Energia kinetyczna elektronu na odcinku  $Z_2 - P_2$  jest równa  $E + eU$ , zatem jego pęd na tym odcinku  $p_2$  jest równy  $\sqrt{E + 2meU}$  i w konsekwencji długość fali wynosi

$$\lambda_2 = \frac{h}{p_2} = \frac{h}{\sqrt{E + 2meU}}. \quad (2)$$

Na odcinku  $P_1 - Z_1$  mieści się  $\frac{a}{\lambda_1}$  długości fali, a na odcinku  $Z_2 - P_2$  mieści się  $\frac{a}{\lambda_2}$  długości fali. Aby natężenie wiązki zarejestrowane przez detektor było równe 0, musi zajść interferencja destruktywna, tzn. musi być spełniony warunek

$$\frac{a}{\lambda_1} - \frac{a}{\lambda_2} = n + \frac{1}{2}, \quad (3)$$

gdzie  $n$  jest liczbą całkowitą, co po uwzględnieniu wzorów na  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$  oznacza, że zachodzi równość

$$\frac{a}{h} (\sqrt{2mE + 2meU} - \sqrt{2mE}) = n + \frac{1}{2}. \quad (4)$$

Najmniejsze dodatnie  $U$  spełniające ten warunek otrzymamy dla  $n=0$ , stąd

$$U = \frac{\left(\frac{h}{2a\sqrt{2m}} + \sqrt{E}\right)^2 - E}{e} = \frac{h}{ea} \left(\frac{h}{8ma} + \sqrt{\frac{E}{2m}}\right). \quad (5)$$

**Punktacja**

Zauważenie, że odcinki  $P_1 - Z_2$  oraz  $Z_1 - P_2$  nie dają wkładu do przesunięcia fazowego między wiązkami 2pkt.

Długość fali elektronu na odcinku  $P_1 - Z_1$  (wzór (1) lub równoważny). 1pkt

Długość fali elektronu na odcinku  $P_2 - Z_2$  (wzór (2) lub równoważny) 1pkt

Warunek, by natężenie rejestrowanej wiązki było równe 0 (wzór (3) lub równoważny) 3pkt.

Szukane napięcie, poprawnie otrzymane na podstawie wszystkich elementów rozwiązania (wzór (5) lub równoważny) 3pkt.