XLIX OLIMPIADA FIZYCZNA
(1999/2000)
ZAWODY I STOPNIA
CZĘŚĆ TEORETYCZNA

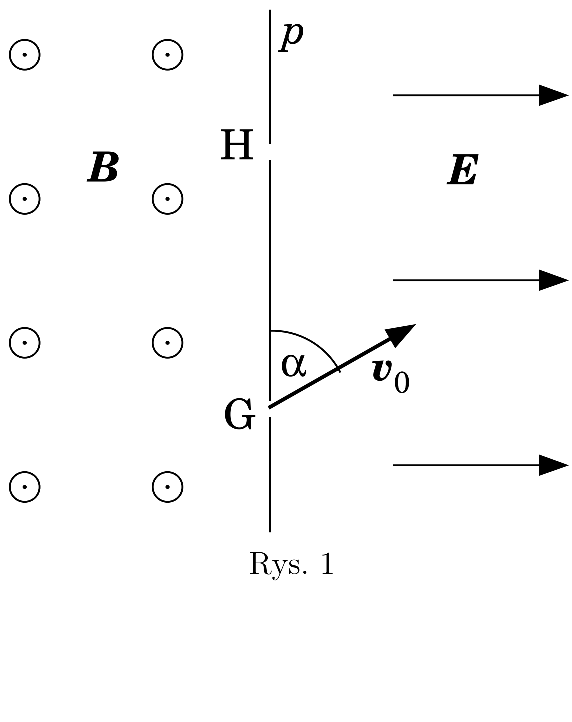
Zadanie teoretyczne – T

Nazwa – Elektrony wstrzeliwane w obszar pola elektrycznego

Źródła – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej
– Andrzej Wysmołek, sekretarz naukowy ds. zad. teoret. KGOF, IFD UW
– Paweł Janiszewski, Jan Mostowski (red.): *50 lat olimpiad fizycznych. Wybrane zadania z rozwiązaniami.* WN PWN, Warszawa 2002
– T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

Zadanie T2 - XLIX OF, I stopień

Przedstawione na rys. 1 jednorodne pola, elektryczne o natężeniu E – wypełniające półprzestrzeń z prawej strony płaszczyzny p oraz magnetyczne o indukcji B – wypełniające półprzestrzeń z lewej strony płaszczyzny p, są wzajemnie prostopadłe. Pole $\boldsymbol{E}$ jest prostopadłe do płaszczyzny p. Elektrony są wstrzeliwane w obszar pola elektrycznego w punkcie G, rys. 1, pod kątem α do płaszczyzny p z prędkością v_0, tak że przelatując przez punkt H wpadają w obszar pola magnetycznego i ponownie przelatują przez punkt G. Jaki jest związek między E, B, v_0 i α? W którym obszarze elektrony przebywają dłużej, jeżeli $\alpha = 60°$?



Rys. 1

Rozwiązanie zadania T2 - XLIX OF, I stopień

W przypadku elektronu w polu elektrycznym skorzystamy z analogii z rzutem poziomym w polu jednorodnym o przyspieszeniu:

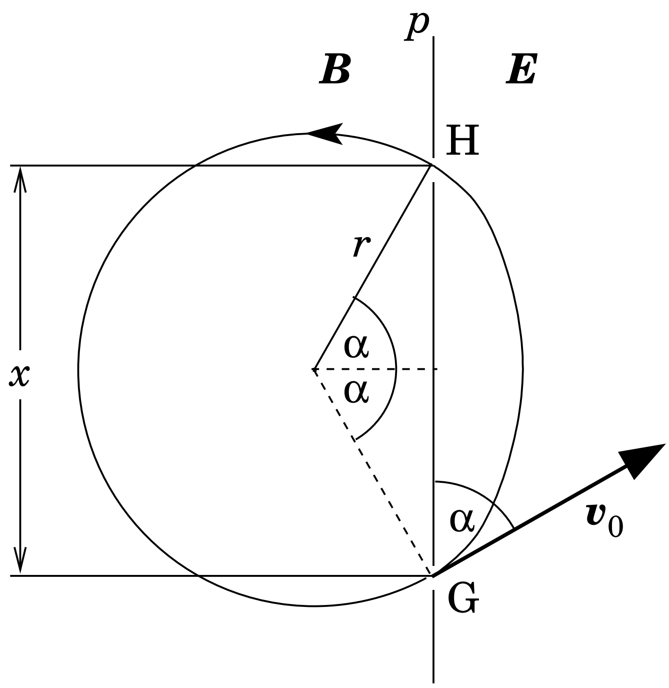
$$g' = \frac{qE}{m}, \tag{1}$$

gdzie q i m oznaczają odpowiednio ładunek i masę elektronu. Zasięg rzutu wynosi:

$$x = 2r \sin\alpha, \tag{2}$$

gdzie r oznacza promień okręgu, po którym porusza się elektron w polu magnetycznym, rys. 2. Promień r spełnia warunek:

$$qv_0B = \frac{mv_0^2}{r}. \tag{3}$$



Rys. 2

Przez połowę czasu lotu t od G do H elektron oddala się od płaszczyzny p, zatem:

$$v_0 \sin\alpha - g't/2 = 0, \tag{4}$$

skąd:

$$t = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g'}. \tag{5}$$

Korzystając ze wzoru na zasięg rzutu ukośnego mamy:

$$x = 2\frac{v_0^2 \sin\alpha \cos\alpha}{g'}. \tag{6}$$

Z porównania wzorów (2) i (6) oraz podstawienia g' z (1) i r z (3) otrzymujemy związek:

$$v_0 \cos\alpha = \frac{E}{B}. \tag{7}$$

Ze wzoru (5) można wyznaczyć czas t_E przelotu elektronu przez pole elektryczne:

$$t_E = \frac{\sqrt{3}v_0}{g'} = \frac{\sqrt{3}v_0 m}{qE}, \tag{8}$$

gdzie podstawiliśmy $\sin 60° = \sqrt{3}/2$.

Czas przelotu elektronu w polu magnetycznym jest równy:

$$t_B = \frac{4\pi}{3}\,\frac{r}{v_0} = \frac{4\pi}{3}\,\frac{m}{qB}. \tag{9}$$

Korzystając z równania (7) obliczamy:

$$\frac{t_B}{t_E} = \frac{2\pi}{3\sqrt{3}} > \frac{2}{\sqrt{3}} > 1. \tag{10}$$

Elektrony przebywają więc dłużej w obszarze pola magnetycznego.