



VI OLIMPIADA FIZYCZNA
(1956/1957)
ZAWODY III STOPNIA
CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Zadanie doświadczalne – D

Nazwa – Odchylenie strumienia wody w pobliżu naelektryzowanego ciała.

Źródła – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej

- Kazimierz Rosiński: *Fizyka w Szkole nr 5*, 1957
- Janusz Ostrowski: *Olimpiady Fizyczne V i VI*. PZWS, Warszawa 1963
- T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

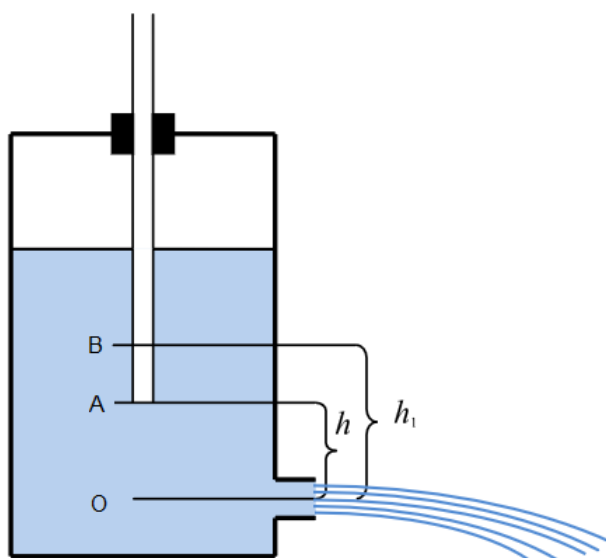
Umieszczając ciało naelektryzowane w pobliżu strumienia wody wypływającej z rurki poziomej, wywołujemy jego odchylenie. Wyłumacz to zjawisko. Wyznacz zależność od prędkości wypływu kąta odchylenia strumienia od pierwotnego kierunku. Opisz, jak wykonywałeś pomiary. Wyniki pomiarów przedstaw graficznie i za pomocą wzoru. Spróbuj wyprowadzić na podstawie znanych praw fizycznych zależność otrzymaną doświadczalnie.

Rozwiązanie zadania D – VI OF, III stopień, część doświadczalna

Ciało naelektryzowane wywołuje przez indukcję elektrostatyczną powstanie ładunków elektrycznych przeciwnego znaku w najbliższej części strumienia wody. Ścisłej mówiąc, następuje polaryzacja wody. Czysta woda bowiem jest dielektrykiem o dużej stałej dielektrycznej $\varepsilon \approx 80$. Ładunki tego samego znaku co ciało naelektryzowane ustawiają się w skutek sił odpychających dalej i wynikające z tego odpychanie strumienia wody jest mniejsze niż przyciąganie bliżej położonych ładunków znaku przeciwnego, co powoduje odchylenie całego strumienia ku ciało naelektryzowanemu. Przyciąganie działa jednak na bardzo małym, najbliższym ciało naelektryzowanemu odcinku strumienia, bowiem prędko wzrastająca wzajemna odległość powoduje jeszcze szybsze, bo (jak wiadomo) aż do kwadratu odległości proporcjonalne, zanikanie siły przyciągającej. Dlatego powinniśmy oczekiwać odchylenia strumienia nie w postaci dużego łuku lecz w postaci nagłego załamania kierunku, który tak przed załamaniem jak i po załamaniu jest prostoliniowy. Podobny charakter odchylenia obserwujemy przy przechodzeniu cząstek naładowanych (na przykład α) przez materię.

Zadanie można doświadczalnie rozwiązać różnymi metodami. We wszystkich metodach najwygodniej jest zastosować butelkę Mariotte'a¹ tak dla uzyskania stałości prędkości przepływu wody, jak i w celu uzyskania szybkich zmian prędkości wypływu. Bez korzystania z zasady butelki Mariotte'a przeprowadzanie pomiarów byłoby stosunkowo trudne, a wyniki niepewne, ponieważ albo trzeba by stosować regulację kranem (ściskaczem), co nie pozwala mierzyć prędkości wypływu, albo trzeba by poprzestać na samoistnej zmianie prędkości cieczy przy wypływie przez lewar, ale zmiana ta jest zbyt powolna.

Zasadę butelki Mariotte'a przypomina rysunek 1. Wypływ wody odbywa się pod stałym ciśnieniem słupa cieczy o wysokości $h = OA$. Wskutek wypływu cieczy obniża się wprawdzie słup cieczy ponad poziomem A, ale o tyle samo wzrasta ciśnienie powietrza ponad cieczą wskutek dopływu z zewnątrz przez rurkę. Zmiana zanurzenia rurki, na przykład, do poziomu B zmienia ciśnienie z h do h_1 , a co za tym idzie, zmienia się prędkość wypływu cieczy z dolnego otworu.



Rys. 1. Schemat butelki Mariotte'a.

¹Dokładnie zasadę działania butelki Mariotte'a przedstawiono w rozwiązaniu zadania doświadczalnego z III stopnia IX Olimpiady Fizyczne

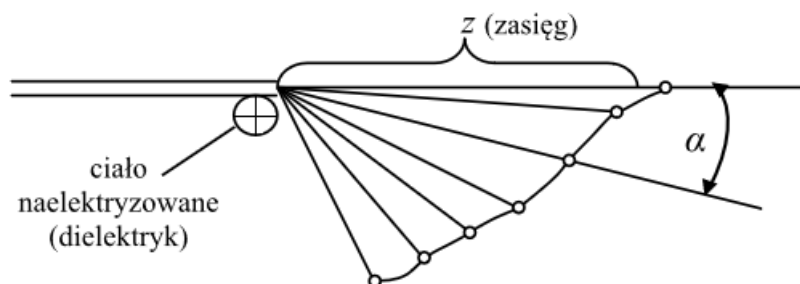
Wybór dielektryka: Na podstawie pomiarów stwierdzono, że ładunek dielektryka z upływem czasu zanika najwolniej dla pręta ebonitowego (praktycznie niedostrzegalne w ciągu paru minut), znacznie szybciej dla rury kwarcowej i pręta nylonowego (grzebień), najszybciej dla szkła. Ładunek wytworzony przez potarcie na pręcie nylonowym w ciągu dwóch minut zmniejsza się średnio o 7 %, w ciągu 7 minut średnio o 12 %. Zanik ładunku jest w przybliżeniu wykładniczy, powtarzalność krzywych zaniku jest dość dobra.

Opiszemy tylko metodę poziomego wypływu wody, ponieważ wypływ pionowy nastęrcza wiele trudności i na ogół (nawet przy dużej wprawie eksperymentatora) otrzymane wyniki obarczone są dużymi błędami.

Sposób I. Mierzy się wysokość słupa cieczy h oraz kąt α odchylenia strugi. Dla znalezienia zależności kąta α od prędkości wypływu v konieczne są dodatkowe pomiary $v = f(h)$. Trzeba przy tym uwzględnić wpływ rozładowywania się dielektryka, ponieważ czas trwania serii pomiarów jest rzędu paru minut.

Sposób II – lepszy.

Mierzy się równocześnie zasięg z oraz kąt odchylenia α (rysunek 2).



Rys. 2. Schemat drugiej metody pomiarowej.

Praktycznie można to wykonać w ten sposób, że w kuwecie umieszcza się arkusz papieru milimetrowego, zaznacza się punkt leżący pionowo nad wylotem rurki oraz kierunek strugi nie odchylonej, a następnie w trakcie wypływu kreśli się szereg punktów, w których struga pada na papier, gdy zmienia się wysokość słupa cieczy. Wysokości tej nie można mierzyć. Otrzymuje się krzywą jak na rysunku, z której można później zmierzyć $\alpha = f(z)$. Zasięg z powinien być linowo zależny od prędkości wypływu v zgodnie ze znanym wzorem $z = v\sqrt{2h/g}$. Sam pomiar (jedna seria) trwa zaledwie kilkanaście sekund.

Oczywiście, lepiej byłoby zmierzyć również wysokość słupa cieczy h i z zależności Torricelli'ego

$$v = \sqrt{2gh}, \quad (1)$$

wyznaczyć prędkość wypływu. Jednak ze względu na konieczny pośpiech w wykonywaniu pomiarów, narzucony przez rozładowywanie się dielektryka, trzeba raczej poprzestać na wyznaczaniu prędkości v jedynie z pomiarów zasięgu z . Zależność prędkości od zasięgu $v = f(z)$ można wyznaczyć przed właściwymi pomiarami i w ten sposób wycechować aparaturę.

Z pomiarów otrzymujemy (w przybliżeniu) zależności

$$\alpha \sim \frac{1}{h}, \quad (2)$$

oraz

$$\alpha \sim \frac{1}{v^2}. \quad (3)$$

Postaramy się wyprowadzić zależności (2) i (3).

Struga zmieniła kierunek z \vec{v}_1 na \vec{v}_2 , można to napisać wektorowo

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2,$$

przy czym wartości v_1 i $v - 2$ są sobie równe, nastąpiła tylko zmiana kierunku prędkości.

Takie fakty są doświadczalne. Jeśli jednak zmienia kierunek ciało o masie m , to następuje zmiana jego pędu. Wszelka zaś zmiana pędu wywołana jest siłą – zgodnie z II zasadą dynamiki.

Zatem jeśli przez \vec{F} oznaczmy siłę, z jaką ciało naelektryzowane przyciąga element strugi o masie m , to możemy napisać

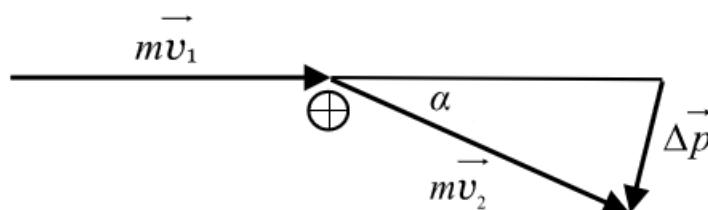
$$\Delta\vec{p} = \vec{F} \cdot t \quad (4)$$

$\Delta\vec{p}$ jest pędem, o jaki zmienił się pęd elementu strugi w skutek działania siły \vec{F} przez czas t . Zrozumiałe intuicyjnie jest, że im krócej ciało podlega działaniu stałej siły, tym mniejsze nastąpi odchylenie w kierunku jego ruchu. Oczywiście

$$t \sim \frac{1}{v_1},$$

oraz

$$\Delta p = m\Delta v.$$



Rys. 3. Schemat pędów.

Dla małych kątów

$$\alpha = \frac{\Delta v}{v_1},$$

to z jednej strony

$$\Delta p = m\Delta v \sim \alpha \cdot v_1, \quad (5)$$

z drugiej zaś strony

$$F \cdot t \sim \frac{F}{v_1}, \quad (6)$$

a zatem, uwzględniając (5) i (6), otrzymamy z (4)

$$\alpha \cdot v_1 \sim \frac{F}{v_1}.$$

Biorąc zaś pod uwagę, że siła F jest w przybliżeniu stała, lub też zakładając, że przyjmujemy średnią wartość F siły działającej, napiszemy:

$$\alpha \sim \frac{1}{v_1^2}. \quad (7)$$

Wzór (7) wyraża zależność, którą otrzymaliśmy poprzednio z doświadczenia.