

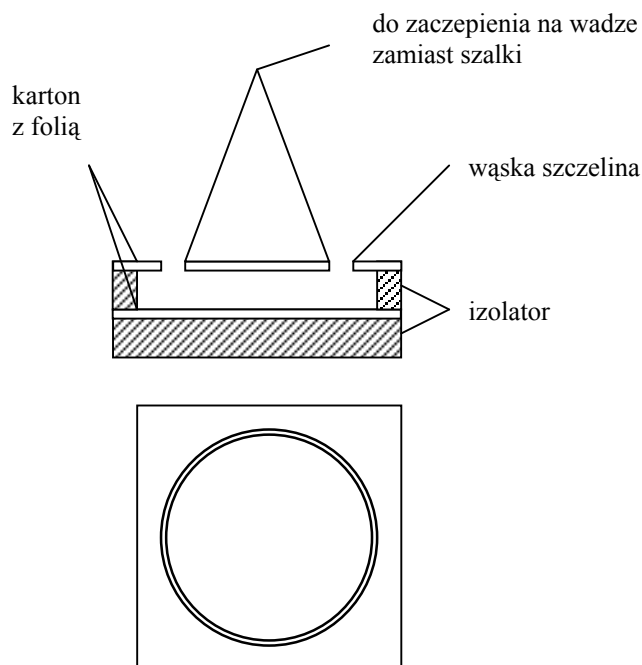
XXVIII OLIMPIADA FIZYCZNA (1978/1979). Stopień I, zadanie doświadczalne – D1.

Źródło:	Komitet Główny Olimpiady Fizycznej; Olimpiada Fizyczna XXVII – XXVIII. WSiP, Warszawa 1983; Fizyka w Szkole Nr 2, 1980
Autor:	Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki
Nazwa zadania:	Wyznaczanie pojemności elektrometru szkolnego
Działy:	Elektrostatyka
Słowa kluczowe:	pojemność elektryczna, elektrometr bezwzględny, waga laboratoryjna, kondensator powietrzny, elektrometr szkolny, elektrometr Browna, przewodnik, izolator, laska ebonitowa

Zadanie doświadczalne – D1, zawody I stopnia, XXVIII OF.

Dane są następujące przyrządy: elektrometr bezwzględny* złożony z wagi laboratoryjnej i płaskiego kondensatora powietrznego, nie wyskalowany elektrometr szkolny (elektrometr Browna), przewodniki z krokodylkami, kula metalowa na pręcie izolatora, laska ebonitowa i szmatka wełniana, papier milimetrowy i przybory geometryczne. Posługując się tymi przyrządami wyskaluj elektrometr szkolny w voltach, a następnie wyznacz jego pojemność elektryczną.

Uwaga: Elektrometr bezwzględny należy wykonać samemu np. z kartonu oblepionego folią aluminiową (rys. 1)

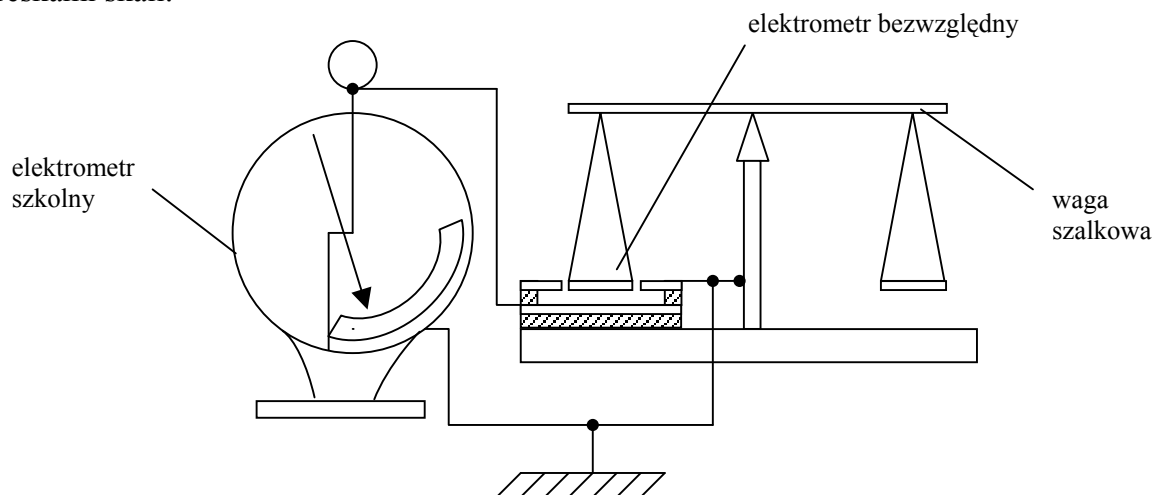


Rys. 1.

* Precyzyjny instrument do pomiaru bardzo niewielkich różnic potencjałów, tzw. waga Leybolda, w której siła przyciągania dwóch okładek kondensatora równoważona jest masą odważników umieszczanych na szalce wagi.

Rozwiązanie

Należało zestawić przyrządy jak na rysunku 2, elektrometr bezwzględny i elektrometr Browna łączymy równolegle. Możemy je elektryzować przez dotknięcie pałeczką ebonitową potartą uprzednio szmatką wełnianą. Przenosząc wstępnie ładunek elektrometru do masy przez kolejne dotknięcie elektrometru kulą na pręcie izolującym, a następnie uziemienie jej, można tak regulować napięcie na elektrometrze, żeby wskazówka pokrywała się z kolejnymi kreskami skali.



Rys. 2.

Jednocześnie musimy za pomocą elektrometru bezwzględnego wyznaczyć napięcie odpowiadające tym położeniom wskazówki elektrometru Browna. W tym celu każdorazowo wyznaczamy siłę, z jaką ruchoma płytka elektrometru bezwzględnego przyciągana jest przez nieruchomą. Doprowadzenie wagi do równowagi jest przy naładowanych płytkach niemożliwe. Zależność siły F od odległości między płytkami jest w przedstawionej sytuacji taka (rośnie wraz z malejącą odległością), że otrzymujemy równowagę nietrwałą. W związku z tym należy zmodyfikować nieco technikę ważenia. Wskazówkę wagi doprowadzamy do położenia zerowego przez delikatne popychanie jej, a następnie ustalamy możliwie dokładnie takie obciążenie wagi, przy którym wskazówka z położenia zerowego wychyla się równie „łatwo” w prawo jak i w lewo.

$$F = \frac{1}{2} qE,$$

gdzie q jest ładunkiem indukowanym na górnej płytce elektrometru, a $E/2$ to natężenie pola wytwarzanego przez ładunki na dolnej płytce. Natężenie pola $E = V/d$, gdzie V jest potencjałem dolnej płytki w stosunku do masy, d – odległością między płytkami. Ładunek

$$q = VC = \frac{V\epsilon_0\pi r^2}{d},$$

gdzie C – pojemność elektrometru bezwzględnego, która równa jest pojemności kondensatora płaskiego o powierzchni $S = \pi r^2$ (r – promień górnej płytki) i odległości d między płytkami.

Stąd

$$F = \frac{V^2\epsilon_0\pi r^2}{2d^2}.$$

Siła ta jest równoważna ciężarem dodatkowej masy m , jaką należy obciążyć szalkę wagi po naelektryzowaniu elektrometru.

$$F = mg = \frac{V^2 \varepsilon_0 \pi r^2}{2d^2},$$

stąd

$$V = \frac{d}{r} \sqrt{\frac{2mg}{\varepsilon_0 \pi}}.$$

Korzystając z tej zależności znajdujemy potencjał V odpowiadający konkretnym wychyleniom elektrometru Browna, a więc skalujemy go. Należy zwrócić uwagę, że zależność kąta wychylenia nie jest liniowa i istnieje pewien maksymalny kąt wychylenia (kąt ten nie może przekroczyć wartości $\pi/2$).

W celu znalezienia pojemności C elektrometru Browna ładujemy kulę o promieniu R prętem ebonitowym i stykamy z nie naładowanym elektrometrem Browna. Notujemy potencjał V_1 , do którego elektrometr się naładował. Następnie rozładowujemy elektrometr i powtórnie dotykamy go kulą. Notujemy potencjał V_2 . Ładunek $Q_1 = 4\pi\varepsilon_0 R$, jaki pozostał na kuli po pierwszym zetknięciu z elektrometrem, rozdziela się teraz na dwie części, gdzie jest ładunkiem, jaki pozostał na kuli po drugim zetknięciu, a $Q_3 = V_2 C'$ jest ładunkiem, jaki pozostał po drugim zetknięciu na elektrometrze.

$$V_1 4\pi\varepsilon_0 R = V_2 4\pi\varepsilon_0 R + V_2 C',$$

stąd

$$C' = 4\pi\varepsilon_0 R \frac{(V_1 - V_2)}{V_2}.$$

Typowy elektrometr szkolny ma pojemność rzędu kilku pF, a wychylenie jego wskazówki o 60° odpowiada napięciu rzędu 2000 V. Masa konieczna do zrównoważenia elektrometru bezwzględnie ($d = 10,5$ mm; $r = 50$ mm) przy 2500 V wynosiła 210 g.