



# XXVIII OLIMPIADA FIZYCZNA

(1978/1979)

## ZAWODY I STOPNIA

### Zadanie doświadczalne – D1

**Nazwa** – Wyskalowanie elektrometru Brauna<sup>1</sup> i wyznaczenie jego pojemności elektrycznej.

**Źródła** – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej

- Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki *Fizyka w Szkole* nr 2, 1980
- Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki: *Olimpiada Fizyczna XXVII - XXVIII*, WSiP, Warszawa 1983
- T.M. Molenda, IF US, [www.OF.szc.pl](http://www.OF.szc.pl).

---

Dane są następujące przyrządy:

- elektrometr bezwzględny<sup>2</sup> złożony z wagi laboratoryjnej szalkowej i płaskiego kondensatora powietrznego,
- niewyskalowany elektrometr szkolny (elektrometr Brauna<sup>3</sup>),
- przewodniki z krokodylkami,
- kula metalowa na pręcie izolatora,
- laska<sup>4</sup> ebonitowa i szmatka wełniana,
- papier milimetry 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 metalową (rys. 1').

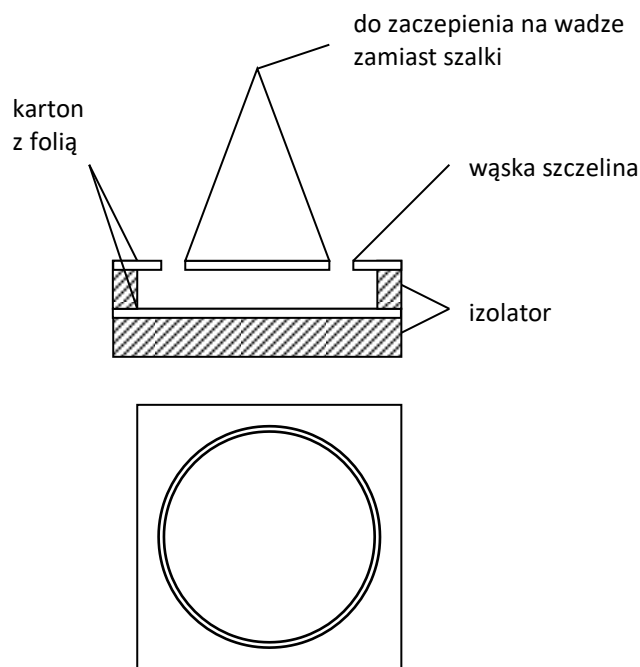
---

<sup>1</sup>W źródłach z zad. jest nazwa „elektrometr Browna”, którą przy redakcji zadania, zastąpiono nazwą stosowaną w literaturze — „elektrometr Brauna” — oprócz treści zad. (przyp. red.).

<sup>2</sup>Elektrometr bezwzględny – Precyzyjny przyrząd do pomiaru bardzo niewielkich różnic potencjałów, tzw. waga Kelvina, w której pomiar napięcia elektrycznego sprowadza się do pomiaru wielkości nieelektrycznych: siły, pola powierzchni i odległości. Siła przyciągania dwóch okładek kondensatora równoważona jest masą odważników umieszczonych na szalce wagi – *przyp. red.*

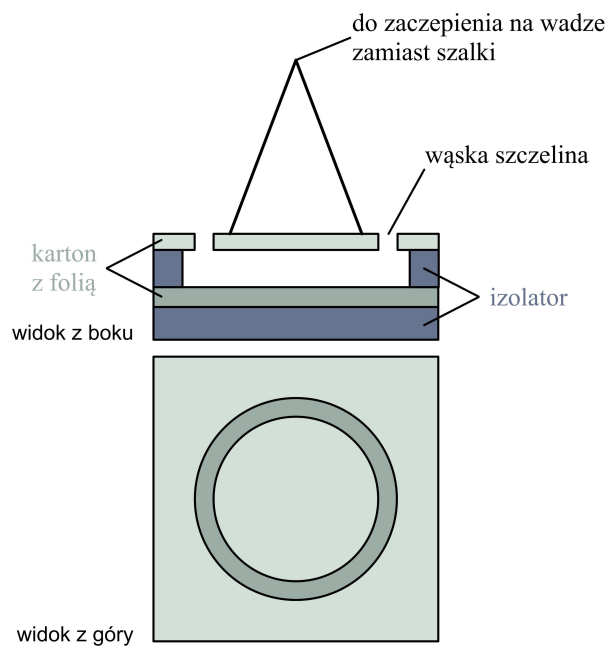
<sup>3</sup>Elektrometr Brauna – stosuje się w doświadczeniach z elektrostatyki. Służy do pomiaru potencjału elektrycznego ciała naładowanego względem ziemi, jeżeli osłona jest uziemiona, lub względem tej osłony, jeżeli jest ona nieziemiona i ma pewien potencjał. Opis szkolnego przyrządu – [https://dydfiz.univ.szczecin.pl/pdf/pdf\\_107.pdf](https://dydfiz.univ.szczecin.pl/pdf/pdf_107.pdf) – *przyp. red.*

<sup>4</sup>Nazwa „laska ebonitowa” była użyta tylko w treści zadania, w rozwiązaniu – „paleczka ebonitowa” (przyp. red.).



Rys. 1\*

\* Zamieszczony rys. powstał przy oprac. zad. w KOOF w Szczecinie jako kopia rys. z druczka z zad. Podczas oprac. zad. w KGOF wykonane rys. zostały pokolorowane a dla powyższego usunięto uchybienia. Poniżej został dołączony do treści zad. jako Rys. 1 i dołączono podpis rysunku a poniżej bardziej szczegółowy opis układu doświadczalnego z pewnym komentarzem (przyp. red.).



Rys. 1'. Schemat budowy kondensatora płaskiego do elektrometru bezwzględnego:  
rys. górny – widok z boku, rys. dolny – widok z góry

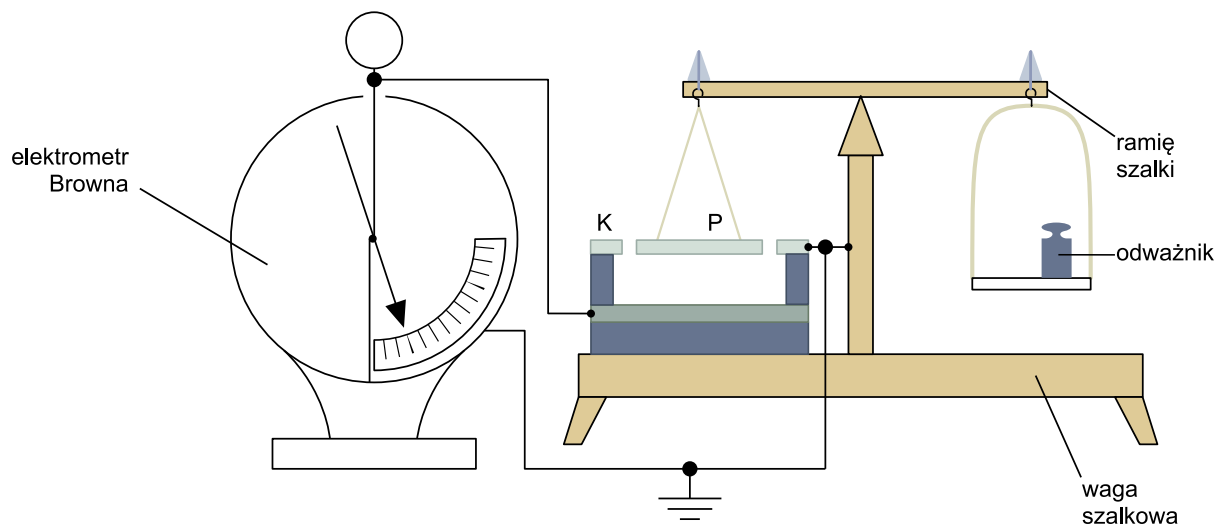
*Opis (przyyp. red.):*

Dolna płytką w kształcie kwadratu umieszczona jest na izolatorze, na niej postawione są elementy izolujące górną płytkę. Płytką tą, o rozmiarach dolnej kwadratowej płytki, ma centralnie wycięty kołowy otwór o średnicy niewiele większym od średnicy środkowej płytki. Do tej płytki przyłączone są (trzy) druciki, na ich górze zrobione jest oczko potrzebne do zawieszenia na haczyku wagi. Płytkę z drucikami zawieszają się na wadze zamiast wieszaka z szalką.

Owiniecie (w treści zad. – oblepienie) odpowiednio wyciętych płytek z kartonu aluminiową folią może sprawić kłopot, ponadto problemem może być nierówne nałożenie folii. Pozbyć się tego problemu można malując płytki metaliczną farbą (srebrem).

## Rozwiązanie zadania D – XXVIII OF, I stopień

Należało zestawić przyrządy jak na rysunku 1', elektrometr bezwzględny i elektrometr Brauna łączymy równolegle. Możemy je elektryzować przez dotknięcie pałeczką ebonitową potartą uprzednio szmatką wełnianą. Przenosząc wstępnie ładunek elektrometru do masy przez kolejne dotykanie elektrometru kulką na pręcie izolującym, a następnie uziemienie jej, można tak regulować napięcie na elektrometrze, żeby wskazówka pokrywała się z kolejnymi kreskami skali.



Rys. 1'. Schemat układu doświadczenia z elektrometrem bezwzględnym z elektrometrem Brauna. Literą K oznaczono górną płytkę z centralnie wyciętym kołowym otworem spoczywającą na izolujących podpórkach (rys. 2); literą P oznaczono płytkę zawieszoną do wagi

### Opis (przyp. red.):

Na lewym ramieniu belki równoramiennej wagi laboratoryjnej, zamiast lewego wieszaka z szalką, jest zawieszona na drucikach płytka P – pośrodku płytki K z otworem, dokładnie aby płytki między sobą się nie stykały. Obie płytki powinny być na tym samym poziomie, są uziemione, czyli mają ten sam potencjał – płytka P poprzez druciki i metalowe części wagi – przez belkę i słupek z przewodem uziemiającym – widocznym na rys. 2. Płytkę dolną i elektrometr Brauna są połączone przewodem, tym samym mają ten sam potencjał. Płytkę górną P i K razem z dolną płytką stanowią kondensator, po naładowaniu siła działająca na płytkę P może być z równoważona ciężarem odważników umieszczanych na szalce wagi, co uwidoczniono na rys. 2.

Rola płytki K jest bardzo istotna, sprawia, że płytka P bierze udział w wytworzeniu dokładnie jednorodnego pola elektrycznego. Natomiast pole niejednorodne (brzegowe) wytwarza się między dolną płytką i płytką ochronną K. Problem dotyczący jednorodności pola między płytkami dolną i górną poprzez wstawienie zewnętrznego ochronnego pierścienia, u nas w postaci płytki K, rozwiązał w 1860 r. W. Thomson, odznaczony za zasługi naukowe tytułem Lorda Kelvina.

Elektrometr bezwzględny, zwana też wagą Kelvina, odegrał ważną rolę w nauce, umożliwił dokonywać *bezwzględnego* pomiaru napięcia. Takiej metody pomiaru napięcia jednak od dawna nie stosuje się.

Szczegółowo z tymi zagadnieniem można zapoznać się np. z książek: W. Natanson, K. Zakrzewski – *Nauka fizyki. Podręcznik przeznaczony do użytku uczniów klas wyższych szkół średnich*. Tom III. Nakład Gebethnera i Wolffa 1923; § 30. *Elektrometr bezwzględny Kelvina*. Dostęp online

w kilku bibliotekach. A.H. Piekara – *Elektryczność i magnetyzm*. PWN, Warszawa 1970; § 2.49. *Elektrometr bezwzględny*.

Jednocześnie musimy za pomocą elektrometru bezwzględnego wyznaczyć napięcie odpowiadające tym położeniom wskazówki elektrometru Brauna. 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.

$$F = \frac{1}{2}qE, \quad (1)$$

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 (uziemienie),  $d$  – odległością między płytkami. Ładunek

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

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.

Mamy stąd

$$F = \frac{V^2\epsilon_0\pi r^2}{2d^2}. \quad (3)$$

Siła ta jest równoważna przez ciężar dodatkowej masy  $m$ , jaką należy obciążyć szalkę wagi po naelektryzowaniu elektrometru:

$$F = mg = \frac{V^2\epsilon_0\pi r^2}{2d^2}. \quad (4)$$

Stąd

$$V = \frac{d}{r} \sqrt{\frac{2mg}{\epsilon_0\pi}}. \quad (5)$$

Korzystając z tej zależności znajdujemy potencjał  $V$  odpowiadający konkretnym wychyleniom elektrometru Brauna, 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 Brauna ładujemy kulę o promieniu  $R$  pałeczką ebonitową i stykamy z nienaładowanym elektrometrem Brauna. Notujemy potencjał  $V_1$ , do którego elektrometr się naładował. Następnie rozładowujemy elektrometr i powtórnie dotykamy go kulą. Notujemy potencjał  $V_2$ . Ładunek  $Q_1 = 4\pi\epsilon_0R$ , jaki pozostał na kuli po pierwszym zetknięciu z elektrometrem, rozdziela się teraz na dwie części:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (6)$$

gdzie  $Q_2$  jest ładunkiem, jaki pozostał na kuli po drugim zetknięciu, a  $Q_3 = V_3C'$  jest ładunkiem, jaki pozostał po drugim zetknięciu na elektrometrze.

$$4\pi V_1\epsilon_0R = 4\pi V_2\epsilon_0R + V_2C', \quad (7)$$

Stąd

$$C' = 4\pi\epsilon_0 R \frac{V_1 - V_2}{V_2}. \quad (8)$$

Typowy elektrometr szkolny ma pojemność kilku pF, a wychylenie jego wskazówki o  $60^\circ$  odpowiada napięciu rzędu 2000 V. Masa odważnika konieczna do zrównoważenia elektrometru bezwzględego

( $d = 10,5$  mm;  $r = 50$  mm) przy 2500 V wynosiła 210 g.

### Punktacja

1. Zaproponowanie metody skalowania elektrometru Brauna ..... 1 pkt.
2. Prawidłowe wyprowadzenie wzoru na siłę działającą na górną płytkę elektrometru bezwzględego. .... 4 pkt.
3. Otrzymanie wzoru (5) na potencjał w elektrometrze bezwzględnym ..... 1 pkt.
4. Zaproponowanie skutecznej metody wyznaczenia pojemności elektrometru Brauna .. 2 pkt.
5. Wyprowadzenie wzoru (8) na pojemność elektrometru Brauna ..... 2 pkt.
6. Prawidłowe połączenie układu do skalowania elektrometru Brauna (należy zwrócić uwagę aby zarówno ruchoma jak i nieruchoma część górnej płytki elektrometru bezwzględego były na potencjale 0 oraz aby doprowadzenie napięcia do górnej płytki było poprzez nieruchome części wagi, a nie np. tak bezpośrednio przewodem, co utrudniłoby ważenie) ..... 2 pkt.
7. Prawidłowe wykonanie ważenia, zwrócenie uwagi na rodzaj równowagi wagi ..... 3 pkt.
8. Wyznaczenie pojemności elektrometru Brauna ..... 2 pkt.
9. Dyskusja i ocena niepewności pomiarowych ..... 3 pkt.

Pozycje 1-5 w Punktacji dotyczą części teoretycznej rozwiązania zadania. Za część teoretyczną i część doświadczalną można było uzyskać maksymalnie po 10 pkt.

### *Komentarz*

Zadanie to wybrało zaledwie około 15 % ogólnej liczby uczestników, co świadczy o jego większej trudności w porównaniu z zadaniem D2 z akustyki. Oczywiście wykonanie samego elektrometru bezwzględego było dość pracochłonne. Spośród nadesłanych rozwiązań tego zadania bardzo niewiele było poprawnych. Część uczestników ograniczyła się jedynie do teoretycznego rozwiązania problemu.

Nikt nie zanalizował rodzaju równowagi elektrometru bezwzględego, czyli trudności, jakie uczniowie napotykali przy ważeniu, pozostały nie zauważone.