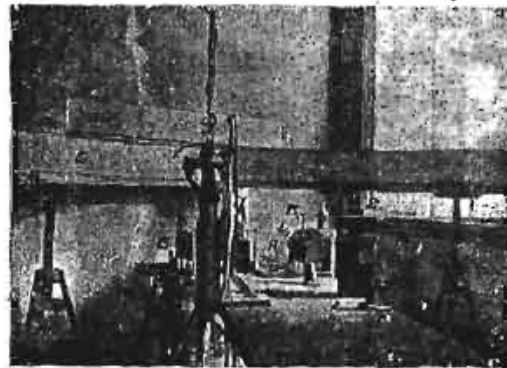


# Stała dielektryczna ciekłego i stałego wodoru i ciekłego helu.<sup>1)</sup>

Napisał prof. dr. M. Wolfke i prof. dr. H. Kamerlingh-Onnes.

**W** Zakładzie Kryogenicznym Uniwersytetu Lejdeńskiego oznaczyliśmy poraz pierwszy stałe dielektryczne ciekłego wodoru i ciekłego helu, w temperaturach ich wrzeń, pod ciśnieniem atmosferycznym, jak również zależność stałej dielektrycznej ciekłego i stałego wodoru od temperatury.

Metoda pomiarów, użyta przez nas, posługująca się drganiami niegasącymi o wielkiej częstotliwości, przez jednego z nas została uprzednio opracowana w Zakładzie Fizycznym Politechniki Warszawskiej.



Rys. 1. Widok aparatury.

Aparatura, uwidoczniona na rys. 1, składała się z dwóch obwodów drgań, luźnie z sobą sprzężonych zapomocą cewek samoindukcyjnych  $L_1$  i  $L_2$ . W pierwszym obwodzie, lampa katodowa  $A$  wytwarza, przy pomocy baterji anodowej  $B$  o 160 V, prądy szybkozmienne o stałej amplitudzie. Obwód jest utworzony przez dwie cewki samoindukcyjne  $L$  i  $L_1$  i kondensator obrotowy  $K_1$ . Drugi obwód jest właściwym obwodem mierniczym: składa się on z cewki samoindukcyjnej  $L_2$ , z precyzyjnego kondensatora mierniczego  $K_2$  i z termoelementu próżniowego  $T$ , który służy tutaj jako detektor prądów szybkozmiennych.

Z kondensatorkiem  $K_2$ , związana jest pojemność  $K$ , która zapomocą ruchomego kontaktu może być przyłączona równolegle do kondensatorka, lub też od niego odłączona. Pojemność stanowi mały kondensatorek cylindryczny w szklanym naczyniu, zanurzony w kryostacie. Kondensatorek ten w próżni ma pojemność około 90 cm. Naczynie zawierające go może być napełnione odpowiednią substancją, której stałą dielektryczną chcemy wyznaczyć. Znajduje się ono w dwóch naczyniach Dewara, zamkniętych u góry hermetycznie, które stosownie do potrzeby napełnia się ciekłym helum, lub ciekłym wodorem. Pozatem są one otoczone trzecim naczyniem Dewar'a, które dla zabezpieczenia przed ciepłem zewnętrznym napełnia się ciekłym powietrzem. Naczynia Dewar'a są posrebrzone wewnątrz i wraz z pokrywkami uziemione. Cały ten system uziemienia stanowi dostateczną ochronę przeciwko zewnętrznym wpływom pojemnościowym. Naczynie zawierające kondensatorek  $K$ , może być z łatwością opróżnione zapomocą pompy próżniowej i w ten sposób pojemność jego można mierzyć w próżni w dowolnej temperaturze.

Siłę termoelektryczną elementu  $T$  mierzy się metodą kompensacyjną, przy pomocy precyzyjnej skrzynki oporowej i galwanometru, służącego jako instrument zerowy i odczytywanego na skali  $G$ . Używany przez nas termoelement daje 7,5 mV na 10 mA prądu w obwodzie drgań. Czulość galwanometru wynosiła  $2 \times 10^{-9}$  A na mm skali w odległości 6,5 m.

Kondensatorek pomiarowy  $K_2$  posiada odpowiednie urządzenie, pozwalające go precyzyjnie nastawiać zapomocą krążka i linek  $R$  z miejsca obserwatora. Do odczytywania nastawienia tego kondensatorka służy skala  $S$  o długości przeszło 5 m, umieszczona na kole zakreślonym promieniem 2-ch m od osi kondensatorka. Małeńkie wklęsłe zwierciadełko  $Z$ , umieszczone na osi kondensatorka w punkcie

<sup>1)</sup> Wyciąg z prac złożonych w Król. Amster. Akad. Nauk.

środkowym tego koła, rzuca obraz rzeczywisty, silnie powiększony, oświetlonej szczeliny  $P$ , o szerokości  $0,2\text{ mm}$ . Przesunięcie się promienia świetlnego na skali  $S$  o  $1\text{ cm}$  odpowiada zmianie pojemności kondensatora mierniczego  $K$  o  $0,158\text{ cm}$ . Czułość tej metody odczytywania można powiększyć przez użycie lunetki i odczytywanie subiektywne; obraliśmy odczytywanie obiektywne, ze względu na wygodę pomiarów.

Pomiar pojemności  $K$  skutecznia się w następujący sposób. Obwód pierwszy nastawia się za pomocą kondensatora  $K_1$  na odpowiednią długość fali, która u nas wynosiła  $400$  do  $600\text{ m}$ . Przy pewnym ustawieniu kondensatora mierniczego  $K_2$ , kompensuje się prąd w obwodzie galwanometru do zera. Następnie przyłącza się do kondensatora mierniczego równolegle mierzoną pojemność  $K$ ; poczem zmniejsza się pojemność kondensatora mierniczego przez obracanie jego osi aż do chwili, gdy naruszona równowaga w obwodzie galwanometru zostanie przywrócona i galwanometr wskaże na skali  $G$  znowu zero. W ten sposób dodana do kondensatora mierniczego nieznaną pojemność  $K$  zostaje skompensowana przez odpowiednie zmniejszenie jego własnej pojemności. Liczba podziałek na skali  $S$ , o którą promień świetlny się przesunął przy tej kompensacji pojemnościowej, daje nam pojemność szukaną w jednostkach względnych. Oczywiście, zależność pomiędzy odczytami na skali  $S$ , a zmianami pojemności kondensatora mierniczego  $K_2$  musi być ściśle liniową, co też w obszarze naszych pomiarów było sprawdzone.

Stałą dielektryczną danej substancji oblicza się jako stosunek pojemności kondensatora  $K$ , napełnionego tą substancją, do jego pojemności w próżni w tej samej temperaturze.

Odczyty na skali  $S$  mogą być skutecznie z dokładnością do jednego milimetra, co przy obserwowanych przez nas odchyleniach zapewnia dokładność pomiaru  $0,1\%$ . Błąd prawdopodobny (niesystematyczny), obliczony z obserwacji metodą najmniejszych kwadratów, wynosił przy wszystkich pomiarach znacznie mniej, niż jeden pro mille.

Ta metoda pomiarów stałej dielektrycznej nie uwzględnia przewodnictwa substancji w kondensatorze  $K$ . Aby ocenić błąd spowodowany przez to, zmierzaliśmy metodą galwanometryczną opór kondensatora napełnionego ciekłym wodorem, stałym wodorem i ciekłym helum; otrzymaliśmy dla ciekłego wodoru  $1,1 \cdot 10^6$  omów, dla stałego wodoru więcej niż  $10^8$  omów, a dla ciekłego helu  $2 \cdot 10^7$  omów, wobec czego jasnym jest, że substancje te są tak świetnymi izolatorami, iż przewodnictwo ich w kondensatorze może być pominięte. Z powyższych danych i z wymiarów kondensatora  $K$  daje się w przybliżeniu obliczyć oporność właściwą badanych przez nas substancji; otrzymaliśmy na  $\text{cm}^2$  przekroju i  $\text{cm}$  długości następujące wartości w omach:

ciekły wodór . . . . .	$1,3 \cdot 10^9$
stały wodór . . . . .	powyżej $10^{11}$
ciekły hel . . . . .	$2,6 \cdot 10^{10}$

Czułość naszej metody daje się z tego ocenić, że w stanie skompensowanym zmiana pojemności kondensatora mierniczego, odpowiadająca  $1\text{ cm}$  na skali  $S$ , to jest mniej więcej  $0,5\text{ cm}$  pojemności, daje odchylenie na skali  $G$  galwanometru około  $6\text{ cm}$ .

Każda pojemność była 6 razy odczytywana przy 6 różnych nastawieniach długości fali i z tych 36 wartości metodą wyrównawczą najmniejszych kwadratów obliczaliśmy szukaną wartość.

W ten sposób otrzymaliśmy dla ciekłego wodoru w temperaturze około  $20^\circ\text{ abs.}$ , czyli około  $-253^\circ\text{ C}$ , jako stałą dielektryczną wartość:

$$k = 1,225 \pm 0,001.$$

Przy drugiej serii pomiarów, w nieco innych warunkach, otrzymaliśmy wartość różniącą się od powyższej mniej niż o  $0,08\%$ .

Tą samą metodą otrzymaliśmy dla ciekłego helu w temperaturze  $4,2^\circ\text{ abs.}$ , czyli około  $-269^\circ\text{ C}$ , wartość:

$$k = 1,048 \pm 0,001.$$

Następnie oznaczyliśmy zależność stałej dielektrycznej ciekłego i stałego wodoru od temperatury. W tym celu naczynie Dewar'a, zawierające ciekły wodór, w którym było zanurzone naczynko z kondensatorkiem, połączyliśmy z pompą próżniową. Przez odpompowywanie parującego wodoru można było dowolnie redukować ciśnienie parowania i tem samem obniżać temperaturę kąpieli wodorowej. Specjalne urządzenie używane w tym celu w laboratorium Lejdeńskim pozwalało utrzymywać godzinami stałe ciśnienie pary wodoru i tem samem stałą temperaturę. Mierzaliśmy w ten sposób pojemność kondensatora napełnionego ciekłym wodorem w różnych temperaturach aż do jego zestalenia i poniżej. Otrzymane stałe dielektryczne, wraz z temperaturami, są podane w następującej tabelce:

	Temp. abs.	$k$
wodór ciekły . . . . .	20,38	1,225
" " . . . . .	18,05	1,234
" " . . . . .	14,64	1,241
" stały . . . . .	14,2	1,248
" " . . . . .	13,6	1,124
" " . . . . .	13,3	1,212
" " . . . . .	13,2	1,211

Z tych danych wynika, że stała dielektryczna ciekłego wodoru rośnie ze spadkiem temperatury, osiąga wartość najwyższą w bliskości punktu zamarzania i następnie szybko maleje w stanie stałym wraz z temperaturą.

Podobna zależność pomiędzy stałą dielektryczną a temperaturą, przy przejściu ze stanu ciekłego do stałego, była u niektórych ciał badanych obserwowana.

Posługując się otrzymanymi przez nas wartościami stałej dielektrycznej dla ciekłego wodoru, możemy sprawdzić wzór Clausius-Mosotti'ego. W tym celu obliczyliśmy, na podstawie poprzednio w laboratorium Lejdeńskim wykonanych pomiarów gęstości ciekłego wodoru, stałą  $const.$  tego wzoru:

$$\frac{k - 1}{k + 2} \cdot \frac{1}{D} = const.$$

Wyniki podajemy w poniższej tabelce:

Temp. abs.	Gęstość	$k$	$const.$
20,38	0,07084	1,225	0,985
18,05	0,07328	1,234	0,983
14,64	0,07647	1,241	0,973

Widzimy z tego, że wzór Clausius-Mosotti'ego sprawdza się z dokładnością do  $1\%$ .