Arkadjusz Piekara.

O stałej dielektrycznej emulsyj wody i rtęci w oleju.

Über die Dielekrizitätskontante der Ölemulsionen von Wasser und Quecksilber.

Zusammenfassung.

1. Einleitung.

Alle bisherigen Theorien der Dielektrizitätskonstante *(D.K.)* von Mischungen heben dieses Problem noch nicht gänzlich gelöst. Es ergeben sich Formeln, welche man in Gestalt der Formel (1) wiedergeben kann, wo $f(\varepsilon)$ eine Funktion der *D. K.* gegebener Phase ist, die eine additive Eigenschaft zugleich mit der Volumenkonzentration δ besitzt. Verschiedene Gestalten dieser Funktion stellen die Formeln (2)—(6) dar. Sie stimmen jedoch mit der Erfahrung durchaus nicht überein. Für homogene Mischungen ist ε gemessen kleiner als ε berechnet (M. Grützmacher, Anm. 2, S. 317). Für unhomogene Mischungen in isotroper Anordnung stimmen, nach W. John (Anm.4, S. 317), die Werte, welche nach der Lorenz-Lorentzschen Formel berechnet sind, mit der Erfahrung überein wenn $\delta \leqslant 0{,}1$ ist.

Der Verfasser beweist, dass die Ölemulsionen des Wassers und Quecksilbers alle Bedingungen erfüllen, die zur exakten Geltung der Lorenz—Lorentzschen Formel nötig sind (siehe §4, Diskussion der Messfehler).

In der vorstehenden Arbeit bestimmt der Verfasser auf experimentellem Wege die Differenz $\Delta\varepsilon$ zwischen der *D. K.* der Emulsion (ε) und der des reinen Mediums (ε_2): $\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_2$. Diese Werte vergleicht er mit den nach der Lorenz-Lorentzschen Formel berechneten Werten fur $\Delta\varepsilon$.

2. Beschreibung der Methode.

Es wurde eine Resonanzmethode ausgearbeitet, indem die Kathodenlampen sowohl im Generator-, als auch im Detektorkreis angewandt

wurden (Fig. 1). Die *D. K.* und zugleich die Veränderungen $\Delta\varepsilon$ wurden mit einem Messkondensator gemessen, dessen innere Belegung von der Gestalt eines Zylinders *rr* (Fig. 4) entfernt werden konnte. Der Gang der ε-Messung kann man nach den Ziffern der Tabelle 1 mit Hilfe der Formel (11) verfolgen. Indem das Öl im Messkondensator durch Emulsion vertauscht wurde, konnte man $\Delta\varepsilon$ messen (13). Der Messfehler von $\Delta\varepsilon$ betrug $\pm 0{,}0001$, oder von 1 bis 2 Proz.

3. Der Gang der Messungen.

A. Emulsionen von Wasser in Transformator-und Parafinöl.

Die Emulsionen wurden durch Schütteln hergestellt. Die Luft, deren Emulgierung während des Schüttelns auch stattfindet, wurde durch Verminderung des Druckes entfernt. Die Grösse der Kügelchen wurde durch kürzeres oder längeres Schütteln oder auch oftmals durch Beimischung von Kaliumoleat zur dispersen Phase verändert. Die Tabellen 3 und 4 und gleichzeitig die Figuren 5 und 6 zeigen, dass die Lorenz-Lorentzsche Formel die Versuche nicht wiedergibt: die gemessenen Werte von $\Delta\varepsilon$ sind viel grösser als die berechneten. Dabei erweist es sich, dass die *D. K.* von dem Dispersionsgrad der Emulsionen abhängt: sie steigt um so mehr, je kleiner die Grösse der Kügelchen der Emulsion ist.

B. Emulsionen von Alkohol-Wasser-Gemisch in Parafinöl.

Die Mischung wurde deshalb gewählt um durch geeignete Proportion die Dichten der beiden Phasen gleich zu machen. Man gewinnt dadurch an Beständigkeit der Emulsion. Die früheren Ergebnisse wurden auch in diesem Falle bestätigt: die durch Messung erhaltenen Werte der *D. K.* sind höher als die berechneten, und zugleich hängen sie beträchtlich von der Kügelchengrösse ab (Tab. 5, Fig. 7). In dieser Figur entspricht T_1 der theoretischen Kurve, dagegen geben die *A*-, *B*- und *C*-Kurven die Versuchsergebnisse wieder; je grösser der Dispersionsgrad der Emulsion ist, desto höher liegen die Kurven. Da die *D. K.* von Elektroliten meistens kleiner, oder höchstens unmerklich grösser ist, als die des Wassers, meint der Verfasser, dass hier nicht die Beimengung von Kaliumoleat, sondern einzig und allein die Grösse der Kügelchen wirksam ist.

C. Emulsionen von Quecksilber in Parafinöl.

Zur Herstellung dieser Emulsionen benutzte der Verfasser wasserfreies Lanolin, das ein ausgezeichneter Emulgator für Quecksilber ist. Es erwies sich, dass diese kleine Beimischung des Lanolins die *D. K.*

des Öls gar nicht beeinflusst. Ähnliche Resultate wie die sub A und B stellt die Kurve D (Fig. 7) dar. Es ist zu bemerken, dass die Abhängigkeit $\Delta\varepsilon$ von δ in allen Fällen nicht linear ist, wie sie sich nach der Lorenz-Lorentzschen Formel für δ viel kleiner als 1 ergeben sollte. Ausd en gefundenen Ergebnissen die in B und C enthalten sind, folgt, dass die Abhängigkeit der Differenz $\Delta\varepsilon$ von der $D.\ K.$ der dispersen Phase (ε_1) denselben Charakter hat, wie es aus der Lorenz-Lorentzschen Formel hervorgeht [Formel (20) für $\varepsilon_2=2{,}13$ und $\delta=0{,}001$]; der Unterschied beruht nur in den Werten der Koeffizienten. Den wahrscheinlichen Vorgang dieser Abhängigkeit stellt die Kurve E dar (Fig. 8, L — theoretische Kurve).

Es ist natürlich, dass wir, zum genauen Studium der Abhängigkeit der Grösse ε von δ, ε_1 und der Kügelchengrösse, die Forderung stellen müssen, mit einer homogenisierten Emulsion zu arbeiten, doch lässt sich das aus experimentellen Gründen bis jetzt nicht realisieren.

4. Diskussion der Messfehler.

Der Verfasser weist nach, dass mannigfaltige Fehler der Messmethode beseitigt wurden, z. B.: der Drehkondensator wurde geeicht so, dass beim Gebrauch der Korektionswerte, die in Tab. 2 enthalten sind, die Abhängigkeit der Kapazität des Kondensators von den Ablesungen linear wurde.

Andere Fehlerquellen sind:

1. Der durch die Formel (21) ausgedrückte Einfluss der Temperaturveränderungen auf δ. Die daraus erfolgenden Fehler überschreiten nicht 0,3 Proz. und deshalb sind sie unterlassen. Es ist zu betonen, dass, wie es aus der Mesmethode hervorgeht, der Einfluss der Temperaturveränderungen auf $\Delta\varepsilon$ bedeutungslos ist.

2. Der Einfluss der Grenzflächenspannung an der Grenze der beiden Phasen auf δ. Er vergrössert den Druck auf die Emulsionskörnchen, der bis zu 10 Atm. steigen kann, dennoch überschreitet der hiervon herrührende δ-Fehler nicht 0,006 Proz. und deshalb ist er bedeutungslos.

5. Ergebnisse.

1. Die $D.\ K.$ der Emulsionen sind beträchtlich grösser, als die aus der Lorenz-Lorenztschen Formel berechneten. Ausserdem ist die Abhängigkeit der $D.\ K.$ von der Volumenkonzentration δ nicht linear.

2. Ähnlich ist die Abhängigkeit der $D.\ K.$ der Emulsion (ε) von

der der dispersen Phase (ε_1) ganz anders, als die aus der Lorenz-Lorentzschen Formel gefolgerte.

3. Die D. K. von Emulsionen hängt vom Dispersionsgrad ab: sie wächst bei Verminderung der Grösse der Kügelchen an.

Der Verfasser meint, dass in den obigen Emulsionen die elektrische Ladung der Kügelchen einen sehr geringen Einfluss ausübt. Um die Bewegungsfreiheit der Kügelchen aufzuhegen, wurden die Versuche auf Vaselinemulsionen erweitert und sind weiter unten beschrieben.

Institut für Experimentalphysik der Universität Warschau.

Eingegangen am 11 Juni 1928.

---

1. Wstęp.

Zagadnienie stałej dielektrycznej mieszanin jest dotychczas zagadnieniem nierozwiązanem. O ile prace doświadczalne z tej dziedziny są bardzo nieliczne, o tyle teoretycznych rozwiązań, wielce różniących się od siebie, zagadnienie to uzyskało niezwykle wiele. Wszystkie próby rozwiązań teoretycznych dają na stałą dielektryczną mieszaniny wzór postaci następującej

$$f(\varepsilon) = \delta_1 f(\varepsilon_1) + \delta_2 f(\varepsilon_2), \tag{1}$$

gdzie δ_1 i δ_2 są to objętości względne składników (więc $\delta_1 + \delta_2 = 1$, jeśli przy mieszaniu nie zachodzi zmiana objętości), ε, ε_1 i ε_2 — stałe dielektryczne mieszaniny i obu składników, f — jest to funkcja stałej dielektrycznej, posiadająca własność addytywną wraz z objętością względną. Przytoczę różne postacie funkcji f, jakie dają różne teorje, nie wyłączając starszych:

1. Beer (1853): $f(\varepsilon) = \sqrt{\varepsilon}$, (2)

2. Newton (Silberstein): $f(\varepsilon) = \varepsilon$, (3)

3. Lorenz-Lorentz: $f(\varepsilon) = \dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}$, (4)

4. Wiener[1]: $f(\varepsilon) = \dfrac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + u}$, (5)

---

[1]) O. Wiener, Berichte über die Verh. d. Ges. d. Wiss. zu Leipzig, *62*, p. 256 1910. Wiener wprowadza dla kulek jeszcze wzór postaci $\dfrac{\varepsilon - \varepsilon_2}{\varepsilon + 2\varepsilon_2} = \delta_1 \dfrac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2}$, nie będziemy go jednak używali.

gdzie u jest to wielkość zależna między innemi od ε_1, ε_2, δ_1 i δ_2, jeśli zaś elementy ośrodka I są izotropowo rozmieszczone w ośrodku II, to u zależy tylko od kształtu i ułożenia ziarenek. Jeżeli te ostatnie posiadają kształt kulek, to $u = 2$ i wzór ten przechodzi we wzór Lorenza-Lorentza. Sam zaś wzór Lorenza-Lorentza ani uporządkowania cząstek, ani ich kształtu nie uwzględnia, wymaga jednak założenia, aby ziarenka miały kształt kulek o wymiarach małych w stosunku do ich wzajemnych odległości.

5. Lichtenecker[1]: $$f(\varepsilon) = lg\varepsilon. \qquad (6)$$

Wszystkie te wzory stosowano przeważnie do mieszanin jednorodnych dwuch cieczy, naogół jednak nie wykazują one zgodności z wynikami doświadczeń. Pulfrich do wzorów tych wprowadził nawet poprawkę na zmianę objętości przy mieszaniu. Grützmacher[2]) przeprowadził pomiary dla mieszanin niektórych cieczy organicznych i wykazał, że nawet po uwzględnieniu poprawki Pulfricha wzory (2), (3) i (4) nie dają zgodności z doświadczeniem: zmierzone stałe dielektryczne mieszanin są mniejsze od obliczonych[3]).

Wzór Wienera sprawdzał doświadczalnie John[4]) dla sztucznych mieszanin o izotropowem uporządkowaniu ziaren. Ze względu na temat tej pracy, interesującym jest tutaj wynik, otrzymany dla mieszanin „zbudowanych" z kulek (mosiężnych i innych), ułożonych w powietrzu, jako drugim ośrodku. Okazało się, że u zależy w znacznym stopniu od δ (objętości względnej fazy rozproszonej) i przybiera wartość 2 już dla $\delta =$ ok. 0,1. Do mieszaniny takiej stosować się ma wówczas wzór Lorenza-Lorentza.

Poza temi pracami (i jeszcze kilku innemi)[5]), zupełnie brak materjału doświadczalnego, który byłby podstawą dla tak licznych teoryj[6]). W szczególności, gdy chodzi o wzór Lorenza-Lorentza, należy

[1]) K. Lichtenecker, Phys. ZS. *27*, p. 115, 1926; *25*, p. 225, 1924.

[2]) M. Grützmacher, ZS. für Phys. *28*, p. 342, 1924.

[3]) Wyjątek stanowi mieszanina chloroformu i czterochlorku węgla.

[4]) W. John, Annalen d. Phys. *55*, p. 299, 1918.

[5]) F. Banneitz, Annalen. d. Phys. *59*, p. 239. 1919.

[6]) Badania doświadczalne I. Errery (Journ. de Phys. et le Rad. *III*, p. 401, 1922; Kolloid-ZS. *32*, p. 157, 240, 376, 1923) nad hydrosolem V_2O_5, R. Fürtha (Annalen d. Phys. *70*, p. 63, 1923; Kolloid-ZS. *34*, p. 259, 1924.), oraz R. Kellera (Kolloid-ZS. *29*, p. 193, 1921.) nad stałą dielektryczną roztworów kolloidalnych i t. p. nie dotyczą zagadnienia stałej dielektrycznej mieszanin w jego „czystej" postaci, a to ze względu na silnie występujące tutaj procesy uboczne. I tak u pierwszego pręciki V_2O_5, wykonywując w zmiennem polu ruchy, zwiększają stałą dielektryczną roztworu do kilkuset, u innych badaczy natomiast zjawiska, związane z istnieniem dipoli, wysuwają się na plan pierwszy.

przestrzegać warunków jego stosowalności, mianowicie, aby kulki były w dużych odległościach w stosunku do swych rozmiarów; wówczas ich uporządkowanie nie gra roli. W pracy Johna natomiast kulki nie są małe w porównaniu ze wzajemnemi odstępami. W pracy Grützmachera zaś, który badał mieszaniny jednorodne, występują rozproszenia molekularne, a z niemi zjawiska wtórne (kontrakcja, możliwe też inne), które teorja mieszanin wyklucza. Natomiast emulsje wody i rtęci w oleju posiadają tę przed innemi mieszaninami zaletę, iż zawiesiny mają kształt kulek, ośrodek jest nieprzewodzący i mieszanina wolna od zjawisk ubocznych, jak wpływu napięcia powierzchniowego i innych (p. § 4, Dyskusja błędów). Wynika z tego, iż do badań stałej dielektrycznej mieszanin emulsje nadają się wyjątkowo dobrze, szczególniej przy małem stężeniu fazy rozproszonej. W emulsjach, badanych przezemnie, stężenia fazy rozproszonej δ wahały się w granicach 0,0002 — 0,005, były więc, według Johna, w obrębie stosowalności wzoru Lorenza-Lorentza. Zresztą, ze względu na emulsje rtęci w oleju, nie można stosować wzorów Beera, Silbersteina i „reguły logarytmicznej", gdyż te, jeśli położymy $\varepsilon_1 = \infty$, nie dają na stałą dielektryczną mieszaniny wartości skończonej.

W pracy tej wyznaczałem doświadczalnie różnicę $\Delta\varepsilon$ pomiędzy stałą dielektryczną emulsji (ε) i ośrodka czystego (ε_2):

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_2. \tag{7}$$

Wielkość tę porównywałem z przyrostem $\Delta\varepsilon$, wyznaczonym ze wzoru Lorenza-Lorentza

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \delta_1 \frac{\varepsilon_1 - 1}{\varepsilon_1 + 2} + \delta_2 \frac{\varepsilon_2 - 1}{\varepsilon_2 + 2}, \quad (\delta_1 + \delta_2 = 1), \tag{8}$$

z którego otrzymuje się wyrażenie na $\Delta\varepsilon$ postaci

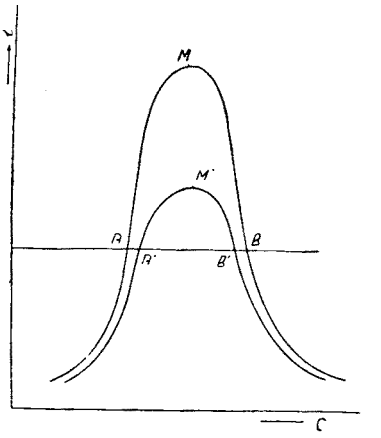
$$\Delta\varepsilon = \frac{\delta(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)(\varepsilon_2 + 2)}{\varepsilon_1 + 2 - \delta(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}. \tag{9}$$

Tutaj ε_1 oznacza stałą dielektryczną fazy rozproszonej, a δ jej stężenie, czyli stosunek jej łącznej objętości do objętości mieszaniny.

Badaniom poddałem emulsje: wody w oleju transformatorowym, wody w oleju parafinowym, mieszaniny alkoholu i wody w oleju parafinowym, oraz rtęci w oleju parafinowym.

2. Opis metody.

Do pomiarów stałej dielektrycznej wybrałem metodę rezonansową, której czułość zwiększyłem znacznie przez zastosowanie lampy katodowej nietylko do wytwarzania, lecz i do odbierania drgań elektrycznych. Było to konieczne ze względu na to, iż spodziewać się należało bardzo małych wartości $\Delta\varepsilon$. Ponieważ pomiar $\Delta\varepsilon$ polegał na porównaniu pojemności kondensatora napełnionego cieczą czystą i emulsją, należało spodziewać się również wpływu niejednakowego przewodnictwa obu tych ośrodków. Wpływ ten polega na tem, że punkt rezonansu M przesuwa się pod wpływem przewodnictwa do M', oraz cała krzywa rezonansu ulega spłaszczeniu (rys. 1); zmienia to oczywiście wynik pomiaru. Lecz to



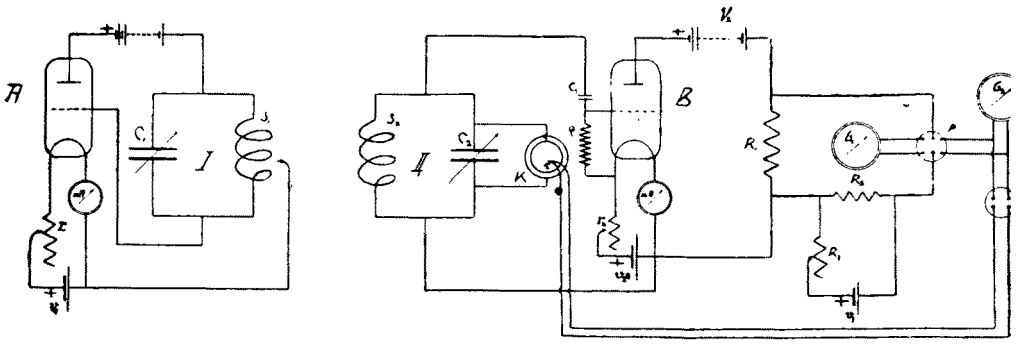
Rys. 1

źródło błędów metoda rezonansowa pozwala usunąć doskonale, należy jednak w odpowiedni sposób wykonywać pomiary. Łatwy rachunek[1]) prowadzi do stwierdzenia, że chociaż punkty A i B zmieniają swe położenie pod wpływem przewodnictwa, to jednak środki cięciw AB, $A'B'$ itd. przy różnych przewodnictwach mają to samo położenie. Aby więc zmierzyć pojemność dołączonego kondensatora, nie należy dokonywać odczytań pojemności (C) na jednej gałęzi krzywej rezonansu, lecz na obu, przy tem samem wychyleniu galwanometru (natężeniu prądu i). Średnia arytmetyczna obu odczytań daje położenie środka cięciwy. Jeśli wyznaczyć go raz dla cieczy czystej, drugi raz dla emulsji, to różnica położeń da

[1]) Vide: M. Jeżewski, Rozprawy Wydz. mat.-przyr. Polskiej Akad. Umiejętn. *60*, p. 73, 1920; Journ. de Phys. et le Rad. *III*, p. 293, 1922.

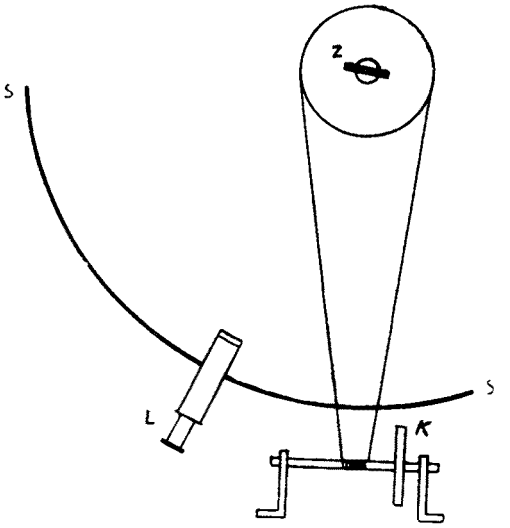
nam ΔC (przyrost pojemności) — wartość niezależną od przewodnictwa. Stosunek ΔC do pojemności pustego kondensatora C_0 jest to $\Delta\varepsilon$:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_2 = \frac{\Delta C}{C_0}. \tag{10}$$



Rys. 2

Rys. 2 daje szkic obwodów stosowanych. Obwód I jest obwodem drgającym przy pomocy lampy katodowej A, użytej jako generator o wzbudzeniu bezpośredniem; połączenie takie najlepiej zapewnia stałość

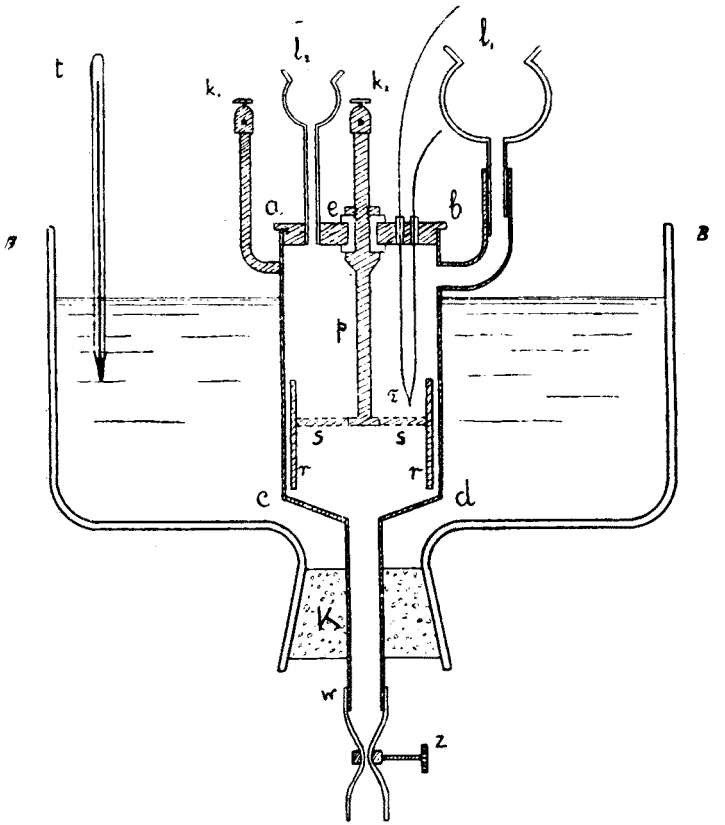


Rys. 3

amplitudy drgań. Obwód II jest obwodem rezonansowym, luźnie sprzężonym z obwodem I. Znajduje się w nim kondensator obrotowy Hartmana i Brauna C_2, oraz równolegle przyłączony do niego kondensator

mierniczy K. Do osi kondensatora obrotowego umocowane jest sztywno zwierciadełko Z (rys. 3); odczytań pojemności na skali kolistej SS dokonywa się przy pomocy lunety L. Kondensator obraca się za pośrednictwem kołowrotka K o dużej przekładni, umieszczonego w pobliżu lunety.

Drgania obwodu II, wzbudzane przez obwód I, są prostowane i wzmacniane za pomocą lampy katodowej B, użytej jako detektor, działający na zakrzywieniu charakterystyki prądu siatki. Działanie detekcyjne przejawia się tem, że, z chwilą powstania drgań w obwodzie II, prąd



Rys. 4

emisyjny lampy zmniejsza się dość gwałtownie. Prąd ten, rozgałęziający się przed oporem R, przechodzi do obwodu galwanometru skazówkowego G_1 (o czułości 10^{-6}), gdzie zostaje skompensowany przy pomocy obwodu $v_3 R_3 R_2$. Zero galwanometru powinno przypadać w takiem miejscu krzywej rezonansu, gdzie jej stromość jest największa; czułość metody jest wówczas największa. Po skompensowaniu prądu, galwanometr G_1

jest zastąpiony, przy pomocy przełącznika p, przez galwanometr G_2 o czułości 10^{-8}.

Jak wspomniałem, $\Delta\varepsilon$ dla emulsyj wyznacza się przy pomocy mierzenia zmian pojemności ΔC, gdy w kondensatorze mierniczym ośrodek czysty zastępujemy emulsją. Do tego celu przystosowany jest kondensator mierniczy: można zeń szybko wylać ciecz, która łatwo ścieka z pionowo ustawionych okładek, a na jej miejsce wlać badaną emulsję, nie poruszając przytem kondensatora.

Kondensator mierniczy (rys. 4) jest to walcowe, metalowe naczynie $abcd$ ze stożkowatem dnem i rurką wylotową w, zakończoną rurką kauczukową z zaciskaczem z. Naczynie to zamknięte jest u góry szczelnie dopasowaną grubą metalową pokrywą ab. W środku pokrywy tej znajduje się otwór, przez który przechodzi, sztywno umocowany i odizolowany za pomocą rurki ebonitowej e, pręcik metalowy p. Górny jego koniec zaopatrzony jest w zacisk k_2, dolny dźwiga przy pomocy czterech pręcików ss zbroję wewnętrzną kondensatora rr, która ma postać walca. Jest ona wkręcana na pręcik p, może więc być z niego usuwana (co jest potrzebne przy pomiarach wartości ε). Zewnętrzną okładkę kondensatora stanowią ściany naczynia; doprowadzenie do niej uskutecznia zacisk k_1. Z boku, tuż pod pokrywą, przylutowana jest rurka, zgięta ku górze i zaopatrzona w lejek l_1, służący do napełniania kondensatora cieczą. Drugi lejek l_2 z wąską rurką, umocowany w pokrywie, służy jako wylot dla powietrza, oraz jako wskaźnik poziomu cieczy, która powinna wypełniać cały kondensator. Ażeby jednak pęcherzyki powietrza nie zatrzymywały się u spodu pokrywy, cały przyrząd pochylony jest nieco tak, że wylot lejka l_2 znajduje się wyżej, niż inne części pokrywy.

Do oznaczania temperatury wewnątrz kondensatora służy termoogniwo τ, którego oba inne spojenia znajdują się w stałej temperaturze. Aby do odczytań temperatury służyć mógł ten sam galwanometr zwierciadłowy G_2 (rys. 2), stosuje się włącznik w. Cały kondensator umieszczony jest w termostacie, wypełnionym wodą, powierzchnię której pokrywa warstwa oleju, i zaopatrzonym w termometr t. W ten sposób kondensator nie jest narażony na zmiany temperatury w czasie pomiaru.

Dla objaśnienia sposobu pomiaru stałej dielektrycznej przy pomocy tego kondensatora, przytaczam jako przykład pomiar stałej dielektrycznej oleju transformatorowego Nr. 1 (tablica 1). W kolumnie 1 podano, jaka pojemność została przyłączona równolegle do kondensatora obrotowego w obwodzie rezonansowym (kreska „ — " oznacza: „kondensator mierniczy nie włączony"). W kolumnie 2 znajdują się odczytania na skali kondensatora obrotowego, gdy galwanometr, po skompensowaniu prądu, wskazuje zero; w kolumnie 3 — te same odczytania poprawione (p. niżej: tablica 2).

TABLICA 1.

Pomiar stałej dielektrycznej oleju transformatorowego Nr. 1.

WŁĄCZONO 1	α odczytane 2	α poprawione 3	
———	144,00	144,16	a
Kondensator mierniczy bez walca pusty	107,53	107,51	b
———	144,00	144,16	c
Kondensator mierniczy z walcem pusty	7,50	7,44	d
„ „ „ „	144,00	144,16	e
„ „ „ z olejem	18,59	18,43	f
———	144,00	144,16	g
Kondensator mierniczy bez walca z olejem	100,59	100,54	h

Z danych powyższych obliczamy:

pojemność kondensatora pustego bez walca . . $a - b = 36{,}65$,
„ „ „ z walcem . . $c - d = 136{,}72$,
„ „ z olejem „ „ . . . $e - f + c - d = 262{,}45$,
„ „ „ bez walca . . $g - h = 43{,}62$,

a stąd stała dielektryczna oleju transformatorowego Nr. 1

$$\varepsilon = \frac{e - f + c - d - (g - h)}{c - d - (a - b)} = 2{,}19. \qquad (11)$$

Wyznaczając w ten sposób stałą dielektryczną, unikamy błędów, pochodzących od pojemności zacisków k_1 i k_2, pręcika p, oraz od indukcji własnej doprowadzeń. Nadto unika się błędu wskutek „uronionych" linij sił.

Pomiar różnicy stałych dielektrycznych emulsji i czystego ośrodka ($\Delta\varepsilon$) odbywa się w sposób następujący. Kondensator mierniczy zostaje napełniony olejem badanym. Notujemy położenia α_1 i β_1 na skali kondensatora obrotowego z obu stron krzywej rezonansu, przy których galwanometr wskazuje zero (po skompensowaniu). Wylewamy następnie olej z kondensatora przy pomocy dolnej rurki i napełniamy go emulsją tego samego oleju, uprzednio sporządzoną. Notujemy nowe położenia α_2 i β_2

na skali kondensatora, przy których galwanometr znowu wskazuje zero. Zmianę pojemności daje wówczas wzór

$$\Delta C = \frac{\alpha_1 + \beta_1}{2} - \frac{\alpha_2 + \beta_2}{2}; \tag{12}$$

$\Delta\varepsilon$ wyznaczamy ze wzoru

$$\Delta\varepsilon = \frac{\Delta C}{C_0}, \tag{13}$$

gdzie C_0 jest to t. zw. „pojemność użyteczna" kondensatora mierniczego, t. j. ta część jego pojemności, którą po napełnieniu go cieczą należy pomnożyć przez jej stałą dielektryczną. Jest to więc

$$C_0 = c - d - (a - b) + x; \tag{14}$$

jeśli przez y oznaczyć pojemność użyteczną, to x wyznaczy się z układu następujących równań:

$$\begin{aligned} a - b &= y + x, \\ y - b &= y + \varepsilon x. \end{aligned} \tag{15}$$

Posługując się danemi z tablicy 1, otrzymujemy:

$$C_0 = 105{,}94$$

(w podziałkach skali kondensatora obrotowego). Przy pomiarach $\Delta\varepsilon$ napełnianie kondensatora emulsją powtarzamy kilkakrotnie dla uniknięcia przypadkowych błędów, np. wskutek zatrzymania się pęcherzyka powietrza w kondensatorze.

Dla uzupełnienia opisu metody, przytoczę niektóre szczegóły urządzenia.

Kondensator mierniczy: promień walca wewnętrznego 23 mm, odległość okładek 2 mm, objętość około 150 cm^3.

Lampy katodowe „Miniwatt" Philipsa A 209 odznaczały się wielką stałością emisji, wobec czego nie wymagały długiego „wyżarzania".

Przewodniki i przyrządy umocowane były sztywno na stołach. Przełącznik do galwanometru poruszany był z odległości dwumetrowej przy pomocy pręta szklanego. Urządzenie to, jak i urządzenie kołowrotka, miało na celu usunięcie wpływu ruchu obserwatora na pojemność obwodów.

Kondensator obrotowy został wycechowany według skali prostolinijnej (tabl. 2). W kolumnie pierwszej mamy odczytania prawdziwe (α), w drugiej zaś liczby (a), które należy dodać do odczytań prawdziwych, aby je zamienić na odczytania proporcjonalne do pojemności.

Długość fali wynosiła około 250 m. Aby zapewnić luźne sprzężenie

TABLICA 2.

α	a	α	a	α	a
0	0	59,83	—0,24	119,20	+0,01
8,60	—0,07	68,30	—0,22	127,60	0,06
17,26	—0,15	76,81	—0,18	136,08	0,10
25,75	—0,26	85,33	—0,12	144,60	0,16
34,29	—0,31	93,70	—0,11	153,00	0,18
42,87	—0,24	102,12	—0,04	161,48	0,20
51,43	—0,22	110,65	—0,02	170,00	0,26

obwodów, odległość cewek była znaczna, wynosiła bowiem 1 m. Napięcie anodowe lamp wynosiło: 40 volt dla lampy wykrywającej i 36 volt dla wytwarzającej.

Czułość metody, t. zn. zmiana pojemności w jednostkach *e. s.*, powodująca przesunięcie na skali galwanometru o 1 podziałkę, wynosiła 0,001 *j. e. s./1 podz.* Dokładność odczytań na skali kondensatora obrotowego wynosiła 0,01 podz., co odpowiada 0,003 *j. e. s.* pojemności. Liczba ta właśnie jest rozstrzygająca przy obliczaniu błędu na $\Delta\varepsilon$. Błąd ten wynosi

$$\pm \frac{0{,}01}{C_0} = \pm\, 0{,}0001;$$

w procentach waha się on od 1% do 2%, w zależności od wielkości mierzonego przyrostu $\Delta\varepsilon$.

3. Przebieg pomiarów.

A. Emulsje wody w oleju.

Emulsje wody w oleju sporządzane były przez wstrząsanie w kolbie wiadomej ilości oleju z dokładnie odważoną ilością wody. Emulsje takie były gruboziarniste: wielkość kropel wynosiła od kilku do kilkudziesięciu mikronów. Daleko drobniejsze krople i stalsze emulsje otrzymywałem, używając nie czystej wody, lecz 0,1%-owego, lub 1%-owego roztworu olejanu potasu.

Natychmiast po sporządzeniu, emulsja winna być poddana pomiarowi $\Delta\varepsilon$, aby, wskutek opadania kropel, stężenie jej nie ulegało zmianie.

TABLICA 3.

Pomiar $\Delta\varepsilon$ dla emulsyj wody w oleju transformatorowym Nr. 2.

Nr.	δ	$\Delta\varepsilon$ zmierzone	$\Delta\varepsilon_{81}$	$\Delta\varepsilon_{\infty}$	Stężenie roztworu olejanu potasu (%)	Średnica kropel μ
1	2	3	4	5	6	7
1	0,00076	0,0053	0,0032	0,0033	1	
2	0,00100	0,0082	0,0042	0,0044	1	
3	0,00106	0,0066	0,0044	0,0047	0,1	
4	0,00207	0,0137	0,0084	0,0091	1	2 — 60
5	0,00205	0,0114	0,0085	0,0090	0	6 — 75
6	00,0443	0,0252	0,0185	0,0196	1	

Przed pomiarem należy ochłodzić ją do temperatury pokojowej (w jakiej znajduje się kondensator mierniczy z olejem), emulsja bowiem ogrzewała się nieco podczas wstrząsania. Niewielkie już różnice temperatur oleju i emulsji mierzone były przy pomocy termoogniwa, znajdującego się wewnątrz kondensatora mierniczego, lecz one nie wpływały (w granicach błędu doświadczalnego) na przebieg pomiarów.

Podczas wstrząsania emulsji emulguje się w niej również powietrze w postaci drobnych pęcherzyków, należy więc je usunąć, nie czekając, aż się emulsja odstanie. W tym celu w naczyniu, w którem znajduje się świeżo przygotowana emulsja, zostaje rozrzedzone powietrze do ciśnienia kilku mm rtęci, wskutek czego pęcherzyki powietrza rozszerzają się i szybko uchodzą z oleju[1]).

Wyniki pomiarów dla emulsyj wody w oleju transformatorowym Nr. 2 (stała dielektryczna $\varepsilon_2 = 2{,}40$) daje tablica 3. W kolumnie 2 mamy stężenia emulsyj δ, w 3 wartości $\Delta\varepsilon$ zmierzone, w 4 $\Delta\varepsilon$ obliczone na podstawie wzoru Lorenza-Lorentza, jeśli na stałą dielektryczną wody przyjąć wartość $\varepsilon_1 = 81$:

$$\Delta\varepsilon_{81} = \frac{345{,}84\,\delta}{83 - 78{,}6\,\delta}; \tag{16}$$

[1]) Co się tyczy powietrza rozpuszczonego (zresztą bardzo obficie), to ono również częściowo uchodzi; badania, jakie autor nad kwestją tą przeprowadził (dotychczas nie opublikowane), wykazują, że powietrze rozpuszczone w oleju nie wpływa na jego stałą dielektryczną.

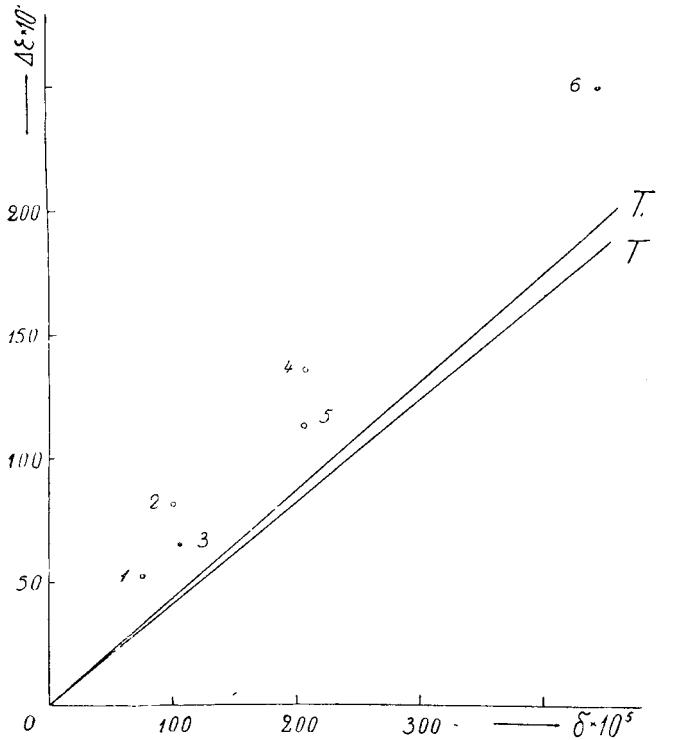
w kolumnie 5 znajdują się $\Delta\varepsilon$, obliczone przy $\varepsilon_1 = \infty$, t. j. w tym przypadku, gdyby kropelki posiadały stałą dielektryczną nieskończenie wielką:

$$\Delta\varepsilon_\infty = \frac{\varepsilon_2 + 2}{1 - \delta}\,\delta. \tag{17}$$

Dla tego oleju wartość ta wynosi

$$\Delta\varepsilon_\infty = \frac{4{,}40}{1 - \delta}\,\delta. \tag{18}$$

Z tablicy tej widzimy, że wartości $\Delta\varepsilon$ zmierzone są większe od obliczonych, nawet dla $\varepsilon_1 = \infty$. Zależność $\Delta\varepsilon$ od δ przedstawiona jest na wykresie (rys. 5). Krzywe T_1 i T dają wartości $\Delta\varepsilon_\infty$ i $\Delta\varepsilon_{81}$, obliczone



Rys. 5

na podstawie wzoru Lorenza-Lorentza. Punkty 1 — 6 dają wyniki pomiarów. Wielkość błędu zawarta jest w obrębie kółka, którem każdy punkt jest otoczony. Wszystkich tych punktów nie można umieścić na wspólnej linji, dającej zależność $\Delta\varepsilon = f(\delta)$; wyraźnie na to wskazują pomiary 2 i 3, oraz 4 i 5. Wynika stąd, że $\Delta\varepsilon$ zależy tu nietylko od stężenia, lecz jeszcze od innego czynnika. Że domieszka olejanu potasu nie gra tu znacznej roli, wskazują następujące fakty:

TABLICA 4.

Pomiar $\Delta\varepsilon$ dla emulsyj wody w oleju parafinowym.

Nr.	δ	$\Delta\varepsilon$ zmierzone	$\Delta\varepsilon_{81}$	$\Delta\varepsilon_{\infty}$	Stężenie roztworu olejanu potasu (%)	Średnica kropel μ
1	2	3	4	5	6	7
1a	0,00109	0,0066	0,0043	0,0045	0,1	3 — 60
1b	0,00110	0,0063	0,0043	0,0046	0,1	4 — 80
2a	0,00108	0,0068	0,0043	0,0045	1	2,5 — 45
2b	0,00110	0,0073	0,0043	0,0046	1	2,5 — 45
3	0,00105	0,0062	0,0041	0,0043	0	6 — 100
4	0,00105	0,0071	0,0041	0,0043	0,1	3 — 60
5	0,00103	0,0052	0,0041	0,0043	0	6 — 100
6	0,00105	0,0066	0,0041	0,0043	1	2 — 70

1) stała dielektryczna elektrolitu jest zazwyczaj mniejsza, lub nieznacznie większa od stałej dielektrycznej wody, nie może więc tak silnie wpłynąć na $\Delta\varepsilon$,

2) zmiana napięcia powierzchniowego pod wpływem olejanu potasu nie wchodzi tu w grę (vide: § 4, Dyskusja błędów).

Pozostaje najprawdopodobniej wpływ wielkości kropel. Kolumna 7 wskazuje, iż emulsja Nr. 4 (z domieszką emulgatora) ma krople mniejsze i $\Delta\varepsilon$ większe, niż emulsja Nr. 5.

Dla dokładniejszego zbadania wpływu stopnia rozproszenia na stałą dielektryczną emulsji, przeprowadziłem drugą serję pomiarów dla emulsyj wody w oleju parafinowym o stężeniu $\delta =$ około 0,001. Stopień rozproszenia zmieniłem tu, albo dodając do wody olejanu potasu, albo, dla uniknięcia ewentualnego wpływu tej domieszki na $\Delta\varepsilon$, przez dłuższe, lub krótsze wstrząsanie, przy tej samej zawartości emulgatora.

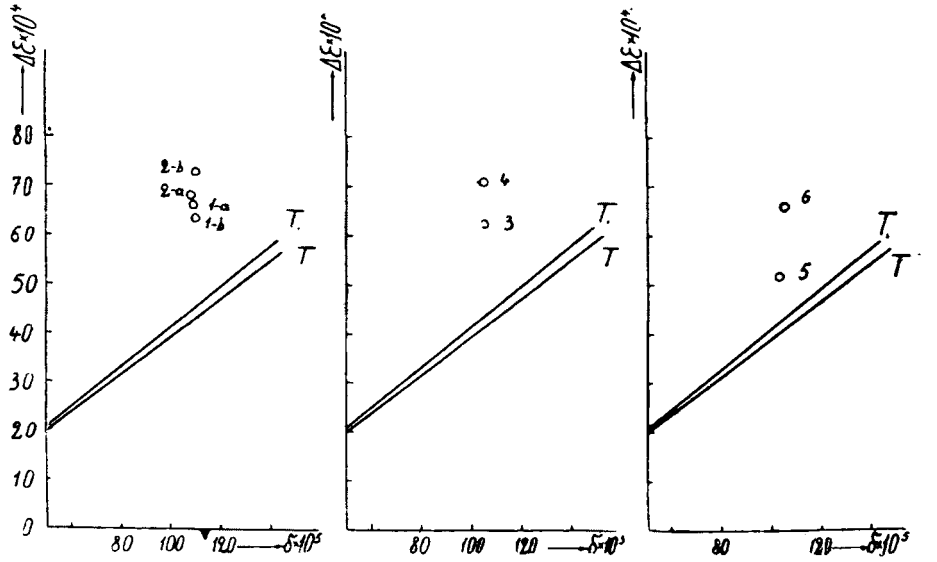
Na stałą dielektryczną oleju parafinowego otrzymałem wartość $\varepsilon_2 = 2{,}134$. Stąd oblicza się przy pomocy wzoru (9):

$$\Delta\varepsilon_{81} = \frac{326{,}03\,\delta}{83 - 78{,}9\,\delta} \quad \text{i} \quad \Delta\varepsilon_{\infty} = \frac{4{,}134}{1 - \delta}\,\delta. \tag{19}$$

Wyniki pomiarów $\Delta\varepsilon$ i δ, oraz $\Delta\varepsilon_{81}$ i $\Delta\varepsilon_{\infty}$ zawiera tablica 4. Ko-

lumna 7 zawiera granice, w jakich znajdują się średnice kropel (w mikronach), oceniane przy pomocy mikroskopu. Wyniki ilustrują wykresy (rys. 6).

Z pomiarów 3, 4, oraz 5 i 6 widać, iż domieszka emulgatora zmniejsza wielkość kropel emulsji, jednocześnie zwiększa się $\Delta\varepsilon$. Z tych dwuch czynników jednak na zwiększenie stałej dielektrycznej wpływa zmniejszenie wielkości kropel, jak to wynika z pomiarów 1a i 1b. Tutaj większe rozproszenie osiągałem przez dłuższe wstrząsanie. To samo odnosi się i do pomiarów 2a i 2b: chociaż granice kropel są te same, jednak emulsja 2b zawierała więcej małych kropel, na skutek dłuższego wstrząsania. Oczywiście, że większe rozproszenie otrzymać łatwiej, do-



Rys. 6

dając do wody olejanu potasu, który zmniejsza napięcie powierzchniowe, aniżeli przez dłuższe wstrząsanie.

B. Emulsje mieszaniny alkoholu i wody w oleju parafinowym.

Fazą rozproszoną tych emulsyj była mieszanina alkoholu (etylowego) i wody, posiadająca gęstość równą gęstości oleju. Oprócz tego zostały zbadane emulsje, zawierające roztwór olejanu potasu w mieszaninie alkoholu i wody, również o gęstości równej gęstości oleju. W ten sposób zapobiegłem opadaniu kropel. Emulsje te sporządzałem również przez dłuższe, lub krótsze wstrząsanie.

Wyniki pomiarów są zebrane w tablicy 5; odpowiedni wykres daje

TABLICA 5.

Pomiar $\Delta\varepsilon$ dla emulsyj mieszaniny alkoholu i wody w oleju parafinowym.

Nr.	δ	$\Delta\varepsilon$ zmierzone	Obecność olejanu potasu	Średnica kropel μ	
1	2	3	4	5	
1	0,00108	0,0059	brak	2,5 — 25	
2	0,00223	0,0104	„	3,0 — 40	
3	0,00097	0,0049	„	2,8 — 60	A
4	0,00222	0,0109	„	2,8 — 60	
5	0,00097	0,0054	jest	2,0 — 12	B
6	0,00227	0,0116	„	2,0 — 12	
7	0,00096	0,0061	„	0,7 — 6	C
8	0,00224	0,0124	„	0,7 — 6	

rys. 7. T_1 i T są to krzywe teoretyczne, obliczone na podstawie wzoru Lorenza-Lorentza dla $\varepsilon_1 = \infty$ i $\varepsilon_1 = 33{,}4$. Ta ostatnia wartość jest to stała dielektryczna fazy rozproszonej, obliczona ze wzoru Silbersteina. Jest to wprawdzie wartość niedokładna, lecz położenie krzywej T bardzo nieznacznie zmienia się wraz z ε_1.

Punkty, odpowiadające pomiarom 3 i 4, leżą na krzywej A, 5 i 6 na krzywej B, 7 i 8 na krzywej C. Krzywe te są tem wyżej położone, im większy jest stopień rozproszenia kropel. Punkty, odpowiadające pomiarom 1 i 2, nie leżą na wspólnej krzywej, co zgodne jest z ich różnemi granicami wielkości kropel; punkt 1 leży poniżej krzywej B, punkt 2 poniżej krzywej A. Z tej serji pomiarów wynika znów, że stała dielektryczna emulsyj rośnie wraz z rozproszeniem, niezależnie od przymieszki emulgatora.

C. Emulsje rtęci w oleju parafinowym.

Sposób sporządzania emulsyj rtęci w oleju był następujący. Rtęć rozcieramy w moździerzu z lanoliną bezwodną tak długo, aż otrzymamy zawiesinę rtęci o tak dużem rozproszeniu, że dla oka nieuzbrojonego wydawać się będzie zupełnie jednorodną. Aby wyznaczyć stężenie tej zawiesiny, należy dokładnie odważoną jej ilość rozpuścić w eterze, po odstaniu się rtęci zlać, powtórzyć tę czynność kilkakrotnie i pozostałą rtęć zważyć. Zawiesina, jakiej używałem, zawierała w 1 gr.

TABLICA 6.

Pomiar $\Delta\varepsilon$ dla emulsyj rtęci w oleju parafinowym.

Nr.	δ	$\Delta\varepsilon$ zmierzone
1	2	3
1	0,00192	0,0128
2	0,00106	0,0077
3	0,00020	0,0014

zaledwie 0,0869 gr. lanoliny i 0,9131 gr. rtęci. Służyła ona do sporządzenia emulsji rtęci w oleju parafinowym. Mianowicie, w 149,11 gr. oleju parafinowego zostało rozpuszczone na gorąco 27,12 gr. zawiesiny, wskutek czego utworzyła się emulsja rtęci w oleju parafinowym z niewielką domieszką lanoliny (2,58 gr. na 149,11 gr. oleju). Niezależnie od tego została sporządzona mieszanina oleju parafinowego i lanoliny w tym samym stosunku, w jakim występuje w emulsji. Okazało się, że stała dielektryczna tego ośrodka nie różni się od stałej dielektrycznej czystego oleju.

Po ostygnięciu i odstaniu większych kropel, emulsja została poddana pomiarom $\Delta\varepsilon$, poczem wzięta jej próbka służyła do wyznaczenia stężenia δ, metodą wyżej wskazaną, z tą jednak różnicą, że rozpuszczana była w czystym benzolu. Emulsja w ciągu pomiaru nie wykazywała zmian. Po pewnym czasie, gdy emulsja częściowo się odstała, była używana do następnego pomiaru i t. d. Wyniki pomiarów dla trzech emulsyj daje tablica 6 i krzywa D wykresu poprzedniego (rys. 7).

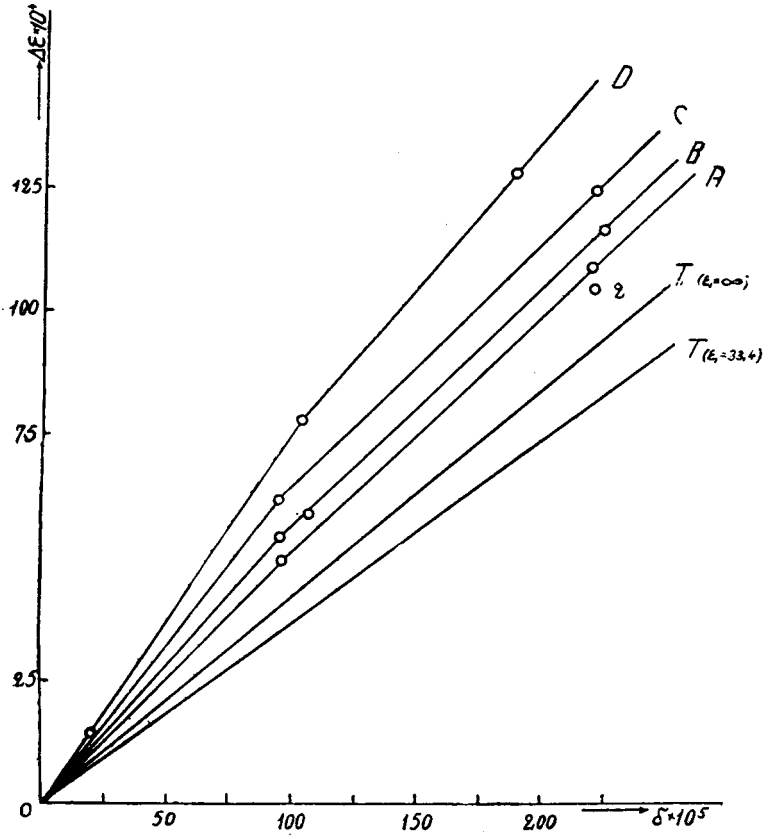
Wielkość kropel tych emulsyj zawierała się w granicach 0,7 μ — 4,0 μ, była więc nieco mniejsza niż dla emulsyj 7 i 8 (krzywa C). Potwierdza się tutaj fakt, że wartości $\Delta\varepsilon$ zmierzone są większe od obliczonych na podstawie wzoru Lorenza-Lorentza (około 60 — 70%).

Jeśli zaniedbać różnicę wielkości kropel dla krzywych C i D — różnią się bowiem nieznacznie granicą górną, a większość kropel przy starannem zemulgowaniu skupia się głównie około granicy dolnej — to z położenia krzywych C i D można wnosić o zależności $\Delta\varepsilon$ od stałej dielektrycznej ε_1 fazy rozproszonej, przy stałych δ, ε_2 i wielkości kropel.

Powyższą zależność: $\Delta\varepsilon = f(\varepsilon_1)$ wyznaczyłem również ze wzoru Lorenza-Lorentza, kładąc $\varepsilon_2 = 2{,}13$ i $\delta = 0{,}001$. Otrzymuje się równanie

$$\Delta\varepsilon \cdot 10^4 = \frac{41{,}3\varepsilon_1 - 87{,}97}{0{,}999\varepsilon_1 + 2{,}002}, \qquad (20)$$

któremu odpowiada krzywa L (rys. 8). Krzywa E daje zależność $\Delta\varepsilon = f(\varepsilon_1)$, znalezioną na drodze eksperymentalnej, przy tych samych ε_2 i δ, oraz wielkości ziaren od 0,7 μ do 6,0 μ. Ponieważ wyznaczają ją tylko punkty: A (dla ośrodka czystego), B (dla mieszaniny alkoholu i wody) i asymptota (dla rtęci), przeto nie można jej dokładnie wykreślić[1]). Niemniej jednak wynika stąd, że zależność stałej dielektrycznej emulsji od stałej dielektrycznej fazy rozproszonej jest daleko silniejsza, niż daje wzór Lorenza-Lorentza.



Rys. 7

Oczywiście, że dla dokładniejszego zbadania zależności $\Delta\varepsilon$ od δ, ε_1 i wielkości ziaren, należałoby badać emulsje jednorodne, czemu na przeszkodzie stoją dotychczas niepokonane trudności doświadczalne.

[1]) Dla wody bowiem niema punktu, gdyż emulsyj wody w oleju o tak znacznem rozproszeniu nie udało się otrzymać.

4. Dyskusja błędów.

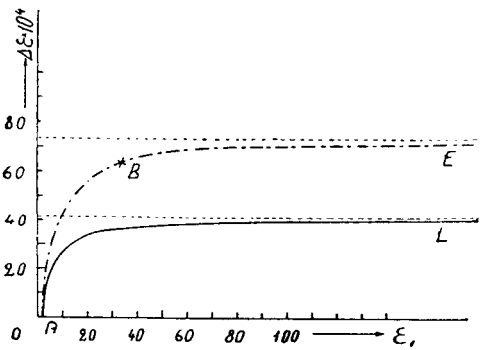
A. Błędy przy mierzeniu $\Delta\varepsilon$.

Jak już zaznaczyłem przy opisie metody, błąd na $\Delta\varepsilon$ wynosił $\pm 0{,}0001$ i był uwarunkowany dokładnością odczytań na skali kondensatora obrotowego. Inne źródła błędów przy mierzeniu $\Delta\varepsilon$ zostały usunięte, a więc:

1) stałość punktu zerowego zapewniły lampy katodowe *A* 209, nie wymagające wyżarzania,

2) nieproporcjonalność skali kondensatora obrotowego została usunięta przez wprowadzenie poprawek (tabl. 2),

3) różnica przewodnictwa oleju i emulsji pozostała bez wpływu, gdyż pomiary wykonywane były na obu gałęziach krzywej rezonansu,



Rys. 8

4) kondensator mierniczy zabezpieczony był od zmian temperatury w ciągu pomiaru; okazało się, że drobne zmiany temperatury, jakich nie można było usunąć, nie wpływały na przebieg pomiarów w granicach błędu doświadczalnego.

B. Inne źródła błędów.

1. Ze sposobu wykonywania pomiarów przyrostów $\Delta\varepsilon$ wynika, że różnice temperatur, w jakich odbywają się różne pomiary, nie wpływają na wartość $\Delta\varepsilon$. Wpływają one jednak na δ, a to wskutek niejednakowej rozszerzalności termicznej obu faz emulsji. Zmiana δ przy zmianie temperatury o Δt wyraża się wzorem

$$\Delta\delta = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)\,\Delta t}{1 + \alpha_2\,\Delta t}\,\delta, \tag{21}$$

gdzie α_1 i α_2 są spółczynnikami rozszerzalności objętościowej faz rozproszonej i rozpraszającej. W zakresie największych różnic temperatur, dochodzących do 5°, $\Delta\delta$ nie przekracza 0,3% dla wszystkich emulsyj, co można zaniedbać wobec 1 — 2%-owego błędu doświadczalnego.

2. Wraz ze zwiększaniem rozproszenia emulsji wzrasta ciśnienie, wywierane na powierzchnię kropel, spowodowane działaniem napięcia powierzchniowego. Ciśnienie to w niektórych emulsjach bardzo znaczne, bo dochodzące dla rtęci do 10 atmosfer, dla wody do 1 atmosfery, zwiększa gęstość fazy rozproszonej, zmniejszając wobec tego δ. Jednak, jak wykazać można rachunkiem, zmniejszenie δ nie przekracza w obu przypadkach 0,006%, co oczywiście można zaniedbać. Jasnem jest wobec tego, że i wpływ olejanu potasu na napięcie powierzchniowe nie powoduje dostrzegalnych zmian δ.

5. Streszczenie wyników.

Wyniki tej pracy streścić można w następujących 3 punktach.

1. Zależność stałej dielektrycznej emulsji ε od jej stężenia objętościowego δ przy stałych ε_1, ε_2 i μ (wielkości średnicy kropel) jest daleko silniejsza niż daje wzór Lorenza-Lorentza: stałe dielektryczne zmierzone są daleko większe (70%) od obliczonych. Ponadto zależność ta nie jest linjowa, jak wynika (w przybliżeniu) z tego wzoru dla małych stężeń.

2. Zależność stałej dielektrycznej emulsji od stałej dielektrycznej fazy rozproszonej ε_1 przy stałych ε_2, δ i μ jest również znacznie silniejsza, niż daje wzór Lorenza-Lorentza.

3. Stała dielektryczna emulsji rośnie wraz ze stopniem rozproszenia, jest więc nietylko funkcją ε_1, ε_2 i δ, ale ponadto wielkości kropel μ: $\varepsilon = f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \delta, \mu)$. Dotychczasowe poglądy tej zależności nie uwzględniały i dlatego żaden z tych wzorów nie może zdać sprawy z zachowania się emulsji w polu kondensatora.

Jeśli chodzi o wpływ niektórych czynników ubocznych na stałą dielektryczną emulsji, to wspomnieć jeszcze należy ewentualny wpływ ładunku elektrycznego kropel. Nie wydaje mi się jednak, aby czynnik ten mógł się zaznaczać w stopniu większym w ośrodku, którego molekuły nie odznaczają się wybitnym charakterem dipolowym. Zresztą działanie tego czynnika miałoby kierunek wręcz przeciwny, aniżeli kierunek odchyleń od wzoru Lorenza-Lorentza, które opisałem w tej pracy. Następnie można się dopatrywać wpływu na stałą dielektryczną emulsji w ruchu, jaki mogą wykonywać kropelki. Dla tych względów badania

powyższe zostały rozszerzone i na emulsje w takim ośrodku, jak wazelina, której konsystencja nie zezwala na ruch kropelek. Wyniki, jakie otrzymałem, potwierdzają wyniki pracy niniejszej i wkrótce będą opublikowane.

Niechaj wolno mi będzie na tem miejscu złożyć serdeczne podziękowanie Prof. Dr. Stefanowi Pieńkowskiemu za powierzenie mi tego tematu badań, oraz za światłe kierownictwo pracą.

Zakład Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego.

Rękopis otrzymany d. 11 czerwca 1928.