

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ ПРОВОДЯЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

А. Н. Чилаев

## I. Введение

Необходимость планомерного исследования диэлектрической постоянной посредством одного метода, допускающего возможность определения диэлектрической постоянной самых различных веществ при различных условиях, была признана еще Р. Колли<sup>1)</sup>, и затем после него многие исследователи стремились выработать такой метод. Однако все попытки не привели пока к желаемому результату, и до сих пор еще не существует метода, вполне удовлетворяющего всем требованиям. Причину этого надо видеть именно в том, что мы принуждены предъявлять этому методу такие требования, выполнение которых одновременно представляется очень затруднительным.

В самом деле, этот метод должен очевидно удовлетворять следующим условиям. Совершенно необходимо, чтобы электрические волны были достаточно постоянны по длине волны и энергии в течение некоторого значительного промежутка времени и чтобы при этом была возможность в широких пределах и по произволу менять длину волны и затухание. В виду необходимости производить сразу очень большое число измерений, крайне важно, чтобы получение колебаний в данном веществе, изменение длины волны, энергии, затухания и их измерение можно было производить быстро и легко. Если еще прибавить сюда, что необходимо иметь возможность производить измерение при любой проводимости и следовательно при большом затухании, то трудность выполнения всех условий станет очевидной.

## II. Метод

1. Современные методы измерения. Оставляя в стороне старые, теперь совершенно не пригодные, способы, мы имеем в настоящее время следующие методы для определения диэлектрических постоянных:

- 1) Метод мостика (Нернст, Иоахим).
  - 2) Метод резонанса (Вальден, Латтей).
  - 3) Метод эллипсоида (Фюрт, Пехгольд).
  - 4) Метод биений (Гервег и др.).
  - 5) Метод электрометра (Карман).
  - 6) Метод собственных колебаний проводника (Похер, Рейх).
  - 7) Метод дифракционный (Цан).
  - 8) Метод декрементный (Гелльман и Цан).
  - 9) Метод дифференциальный (Фалькенберг).
  - 10) Несколько других менее важных методов.
- Метод мостика разработан Нернстом и затем многими другими исследо-

вателями, главным образом Иохимом. В этом методе первичная цепь, питаемая обыкновенно катодным генератором, действует индуктивно на цепь мостика, в котором имеются сопротивления для компенсации проводимости исследуемой жидкости. Сравнимые емкости включаются в две ветки мостика.

В методе резонанса вторичная цепь настраивается на то же число колебаний, что и первичная, посредством переменной емкости или самоиндукции. Резонанс определяется или по максимуму отклонений измерительного прибора, находящегося в измерительном контуре, связанном с резонатором, или по спаданию постоянной составляющей анодного или сеточного тока генератора. Чем больше проводимость, тем меньше должна быть длина волны, вследствие явления релаксации. Конденсатор резонатора один раз наполнен воздухом, другой раз — испытуемой жидкостью.

В методе эллипсоида определяется угол отклонения небольшого эллипсоида вращения, подвешенного на нити между двумя вертикальными пластинами конденсатора, наполняемого данной жидкостью. Ось эллипсоида составляет первоначально угол в  $45^\circ$  с силовыми линиями.

В методе биений два генераторных контура с числом колебаний  $n_1$  и  $n_2$  дают акустический тон с  $n_1 - n_2$  числом колебаний в секунду. Камертон, настроенный на эту частоту, дает возможность определить малейшие изменения  $n_1$  или  $n_2$ .

В методе электрометра подвешенная система состоит из двух цилиндрических квадрантов, противостоящих двум другим укрепленным цилиндрическим квадрантам, и образует с ними два конденсатора. Эти конденсаторы помещаются в сравнимые жидкости.

По разности потенциалов при отсутствии отклонения можно сравнить диэлектрические постоянные.

Метод собственных колебаний проводника основан на том, что собственные колебания проводника в виде стержня или катушки, помещенных в жидкость, изменяются в зависимости от диэлектрической постоянной жидкости.

Диффракционный метод основан на явлении диффракции электрических волн у цилиндра из данного диэлектрика. Этот метод повидимому не может служить для абсолютных измерений.

Декрементный метод основан на определении декремента затухания, пользуясь методом, подобным второму методу Друде.

В дифференциальном методе два резонаторных контура действуют на общий измерительный контур навстречу друг другу и так, что их действия уравниваются. Ничтожные изменения в одном из контуров вызывают отклонение измерительного прибора в измерительном контуре.

Ни один из этих методов в том виде, в каком они употреблялись до настоящего времени, не может считаться удовлетворяющим всем требованиям и в особенности требованию возможности измерения диэлектрической постоянной при значительной проводимости.

2. Резонансный метод. Исключением среди всех этих методов является резонансный метод, который повидимому способен к дальнейшему развитию и совершенствованию. Результатом разработки этого метода, производившейся уже в течение нескольких лет, и является метод, примененный в настоящем исследовании.

Первоначально разработке подвергался резонансный метод с постоянной емкостью и переменной самоиндукцией в виде прямоугольника переменной длины, который погружался в испытуемую жидкость. Изменение длины достигалось представлением цилиндров точно известных размеров. При такой форме резонатора можно было применять для определения длины волны формулу Кирхгоффа, наиболее точную из всех формул. Применение этой формулы гарантирует достаточную точность результатов даже при квази-стационарных токах, когда формулы Томсона или Друде уже не годятся. При этом способе была получена большая точность, но сами операции были чересчур сложны и кропотливы. Что касается проводящих жидкостей, то этот способ, как и способ лехеровских проволок, может быть применен только при очень малых проводимостях.

Дальнейшие изменения состояли в применении (вместо прямоугольника) катушки, сначала однослойной, потом двухслойной, которые опускались в испытываемую жидкость. Так как этот способ не дал хороших результатов, то была испытывана плоская катушка корзиночного типа с голой проволокой, намотанной на эбонитовую рамку. При применении катушки резонанс получается уже обыкновенно изменением емкости переменного конденсатора, включенного в контур. Эта катушка опускалась в ванну с испытываемой жидкостью. При применении такой катушки можно было идти уже довольно далеко в отношении концентраций электролитов, но все же при 0,2—0,3% резонанс делался настолько размытым, что измерения становились очень затруднительными.

Можно было ожидать, что такое видоизменение этого способа, которое позволяло бы пользоваться только частью поля катушки, даст меньшее затухание при той же проводимости жидкости.

Опыт вполне подтвердил это ожидание. Когда вместо наливания жидкости в ванночку с лежащей в ней катушкой, сама ванночка с жидкостью только подносилась к катушке или ставилась на нее, измерения стали вполне возможными. При этом способе после многих предварительных опытов и подбора подходящих условий удалось получить очень хорошие результаты, и стало возможным измерять диэлектрическую постоянную растворов электролитов до очень больших значений про-

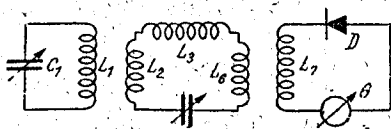


Рис. 1.

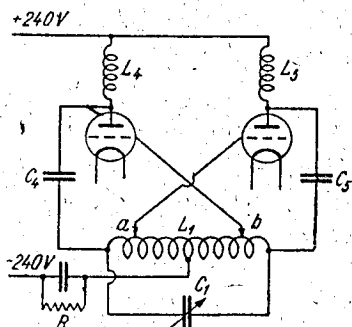


Рис. 2.

водимости. Этот метод и был применен в данной работе, причем сосуд с жидкостью обыкновенно ставился на катушку, а не только подносился к ней. Возможность производить измерения при больших проводимостях очевидно объясняется тем, что только часть поля катушки занята исследуемой жидкостью.

3. Схема. Схема метода была окончательно принята следующая (рис. 1). Генераторный контур I действует индуктивно на резонаторный контур II. Контур III представляет из себя апериодическую измерительную цепь с детектором и гальванометром. В генераторном контуре можно возбуждать затухающие или незатухающие колебания большой или малой частоты. Все размеры катушек и конденсаторов конечно должны быть рассчитаны для данного диапазона частот, для других диапазонов они должны иметь совершенно другие численные значения.

4. Генератор. Генератор в данном исследовании был собран по симметричной (двухтактной, пушпульной) схеме Гартля, представляющей большие преимущества в смысле постоянства действия и удобства применения (рис. 2).

Здесь  $C_1$  — конденсатор переменной емкости до 250 см,  $L_1$  — катушка самоиндукции,  $L_4$  и  $L_5$  — дроссели, а и b — точки присоединения проводов, идущих к сеткам ламп, R — утечка сетки.

Катушка L состоит из 12 витков проволоки диаметром 3 мм, диаметр самой катушки 70 мм, длина ее 120 мм. Витки проходят сквозь две укрепленные эбонитовые пластинки и таким образом не могут сдвигаться. Дроссели  $L_4$  и  $L_5$  намотаны на прессшпановых цилиндрах диаметром 30 мм и длиной 50 мм из проволоки с шелковой обмоткой диаметром 0,3 мм; всего каждый дроссель имеет по 70 витков. Конденсаторы  $C_4$  и  $C_5$  постоянной емкости, слюдяные, по 2000 см.

Лампы взяты типа УТ-1 Треста заводов слабого тока, требующие для накала около 0,5 А при 3,5 В напряжения на зажимах. Анодный ток был обыкновенно

порядка 30 мА при 240 В. Таким образом подводимая к анодам ламп мощность была около 7 Вт.

Изменяя емкость переменного конденсатора  $C_1$  можно получать от этого генератора волны длиной от 20 до 60 м.

Точки  $a$  и  $b$  на катушке  $L_1$  передвигаются, и от их положения сильно зависит отдача генератора. Генератор работает не на всем диапазоне с одинаковой мощностью, и для получения наибольшей отдачи при каждой волне следует, собственно говоря, подбирать подходящее положение точек  $a$  и  $b$ .

Цепи накала и анодов питались обыкновенно от батарей свинцовых аккумуляторов, причем для накала брались два аккумулятора большой емкости, а для питания анодов—120 аккумуляторов малой емкости.

5. Резонаторный и детекторный контуры. Резонаторный контур II состоит из трех катушек:  $L_2$ ,  $L_3$  и  $L_6$  корзиночного типа из проволоки 0,2 мм диаметром с шелковой обмоткой (рис. 1).

Катушка  $L_2$  состоит из 5 витков диаметром 7 см и служит для связи с генератором. Эта связь изменяется простым приближением или удалением катушки  $L_2$  от катушки  $L_1$  генератора. Обыкновенно расстояние между ними было около 2 см. При этом связь уже была достаточно мала, причем энергия волн была еще очень значительна. Катушка  $L_6$  состоит из 10 витков той же проволоки диаметром 3 см и служит для связи с измерительным контуром. Обыкновенно она находилась на расстоянии 1 см

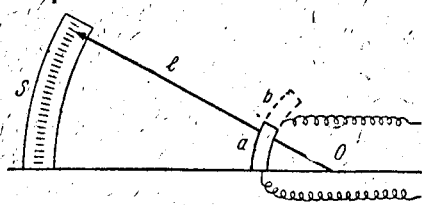


Рис. 3.

от катушки  $L_7$  детекторного контура. Наконец, катушка  $L_3$  состоит из 27 витков той же проволоки диаметром 4 см. Эта катушка и является основной катушкой резонаторного контура. Она помещалась на эбонитовой подставке и на нее сверху ставилась стеклянная чашка диаметром 7 см, высотой 2,5 см и с толщиной стенок около 1 мм. В чашку эту наливалась испытуемая жидкость количеством 18 см<sup>3</sup>.

Конденсатор  $C_2$  этого контура состоял из двух медных пластинок  $a$  и  $b$  длиной 100 мм и шириной 13 мм (рис. 3). Пластина  $a$  укреплена неподвижно, пластина  $b$  прикреплена к рычагу  $l$  длиной в 5 см, ось вращения  $O$  вертикальна.

Таким образом рычаг  $l$  может вращаться в горизонтальной плоскости, и конец его с указателем ходит вдоль шкалы  $S$ . Обе пластины  $a$  и  $b$  находятся на расстоянии 10 см от оси вращения  $O$  и наклонены к горизонту приблизительно на 10°. При отодвигании рычага  $l$  вдоль шкалы  $S$  емкость конденсатора  $C_2$  уменьшается. Полное изменение емкости приблизительно от 5 до 0,1 см.

Измерительный аperiодический контур III состоит из катушки  $L_7$ , детектора  $D$  и гальванометра  $G$ . Катушка  $L_7$  из двух витков. Детектор—обыкновенный, галеновый, закрытого типа. Гальванометр Гартмана и Брауна с вращающейся катушкой с чувствительностью  $3,3 \cdot 10^{-6}$  А и с сопротивлением в 182 Ом. Отклонения стрелки гальванометра рассматриваются в микроскоп с окулярным микрометром, и таким образом можно было очень удобно отсчитывать положение стрелки гальванометра с точностью до  $1 \cdot 10^{-7}$  А и выше. Никаких капризов и изменений в пределах ошибок измерений у этого контура и у детектора замечено не было.

### III. Измерения

1. Способ измерений. Прежде всего генератор настраивался на желаемую частоту, которая измерялась обыкновенным волномером, так как особенной точности не требовалось, что показано будет в дальнейшем. По большей части измерения производились с волной в 28,3 м. Затем на катушку  $L_3$  ставилась пустая чашка, и строилась резонансная кривая. Для этого указатель рычага конденсатора

ставился обыкновенно последовательно на деления шкалы  $S$ , при которых гальванометр давал отклонения в 3, 4, 5 и т. д. делений. Откладывая по оси абсцисс емкость конденсатора  $C_2$ , а по оси ординат — квадраты показаний гальванометра, мы получаем точки, по которым можно построить резонансную кривую. Абсцисса вершины резонансной кривой и соответствует положению резонанса. Обыкновенно можно было просто определить положение резонанса по шкале резонаторного конденсатора при наибольшем отклонении гальванометра. В тех случаях, когда это сделать было трудно, при размытом резонансе, т. е. при большом затухании, все же обыкновенно бывало достаточно определить только одну или две пары точек резонансной кривой с одинаковыми отклонениями гальванометра по обе стороны от вершины кривой, чтобы найти положение вершины по среднему арифметическому.

Точнее было бы конечно снимать всю резонансную кривую, что и приходилось делать в некоторых случаях.

После этого на катушку  $L_2$  ставилась чашка с жидкостью с известной диэлектрической постоянной: с серным эфиром, с этиловым спиртом и дистиллированной водой. Каждый раз наблюдалось положение резонанса, и затем строилась кривая диэлектрических постоянных в зависимости от значений конденсатора  $C_2$ .

После этого чашка наполнялась испытуемой жидкостью и определялось положение резонанса по шкале  $S$ . Пользуясь уже построенной кривой для диэлектрических постоянных, можно найти диэлектрическую постоянную данной жидкости.

После того, как кривая для диэлектрических постоянных построена, нахождение диэлектрической постоянной какой угодно жидкости и даже твердого тела совершается в течение нескольких минут, причем манипуляции крайне просты — достаточно только налить жидкости в чашку и передвигать указатель резонансного конденсатора.

В случае твердого тела оно берется в форме плоской круглой пластинки. При этом вещества требуется очень небольшое количество. Измерение можно производить при любой проводимости с веществами твердыми или жидкими, причем наблюдения требуют очень мало времени, обстоятельство, как уже сказано, имеющее большое значение в виду необходимости производить очень большое число измерений.

Теперь уже легко видеть, в чем состоит сущность метода.

Распределенную емкость катушки можно представить себе включенной параллельно катушке. При поднесении к катушке тела с диэлектрической постоянной, большей 1, распределенная емкость катушки увеличивается вследствие того, что теперь часть поля катушки занята телом. Ни сопротивление, ни самоиндукция при этом не изменяются, если жидкость не проводящая. Уменьшая теперь емкость переменного конденсатора  $C_2$ , включенного в контур, т. е. параллельно распределенной емкости катушки, мы можем восстановить резонанс. Таким образом, определяя по конденсатору  $C_2$  положение резонанса при поднесении к катушке различных непроводящих жидкостей с известной диэлектрической постоянной, можно построить кривую диэлектрических постоянных, причем по оси абсцисс на рисунках отложены емкость конденсатора  $C_2$  или соответствующие деления шкалы  $S$ .

Положим теперь, что подносимая жидкость имеет проводимость. В таком случае мы имеем дело с комплексной диэлектрической постоянной, выражаемой формулой

$$\epsilon = \epsilon_0 - 2\pi\tau i,$$

где  $\tau$  — удельная проводимость.

Измерения теперь возможны только в том случае, если время релаксации

$$\tau = \frac{\epsilon}{4\pi\sigma v}$$

велико сравнительно с полупериодом колебаний (здесь  $v = 3 \cdot 10^{10}$ ). см/сек<sup>-1</sup>.

Отсюда легко определить максимальную длину волны, с которой еще можно

производить измерения — при данной проводимости. Для проводимости например в  $0,02 \Omega^{-1} \text{ см}^{-1}$  максимальная длина волны будет порядка одного метра.

Кроме того проводимость жидкости вносит в контур потери энергии, и, определив эквивалентное потерям сопротивление, можно определить емкость по формуле

$$C = \sqrt{C_0^2 + \frac{1}{\omega^2 R^2}},$$

где  $C_0$  — емкость контура,  $\omega$  — угловая скорость.

Таким образом определяются далее поправки, которые надо внести в измерения (см. об этом ниже).

2. Применение метода. Так как до сих пор еще не удавалось проследить изменения диэлектрической постоянной при сколько-нибудь значительных концентрациях, а данный метод, как показывает опыт, свободно допускает возможность определения диэлектрических постоянных проводящих жидкостей с очень большой проводимостью, то в первую очередь интересно было проследить изменение диэлектрической постоянной в зависимости от концентрации по возможности в более широких пределах, хотя бы и с небольшой точностью. Однако это возможно сделать только с достаточно короткой волной.

При этом определение диэлектрической постоянной при различных концентрациях с большой точностью не может быть произведено в большом диапазоне концентраций. Разумеется, более точное определение диэлектрических постоянных в зависимости от концентрации является также необходимым, в особенности для слабых концентраций, где существует уже довольно значительное число наблюдений, сильно отличающихся друг от друга по результатам. Данный метод вполне допускает такие более точные определения диэлектрической постоянной, но при этом приходится уже для различных участков по концентрации и следовательно проводимости иметь особые контуры. Кроме того представляется интересным исследовать различные электролиты и растворители и притом при различных частотах.

3. Связь и затухание. Величина связи, как известно, сильно влияет на измерение, и для того, чтобы это влияние не было практически заметным, необходимо, чтобы связь была достаточно слабой. О том, что связь достаточно мала, можно судить по отсутствию изменений в положении резонанса и величине декремента затухания при небольшом изменении связи.

Для определения положения резонанса достаточно знать положение вершины резонансной кривой, и потому достаточно определить это положение по шкале  $S$  без построения кривой резонанса. Для правильного же построения всей резонансной кривой необходимо определить значения емкости конденсатора  $C_2$ , соответствующие положению указателя этого конденсатора по шкале  $S$ , так как числа, которые получаются по шкале  $S$ , не вполне пропорциональны емкости. Однако легко определить значение делений шкалы  $S$  в единицах емкости. Именно, сравнивая этот конденсатор  $C_2$  с конденсатором Кольрауша (с переменным расстоянием между пластинами) по формуле Кольрауша

$$C = \frac{r^2}{4z} + \frac{r}{4\pi} \left( \lg \text{nat} \frac{16\pi r(\alpha + d)}{z^2} + 1 + \frac{d}{\alpha} \lg \text{nat} \frac{\alpha + d}{d} \right),$$

где  $\alpha$  — расстояние между пластинами, а  $d$  — толщина пластин, получаем приведенные в табл. 1 значения. Диаметр пластин конденсатора Кольрауша был равен 2,0 см.

Нанося теперь шкалу  $S$  по оси абсцисс, а емкость конденсатора  $C_2$  по оси ординат, получаем кривую рис. 4.

Пользуясь этой кривой, можно определить значения шкалы  $S$  в единицах емкости для каких угодно случаев.

Именно, при этом получаем числа табл. 2.

Для определения логарифмического декремента затухания удобно воспользоваться методом, разработанным Бьеркнесом и затем Друде, М. Вином и др. Для этого достаточно определить показания гальванометра  $I$  в различных точках резонансной кривой.

Тогда сумма декрементов для обоих контуров генератора и резонатора выражается формулой

$$\delta_1 + \delta_2 = 2\pi \chi \sqrt{\frac{I}{I_m - I}}.$$

Здесь  $I_m$  — максимальное интегральное действие тока, а  $\chi = \frac{\Delta c}{2c}$  есть относительное изменение чистоты от точки, где интегральное действие тока  $= I$ , до вершины кривой, где интегральное действие тока наибольшее и равно  $I_m$ .

Для отделения декремента  $\delta_2$  от  $\delta_1$  по методу Бьеркнеса<sup>2</sup> вставляется другой резонатор с логарифмическим декрементом затухания  $\delta_2'$  и с максимальным эффектом  $I_m'$ .

Тогда

$$I_m \omega \delta_2 = I_m' \omega' \delta_2',$$

где

$$\omega = \delta_1 + \delta_2, \quad \omega' = \delta_1' + \delta_2'.$$

Отсюда имеем

$$\delta_2 = 2I_m' \omega' \frac{\omega' - \omega}{I_m \omega - I_m' \omega'}.$$

Другой способ отделения декремента указан Лагергреном<sup>3</sup>). Если затухание  $\delta_2'$  можно вычислить, то получаем

$$\delta_2 = \delta_2' + (\omega - \omega').$$

Так как емкость  $c$  в момент резонанса все время остается неизменной, если не изменяется длина волны и самоиндукция, то можно считать, что  $\delta_1 + \delta_2$  пропорционально  $\Delta c \sqrt{\frac{I}{I_m - I}}$ .

Поэтому можно судить об изменении полного декремента и по величине  $\Delta c$  при одном и том же отношении  $\frac{I}{I_m}$ .

Но емкость  $c$  контура резонатора можно определить, изменяя длину волны генератора и определяя емкость конденсатора волномера и конденсатора  $C_2$  при резонансе (табл. 3).

Зная длину волны и самоиндукцию катушки  $L_3$ , легко отсюда по формуле В. Томсона рассчитать и емкость катушки: например при  $C_2 = 0$  было найдено, что емкость нашей катушки равна 15,3 см.

Зная  $c$ , можно определить и абсолютные значения логарифмических декрементов затухания.

4. Постоянство энергии и длины волны. Снимая резонансную кривую при затухающих колебаниях, приходится обыкновенно наблюдать колебания в отклонениях гальванометра, достигающие 20% и больше. Точки резонансной кривой ложатся очень часто неправильно и только беря средние значения из нескольких отклонений для каждой точки кривой, можно рассчитывать получить правильную симметричную кривую. Это непостоянство энергии объясняется главным образом присутствием искры в генераторном контуре.

Совсем другую картину мы имеем при незатухающих колебаниях. Снимая резонансную кривую несколько раз подряд, мы получаем обыкновенно совершенно те же самые отклонения для тех же делений конденсатора. Поэтому кривая резо-

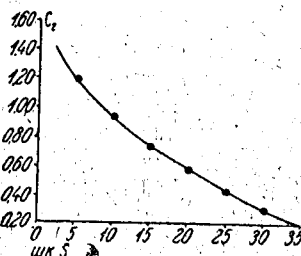


Рис. 4.

нанса всегда получается правильной симметричной формы и с вершиной на одном и том же месте. Гальванометр может стоять при этом очень долго на одном и том же делении шкалы, не обнаруживая никакого стремления к изменению положения. Таким образом можно считать, что ни длина волны, ни энергия в течение некоторого небольшого промежутка времени не испытывают никаких изменений.

ТАБЛИЦА 1

|                       |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| Шкала $S$ . . . . .   | 30°  | 25°  | 20°  | 15°  | 10°  | 5°   |
| Конд. $C_2$ . . . . . | 0,30 | 0,44 | 0,57 | 0,74 | 0,93 | 1,18 |

ТАБЛИЦА 2

| Шкала $S$ | Конд. $C_2$ | Шк. $S$ | Конд. $C_2$ | Шк. $S$ | Конд. $C_2$ |
|-----------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
| 2         | 1,42        | 13      | 0,81        | 24      | 0,46        |
| 3         | 1,33        | 14      | 0,77        | 25      | 0,43        |
| 4         | 1,26        | 15      | 0,74        | 26      | 0,40        |
| 5         | 1,19        | 16      | 0,70        | 27      | 0,37        |
| 6         | 1,13        | 17      | 0,67        | 28      | 0,34        |
| 7         | 1,07        | 18      | 0,64        | 29      | 0,32        |
| 8         | 1,02        | 19      | 0,61        | 30      | 0,30        |
| 9         | 0,97        | 20      | 0,58        | 31      | 0,28        |
| 10        | 0,93        | 21      | 0,55        | 32      | 0,25        |
| 11        | 0,89        | 22      | 0,52        | 33      | 0,23        |
| 12        | 0,85        | 23      | 0,49        | 34      | 0,21        |

Емкость конденсатора  $C_2$  при различных положениях указателя.

ТАБЛИЦА 3

|                       |        |        |
|-----------------------|--------|--------|
| Шкала $S$ . . . . .   | 22,0   | 18,0   |
| Емк. $C_2$ . . . . .  | 0,52   | 0,63   |
| Конд. волном. . . . . | 125,0° | 126,6° |
| Емк. волном. . . . .  | 317,2  | 319,4  |

Емкость  $C_2$  и волномера при двух волнах генератора.

Все это однако имеет место при отсутствии всяких изменений в контурах. Достаточно выключить и включить вновь анодную батарею или изменить степень накала ламп, чтобы отклонение гальванометра сразу изменилось. Кроме того замечаются некоторые изменения отклонений гальванометра при плохо заряженных аккумуляторах, а также при тряске.

Поэтому были приняты все предосторожности против этого. Гальванометр и детектор были установлены на резиновых подставках, аккумуляторы были всегда свежо заряжены, накальная и анодная батареи были включены сразу на все время измерений.

Кроме этих изменений было замечено еще и некоторое влияние прикосновения чашки к катушке  $L_3$ , что видно из табл. 4 и 5 и рис. 5. Для ослабления этого на катушку  $L_3$  была положена пропарафинированная бумага слегка смятая, которая, пружиня, уменьшала удар при опускании чашки. Чашка при этом опускалась очень медленно и осторожно.

ТАБЛИЦА 4

|           |      |      |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| Шкала $S$ | 22,2 | 22,2 | 22,3 | 22,4 | 22,3 | 22,3 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|

Среднее — 22,28

Отсчеты без поднятия чашки со спиртом.

ТАБЛИЦА 5

|           |   |      |      |      |      |      |
|-----------|---|------|------|------|------|------|
| Шкала $S$ | { | 23,8 | 23,5 | 24,0 | 23,6 | 23,9 |
|           |   | 23,3 | 23,3 | 23,7 | 23,4 | 24,1 |
|           |   | 22,8 | 24,2 | 23,5 | 23,2 | 24,4 |
|           |   | 24,1 | 24,1 | 23,6 | 24,1 | 22,8 |

Среднее — 23,70

Отсчеты при поднятии и затем опускании чашки с водой.

ТАБЛИЦА 6

Шкала  $S$

|      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|
| 23,2 | 23,1 | 23,2 | 23,2 | 23,1 | 23,4 |
| 23,0 | 22,8 | 22,9 | 23,0 | 23,0 | 23,5 |
| 23,4 | 23,0 | 23,1 | 23,1 | 23,4 | 23,7 |
| 23,2 | 22,9 | 22,9 | 22,9 | 23,0 | 22,8 |
| 22,9 | 23,0 | 23,1 | 23,2 | 23,2 | 23,2 |
| 22,8 | 22,8 | 22,9 | 23,0 | 23,1 | 23,1 |

Передвижение вершины резонансной кривой при отдельных опусканиях чашки.

Несмотря на эти предосторожности, с течением времени положение резонансной кривой изменялось. Это передвижение кривой с течением времени видно из табл. 6 и рис. 5.

Непостоянство длины волны в некоторых, правда небольших пределах, как известно, вообще свойственно ламповым генераторам. Поэтому, когда желательна большая точность при получении электрических колебаний, прибегают к кварцевой или магнитной стабилизации. Однако работа с такими стабилизаторами представляет большие практические трудности, когда желательно изменять волну, и в настоящем исследовании оказалось возможным не прибегать к стабилизации. Были испробованы разные способы, и после нескольких неудачных попыток был принят следующий метод измерений. Чашка медленно и осторожно опускалась на катушку, делалось несколько отсчетов, затем чашка наполнялась водой и опять делалось несколько отсчетов. Все повторялось несколько раз подряд для одной и той же жидкости. Таким образом каждый раз определялось среднее отклонение положения резонанса для жидкости от резонансного положения для дистиллированной воды, ставя на катушку чашку с данной жидкостью и водой поочередно (табл. 7).



Рис. 5. Передвижение вершины резонансной кривой при отдельных опусканиях чашки.

Только теперь стали получаться достаточно постоянные числа.

Этим способом и были проделаны все измерения.

5. Различные другие влияния. Необходимо теперь еще рассмотреть влияние некоторых других обстоятельств на измерение.

Влияние близости экспериментатора можно уничтожить, конечно, экранированием, но при не очень коротких волнах достаточно не приближать руки чересчур близко к контурам, пользуясь длинными ручками, и т. п.

|                           |      |      |      |      |      |
|---------------------------|------|------|------|------|------|
| Расстояние с.м. . . . .   | 2    | 5    | 7    | 20   | 40   |
| Деления шкалы S . . . . . | 23,4 | 22,8 | 22,6 | 22,5 | 22,6 |

Влияние степени накала и анодного напряжения видны из табл. 8 и 9 и рис. 6.

ТАБЛИЦА 7

Шкала S

|                      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| 0,1% NaCl . . . . .  | 24,3 | 24,1 | 24,3 | 24,0 | 24,5 | 24,4 |
| Дест. воды . . . . . | 23,5 | 23,3 | 23,8 | 23,4 | 23,2 | 23,4 |

Среднее 0,1% NaCl — 24,27

Дест. вода — 23,43

Наливание поочередно воды и 0,1% NaCl

ТАБЛИЦА 8

Влияние степени накала ламп

|                        |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Шкала накала . . . . . | 6,5  | 6,7  | 6,9  | 7,1  | 7,4  | 7,6  | 7,8  |
| Шкала S . . . . .      | 23,0 | 22,9 | 22,8 | 22,7 | 22,7 | 22,8 | 22,7 |

ТАБЛИЦА 9

|                   |        |        |        |
|-------------------|--------|--------|--------|
| Анодн. напряжение | 200 в. | 220 в. | 240 в. |
| Шкала S . . . . . | 22,0   | 22,1   | 22,2   |

Влияние анодного напряжения

ТАБЛИЦА 10

Влияние количества воды в чашке

|                             |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|
| с.м. <sup>3</sup> . . . . . | 15,0 | 17,0 | 19,0 | 20,0 |
| Шкала S . . . . .           | 22,1 | 22,2 | 22,4 | 22,5 |

Поэтому и накал и анодное напряжение приходилось поддерживать постоянными за все время измерений.

Следующее обстоятельство, на которое пришлось обратить внимание, — это влияние количества жидкости в чашке. Это количество имело довольно большое значение (табл. 10, рис. 7).

На опыте однако оказалось, что можно было обнаружить избыток или недостаток жидкости не менее  $1 \text{ см}^3$ . Поэтому наливалось обыкновенно всегда одинаковое количество жидкости в  $18 \text{ см}^3$  с точностью до  $0,1 \text{ см}^3$ .

Наконец, необходимо было определить влияние проводимости жидкости при измерении диэлектрических постоянных проводящих жидкостей.

Для определения этого влияния в чашку вкладывалась зачерненная графитом бумага, причем получалось значительное затухание без всякого изменения в положении резонанса. Затем в контур резонатора была введена стеклянная трубка

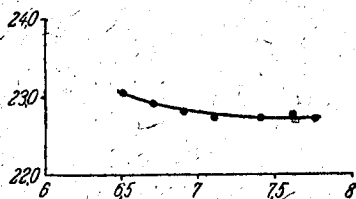


Рис. 6. Влияние степени накала ламп.

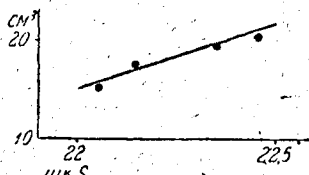


Рис. 7. Влияние количества воды в чашке.

с кусками березового угля между двумя медными электродами, причем над катушкой  $L_3$  была дистиллированная вода. Сближая эти электроды и сжимая тем самым куски угля, можно было изменять затухание в очень широких пределах.

Далее по формуле

$$\delta_1 + \delta_2 = 2\pi\chi \sqrt{\frac{I}{I_m - I}}$$

составлена таблица 14, показывающая связь между шириной резонансной кривой на половине высоты и логарифмическим декрементом затухания.

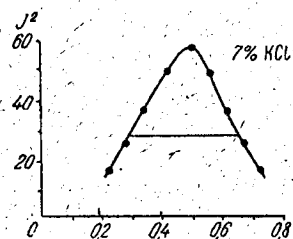


Рис. 8.

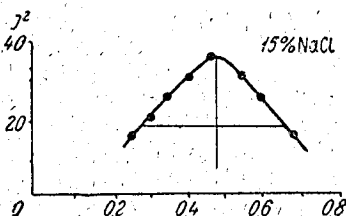


Рис. 9.

Затем по данным таблиц Ландольта построен рис. 11.

Таблицы 11, 12 и 13 и рис. 8, 9 и 10 дают кривые резонанса для растворов 7% KCl, 15% NaCl и 25% NaCl.

ТАБЛИЦА 11

7% KCl

| Гальв. | Шкала S | Конд. $C_2$ | Гальв. | Шкала S | Конд. $C_2$ |
|--------|---------|-------------|--------|---------|-------------|
| 4,0    | 34,0    | 0,22        | 7,0    | 20,8    | 0,55        |
| 5,0    | 30,7    | 0,28        | 6,0    | 18,7    | 0,62        |
| 6,0    | 27,7    | 0,35        | 5,0    | 16,8    | 0,68        |
| 7,0    | 25,3    | 0,42        | 4,0    | 15,0    | 0,74        |
| 7,5    | 22,7    | 0,50        |        |         |             |

ТАБЛИЦА 12

15% NaCl

| Гальв. | Шкала S | Конд. $C_2$ | Гальв. | Шкала S | Конд. $C_2$ |
|--------|---------|-------------|--------|---------|-------------|
| 4,0    | 31,8    | 0,26        | 6,0    | 23,5    | 0,47        |
| 4,5    | 30,2    | 0,30        | 5,5    | 20,7    | 0,55        |
| 5,0    | 28,0    | 0,35        | 5,0    | 19,0    | 0,60        |
| 5,5    | 25,9    | 0,41        | 4,0    | 16,0    | 0,70        |

Из рис. 8—10 можно определить ширину резонансной кривой на половине высоты для 7% KCl, 15% NaCl и 25% NaCl, а затем посредством интерполирования из табл. 14 соответствующие декременты затухания: 0,069; 0,079 и 0,085.

ТАБЛИЦА 13

25% NaCl

| Гальв. | Шкала S | Конд. $C_2$ | Гальв. | Шкала S | Конд. $C_2$ |
|--------|---------|-------------|--------|---------|-------------|
| 3,5    | 30,7    | 0,28        | 4,5    | 19,6    | 0,59        |
| 4,0    | 29,0    | 0,33        | 4,0    | 17,0    | 0,67        |
| 4,5    | 26,3    | 0,40        | 3,5    | 15,2    | 0,73        |
| 5,0    | 23,2    | 0,48        |        |         |             |

ТАБЛИЦА 14

| Шир. крив. | Затух. | Шир. крив. | Затух. |
|------------|--------|------------|--------|
| 0,20       | 0,040  | 0,45       | 0,090  |
| 0,25       | 0,050  | 0,50       | 0,100  |
| 0,30       | 0,060  | 0,55       | 0,110  |
| 0,35       | 0,070  | 0,60       | 0,120  |
| 0,40       | 0,080  | 0,65       | 0,130  |

Связь между шириной кривой резонанса на половине высоты и затуханием.

По кривым рис. 8, 9 и 10 нельзя совершенно судить о положении резонанса при данных проводимостях, так как применяемая длина волны была слишком велика, но тем не менее они вполне пригодны для определения затухания и следовательно потерь энергии.

ТАБЛИЦА 15

|                   |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Гальв. $I$ . . .  | 2,5  | 3,0  | 3,3  | 3,0  | 2,5  | 1,0  | 1,5  |
| Шк. S . . . .     | 33,5 | 27,3 | 22,7 | 16,3 | 12,5 | 9,3  | 5,8  |
| Конд. $C_2$ . . . | 0,22 | 0,37 | 0,50 | 0,69 | 0,83 | 0,96 | 1,14 |

ТАБЛИЦА 16

|                   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Гальв. $I$ . . .  | 2,5  | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 3,5  | 3,0  | 2,5  | 2,0  |
| Шк. S . . . .     | 33,5 | 31,0 | 27,4 | 22,4 | 17,3 | 14,6 | 12,2 | 7,7  |
| Конд. $C_2$ . . . | 0,22 | 0,27 | 0,37 | 0,50 | 0,66 | 0,75 | 0,84 | 1,04 |

Угли в трубке сжимались таким образом, чтобы получились затухания того же порядка. Табл. 15, 16, 17 и 18 и рис. 13, 14, 15 и 16 дают получившиеся кривые.

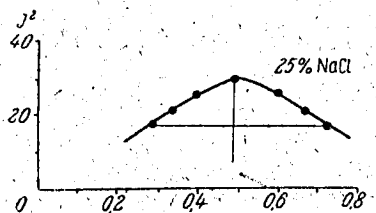


Рис. 10.

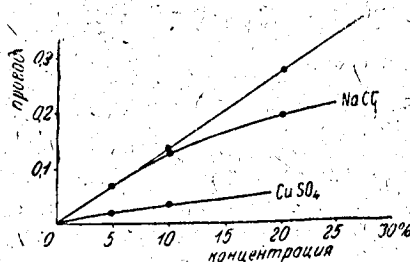


Рис. 11.

По рис. 11 определены далее проводимости для 7% KCl, 15% NaCl и 25% NaCl и по затуханиям этих растворов построен рис. 12.

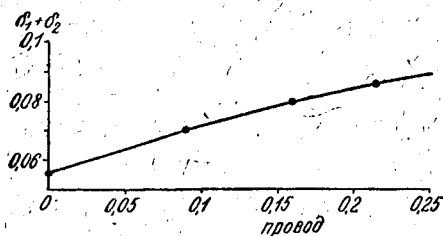


Рис. 12.

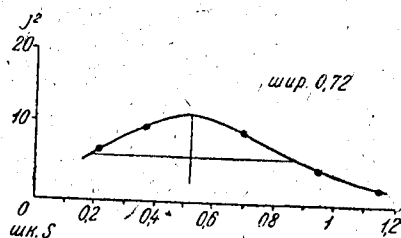


Рис. 13.

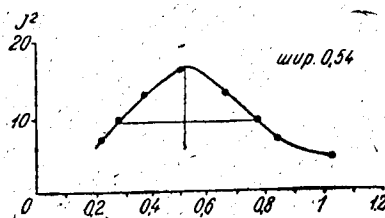


Рис. 14.

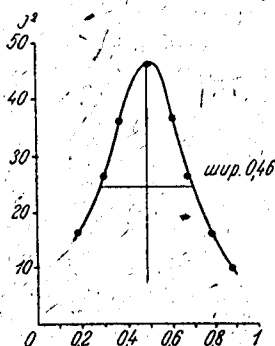


Рис. 15.

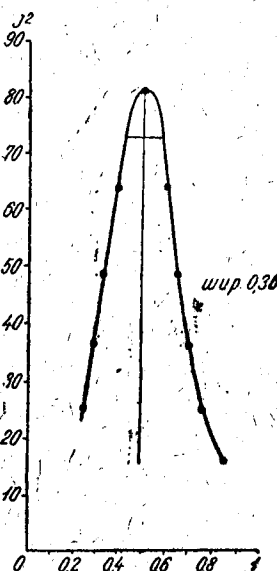


Рис. 16.

Затем по положениям вершин кривых рис. 13, 14, 15 и 16 составлена табл. 19, дающая поправки по шкале  $S$  при введении добавочного затухания по отношению к дистиллированной воде.

По табл. 14 можно определить декременты затухания для ширины кривых табл. 19 и по этим данным построены рис. 17.

Пользуясь рис. 11, 12 и 17 и были определены поправки, которые надо сделать в данных опытах для положения резонанса растворов  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$  и  $\text{CuSO}_4$  данной концентрации. Поправки эти очень малы для малых концентраций, но для больших концентраций они лежат в пределах ошибок измерений.

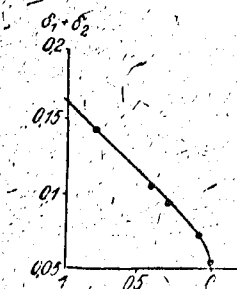


Рис. 17.

6. Построение кривой диэлектрических постоянных. Построение кривой диэлектрических постоянных было произведено, пользуясь тремя непроводящими жидкостями: серным эфиром, этиловым спиртом 96,4% и дистиллированной водой.

ТАБЛИЦА 17

| Гальв. / | Шк. S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. / | Шк. S | Конд. C <sub>2</sub> |
|----------|-------|----------------------|----------|-------|----------------------|
| 4,0      | 33,5  | 0,22                 | 6,0      | 19,3  | 0,60                 |
| 5,0      | 30,0  | 0,30                 | 4,0      | 16,5  | 0,68                 |
| 6,0      | 26,7  | 0,38                 | 4,0      | 13,4  | 0,79                 |
| 6,8      | 23,3  | 0,48                 | 3,0      | 10,8  | 0,90                 |

ТАБЛИЦА 18

| Гальв. / | Шк. S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. / | Шк. S | Конд. C <sub>2</sub> |
|----------|-------|----------------------|----------|-------|----------------------|
| 5,0      | 32,5  | 0,24                 | 8,0      | 19,5  | 0,59                 |
| 6,0      | 30,4  | 0,29                 | 7,0      | 18,0  | 0,64                 |
| 7,0      | 28,4  | 0,34                 | 6,0      | 16,3  | 0,69                 |
| 8,0      | 26,7  | 0,39                 | 5,0      | 14,2  | 0,77                 |
| 9,0      | 23,0  | 0,48                 | 4,0      | 12,3  | 0,84                 |

ТАБЛИЦА 19

|                      |       |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Шир. крив.           | 0,25  | 0,36  | 0,46  | 0,54  | 0,72  |
| Декременты           | 0,050 | 0,072 | 0,092 | 0,108 | 0,144 |
| Шкала S              | 23,1  | 23,0  | 22,8  | 22,7  | 22,3  |
| Конд. C <sub>2</sub> | 0,48  | 0,48  | 0,49  | 0,50  | 0,52  |
| Попр. шк. S          | 0     | 0,1   | 0,3   | 0,4   | 0,8   |

По оси абсцисс наносились средние деления шкалы S, по оси ординат — диэлектрические постоянные:

|                  | Возд. | Серн. эфир. | Этил. спирт | Дест. вода |
|------------------|-------|-------------|-------------|------------|
| Диэл. постоянные | 1,00  | 4,4         | 26,0        | 80,5       |
| Шкала S          | 15,6  | 18,3        | 21,5        | 23,33      |

Данные для эфира и спирта взяты из таблиц Ландольта, данные для воды — из статьи Lili Koskel <sup>4)</sup> при 18,3°.

Результаты даны в табл. 20—26 и рис. 18, 19, 20, 21 и 22.

ТАБЛИЦА 20

Влияние примеси воды в спирте

|             |      |      |      |      |      |      |      |      | ср.   | разн. |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Спирт 96,4% | 21,2 | 21,6 | 21,6 | 22,3 | 21,1 | 21,2 | 21,6 | 21,3 | 21,5  | 1,74  |
| Дест. вода  | 23,1 | 23,4 | 23,2 | 22,5 | 22,5 | 23,5 | 23,2 | 23,1 | 23,24 |       |
| Спирт 90%   | 22,0 | 22,0 | 21,6 | 21,5 | 22,0 | 22,3 | 21,6 | 21,7 | 21,83 | 1,47  |
| Дест. вода  | 23,2 | 23,1 | 23,4 | 23,2 | 23,3 | 23,3 | 23,5 | 23,2 | 23,35 |       |
| Спирт 80%   | 22,4 | 22,0 | 21,3 | 22,3 | 21,6 | 21,7 | 22,8 | 21,9 | 22,38 | 1,14  |
| Дест. вода  | 22,5 | 0,34 | 23,5 | 22,9 | 23,3 | 23,4 | 23,4 | 23,0 | 23,22 |       |

$$\frac{1,47 - 1,14}{10} = 0,043 \quad \frac{1,74 - 1,47}{64} = 0,042$$

Среднее на 1% — 0,042

ТАБЛИЦА 21

| 0,001% NaCl | Дест. вод. | 0,001% NaCl | Дест. вод. |
|-------------|------------|-------------|------------|
| 23,3        | 23,5       | 23,4        | 23,2       |
| 23,8        | 23,3       | 23,4        | 23,5       |
| 23,3        | 23,8       | 23,1        | 23,1       |
| 23,4        | 23,4       | 24,0        | 23,8       |
| 23,5        | 23,2       | 23,5        | 23,7       |

Средн. 0,001% NaCl — 23,47. Дест. вода — 23,45. Влияние примесей

ТАБЛИЦА 22

| Шкала S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. I | Шкала S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. I |
|---------|----------------------|----------|---------|----------------------|----------|
| 29,3    | 0,32                 | 3,0      | 13,3    | 0,80                 | 20,0     |
| 24,7    | 0,44                 | 5,0      | 11,7    | 0,86                 | 15,0     |
| 22,0    | 0,52                 | 8,0      | 10,4    | 0,91                 | 12,0     |
| 19,8    | 0,58                 | 12,0     | 8,3     | 1,00                 | 8,0      |
| 18,6    | 0,62                 | 15,0     | 6,2     | 1,12                 | 5,0      |
| 16,8    | 0,67                 | 20,0     | 4,0     | 1,26                 | 3,0      |
| 15,4    | 0,72                 | 22,5     |         |                      |          |

Водух

ТАБЛИЦА 23

Спирт 96,4%

| Шкала S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. I | Шкала S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. I |
|---------|----------------------|----------|---------|----------------------|----------|
| 30,7    | 0,29                 | 5,0      | 19,2    | 0,60                 | 10,0     |
| 29,0    | 0,32                 | 6,0      | 18,2    | 0,63                 | 9,0      |
| 27,7    | 0,35                 | 7,0      | 17,2    | 0,66                 | 8,0      |
| 26,7    | 0,38                 | 8,0      | 16,2    | 0,69                 | 7,0      |
| 25,7    | 0,41                 | 9,0      | 15,0    | 0,74                 | 6,0      |
| 24,2    | 0,45                 | 10,0     | 14,0    | 0,77                 | 5,0      |
| 22,0    | 0,52                 | 11,0     |         |                      |          |

ТАБЛИЦА 24

| Шкала S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. I | Шк. ла S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. I |
|---------|----------------------|----------|----------|----------------------|----------|
| 31,2    | 0,28                 | 5,0      | 21,8     | 0,52                 | 10,0     |
| 29,7    | 0,32                 | 6,0      | 20,4     | 0,56                 | 9,0      |
| 28,5    | 0,34                 | 7,0      | 19,2     | 0,60                 | 8,0      |
| 27,2    | 0,37                 | 8,0      | 18,0     | 0,64                 | 7,0      |
| 26,0    | 0,40                 | 9,0      | 16,8     | 0,67                 | 6,0      |
| 24,4    | 0,45                 | 10,0     | 15,4     | 0,72                 | 5,0      |
| 23,3    | 0,48                 | 10,3     | 13,8     | 0,77                 | 4,0      |

Дистиллированная вода. Расст. 4,5 см

ТАБЛИЦА 25

Дистиллированная вода. Расст. 1,4 см

| Шкала S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. I | Шкала S | Конд. C <sub>2</sub> | Гальв. I |
|---------|----------------------|----------|---------|----------------------|----------|
| 32,0    | 0,25                 | 6,0      | 21,2    | 0,55                 | 12,0     |
| 29,7    | 0,31                 | 8,0      | 20,0    | 0,58                 | 11,0     |
| 28,7    | 0,33                 | 9,0      | 19,1    | 0,61                 | 10,0     |
| 27,5    | 0,36                 | 10,0     | 18,4    | 0,63                 | 9,0      |
| 26,7    | 0,38                 | 11,0     | 17,4    | 0,66                 | 8,0      |
| 25,4    | 0,38                 | 12,0     | 15,4    | 0,72                 | 6,0      |
| 23,3    | 0,48                 | 13,0     |         |                      |          |

ТАБЛИЦА 26

Спирт 96,4%

|               |      |      |      |      |      |      |      | Среднее |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| Спирт 96,4%   | 21,6 | 21,5 | 21,9 | 21,2 | 22,0 | 21,3 | 21,4 | 21,55   |
| Дестилл. вода | 23,5 | 23,7 | 23,6 | 23,1 | 23,2 | 23,0 | 23,0 | 23,33   |
| Разность      | 1,9  | 2,2  | 1,7  | 1,9  | 1,2  | 1,7  | 1,6  | 1,76    |

Для проверки кривой А, были определены посредством нее диэлектрический постоянные метилового спирта и смеси этилового спирта с водой. Получились следующие результаты:

|                                | Метил. спирт | Этил. спирт 41,5% | Этил. спирт 24% |
|--------------------------------|--------------|-------------------|-----------------|
| Шкала S . . . . .              | 21,9         | 22,8              | 23,1            |
| Диэл. пост. из табл. . . . .   | 33,0         | 55,5              | 69,5            |
| Диэл. пост. из крив. А . . . . | 33,0         | 55,7              | 69,3            |

Данные для метилового спирта взяты из таблиц Ландольта, для смеси этилового спирта с водой — из статьи Jeffries Wyman<sup>5)</sup>.

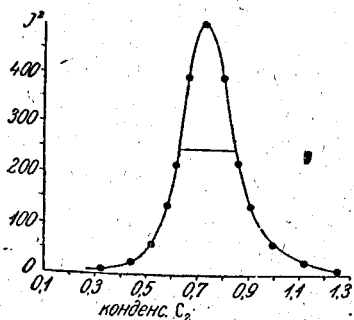


Рис. 18. Воздух.

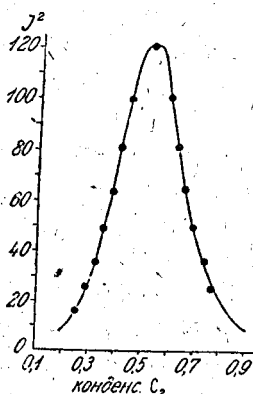


Рис. 19. спирт 56,4%.

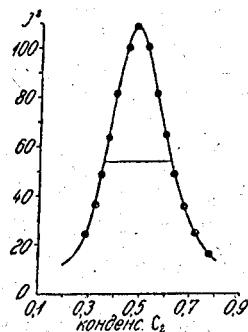


Рис. 20. Дест. вода.  
Связь расст. 4,5 см.

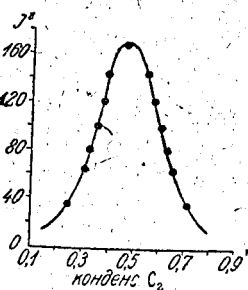


Рис. 21. Дест. вода.  
Связь — расст. 1,4 см.

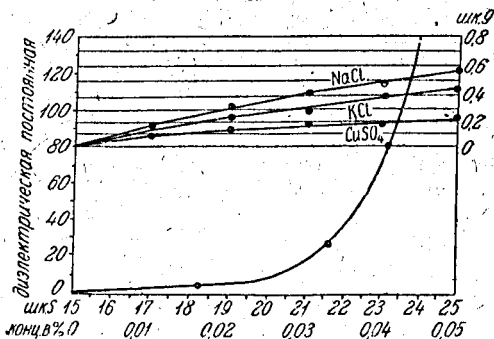


Рис. 22.

#### IV. РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Результаты измерений. Как уже было сказано, в виду непостоянства волны генератора все измерения были произведены следующим образом. Чашка наполнялась исследуемым раствором и вслед затем дистиллированной водой. Определялось положение резонанса по очереди для раствора и воды несколько раз и потом высчитывалось среднее отклонение значений по шкале для раствора от среднего значения для воды. Как видно из таблиц, различные числа не так уж сильно отклоняются друг от друга.

Были исследованы три соли: NaCl, KCl и CuSO<sub>4</sub> (от Кальбаума). Результаты даны в табл. 27, 28, 29.

На рис. 22 нанесены параллельные 0,1; 0,2; 0,3;... — 0,1; — 0,2; — 0,3,... Эти параллельные проведены так, что они пересекают кривую А соответственно на расстояниях 0; 0,1; 0,2;... — 0,1; — 0,2;... от ординаты 23, 33 для дистиллированной воды.

Затем на том же рисунке по оси абсцисс нанесены концентрации в процентах, по оси ординат — соответствующие значения с поправками по шкале S для различных концентраций из таблиц 28—30. Так как тут же по оси ординат нанесены и диэлектрические постоянные, то таким образом можно получить кривые зависимости диэлектрических постоянных растворов солей от концентрации. Из чертежа видно, что все кривые сразу поднимаются выше значения для воды. Измерения доводились только до проводимости 0,005  $\Omega^{-1} \text{ см}^{-1}$ , так как для больших концентраций тре-

ТАБЛИЦА 27

| NaCl<br>% |     |     |     |     |     |     | Средн. |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 0,01      | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,17   |
| 0,02      | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,8 | 0,6 | 0,2 | 0,33   |
| 0,03      | 0,3 | 0,6 | 0,5 | 0,7 | 0,2 | 0,1 | 0,40   |
| 0,04      | 0,2 | 0,7 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,47   |
| 0,05      | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,3 | 0,4 | 0,8 | 0,57   |

ТАБЛИЦА 29

| CuSO <sub>4</sub><br>% |     |     |     |     |     |     | Средн. |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 0,01                   | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |     | 0,1    |
| 0,02                   | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,13   |
| 0,03                   | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,18   |
| 0,04                   | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,18   |
| 0,05                   | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 1,23   |

ТАБЛИЦА 28

| KCl<br>% |     |     |     |     |     |     | Средн. |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| 0,01     | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,17   |
| 0,02     | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,22   |
| 0,03     | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,28   |
| 0,04     | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,2 | 0,38   |
| 0,05     | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,42   |

ка различна для различных частей кривой, и для области воздуха и эфира гораздо меньше, но эта часть кривой не имеет значения для определения диэлектрических постоянных водных растворов.

Как легко рассчитать на основании таблиц, вероятная погрешность определения положения резонанса по шкале  $S$  равна 0,01. Это соответствует 0,5 единицам диэлектрической постоянной, т. е. в среднем около 0,5%. Точность построения кривой  $A$  принимать в расчет поэтому не стоит, так как эта точность вследствие очень большого числа измерений гораздо выше.

3. Сравнение с результатами других исследований. В области очень слабых концентраций некоторые авторы находят с самого начала понижение кривой, другие считают, что после некоторого понижения достигается один или несколько минимумов, а затем кривая начинает повышаться; наконец третьи полагают, что вообще никакого начального понижения не существует, и что кривая сразу же начинает повышаться, как это имеет место и в данном исследовании. Строго говоря, данное исследование не претендует на решение этого спора, так как имелось в виду сначала разработать только метод определения диэлектрических постоянных, а не детальное исследование диэлектрической постоянной растворов. Более точные измерения предполагается произвести в следующих работах, причем необходимо будет исследовать отдельно различные участки кривых.

В области более сильных концентраций большинство исследователей находит приблизительно такой же ход кривой, который получен и в данном исследовании, т. е. рост диэлектрической постоянной с увеличением концентрации.

Что касается неводных растворов, то здесь мы имеем исследование главным образом Вальдена и Вальдена, Улиха и Вернера. Эти очень обстоятельные исследования дают во многих случаях повышение диэлектрической постоянной выше диэлектрической постоянной растворителя, т. е. ход, подобный тому, который получен в данном исследовании для водных растворов. В некоторых впрочем случаях было констатировано сначала небольшое понижение и только потом сильное повышение диэлектрической постоянной.

Теоретическое объяснение для повышений и понижений кривой диэлектрической постоянной растворов было дано впервые на основании теории Дебая Фюртом, а также затем Вальденом, Блю, Гюкелем, Саком.

Повышение диэлектрической постоянной объясняется по этим взглядам обра-

зуется применение более короткой волны, что предложено сделать в ближайшее время.

2. Точность измерений. Точность определения диэлектрической постоянной можно найти, зная среднюю ошибку различных определений положений резонанса для алкоголя, воды и растворов; отсюда можно определить среднюю ошибку построения кривой  $A$  диэлектрических постоянных. Эта ошибка

зованием комплексных диполей с большим электрическим моментом, которые состоят из недиссоциированных молекул электролита или из других комплексов ионов или из соединений ионов с диполями воды.

Понижающее действие находит себе объяснение в том, что диполи воды вблизи ионов растворенного вещества удерживаются сильными полями и таким образом не подвергают поляризации под влиянием внешнего поля.

Более подробное теоретическое исследование и построение математической теории надо считать пока преждевременным, в виду почти полного отсутствия экспериментального материала для различных электролитов и растворителей, при различных частотах и для различных участков кривой с достаточной точностью.

4. Заключение. Результаты этого исследования могут быть сформулированы следующим образом: 1. Разработан резонансный метод для определения диэлектрических постоянных как непроводящих, так главным образом и проводящих твердых и жидких веществ. 2. Этим способом определены диэлектрические постоянные растворов NaCl, KCl и  $\text{CuSO}_4$  для слабых концентраций. 3. Исследовано влияние различных обстоятельств и в частности проводимости на измерения. 4. Выявлены возможность и необходимость дальнейшей работы по данному методу в направлении исследования зависимости диэлектрической постоянной от концентрации для различных электролитов и растворителей при различных частотах и для различных по проводимости участков кривой с большей точностью. 5. Дана вся литература по данному вопросу.

Поступило в Редакцию  
1 апреля 1933 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Колли, Ж. Р. Х. О. 38, 431 (1906).—2. Bjercknes, Wied. Ann. 44, 74 (1891) 55, 121 (1895).—3. Lagergren, Wied. Ann. 64, 290 (1898).—4. Lili Kochel, Ann. d. Phys. 77 (4), 417 (1925).—5. Jeffries Wyman, J. Am. Ch. Soc. 53, 3292 (1931).

Литературу до 1912 г. можно найти у F. Schrödinger, Hdb. d. El. u. d. Magnet., herausgegeben v. L. Grätz, S. 157, B. I, Lief 2, 1912. Литература от 1912 по 1925 гг. у O. Blüh, Phys. Z. 27, 226 (1926).

Литература с 1925 г.: Tadeusz Nayder, Bull. int. Ac. Polon. (A), № 7, 247 (1925). P. Walden, U. Ulich, O. Werner, Z. phys. Ch. 115, 178 (1925); 116, 261 (1925); 119, 107 (1926); 129, 405 (1927); 129, 417 (1927). P. Walden, O. Werner, Z. phys. Ch. 124, 405 (1926); 129, 389 (1927). O. Werner, Diss. Rostock. 87 (1925). H. Hellmann, H. Zahn, Phys. Z. 26, 680 (1925); 27, 636 (1926); Ann. d. Phys. (4), 80, 191 (1926); (4), 81, 711 (1926); (4), 86, 687 (1928); (4), 87, 716 (1928); Z. phys. Ch. 132, 399 (1928). R. T. Lattey, Z. phys. Ch. 132, 399 (1928). R. T. Lattey, Z. Phys. Ch. 119, 104 (1926). H. Sack, Phys. Z. 27 206 (1926); 28, 199 (1927); Arch. Sc. phys. et nat. (5), 8, 270 (1926); C. r. Soc. suisse de phys. (1926). Edward M. Little, Phys. Rev. (2), 27, 814 (1926). R. Skancke, E. Schreiner, Phys. Z. 28, 597 (1927). R. Pechhold, Ann. d. Phys. (4), 83, 427 (1927). A. Deubner, Ann. d. Phys. (4), 84, 429 (1927). Clarence C. Schmidt, Phys. Rev. (2), 30, 925 (1927). C. Шемейцинская, Ж. Р. Ф. О. 59, 499 (1927). A. Branley, J. Frankl. Inst. 205, 649 (1928). A. P. Carman, C. C. Schmidt, Phys. Rev. (2), 31, 157 (1928). Crunnar Hadestrand, Z. phys. Ch. 135, 36 (1928). A. Thiel, E. Horn, Z. f. anorg. Chem. 176, 403 (1928). George D. Rock, Simon Klosky, J. phys. Ch. 33, 143 (1929). Allan Astin, Phys. Rev. (2), 34, 300 (1929). A. P. Carman, O. B. Young, H. O. Smith, Phys. Rev. (2), 34, 1040 (1929). A. P. Carman, H. O. Smith, Phys. Rev. (2), 34, 1042 (1929). E. H. Drake, G. W. Pierce, M. T. Dow, Phys. Rev. (2), 35, 613 (1930). Jeffries Wyman, jr., Phys. Rev. (2), 35, 622 (1930). Allan Astin, Phys. Rev. (2), 35, 1428 (1930). R. Fürth, Phys. Z. 32, 184 (1931). O. Milicka, A. Slama, Ann. d. Phys. (5), 8, 663 (1931). Alimova, Ann. d. Phys. (5), 9, 176 (1931). W. Ottmann, Ann. d. Phys. (5), 9, 537 (1931). M. Wien, Phys. Z. 32, 545 (1931). Emil Cohn, Phys. Z. 32, 687 (1931). R. Weber, Z. f. Phys. 70, 711 (1931). R. T. Lattey, W. Davies, Phil. Mag. (7), 12, 1111 (1931). G. Devoto, Gazz. chim. Ital. 61, 733 (1931). G. Scatchard, Phys. Z. 33, 22 (1932).