

М. А. ДИВИЛЬКОВСКИЙ

АБСОЛЮТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОСТОЯННОЙ И ПОТЕРЬ В ЖИДКОСТЯХ В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

(Представлено академиком Л. И. Мандельштамом 19 VI 1939)

1. Автором совместно с М. И. Филипповым был ранее разработан метод измерения высокочастотных потерь в жидкостях при помощи термометра со сферическим резервуаром, наполненным исследуемой жидкостью (1,2). Этот метод не давал возможности измерять диэлектрическую постоянную жидкости, которую приходилось считать известной.

В дальнейшем М. И. Филипповым был разработан метод измерения как действительной, так и мнимой части диэлектрической постоянной $\epsilon = \epsilon' - i\epsilon''$ при помощи термометра с резервуаром в форме эллипсоида вращения (3).

Автор дал общий расчет нагревания шара в переменном электрическом или магнитном поле (4) и показал, что термометрический метод позволяет обнаруживать нагревание многих полярных диэлектрических жидкостей, и тем более электролитов, в магнитном поле в области дециметровых волн. Благодаря этому можно, пользуясь только сферическим термометром, получить второе необходимое условие для определения также и диэлектрической постоянной жидкости.

2. Действительно, мощность, выделяемая в шаре радиуса R и магнитной проницаемости $\mu = 1$, помещенном в переменное электрическое или магнитное поле $E_0 e^{i\omega t}$ или $H_0 e^{i\omega t}$, имеет вид:

$$W_E = \frac{3}{2} E_0^2 R^3 \frac{\epsilon'' \omega}{(\epsilon' + 2)^2 + \epsilon''^2}, \quad (1)$$

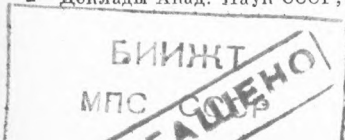
$$W_M = \frac{\omega^3 \epsilon''}{60 c^2} H_0^2 R^5, \quad (2)$$

где c — скорость света.

Следовательно, наблюдая повышение ΔT температуры шара за время τ , зная радиус R и теплоемкость шара C , а также напряженность поля, можно найти значения ϵ' и ϵ'' из соотношения:

$$W = AC \frac{\Delta T}{\tau},$$

где A — механический эквивалент тепла.

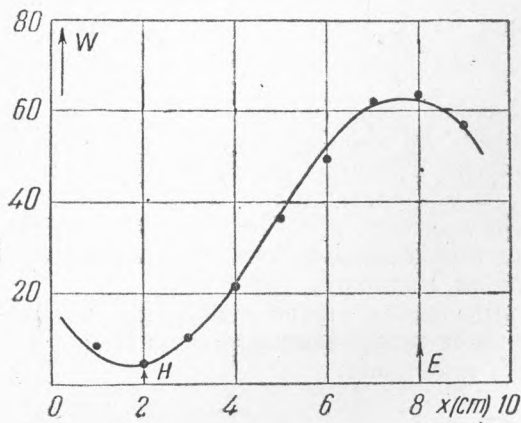


К этим простым соображениям нужно сделать ряд следующих существенных оговорок.

а) Формулы (1) и (2) верны только в том случае, когда длина волны в веществе шара ($\lambda' = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon'}}$) и глубина проникновения полей вследствие скинэффекта ($\delta = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon''}}$) велики по сравнению с радиусом шара, т. е. когда поле в жидкости однородно. Если этого нет, то следует пользоваться более сложными формулами (4), что, однако, не меняет дела принципиально.

б) Стеклянная или кварцевая оболочка резервуара термометра изменяет значение электрического поля, действующего в жидкости, оставляя, однако, поле однородным. Зная толщину оболочки и ее диэлектрическую постоянную, можно оценить соответствующую поправку. Для магнитного поля это не имеет места.

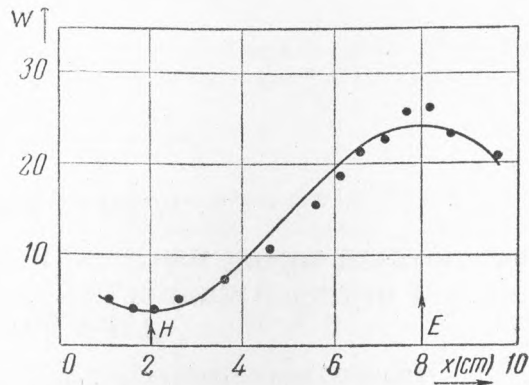
в) Оболочка резервуара и часть капилляра отбирают тепло из жидкости, что уменьшает наблюдаемое значение мощности. Соответствующая поправка может быть учтена довольно точно.



Фиг. 2. Этиловый спирт: $\lambda_0 = 23.6$ см

волнами: $\lambda_0 = 23.6$ см и $\lambda_0 = 18.4$ см в лехеровой системе (диаметр провода 4 мм и расстояние проводов от 4 до 6 см). Напряженность поля стоячей волны измерялась ртутным термометром, жестко установленным в одной из магнитных пучностей. Термометр был тщательно градуирован на длине волны 450 см по описанному ранее методу (2). Отсутствие бегущей волны было установлено при помощи термометра со всей доступной точностью.

Измерения производились с тремя спиртами—метиловым, этиловым и пропиловым—предварительно перегнанными, а также с электролитом—



Фиг. 1. Метиловый спирт: $\lambda_0 = 23.6$ см

3. Излагаемые опыты имели целью установить пригодность этого метода на возможно более коротких волнах, доступных при достаточной мощности (несколько десятков ватт). Условия работы не позволяли принять все меры, необходимые для получения точных результатов; поэтому полученные цифры носят ориентировочный характер (точность порядка 20—30%).

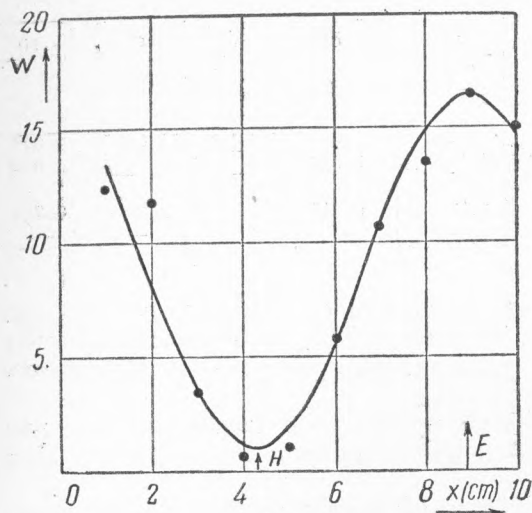
Измерения велись при помощи магнетронных генераторов с фиксированными

водным раствором КСl 0.035 N концентрации. Температура при измерениях колебалась от 16 до 18°.

Спирты измерялись в одном и том же кварцевом термометре, данные которого таковы: внешний диаметр резервуара 0.928 см; средняя толщина стенок резервуара 0.012 см; чувствительность 0.164°, 0.171° и 0.194° на 1 мм капилляра (соответственно для 3 спиртов).

Кварцевый термометр для измерения электролита имел внешний диаметр резервуара 1.018 см, толщину стенок резервуара 0.022 см и чувствительность 0.625° на 1 мм.

На фиг. 1—4 показаны в условных единицах мощности, наблюдаемые в термометре для четырех исследованных веществ, в функции от положения термометра по длине лехера. Сплошные кривые представляют собой синусоиды, вычисленные по способу наименьших квадратов по наблюдаемым точкам.



Фиг. 3. Пропиловый спирт: $\lambda_0 = 18.4$ см

Отношение мощностей в пучностях электрического и магнитного полей резко отлично для различных веществ. Для пропилового спирта это отношение велико (около 25), вследствие чего точность для него наименьшая. Электролит нагревался сильнее в магнитном поле, чем в электрическом.

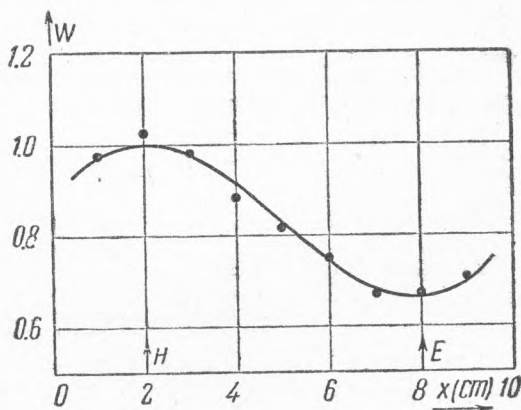
4. В табл. 1 сведены результаты для спиртов, пересчитанные в ϵ' и ϵ'' , с учетом всех поправок и при весьма осторожной оценке точности.

Тепловые поправки составляли в среднем 10%.

В конце табл. 1 даны для сравнения значения ϵ' и ϵ'' , измеренные М. И. Филипповым на волне $\lambda_0 = 443$ см методом эллипсоидального термометра для спиртов (3), и табличные данные для статического случая.

Из этих цифр видно, что несмотря на неточность измерений, дисперсия в этой области частот хорошо заметна у этилового и особенно у пропилового спиртов. В этом отношении наши результаты совпадают качественно с данными, полученными обычным методом (Друде) Ардэнне, Гроос и Оттербейном (5) (этиловый и метиловый спирты) и Мицусима [пропиловый спирт (6)]. Наши измерения не дают однако оснований говорить о заметной дисперсии в метиловом спирте, хотя и не противоречат результатам названных авторов, а также Эзау и Бэц (7).

Что касается электролита, то полученные цифры показывают резкое



Фиг. 4. Электролит: $\lambda_0 = 23.6$ см

Таблица 1

λ_0 см	Метиловый спирт			Этиловый спирт			Пропиловый спирт		
	ϵ'	ϵ''	$\frac{\epsilon''}{\nu} \cdot 10^7$	ϵ'	ϵ''	$\frac{\epsilon''}{\nu} \cdot 10^7$	ϵ'	ϵ''	$\frac{\epsilon''}{\nu} \cdot 10^7$
18.4	28.5 \pm 7	13.0 \pm 3	0.030	—	—	—	4.7 \pm 2	12.0 \pm 3	0.074
23.6	28.2 \pm 5	9.9 \pm 2	0.079	16.6 \pm 5	10.9 \pm 2.2	0.086	12.1 \pm 3.5	8.0 \pm 2	0.063
443	31.7	0.6	0.038	26	1.0	0.147	21.2	2.2	0.324
∞	31.2	—	—	26	—	—	22.2	—	—

увеличение электропроводности по сравнению со статическим случаем, при неизменной диэлектрической постоянной. Ввиду важности вопроса и недостаточности полученного материала, мы предполагаем продолжать работу в этом направлении.

5. Таким образом, нами показана пригодность нашего метода для абсолютных измерений диэлектрической постоянной и потерь в жидкостях на крайне высоких частотах.

Относительные измерения, не требующие знания напряженности поля, могут быть произведены таким методом с большой точностью. Абсолютные значения, зависящие от градуировки ртутного термометра, измеряющего поле, и от точности оценки тепловых поправок, могут быть получены с точностью до 5—10 %.

Предел применимости нашего метода при еще более коротких волнах кладут размеры термометра и необходимые мощности.

Заметим еще, что простая геометрическая форма объекта (сфера) и устранение электродов дают возможность вполне строго учесть истинное распределение поля в объекте, неоднородное, вообще говоря, из-за скин-эффекта и длины волны в веществе. Это обстоятельство существенно (ибо глубина проникновения на этих частотах в исследованных веществах порядка 1—2 см) и не учитываемо в большинстве других методов.

Измерения и установка генераторов проводились автором совместно с С. М. Рытовым и М. И. Филипповым.

Физический институт
им. П. Н. Лебедева
Академия Наук СССР

Поступило
26 VI 1939

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Дивильковский и М. Филиппов, ЖТФ, VI, 93 (1936); Phys. ZS d. Sow. Un., VIII, 311 (1935). ² М. Дивильковский и М. Филиппов, ЖТФ, VI, 1873 (1936). ³ М. Филиппов (диссертация). ⁴ М. Дивильковский, ЖТФ, IX, 433 (1939). ⁵ M. Ardenne, O. Groos u. G. Otterbein, Phys. ZS, 37, 533 (1936). ⁶ Дебай и Закк, Теория электр. свойств молекул, стр. 90 (1936). ⁷ Esau u. Bätz, Phys. ZS, 38, 774 (1937).