

03;12

Аномальная релаксация в жидкости при действии электрического поля, осуществляемого без контакта с потенциалзадающими электродами

© Н.Н. Красилов, О.В. Шуваева

Ковровская государственная технологическая академия

Поступило в Редакцию 31 января 2000 г.

Экспериментально установлено, что действие электрического поля высокого напряжения на спирты, осуществляемое без контакта их с потенциалзадающими электродами, приводит к возникновению оптической анизотропии, изменяющейся во времени при действии электрического поля и после его отключения. Отмеченное связывается со структурированием жидкости и формированием квазиэлектрических слоев, релаксирующих по аномальному типу.

Аномальные физические явления происходят в структурируемых средах, способных концентрировать запас энергии, проявляющих пространственную неоднородность физических свойств [1].

Одним из таких явлений, связанных с концентрацией электрической энергии, является поведение жидкостей при бесконтактном действии высокого напряжения (ВН), когда ток пренебрежимо мал и может обуславливаться лишь утечками.

Нами предложено осуществлять электрополевое воздействие на жидкие среды путем помещения их в электрическое поле, задаваемое от источника постоянного напряжения $U = 15 \div 20$ kV. При этом между верхним электродом и жидкостью была воздушная прослойка, а нижний электрод отделялся диэлектрическим дном ячейки [2].

Особенностью экспериментального обеспечения настоящей работы явилось то, что диэлектрическая прозрачная ячейка с исследуемой жидкостью помещалась в гнездо фотоэлектроколориметра КФК-2, модернизация которого сводилась к установке поляроида для луча, выходящего из канала осветителя; для повышения чувствительности индикации был применен цифровой милливольтметр Щ 300, приняты меры исключения электрического пробоя и утечек. Светопоглощение

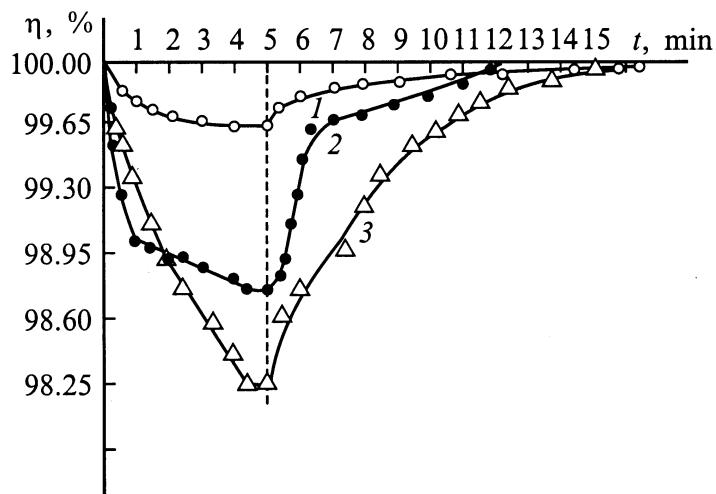


Рис. 1. Зависимость коэффициента пропускания η , % света ($\lambda = 750$ nm) от времени t , min при действии ВН ($t = 5$ min) и после его отключения для: 1 — глицерина ч. ч.; 2 — 25% об.; 3 — 50% об. водно-глицеринового раствора соответственно.

жидкости характеризовалось в процентах относительно его значения, соответствующего нейтральному состоянию, когда внешнее воздействие не осуществлялось. Измерения выполнялись в зависимости от времени при включении источника ВН и сразу после его отключения.

Результаты эксперимента для водно-глицериновых растворов представлены на рис. 1. Время действия электрического поля выбрано 5 min, в течение его коэффициент пропускания света η практически выходит на насыщение; затем, после отключения поля, η постепенно приходит к 100%-му исходному значению, которое было в жидкости до электрообработки. Характерно отсутствие эффекта изменения η в чистой воде (бидистиллят) и малость его в химически чистом глицерине. Аналогичные данные получены для одноатомных спиртов, что не рассматривается здесь.

Настоящий эксперимент свидетельствует об анизотропии, возникающей в спирте и его растворах в поле и изменяющейся после его

отключения, осуществляемой по аномальному релаксационному типу в течение минут и более. Аномальная релаксация не укладывается в значение максвелловской релаксации $\tau_0 = \varepsilon\varepsilon_0/\gamma$, отражающей микроскопические поляризационные процессы, зависящие от γ и ε — удельной проводимости и диэлектрической проницаемости среды соответственно при ε_0 — электрической постоянной. Такая аномальность, по-видимому, обусловлена макроскопическим процессом объемно-зарядовой поляризации, когда носители заряда и дипольные молекулы изначально связаны между собою в ассоциаты, кластеры. Направленному движению в электрическом поле должен предшествовать отрыв носителей заряда из таких образований, где их энергия связи U . Тогда время релаксации τ оценивается по Френкелю [3]: $\tau = \tau_0 \exp(U/kT)$, где k — постоянная Больцмана, T — температура среды.

Ранее [4] методом электрического зонда, расположенного вдоль поля, было отмечено аналогичное изменение разности потенциалов в жидкости при включении и выключении поля. Однако такой метод не может достоверно характеризовать время релаксации из-за влияния входного сопротивления измерительного прибора и его схемы усиления.

Отмечено разное время релаксации процесса действия поля и его последствий, причем во втором случае τ обычно больше первого. Это свидетельствует о том, что электрическое поле в данном случае способствует образованию новых стабильных формирований с большим U , проявляющих электретные свойства [5]. Такие квазиэлектретные слои гетерозарядов противоположных знаков локализуются в поверхностных слоях, упорядоченно структурированных с участием электростатических сил и водородных связей [6].

Остановимся подробнее на особенностях формирования квазиэлектретных слоев. Момент включения поля характеризуется в жидкостях деформационной и ориентационной поляризациями, происходящими в рассматриваемом масштабе времени мгновенно. Далее идет объемно-зарядовая поляризация [7] с аномальным временем релаксации, ограничиваемым секундами и минутами. Хотя процесс формирования квазиэлектретных слоев может происходить постадийно (вырывание носителей заряда из потенциальных ям, направленное перемещение, формирование приповерхностных слоев), не представляется возможным их разделение по интегральной временной зависимости (рис. 1). Результатом может стать формирование квазиэлектретных слоев, компенсирующих исходную напряженность в жидкости, зависящую от

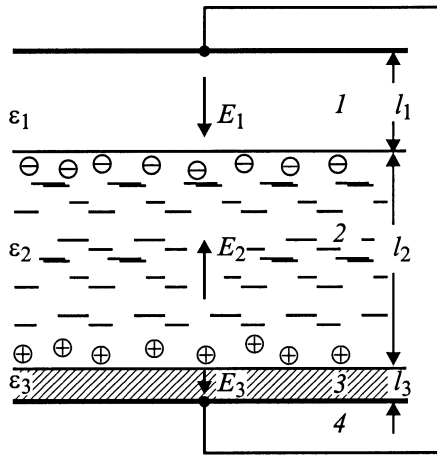


Рис. 2. Схема трехслойного конденсатора с остаточной поляризацией жидкости: 1 — воздушный слой; 2 — жидкость; 3 — диэлектрическое дно; 4 — потенциаладающие электроды.

поверхностной плотности заряда σ и диэлектрической проницаемости жидкости ε_2 ($E_2 = \sigma / \varepsilon_2 \varepsilon_0$). Будем полагать, что в пределе образование квазиэлектретных слоев компенсирует по величине и направлению эту напряженность. Модельную картину представим в виде трехслойного конденсатора с воздушной прослойкой толщиной l_1 , слоем жидкости l_2 , слоем диэлектрика (стекло) l_3 . Соответственно их диэлектрические проницаемости: ε_1 , ε_2 , ε_3 . В слоях действуют напряженности E_1 , E_2 , E_3 (рис. 2). Нам будет интересовать оценка E_2 для жидкости с квазиэлектретными слоями.

Применим теорему Гаусса для границ раздела и II закон Кирхгофа [7], предполагая модель закороченных электродов. В результате получим систему уравнений:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 E_1 &= -\varepsilon_2 E_2 + \frac{\sigma}{\varepsilon_2 \varepsilon_0}, \\ \varepsilon_3 E_3 &= -\varepsilon_2 E_2 + \frac{\sigma}{\varepsilon_2 \varepsilon_0}, \\ -E_1 l_1 + E_2 l_2 - E_3 l_3 &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Решение (1) дает значение остаточной напряженности E_2 поля в жидкости с квазиэлектретными слоями

$$E_2 = \frac{\sigma}{\varepsilon_2 \varepsilon_0} \cdot \frac{\frac{l_1}{\varepsilon_1} + \frac{l_3}{\varepsilon_3}}{l_2 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} l_1 + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_3} l_3}. \quad (2)$$

Значение напряженности для наших условий может составить $E_2 \approx 4.5 \cdot 10^3$ V/m, что характерно для момента отключения действующего поля. Оно будет убывать аномально релаксационным образом (правая часть графиков $t > 5$ min), что в существенной мере зависит от электропроводности жидкости, от энергии связи носителей зарядов в отмеченных слоях, обуславливающих анизотропию.

По-видимому, E_2 до и после включения ВН характеризует релаксацию интенсивности поляризованного света в жидкости. Конечным результатом последствия является переход к начальному равновесному состоянию со светопропусканием 100%, характерным для изотропной жидкости.

Таким образом, действие электрического поля ВН на жидкость, осуществляемое без контакта с потенциалзадающими электродами способствует структурированию жидкости с молекулами асимметричного, в частности полярного, строения. Происходит концентрация электрополовой энергии в слоях, проявляющих остаточную объемно-зарядовую поляризацию, характерную для электретного состояния вещества, что установлено по изменению во времени интенсивности линейно поляризованного света.

Список литературы

- [1] Скворцов Г.Е. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 7. С. 57–63.
- [2] Красиков Н.Н. // Электротехника. 1996. В. 4. С. 57–59. Красиков Н.Н. // Письма в ЖТФ. 2000 (в печати).
- [3] Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. М.: Наука, 1974. 540 с.
- [4] Красиков Н.Н. // Биофизика. 1998. Т. 43. В. 6. С. 989–992.
- [5] Губкин А.Н. Электреты. М.: Наука, 1978. 190 с.
- [6] Антонченко В.Я., Давыдов А.С., Ильин В.В. Основы физики воды. Киев.: Наук. думка, 1991. 667 с.
- [7] Поливанов К.М. Теория электромагнитного поля. М.: Энергия, 1969. 348 с.