

## ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ И ЛЬДА

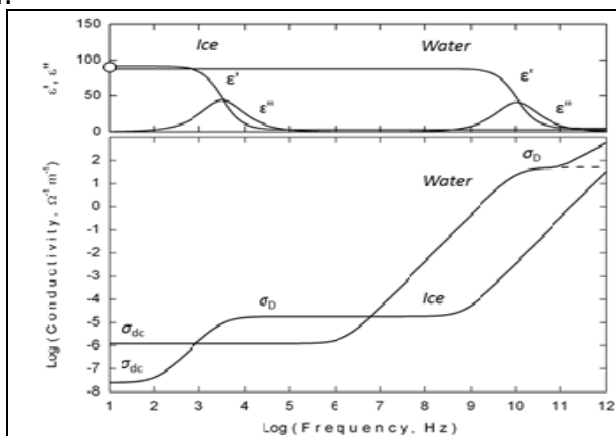
Волков А.А., Артемов В.Г., Пронин А.В.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
119991, Россия, Москва, Вавилова 38, E-mail: [aavol@bk.ru](mailto:aavol@bk.ru)

В известном обзоре А. Хиппеля 1988 г. [1] по электродинамическим свойствам воды и льда сделан вывод, который остается в силе и по сей день: «It becomes clear that we have a sequence of ingenious and illuminating concepts but *no valid theory at the present time, neither for the static permittivity nor for the relaxation time*», т.е. для воды и льда у нас нет сегодня ясного понимания происхождения их статической проницаемости и диэлектрической релаксации. С течением времени количество связанных с водой аномалий и парадоксов не уменьшается, а наоборот, растет. Их список из года в год увеличивается [2]. Положение дел подталкивает к поиску новых подходов. В том же обзоре: «Since Debye's original work, the idea of rotating polar molecules has become so entrenched that also in ice the dipole moment  $\mu_0$  of the water molecule is taken by many scientists as the natural starting point. ... Actually, the dipole moment  $\mu$  per O - O link seems to be a more pertinent take-off concept». Под сомнение ставится адекватность традиционного подхода, основанного на представлении о стабильной и долгоживущей молекуле  $H_2O$  с фиксированным дипольным моментом.

Сравнительно недавно у воды и льда нами найдено свойство, которое изменяет представление об их электродинамике [3]. А именно, в диэлектрических спектрах (Рис. 1) выявлена связь между присущей этим веществам дебаевской релаксацией и диффузией протонов. Последние генерируются в результате автодиссоциации молекул  $H_2O$ , что хорошо известно. Автодиссоциация считается источником протонов, обеспечивающих воде её протонную dc-проводимость и водородный показатель pH. Новым фактом оказалась высочайшая производительность процесса автоионизации. Она оставалась до сих пор неизвестной в силу её маскировки процессом быстрой терагерцовой рекомбинации разделенных зарядов ( $10^{-11}$  с). Предлагаемая нами модель принимает в учет данный процесс, и оказывается, что рождением-рекомбинацией ионных пар последовательно объясняется и дебаевская релаксация, и статическая проводимость. Показатель pH появляется в результате задержки процесса рекомбинации для малой части зарядов, имитирующих в потенциометрических измерениях "аномально" высокую подвижность "свободных" протонов. Время жизни молекулы  $H_2O$  оказывается чрезвычайно малым -  $10^{-9}$  с вместо принятых 11 часов. Ответственным за высокую диэлектрическую проницаемость воды найдено генерационно-рекомбинационное движение разделенных зарядов взамен привычного ориентационного движения молекул  $H_2O$ . Без принципиальных изменений модель распространяема на электродинамику льда. Она точно передает наблюдаемое на Рис. 1 подобие спектров (скейлинг) и сохраняет значение статической диэлектрической проницаемости при фазовом переходе вода-лёд.

Новое представление, по своей сути альтернативное дебаевскому, затрагивает весь комплекс связанных с водой вопросов, в том числе жизненно важных и до сих пор остающихся не решенными.



**Рис.1.** Широкодиапазонные диэлектрические спектры воды и льда при температуре 0 С: действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости,  $\epsilon'(\omega)$  и  $\epsilon''(\omega)$  (вверху), и динамическая проводимость  $\sigma(\omega)$  (внизу)

## **Литература**

1. A. von Hippel // The Dielectric Relaxation Spectra of Water, Ice, and Aqueous Solutions, and their Interpretation, IEEE Transactions on Electrical Insulation, 1988, Vol. 23, No. 5, p. 801.
2. Chaplin M. // Water Structure and Science. <http://www.lsbu.ac.uk/water/index2.html>
3. Volkov A.A., Artemov V.G., Pronin A.V.// Proton Electrodynamics in Liquid Water. arXiv:1302.5048, 2013.M.