

**Рис. 4.** Спектры люмінесценції частинок  $\text{LaPO}_4$  допованих  $\text{Eu}$  отриманих методом гомогенної нуклеації з розчинів солей в присутності ОПМ та цих же частинок після випалення при  $800^\circ\text{C}$

гомогенної нуклеації в його присутності, забезпечує утворення вільних радикалів, в тому числі, олігомерних, іммобілізованих на поверхні, та протікання прищепленої радикальної полімеризації для цільової функціоналізації поверхні або полімеризаційного наповнення полімерних нанокompatивів.

**Висновок**

Виходячи з визначених величини середніх розмірів частинок  $\text{LaPO}_4$ , можна говорити про те, що в результаті використаної методики синтезу, утворюються нанорозмірні частинки. Зокрема з появою оболонки ОПМ, спостерігається тенденція до зменшення середнього розміру частинок, що можна пояснити тим, що утворений полімером зовнішній шар зменшує агрегацію утворюваної дисперсної фази. Синтезовані частинки дають потенційні

можливості створення полімер-мінеральних нанорозмірних люмінофорів та сцинтиляторів, оболонка яких забезпечує контрольовані біологічну сумісність з клітинами і тканинами в організмі, реакційну здатність та сумісність з різними полімерними матрицями при збереженні їхньої здатності до люмінесценції.

**Література**

1. F. Wang, Luminescent nanomaterials for biological labeling [Текст] / F. Wang, W. Beng Tan, Yo. Zang, X. Fan, M. Wang // Nanotechnology. —2006 — № 17. — R. 1–13.
2. Bachmann P. K. Near-infrared luminescent nanomaterials for in-vivo optical imaging. [Текст] / P. K. Bachmann, H. Hummel, T. Justel, J. Merikhi, C. R. Ronda, V. Weiler // Journal of Nanophotonics. — 2008. — Vol. 2. — P. 1–6.
3. Иванчев С. С. Привитая полимеризация стирола, инициированная окислительно-восстановительным разложением гидропероксида, фиксированного на аэросиле [Текст] / С. С. Иванчев, А. В. Дмитриенко, А. М. Крупник // Высокомолекулярные соединения. — 1988. — Т. А30. — № 9. — С. 1551–1556.
4. King G. A. Quantitative Study of the Autoxidation Products of Oleic Acid [Текст] / J. Chem. Soc. — 1956. — № 5. — P. 587–593.
5. Хайрутдинов Р. Химия полупроводниковых наночастиц [Текст] / Р. Хайрутдинов // Успехи химии. — 1998. — № 67(2). — С. 125–139.
6. Chen S. Langmuir-Blodgett fabrication of two-dimensional robust cross-linked nanoparticle assemblies [Текст] / S. Chen // Langmuir. —2001. —№ 17. — P. 2878–2884.
7. Помогайло А. Д. Наночастицы металлов в полимерах [Текст] / А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд. — М.: «Химия», 2000. — 672 с.

УДК 591.044; 577.3

**СВЕТОРАССЕЯНИЕ ВОДЫ В СЛАБОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

**А. Ю. Бордюк**  
Аспирант

Кафедра физической и биомедицинской электроники  
Херсонский национальный технический университет  
Бериславское шоссе, 24, г. Херсон,  
Украина, 73008

Контактный тел.: 066-421-34-81  
E-mail: zephyrus@ukr.net

*Досліджено вплив постійного електричного поля на структурність води, зміни якої залежали від часу впливу, початкового набору, концентрації кластерів води і обумовлені наявністю дипольних моментів у кластерів і молекул води.*

*Ключові слова:* світлорозсіювання, кластери води, фазові переходи.

*Исследовано влияние постоянного электрического поля на структурность воды, изменения которой зависели от времени воздействия, начального набора, концентрации кластеров воды и обусловлены наличием дипольных моментов у кластеров и молекул воды.*

*Ключевые слова:* светорассеяние, кластеры воды, фазовые переходы.

*The influence of a constant electric field on the structure of water was investigated. Changes of water structure is dependent on exposure time, the initial set and concentration of water clusters and are due to the dipole moments of water clusters and molecules.*

*Keywords:* light scattering, water cluster, phase transitions.

### 1. Введение

Вода является системой с динамичной структурой, образованной цепями водородных связей, которые создают благоприятные возможности для образования особых структур-ассоциатов (кластеров). Взаимосвязь между параметрами (концентрация, размеры, форма) кластеров воды и внешними воздействиям может дать оценку влияния на структуру воды различных полей. Данная работа посвящена изучению влияния на структуру воды электрического поля, являющегося основой многочисленных методов по активации и структуризации воды.

### 2. Постановка задачи

Высокий дипольный момент молекулы  $H_2O = 1,854$  Деб обусловлен низкой степенью ее симметрии и является одним из важнейших свойств, влияющих на физико-химическую, электрофизическую и оптическую активность воды в различных агрегатных состояниях [1].

Полярность обнаружена также и у кластеров воды  $(H_2O)_n$  (где  $n$  — количество молекул) с  $n \leq 18$  [2–4], что указывает на возможность изменения кластерной структуры воды под действием внешнего электрического поля. Разумно предположить, что кластеры, состоящие из  $10^2 + 10^{15}$  и более молекул, также обладают дипольным моментом. Однако в связи с тем, что на данный момент экспериментальные данные на эту тему отсутствуют, и нет полной информации о кластерных преобразованиях под действием внешнего электрического поля, на сегодняшний день невозможно дать объективную оценку влияния электрического поля на структуру воды.

### 3. Основная часть

В работе [5] показана возможность изучения структуры воды путем исследования ее светорассеяния. В настоящей работе приведены экспериментальные данные о влиянии электрического поля на структурные свойства воды, полученные в результате измерения угловых зависимостей интенсивности рассеянного света (индикатрис рассеяния  $I(\Theta)$ , где  $\Theta$  — угол рассеяния).

Электрическое поле создавалось двумя одинаковыми плоскими электродами с шириной 1 см и длиной 2 см, расстояние между электродами составляло 1 см. Они фиксировались в специальном держателе вплотную

к кювете по одной линии в горизонтальной плоскости на высоте распространения лазерного луча. К электродам подключался источник постоянного тока с напряжением 4,5 В, формируя между электродами постоянное электрическое поле, воздействующее именно на тот объем воды, через который проходил луч лазера диаметром 3 мм. Столь малое напряжение и расположение электродов вне кюветы выбрано во избежание значительных химических изменений в воде и прослеживания только процессов поляризации кластеров и изменения структуры воды.

Измерение индикатрис рассеяния воды при  $T = 300$  К осуществлялось до и непосредственно после 10, 20, 30 минут воздействия поля. Описание установки для измерения индикатрис рассеяния, методики измерения и обработки данных подробно изложены в [5, 6]. Изучение влияния электрического поля производилось на пробах воды из местной артезианской скважины. Выбор обусловлен тем, что в данной воде ранее [5] обнаружена наибольшая кластерная полидисперсность, что позволяет проследить влияние электрического поля на кластеры различных размеров.

В случае присутствия в исходной пробе воды кроме набора крупных, средних и мелких кластеров, (условно с  $r > 0,9$  мкм,  $0,4 \leq r \leq 0,9$  мкм,  $r < 0,4$  мкм соответственно), кластеров с размерами  $r > 2,5$  мкм после 10 минут воздействия постоянного электрического, при незначительном изменении содержания, средних и мелких кластеров, наблюдалось увеличение суммарной концентрации кластеров всех размеров (см. рис. 1). Исходя из таблицы видно, что изменялись также набор и размеры сверхкрупных кластеров (условно с  $r > 1,6$  мкм).

При увеличении времени воздействия до 20 минут происходило уменьшение концентрации всех типов кластеров, при этом наблюдалось появление новых сверхкрупных кластеров с большими размерами.

При дальнейшем увеличении времени воздействия электрического поля на воду, наблюдалось увеличение концентрации крупных кластеров, при уменьшении концентрации мелких и средних, однако концентрации всех типов кластеров продолжали оставаться больше, чем в исходной пробе. Кроме этого, при увеличении концентрации сверхкрупных кластеров, появившихся при 20 минутах, перестраивались и увеличивали размеры другие сверхкрупные кластеры.

В образцах исследуемой воды, в которых отсутствовали сверхкрупные кластеры, после 10 минут влияния электрического поля при уменьшении общей концентрации кластеров, проходившем без изменения

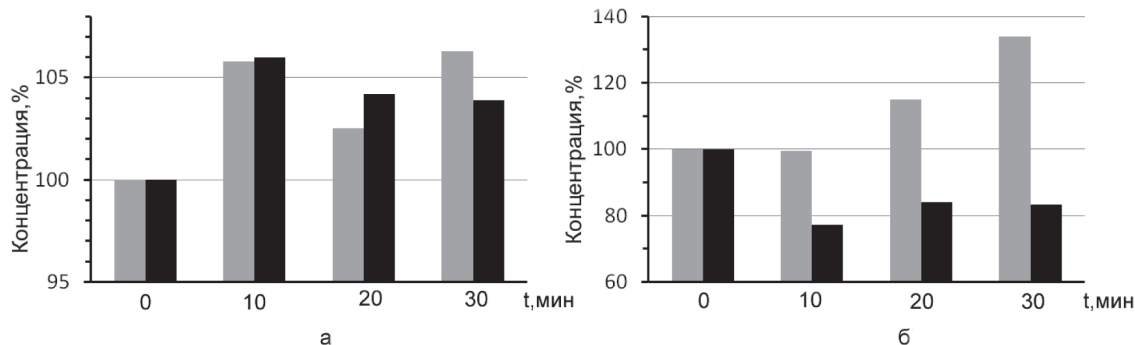


Рис. 1. Изменение относительной концентрации кластеров под действием электрического поля, где  $t$  — длительность воздействия поля; а — пробы воды содержали сверхкрупные кластеры с  $r > 2,5$  мкм, б — не содержали. Суммарная концентрация кластеров обозначена черным цветом, а крупных — серым. Для наглядности значения начальных концентраций приравнены к 100 %

их набора, либо с исчезновением мелких кластеров с  $r < 0,22$  мкм, увеличивалась концентрация крупных кластеров и появлялись сверхкрупные кластеры.

Таблица 1

Влияние электрического поля на сверхкрупные кластеры воды

Наличие кластеров с $r > 2,5$ мкм в начальной пробе	Размеры кластеров (г, мкм) после разной длительности воздействия электрического поля		
	10 минут	20 минут	30 минут
2,62; 3,57; 4,6	1,9; 3,44	1,9↓; 3,44↓; 3,57	3,57↑; 5,48
Отсутствовали	4,16; 5,01	2,62; 4,45	2,62↑; 4,45↑
<b>Примечание:</b> ↑ – возрастание, ↓ – уменьшение концентрации кластеров			

С увеличением времени воздействия до 20 минут увеличивалась суммарная концентрация кластеров, однако продолжала оставаться меньше, чем у исходной воды. Концентрация крупных кластеров продолжала увеличиваться без изменения набора кластеров, однако набор и размеры сверхкрупных кластеров изменялись. Дальнейшее увеличение времени воздействия приводило к уменьшению суммарной концентрации, которое сопровождалось увеличением концентрации крупных и сверхкрупных кластеров, при этом их набор и размеры оставался неизменными.

Все эти данные указывают на то, что влияние электрического поля на структуру воды зависело не только от времени облучения, но и от начального набора кластеров. Под действием даже слабого электрического поля происходило образование сверхкрупных кластеров, причем в результате данного процесса изменялись как суммарная концентрация, так и набор средних и мелких кластеров. Увеличение суммарной концентрации в пробах воды, содержащих сверхкрупные кластеры, происходило, по-видимому, в результате дробления и перестраивания начальных сверхкрупных кластеров. Уменьшение сум-

марной концентрации кластеров в пробах воды, которые не содержали сверхкрупные кластеры, вероятно, связано с укрупнением мелких и средних кластеров в крупные и сверхкрупные кластеры, что подтверждалось увеличением концентрации крупных кластеров, а также появлением сверхкрупных. При этом увеличение концентрации сверхкрупных кластеров, при 30 минутах воздействия, в обоих типах проб по всей видимости, связано с частичным разрушением мелких и средних кластеров, что подтверждалось уменьшением их концентрации.

Наблюдаемые изменения в структуре воды вызваны, вероятно, переориентацией кластеров в пространстве в результате воздействия на их дипольные моменты постоянного электрического поля. Также следует предположить и то, что кластеры воды даже одного размера могут иметь различные дипольные моменты и по-разному взаимодействовать с полем. На изменение положения кластеров в пространстве может влиять и наличие ионных примесей, которые вызывают движение кластера в электрическом поле. Можно также предположить, что новые крупные, а также сверхкрупные кластеры, наблюдаемые в образцах воды после воздействия электрического поля, формируются из средних и мелких кластеров, предварительно сориентированных по полю.

Дробление и разрушение начальных сверхкрупных кластеров воды может быть вызвано как трением их о межкластерную среду и между собой, так и бомбардировкой их поверхности движущимися под действием электрического поля ионами.

### Выводы

1. Изменения структуры воды под действием слабого электрического поля зависели как от начального набора кластеров в исследуемых образцах воды, так и от времени воздействия.

2. Во всех пробах воды после воздействия электрического поля наблюдалось образование сверхкрупных кластеров с  $r > 1,8$  мкм.

### Литература

1. Дубов Д. Ю. Дипольный момент малого кластера воды. Влияние размера, температуры, электрического поля [Текст] / Д. Ю. Дубов, А. А. Востриков // Письма в ЖЭТФ. – 2010. – Т 92, № 1. – С. 34–39.
2. Dyke T. R. The structure of waterdimer from molecular beam electric resonance spectroscopy [Текст] / T. R. Dyke, K. M., J. S. Mack Muenter // J. Chem. Phys. – 1977. – V. 66, N 2. – P. 498–510.
3. Gregory J. K. The Water Dipole Moment in Water Clusters [Текст] / J. K. Gregory, D. C. Clary, K. Liu, M. G. Brown, R. J. Saykally // Science. – 1997. – V. 275. – P. 814–817.
4. Moro R. Electric dipole moments of water clusters from a beam deflection measurement [Текст] / R. Moro, R. Rabinovich, C. Xia, and V. Kresin // Phys. Rev. Lett. – 2006. – V. 97, N 12. – P. 123401–12341.
5. Коваленко В. Ф. Кластерная природа светорассеяния воды [Текст] / В. Ф. Коваленко, П. Г. Левченко, С. В. Шутов // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2008. – № 5. – С. 36–45.
6. Коваленко В. Ф. Интерференционные эффекты в светорассеянии биологических жидкостей [Текст] / В. Ф. Коваленко, С. В. Шутов, А. Ю. Бордюк // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. – № 8. – С. 71–78.