

09;14

## Оптический эффект вращения плоскости поляризации света в ДНК-содержащих материалах

© Н.В. Каманина<sup>1,2</sup>, А.А. Каманин<sup>3</sup>, С.В. Лихоманова<sup>1</sup><sup>1</sup> АО „ГОИ им. С.И. Вавилова“, Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> Санкт-Петербургский электротехнический университет „ЛЭТИ“, Санкт-Петербург, Россия<sup>3</sup> Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: nvkamanina@mail.ru

Поступило в Редакцию 16 апреля 2018 г.

На примере водных растворов ДНК показано проявление эффекта вращения плоскости поляризации света (в сравнении с рядом красителей). Установлены численные значения угла вращения, существенно превышающие таковые для водных растворов красителей и сахара, традиционно используемых в сахариметрах и поляриметрах. Таким образом, выявлен и подтвержден еще один из оптических эффектов, реализуемых в области биоструктурирования оптических материалов.

DOI: 10.21883/PJTF.2019.03.47263.17333

В течение последних 20–25 лет довольно много научно-технических коллективов уделяло внимание изучению влияния биообъектов, например ДНК, на изменение структурных, проводниковых и химических свойств материалов [1–6]. В частности, изучалась возможность ДНК-структур проявлять свои ориентирующие особенности и выявлять особенности право- и левовращающего агента при рассмотрении жировых клеток, растворов, других матричных систем [7–10].

Однако до сих пор мало внимания уделено сравнительному анализу влияния ДНК на ряд оптических эффектов при изучении биоструктурированных систем, хотя естественно, что оптика эффективно создает основу новых перспективных нано- и биотехнологий.

При этом следует отметить, что биоструктурированные материалы по своим рефрактивным и спектральным параметрам вполне конкурентоспособны (в сравнении с наноструктурированными тонкопленочными, а тем более с объемными неорганическими кристаллами). С использованием схемы Z-сканирования [11] и четырехволнового смещения лазерных пучков [12,13] были зарегистрированы высокие значения нелинейных параметров для систем с ДНК. На примере жидкокристаллических модельных матриц было продемонстрировано, что значения светоиндуцированного изменения показателя преломления, определяющие коэффициенты нелинейной рефракции и кубической нелинейной восприимчивости жидкокристаллических композитов с ДНК, сравнимы с проявляемыми при структурировании органических сопряженных матриц с фуллеренами и квантовыми точками. Дополнительно в работе [14] осуществлено ориентирование эритроцитов и ДНК.

Следует отметить, что изучение оптических эффектов в материалах занимает особое место в современном становлении инновационных технологий. С одной стороны, это связано с тем обстоятельством, что энергия фотона лежит в диапазоне электронных и колебательных

переходов в веществе; следовательно, это позволяет использовать свет, а более конкретно именно лазерное излучение для получения уникальной информации о структурных и динамических свойствах материалов, проявлении новых и подтверждении классических эффектов в них. С другой стороны, существенно расширяется область применения новых разработок. Поэтому проводимое в настоящей работе исследование эффекта вращения плоскости поляризации света при прохождении последнего через системы с введенными биообъектами на основе ДНК в сравнении с традиционно используемыми для этих целей водными растворами сахара [15] одновременно.

Для проведения измерений угла вращения плоскости поляризации света в нано- и биосенсибилизированных органических матрицах была использована разработанная схема, аналогичная применяемой в сахариметрах и поляриметрах. Принцип работы и общая схема, применяемые для осуществления экспериментов по вращению плоскости поляризации света, показаны на рисунке, *a, b*.

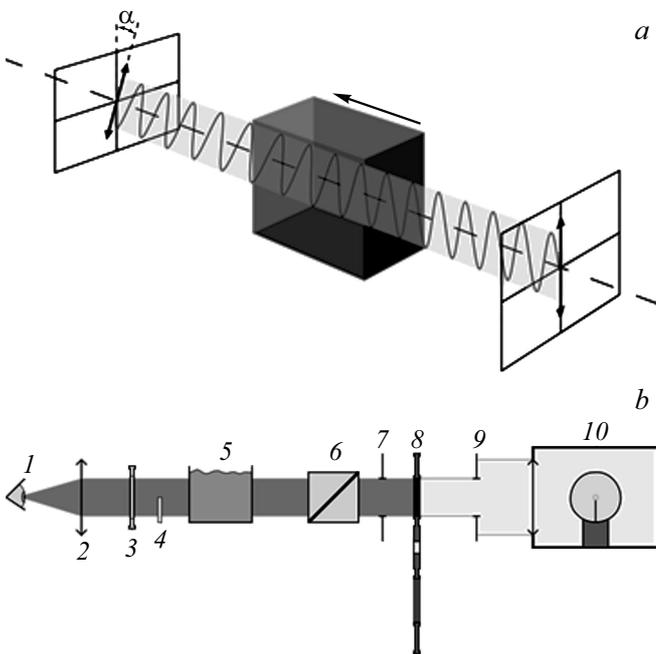
Установка, показанная на рисунке, *b*, позволяет выявить и детально изучить тенденцию замены эффективных нанообъектов нетоксичными природно возобновляемыми биообъектами на примере проявления эффекта вращения плоскости поляризации света.

В таблице представлены данные по измеренным углам вращения плоскости поляризации света. Приведены значения указанного параметра для водных растворов с ДНК, а также для систем с водорастворимыми красителями. Структурные формулы и спектральные характеристики водорастворимых красителей, используемых для сравнения в данном эксперименте, приведены в [16].

В ходе эксперимента наблюдалось, что угол вращения плоскости поляризации света для ДНК-содержащих растворов в несколько раз превышает значение этого параметра, измеренное для других систем. Так, видно, что все изучаемые водные растворы красите-

Углы вращения плоскости поляризации

Образец	Концентрация сенсibilизатора, wt.%	Угол вращения плоскости поляризации света, °	Литературная ссылка
Водный раствор ДНК	0.3	3–3.8	Наст. раб.
Водорастворимый краситель ENS-291	0.1	0.12	[16]
Водорастворимый краситель ENS-295	0.1	0.2	[16]
Водорастворимый краситель ENS-102	0.1	0.25	[16]



Принцип разворота плоскости поляризации светового луча на угол  $\alpha$  при прохождении электромагнитной волны через активную среду (a) и экспериментальная установка для исследования угла вращения плоскости поляризации света в нано- и биоструктурированных материалах (b). 1 — глаз исследователя, 2 — окуляр, 3 — вращаемый поляризатор (анализатор), 4 — вращающая поляризацию пластинка, 5 — исследуемый раствор в кювете, 6 — поляризационная призма, 7, 9 — диафрагмы, 8 — вращаемая карусель с различными фильтрами, 10 — осветитель, в том числе лазер с длиной волны 633 nm.

лей обеспечивают изменение величины угла вращения плоскости поляризации света в диапазоне от 0.12° (краситель ENS-291) до 0.2° (краситель ENS-295) и до 0.25° (краситель ENS-102) при прохождении света через кюветы толщиной 10 mm. Для полноты сравнения необходимо отметить, что для водного раствора сахара с концентрацией 0.05 g/cm<sup>3</sup> было получено значение угла вращения плоскости поляризации света на уровне 0.5° в аналогичных экспериментальных условиях и при

таких же геометрических размерах кварцевой кюветы. Корректирующий аналитический расчет, выполненный для раствора сахара по формуле

$$\alpha = \alpha_{sp}cl, \tag{1}$$

показал соответствие с экспериментальными данными. Здесь  $\alpha_{sp}$  — удельное (specific) вращение плоскости поляризации раствором сахара,  $c$  — концентрация,  $l$  — длина кюветы с раствором сахара.

Естественно, что винтовая структура ДНК-системы существенно влияет на проявление исследуемого оптического эффекта, что требует дальнейших скрупулезных экспериментов.

Кратко изучен эффект вращения плоскости поляризации света в водных растворах ДНК как один из возможных вариантов оптических исследований фундаментальных свойств материи. Показано, что значения угла вращения плоскости поляризации света для систем с ДНК превышают соответствующие значения, полученные при тестировании растворов сахара и водорастворимых красителей. Подчеркнем, что особое внимание уделено, во-первых, выявлению и подтверждению тенденции общей замены нанообъектов (красителей и др.) на биообъекты (ДНК) при сенсibilизации модельных органических систем, поскольку биообъекты являются нетоксичными и легко возобновляемыми (за счет доступности ресурсов Мирового океана) сенсibilизаторами многих органических материалов. Во-вторых, акцент делается также на сравнение измеряемых параметров с таковыми для классических используемых материалов (растворы сахара), осуществляющих оптический эффект вращения плоскости поляризации света.

Авторы благодарны своим коллегам по совместной работе в рамках международного проекта FP7 Program, Marie Curie Action, Project „BIOMOLEC“ (2012–2015 гг.), позволившего активно использовать биообъекты (на примере ДНК) для оптических экспериментов.

Данные настоящей работы обсуждались в рамках семинара в ПИЯФ–Курчатовский институт, Гатчина, Россия (11 октября 2017 г).

## Список литературы

- [1] *Boutorine A.S., Tokuyama H., Takasugi M., Isobe H., Nakamura E., Helene C.* // *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 1994. V. 33. P. 2462–2465.
- [2] *Yamago S., Tokuyama H., Nakamura E., Kikuchi K., Kananishi S., Sueki K., Nakahara H., Enomoto S., Ambe F.* // *Chem. Biol.* 1995. V. 2. P. 385–389.
- [3] *Ikeda A., Hatano T., Kawaguchi M., Suenagab H., Shinkai S.* // *Chem. Commun.* 1999. N 15. P. 1403–1404.
- [4] *Fritz J., Cooper E.B., Gaudet S., Sorger P.K., Manalis S.R.* // *PNAS.* 2002. V. 99. P. 14142–14146.
- [5] *Bae A.-H., Hatano T., Sugiyasu K., Kishida T., Takeuchi M., Shinkai S.* // *Tetrahedron Lett.* 2005. V. 46. P. 3169–3173.
- [6] *Firmino A., Grote J.G., Kajzar F., M'Peke J.-C., Pawlicka A.* // *J. Appl. Phys.* 2011. V. 110. P. 033704 (1–5).
- [7] *Belikov A.V., Smolyanskaya O.A., Protasov V.A.* // *Proc. SPIE.* 2004. V. 5474. P. 96–102. DOI: 10.1117/12.57837
- [8] *Hugel T., Michaelis J., Hetherington C.L., Jardine P.J., Grimes S., Walter J.M., Falk W., Anderson D.L., Bustamante C.* // *PLoS Biol.* 2007. V. 5. N 3. P. e59. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050059>
- [9] *Olesiak J., Matczyszyn K., Mojzisova H., Zielinski M., Chauvat D., Zyss J.* // *Mater. Sci.-Pol.* 2009. V. 27. P. 813–823.
- [10] *Šmidlehner T., Piantanida I., Pescitelli G.* // *Beilstein J. Org. Chem.* 2018. V. 14. P. 84–105. DOI: 10.3762/bjoc.14.5
- [11] *Dancus I., Vlad V.I., Petris A., Rau I., Kajzar F., Meghea A., Tane A.* // *Proc. of SPIE.* 2013. V. 8882. P. 88820D (1–5).
- [12] *Kamanina N.V., Serov S.V., Zubtsova Y.A., Bretonniere Y., Andraud Ch., Baldeck P., Kajzar F.* // *J. Nanotechnol. Diagnosis Treatment.* 2014. V. 2. P. 2–5.
- [13] *Kamanina N.V., Likhomanova S.V., Zubtsova Yu.A., Kamanin A.A., Pawlicka A.* // *J. Nanomater.* 2016. V. 2016. P. 8989250 (1–9).
- [14] *Kamanina N.V., Likhomanova S.V., Kamanin A.A.* // *RAD Conf. Proc.* 2017. V. 2. P. 265–268.
- [15] *Лансберг Г.С.* Оптика. 6-е изд. М.: Физматлит, 2003, 848 с.
- [16] *Каманина Н.В., Зубцова Ю.А., Студёнов В.И., Baldeck P., Bretonniere Y., Andraud Ch.* // *Жидкие кристаллы и их практическое использование.* 2015. Т. 15. № 1. С. 91–94.