

1. *Петербургский, А.В., Смирнов А.П.* Минеральные удобрения. – М.: Росагропромиздат, 1989, 95 с.
2. *Классен, П.В., Гришаев И.Г., Шомин И.П.* Гранулирование. – М.: Химия, 1991, 240 с.
3. *Скоробогатов, В.А.* Минеральные удобрения. Перегрузка на портовых терминалах. Справочное пособие. Эстония - Таллин, 2003, 530 с.
4. *Назаров, В.И., Макаренков Д.А., Баринский Е.А.* Вопросы грануляции органо-минеральных удобрений на основе низинного торфа // Материалы V Международной научной конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности». – Сумгаит, 2004.
5. *В.И. Назаров, Д.А. Макаренков, И.А. Булатов* Исследование процесса гранулирования дисперсных отходов на роторных прессах с плоской матрицей// Вестник МИТХТ. – 2010. – Т.5, №6. – С.13-16.

COMPLEX FERTILIZERS PELLETISING INVESTIGATION VS COMPONENTS PHYSICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES

D. Makarenkov*, V. Nazarov**

**FGUE "IREA", Moscow*

3, Bogorodsky val, Moscow, 107076, Russia

***Moscow state university of engineering ecology*

21/4, Staraya Basmannaya st., Moscow, 105066, Russia

Abstract. Processes of complex fertilizers granulation (pelletising), taking into account physical and chemical and rheological properties of initial components are developed. Recommendations for choice processes of a granulation by pressing and formation methods are made.

Key words: Fertilizers, properties, durability, density, disperse structure, the equipment.

УДК: 541.14-4(043), 535.012

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФОТОХРОМНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ 6-ФЕНОКСИ 5,12-НАФТАЦЕНХИНОНОВ

В.М. Козенков, Н.Т. Соколюк, В.В. Беляев, А.А. Спахов, Г.Д. Тумовский

Московский государственный областной университет

105005, Москва, ул.Радио, д.10а

Аннотация. Исследованы сенситометрические и фотоанизотропные свойства фоточувствительных соединений из класса ФНХ – незамещенного 6- фенокси-5,12-нафтаценхинона (6-Ф-5,12-НХ) в различных полимерных матрицах в режиме однофотонного поглощения активирующего излучения от непрерывных источников света. Описаны условия получения максимальной величины фазовой задержки и двулучепреломления исследованных веществ. Это позволило зарегистрировать

поляризационные голограммы и обеспечить неразрушающее считывание изображений, восстановленных с голограмм.

Ключевые слова: фотохромные материалы, фенокси нафтаценхиноны, однофотонное поглощение света, фазовой задержка, двулучепреломление, запись считывание голограмм.

Введение

В последнее время вновь возрос интерес к органическим фотохромным материалам (ФХМ) как средствам реверсивной оптической памяти [1-6]. Особый интерес вызывает их использование в сочетании с применением нелинейной оптики при создании систем трехмерного хранения информации [7-9]. Нелинейные одно- и двухфотонные режимы записи и стирания, в сочетании с люминесцентным режимом считывания, дают возможность создавать устройства трехмерной оптической памяти с высокой плотностью и объемом хранения информации, в которых последняя может быть локально записана и стерта в объеме ФХМ [10,11]. Люминесцентный режим считывания обеспечивает высокое отношение «сигнал/шум» [12].

Одним из перспективных классов ФХМ для трехмерных носителей информации являются феноксинафтаценхиноны (ФНХ) [13-15], в том числе с оптимизацией двухчастотной записи на основе поляризационной зависимости двухфотонного поглощения [16]. Материалы на основе ФНХ выгодно отличаются от большинства органических ФХМ, например спиропиранов [17,18], длительным временем хранения записанной информации в темноте (многие годы) и высокой цикличностью процесса «запись-считывание-стирание-перезапись» (более 500 циклов) [19]. Синтез и свойства таких веществ описаны в [20].

ФХМ этого типа окрашиваются под действием УФ- и коротковолнового видимого света ($\lambda \approx 420$ нм), а обесцвечиваются излучением в полосе поглощения фотоиндуцированной формы ($\lambda \approx 420 - 520$ нм). При этом светочувствительность к излучению с $\lambda = 441,6$ нм составляет около $1 \text{ см}^2/\text{Дж}$.

Кроме того, они обеспечивают неразрушающее считывание информации при использовании эффекта фотоиндуцированного изменения показателя преломления в области прозрачности фотоиндуцированной формы ФНХ, в частности при регистрации голограмм с максимальной ДЭ до 1% излучением He-Ne лазера [21] и в качестве оптически управляемых транспарантов в когерентно-оптических устройствах обработки изображений [22].

Спектроскопические и фотохромные свойства ФНХ в растворах хорошо изучены [13, 23-32]. В [31] методом сканирующей электронной микроскопии исследованы фотоиндуцированные конформационные преобразования молекул ФНХ в пленках Ленгмюра-Блоджетт, которые могут быть использованы для разработки реверсивной оптической памяти [32].

Синтез и спектральные свойства фотохромных полимеров на основе ФНХ описаны в [20, 33].

В настоящей работе представлены некоторые дополнительные результаты по исследованию сенситометрических и фотоанизотропных свойств одного из наиболее фоточувствительных соединений из класса ФНХ – незамещенного 6- фенокси-5,12-нафтаценхинона (6-Ф-5,12-НХ) в различных полимерных матрицах в режиме однофотонного поглощения активирующего излучения от непрерывных источников света.

1. Эксперимент.

Синтез 6-Ф-5,12-НХ описан в [23]. В качестве полимерной матрицы использовались полиметилметакрилат, сополимеры бутилметакрилата с другими акриловыми мономерами типа метакриламида и акрилонитрила, полистирол, сополимеры стирола с мономерами типа метилстирола, метилметакрилата и акрилонитрила и ряд других полимеров. Пленки толщиной от 5 до 15 мкм получались методом полива из раствора с последующим испарением растворителя. Концентрация 6Ф-5,12-НХ в различных образцах пленок составляла от 2 до 7 вес. %. Установлено, что ФХМ с использованием всех указанных полимеров обладают высокой термоустойчивостью фотоиндуцированной формы и цикличностью. Однако пленки на основе бутилметакрилата с метакриламидом обеспечивали наибольшую фоточувствительность, поэтому в дальнейшем использовались образцы с этой полимерной матрицей. Для сравнения использовались также растворы указанных соединений в толуоле.

Спектры поглощения измерялись на спектрофотометре Specord UV-VIS или модернизированном СФ-14.

Схема экспериментальной установки по исследованию кинетики окрашивания и обесцвечивания пленок ФХМ, а также процессов наведения и темновой релаксации двулучепреломления (ДЛП), формируемого в них под действием поляризованного активирующего излучения приведена в [34-36]. В качестве последнего использовались ртутная или ксеноновая лампы с электрической мощностью 250 и 500 Ватт, соответственно. В качестве зондирующего источника использовалась лампа накаливания с интерференционными фильтрами.

2. Результаты и их обсуждение.

Известно [14, 23, 26, 28], что фотохромизм ФНХ связан с обратимой молекулярной перегруппировкой (фотоизомеризацией) с переходом фенильного ядра к перикислороду, инициированной УФ- или коротковолновым видимым излучением (в обоих направлениях) из возбужденного S1 или (и) T1 или термически (в обратном направлении при температуре плавления ФНХ) (смотри схему на Рис. 1). Прямой и обратный переходы происходят через образование короткоживущего σ -комплекса (2).

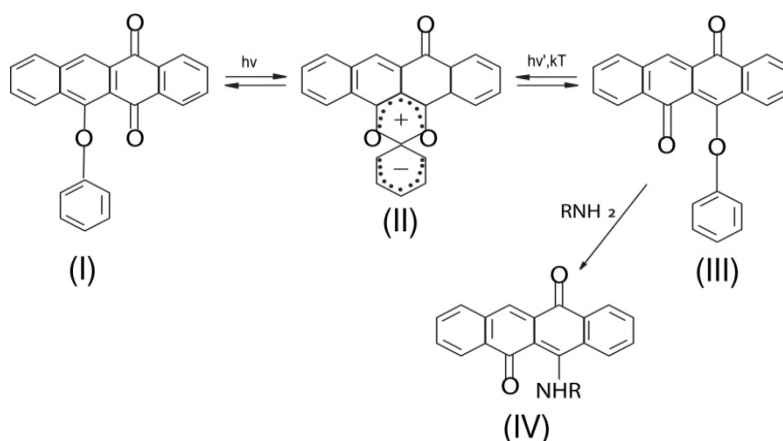


Рис.1. Схематическое представление фотохромного процесса в пленках на основе 6- фенокси-5,12-нафтаценхинона.

Подобные фотоперегруппировки сопровождаются значительными спектральными изменениями и представляют практический интерес. Электронный спектр поглощения исходной формы (1) ФНХ в полимерной матрице состоит из нескольких интенсивных, частично перекрывающихся полос (Рис. 2, кр.0) с $\lambda_{\text{макс}} \approx 400$ нм, практически совпа-

дающим с $\lambda_{\text{макс}}$ поглощения раствора ФНХ в толуоле [23]. Значения молярных коэффициентов поглощения ФНХ (1) в полимерной пленке и в толуольном растворе также близки.

При облучении исходной формы (1) УФ- и (или) коротковолновым видимым излучением появляется полоса поглощения в видимой области спектра, обусловленная фотоиндуцированной формой (3) с ярко выраженной колебательной структурой и с максимумами при 425, 450 и 480 нм. Наличие изобестических точек при длинах волн 408, 364 и 343 (Рис. 2, кр. 1-6) свидетельствует об отсутствии каких-либо побочных деструктивных фотохимических процессов, кроме обратимой фотоизомеризации.

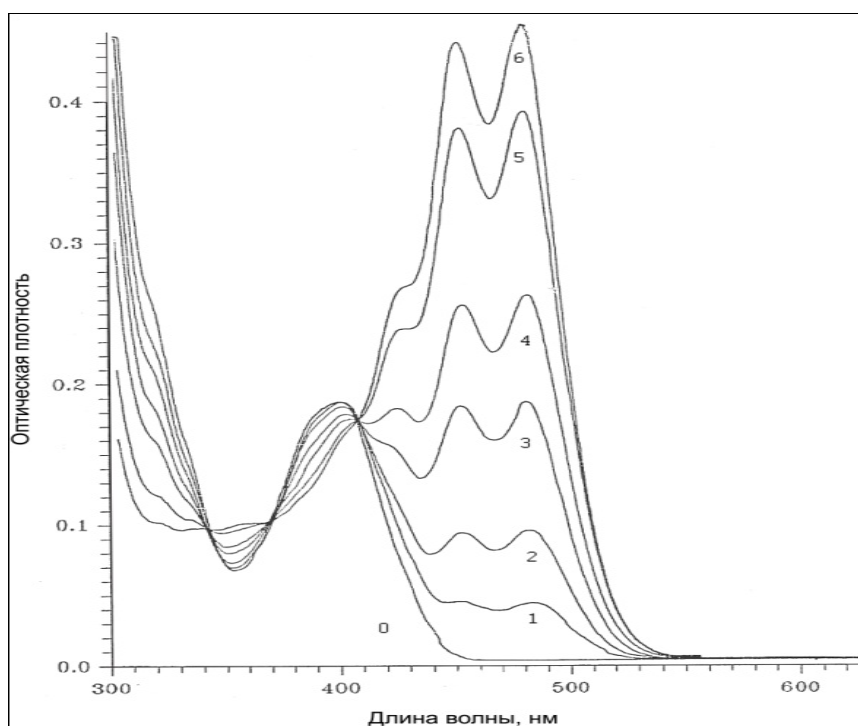


Рис.2. Спектры поглощения 6-Ф-5,12-НХ в толуоле:
 0-исходный раствор с преобладанием *para* – хиноидной структуры (1);
 1-6- после облучения через интерференционный светофильтр
 с максимумом пропускания 400 нм ($P_{\text{обл}}=0,33 \text{ мВт/см}^2$).
 Времена облучения: 15; 45; 105; 240; 480; и 980 с, соответственно.

В области менее 450 нм полосы поглощения формы (1) и (3) перекрываются и под действием излучения такого спектрального состава одновременно протекают прямая и обратная фотохимические реакции [19]. Это приводит к зависимости степени окрашивания ФХМ от длины волны активации. На Рис. 3 приведены типичные кривые окрашивания (кр. 1 и 3) и обесцвечивания (кр. 2 и 4) пленки ФНХ в зависимости от длины волны активирующего излучения, измеренные при $\lambda = 441 \text{ нм}$.

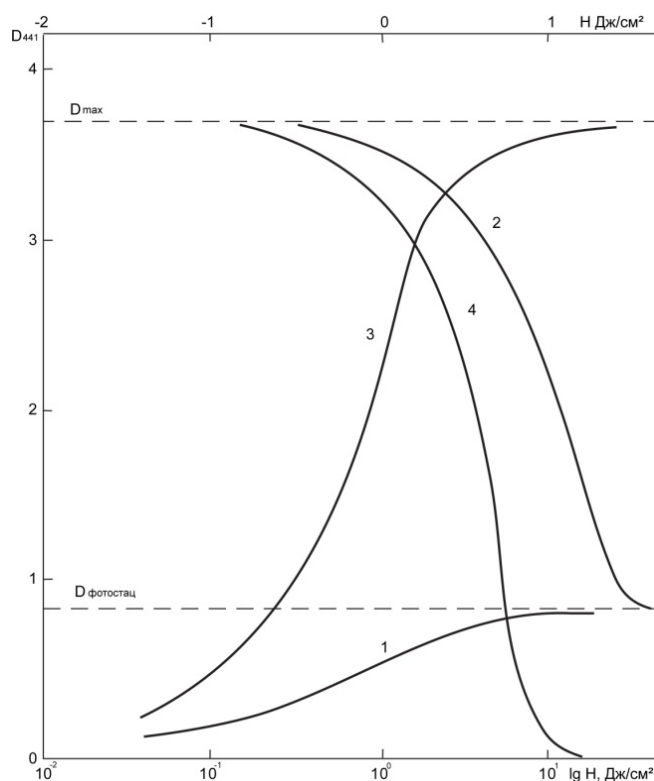


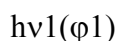
Рис.3. Характерные кривые окрашивания (1,3) и обесцвечивания (2,4)

6-Ф-5,12-НХ на длинах волн облучения:

- 1- $\lambda_{\text{обл}} = 441,2 \text{ нм}$ ($P_{\text{обл}} = 1,5 \text{ мВт/см}^2$),
- 2- $\lambda_{\text{обл}} = 441,2 \text{ нм}$ ($P_{\text{обл}} = 1,5 \text{ мВт/см}^2$),
- 3- $\lambda_{\text{обл}} = 320\text{-}410 \text{ нм}$ (лампа ДРШ-250+светофильтр ФС-7;
 $P_{\text{обл}} = 10 \text{ мВт/см}^2$), $\lambda_{\text{обл}} = 441,2 \text{ нм}$ ($P_{\text{обл}} = 1,5 \text{ мВт/см}^2$),
- 4- $\lambda_{\text{обл}} = 480 \text{ нм}$ ($P_{\text{обл}} = 1,0 \text{ мВт/см}^2$).

Видно, что независимо от начального состояния ФХМ при длительном облучении материал достигает фотостационарного состояния, определяемого только спектральным составом активирующего излучения. Это состояние не зависит от температуры. Так, например, при фотоактивации ФХМ излучением с длиной волны 365 нм наряду с превращением исходной формы (1) в фотоиндуцированную форму (3) осуществляется и обратный процесс, в результате которого устанавливается некоторое фотостационарное состояние. Дополнительное облучение ФХМ излучением с длиной волны 313 нм переводит к установлению нового фотостационарного состояния с более высокой оптической плотностью, а последующее облучение тем же излучением с длиной волны 365 нм возвращает фотоиндуцированную оптическую плотность до предыдущего уровня.

Таким образом, полную схему фотохромных превращений ФНХ в полимерной матрице и в растворе толуола при использовании активирующего излучения с $\lambda = 365 \text{ нм}$ и дезактивирующего видимого света можно записать в следующем виде:



пара-хиноидная структура (1) \longleftrightarrow ана-хиноидная структура (3)

$h\nu_1(\varphi_3), h\nu_1(\varphi_1)$

Используя ранее найденные в [25] значения коэффициентов экстинкции ФНХ в толуоле ($\varepsilon_1(400)=6 \cdot 10^3$; $\varepsilon_1(365)=3,4 \cdot 10^3$ и $\varepsilon_3(480)=1,7 \cdot 10^4$ л/моль*см) и учитывая, что длина волны активирующего излучения с $\lambda=365$ нм совпадает с изобестической точкой, определили по известной методике [37] определены квантовые выходы прямой (φ_1) и обратной (φ_1') фотореакций на длине волны 365 нм. Они оказались равными 0,3 и 0,05 соответственно. Согласно оценкам, квантовые выходы формы (1) под действием как УФ-, так и видимого излучения являются сравнимыми. Отсюда следует, что эффективность окрашивания ФНХ под действием света с $\lambda=365$ нм несколько ниже, чем для $\lambda=313$ нм, но она на порядок выше эффективности фотообесцвечивания.

При переходе от раствора в толуоле к твердым полимерным растворам, как оказалось, величины квантовых выходов практически не меняются. Следовательно, можно полагать, что вязкость использованных полимерных связующих не оказывает существенного влияния на эффективность фотохромных превращений ФНХ. Независимо от природы полимерной матрицы светочувствительность ФХМ на основе ФНХ к излучению с $\lambda=365$ нм составляла не менее $10 \text{ см}^2/\text{Дж}$, а к видимому свету $\sim 1 \text{ см}^2/\text{Дж}$. Эти значения приведены для фотоиндуцированного изменения оптической плотности при $\lambda=400 \text{ нм}$ $\Delta D=1,0$ [19]

Константа скорости реакции темного обесцвечивания кт 6-Ф-5-12-НХ как в растворе, так и в полимерной матрице равна порядка 10^{-8} с^{-1} , а энергия активации этого процесса составляет 30 ± 3 ккал/моль [19]. Это означает, что время жизни фотоиндуцированной формы в темновых условиях составляет многие годы. Вместе с тем, записанная информация подвержена деструктивному считыванию в полосе поглощения формы (3). Этот недостаток устраняется либо путем использования эффекта фотоиндуцированного ДЛП в области прозрачности ФНХ [20], либо путем необратимой фиксации информации, записанной в слое на основе ФНХ.

В [23] показано, что форма (3) ФНХ легко вступает с аминами в реакцию нуклеофильного замещения феноксольной группы на аминогруппу уже при комнатной температуре с образованием фотохимически устойчивого амино-ана-хинона (4) (Рис.2). Форма (1) в этих условиях с аминами не взаимодействует.

Аналогичные реакции имеют место и в твердых полимерных пленках с ФНХ [38]. При этом фиксация информации основана на взаимодействии аминов с фотоиндуцированной формой ФНХ и способности непрореагировавших молекул амина улетучиваться из пленки при ее прогреве до температуры $70-110^\circ\text{C}$ в течение 5-20 мин. В качестве аминов могут быть использованы ароматические амины типа *n*-броманилин, *o*-фенилендиамин, *n*-анизидин и другие. Введение в пленку аминов можно избежать, если использовать в качестве полимерной матрицы сополимер бутилметакрилата с метакриламидом. Прогрев пленки продолжается при этом несколько часов [37].

Такая обработка способствует повышению цветового контраста записанной информации и ее сохранности при считывании в лучах видимого света, а также обеспечения цветового разделения записанной и вновь записываемой информации.

Для ФХМ этого типа обнаружено также, что облучение их поляризованным излучением приводит к обратимой ФИА (ДХ и ДЛП), которая, как нам представляется, обусловлена эффектом Вейгера и ориентационным фотодихроизмом.

В качестве примера на Рис.4 приведена кинетика наведения ДЛП поляризованным излучением с $\lambda_{акт} = 365$ нм в образце ФПП-132 (пленка сополимера бутилметакрилата с метакриламидом, толщиной 15 ± 1 мкм, содержащей 4 вес. % 6-Ф-5,12-НХ). Измерения проводились в скрещенных поляризаторах на $\lambda_{зонд} = 632.8$ нм при различных ориентациях активирующего излучения относительно поляризаторов.

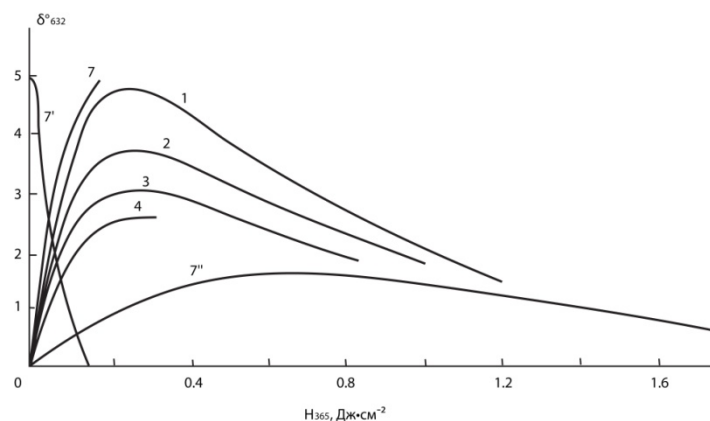


Рис. 4. Кинетика наведения (кр.1-7) и стирания (кр.7') ДЛП в образце ФПП-132 УФ излучением с $\lambda=365$ нм при ориентации скрещенных поляризаторов относительно поляризации активирующего излучения под углами θ° : 1- $+45^\circ$; 2 - $+22,5^\circ$; 3- $-67,5^\circ$; 4- $-22,5^\circ$; 5- 0° ; 6- 90° ; 7- $+45^\circ$; 7' - $+45^\circ$ (в той же точке); 7'' - $+45^\circ$ (второй цикл).

Наблюдалась типичная для ФХМ кинетическая зависимость, причем максимальная величина фазовой задержки δ_{632} достигала значения около 5° , что соответствует величине ДЛП $\Delta n_{632} \sim 6 \cdot 10^{-4}$. Это свойство ФХМ на основе ФНХ позволило зарегистрировать поляризационные голограммы и обеспечить неразрушающее считывание изображений, восстановленных с голограмм [21].

ЛИТЕРАТУРА

1. Photo-reactive materials for ultrahigh density optical memory, ed. M. Irie. Amsterdam: Elsevier, 1994.
2. Tsujioka T., Irie M., *Jpn. J. Appl. Phys.* // 1999. V.38. P.4100.
3. Sekkat Z., Knoll W. Photoreactive organic thin films. – Amsterdam. Boston: Academic Press, 2002.
4. Crano J.C., Guglielmetti R.J. Organic Photochromic and Thermochromic Compounds: Physicochemical studies, biological applications, and thermochromism. – Springer, 1999. 473 p.
5. Bouas-Laurent H. Photochromism: molecules and systems. – Gulf Professional Publishing, 2003. 1044 p.

6. *Feringa B.L., Browne W.R.* Molecular Switches. – John Wiley & Sons, 2011. 824 p.
7. *Hunter S., Kiamilev F., Esener S., Parthenopoulos D. A., Rentzepis P. M.* // *Appl. Opt.* 1990. V.29. P. 2058.
8. *Akimov D. A., Fedotov A. B., Koroteev N. I., Magnitskii S. A., Naumov A. N., Sidorov-Biryukov D. A., Zheltikov A. M.* // *Jpn. J. Appl. Phys.* 1997. V.36. P.426.
9. *A. Toriumi, J. M. Herrmann, S. Kawata,* *Opt. Lett.,* 22, 555 (1997).
10. *H. E. Pudavar, M. P. Joshi, P. N. Prasad, B. A. Reinhardt,* *Appl. Phys. Lett.,* 74, 1338 (1999).
11. *T. Takahashi, T. Taniguchi, K. Umetani, H. Yokouchi, M. Hashimoto, T. Kano* // *Jpn. J. Appl. Phys.,* 24, 173 (1998).
12. *N. Tsujioka, M. Irie,* *Appl. Opt.,* 37, 4419 (1998).
13. *N.I. Koroteev, S. A. Magnitskii, V. V. Schubin, N. T. Sokolyuk,* Photochemical and spectroscopic properties of naphthacenequinones as candidates for 3D optical data storage, *Jpn. J. Appl. Phys.,* 36, 424 (1997).
14. *A. El'tsov. A. Ponyaev, E. Zakhs, D. Klemm, E. Klemm,* Photochromic peri-aryloxy-p-quinone // in: *Organic photochromes, Consultants Bureau: New York* (1990), p. 210.
15. *V. A. Barachevsky,* Photochromic quinines // in *Organic photochromic and thermochromic compounds, vol. 1,* edited by J. C. Crano and R. Gulielmetti, Plenum Press, New York, 1999, p. 267-314.
16. *Д. А. Акимов, А. М. Желтиков, Н. И. Коротеев, С. А. Магницкий, А. Н. Наумов, Д. А. Сидоров-Бирюков, А. Б. Федотов,* Оптимизация двухчастотной оптической записи информации в фотохромных материалах на основе поляризационной зависимости сечения двухфотонного поглощения, *КЭ,* 23, 871 (1996).
17. *R. C. Bertelson,* Spiropyrans, // in *Organic photochromic and thermochromic compounds, vol. 1,* edited by J. C. Crano and R. Gulielmetti, Plenum Press, New York, 1999, p. 11-84.
18. *S. Maeda,* Spirooxazines, *ibid,* p. 85-111.
19. *А.А.Паришуткин, П. П. Кисилица, Ю. Е. Герасименко, Н. Т. Потелещенко, В. В. Романов, В. М. Козенков, В. В. Белов, Н. И. Болондаева, В. А. Барачевский,* «Фотохромные материалы на основе 6-фенокси-5,12-нафтаценхинона и его производных», // III Всесоюзная конференция по бессеребряным и необычным фотографическим процессам, Вильнюс, тезисы докладов, 163 (1980).
20. *Громов С. П.* Фотохромные свойства органических молекул. Учебное пособие. Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова. 2008. 50 с.
21. *В. В. Белов, В. А. Барачевский, Н. И. Болондаева, В. М. Козенков, Н. Т. Потелещенко, А. А. Ястребов, П. П. Кисилица,* // В сб.: II Всес. Конфер. по голографии, тез. докл., ч. 1, с. 50 (1975).
22. *Н. Н. Машталир, В. М. Козенков, В. А. Барачевский, А. А. Паришуткин, Е. Г. Катышев, П. П. Кисилица, Н. Т. Соколюк,* Исследование фотографических свойств фотохромных материалов на основе 6-фенокси-5,12-нафтаценхинона, Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции «Бессеребряные и необычные фотографические процессы» том II. Фотохимические процессы регистрации информации. Полупроводниковая фотография. Черноголовка, 139 (1984).
23. *Ю. Е. Герасименко, Н. Т. Потелещенко,* Фотоизомеризация 6-фенокси-5,12-нафтаценхинона, *ЖОХ,* 7, 2413 (1971).

24. В. Н. Костылев, Б. Е. Зайцев, В. А. Барачевский, Н. Т. Потелещенко, Ю. Е. Герасименко, Н. Т. Потелещенко, *Опт. и Спектр.*, 30, 86 (1977).
25. Ю. Е. Герасименко, А. А. Париуткин, Н. Т. Потелещенко, В. П. Потелещенко, В. В. Романов, *Фотохромизм пери-арилокси-п-хинонов. Определение молярных коэффициентов поглощения 6-фенокси-5,11-нафтаценхинонов*, ЖПС, 30, 954 (1979).
26. Ю. П. Строкач, В. А. Барачевский, Н. Т. Соколюк, Ю. Е. Герасименко, *Механизм фотоизомеризации феноксинафтаценхинонов в растворах при лазерном фотовозбуждении*, ХФ, 6, 320 (1987).
27. Р. Н. Нурмухаметов, Г. Н. Родионова, В. В. Романов, Н. Т. Потелещенко, Ю. Е. Герасименко, *Электронные спектры и строение изомерных 5,12- и 5,11- нафтаценхинонов*. ЖПС, XXX, 856 (1979).
28. Y. Yokoyma, S.-Y. Fukui, Y. Yokoyma, *Photochromic properties of thermally irreversible 6-aryloxy-5,12-naphthacenequinones*, Chem. Lett., 355 (1996).
29. И. Л. Белайц, Н. Т. Соколюк, А. А. Париуткин, Л. П. Самсонова, Ю. Е. Герасименко, *Спектрально-люминесцентные свойства и относительное расположение низших $\pi\pi^*$ и $\pi\pi^*$ - уровней молекул фотоизомерных форм фотохромных нафтаценхинонов*, ЖФХ, LX, 640 (1986).
30. В. Т. Грачев, В. Ф. Игнатов, В. П. Зволинский, Н. Т. Соколюк, *Электронная структура и фотохромизм 6-фенокси-5,12- и 5-фенокси-6-12-нафтаценхинонов // 1 Конференция научно-учебного центра физико-химических методов исследования*, Москва, 12-14 января, 1988, с. 48
31. A. I. Oreshkin, V. I. Panov, S. I. Vasil'ev, *Direct STM observation of electronic structure modification of naphthacenequinone molecules due to photoisomerization*, JETP Lett., 68, 521 (1998).
32. Г. К. Чудинова, Е. А. Денисова, В. А. Барачевский, Н. Т. Соколюк, Е. В. Белгородцева, Л. П. Писулина, *Фотохромные полимолекулярные пленки на основе феноксинафтаценхинонов*, ЖНИПФиК, 39, 33 (1994)
33. F. Buchholtz, A. Zelichenor, V. Krongauz, *Synthesis of new photochromic polymers based on phenoxynaphthacenequinone*, Macromolecules, 26, 906 (1993).
34. Я. С. Джанг, В. М. Козенков, С. А. Магницкий, Н. М. Нагорский, *Фотохромные и фотоанизотропные свойства азокрасителя AD-1 в различных агрегатных состояниях // Квантовая электроника*, т.36, №11, с.1056-1057 (2006).
35. Джанг Я.С., Козенков В.М., Магницкий С.А., Нагорский Н.М. *Фотохромные и фотоанизотропные свойства азокрасителя AD-1 в различных агрегатных состояниях*. Препринт №12, Физический факультет МГУ, с.1-43 (2006).
36. Dubrovkin A.M., Jung Y., Kozenkov V.M., Magnitskiy S.A., Nagorskiy N.M. *Nonlinear induced polarization dependent scattering in solid state azo-dye films*. Laser Phys. Letters., 1-4/DOI10.1002/lapl.200610114 (2006).
37. А.А.Париуткин, В. П. Базов, и др., *ХВЭ*, 4, 169 (1970)
38. SU 1 668 963 В. М. Козенков, Н. Т. Соколюк, Т. П. Голубцова, Е. Г. Катышев, П. П. Кисилица, Г. Д. Козенкова, Н. Е. Минченко, *Способ фотографической записи информации*, (07. 08. 1991).

**OPTICAL PROPERTIES OF 6-PHENOXY 5,12-NAPHTACENEQUINONE
PHOTOCHROMIC MATERIALS**

V. Kozenkov, N. Sokolyuk, V. Belyaev, A. Spakhov, G. Tumovskii

*Moscow Region State University
10a, Radio st., Moscow, 105005, Russia*

Abstract. Both sensitometric and photoanisotropic properties of photosensitive 6-phenoxy 5,12-naphthacenequinone (6-Ph-5,12-NQ or PNQ) substances in different polymeric matrices have been investigated in a single-photon mode of light sources continuous activating radiation. Maximum phase retard and birefringence value realization conditions are described. The effect allows polarization holograms recording as well as non-destructive reading-out of reconstructed images.

Key words: photochromic substances, phenoxy naphthacenequinone derivatives, single-photon mode, phase retard, birefringence, holographic recording and reading-out.

УДК: 530.145:530.12;537.8:530.145

ЛОКАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КИРАЛЬНЫХ ФЕРМИОНОВ СО ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИЦЕЙ В ДИСКРЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ-ВРЕМЕНИ

Н.В. Зверев

*Московский государственный областной университет
105005, Москва, ул.Радио, д.10а*

Аннотация. Рассмотрена локальная модель киральных фермионов со вспомогательной частицей в дискретном пространстве-времени в двух внешних полях: однородном и неоднородном. Показано, что при определённом соотношении для массы вспомогательной частицы данная модель согласуется с непрерывной теорией.

Ключевые слова: киральные фермионы, решётка пространства-времени, локальные модели.

1. Введение

Модели киральных фермионов, характеристики которых не инвариантны относительно операции изменения знака всех пространственных координат, используют для изучения элементарных частиц нейтрино [1]. Для расчётов физических характеристик этих частиц во всей области их параметров рассматривают модели фермионов в дискретном пространстве-времени (на решётке) [2].

Но прямая замена непрерывных производных на локальные дискретные приводит к несогласию дискретной и непрерывной моделей киральных фермионов в случае бесконечного дискретного пространства-времени [3]. Для устранения этого несогласия в таком пространстве-времени предложено добавить вспомогательные нефизические частицы [4]. Однако исследования моделей в конечном дискретном пространстве-времени (на конечной решётке) выполнены не были.