

## Нелинейно-оптические характеристики и оптическое ограничение в растворах поливинилпирролидона, допированного кобальтом

© Р.А. Ганеев,<sup>1</sup> А.И. Ряснянский,<sup>2</sup> М.К. Кодиров,<sup>2</sup> Ш.Р. Камалов,<sup>1</sup> В.А. Ли,<sup>3</sup> Р.И. Тугушев,<sup>1</sup> Т. Усманов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-производственное объединение „Академприбор“,  
700143 Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Самаркандский государственный университет им. А. Навои,  
703004 Самарканд, Республика Узбекистан

<sup>3</sup>Институт физики и химии полимеров АН Республики Узбекистан,  
700128 Ташкент, Республика Узбекистан  
e-mail: ryasn2000@yahoo.com

(Поступило в Редакцию 13 августа 2001 г. В окончательной редакции 1 марта 2002 г.)

Представлены результаты исследования нелинейно-оптических характеристик (нелинейные показатели преломления, коэффициенты нелинейного поглощения) растворов полимера поливинилпирролидона, допированного различной концентрацией кобальта, на длине волны генерации пикосекундного Nd:YAG лазера и его второй гармоники ( $\lambda = 1064$  и  $532$  nm,  $\tau = 35$  ps), а также процесса оптического ограничения в этих растворах. Исследования нелинейного поглощения показали отсутствие последнего в инфракрасной области спектра, в то время как для видимого диапазона нелинейное поглощение играло существенную роль. Эксперименты по оптическому ограничению показали, что данный процесс происходил в результате дефокусировки на длине волны  $1064$  nm и в результате двухфотонного поглощения с частичным влиянием обратного насыщенного поглощения и дефокусировки на длине волн  $532$  nm. Приведены результаты измерения нелинейно-оптических характеристик исследованных металлокомплексов полимеров.

### Введение

Исследования нелинейно-оптических свойств материалов связаны с поиском сред для их использования в оптоэлектронике в качестве элементов, ограничивающих интенсивное излучение, а также для преобразования частоты лазерного излучения. В кругу исследованных в этом направлении материалов в последнее время значительное внимание стало уделяться исследованию полимеров. Здесь следует отметить интерес, проявляемый к полимерам с сопряженными  $\pi$ -связями (в частности, соединения полифинилениллина и поливинилпирролидона), обусловленный наличием делокализованного электрона. Последнее ведет к увеличению дипольных моментов ряда переходов и соответственно к росту нелинейно-оптического отклика. Зависимость оптического поглощения в пленках подобных материалов имеет нелинейный характер, демонстрируя значительные отклонения от закона Ламберта. Целью подобных исследований является поиск материалов, обладающих ярко выраженными нелинейными свойствами (в плане оптического ограничения) и в то же время способных выдерживать пиковые и средние мощности лазерного излучения. Ранее было показано, что нелинейные восприимчивости ряда молекул органических соединений с сопряженными двойными связями сравнимы с резонансными нелинейными восприимчивостями атомов [1,2]. Отметим, что делокализация  $\pi$ -электронов в фуллеренах ( $C_{60}$ ) также является причиной большой нелинейной восприимчивости последних, наблюдавшейся как в процессах генерации гармоник [3–5], так и в процессах обращения волнового фронта [6].

В свою очередь систематические исследования органо-металлических молекул, содержащих такие металлы, как рутений, золото, никель, а также ряд металлических кластеров, обусловлен тем, что подобные молекулы обладают высокими нелинейностями второго и третьего порядков. Некоторые из подобных структур обладают обратным насыщенным поглощением (ОНП), что также делает их привлекательными с точки зрения использования в качестве оптических ограничителей. Внедрение металлов в структуру полимеров ведет к изменению как оптических, так и нелинейно-оптических характеристик [7,8]. В [7] были исследованы металлокомплексы полимеров на предмет оптического переключения, а также оптического ограничения в поле наносекундных импульсов. В [8] исследованы порфириновые полимеры, допированные цинком, на предмет оптического ограничения. Показаны значительные ограничивающие свойства последних на длине волны  $532$  nm для лазерных импульсов длительностью  $\tau = 500$  ps. Отметим, что исследования процессов оптического ограничения в полимерных металлокомплексах проводились в основном в видимом диапазоне спектра.

Ниже приведены результаты исследования оптического ограничения в растворах поливинилпирролидона (ПВП), допированного различными концентрациями кобальта, с использованием инфракрасного излучения пикосекундной длительности ( $\lambda = 1064$  nm). Полученные результаты сравниваются со случаем использования данных металлокомплексов в качестве оптических ограничителей в видимом диапазоне ( $\lambda = 532$  nm). Приводятся результаты измерения нелинейно-оптических характеристик данного полимера (нелинейные показатели преломления, керровские восприимчивости, коэффициенты

нелинейного поглощения) для случая различных концентраций кобальта в исследуемом растворе полимера.

## Схема и методика эксперимента

ПВП в отсутствие растворителя обладает привлекательным свойством — возможность инъекции в подобную структуру различных молекул и атомов без заметных потерь его хороших оптических свойств (в частности, малого рассеяния). Отметим, что ПВП может служить также в качестве стабилизирующего реагента для наноструктур типа металлокластеров, что делает данный полимер привлекательным также с точки зрения создания стабильных суспензий, используемых в нелинейно-оптических исследованиях [9]. В то же время тепловой отклик подобного соединения (в случае импульсов большой длительности — наносекундного и микросекундного излучения) может обуславливать ряд эффектов, которые неадекватно могут влиять на его нелинейно-оптические характеристики. В частности, возникновение при этом напряжения в матрице полимера обусловлено появлением границы между холодными и горячими областями. Показатель преломления будет изменяться в этом случае как вследствие изменения плотности среды, так и за счет двулучепреломления, обусловленного напряжениями в зоне взаимодействия лазерного излучения с полимером (эластооптический эффект). Использование подобных органометаллических структур в растворенной фазе устраняет влияние последнего эффекта и позволяет учитывать лишь тепловые эффекты вследствие расширения среды (для длинных импульсов) и высокочастотный эффект Керра (в случае коротких импульсов).

В качестве исследуемых образцов использовались водные растворы ПВП, допированные различной концентрацией кобальта (2, 5.3, 6.2 и 13.5%). 1 г полимера растворялся в 100 мл дистиллированной воды при комнатной температуре. После растворения раствор приобретал характерную красную окраску. Спектральные характеристики ПВП проводились на спектрофотометре СФ-26. На рис. 1 приведены спектры поглощения растворов органометаллических полимеров ПВП с различными концентрациями кобальта вблизи резонансной линии (525 nm).

Исследования нелинейно-оптических характеристик растворов проводились на длинах волн  $\lambda = 1064$  и  $532$  nm с помощью стандартной Z-scan-методики [10]. Схема экспериментов была аналогична описанной в [11]. В экспериментах использовался Nd:YAG лазер, генерирующий пучок пикосекундных импульсов. Одиночный импульс ( $t = 35$  ps,  $E = 2$  mJ), выделенный из пучка, фокусировался линзой (1) с фокусным расстоянием 25 см (рис. 2). Размер перетяжек в фокусе был соответственно 150 и 100  $\mu$ m для излучения первой и второй гармоник. При этом максимальная интенсивность излучения ( $\lambda = 1064$  nm) достигала  $8 \cdot 10^{11}$  W  $\cdot$  cm $^{-2}$ . Энергия излучения отдельных лазерных импульсов измерялась

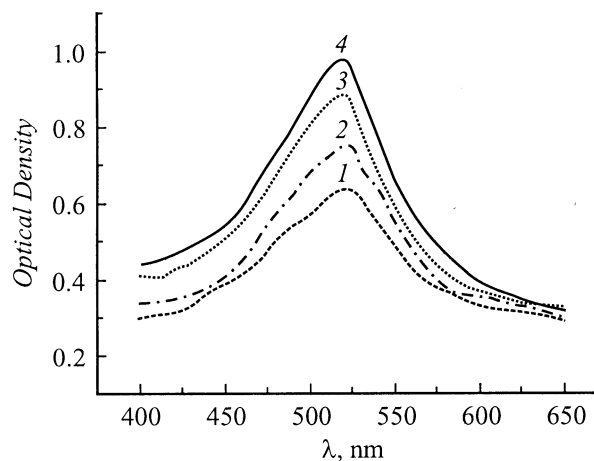


Рис. 1. Спектры поглощения водного раствора ПВП с различным содержанием кобальта, %: 1 — 2, 2 — 5.3, 3 — 6.2, 4 — 13.5.

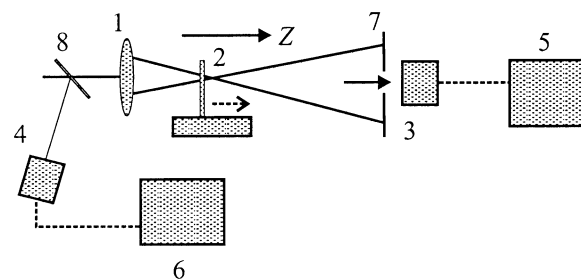


Рис. 2. Схема экспериментальной установки по Z-сканированию. 1 — фокусирующая линза; 2 — кварцевые кюветы с раствором органометаллического полимера; 3, 4 — фотодиоды ФД24К; 5, 6 — цифровые вольтметры В4-17; 7 — ограничивающая диафрагма; 8 — отражающая пластина.

калиброванным фотодиодом ФД-24К (4) и регистрировалась цифровым вольтметром В4-17 (5). Для изменения энергии лазерного излучения использовались калиброванные нейтральные фильтры. Кварцевые кюветы (2) толщиной 1 mm с полимерами перемещались с помощью столика с микроперемещениями (8) вдоль оптической оси Z, проходя через область фокусировки.

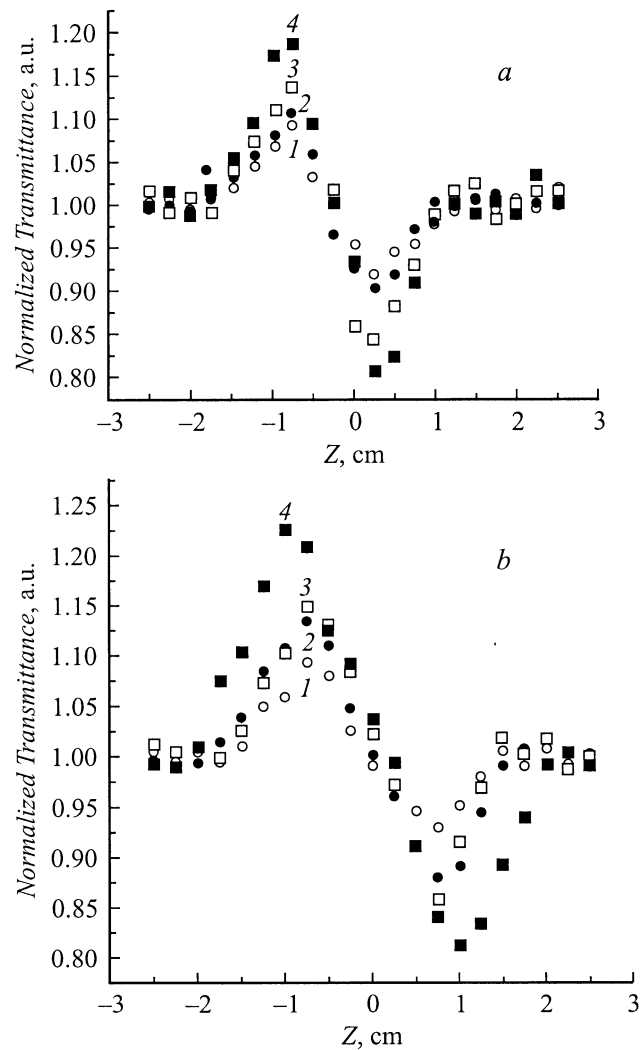
На расстоянии 150 см от зоны фокусировки устанавливалась диафрагма  $\varnothing 1$  mm (схема с ограничивающей диафрагмой), пропускавшая  $\sim 1\%$  лазерного излучения. За диафрагмой помещался фотодиод (3) ФД-24К, сигнал с которого поступал в цифровой вольтметр (6) В4-17. Для устранения влияния нестабильности выходных энергетических параметров лазеров на результаты измерения излучения, регистрируемое фотодиодом (3), нормировалось на величину излучения, регистрируемого вторым фотодиодом (4). Схема с ограничивающей диафрагмой позволяла определять как знак, так и величину нелинейного показателя преломления ( $n_2$ ) растворов органометаллических полимеров, а также их керровские нелинейные восприимчивости ( $\chi^{(3)}$ ). Для определения величины коэффициента нелинейного поглощения ( $\beta$ )

диафрагма (7) убиралась и измерялась зависимость пропускания исследуемого раствора от положения кюветы относительно точки фокусировки излучения (т.е. схема с открытой диафрагмой). Для определения зависимости пропускания исследуемых образцов от интенсивности лазерного излучения детектор располагался на таком расстоянии от кюветы, которое позволяло регистрировать все излучение, прошедшее через нее. Таким образом, уменьшение пропускания кюветы с растворами, измеренное в схеме с открытой диафрагмой, было обусловлено нелинейным поглощением в органометаллическом полимере. В экспериментах большое внимание уделялось предотвращению оптического пробоя в среде. Интенсивности оптического пробоя исследованных полимерных структур на длинах волн первой и второй гармоник были определены соответственно  $4 \cdot 10^{11}$  и  $10^{11} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ , рабочие же интенсивности не превышали соответственно  $8 \cdot 10^{10}$  и  $10^{10} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ .

## Результаты экспериментов и обсуждение

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований нелинейно-оптических свойств ПВП полимеров, допированного кобальтом, методом  $Z$ -сканирования, а также процессом оптического ограничения. На рис. 3, *a* представлен ряд кривых нормализованного пропускания исследованных органометаллических полимеров, соответствующих различной концентрации кобальта на длине волны 1064 nm. Каждая точка на графиках соответствует усреднению по 5 измерениям. Аналогичная серия экспериментов была проведена и на длине волны 532 nm (рис. 3, *b*). Данные зависимости были получены при различных интенсивностях излучения: с  $\lambda = 1064 \text{ nm}$  ( $I_0 = 4 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) и с  $\lambda = 532 \text{ nm}$  ( $I_0 = 3 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ). Характерной особенностью  $Z$ -сканирования является то, что из подобных зависимостей можно сразу же сделать вывод о знаке нелинейного показателя преломления и характере нелинейного процесса (в данном случае — отрицательный знак, соответствующая самодефокусировка). Отметим постоянство знака и концентрационной зависимости нелинейностей на двух рассматриваемых длинах волн. Из приведенных результатов видно заметное увеличение зависимости  $T(Z)$  с ростом концентрации кобальта. Данное обстоятельство, по-видимому, связано с усилением дефокусирующего воздействия при увеличении концентрации  $\text{Co}$ . Исследование кюветы с чистой водой, а также с чистым ПВП (без примеси кобальта) не показало характерной нелинейной зависимости  $T(Z)$ .

Мы пренебрегали влиянием тепловой линзы на рассматриваемый процесс. Как известно, тепловой эффект в среде возникает в результате распространения упругой волны и время, за которое устанавливается стационарное распределение плотности, по порядку величины определяется отношением радиуса поперечного сечения

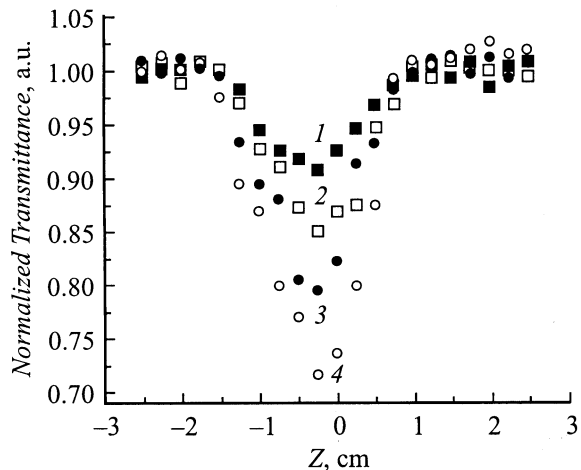


**Рис. 3.** Нормализованное пропускание как функция положения кювет с различным содержанием кобальта в полимере в схеме с ограничивающей диафрагмой.  $\lambda, \text{nm}$ : *a* — 1064 ( $I_0 = 4 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), *b* — 532 ( $I_0 = 3 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ). Содержание  $\text{Co}$ , %: 1 — 2, 2 — 5.3, 3 — 6.2, 4 — 13.5

пучка ( $d$ ) к скорости звука в диэлектрике ( $v_{\text{sound}}$ )

$$\tau = \frac{d}{v_{\text{sound}}}. \quad (1)$$

Учитывая наши экспериментальные условия ( $d = 75 \mu\text{m}$  для первой и  $50 \mu\text{m}$  для второй гармоники,  $v_{\text{sound}} = 1500 \text{ m/s}$ ), величина  $\tau$  составляет соответственно 50 и 33 ns для первой и второй гармоник. Длительность импульса была на три порядка меньше (35 ps). Следует также отметить низкую частоту следования импульсов (0.4 Gz) в данных экспериментах, не приводящую к образованию тепловой линзы в результате коммулятивного эффекта. Из этого следует, что в данном случае наблюдавшийся эффект связан с влиянием керровских нелинейностей.



**Рис. 4.** То же, что на рис. 3, в схеме с открытой диафрагмой.  $\lambda = 532 \text{ nm}$ .

Для определения нелинейно-оптических характеристик ПВП ( $\chi^{(3)}$  и  $n_2$ ) мы использовали соотношение [10]

$$\Delta T_{p-v} = 0.404(1 - S)^{0.25} \left| \frac{2\pi n_2 I [1 - \exp(-\alpha L)]}{\alpha \lambda} \right|, \quad (2)$$

где  $\Delta T_{p-v}$  — нормализованная разница между максимумом и минимумом пропускания в зависимости  $T(Z)$  в схеме с ограничивающей диафрагмой,  $I_0$  — интенсивность излучения в точке фокусировки,  $S$  — пропускание диафрагмы (доля излучения, попадающая в фотодиод),  $\lambda$  — длина волны излучения,  $L$  — длина образца,  $\alpha$  — линейный показатель поглощения.

Керровская нелинейная восприимчивость раствора ПВП, допированного кобальтом, определялась из соотношения [12]

$$\chi^{(3)} = \frac{n_0 n_2}{3\pi}, \quad (3)$$

где  $n_0$  — линейный показатель преломления водного раствора органометаллического полимера; значения нелинейного показателя преломления и керровской нелинейной восприимчивости, в частности, для раствора ПВП, допированного 13.5% кобальта, составили соответственно  $-3 \cdot 10^{-12}$  CGSE и  $-4.7 \cdot 10^{-13}$  CGSE.

Исследования нелинейного поглощения в схеме с открытой диафрагмой показали, что последнее было выражено для всех исследуемых образцов на длине волны 532 nm (рис. 4). На длине волны 1064 nm заметного нелинейного поглощения обнаружено не было, несмотря на использование излучения большой интенсивности.

Нормализованное пропускание в случае схемы с открытой диафрагмой определялось выражением [13]

$$T(z) = 1 - \frac{q_0}{2\sqrt{2}} \quad (4)$$

для  $|q_0| < 1$ , где

$$q_0 = \beta \frac{I_0 [1 - \exp(-\alpha L)]}{\left(1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2\right) \alpha}. \quad (5)$$

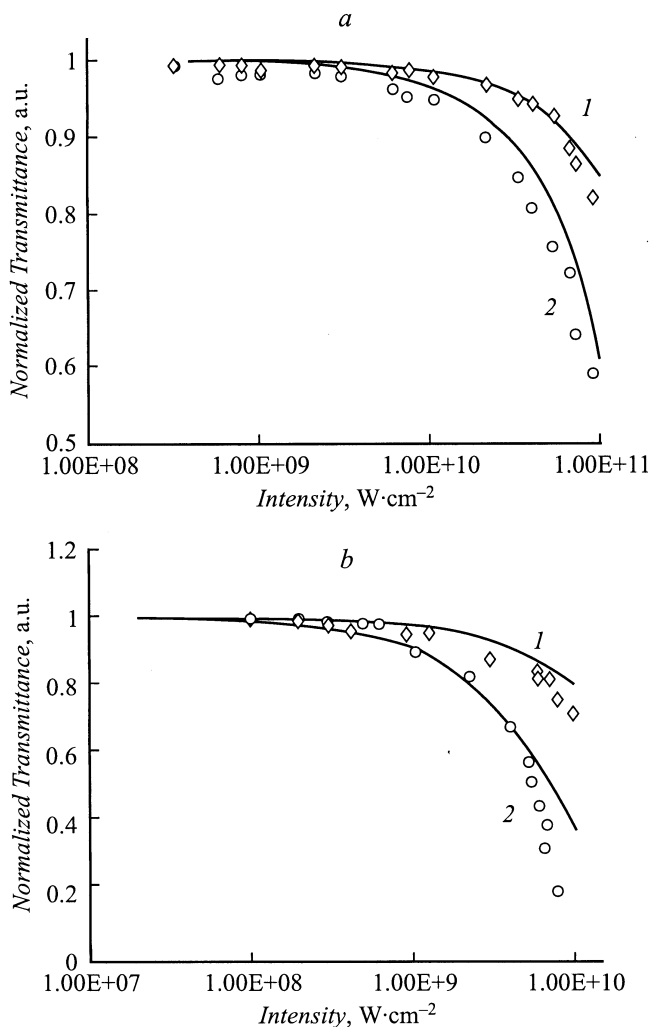
Здесь  $z_0$  — дифракционная длина лазерного пучка,  $z_0 = k\omega_0^2/2$ ,  $k$  — волновое число,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\omega_0$  — радиус пучка в точке фокусировки. Определяя минимальное нормализованное пропускание в схеме с открытой диафрагмой в точке фокусировки ( $z = 0$ ), из (4) и (5) можно найти коэффициент нелинейного поглощения исследуемой среды. В каждом случае положение  $z = 0$  определялось из наименьшей величины нормализованного пропускания, а также с учетом того, что зависимость  $T(Z)$  в схеме с открытой диафрагмой должна быть симметричной. Уменьшение пропускания на длине волны 532 nm, по всей видимости, было обусловлено обратным насыщенным поглощением, которое проявляется во многих подобных органометаллических и полимерных структурах в видимом спектральном диапазоне [14]. Нелинейное поглощение раствора ПВП с концентрацией кобальта 13.5% составило  $9.4 \cdot 10^{-10} \text{ cm} \cdot \text{W}^{-1}$ . Отсутствие нелинейного поглощения, в частности двухфотонного, на длине волны 1064 nm, по-видимому, связано с тем, что резонансная линия растворов металлокомплексов находится за пределами двухфотонного перехода на рассматриваемой длине волны. Флуктуации параметра нормализованного пропускания от выстрела к выстрелу не превышали 3%. Из этого следует, что верхний предел нелинейного поглощения на длине волны  $\lambda = 1064 \text{ nm}$  не превышал  $10^{-11} \text{ cm} \cdot \text{W}^{-1}$ .

В таблице приведены значения нелинейных показателей преломления, керровских нелинейных восприимчивостей и коэффициентов нелинейного поглощения для рассматриваемых растворов органометаллических полимеров.

Ниже представлены результаты оптического ограничения в ПВП с различными концентрациями кобальта. Эффекты оптического ограничения вызывают повышенный интерес в нелинейной оптике и оптоэлектронике вследствие их потенциального использования для защиты глаз и чувствительных детекторов от интенсивного излучения. Механизмы, определяющие оптическое ограничение, имеют различную природу. ОНП, обусловленное большим сечением поглощения с возбужденных уровней, ответственно за оптическое ограничение в коллоидных металлах [15], фуллеренах и фталоцианинах [16]. Интенсивная нелинейная рефракция обуславливает оптическое ограничение в неорганических

Нелинейно-оптические характеристики металлокомплексов полимера ПВП

Вещество	$\lambda, \text{ nm}$	$n_2, \text{ CGSE}$	$\chi^{(3)}, \text{ CGSE}$	$\beta, \text{ cm} \cdot \text{W}^{-1}$
ПВП (2% Co)	1064	$-4.5 \cdot 10^{-13}$	$-6.78 \cdot 10^{-14}$	—
ПВП (5.3% Co)	1064	$-7.3 \cdot 10^{-13}$	$-1.1 \cdot 10^{-13}$	—
ПВП (6.2% Co)	1064	$-9.1 \cdot 10^{-13}$	$-1.38 \cdot 10^{-13}$	—
ПВП (13.5% Co)	1064	$-1.3 \cdot 10^{-12}$	$-1.97 \cdot 10^{-13}$	—
ПВП (2% Co)	532	$-7.6 \cdot 10^{-13}$	$-1.18 \cdot 10^{-13}$	$2.1 \cdot 10^{-10}$
ПВП (5.3% Co)	532	$-1.7 \cdot 10^{-12}$	$-2.65 \cdot 10^{-13}$	$4.2 \cdot 10^{-10}$
ПВП (6.2% Co)	532	$-2.3 \cdot 10^{-12}$	$-3.59 \cdot 10^{-13}$	$6.1 \cdot 10^{-10}$
ПВП (13.5% Co)	532	$-3.0 \cdot 10^{-12}$	$-4.7 \cdot 10^{-13}$	$9.4 \cdot 10^{-10}$



**Рис. 5.** Нормализованное пропускание как функция интенсивности падающего излучения для случая кювет с раствором ПВМ. Содержание кобальта, %: 1 — 2, 2 — 13.5 (сплошные кривые — теория).  $\lambda$ , nm: a — 1064, b — 532.

кластерах [17]. Двухфотонное поглощение ответственно за оптическое ограничение в полупроводниковых структурах [10]. Одним из механизмов, обладающих высокой эффективностью нелинейного поглощения, является, как уже отмечалось, обратное насыщенное поглощение. Для интерпретации данного рода поглощения успешно использовалась так называемая пятиуровневая модель [18]. Наличие подобного поглощения в среде требует от последней выполнения следующих критериев. Во-первых, материал должен иметь сечение поглощения с возбужденного уровня больше, чем сечение поглощения с основного состояния. Во-вторых, время жизни возбужденного состояния должно быть достаточно большим (по сравнению с длительностью импульсов возбуждаемого излучения). В последнее время был найден ряд органометаллических и органических материалов, удовлетворяющих данным критериям: органометаллические кластерные соединения [19], порфирины [8], металло-

фталоцианины [20,21], фуллерены [11,22,23]. Вполне естественно следовало бы ожидать и наличие ОНП в исследуемых нами структурах (наряду с другими возможными механизмами оптического ограничения).

Исследование процесса оптического ограничения проводилось на длинах волн 1064 и 532 nm. Несмотря на отсутствие нелинейного поглощения в инфракрасной области, металлокомплексы ПВП, как было показано выше, обладают достаточно выраженным дефокусирующим воздействием. Принимая во внимание вышесказанное, данное обстоятельство позволило рассчитывать на использование самовоздействия (в данном случае самодефокусировки) для проявления процесса оптического ограничения в инфракрасной области.

На рис. 5, a представлены зависимости нормализованного пропускания растворов ПВП с различными концентрациями  $C_0$  как функции интенсивности падающего излучения в случае схемы с ограничивающей диафрагмой ( $\lambda = 1064$  nm). В данном случае кюветы с растворами находились в области наименьшего пропускания, т.е. в области провала (рис. 3). Отметим хорошее согласование с теоретическими кривыми, рассчитанными по данным измерений  $\chi^{(3)}$ .

Иначе обстоит дело на длине волны 532 nm (рис. 5, b). В этом случае оптическое ограничение было обусловлено как процессами самодефокусировки (игравшими решающую роль для инфракрасного излучения), так и (в большей степени) нелинейным поглощением. Нелинейное поглощение в этом случае могло быть обусловлено влиянием как двухфотонного поглощения, так и ОНП (при больших интенсивностях). Отсутствие данных по спектральным характеристикам и временам жизни возбужденных синглетных и триплетных состояний исследованных металлокомплексов не позволяет сделать выводы о весомерном соотношении между двумя этими процессами. Теоретические кривые, построенные с учетом влияния только лишь двухфотонного поглощения, показали некое соответствие с экспериментальными данными. Экспериментальные кривые показывают более полное ограничение по сравнению с теоретическими. По нашему мнению, данное обстоятельство связано с дополнительным влиянием как ОНП, так и частично самодефокусировки.

## Заключение

В результате проведенных исследований нелинейно-оптических параметров водных растворов металлокомплексов полимеров поливинилпирролидона с различными концентрациями кобальта в поле пикосекундных импульсов было показано, что нелинейный отклик сред обусловлен эффектом Керра. Исследования нелинейного поглощения показали отсутствие последнего в инфракрасной области спектра, в то время как для видимого диапазона нелинейное поглощение играло существенную роль. Показано, что основным параметром, влияющим на нелинейный процесс взаимодействия пикосекундного излучения с подобными металлокомплексами,

является концентрация кобальта, содержащегося в ПВП. Эксперименты по оптическому ограничению показали, что данный процесс происходил в результате самодефокусировки на длине волны 1064 nm и в результате двухфотонного поглощения с частичным влиянием ОНП и дефокусировки на длине волны 532 nm. Приведены результаты измерения нелинейно-оптических характеристик исследованных металлокомплексов полимеров.

## Список литературы

- [1] *Lukinykh V.F., Myslivets S.A., Popov A.K.* et al. // *Appl. Phys.* B. 1985. Vol. 38. P. 143.
- [2] *Александров К.С., Александровский А.С., Карпов С.В.* и др. // *ДАН СССР.* 1987. Vol. 296. P. 85.
- [3] *Meth J.S., Vanherzeele H., Wang Y.* // *Chem. Phys. Lett.* 1992. Vol. 197. P. 26.
- [4] *Neher D., Stegeman G.I., Tinker F.A.* // *Opt. Lett.* 1992. Vol. 17. P. 1491.
- [5] *Ganeev R.A., Ryasnyansky A.I., Kamanina N.V.* et al. // *J. Opt. B: Quantum Semiclass. Opt.* 2001. Vol. 3. P. 88.
- [6] *Knize R.J., Partanen J.P.* // *Phys. Rev. Lett.* 1992. Vol. 68. P. 2704.
- [7] *Pan G.S., Kesavamoorthy R., Asher S.A.* // *J. Am. Chem. Soc.* 1998. Vol. 120. P. 6525.
- [8] *Qureshi F.M., Martin S.J., Long X.* et al. // *Chem. Phys.* 1998. Vol. 231. P. 87.
- [9] *Sun Y.-P., Riggs J.E., Rollins H.W.* et al. // *J. Phys. Chem. B.* 1999. Vol. 103. P. 77.
- [10] *Sheik-Bahae M., Said A.A., Van Stryland E.W.* // *Opt. Lett.* 1989. Vol. 14. P. 955.
- [11] *Ganeev R.A., Ryasnyansky A.I., Kodirov M.K.* et al. // *Opt. Commun.* 2000. Vol. 185. P. 473.
- [12] *Reinjes J.F.* *Nonlinear Optical Parametric Processes in Liquids and Gases.* New York: Academic Press, 1984.
- [13] *Sheik-Bahae M., Said A.A., Wei T.* et al. // *IEEE J. Quantum Electron.* 1990. Vol. 26. P. 760.
- [14] *Perry J.M., Mansour K., Marder S.R.* et al. // *Opt. Lett.* 1994. Vol. 19. P. 625.
- [15] *Ji W., Du H.J., Tang S.H.* et al. // *J. Opt. Soc. Am. B.* 1996. Vol. 12. P. 876.
- [16] *Tutt L.W., Kost A.* // *Nature (London).* 1992. Vol. 356. P. 224.
- [17] *Chen Z.R., Hou H.W., Xin X.Q.* et al. // *Phys. Chem.* 1995. Vol. 99. P. 8717.
- [18] *Tutt L.W., McCahon S.W.* // *Opt. Lett.* 1990. Vol. 15. P. 700.
- [19] *Pittman M., Plaza P., Martin M.M.* et al. // *Opt. Commun.* 1998. Vol. 158. P. 201.
- [20] *Shirk J.S., Pong R.G.S., Bartoli F.J.* et al. // *Appl. Phys. Lett.* 1993. Vol. 63. P. 1880.
- [21] *Zhu P., Wang P., Qiu W.* et al. // *Appl. Phys. Lett.* 2001. Vol. 78. P. 1319.
- [22] *Cha M., Sariciftci N.S., Heeger A.J.* et al. // *Appl. Phys. Lett.* 1995. Vol. 67. P. 3850.
- [23] *Kamanina N.V., Kaporskii N.K., Kotov B.V.* // *Optics Commun.* 1998. Vol. 152. P. 280.