

ПОСТОЯННАЯ КЕРРА ВОДЫ

В. В. Воробьев, В. А. Капитонов,
Б. А. Князев, Э. П. Кругляков

(Новосибирск)

Проведены измерения постоянной Керра сверхчистой воды с удельным сопротивлением 10^7 Ом·см. При температуре 30°C для длин волн 441,6 и 632,8 нм получены значения постоянной Керра $(3,26 \pm 0,10) \cdot 10^{-7}$ и $(2,29 \pm 0,07) \times 10^{-7}$ СГСЭ.

Эффект Керра в воде широко используется в физических экспериментах [1—7]. В ряде случаев, например при абсолютных измерениях напряженности электрического поля в воде [2, 3], при физико-химических исследованиях молекулы воды [4—7] и др., точность, с которой известна постоянная Керра B воды, определяет и точность соответствующих экспериментов. К сожалению, абсолютные значения B , приводимые в работах [1, 4, 7—16], существенно отличаются друг от друга. Были проанализированы экспериментальные работы, содержащие сведения об измерениях постоянной Керра воды. Значения B , полученные разными авторами, представлены в таблице, где указаны также длина волны и температура, при которой проводились измерения. В последнем столбце таблицы приведены значения постоянной Керра, пересчитанные к длине волны $\lambda=589$ нм по закону Хейвлока * [8]

$$B(\lambda) \sim \frac{[n^2(\lambda) - 1]^2}{n(\lambda)} \frac{1}{\lambda},$$

где $n(\lambda)$ — показатель преломления воды.

Работа	Характеристика воды	T°, C	$\lambda, \text{нм}$	$10^7 B, \text{СГСЭ}$	$10^7 B_{589}, \text{СГСЭ}$
[9—12]		20	589		4,7
[17]	Дистиллированная вода	17	«желтый»	$1,23 \cdot B_{\text{CS}_2}^*$	4^{***}
[16]		25	«белый»	2,4	
[1]	$\rho = 10^9$ Ом·см	25	210—300	~ 10	
[7]			210	0,8**	
			300	5,2	
			400	3,9	2,5
			600	2,7	2,7
[4]	Дважды дистиллированная вода	25	436	$3,72 \pm 0,14$	$2,64 \pm 0,10$
			546	$2,89 \pm 0,04$	$2,65 \pm 0,04$
			578	$2,72 \pm 0,11$	$2,66 \pm 0,11$
Данная работа	$\rho = 10^7$ Ом·см	30	441,6	$3,26 \pm 0,10$	$2,35 \pm 0,07$
			632,8	$2,29 \pm 0,07$	$2,46 \pm 0,08$

* B_{CS_2} — постоянная Керра сероуглерода.

** Разброс экспериментальных точек в данной работе составляет $\sim 30\%$

*** Рассчитано в предположении, что измерения проводились при $\lambda=598$ нм; величина B_{CS_2} взята из [20].

* Этот закон не выполняется вблизи собственной полосы поглощения (для воды $\lambda_{\text{погл}}=190$ нм).

То обстоятельство, что разные эксперименты проводились при различных температурах, не может объяснить наблюдающегося разброса значений B , поскольку [6] в интервале 20—40°C постоянная Керра воды изменяется не более чем на 3%.

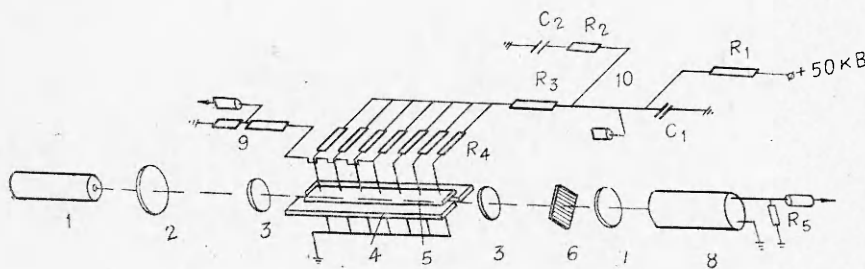
Наиболее часто встречающаяся в [9—12] величина постоянной Керра воды $B_{589} = 4,7 \cdot 10^{-7}$ СГСЭ приводится либо без ссылок, либо [10] со ссылкой на оригинальные работы [17—19]. Однако в этих работах не упоминается о постоянной Керра воды.

В [13, 14] постоянная Керра определялась для не монохроматического света, и, следовательно, результаты этих работ могут носить лишь оценочный характер.

В работах, указанных в таблице, исключая [4], нет подробного описания процедуры измерений и анализа ошибок эксперимента. В связи с этим трудно установить причины разброса экспериментальных значений B , полученных разными авторами.

Данная работа была проведена с целью уточнения величины постоянной Керра воды. Измерения осуществлялись при двух длинах волн: $\lambda = 441,6; 632,8$ нм. Эксперименты проводились с водой очень высокой чистоты с удельным сопротивлением 10^7 Ом·см при температуре 30°C.

Схема экспериментальной установки изображена на фиг. 1. В качестве источника света использовались He—Cd- и He—Ne-лазеры 1. Electroдами 5 ячейки Керра служили две широкие параллельные пластины из нержавеющей стали длиной $l = 72$ см, между которыми были помещены два изолятора 4 из плексигласа толщиной ~ 4 мм таким образом, что рабочее поле ячейки представляло собой квадрат 4×4 мм². Благодаря существенному различию диэлектрических проницаемостей плексигласа и воды в ячейке данной конфигурации создавалось однородное электрическое поле.



Ф и г. 1

Излучение лазера, поляризованное под углом 45° к плоскости электродов, пропускалось через линзу 2 и окна кюветы 3 вдоль оси ячейки и после прохождения через анализатор 6 и серый светофильтр 7 регистрировалось фотоумножителем ФЭУ-14Б 8. Анализатор был установлен на минимум пропускания света в отсутствие электрического поля в ячейке.

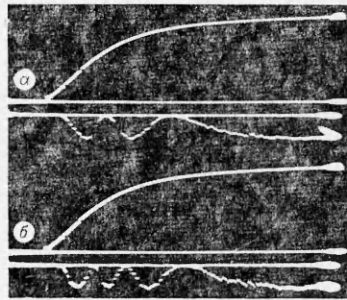
Напряжение на ячейку от накопительной емкости $C_1 = 0,4$ мкФ через разрядник 10 подавалось одновременно в семи точках через равные по длине проводники с целью уменьшения эффектов отражения. Измерение напряжения на ячейке осуществлялось калиброванным омическим делителем 9, сигнал с которого поступал на пластины осциллографа. На втором луче осциллографа регистрировался сигнал с фотоумножителя. Типичные осциллограммы приложенного к ячейке напряжения (верхний луч) и сигналов с ФЭУ приведены на фиг. 2 (длительность развертки 2,5 мкс).

Запаздывание сигнала, связанное с конечностью времени пролета электронов в фотоумножителе (около 40 нс), было найдено с помощью импульсного светодиода и устранено введением соответствующей кабельной задержки в измерительную цепь омического делителя. Наблюдающееся на фиг. 2 запаздывание сигнала ФЭУ относительно момента подачи напряжения на ячейку является кажущимся и объясняется малостью эффекта Керра в области низких напряжений ($\varphi \sim E^2$).

Величину B можно определять из хорошо известных выражений

$$(1) \quad B = \frac{\varphi}{2\pi l E^2}; \quad \frac{I}{I_0} = \sin^2 \frac{\varphi}{2}$$

по осциллограммам (см. фиг. 2) для любого момента времени. Здесь φ — оптическая разность фаз (в радианах) между обыкновенной и необыкновенной волнами, набираемая на длине ячейки. Величину B определяли путем обработки осциллограмм в точках, соответствующих максимумам и минимумам пропускания света ($\varphi = \pi, 2\pi, \dots$). В этих случаях константа B находится непосредственно из выражения (1). Наибольшая статистическая точность результатов получена при обработке осциллограмм в точке последнего минимума сигнала с ФЭУ, где отсутствуют шумы ФЭУ, а величина напряженности поля E определяется с наименьшей погрешностью. Величины постоянной Керра, определенные по остальным экстремумам, имеют больший статистический разброс, но в пределах своей точности имеют то же значение.



Ф и г. 2

Анализ экспериментальных ошибок показал, что основная погрешность обусловлена вариациями напряженности электрического поля в ячейке вследствие колебаний толщины изоляторов, определяющих расстояние между электродами ($d = 3,9 \pm 0,05$ мм). Величина этой ошибки $2\Delta d/d = 2,6\%$. Значительно меньший вклад дают остальные ошибки, связанные с точностью амплитудной калибровки трубки осциллографа и омического делителя. Погрешности, связанные с расходимостью лазерного пучка, проходящего через ячейку, и краевыми эффектами на ее входе и выходе, пренебрежимо малы. Статистическая точность измерения напряженности, определенная по сериям из пятнадцати осциллограмм, составляет 0,52 и 0,76% ($\lambda = 441,6; 632,8$ нм соответственно). Полная относительная ошибка измерения постоянной Керра воды в экспериментах составила $\Delta B/B = 3,0$ и 3,1% ($\lambda = 441,6; 632,8$ нм соответственно).

Результаты таблицы наиболее близки к результатам, приведенным в работах [4, 7]. Некоторое различие величин постоянной Керра, по-видимому, обусловлено различной степенью очистки воды и наличием неконтролируемых примесей. Действительно, в работе [4] использовалась дважды дистиллированная вода, хранившаяся в течение недели в полиэтиленовых сосудах, а наша ячейка была непосредственно включена в контур очистки воды активированным углем и ионно-обменными смолами. Существенное влияние наличия примесей на величину постоянной Керра известно, например, для нитробензола [16] и сероуглерода [20].

Авторы выражают благодарность Д. Д. Рютову за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Frommhold L. Die Erzeugung schrkurzer und intensiver UV-Lichtimpulse.— «Z. Naturforsch», 1963, Bd 18a, N T — 5, S. 590.
2. Воробьев В. В., Капитонов В. А., Кругляков Э. П. Увеличение электрической прочности воды в системе с «диффузионными» электродами.— «Письма в ЖЭТФ», 1974, т. 19, № 2, с. 95.
3. Овчинников И. Т., Яншин К. В., Яншин Э. В. Исследование распределения предпробивных электрических полей в воде с помощью эффекта Керра.— ЖТФ, 1974, т. 44, № 2, с. 472.
4. Orttung W. H., Meyers J. A. The Kerr constant of water.— «J. Chem. Phys.», 1963, vol. 67, N 9, p. 1905.
5. Chen Y., Orttung W. H. Observation of a minimum in the Kerr constants of light and heavy water near 30°.— «J. Chem. Phys.», 1968, vol. 72, N 8, p. 3069.
6. Chen Y., Orttung W. H. Temperature dependence of the Kerr constant of water.— «J. Chem. Phys.», 1972, vol. 76, N 2, p. 216.
7. Waibel J. Kerr-Konstante von Wasser im nahen UV.— «Z. Naturforsch», 1966, Bd 21a, N 1—2, S. 186.
8. Stuart H. A. Elektrischer Kerr Effect.— In: Handbuch und Jahrbuch der Chem. Phys. Bd. 10/III, Leipzig, 1939, S. 27.
9. Борн М. Оптика. НТИ, Харьков — Киев, 1937.
10. Müller-Pouillets. Lehrbuch der Physik. Bd. II. Lehre von der strahlenden Energie (Optik). Braunschweig, 1929.
11. Физический энциклопедический словарь. Т. 2. М., 1962.
12. Handbook of Physics. Ed. by E. U. Condon, H. Odichaw. N. Y., McGraw — Hill, 1967.
13. Krause S. Ph. D. Thesis. Univ. of California. Berkly, 1957.
14. Pauthenier M. Nouvelles applications de la methode des charges de tres courte duree tres courte et eclairages instantes.— «C. r. Acad. Sci. Paris», 1921, t. 170, p. 583.
15. Szivessey G. Besondere Fälle von Doppelbrechung (Sog. Künstliche oder akcidenteller Doppelbrechung).— In: Handbuch der Physik. Bd 21. Berlin, 1929, S. 724.
16. Мюллер В. Электрооптические затворы.— В кн.: Физика быстропротекающих процессов. Т. 1. М., «Мир», 1971, с. 200.
17. McComb H. E. Dispersion of electric double refraction and ordinary dispersion.— «Phys. Rev.», 1909, vol. 29, N 6, p. 525.
18. Szivessey G. Über den elektrooptischen Kerreffekt bei Gasen.— «Zeitschr. Physik», 1924, Bd 26, S 323.
19. JIberg W. Eine Methode zur Bestimmung der Kerr-konstante schlecht isolierender Stoffe mit Hilfe elektrischer Wechselfelder.— «Physik. Zeitschr.», 1928, Bd 29, N 18, S. 670.
20. Водкова Е. А., Замкэв В. А., Налбандов Л. В. Прецизионные измерения абсолютной величины постоянной Керра.— «Оптика и спектроскопия», 1971, т. 30, № 3, с. 556.

УДК 535.36

К ВОПРОСУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕТА С ТУРБУЛЕНТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ

И. Г. Шекриладзе

(Тбилиси)

Недавно в научной периодике появилась работа [1], подытоживающая проведенный за последние годы цикл исследований [2—4], в области оптики неоднородных сред. Представляется необходимым рассмотрение некоторых основных положений этих исследований.

1. Основным фактором, обуславливающим рассеяние света турбулентным потоком прозрачной и не подвергающейся наружному теплообмену жидкости, согласно [1—4], являются турбулентные пульсации давления, приводящие через пульсации плотности к пульсациям коэффициента преломления.