

В. 75

9

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

ПРЕПРИНТ И Я Ф 74 - 95

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

ПОСТОЯННАЯ КЕРРА ВОДЫ

Новосибирск

1974

ПОСТОЯННАЯ КЕРРА ВОДЫ

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

АННОТАЦИЯ

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

БИБЛИОТЕКА
Института ядерной физики
Физини СО АН СССР
ИНВ. № _____

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 т.п., точность, с которой известна постоянная Керра (В) воды, определяет и точность соответствующих экспериментов. К сожалению, абсолютные значения В, приводимые в справочниках, монографиях и оригинальных работах /1,4,7-12,16,19/ существенно отличаются друг от друга.

Нами были проанализированы экспериментальные работы, содержащие сведения об измерениях постоянной Керра воды. Значения В, 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 нами к длине волны $\lambda = 589$ нм по закону Хейвлока¹⁾ /8/

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

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

То обстоятельство, что разные эксперименты проводились при различных температурах, не может объяснить наблюдающегося разброса значений В, поскольку известно /6/, что в интервале $20 + 40^\circ\text{C}$ постоянная Керра воды изменяется не более, чем на 3%.

Наиболее часто встречающаяся в справочниках и монографиях /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 /13-15/. Однако в этих работах нам не удалось обнаружить какого-либо упоминания о постоянной Керра воды.

В работах /16,17/ постоянная Керра определялась для не монохроматического света и, следовательно, результаты этих работ могут носить лишь оценочный характер.

¹⁾ Этот закон не выполняется вблизи собственной полосы поглощения (для воды $\lambda_{\text{погл.}} = 190$ нм).

В цитируемых в таблице статьях (за исключением /4/) нет подробного описания процедуры измерений и анализа ошибок эксперимента. В связи с этим довольно трудно установить причины разброса экспериментальных значений V , полученных разными авторами.

Настоящая работа была поставлена с целью уточнения величины постоянной Керра воды. Измерения осуществлялись на двух длинах волн $\lambda = 441,6$ нм и $\lambda = 632,8$ нм. Эксперименты проводились с водой очень высокой чистоты с удельным сопротивлением 10^7 ом.см при температуре 30°C .

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке 1. В качестве источника света использовались He - Cd и He-Ne лазеры. Electroдами ячейки Керра служили две широкие параллельные пластины из нержавеющей стали длиной $l = 72$ см, между которыми были помещены два изолятора 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.

Излучение лазера, поляризованное под углом 45° к плоскости электродов, пропусклось вдоль оси ячейки и после прохождения через анализатор регистрировалось фотоумножителем ФЭУ-14Б. Анализатор был установлен на минимум пропускания света в отсутствие электрического поля в ячейке.

Напряжение на ячейку подавалось одновременно в семи точках через равные по длине проводники с целью уменьшения эффектов отражения. Измерение напряжения на ячейке осуществлялось калиброванным омическим делителем, сигнал с которого поступал на пластины осциллографа. На втором луче осциллографа регистрировался сигнал с фотоумножителя. Типичные осциллограммы приложенного к ячейке напряжения и сигналов с ФЭУ приведены на рисунке 2. Запаздывание сигнала, связанное с конечностью времени пролета электронов в фотоумножителе (около 40 нсек), было найдено с помощью импульсного светодиода и устранено введением соответствующей кабельной задержки в измерительную цепь омического делителя. Наблюдающееся на рис. 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 V можно определять из хорошо известных выражений

$$V = \frac{\varphi}{2 I E^2} \quad (1)$$

$$\frac{I}{I_0} = \sin \frac{\varphi}{2} \quad (2)$$

по осциллограммам (рис. 2) для любого момента времени. Здесь φ - оптическая разность фаз (в радианах) между обыкновенной и необыкновенной волнами, набираемая на длине ячейки. Мы определяли величину V путем обработки осциллограмм в точках, соответствующих максимумам и минимумам пропускания света ($\varphi = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$). В этих случаях константа V 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.

Анализ экспериментальных ошибок показал, что основная погрешность обусловлена вариациями напряженности электрического поля в ячейке вследствие колебаний толщины изоляторов, определяющих расстояние между электродами ($l = 3,9 \pm 0,05$ 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 $0,52\%$ ($\lambda = 441,6$ нм) и $0,76\%$ ($\lambda = 632,8$ нм). Полная относительная ошибка измерения постоянной Керра воды в наших экспериментах составила $\Delta V/V = 3,0\%$ ($\lambda = 441,6$ нм) и $\Delta V/V = 3,1\%$ ($\lambda = 632,8$ нм).

Как видно из таблицы, наши результаты наиболее близки к результатам, приведенным в работах /4/ и /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, тогда как 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 /19/ и сероуглерода /20/.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Д.Д.Рютова за полезные обсуждения.

Таблица. Значения постоянной Керра (В) воды, полученные различными авторами.

Работа	Характеристика воды	T, °C	λ , нм	10^7 В, СГСЭ	10^7 В ₅₈₉ , СГСЭ
/9-12/		20	589		4,7
/17/	Дистиллированная вода	17	"желтый"	1,23.В _{CS₂} ¹⁾	(4)
/16/		25	"белый"	2,4	(2,2)
/1/	$\rho = 10^9$ ом.см	25	210 + 300	~ 10	
/7/			210	0,8 ²⁾	2,5 2,7
			300	5,2	
			400	3,9	
			600	2,7	
/4/	Дважды дистиллированная вода	25	436	3,72±0,14	2,64±0,10
			546	2,89±0,04	2,65±0,04
			578	2,72±0,11	2,66±0,11
Данная работа	$\rho = 10^7$ ом.см		441,6 632,8	3,26±0,10 2,29±0,07	2,35±0,07 2,46±0,08

1) В_{CS₂} - постоянная Керра сероуглерода.

2) Разброс экспериментальных точек в этой работе составляет $\sim 30\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Frommhold. *Z. Naturforsch.*, **18a**, 590, 1963.
2. В.В.Воробьев, В.А.Капитонов, Э.П.Кругляков. Письма в ЖЭТФ, **19**, 95, 1974.
3. И.Т.Овчинников, К.В.Яншин, Э.В.Яншин. ЖТФ, **44**, 472, 1974.
4. W.H.Orttung, J.A.Meyers. *J. Chem. Phys.*, **67**, 1905, 1963.
5. Y.Chen, W.H.Orttung. *J. Chem. Phys.*, **72**, 3069, 1968.
6. Y.Chen, W.H.Orttung. *J. Chem. Phys.*, **76**, 216, 1972.
7. J.Waibel. *Z. Naturforsch.*, **21a**, 186, 1966.
8. H.A.Stuart. *Hundbuch und Jahrbuch der chem. Physik.* Bd 10/III, 1939.
9. М.Борн. *Оптика, ОНТИ, Харьков, - Киев, 1937.*
10. Müller - Pouillets. *Lehrbuch der Physik.* Bd II, 1929.
11. *Физический энциклопедический словарь*, т.2, М.1962.
12. *Handbook of Physics*, ed. by E.U.Condon, H.Odishaw, N.-Y., McGraw - Hill Book Company, 1967.
13. H.E.McComb. *Phys. Rev.*, **29**, 525, 1909.
14. G.Szivessy. *Zeitschr. für Physik*, **26**, 342, 1924.
15. W.Ilberg. *Physikalische Zeitschr.*, **29**, 670, 1928.
16. S.Krause. *Ph. D. Thesis.*, Univ. of California, Berkly, 1957.
17. M.Pauthenier. *Compt. Rendus h. s. ac. sci.*, **172**, 583, 1921.
18. G.Szivessey. *Hundbuch der Physik*, Bd. XXI, Berlin, S. 724, 1929.
19. В.Мюллер. *Электрооптические затворы, в сб. Физика быстропротекающих процессов*, Мир, 1971.
20. Е.А.Волкова, В.А.Замков, Л.В.Налбандов. *Опт. и спектроскопия*, **30**, 556, 1971.

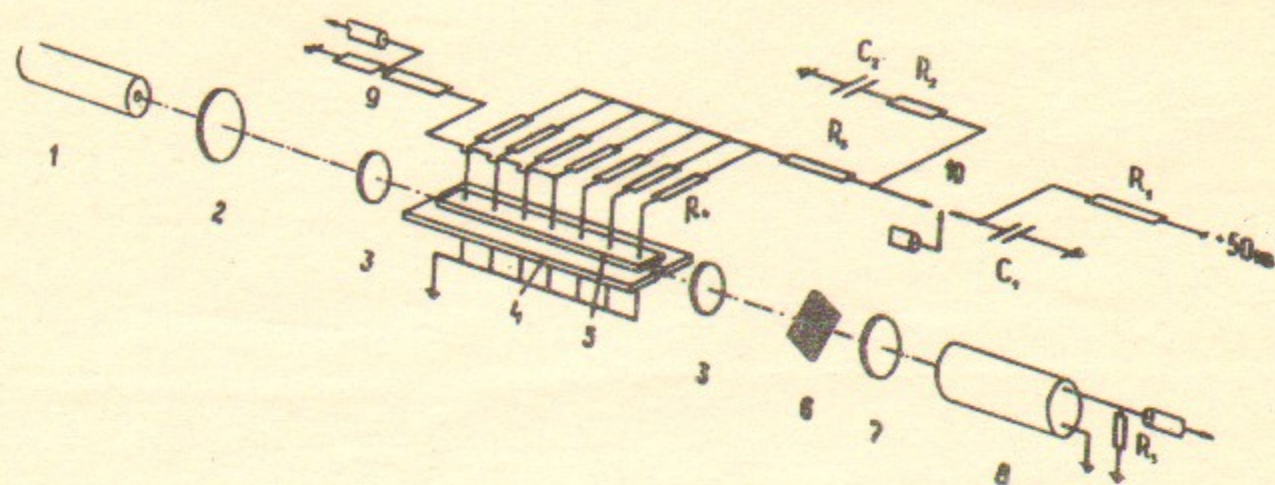


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1-лазер, 2-компенсирующая линза, 3-окна кюветы, 4-изолятор, 5-электрод, 6-анализатор, 7-серый светофильтр, 8-фотоумножитель ФЭУ-14А, 9-омический делитель, 10-разрядник. $C_1=0,4$ мкф, $C_2=1000$ пф, $R_1=1,36$ ком, $R_2=75$ ом, $Z_1=51$ ом, $Z_2=51$ ом.

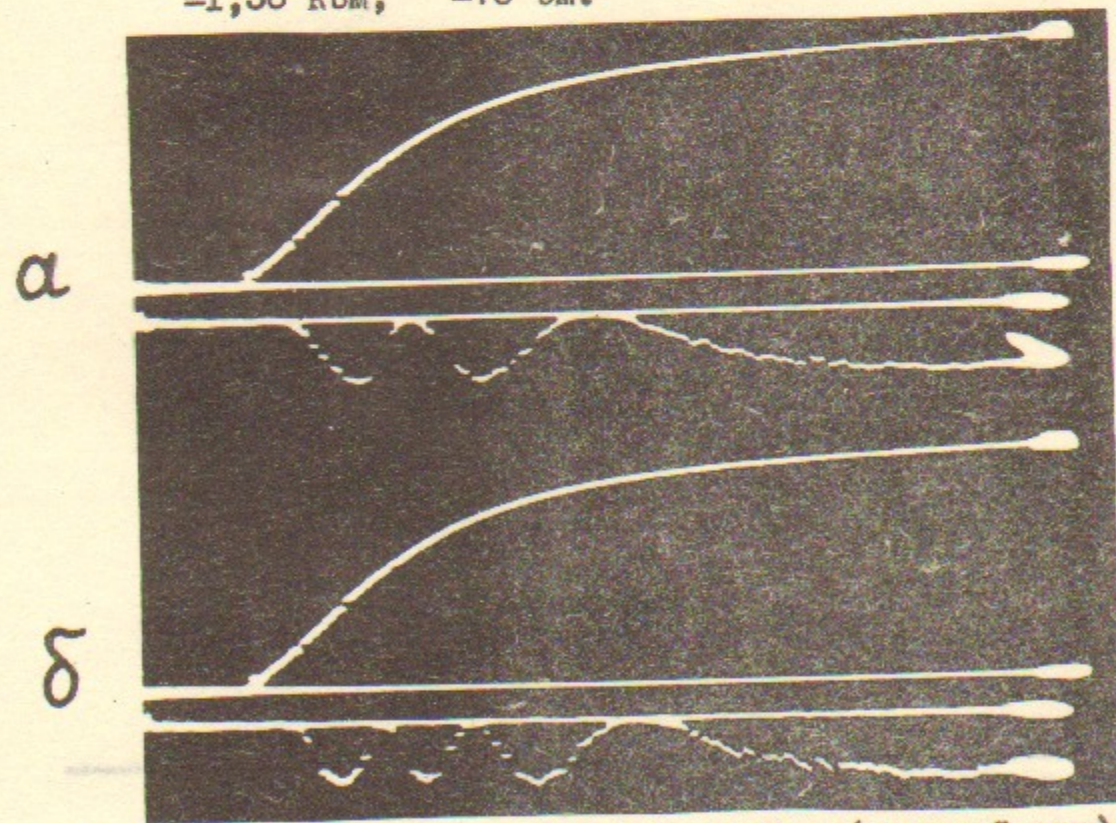
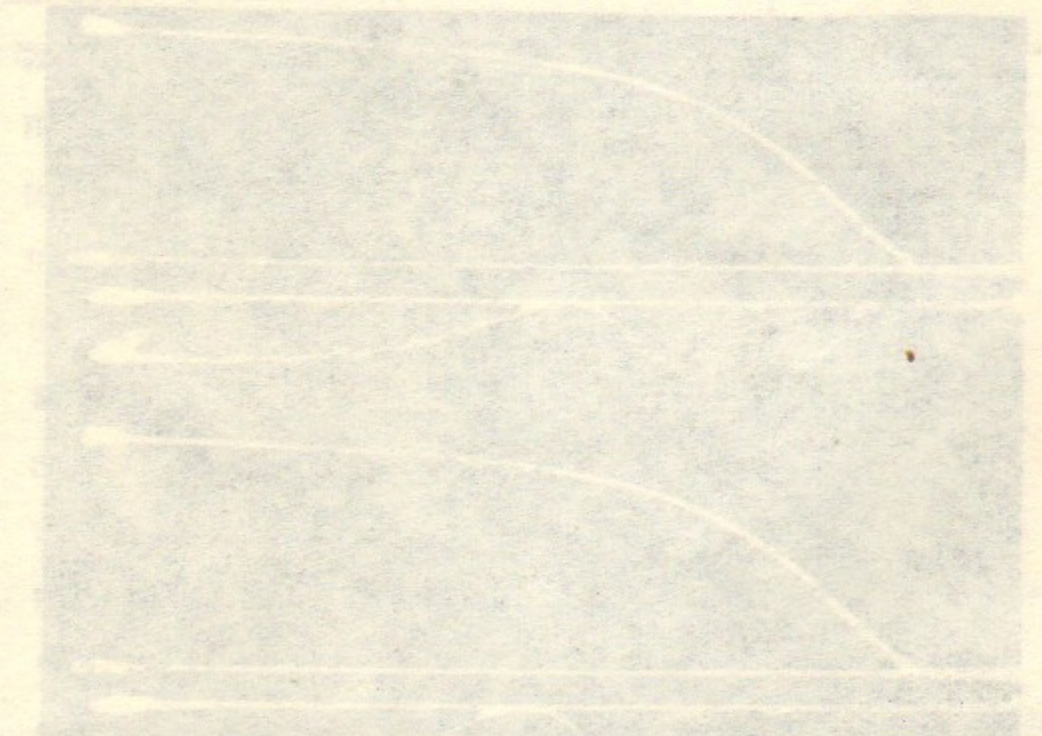


Рис.2. Осциллограммы напряжения на ячейке (верхний луч) и сигнала с ФЭУ, пропорционального относительному пропусканию ячейки Керра (I/I_0). Длительность развертки-2,5 мксек.



1. ...
2. ...
3. ...
4. ...
5. ...
6. ...
7. ...
8. ...
9. ...
10. ...
11. ...
12. ...
13. ...
14. ...
15. ...
16. ...
17. ...
18. ...



Ответственный за выпуск Г.А.СПИРИДОНОВ
 Подписано к печати 14.XI-1974г. МН 08564
 Усл. 0,6 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно
 Заказ №95

Отпечатано на ротапринте в ИЯФ СО АН СССР, вт
 1974г.