

*Письма в ЖЭТФ, том 17, вып. 9, стр. 501. — 504.*

*5 мая 1973 г.*

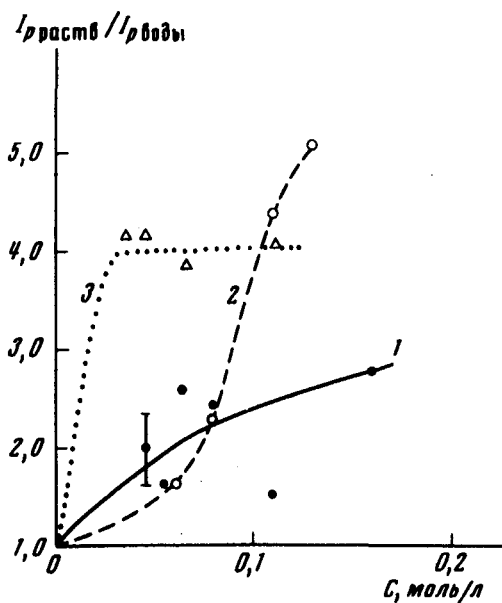
## **О ПОВЫШЕНИИ ОПТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЖИДКОСТИ**

*М. Б. Агранат, Н. П. Новиков, В. П. Перминов, П. А. Ямпольский*

Обнаружено повышение порога оптического пробоя воды, возникающего под действием излучения ОКГ, при добавлении в воду солей двухвалентной меди. Показано, что повышение порога связано со структурой комплекса, который образуют ионы меди с молекулами воды.

Исследовалась оптическая прочность ряда жидкостей, в том числе водных растворов солей переходных металлов. Порог оптического пробоя жидкости определялся по минимальной мощности излучения ОКГ, при которой внутри жидкости возникает световая вспышка. Эксперименты проводились с небольшими каплями (диаметр 3 мм) исследуемой

жидкости, что позволяло путем дополнительной фокусировки поверхностью капли добиться необходимой для пробоя плотности мощности лазерного импульса и избежать пробоя на поверхности кюветы. Все жидкости тщательно очищались от посторонних примесей многократным фильтрованием через мелкопористый керамический фильтр. Линейный коэффициент поглощения ( $K_\lambda$ ) измерялся с помощью лазера при различных мощностях импульса (ниже пороговой мощности пробоя). Лазер работал в режиме модулированной добротности ( $\tau_U \approx 20 - 30$  нсек) с  $\lambda = 0,69$  мк и  $\lambda = 1,06$  мк. Оптический пробой регистрировался по появлению в центре капли одиночной вспышки, наблюдаемой визуально в микроскоп. Величина пороговой интенсивности определялась как среднее из 20 - 30 облучений.



Зависимость порога пробоя раствора от концентрации соли: 1.— раствор  $\text{CuSO}_4$  в воде,  $\lambda = 1,06$  мк; 2 — раствор  $\text{CuSO}_4$  в воде,  $\lambda = 0,69$  мк; 3 — раствор  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  в воде,  $\lambda = 0,69$  мк

Для большинства исследованных растворов было показано, что порог пробоя раствора совпадает с порогом пробоя растворителя. Совсем другая картина наблюдалась в водных растворах солей меди. В этом случае был обнаружен эффект, когда с увеличением концентрации соли порог оптического пробоя раствора существенно превышал величину порога для воды. Исследовались растворы  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{CuCl}_2$  в воде. Результаты экспериментов приведены на графиках рисунка. Все величины пороговых интенсивностей  $I_p$  приведены по отношению к чистому растворителю. При определении порога пробоя учитывались потери энергии в результате линейного поглощения в капле, и за поро-

говую мощность пробоя принималась величина

$$W = W_0 e^{-K\lambda r_K}$$

где  $W_0$  — мощность лазерного импульса, при которой в 50% случаев наблюдался пробой;  $r_K$  — радиус капли.

Для выяснения причин, приводящих к повышению лучевой прочности растворов были приведены дополнительные измерения. Для проверки влияния анионов  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Cl^-$  на изменение порога оптического пробоя исследовалась оптическая прочность водных растворов  $Na_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$ ,  $NaCl$ . В этих растворах порог пробоя при различных концентрациях равен порогу для дистиллированной воды. Отсюда непосредственно вытекает, что лучевое упрочнение связано с наличием в растворе иона меди. Однако характер влияния ионов меди на механизм пробоя в растворе может быть различным. Ионы  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$  принимают малое участие в образовании комплекса меди в воде, а ион  $SO_4^{2-}$  совсем не входит в состав комплекса.

Для проверки характера влияния ионов меди на порог оптического пробоя в раствор  $CuSO_4$  в воде был введен аммиак, который будучи более сильным лигандом, чем вода, вытеснил воду из комплекса, образовав новый комплекс  $Cu[(NH_3)_4(H_2O)_2]^{2+}$ . Измерения порога пробоя данного раствора показали полное исчезновение эффекта упрочнения. Порог пробоя раствора после добавления аммиака снизился до значения  $I_p$ , соответствующего порогу пробоя чистой воды. Одновременно было показано, что добавление аммиака с той же концентрацией в чистую воду не изменяет оптической прочности воды. Можно было предположить, что наблюдающееся увеличение лучевой прочности растворов определяется тепловой дефокусировкой, связанной с сильным поглощением излучения ОКГ [2]. Во всех исследованных водных растворах солей меди линейный коэффициент поглощения является довольно большой величиной и в исследованном диапазоне концентраций возрастает пропорционально концентрации (например, для  $CuSO_4$  в воде  $\kappa_{0,69} \approx \kappa_{1,06} \approx 12 \text{ см}^{-1} \cdot (\text{моль}^{-1})$ ). Однако, порог пробоя раствора  $CuSO_4$  в воде с добавлением аммиака был одинаков на длине волны лазера  $\lambda = 1,06 \text{ мк}$  и  $\lambda = 0,69 \text{ мк}$ , хотя полоса поглощения такого комплекса (по сравнению с  $Cu[(H_2O)_6]^{2+}$ ), смещается в коротковолновую область таким образом, что раствор сильно поглощая на длине волны  $\lambda = 0,69 \text{ мк}$ , не поглощает на  $\lambda = 1,06 \text{ мк}$ . Раствор  $CoCl_2$  в ацетоне, обладающий поглощением на  $\lambda = 0,69 \text{ мк}$ , также не показал изменения порога пробоя по сравнению с растворителем. Следовательно, линейный коэффициент поглощения исследуемых жидкостей не оказывает влияния на порог оптического пробоя.

Из приведенных результатов следует, что эффект повышения оптической прочности исследованных растворов, связанный с введением ионов двухвалентной меди зависит от структуры комплекса, который образуют ионы меди с молекулами воды, так как при замещении молекул воды молекулами аммиака, изменяющими структуру комплекса, эффект исчезает. Можно предположить, что увеличение порога оптического пробоя связано с тем, что гидратированные ионы меди в структуре данного комплекса тормозят развитие электронной лавины путем эффектив-

ного захвата свободных электронов или за счет неупругого рассеяния. Аналогичный процесс рассматривался при пробое в газе [ 1].

В заключение необходимо отметить, что обнаруженное повышение прочности оптически прозрачной среды путем введения небольшого количества добавок может иметь место не только для жидкостей, но и для твердых веществ. В этом случае указанное явление может быть использовано для получения оптически более прочных материалов.

Институт оптико-физических измерений

Поступила в редакцию  
31 марта 1973 г.

### Литература

- [ 1 ] Я.Б.Зельдович, Ю.П.Файзер. ЖЭТФ, 47, 1150, 1964.  
[ 2 ] Engelhardt. Appl. Phys. Lett., 15, 7, 1969.
-