

УДК 535.215

ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЖИДКОСТИ**Герасимов С.А.***Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, e-mail: gsim1953@mail.ru*

Темновой электрический ток, текущий в жидкости, находящейся в контакте с металлическими электродами, при освещении резко возрастает. Это происходит даже в том случае, когда поверхности металлических электродов не подвержены оптическому облучению. Работа содержит экспериментальные аргументы, свидетельствующие о фотоэлектрической природе явления.

Ключевые слова: фотоэффект, вода, электрический ток**INTERNAL PHOTOELECTRIC EFFECT IN A LIQUID****Gerasimov S.A.***Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: gsim1953@mail.ru*

Dark current flowing in the liquid having contacts with the metal electrodes is sharply increases during optical illumination. This takes place even though the surfaces of the metal electrodes are not illuminated. The work contains experimental arguments confirming the photoelectric nature of the phenomenon.

Keywords: photoeffect, water, electric current

При взаимодействии света с веществом происходит перераспределение электронов по энергетическим уровням. Если энергия кванта превышает ширину запрещенной зоны, электрон переходит из валентной зоны в зону проводимости. В результате появляется дополнительная пара носителей тока, что проявляется в увеличении электропроводности вещества [1]. Это означает возможность существования внутреннего фотоэффекта не только в полупроводниках и металлах, но и в жидкости. Известные в настоящее время экспериментальные результаты в основном относятся к фотоэлектронной эмиссии, происходящей на поверхности металла, находящегося в контакте с электролитом [2]. Это позволило исследовать такие редкие явления как нелинейный фотоэлектрический эффект и многофотонные процессы в твердых телах. На первый взгляд может показаться, что обнаружить фотоэлектрический эффект с участием чистой жидкости, примером которой является чистая вода, практически невозможно. Этому мешает очень низкая проводимость и ряд сопутствующих факторов [3]. Однако известно, что если вода находится в контакте с металлическими электродами, то она ведет себя как источник постоянного электрического тока. Это – экспериментальный, и, наверное, достаточно очевидный факт. Из этого следует реальная возможность обнаружить внутренний фотоэффект, происходящий в той или иной чистой жидкости. Необходимо лишь создать условия, при которых металлические электроды не облучаются. Надо также исключить или учесть влияние других процессов, создающих вклад в силу электрического тока, текущего в жидкости.

На рис. 1 показано простое устройство, предназначенное для обнаружения и изуче-

ния фотоэлектрического эффекта, происходящего с участием жидкости [4]. Экспериментальная установка представляет собой два цилиндрических электрода 1 и 2, разделенные светонепроницаемым цилиндрическим экраном 3. Внешний электрод 1 представляет собой боковую поверхность кюветы, в которой находится жидкость. Между источником света 4 и кюветой находятся подвижный неметаллический механический экран 5, поглотитель 6 и светофильтр 7. Вблизи нижней поверхности светофильтра установлен датчик освещенности 8. Интерес представляет значение освещенности вблизи поверхности жидкости. Установлено, что в таком положении значение освещенности, зарегистрированное фоторезистором 8, отличается от усредненного по поверхности жидкости значения освещенности в 2,4 раза при объеме жидкости в кювете $V = 100$ мл. Поэтому в дальнейшем под величиной E понимается средняя освещенность поверхности жидкости. На дне пустой кюветы средняя освещенность меньше значения E в 1,6 раза.

Время открывания механического экрана менее секунды. Это позволяет исключить из рассмотрения электромагнитные помехи, обусловленные включением и выключением источника света. Источник света включался за 30 секунд до начала экспозиции; время экспозиции – 10 с. Малое время экспозиции позволяет не обращать внимание на возможный нагрев элементов установки источником света, хотя датчик (на рис. 1 не показан), находящийся в жидкости, с точностью не хуже $0,1^\circ\text{C}$ не обнаружил изменение температуры ни во время экспозиции, ни после нее. Поглотитель позволяет изменять освещенность внутри кюветы без изменения спектрального состава излуче-

ния. Внутренний и внешний электроды зашунтированы резистором R , напряжение на котором U регистрировалось быстродействующим электронным вольтметром. Все, приведенные ниже экспериментальные результаты, получены при следующих параметрах установки. Диаметр и высота внешнего медного электрода составляли 75 и 50 мм, соответственно. Диаметр цилиндрического экрана, исключающего попадание света на внутреннюю поверхность внешнего электрода, – 40 мм, его высота – 40 мм; диаметр и высота внутреннего медного электрода 10 и 45 мм, соответственно. Сопротивление резистора – 217 кОм.

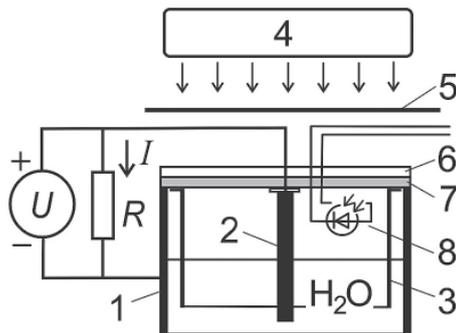


Рис. 1. Экспериментальная установка:
1 и 2 – цилиндрические медные электроды,
3 – бленда, 4 – источник света, 5 – подвижный экран, 6 – поглотитель, 7 – светофильтр,
8 – датчик освещенности

Первое, на что обязательно следует обратить внимание, это зависимость силы тока $I = U/R$ от времени в темновом режиме, то есть при закрытом экране. Это необходимо не только затем, что выбрать удачные интервалы времени для экспозиции, но и сравнить полученные результаты измерений при различных объемах V жидкости в кювете. Такие зависимости приведены на рис. 2, и, как ожидалось, подтверждают удобства и преимущества описываемого метода изучения фотоэффекта. Спустя примерно 12 часов после загрузки жидкости в кювету, падение напряжения U и ток I перестают изменяться, и это продолжается сравнительно долго [5].

Рис. 3 демонстрирует изменение со временем силы тока U/R в цепи и освещенности E в кювете во время экспозиции и после нее. По существу, это – первый аргумент, подтверждающий фотоэлектрическую природу явления. Сразу после начала экспозиции электрический ток в цепи резко возрастает, плавно увеличивается во время экспозиции и еще более плавно спадает до первоначального значения темнового тока после окончания экспозиции. Поэтому в качестве количественной характеристики явления

имеет смысл выбрать величину скачка тока δI (рис. 3). Это – единственная величина, которая не должна изменяться со временем, а плавное возрастание тока в цепи позволяет определить ее сравнительно точно, используя, к примеру, методы обработки экспериментальных зависимостей. В дальнейшем на эту величину можно ссылаться как на значение фототока. Следует обратить внимание, освещенность внутри кюветы во время экспозиции если и изменяется, то крайне слабо. Есть еще одно обстоятельство, которое обязательно должно быть отмечено. Если бы такое возрастание темнового тока было обусловлено фотоэлектрическим эффектом, происходящим на поверхности внутреннего электрода, подверженного облучению рассеянным в кювете светом, это вызвало бы уменьшение темнового тока.

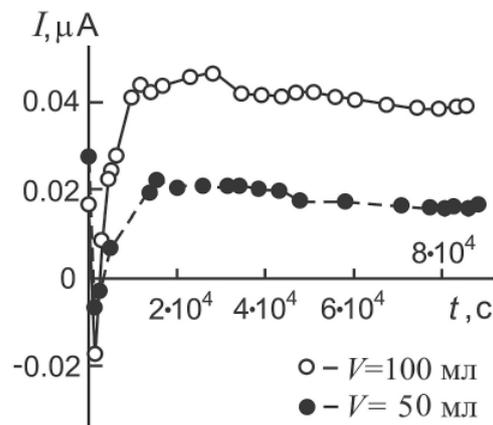


Рис. 2. Темновой ток как функция времени для двух объемов жидкости в кювете

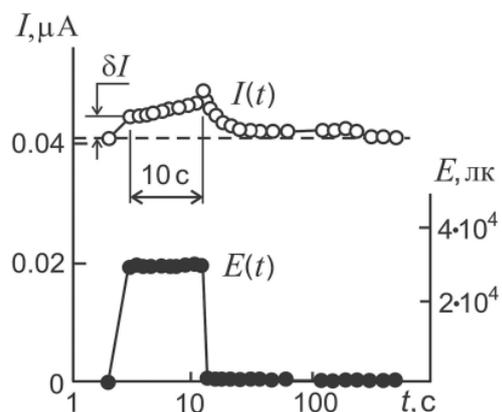


Рис. 3. Ток в цепи I и освещенность E во время экспозиции и после нее

Обычный фотоэффект, в том числе и внутренний, характеризуются линейной зависимостью фототока от освещенности. Это же относится и к описываемому здесь явлению. Это продемонстрировано на

рис. 4. Оказалось, что величина фототока δI при прочих равных условиях не зависит от объема V жидкости, находящейся в кювете. Это еще одно, правда, косвенное подтверждение внутреннего характера фотоэлектрического эффекта. Увеличение объема жидкости приводит к пропорциональному изменению темнового тока (см. рис. 2), расстояние же от области, где наиболее эффективно происходит изменение проводимости, до источника света изменяется незначительно. Впрочем, такая интерпретация, как и сама зависимость, показанная на рис. 4, подлежат уточнению.

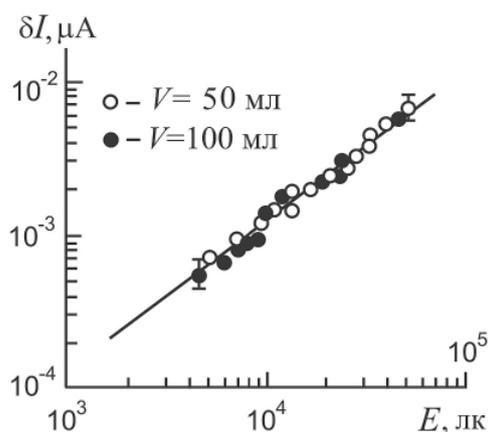


Рис. 4. Фототок в зависимости от освещенности при двух объемах жидкости в кювете

Едва ли следует заострять внимание на важности зависимости фототока от длины волны оптического излучения, показанной на рис. 5. К сожалению, при освещенностях, меньших 10^4 лк, с достаточной точностью измерить величину фототока δI удастся лишь для синего света. С очень большими ошибками связаны и попытки измерить значение фототока для красного и инфракрасного излучений. Наверное, в этом и заключается ограниченность этой сравнительно простой методики изучения фотоэффекта [4].

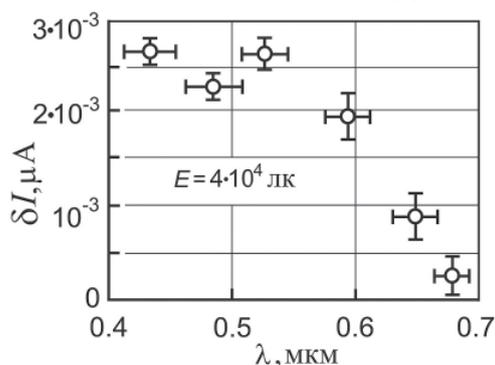


Рис. 5. Зависимость фототока от длины волны при освещенности $E = 4 \cdot 10^4$ лк и объеме жидкости $V = 100$ мл

С другой стороны, только таким методом удастся выяснить, что является причиной резкого изменения тока в цепи: изменение проводимости жидкости или появление дополнительной разности потенциалов. Достаточно обратить внимание, что сразу после загрузки жидкости в кювету потенциал внутреннего электрода отрицателен (см. рис. 2).

Поэтому, если бы при экспозиции проводимость воды возрастала, это привело бы к дальнейшему уменьшению потенциала. На самом же деле происходит обратное: по модулю сила тока уменьшается, потенциал же возрастает [6]. Это продемонстрировано на рис. 6. Единственная возможность объяснить такое поведение фототока до, во время и после экспозиции, – предположить, что при оптическом облучении жидкость приобретает дополнительный электрический потенциал. Это – один из наиболее значимых результатов измерений, хотя работа представляла собой попытку обнаружить внутренний фотоэффект в жидкости, интересным и важным примером которой является чистая вода. Ссылаясь на приведенные выше экспериментальные зависимости, можно надеяться, что такая попытка оказалась успешной.

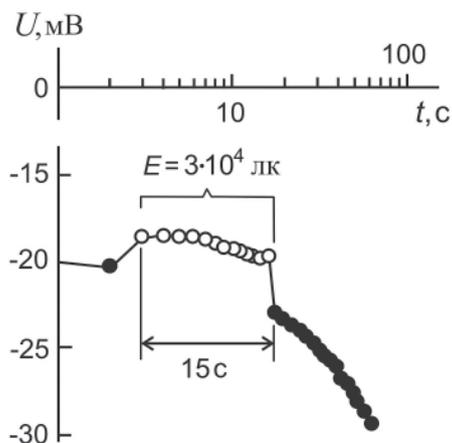


Рис. 6. Падение напряжения U как функция времени при отрицательном потенциале внутреннего электрода

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аут И., Генцов Д., Герман К. Фотоэлектрические явления. – М.: Мир, 1980. – 208 с.
2. Арутюнян В.М. Физические свойства границы полупроводник-электролит // Успехи физических наук. – 1989. – Т. 158. – № 2. – С. 255–291.
3. Гуревич Ю.Я. Внешний фотоэффект. – М.: Знание, 1983. – 64 с.
4. Герасимов С.А. Фототок в жидкости: метод и попытка экспериментального исследования // Инженерная физика. – 2012. – № 4. – С. 33–33.
5. Герасимов С.А. Об электрических свойствах воды // Техника и технология. – 2012. – № 1. – С. 6–8.
6. Герасимов С.А. Э.Д.С., вода и темнота // Инженер. – 2012. – № 3. – С. 18–20.