DOI: 10.17117/na.2016.10.03.359

Поступила (Received): 24.10.2016

<http://ucom.ru/doc/na.2016.10.03.359.pdf>**Герасимов С.А.****“Зеленый” фотоэлектрический эффект в жидкости****Gerasimov S.A.****“Green” photoelectric effect in liquid**

Эффективность фотоэлектрического приемника, в котором рабочим веществом является жидкость, пока очень мала. Однако выясняется, что внутреннее сопротивление такого источника тока зависит не только от объема жидкости, находящейся в контакте с металлическими электродами, но и от длины волны оптического излучения. Внутреннее сопротивление минимально для излучения, близкого к зеленому

Ключевые слова: вода, алюминий, напряжение, электрический ток, оптическое излучение, длина волны

Efficiency of the photoelectric effect in liquid is so far very small. But it is found out that the internal resistance of such a source of the electric current depends on both the volume of the liquid contacting with metal electrodes and the wavelength of optical radiation. The internal resistance is minimal for an external source emitting green light

Key words: water, aluminum, voltage, electric current, optical radiation, wavelength

Герасимов Сергей Анатольевич

Кандидат физико-математических наук, доцент
Южный федеральный университет
г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5

Gerasimov Sergey Anatolievich

Candidate of Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor
Southern federal university
Rostov-on-Don, Zorge st., 5

Всякий источник электрической энергии характеризуется не только величиной электродвижущей силы (ЭДС), но и значением внутреннего сопротивления. Величина ЭДС может быть очень большой; при большом значении внутреннего сопротивления источник энергии либо перестает быть источником, либо его коэффициент полезного действия не заслуживает внимания. Это же относится и к так называемой солнечной энергетике [1], и к пока достаточно экзотическому проявлению фотоэффекта с участием жидкости [2,3]. Пока нет оснований подозревать, что фотоэлектрический эффект, в котором рабочим веществом является жидкость, а конкретно – дистиллированная вода, не может проявить себя как источник электрической энергии [4,5]. С другой стороны, выяснилось, что в таком варианте фотоэффекта немаловажную роль играет температура [6,7]. Появилось даже предположение, что изменение температуры жидкости является либо вторичным явлением, обусловленным фотоэффектом, либо тепловой нагрев вообще является независимым процессом [7]. Последнее предположение едва ли справедливо всегда, поскольку при тепловом нагреве так называемый темновой ток возрастает [8,9]. В любом случае измерение

внутреннего сопротивления пусть пока слабого фотоэлектрического источника тока представляет собой определенный интерес и не только с практической, экономической или потребительской точки зрения, но и с научной. Знание энергетических характеристик фотоэффекта, чем, к примеру, является внутреннее сопротивление, возможно будет дополнительным шагом в сторону понимания, что же на самом деле происходит с электрическим током в жидкости при облучении ее оптическим излучением. Такое знание может быть получено только экспериментально; расчеты, пусть даже очень строгие и корректные, и, тем более, качественные рассуждения здесь едва ли полезны.

Рис. 1. Экспериментальная установка

Основной частью экспериментальной установки, использованной в настоящей работе, является кювета 1 диаметром 60 мм и высотой 75 мм, боковая поверхность которой 2 изготовлена из алюминия (рис. 1). Вторым электродом фотоэлектрической ячейки является алюминиевый цилиндр 3 диаметром 10 мм и высотой 75 мм. Кювета с жидкостью 4 находится в термостате 5, заполненном водой 6. Это сделано затем, чтобы максимально теплоизолировать кювету от изменений температуры окружающей среды. В рабочей жидкости 4 находится датчик температуры 7, сверху кювета закрыта прозрачным окном 8, в котором установлен датчик 9, показания которого однозначно соответствуют освещенности поверхности жидкости. Электрические сигналы (падение напряжения U на сопротивлении нагрузки R и сопротивление калиброванного терморезистора) регистрируются двухканальным электронным осциллографом 10. Источником света служила одна из трех ламп: LD.0240.3001 (синий свет), LD.0240.3006 (зеленый свет) или LD.0240.3004 (красный свет). Спектры излучения этих источников света показаны на рис. 2.

Эти спектры измерены с помощью спектрометра USB4000-EL (Ocean Optics, Florida, USA); качество их более, чем достаточно для проведения спектрометрических измерений. Более того, они позволяют наиболее точно оценить освещенность. Дело в том, что большинство приборов, предназначенных для измерения освещенности, являются интегральными.

Рис. 2. Спектры излучения синего (B), зеленого (G) и красного (R) излучения

Другими словами, их чувствительность зависит от длины волны λ оптического излучения. Приведенные же на рис. 2 спектры измерены в течение одного времени экспозиции, а значит позволяют отнормировать результаты измерений, скажем на “зеленую” линию.

Рис. 3. Зависимость падения напряжения на резисторе R от времени в течение и после экспозиции

На рис. 3 показана форма сигнала, то есть зависимость изменения падения напряжения ΔU от времени. Такие измерения целесообразно проводить многократно и в периодическом режиме. Это дает возможность не только учесть дрейф темнового тока, но и сделать измерения более точными. Под

изменением напряжения ΔU понимается разность между падением напряжения в данный конкретный момент и падением напряжения в момент, соответствующий началу оптической экспозиции.

Может показаться, что внутреннее сопротивление фотоэлектрического тока в жидкости достаточно мало. Действительно, приведенный пример демонстрирует, что изменение сопротивления нагрузки от 200 кОм до 75 кОм приводит к изменению напряжения всего лишь процентов на 15. Наверное, это происходит не всегда.

Если $I_1 = U_1 / R_1$ – ток, текущий через резистор при его сопротивлении, равном R_1 , а $I_2 = U_2 / R_2$ – то же при $R = R_2$, то к внутреннему сопротивлению r можно относиться как

$$r = (U_2 - U_1) / (I_1 - I_2).$$

Рис. 4. Внутреннее сопротивление при различных длинах волн λ и при различных объемах жидкости

То, что эта величина должна зависеть от объема жидкости, подвергнутой облучению, – понятно. Понятно также, почему при уменьшении объема жидкости внутреннее сопротивление может уменьшаться. Это, судя по всему, обусловлено нелинейностью зависимости сопротивления от величины тока в цепи. Неожиданным, но очень интересным оказалось то, что внутреннее сопротивление обладает минимумом, положение которого близко к длине волны “зеленого” излучателя (рис. 4). Чуть ли не единственная возможность проинтерпретировать такое поведение внутреннего сопротивления при изменении длины волны, это предположить, что работают как минимум два механизма формирования электрического тока в жидкости. Один из них – чисто фотоэлектрический и имеющий квантовую природу, а второй связан с локальным нагревом. Так или иначе, но такая гипотеза вполне имеет право на существование и имеет подтверждение, правда косвенное [6]. Однако, если эти механизмы работают в

разных областях спектра оптического излучения, то в ряде случаев корреляция между зависимостями падения напряжения (рис. 3) и температуры жидкости от времени не должна быть бесспорной.

Рис. 5. Пример изменения температуры Δt и падения напряжения ΔU в течение одной экспозиции со средней освещенностью поверхности жидкости $E=3600$ лк

То, что показано на рис. 5, ставит под сомнение доминирующую роль теплового нагрева в формировании электрического тока в жидкости. Изменение фототока, текущего через резистор, ни в коей мере не повторяет синхронное изменение температуры жидкости. С другой стороны, как отмечалось, для пренебрежения влиянием температуры оснований нет. Отсюда вывод: внутреннее сопротивление жидкости не только может зависеть от длины волны падающего на нее излучения, но и может иметь минимальное значение. Это, в свою очередь, позволяет оптимизировать не только постановку эксперимента, но и удовлетворить требования энергетической составляющей работы.

Список используемых источников:

1. Миличко В.А., Шалин А.С., Мухин И.С., Ковров А.Э., Красилин А.А., Виноградов А.В., Белов П.А., Симовский К.Р. Солнечная фотовольтаика: Современное состояние и тенденции развития. // УФН. 2016. Т. 186. № 8. С. 801-852.
2. Гуревич Ю.Я. Внешний фотоэффект. М.: Знание, 1983. 64 с.
3. Арутюнян В.М. Физические свойства границы полупроводник-электролит. // УФН. 1989. Т. 158. № 2. С. 255-291.
4. Герасимов С.А. Фототок в жидкости: метод и попытка экспериментального исследования. // Инженерная физика. 2012. № 4. С. 31-33.
5. Герасимов С.А. Электрический ток в жидкости и фотоэффект. // Квант. 2013. № 4. С. 29-31.
6. Герасимов С.А., Лысенко В.С. О тепловой составляющей фотоэлектрического тока в жидкости. // Вопросы прикладной физики. 2013. Вып. 20. С. 39-41.
7. Герасимов С.А., Лысенко В.С. Температура фотоэлектрического тока в жидкости. // Инновационная наука. 2016. № 6. С. 15-20.

8. Герасимов С.А. Остаточный темновой фототок в жидкости. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.
9. Герасимов С.А. Фон фотоэлектрического тока в жидкости. // Техника и технология. 2012. № 6. С. 10-14.

© 2016, Герасимов С.А.

“Зеленый” фотоэлектрический эффект в жидкости

© 2016, Gerasimov S.A.

“Green” photoelectric effect in liquid