# Лазерная абляция в жидких средах в условиях внешнего электрического поля

**В.С. Казакевич[1], Д.А. Казакевич[1,2], П.В. Казакевич[1], П.С. Яресько[1]**

[1]Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Ново-Садовая 221, Самара, Россия, 443011

[2]Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

**Аннотация.** Методом импульсной лазерной абляции в жидкости были получены наночастицы золота в средах дистиллированной воды и 96% этилового спирта. Исследовалось влияние приложения внешнего электрического поля в диапазоне напряжений от 1 до 7 кВ на процессы лазерной абляции. Полученные наночастицы характеризовались методом оптической спектрофотометрии. В случае синтеза золотых наночастиц в среде дистиллированной воды в оптических спектрах поглощения частиц по мере увеличения напряжённости электрического поля наблюдалось падение оптической плотности. Спектры, полученные для наночастиц, синтезированных в среде этанола, напротив, характеризуются увеличением оптической плотности и уменьшением ширины полосы поглощения с увеличением напряжённости электрического поля.

## 1. Введение

Известно, что под воздействием мощного лазерного излучения на поверхности металлических мишеней происходит формирование плазмы [1]. Если воздействие осуществляется импульсным излучением с длительностью импульса $\tau \leq 10^{-6}$ с в жидкой среде, то возникновение гидродинамических неустойчивостей в образовавшейся плазме приводит к формированию отрицательно заряженных металлических наночастиц в объеме жидкости [2]. Наличие заряда у формирующихся наночастиц позволяет управлять их свойствами посредством приложения внешних электрических или магнитных полей. Так, в работе [3] методом импульсной лазерной абляции в дистиллированной воде в присутствие внешних электрического и магнитного полей были получены серебряные наночастицы. При этом с приложением внешних полей наблюдалось изменение размеров частиц и смещения в спектрах оптического поглощения коллоидов наночастиц. Однако напряженности прикладываемых внешних полей были незначительными. Использование полей высокой напряжённости может привести к качественно новым результатам. Поэтому целью данной работы было исследование влияния внешнего электрического поля, создаваемого разностью потенциалов в диапазоне значений от 1000 до 7000 В, на процессы лазерной абляции металлов в средах дистиллированной воды и этилового спирта.

## 2. Техника эксперимента

Синтез металлических наночастиц осуществлялся по отработанной схеме лазерной абляции [4]. Был использован Nd:YAG лазер с длиной волны 1064 нм, длительностью импульса 250 пс, частотой следования импульсов 20 Гц, энергией в импульсе 0.3 Дж/см$^2$. Плотность энергии на поверхности мишени составляла 2 Дж/см$^2$. Облучение производилось в динамическом режиме. Для этого кювета с мишенью помещалась на моторизированные столики Standa и перемещалась относительно неподвижного лазерного пучка. Скорость сканирования по одной координате составляла 3 мкм/с, интервал смещения по другой – 10 мкм. В качестве жидких сред, в которых происходила наработка наночастиц, использовались дистиллированная вода и 96% этиловый спирт. Образцом служила золотая (99.99%) пластинка толщиной 0.5 мм.

Для исследования влияния внешнего электрического поля, создаваемого разностью потенциалов в диапазоне значений от 1000 до 7000 В, на процессы лазерной абляции металлов в средах дистиллированной воды и этилового спирта, медные обкладки площадью 1 см$^2$ крепились на вертикальных стенках кварцевой кюветы на расстоянии 1 см друг от друга (рисунок 1).

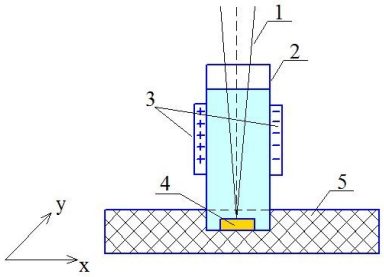


**Рисунок 1.** Схема эксперимента. 1 – лазерное излучение, 2 – кварцевая кювета, 3 – медные обкладки, 4 – мишень, 5 – подставка под кювету.

Полученные коллоиды анализировались методом оптической спектрофотометрии с помощью спектрофотометра ЛОМО спектр СФ-56.

## 3. Результаты и обсуждение

В результате воздействия лазерного излучения на золотую мишень в дистиллированной воде без приложения внешнего электрического поля и в его присутствие были получены коллоиды золотых наночастиц в воде, имеющие фиолетовый окрас различной интенсивности в зависимости от условий синтеза. Оптические спектры поглощения коллоидов золота в воде представлены на рисунке 2.

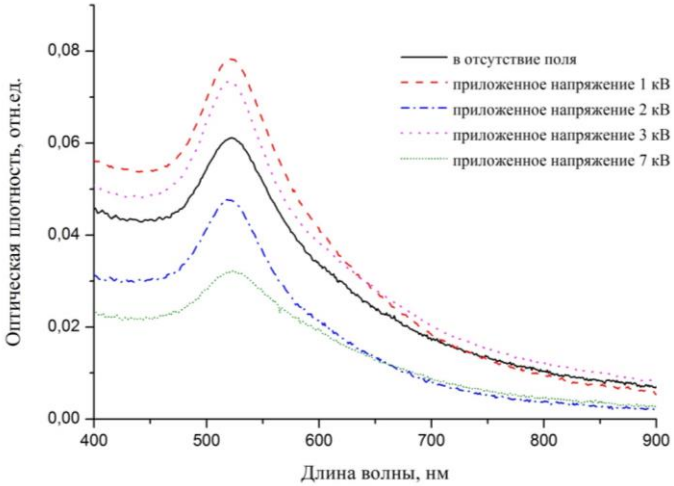


**Рисунок 2.** Спектры поглощения золотых наночастиц, синтезированных методом лазерной абляции в воде с приложением внешнего электрического поля.

Наблюдается характерная для золотых наночастиц полоса поглощения с максимумом, приходящимся на 530 нм. Как видно из спектров поглощения, с приложением внешнего электрического поля к кювете, в которой происходил синтез золотых наночастиц, характер кривой не изменялся. Это может говорить о том, что качественных изменений в морфологии синтезированных наночастиц с приложением внешнего электрического поля в данной геометрии эксперимента не происходит.

Наночастицы, синтезированные в среде этилового спирта, также имеют характерную для золота полосу поглощения, однако с приложением внешнего электрического поля происходит уменьшение её ширины (рисунок 3). Подобные изменения в спектрах поглощения металлических наночастиц могут быть связаны с процессом фрагментации массивов наночастиц. Процессы фрагментации протекают при повторном попадании генерируемых частиц в область распространения лазерного пучка. С приложением внешнего электрического поля к заряженным металлическим наночастицам вероятность их повторного облучения повышается.

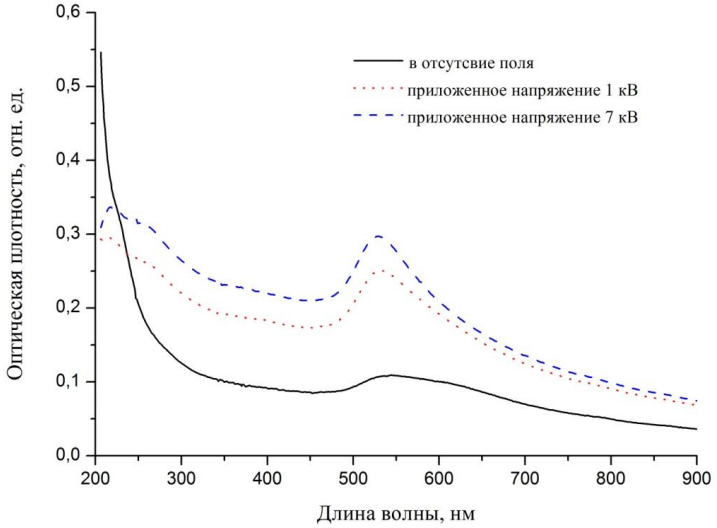


**Рисунок 3.** Спектры поглощения золотых наночастиц, синтезированных методом лазерной абляции в этиловом спирте с приложением внешнего электрического поля.

В результате лазерной абляции золота в условиях внешнего электрического поля наблюдалось изменение оптических характеристик коллоида в случае генерации наночастиц в среде этилового спирта. При синтезе наночастиц в дистиллированной воде приложение внешнего электрического поля не внесло изменений в спектры поглощения.

## 4. Литература

[1] Zijie, Y. Pulsed laser ablation in liquid for micro-/nanostructure generation / Y. Zijie, B. Chrisey // Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. – 2012. – Vol. 13. – P. 204-223

[2] Sylvestre, J.-P. Surface Chemistry of Gold Nanoparticles Produced by Laser Ablation in Aqueous Media / J.-P. Sylvestre, S. Poulin, A.V. Kabashin, E. Sacher, M. Meunier, J.H.T. Luong // J. Phys. Chem. B. – 2004. – Vol. 108. – P. 16864-16869. DOI: 10.1021/jp047134+

[3] Abbas, K. The Effect of Electric and Magnetic Field on Silver Nanoparticles Prepared by Pulse Laser Ablation / K. Abbas, M. Ibrahim, K. Naser // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2016. – Vol. 7(6). – P. 976-980.

[4] Казакевич, В.С. Лазерная абляция золота в жидком аргоне / В.С. Казакевич, П.В. Казакевич, П.С. Яресько, Д.А. Камынина // Физическое образование в вузах. – 2016. - № 1. – С. 159-164.

# Laser ablation in liquids under the conditions of external electric field

**V.S. Kazakevich[1], D.A. Kazakevich[1,2], P.V. Kazakevich[1], P.S. Yaresko[1]**

[1]Samara branch of P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Novo-Sadovaya 221, Samara, Russia, 443011
[2]Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

**Abstract.** Gold nanoparticles in distilled water and 96% ethanol by pulsed laser ablation in a liquid were obtained. The influence of the external electric field in the voltage range from 1 to 7 kV on laser ablation processes was investigated. Obtained nanoparticles were characterized by optical spectrophotometry. In the case of the synthesis of gold nanoparticles in a medium of distilled water in the optical absorption spectra of particles with an increase in the electric field strength, a decrease in the optical density was observed. The spectra obtained for nanoparticles synthesized in ethanol, on the contrary, are characterized by an increase in optical density and a decrease in the width of the absorption band with an increase in the electric field strength.