



**Гатчинский разряд в Китае и в России  
— исследование продолжается**

***Г.Д. Шабанов.***

**НИЦ «Курчатовский институт» -ПИЯФ, 04.02.2020**

# План доклада

1. Этот семинар прошу рассматривать как просьбу бесплатного совета (обычно это дорого стоит, но рискнем).
2. Доклад будет состоять из двух частей — исследование гатчинского разряда в Китае и теоретическое изучение его двумя ведущими институтами в России.
3. В комментариях к кадрам из видеосъемки будут упомянуты кадры которых нет в презентации, так как комментарии взяты из статьи готовящейся к публикации.
4. Литература, на которую ссылается докладчик, вставлена в слайды по мере присутствия в них места, максимально близко к месту ссылки.
5. Все слайды пронумерованы.

**В Китае, в провинциальном (как Гатчина) городе Харбин с населением  $10^7$  человек находится государственный (как ПИЯФ) Харбинский технологический институт. В этом институте в ноябре-декабре 2019 года были проведены эксперименты с гатчинским разрядом с целью уточнения механизма его функционирования. Благодаря упорной и конструктивной работе аспиранта Shixin Zhao под руководством профессора Chengxin Yuan с участием Российских исследователей была собрана установка для генерирования гатчинского разряда и на его базе, предположительно, открыты два новых физических эффекта.**

**Вид с Харбинской телебашни.**



**НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, 2020**



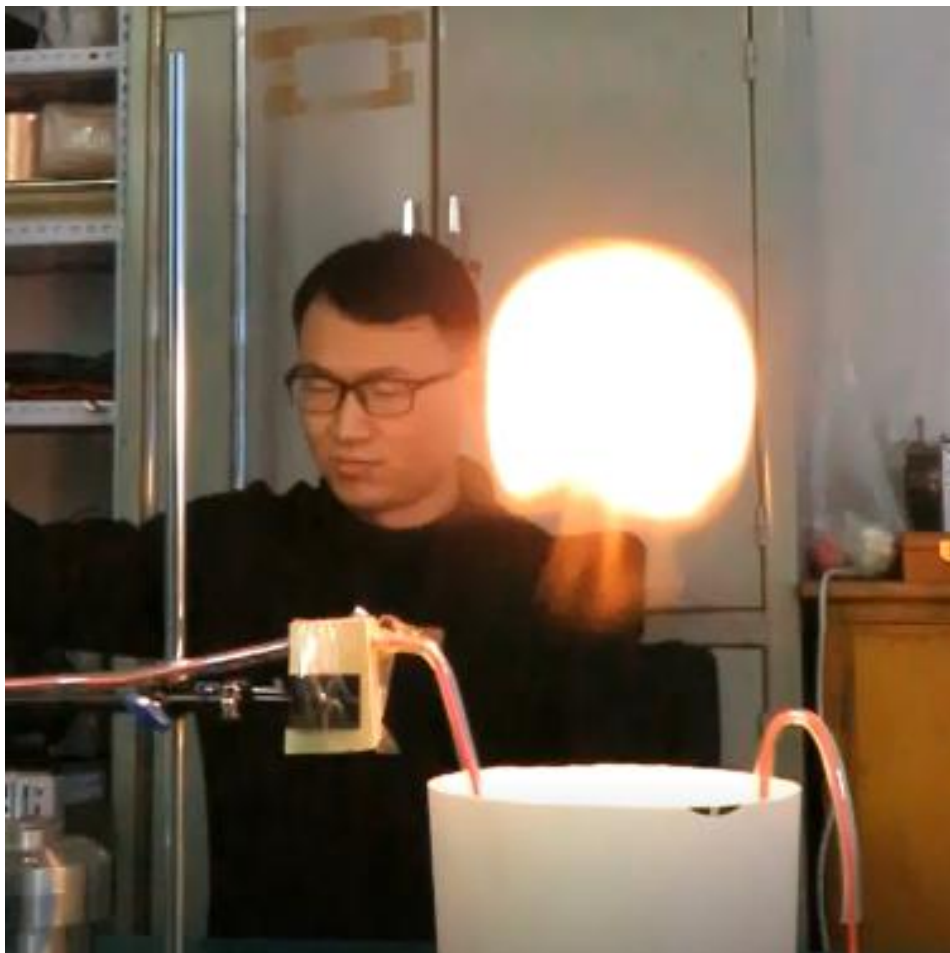
Кампус, дорога в институт.

# Центральный вход в институт.



Показ слайдов

**НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, 2020**



**У аспиранта Shixin Zhao «проба пера».**

**НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, 2020**

Гатчинский разряд представляет собой импульсный электрический разряд с поверхности воды в воздушное полупространство и наиболее полно описан в [1]. В данном разряде формируются долгоживущие светящиеся образования (плазмоиды<sup>[1]</sup>), о структуре которых нет единого мнения у различных групп исследователей [1–4]. При образовании плазмоида в разряде можно выделить две фазы его формирования. В первой фазе разряда начинает формироваться плазмоид, который гальванически связан с источником питания. Во второй фазе разряда плазмоид гальванически не связан с источником питания и светится за счет запасенной в первой фазе разряда энергии. Почти все исследователи считают, что первая фаза разряда является определяющей для последующей «жизни» плазмоида, в частности, эта фаза определяет время продолжительности его свечения.

Первыми получили фотографии первой фазы разряда с хорошим разрешением японские исследователи [2]. Они большое внимание уделили исследованию развития лидерно-стримерной «паутины» в первой фазе разряда. На фотографиях из их работы видны ярко светящаяся область у электрода и развивающиеся из этой области лидеры по поверхности воды. Это процесс они сравнили с осьминогом, где свечение у электрода подобно голове, а расходящиеся от электрода лидеры похожи на щупальца осьминога. В своем развитии «голова» осьминога растет в размере, а «ноги» (лидеры) после их роста начинают поджиматься и подниматься к «голове». Предполагается, что в этом процессе первой фазы образуются высокоэнергетические ионы и атомы, которые определяют длительность второй фазы, когда плазмоид не имеет гальванической связи с электродом и существует только за счет запасенной энергии [1–4]. <sup>[1]</sup> Далее в статье будет использоваться термин «плазмоид». Мы считаем, что этот термин не отражает физической сути образующегося в разряде долгоживущего светящегося образования, но он удобнее (как более короткий) и к тому же используется основной массой исследователей.

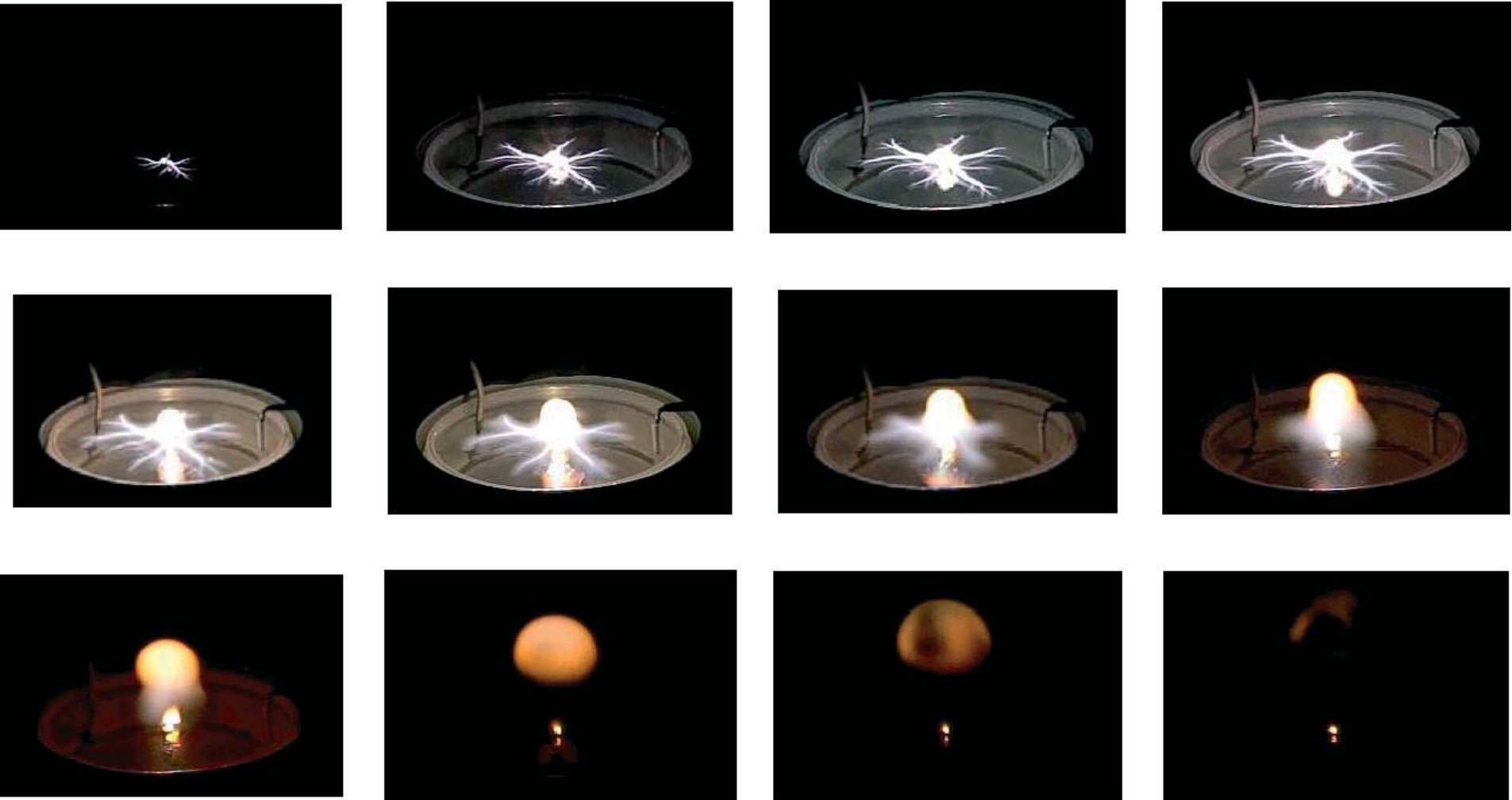


# Мотивация постановки экспериментов с варьированием параметров видеосъемки

Гатчинский разряд в первые десятки мс имеет сильную светимость. Естественно, что для устранения излишней засветки используют диафрагмирование. Таким образом получены кадры в работах, например, [2, 3]. С другой стороны автор работы [4], при исследовании гатчинского разряда нашел, что образующийся плазмод содержит четыре цвета одновременно. Но видеокамера фиксирует «белый свет», поэтому в работе [4] были использованы определенные приемы выделения каждого цвета отдельно. Достаточно хорошей аналогией белого света может служить «белый шум», который многим известен как какофония. Он слышится сначала на пределе слухового восприятия, например из противоположного конца зала от оркестровой ямы, где происходит настройка музыкальных инструментов. Воспринимая какофонию как сочетания хаотических и бессмысленных звуков нельзя забывать при этом, что это одновременное звучание скрипки, контрабаса, флейты и т.д. Услышать отдельное звучание, какого либо музыкального инструмента можно используя для этой цели узконаправленный микрофон или частотные фильтры. По аналогии, используя различные световые фильтры можно выделить предполагаемые «аккорды» в плазмоиде. Эксперименты приведенные ниже показали плодотворность данного подхода.

[1] G.D. Shabanov. On the possibility of making natural ball lightning using a new pulse discharge type in the laboratory. Physics - Uspekhi 62 (1) 92 - 107 (2019). DOI: [10.3367/UFNe.2018.03.038318](https://doi.org/10.3367/UFNe.2018.03.038318).

[2] N. Hayashi, H. Satomi, T. Mohri, T. Kajiwara, T. Tanabe. General Nature of Luminous Body Transition Produced by Pulsed Discharge on an Electrolyte Solution in the Atmosphere. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering 4: 674–676 (2009). DOI:[10.1002/tee.20460](https://doi.org/10.1002/tee.20460).



A set of some images during the LB transition taken at 600 fps.  $V_0 = 5 \text{ kV}$ ,  $C_0 = 400 \mu\text{F}$ ,  $\sigma = 50 \text{ mS/m}$ . A Cu-rod cathode of 8 mm in diameter and a ring anode of 260 mm in diameter were used. **Первый кадр соответствует 1-ой мс разряда, последний 183-ей мс.** [2] N. Hayashi, H. Satomi, T. Mohri, T. Kajiwara, T. Tanabe. General Nature of Luminous Body Transition Produced by Pulsed Discharge on an Electrolyte Solution in the Atmosphere. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering 4: 674–676 (2009). [DOI:10.1002/tee.20460](https://doi.org/10.1002/tee.20460).



**[3]** Ursel Fantz, Stefan Briefi, Roland Friedl, Martin Kammerloher, Johannes Kolbinger, and Alexander Oswald. Initial Phase of a Large Atmospheric Plasmoid Generated Above a Water Surface. *IEEE Trans. Plasma Sci.* 42 NO. 10. pp. 2624-2625 (2014).

**[4]** G.D. Shabanov. The Optical Properties of Long-Living Luminous Formations. *Technical Physics Letters*, Vol. 28, No. 2, pp. 164–166 (2002).

**Formation of the plasma ball from the inner electrode (tungsten rod in a ceramic cylinder) with streamer-like structures above the water surface. The second electrode is a copper plate located at the bottom of the water container with a diameter of 20 cm. The picture is taken with an exposure time of 1.25 ms within the time period of 17–33 ms after the supply of energy to the electrodes.**

The initial phase, i.e., the formation of the **plasma ball** during the time period in which the electrodes are powered, is of special interest to identify the channels of energy feed. Therefore, a fast camera with 600 frames/s is used. The investigations show that the plasma ball is formed within the first 20 ms where streamer-like structures above the surface serve as conductive channels for the discharge. Fig. 1 shows a picture taken with a slower frame rate, namely 60 pictures/s to provide sufficient pixel resolution for the image. The streamers start from the inner electrode in a spider-like structure. During the initial phase they expand randomly but symmetrically and increase in length until the whole surface is covered with a thin plasma interspersed by the streamers.

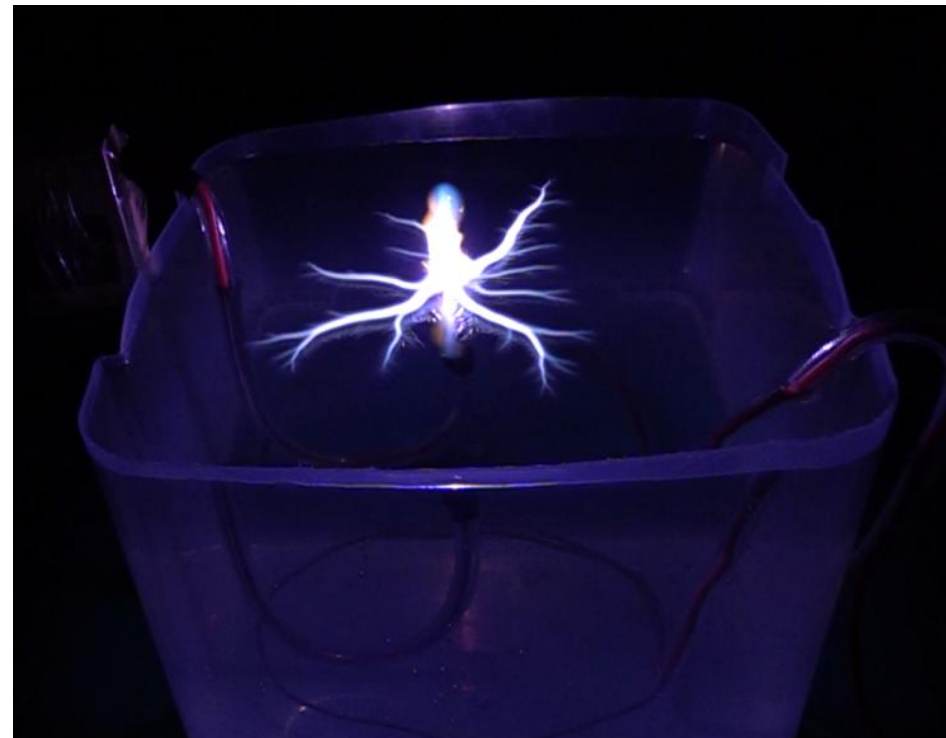
As can be seen in the image, **the streamers excite water waves** due to the local and fast temperature increase, which causes a pressure change. The interference of the waves is to be seen too. Within 33–50 ms, the entire surface is covered with plasma [3].

Принимая во внимание наблюдения отмеченные в статьях [2, 3], в первых экспериментах был получен достаточно стандартный «паук» из расходящихся лидеров. Ниже кадры из видео № CO127.MP4 снятой камерой Sony FDR-AX700, 500 fps. Начальное – конечное напряжение на конденсаторной батарее 5.50 – 2.37 кВ. Свет от разряда появляется на первом кадре в диапазоне от 0 до 2 мс и в это время лидеры имеют длину около 6 см (а – 2 мс). На втором кадре (б – 4 мс) лидеры имеют длину немногим более 9 см и видны волны расходящиеся от образующихся лидеров, и эти волны создают в дальнейшем интерференционную картину на поверхности воды.

а – 2 мс.

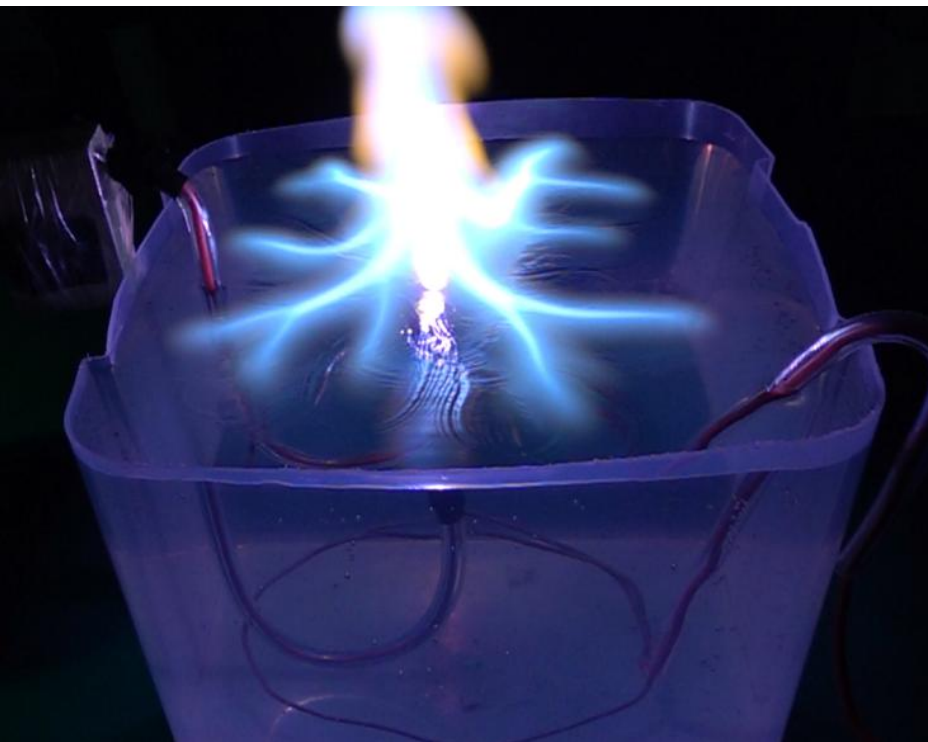


б – 4 мс.

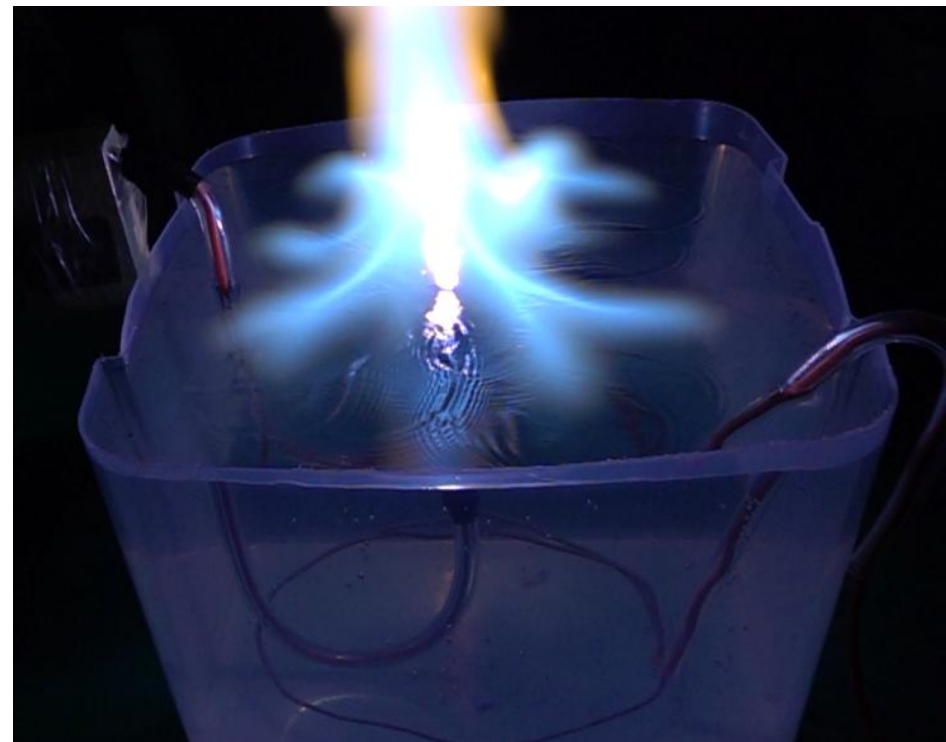


На кадрах и – 36 мс, л – 54 мс видно, что волны начинают взаимодействовать друг с другом, создавая интерференционную картину. Лидеры достигают своей наибольшей длины (д – 18 мс) – около 11 см), но их очертания становятся все более размытыми. Лидеры исходят от центрального электрода, но не с его поверхности, а из плазменного ядра (что также упоминается в работе [3] – как плазменный шар) находящегося над электродом, поэтому вблизи электрода они отрываются от воды. Чем больше времени проходит от начала разряда, тем большая часть каждого лидера оказывается оторванной от поверхности воды. В целом картинка идентична картинке из [3], но с бОльшим временным и пиксельным разрешением.

и – 36 мс



л – 54 мс



На кадрах **к – 44 мс** и **л – 54 мс** видно, что лидеры начинаются высоко над электродом (на высоте 5–6 см), спускаются вниз, и они уже **как бы стоят на «лапках»**. Их длина проекции на радиальное направление существенно сокращается. Волны продолжают интерферировать.

На последних кадрах **м – 66 мс**, **н – 78 мс** первая фаза разряда практически закончилась и образовавшийся плазмоид начинает свое автономное существование. Ряд видеок кадров от **а – 2 мс** до **н – 78 мс** казалось бы, представляет достаточно ясную картину развития первой стадии гатчинского разряда. На кадрах видно, что лидеры и стримеры (стримеры более хорошо видны на кадрах **и – 36 мс**, **к – 44 мс**, **л – 54 мс**) образуют лидерно-стримерную систему, которая «рождает» будущий автономный плазмоид.

В следующей серии экспериментов видеокамеру Sony FDR-AX700, 500 fps **оснастили фильтром с полосой пропускания 400 – 500 нм**. Разряд был выполнен на схожих начальных условиях с видео № СО127.MP4. У разряда в видео № СО114.MP4 начальное – конечное напряжение на конденсаторной батарее 5.50 – 2.26 кВ.

**а-2мс**



**е-40мс**



**к-78мс**



**л-120мс**





С точки зрения обнаружения новых «мелких» деталей вышеприведенные снимки не представляют большого интереса. Однако, лидерно-стримерная система оказалась в этом оптическом диапазоне длин волн практически не видимой и накрытой какой-то «шубой». «Шуба» имеет сверху синий цвет, под ним цвет переходит в цвет похожий на цвет морской волны и далее в белый цвет. На кадрах  $d - 24$  мс,  $e - 40$  мс, и  $- 56$  мс и других видно, что плазмоид поднимается вдоль отражающей плоскости. Эта плоскость представляет собой нержавеющей полосу  $100 \times 300$  мм и  $\approx 0.2$  мм и предназначалась для экспериментов по выявлению электрического поля образующегося плазмоида. При автономном существовании плазмоида «шуба», в этом диапазоне длин волн, имея многослойное строение, на последующих кадрах оказывается «телом» плазмоида, видимым практически однородным в «белом» свете, когда плазмоид снимают без фильтра. В [1] показано, что телом плазмоида является оболочка и поэтому наблюдаемая нами эволюция «шубы» является процессом образования оболочки. Далее приведем данные о скорости ее «роста».

Наблюдаем изображения кадров с  $m - 150$  мс. В автономном плазмоиде идут процессы релаксации, которые пока еще не затрагивают собственно оболочку плазмоида. Длины волн исходящие от плазмоида говорят о том, что процессы их генерирующие достаточно энергичные. Природу их можно будет определить сравнивая одновременные изображения кадров со спектрами плазмоида полученными в тот же момент времени.

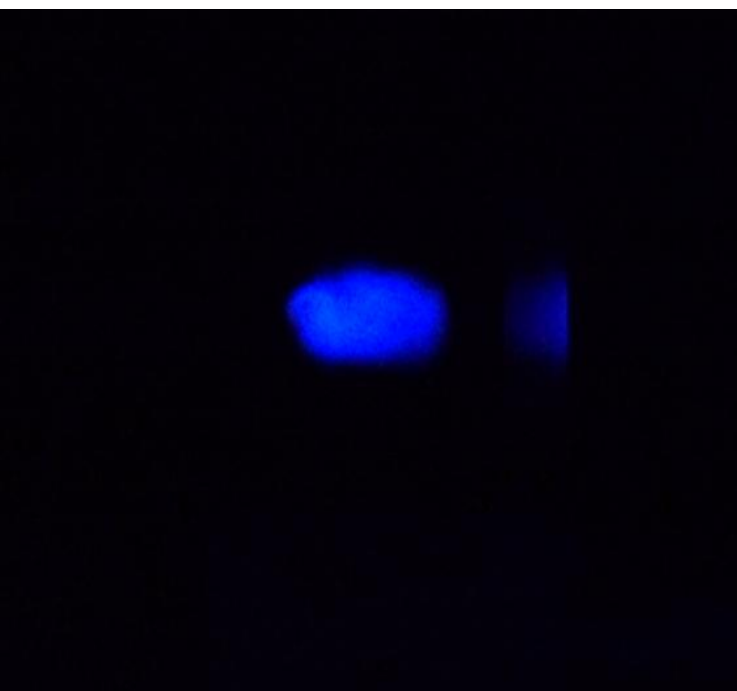
**m-150мс**



**o-176мс**



**p-200мс**



**c-250мс**

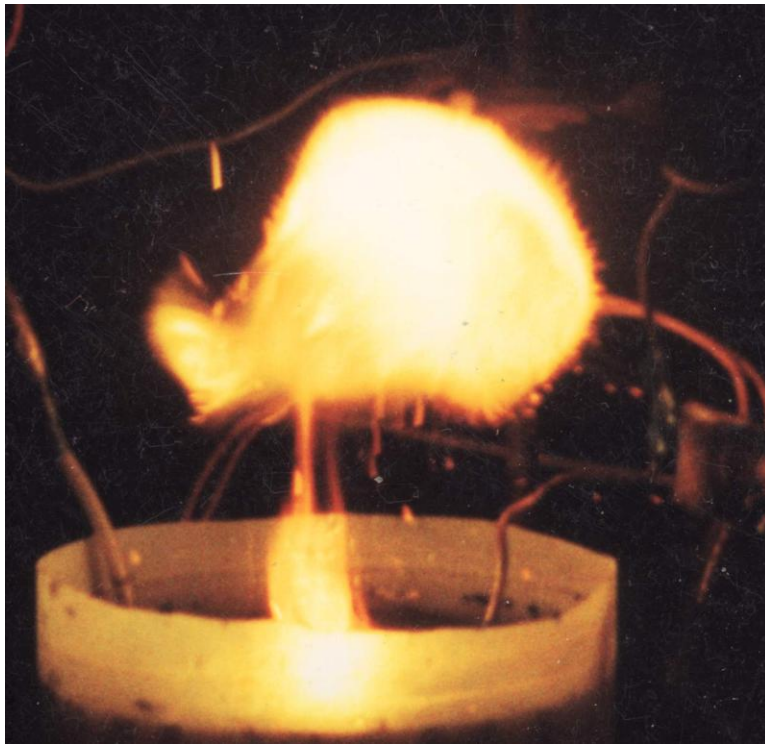
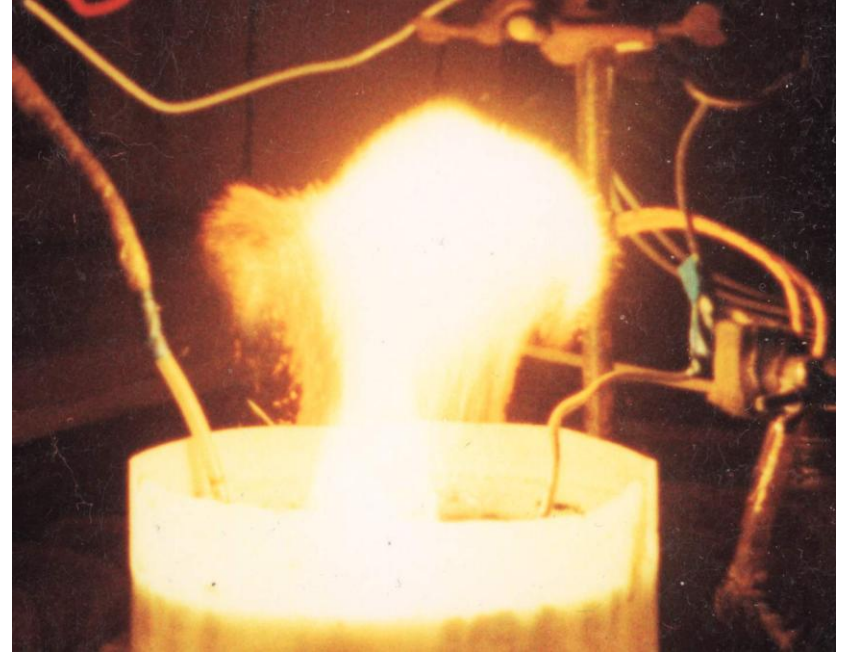
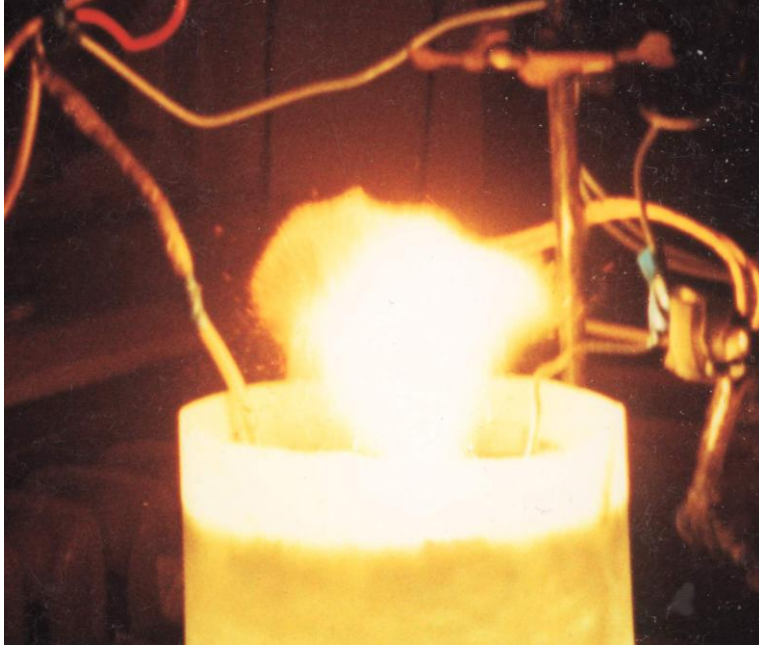


*Как ни странно, но наличие оболочки не является общепризнанным у исследователей гатчинского разряда. Это может быть следствием размещения наших статей в журналах «Физика плазмы», «Химическая физика», и др. в которых нет свободного доступа к статьям. Размещенные нами снимки в этих статьях однозначно показывают наличие оболочки. На следующем слайде (из предыдущей презентации) приведен такой пример.*

**Попытки понять механизм процессов происходящих в первой стадии гатчинского разряда используя различные способы получения лучшего разрешения позволили зафиксировать следующее — новый физический эффект записанный в видео № СО157.MP4 снятой камерой Sony FDR-AX700, 1000 fps. Начальное — конечное напряжение на конденсаторной батарее 5.50 – 2.17 кВ.**

Для лучшего понимания динамики гатчинского разряда оценим масштабы.

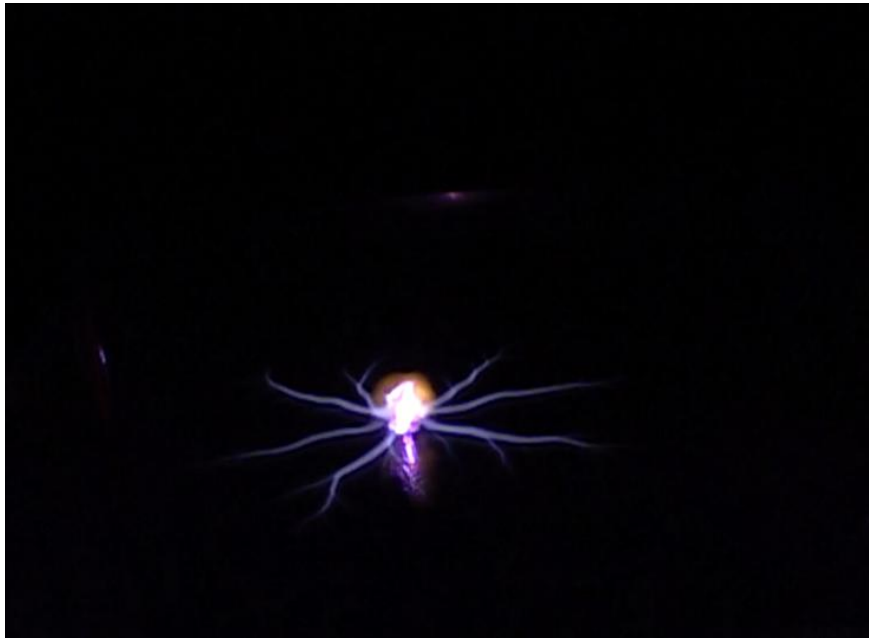
**1. О мощности. В начале разряда, до 20 мс, средняя мощность разряда около 250 кВт. Получение больших мощностей длительностью несколько нс, даже мкс не представляет большой сложности. В нашем случае мощность разряда в первые 20 мс сравнима с мощностью паровоза в 250 кВт, и даже на 50-ой мс она составляет 150 кВт. В разряде (1 – 1 мс) уже на первой мс образовалась сфера бурого цвета диаметром около 2 см. Она образовалась в результате «взрыва», который распылил воду находящуюся на электроде, в смеси с десятками синтезированных за это время сложнейших химических соединений [1, 5 – 7]. Взрыв вынес все эти составляющие на границу образовавшейся сферы (оболочки [1]).**



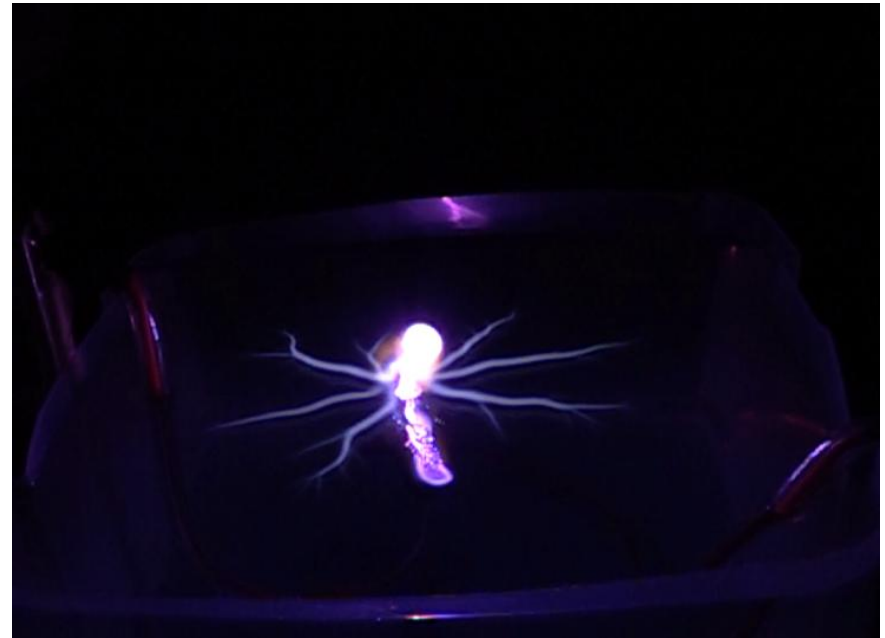
*Деформация и частичное  
разрушение оболочки при  
воздействии на нее  
электрическим полем*

**НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ,  
2020**

1 – 1 мс



2 – 2 мс



[5] D.M. Friday, P.B. Broughton, T.A. Lee, G.A. Schutz, J.N. Betz, C.M. Lindsay. Further insight into the nature of ball-lightning-like atmospheric pressure plasmoids, *J. Phys. Chem. A* 117 (39) 9931–9940 (2013). <http://dx.doi.org/10.1021/jp400001y>.

[6] Scott E. Dubowsky, David M. Friday, Kevin C. Peters, Zhangji Zhao, Richard H. Perry, Benjamin J. McCall Mass spectrometry of atmospheric-pressure ball plasmoids *Int. J. Mass Spectrom.* 376 39 (2015).

[7] SCOTT EDWIN DUBOWSKY. Characterization and analysis of ball plasmoid discharges. DISSERTATION: Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Chemistry in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana-Champaign (2018). Urbana, Illinois. Doctoral Committee: Professor Benjamin J. McCall, Chair; Professor Dana D. Dlott, Professor J. Gary Eden, Professor David N. Ruzic.

**2. О времени. На первом кадре мы видим сферу диаметром около 2 см. Возможно ли построение такой сферы за одну миллисекунду из синтезированных химических соединений? Рассмотрим масштаб времен. Время элементарной реакции в плазме (ионизация, рекомбинации, образование радикалов и т.д.) составляет  $10^{-8} \div 10^{-10}$ , значит, за 1 мс может пройти  $10^5 \div 10^7$  поколений реакций соответственно. Для сравнения, возраст Египетской цивилизации составляет всего около 350 поколений. То есть, за  $100000 \div 10000000$  поколений вполне возможно построить, хотя бы, сферу описанную выше.**

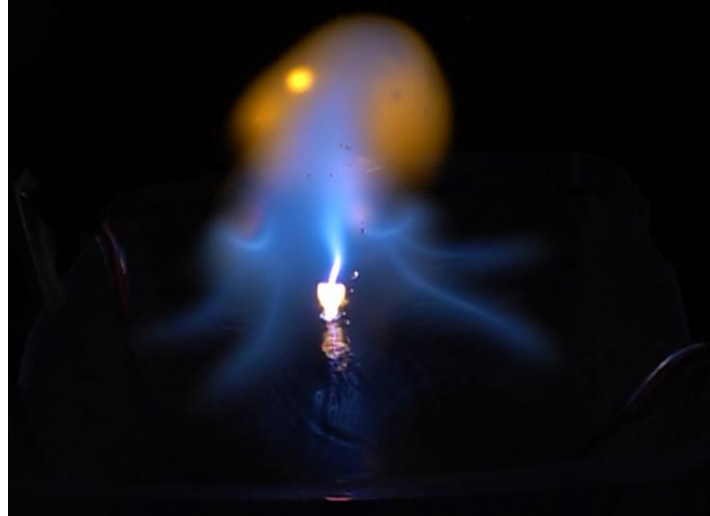
**5 – 11 мс**

**9 – 50 мс**

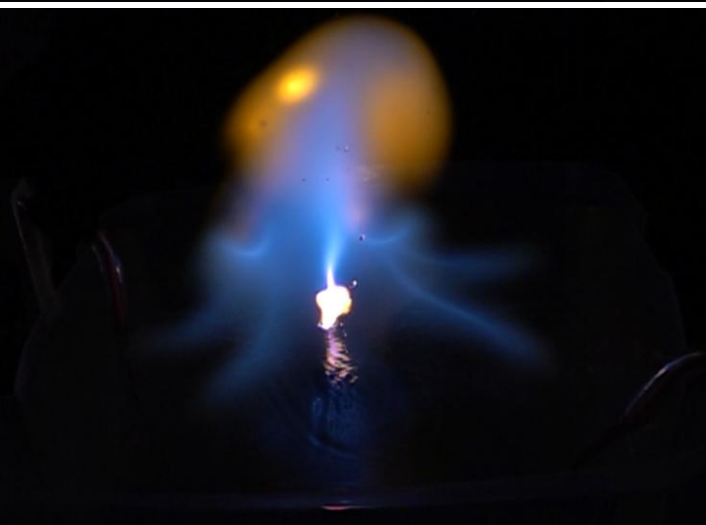




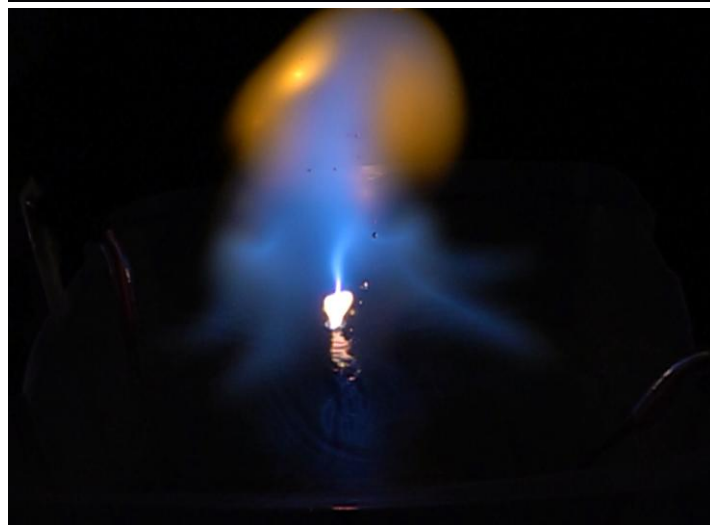
**10–60  $\mu\text{s}$**



**11–70  $\mu\text{s}$**



**12–74  $\mu\text{s}$**



**15–81  $\mu\text{s}$**



**16–85  $\mu\text{s}$**



**17–89  $\mu\text{s}$**

***Ваши  
Предложения  
?***



В районе **40-50 мс** (**8 – 40 мс, 9 – 50 мс**) плазменная струя постепенно трансформируется в небольшое **плазменное ядро** (диаметром около **1.5 см**) с выходящей из верхней части его **плазменной струей** до высоты **4 см** над **электродом**. Лидеры к этому времени поднялись на высоту **5 и 6 см** соответственно, но **при 50 мс** высота струи уменьшилась до  $\approx 3$  см, над электродом. Оранжево-бурая шапочка выросла до диаметра  $\approx 6$  см.

К **60 мс** более четко оформилось «ядро» и выходящая из него «плазменная струя». Из струи, достаточно ярко очерченной, бьет фонтанчик и все это приближается по виду к фонтанчику — бронзовая статуя-фонтан «Писающий мальчик».

**14 – 78 мс**



# Новый физический эффект в Гатчинском разряде — «Писающий мальчик»

## *Абстракт*

В гатчинском разряде обнаружен процесс, который в динамике напоминает знаменитую миниатюрную бронзовую статую-фонтан «Писающий мальчик»<sup>1</sup>. В статье подробно описывается этот физический эффект и рассматривается возможный механизм его функционирования.



<sup>1</sup>Статуя Жерома Дюкенуа Старшего. Писающий мальчик. 1619. Manneken Pis. Бронза. Высота 61 см. Брюссель, Rue de l'Étuve, 46.

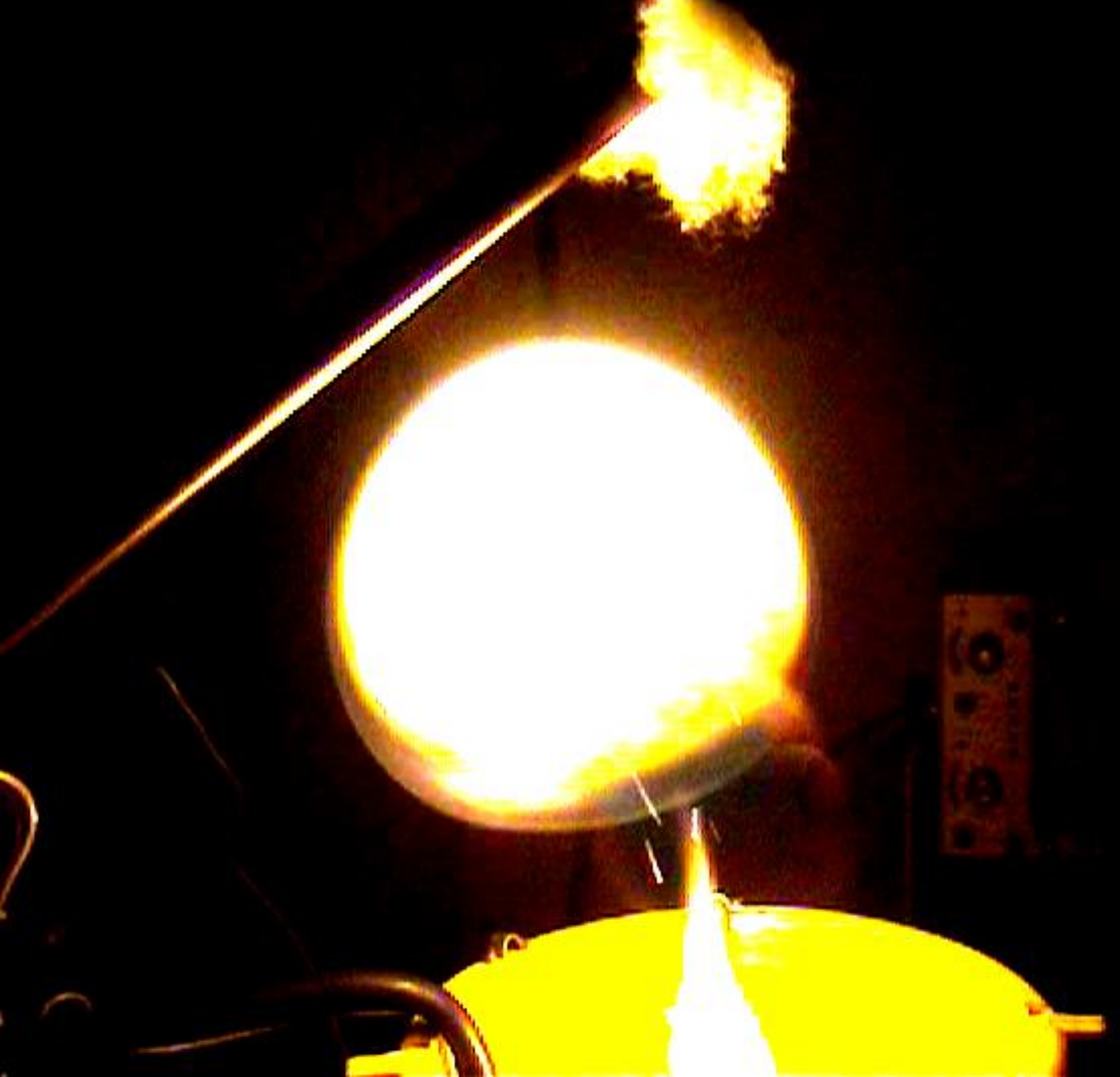
## Возможный механизм функционирования нового физического эффекта — «Писающий мальчик»

- В разряде (1 – 1 мс) уже на первой мс образовалась сфера бурого цвета диаметром около 2 см. Она образовалась в результате «взрыва», который распылил воду находящуюся на электроде, в смеси с десятками синтезированных за это время сложнейших химических соединений [1, 5 – 7]. Взрыв вынес все эти составляющие на границу с образованием сферы (оболочки [1]). В это же время происходит макроскопическое разделение зарядов и в работе [1] приводились данные по возможным нескомпенсированным зарядам у образующихся плазмоедов. Предполагается, что нескомпенсированный заряд «осел» на составляющих элементах сферы. Появился запирающий потенциал. Это явилось причиной образования потенциального барьера — виртуального катода.

## Вопросы оболочки

Основной характеристикой объектов, рождающихся в гатчинском разряде, является наличие значительного нескомпенсированного электрического заряда, что мы уже показали. Для удержания заряда от рассеяния и рекомбинации он должен быть изолирован от атмосферы оболочкой. Оболочка близка к идеальной сфере. Оболочка обычно не видна из-за сильного свечения. Применяв фильтры, можно ее визуализировать, она хорошо видна на фоне более темной нижней части объекта (визуализированная, упругая, оболочка представлена на 33-34 слайде.).

Оболочка создается в сильном неоднородном электрическом поле, в котором дипольные молекулы и радикалы идут на источник поля, к поверхности воды (все как в случае с лидером или проводником). Поднимающееся светящееся образование (оболочка), имея с внутренней стороны нескомпенсированный заряд (заряды), у которых имеется обычное кулоновское взаимодействие (это называется в нашем случае кулоновским расталкиванием) преобразуется в сферическое образование с плотной и упругой дипольной оболочкой. Естественно предположить, что при снятии части заряда оболочка станет менее плотной. Действительно, при снятии части заряда оболочка становится более рыхлой, снимая со светящегося образования большой заряд, оболочка кроме разрыхления теряет еще и свои упругие свойства, что видно на следующих слайдах. Доказательство синтеза химических веществ в разряде для диэлектрической оболочки представлены исследователями из лаборатории ВВС США ([Dubowsky S.E., Friday D.M., Peters K.C., Zhao Z., Perry R.H., McCall B.J.: Mass spectrometry of atmospheric-pressure ball plasmoids. International Journal of Mass Spectrometry 376 39–45. Department of Chemistry, The University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, USA \(2015\)](#)). В работе доказано, что сложные радикалы и молекулы синтезировались как с помощью воды, так и только из воздуха, определить это оказалось возможным заменив в воде легкий изотоп водорода на дейтерий. В разряде, например, синтезировался не  $\text{ND}_3$ , а  $\text{NH}_3, \text{NO}_2$ ). **=Слайд взят из предыдущей презентации=**



**Эксперимент и  
видеосъемка с  
использованием  
светофильтров  
шаровой молнии  
С.Е. Емелиным.**

**НИЦ  
«Курчатовский  
институт» -  
ПИЯФ, 2020**

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

## Ещё раз о гатчинском разряде и шаровой молнии

(комментарий к статье Г.Д. Шабанова "О возможности создания природной шаровой молнии импульсным разрядом нового типа в лабораторных условиях" [УФН 189 95 (2019)])

М.Л. Шматов

*Показано, что недавняя статья Г.Д. Шабанова [УФН 189 (1) 95 (2019)] содержит несколько важных необоснованных и ошибочных утверждений. В частности, представленная в этой статье оценка заряда средней шаровой молнии соответствует невозможной ситуации с приблизительно стократным превышением напряженности электрического поля вблизи внешней границы шаровой молнии величины, соответствующей пробоем воздуха при условиях, близких к нормальным.*

**Ключевые слова:** гатчинский разряд, долгоживущие светящиеся образования, шаровая молния, электрический пробой воздуха

PACS numbers: 51.50.+v, 52.80.Mg, 92.60.Pw

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFN.2019.05.038621>

В недавней статье Г.Д. Шабанова [1] представлен подробный обзор экспериментов по созданию долгоживущих светящихся образований электрическим разрядом над поверхностью воды, получившим название "гатчинского". Наряду с важными данными, необходимыми для воспроизведения таких образований, и ценной информации об их свойствах, статья [1] содержит три принципиально важных, но необоснованных утверждения, а также два ошибочных утверждения.

В разделе 6 [1] утверждается, что объекты, создававшиеся в экспериментах Г.Д. Шабанова [2, 3] и У. Фанц (U. Fantz) с коллегами [4] (в данной ситуации термины "объект" и "долгоживущее светящееся образование" являются синонимами), "имеют разную природу" (в статье [1] работы [2–4] цитируются как работы [1, 2, 29] соответственно). Это утверждение основано на оценке энергии долгоживущего светящегося образования из работы [4] (в самой работе [4] такое образование называется "плазмодом") и результатах проведенного Г.Д. Шабановым эксперимента с использованием алюминиевого диска толщиной 0,1 мм и диаметром приблизительно 120 мм с отверстием диаметром приблизительно 30 мм [1]. Диск был подвешен на диэлектрических нитях на высоте приблизительно 20 мм над поверхностью воды, используемой при проведении разряда [1]. При наличии диска долгоживущее светящееся образование не возникало, после разряда на диске был обнаружен оплавленный участок [1]. Масса оплавленного металла

составляла 2–4 мг, что "соответствует 2–4 Дж израсходованной энергии" [1]. В работе [4] приведена оценка, согласно которой при энергии разряда  $E \approx 19$  кДж энергия плазмоида  $E_{\text{plasmoid}}$  приблизительно равна 0,22Е. В эксперименте с диском  $E = 7,2$  кДж, предположение о передаче 22% этой энергии светящемуся образованию соответствует его энергии, приблизительно равной 1,6 кДж [1]. Утверждение о разной природе объектов обосновывается только тем, что последняя величина значительно превышает 1–2 Дж: "Если [в эксперименте с диском] светящееся образование успело сформироваться, то после взаимодействия с выделением энергии 1–2 Дж оно сразу исчезает, не проявляя наличия нескольких килоджоулей" [1].

Недостаточность такого обоснования видна, прежде всего, из того, что в работе [1] не оценивается и даже не упоминается энергия, затраченная на нагрев алюминия, воды и воздуха. Масса диска составляла приблизительно 2,9 г. Если он нагревался, например, от 20°С до средней температуры 100–200°С, то только на этот нагрев затрачивалось приблизительно 210–490 Дж (см. [5]), что как минимум в 100 раз превосходит энергию, необходимую для плавления 2–4 мг алюминия.

Следует также учитывать, что согласно данным, приведенным в работе [4], в экспериментах У. Фанц с коллегами величина 0,22 фактически являлась верхней границей отношения  $E_{\text{plasmoid}}/E$  и могла существенно превосходить его реальное значение. Дело в том, что  $E_{\text{plasmoid}}$  находилась интегрированием по времени расчетного значения мощности энерговыделения в плазмод [4]. При этом  $P_{\text{plasmoid}}$  находилась как разница между полной мощностью энерговыделения  $P_{\text{total}}$  и мощностью  $P_{\text{water}}$  диссипации энергии в воде, оцениваемой как  $I(t)^2 R_{\text{water}}$ , где  $I$  — ток, проходящий через воду и область формирования плазмоида,  $t$  — время,  $R_{\text{water}}$  — сопротивление водяного резервуара [4]. Предполагалось, что  $R_{\text{water}}$  не

М.Л. Шматов, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, ул. Политехническая 26, 194021 Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: M.Shmatov@mail.ioffe.ru

Статья поступила 13 мая 2019 г.

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

## О соотношении теоретической и экспериментальной составляющих в работах по шаровой молнии

(ответ на комментарий М.Л. Шматова [УФН 190 107 (2020)])

к статье "О возможности создания природной шаровой молнии импульсным разрядом нового типа в лабораторных условиях" [УФН 189 95 (2019)]

Г.Д. Шабанов

*В письме М.Л. Шматова [УФН 190 107 (2020)] дана высокая оценка экспериментальной части работы Г.Д. Шабанова [УФН 189 95 (2019)], но высказаны и некоторые критические замечания теоретического характера. В настоящем ответе покажем, что эти замечания основаны на недоразумении, связанном с излишне однозначной трактовкой элементарных законов физики без учёта возможного многообразия их проявлений в конкретных условиях.*

**Ключевые слова:** гатчинский разряд, долгоживущие светящиеся образования, макроскопическое разделение зарядов, заряженные тела, средняя пробивная напряжённость, шаровая молния

PACS numbers: 01.50.Mj, 01.55.+h, 05.65.+h, 41.20.Cv,  
51.50.+v, 52.80.Mg, 92.60.Pw

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFN.2019.12.038705>

Не всё из того, что кажется очевидным на первый взгляд, происходит на самом деле при определённых условиях. Например, взаимодействие двух одноимённо заряженных проводящих шаров, как известно, не подчиняется закону Кулона на близких расстояниях, но не до такой же степени, чтобы почти всегда притягиваться. Однако нет, в 1999 г. эту задачу рассмотрел В.А. Саранин [1] и численно установил, что притяжение двух одноимённо заряженных проводящих шаров — такое же распространённое явление, как и отталкивание. Чуть позже, в работе "Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия двух проводящих заряженных шаров" он с соавтором уточнили теоретическую часть и показали это экспериментально [2].

Это небольшое отступление к утверждению в тексте [3], которое дополнительно вынесено в аннотацию перед основным текстом и сформулировано следующим образом: "...представленная в этой статье оценка заряда средней шаровой молнии соответствует невозможной ситуации с приблизительно стократным превышением напряжённостью электрического поля вблизи внешней границы шаровой молнии величины, соответствующей пробое воздуха при условиях, близких к нормальным". Автор [3], как видно из двукратного повторения, считает это основной нелепостью в статье [4]. Обратимся к книге [5] (учебное пособие для студентов), написанной экспериментатором с 30-летним стажем и не менее известным в физике газового разряда теоретиком Э.М. Базельном и Ю.П. Райзером, которая вместе с работой [2] является прекрасным руководством для анализа процессов, происходящих с заряженными телами. В работе [4], ввиду её определённой направленности, этот вопрос тщательно не рассматривался, а была дана только ссылка на нашу статью [6] (в статье [4] это ссылка под номером [15]),

где эта якобы проблема, по мнению автора письма [3], была рассмотрена. В статье [6] мы дали ссылку на книгу [7], так как она является более поздней по отношению к работе [5] тех же авторов, а в целом оба издания дополняют друг друга. Вопрос о существовании заряженных тел с полем на их поверхности, большим "пробойного" (по терминологии [3]), рассмотрен в [5, 7] на уровне лабораторной работы. Ошонент [3] взял для расчёта "пробойное" поле  $30 \text{ кВ см}^{-1}$ , необходимое, как он считает, для пробоя виртуального промежутка (ведь нужно пробить какие-то конкретные мм, см или метры), и получил "невозможную ситуацию" со "стократным превышением" поля, необходимого для пробоя воздушного промежутка. Действительно, для начала коронирования необходимо на поверхности электрода поле  $30 \text{ кВ см}^{-1}$ . Коронирование, как известно, может начаться и продолжаться часами [5]. Однако в общем случае для пробоя необходимо на электроде иметь напряжение, которое рассчитывается исходя из "средней пробивной напряжённости" воздушных промежутков при нормальных атмосферных условиях [5]. Эта величина является средним электрическим полем на промежутке (вот где появляется виртуальный промежуток), и имеет довольно широкий диапазон, который зависит от многих параметров и с достаточно хорошим приближением лежит в интервале от  $30 \text{ кВ см}^{-1}$  до  $5 \text{ кВ см}^{-1}$ .

Далее рассмотрим задачу для лабораторной работы. Пусть шаровая молния с радиусом 5 см (достаточно часто наблюдаемый размер) находится в 1,5 м над поверхностью земли (как правило, на такой высоте) и движется параллельно поверхности земли. Необходимо рассчитать, какое напряжение нужно подать на этот шарик (шаровую молнию) относительно земли, чтобы он оказался на границе возможного пробоя, и какая при этом будет напряжённость "электрического поля вблизи внешней границы шаровой молнии" (по терминологии [3]). Для пробоя этого воздушного промежутка необходимо напряжение (без специфики, данной в [5–7], которая многократно увеличит это напряжение) в  $5 \text{ кВ см}^{-1} \times 150 \text{ см} = 750 \text{ кВ}$ . Необходимая величина средней пробивной напряжённости, именно  $5 \text{ кВ см}^{-1}$ , выбрана для возможности сохранения относительной дискуссии с ошонентом, так как поле на поверхности шаровой молнии в этом случае будет минимальным и не совпадёт со "стократным превышением", даваемым ошонентом, вследствие чего дальнейшая дискуссия стала бы бессмысленной. Отсюда поле "вблизи границы"

Г.Д. Шабанов, Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова  
Национального исследовательского центра "Курчатовский институт",  
мкр. Орлова роща 1, 188300 Гатчина, Ленинградская обл.,  
Российская Федерация  
E-mail: shabanov\_gd@npi.nrcki.ru

Статья поступила 17 декабря 2019 г.

**Коллега из Физтеха М.Л. Шматов в своей статье, если коротко, перепутал возможности, а именно — поля на поверхности тела и среднее поле на промежутке. Размерность вроде одна и та же, даже численно равны, а физика разная. Моя реплика в УФН не полная, там есть ссылка:**

Развёрнутый ответ на комментарий М.Л. Шматова (практически вчетверо большего объёма) будет размещён мною в ближайшее время на: [https://www.researchgate.net/profile/Gennady\\_Shabanov2/research](https://www.researchgate.net/profile/Gennady_Shabanov2/research).

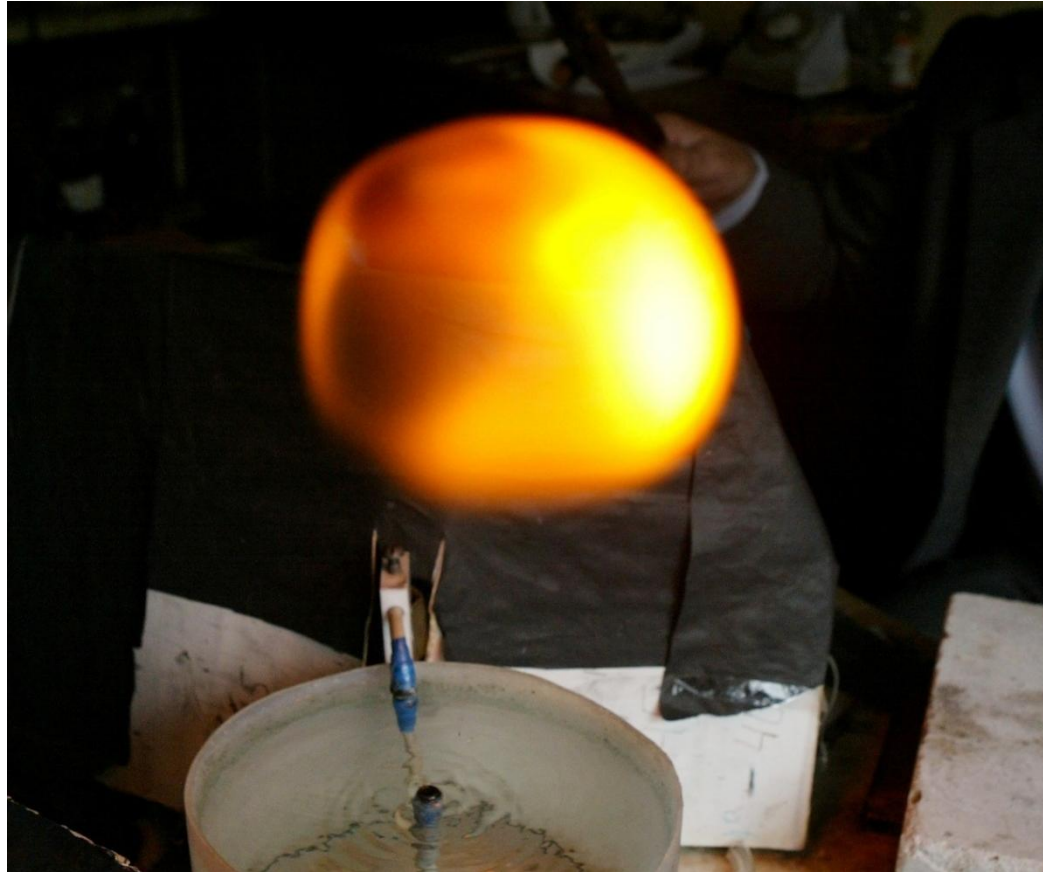
**В полном ответе на комментарий М.Л. Шматова, я благодарю М.Л. Шматова за предоставленные, благодаря ему, мне небольшие дополнительные возможности:**

**«Автор благодарит М.Л. Шматова за «Комментарий», ответ на который позволил более подробно коснуться двух моментов существования шаровой молнии. В статье [1] из богатого ореола «таинственных» вопросов сопровождающих «жизнь» шаровой молнии, к сожалению, удалось проговорить только небольшую из них часть из-за ограниченного объема журнальной статьи.**

**Автор признателен докторам физ.-мат. наук А.А. Кудрявцеву, В.Л. Бычкову и А.Г. Крившичу за полезные замечания высказанные при подготовке моего ответа на «Комментарий» М.Л. Шматова».**



# Спасибо за внимание!



**НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ,  
10-30 04.02.2020**