

# Метод Кирлиан. Часть 6. Газовый разряд.

Колтовой Николай Алексеевич

[koltovoi@mail.ru](mailto:koltovoi@mail.ru) , Все книги на сайте: [Koltovoi.nethouse.ru](http://Koltovoi.nethouse.ru),

Москва-Смоленск  
2017

Электронный математический и медико-биологический журнал  
«Математическая морфология»

---

УДК 537.523

Колтовой Н.А. Метод Кирлиан. Газовый разряд. Часть 6. - Москва-Смоленск: Электронный математический и медико-биологический журнал "Математическая морфология", 2017. 168 с. - 206 Илл. Аннотация. Приводится обзор различных типов газового разряда. Описываются условия, при которых возникают различные типы газовых разрядов. Изучаются характеристики газовых разрядов.

Рецензенты: д.м.н., профессор Фаращук Н. Ф.; д.м.н., профессор Глотов В. А.

---

Koltovoi N.A. Kirlian Photography. The gas discharge. Part 6. - Moscow-Smolensk: Electronic mathematical and biomedical journal "Mathematical morphology" 2017. 168 p. - 206 Fig. Abstract. Provides an overview of the different types of gas discharge. Describes the conditions under which there are various types of gas discharges. We analyze the characteristics of gas discharges.

---

## Глава 1. Режимы. Выбор оптимального режима регистрации свечения. 6-4

- 1.1 Напряжение пробоя газа.
- 1.2 Свечение при постоянном напряжении.
- 1.3 Влияние скорости нарастания импульса на возникновение разряда.
  - 1.3.1 Зависимость разряда от скорости нарастания импульса.
  - 1.3.2 Возникновение рентгеновского излучения при наносекундных импульсах.
- 1.4 Двухпараметрическая регистрация изображений (напряжение и частота).
  - 1.4.1 Зависимость типа разряда от напряжения и частоты.
  - 1.4.2 Зависимость напряжения пробоя воздуха от частоты.
  - 1.4.3 Зависимость болевых ощущений от частоты.
  - 1.4.4 Регистрация свечения при различных значениях напряжения и частоты.
- 1.5 Оптимальный выбор частоты при регистрации снимка.
- 1.6 Оптимальный выбор напряжения при регистрации снимка.
- 1.7 Зависимость радиуса короны разряда от приложенного напряжения.
- 1.8 Оптимальный выбор атмосферы.
- 1.9 Получение разряда с длинными стримерами.
- 1.10 Зависимость разряда от давления воздуха и расстояния между электродами.
- 1.11 Спектральные свойства свечения.
- 1.12 Интерпретация цветного изображения короны свечения.

## Глава 2. Разряд в газе при атмосферном давлении. 6-83

- 2.1 Различные типы разряда.
- 2.2 Зависимость типа разряда от напряжения.
  - 2.2.1 Начальный режим нарастания тока.
  - 2.2.2 Режим насыщения,  $U > U_1$ .

- 2.2.3 Режим возбуждения молекул воздуха,  $U > U_2$ .
- 2.2.4 Образование лавин  $U > U_3$ .
- 2.2.5 Режим стримерного разряда,  $U > U_4$ .
- 2.2.6 Искровой пробой,  $U > U_5$ .
- 2.2.7 Дуговой пробой,  $U > U_6$ .
- 2.2.8 Силовые линии в пространстве между электродами.

2.3 Способы управления формой разряда.

## 2.4 Литература по физике газового разряда.

## Глава 3. Зависимость разряда от влажности воздуха. 6-118

- 3.1 Зависимость напряжения пробоя от влажности воздуха.
- 3.2 Разряд во влажном воздухе.
- 3.3 Огни Святого Эльма.
- 3.4 Электростатическое распыление.

## Глава 4. Динамика свечения, зависимость интенсивности свечения от времени. 6-143

- 4.1 Динамическая ГРВ. Временной интервал до 1 минуты.
- 4.2 Динамика свечения в течение длительного периода времени.

## Глава 5. Регистрация величины тока во время разряда. 6-152

- 5.1 Пульсирующий режим коронного разряда.
- 5.2 Зависимость тока от времени при одиночном импульсе.
- 5.3 Измерение величины тока при регистрации свечения для диагностики.
- 5.4 Простой прибор для диагностики методом Кирилян.
- 5.5 Электронный ветер.

## Chapter 1. Modes. The optimal choice of registration mode of the glow. 6-4

- 1.1 breakdown Voltage of the gas.
- 1.2 Glow at a constant voltage.
- 1.3 the Influence of wavefront steepness on the occurrence of the discharge.
  - 1.3.1 the Dependence of discharge on the rate of rise of the pulse.
  - 1.3.2 the Emergence of x-ray radiation with nanosecond pulses.
- 1.4 two-parameter images (voltage and frequency).
  - 1.4.1 the Dependency of the discharge voltage and frequency.
  - 1.4.2 dependence of the breakdown voltage of air on the frequency.
  - 1.4.3 Dependence of the pain from the frequency.
  - 1.4.4 Registration of luminescence at different values of voltage and frequency.
- 1.5 Optimal frequency selection when registering the image.
- 1.6 Optimal voltage selection when registering the image.
- 1.7 the dependence of the radius of the corona discharge from the applied voltage.
- 1.8 the Optimal choice of the day.
- 1.9 Getting discharge with long streamers.
- 1.10 the dependence of the discharge on air pressure and the distance between the electrodes.
- 1.11 Spectral properties of the illumination.
- 1.12 Interpretation of color images of the corona glow.

## Chapter 2. The discharge gas at atmospheric pressure. 6-83

- 2.1 Different types of discharge.
- 2.2 the Dependency of the discharge voltage.
  - 2.2.1 Primary mode of increase in the current.
  - 2.2.2 saturation,  $U > U_1$ .
  - 2.2.3 Mode of excitation of air molecules,  $U > U_2$ .

- 2.2.4 avalanches  $U > U_3$ .
- 2.2.5 streamer discharge Regime,  $U > U_4$ .
- 2.2.6 Spark breakdown,  $U > U_5$ .
- 2.2.7 Arc breakdown,  $U > U_6$ .
- 2.2.8 lines of Force in the space between the electrodes.
- 2.3 control methods of the shape of the discharge.
- 2.4 Literature on the physics of gas discharge.

Chapter 3. The dependence of the discharge on the air humidity. 6-118

- 3.1 Dependence of breakdown voltage from humidity.
- 3.2 Discharge in humid air.
- 3.3 St. Elmo's Fire.
- 3.4 Electrostatic spraying.

Chapter 4. Dynamics of luminescence, intensity of luminescence with time. 6-143

- 4.1 Dynamic GDV. The time interval to 1 minute.
- 4.2 Dynamics of the luminescence over a long period of time.

Chapter 5. Check the current value during the discharge. 6-152

- 5.1 Pulsating corona discharge.
  - 5.2 the Dependence of the current on time when a single pulse.
  - 5.3 the measurement of the current during the registration of the luminescence for the diagnosis.
  - 5.4 a Simple device for diagnosis by the method of Kirlian.
  - 5.5 Electronic wind.
-

# Глава 1. Режимы. Выбор оптимального режима регистрации свечения.

Особенность исследований методом Кирлиан состоит в том, что исследования проводятся не при каких-то одних фиксированных значениях параметров, а в широком диапазоне изменения параметров:

- напряжение 1,5-200кВ,
- ток 0,15 мка-25Ма,
- частота 100Гц-250мГц,
- период 0,001-10 сек,
- время экспозиции 30мкс-250сек,
- длительность импульса 30мкс-17мс,
- время нарастания напряжения <1мксек-3мс.

В 1976 году в журнале Science был опубликован отчет о исследованиях метода Кирлиан (частично спонсируемый Министерством обороны США). В нем приводились результаты шестилетних исследований группы ученых под руководством Уильяма Эйдсона (**William Eidson**) профессора физики Дрексельского университета (Drexel University). Исследовался вопрос нестабильности получаемых результатов, и определения условий получения наилучших результатов. Было выделено **25 факторов**, оказывающих влияние на формирование изображения разряда (напряжение импульса, скорость нарастания напряжения, частота импульсов, время экспозиции, состав атмосферных газов, атмосферное давление, сила давления пальца на стекло, угол наклона пальца к стеклу, влажность кожи, толщина кожного покрова, электрическое сопротивление кожи, психическое напряжение человека, типа используемой пленки для регистрации).

1976-Pehek John. O., Kyler, Harry J., and Faust, David L. "Image Modulation in Corona Discharge Photography". **Science** 15 October 1976. v.194. №4262, p.263-270.

## **Параметры, влияющие на форму разряда:**

### **1-Характеристики подаваемого импульса напряжения:**

- напряжение,
- длительность импульса,
- частота подаваемых импульсов,
- полярность импульсов,
- скорость нарастания фронта импульса,
- частота высокочастотных колебаний напряжения в импульсе,
- время экспозиции,

### **2-Характеристики окружающей среды:**

- влажность атмосферы,
- состав окружающей атмосферы,
- атмосферное давление,
- температура,

### **3-Характеристики объекта:**

- влажность поверхности объекта,
- рельефность поверхности объекта,
- наличие грязи на поверхности объекта,

### **4-Характеристики условий регистрации:**

- величина давления объекта на электрод,
- тип используемой фотопленки для регистрации,
- угол, под которым палец касается электрода.

Обычно на электрод подаётся высокое переменное напряжение от 1 до 40 киловольт с частотой 200-15.000 Герц.

## 1.1 Напряжение пробоя газа.

Разряд в газе возникает, если напряжение между электродами превышает некоторое значение, называемое напряжением пробоя. Для сухого воздуха ориентировочно напряжение пробоя составляет 30кВ/см.

На самом деле возникновение пробоя определяется не напряжением между электродами, а напряженностью поля в зазоре. А напряженность поля зависит от многих параметров, расстояние между электродами, радиус кривизны электродов, и т.д.

Параметр	Увеличение параметра	Напряжение пробоя
Расстояние между электродами	Увеличение расстояния	увеличивается
Атмосферное давление	Увеличение давления	увеличивается
Влажность	Увеличение влажности	уменьшается
Частота	Увеличение частоты	уменьшается
Неоднородность поля	Увеличение неоднородности	уменьшается
Радиус кривизны электрода	Уменьшение радиуса кривизны	
Температура	Повышение температуры	уменьшается
Солнечный свет	Увеличение освещенности	уменьшение
Инертные газы	Увеличение инертных газов	уменьшается

-Напряжение пробоя воздуха в однородном поле составляет 30кВ/см.

-Напряжение пробоя воздуха в неоднородном поле составляет 9кВ/см.

Расстояние между пластинами,мм/ Пробивное напряжение, кВ

1-----	4,5
2-----	8,0
3-----	11,3
4-----	14,4
5-----	17,4
6-----	20,3
7-----	23,2
8-----	26,1
9-----	28,9
10-----	31,7
20-----	59,6
30-----	87,0
40-----	114
50-----	140
100-----	266

Материал/ Епр, кВ/мм

Воздух сухой 2

Воздух влажный 0,1 и, возможно, ниже

Дерево сухое 4

Парафин 25

Плексиглас 18

Полистирол 30

Полиэтилен 40

Резина 20

Слюда 100

Стекло	25	
Этиленвинилацетат = ЭВА = сэвилен		33-35
Фарфор электротехнический	20	
Фибра (картон)	5	
Фторопласт-4 (Ф4, PTFE)	25	
Эбонит	25	

## 1.2 Свечение при постоянном напряжении.

Свечение объектов может возникать и при постоянном (а не переменном) напряжении, например, огни Эльма.

При подаче постоянного напряжения на объект свечение возникает два раза, при включении (на переднем фронте импульса) и при выключении (на заднем фронте импульса).

Моноимпульсный режим так же можно рассматривать как режим возбуждения при постоянном напряжении. В этом случае исследуется зависимость формы разряда от формы импульса (быстрое нарастание и быстрый спад, быстрое нарастание и медленный спад, медленное нарастание и быстрый спад, медленное нарастание и медленный спад).

При постоянном напряжении скользящие разряды не образуются, так как отсутствуют емкостные токи через диэлектрик. При выпрямленном (пульсирующем) напряжении скользящие разряды возникают так же, как и при переменном.

1972-Dennis R. Milner (1924-2011) University of Birmingham (UK).

1996-Санкин Г.Н. Тесленко В.С. Исследование электрического разряда в воздухе с капиллярным электролитическим электродом. Письма в Журнал Технической Физики. 1996. т.22. №24. с.49-53.+ исследования проводились при постоянном напряжении.

1996-Sankin, G.N., Teslenko, V.S. Study of an electrical discharge in air with a capillary electrolytic electrode. (1996) Technical Physics Letters, 22 (12), p.1020-1022.

1980-Тэнэссеску Ф. Крамарюк Р. Электростатика в технике. Пер. с рум. М. Энергия. 1980. 57с.+

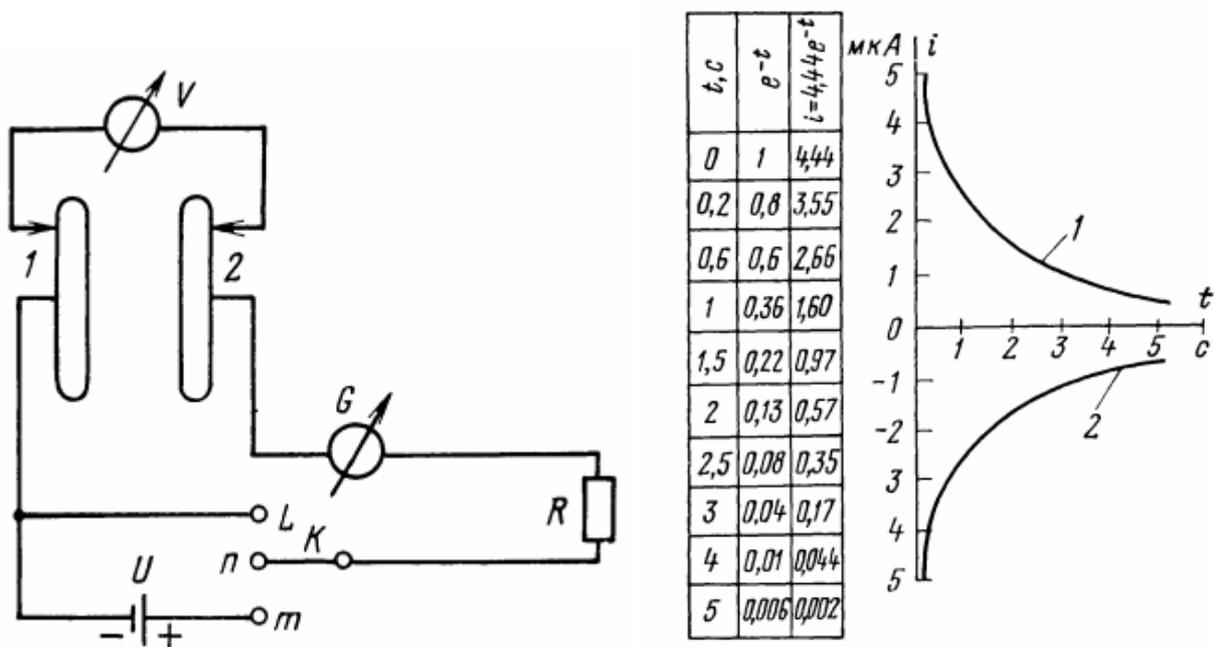


Рис. 1-2-1. Схема установки: 1,2-металлические диски, G-гальванометр, U-источник напряжения, K-коммутатор, R-нагрузочный резистор, V-вольтметр.

Переходный ток заряда (1) и разряда (2), площадь поверхности электрода 5м<sup>2</sup>, расстояние между электродами 2мм, сопротивление резистора R=5x10<sup>7</sup> Ом.

---

## **Дальневосточная государственная академия путей сообщения.**

1998-Новиков Г.П. Воропаев С.Ф. Рапопорт И.В. Визуализация объектов методом Кирлиановской фотографии в высоковольтном постоянном поле. Бюллетень научного сообщества Дальневосточная государственная академия путей сообщения. 1998. №3. с.97-98. Исследованы особенности Кирлиановский фотографии в высоковольтном постоянном поле. Определен порог получения качественных кирлиановских фотографий и достигнута их удовлетворительная воспроизводимость при выходной мощности 1,352 Вт в стационарном режиме, и при 3,3375 Вт в импульсном режиме.

---

### **1.3 Влияние скорости нарастания импульса на возникновение разряда.**

#### **1.3.1 Зависимость разряда от скорости нарастания импульса.**

Для свободного электрона в газовой среде существует определенная длина свободного пробега. Чем меньше давление газа, тем больше длина свободного пробега. В воздухе при атмосферном давлении длина свободного пробега электрона составляет 1 мкм. При внешнем воздействии нарастающим внешним полем электрон начинает двигаться с ускорением. Чем больше скорость нарастания внешнего поля (крутизна импульса), тем больше ускорение, и тем больше энергии успеет набрать электрон до момента столкновения. При очень крутых фронтах 1 нс электрон набирает достаточно энергии для того, чтобы при столкновении с молекулами возникло рентгеновское излучение.

При возрастании частоты импульсов уменьшается длительность импульсов, и возрастает крутизна фронта импульса. А при возрастании крутизны фронта усиливается разряд в газе.

При большой длительности импульса (пологий фронт) ионы и электроны успевают достигнуть плъца и поверхности стекла.

При кратковременном приложении напряжения, когда время приложения напряжения сопоставимо со временем развития пробоя, процесс пробоя изменяется с изменением пробивного напряжения по сравнению с ситуацией медленно нарастающего напряжения.

Вначале требуется некоторое время для достижения статического пробивного напряжения, затем требуется время на появление первого эффективного электрона, с которого начинается развитие пробоя, и затрачивается какое-то время на формирование канала разряда. Разрядное напряжение оказывается связанным с предразрядным временем, и эта зависимость называется **вольт-секундной характеристикой** изоляционного промежутка.

Время для возникновения разряда (предразрядное время, время запаздывания пробоя) складывается из времен:

T1-время запаздывания, связанное с ожиданием первого свободного электрона, способного ионизировать газ в промежутке, статистическое время запаздывания,

T2-время формирования разряда, время от момента появления начального электрона до пробоя.

В равномерных электрических полях, где самостоятельный разряд возникает одновременно по всей длине искрового промежутка, время формирования очень мало и составляет примерно 10-8 с.

Крутизна фронта нарастания импульса влияет на интенсивность свечения. Из этого следует, что при увеличении частоты импульсов будет увеличиваться интенсивность свечения, так как с увеличением частоты импульсов возрастает крутизна фронта импульса.

**Чем больше скорость нарастания напряжения, тем при меньшем напряжении возникает разряд в газе.** Зависимость интенсивности свечения от крутизны фронта импульса можно объяснить тем, что в ионизированном газе происходят различные релаксационные процессы. Если импульс нарастает медленно, то отдельные возбужденные молекулы успевают релаксировать. При быстром нарастании напряжения молекулы не успевают релаксировать, образуется сразу большое количество возбужденных молекул, и интенсивность свечения сильная.

При импульсе напряжения 100 кВ с крутизной переднего фронта 109 В/с в разрядном промежутке 1см с воздухом атмосферного давления будет наблюдаться искровая форма разряда. В случае 1011-1012 В/с (при всех остальных равных условиях) преимущественно диффузного типа с незавершенными искровыми каналами. В последнем случае начинают наблюдаться совершенно новые газоразрядные явления, такие как «убегание электронов» и генерация рентгеновского излучения мягкой и средней жесткости (Бойченко А.П.).

У строчного трансформатора от телевизора очень крутые импульсы (частота генерации 15,625 мГц, длительность импульса 12мкс). При его использовании получают **стримерные разряды** независимо от частоты.

У автомобильной катушки плавные синусоидальные импульсы. При ее использовании получают **диффузный разряд** независимо от частоты.

Рассмотрим случай однородного поля (плоский конденсатор) с расстоянием между пластинами 1см. Определим характерные времена:

- $t_1$  время за которое положительные ионы долетят до электрода (первая критическая частота),

- $t_2$  время, за которое свободные электроны долетят до электрода.

Скорость движения свободных электронов составляет  $10^7$  см/сек, а скорость движения ионов составляет  $10^5$  см/сек. Время пролета межэлектродного промежутка (1см) составляет для электрона  $10^{-7}$  сек, а для ионов  $10^{-5}$  сек.

Частица	Скорость дрейфа	Время пролета	Частота
Электрон	$10^7$ см/сек	$10^{-7}$ сек	40мГц
Положительный ион	$10^5$ см/сек	$10^{-5}$ сек	0,4мГц

1976-Pehek John. O., Kyler, Harry J., and Faust, David L. "Image Modulation Corona Discharge Photography". Science 15 October 1976. v.194. №4262, p.263-270.

Анализируется влияние влажности у поверхности пальца на формирование коронного разряда. На величину короны так же влияет скорость нарастания напряжения.

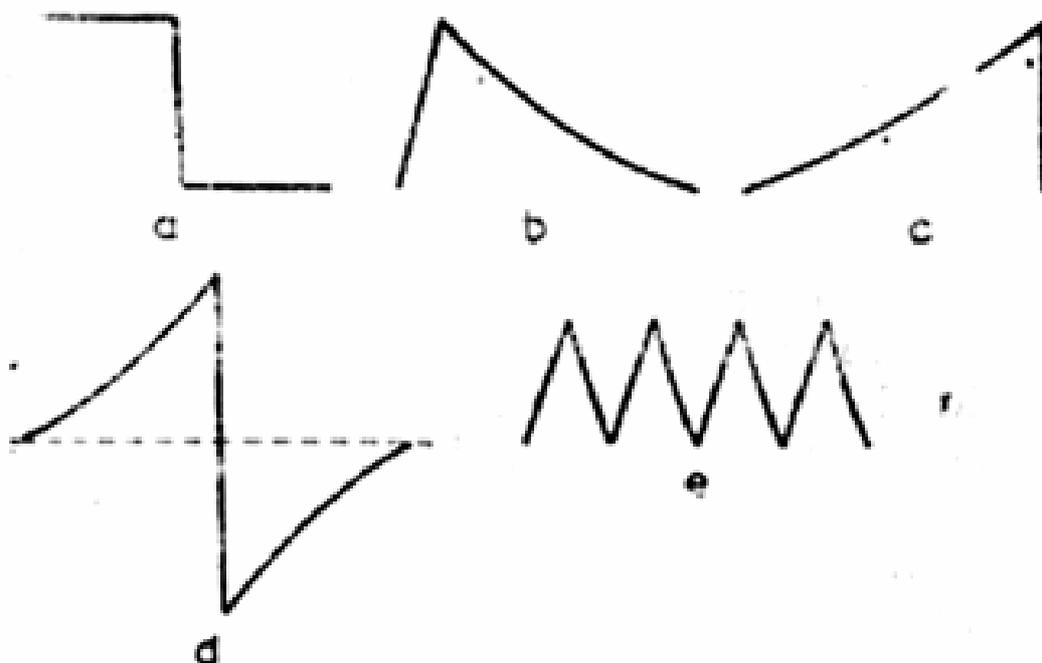


Рис. 1-3-1. Различные формы импульсов при регистрации свечения.

$$X_c = \frac{1}{2\pi FC}$$

Рис. 1-3-2. Зависимость сопротивления конденсатор X (в Омах), от F-частоты (в герцах) и от емкость конденсатора C (в фарадах).

$$i_c = C \frac{\Delta V_c}{\Delta t}$$

Рис. 1-3-3. Ток через конденсатор пропорционален емкости конденсатора, и скорости изменения напряжения (поля внутри конденсатора). На самом деле это формула для тока, протекающего по проводам, соединенным с конденсатором. Реального пролета электронов между пластинами конденсатора не происходит.

Следовательно, чем больше скорость нарастания импульса, тем больше ток течет через конденсатор (между пальцем и электродом).

### 1.3.2 Возникновение рентгеновского излучения при наносекундных импульсах.

Материалы находятся в Книге 5. Часть 10. Ядерный синтез в природе. Параграф 2.5.

#### Синхронностримерный барьерный разряд.

##### Курчатовский Институт

Медведев Дмитрий Дмитриевич.

Петяев Василий Александрович.

2013-Петяев Василий Александрович. Плазмохимическая обработка полимерных материалов плазмой однородного наносекундного барьерного разряда. Диссертация кандидата физико-математических наук. Москва. Курчатовский Институт. 2013.а+ Показано, что при уменьшении длительность фронта до величин порядка 1мкс наблюдается новая форма барьерного разряда **синхронностримерный барьерный разряд**. Данная форма разряда наблюдалась ранее и даже имеет ряд практических применений, связанных с генерацией озона, но несмотря на это детальное исследование данной формы разряда не проводилось, в том числе не исследован механизм синхронизации стримеров разряда. Фотографические исследования единичного импульса разряда показали, что он имеет неоднородную (филаментарную) пространственную структуру. На осциллограмме тока отсутствуют характерные для классического барьерного разряда отдельные разнесенные во времени импульсы тока, соответствующие перекрыванию стримерами разрядного промежутка, вместо них на осциллограмме тока виден быстрый и мощный импульс, то есть стримеры проходят и перекрывают разрядный промежуток практически синхронно. Причем ток в данном типе разряда продолжает течь после пробоя, то есть плазменные каналы продолжают существовать. Показано, что данный эффект вызван механизмом ультрафиолетовой синхронизации стримеров излучения энергичных фотонов, которые излучаются в стримере (или еще в первичной электронной лавине) и производят фотоионизацию в прилегающих областях, и тем самым не только инициируют рост стримера по направлению к катоду, но и ведут к образованию первичных лавин, а далее и стримеров в соседних областях электродной системы.

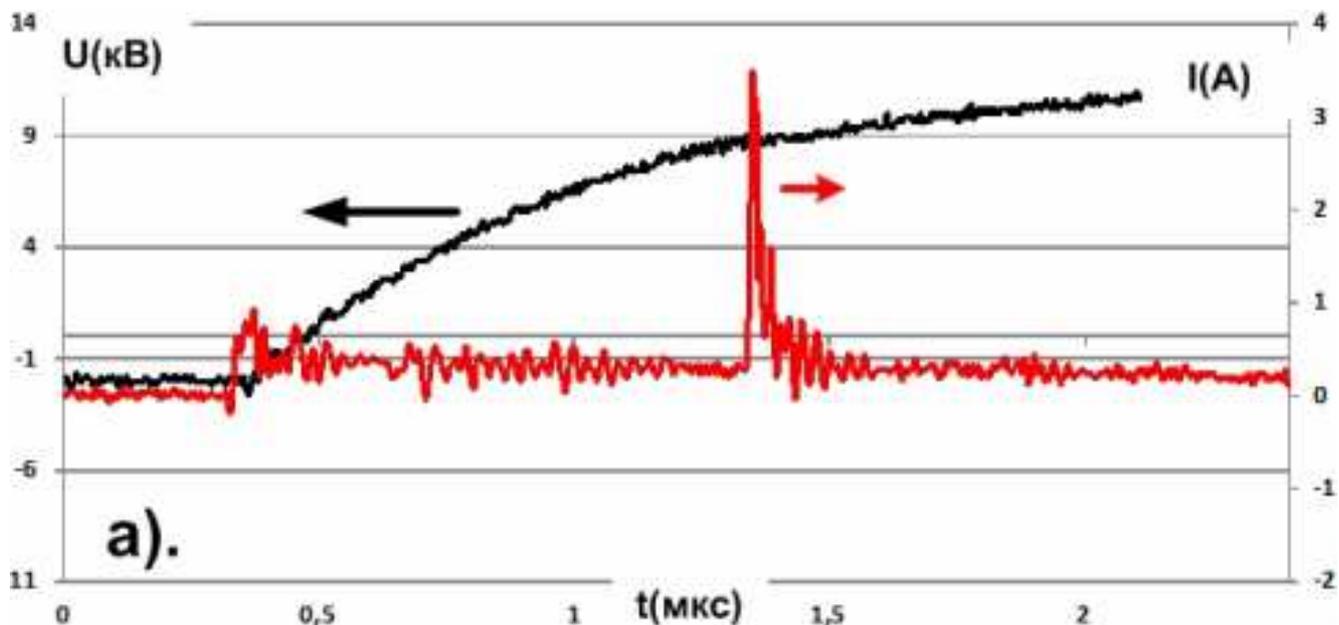


Рис. 1-3-4. Осциллограмма тока и напряжения барьерного разряда в воздухе с длительностью фронта импульса напряжения 2,3мкс.

2007-Медведев Д.Д. Устройство для генерации озона при помощи импульсного барьерного разряда. Патент 2357921. 2009.+

2012-Медведев Д.Д. Неравновесные плазмохимические процессы в переходных импульсно-периодических разрядах в газах и жидкостях: Диссертация кандидата физико-математических наук. Москва. 2012.

2012-Медведев Д.Д., Петяев В.А., Татеосов Д.В., Материалы 31-го заседания Всероссийского научно-прикладного семинара "Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии". М. МГУ. 2010. с.153-161.

## 1.4 Двухпараметрическая регистрация изображений (напряжение и частота).

### 1.4.1 Зависимость типа разряда от напряжения и частоты.

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Физический факультет, Кафедра оптики.  
Майоров Всеволод Александрович.

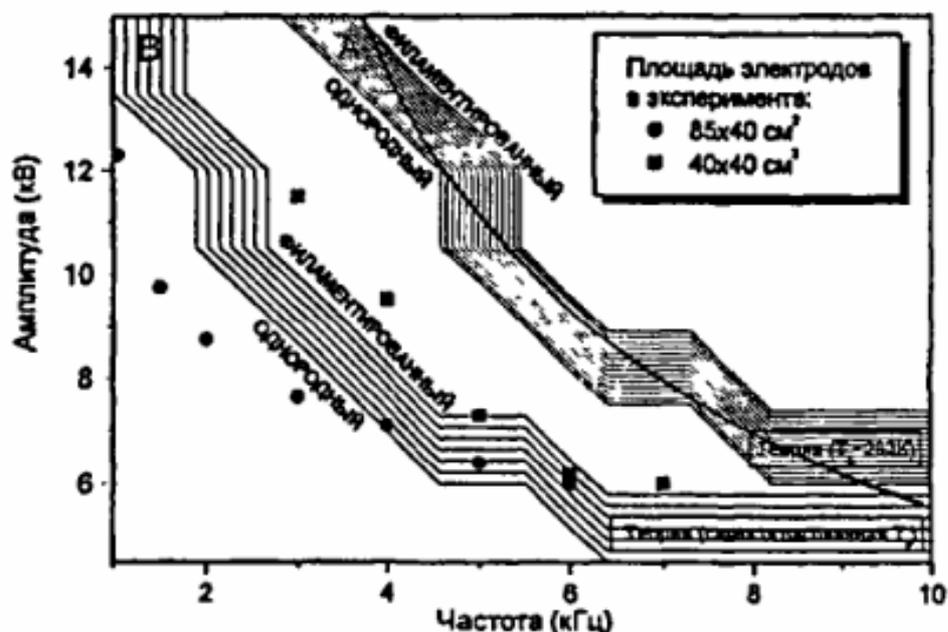


Рис. 1-4-1. Области однородного (таунсендовского) и неоднородного (филаментированного) разряда в азоте в зависимости от частоты и напряжения.

2003-Golubovskii Yu.B., Maiorov V.A., Behnke J.F., Tepper J. Lindmayer M. Study of the homogeneous glow-like discharge in nitrogen at atmospheric pressure. J. Phys. D: Appl. Phys. 37 (2004). P.1346-1356.

2004-Майоров В.А. Моделирование физических процессов в разряде, контролируемом диэлектрическими барьерами, при атмосферном давлении. Диссертация кандидата физико-математических наук. СПб. 2004.

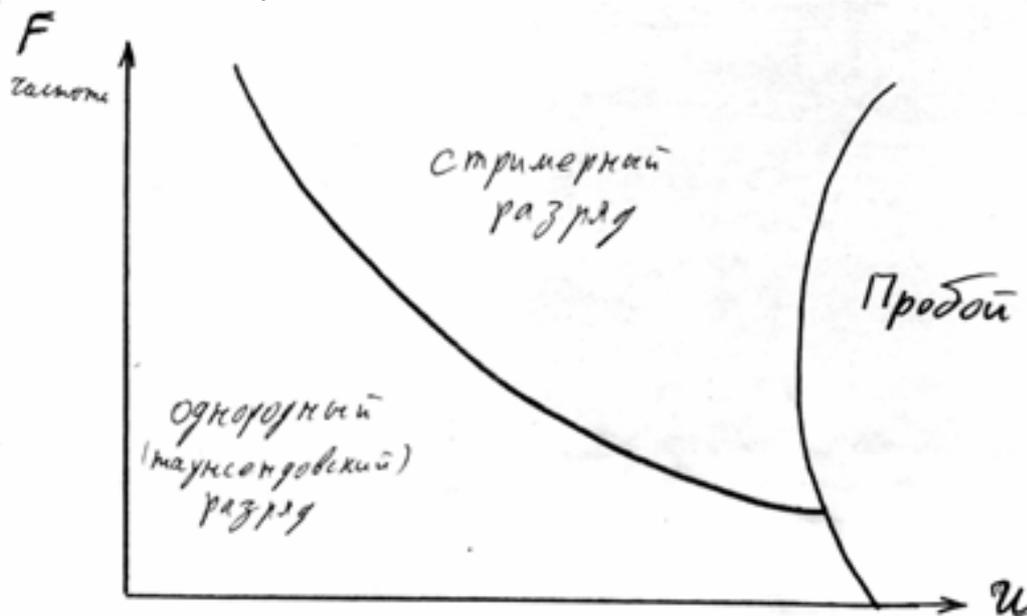


Рис. 1-4-2. Различные типы разряда.

### 1.4.2 Зависимость напряжения пробоя воздуха от частоты.

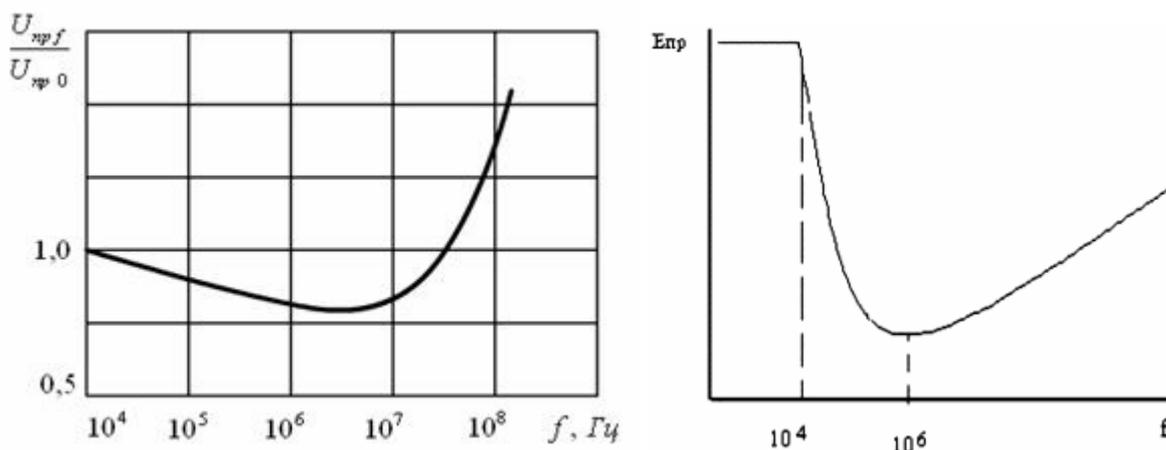


Рис. 1-4-3. Отношение пробивного напряжения воздуха при заданной частоте к пробивному напряжению при постоянном токе в зависимости от частоты. Отсюда следует, что оптимальная частота равняется 10МГц.

### Зависимость напряжения пробоя от величины разрядного промежутка.

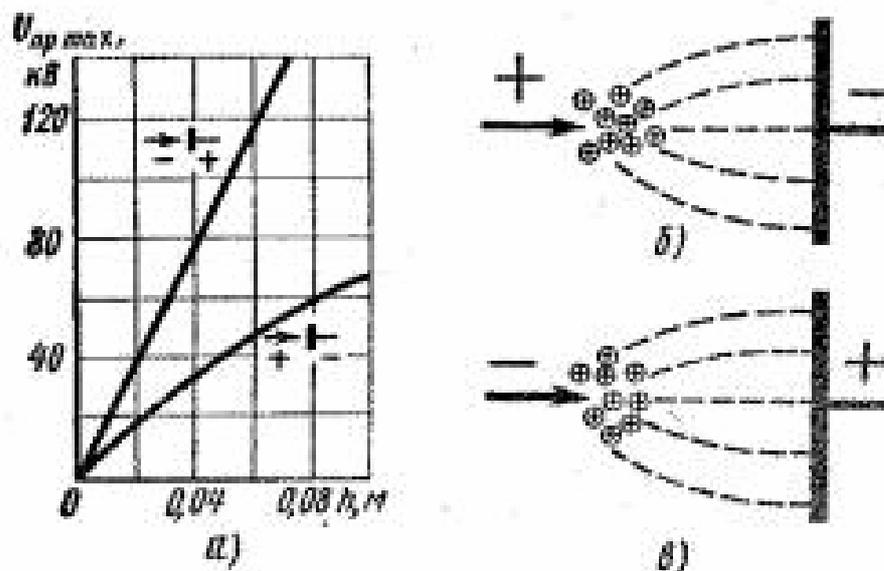


Рис. 1-4-4. Зависимости пробивного напряжения воздуха от расстояния между электродами в неоднородном поле (а) и модель объемного заряда в разрядном промежутке при положительной (б) и отрицательной (в) полярности на игле.

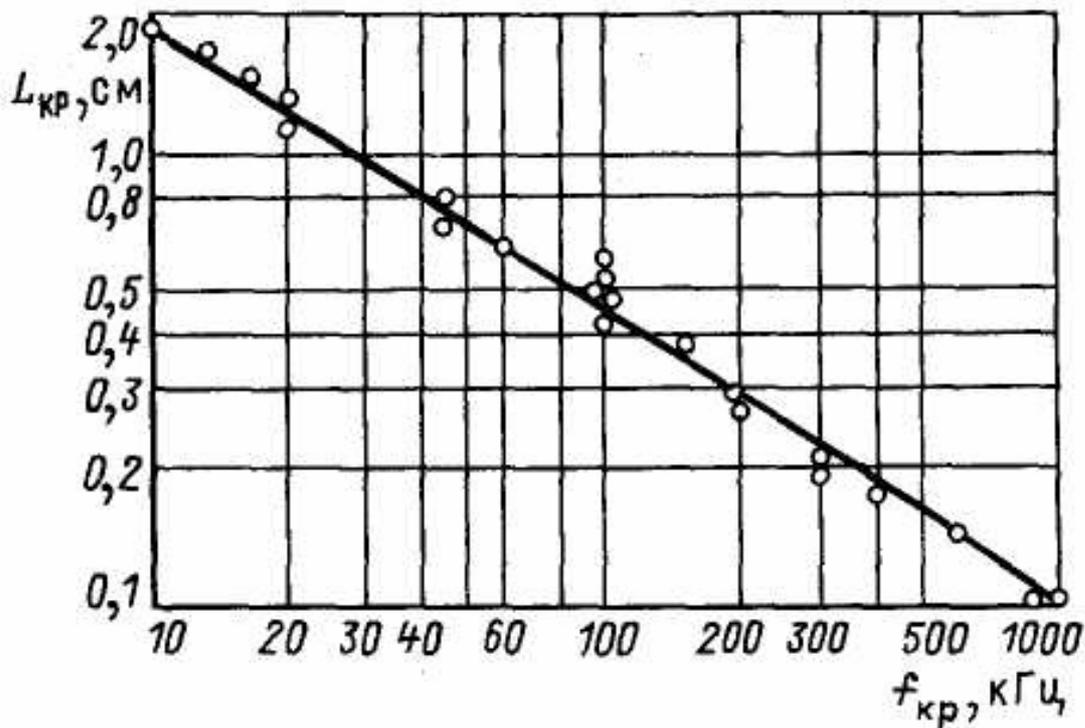


Рис. 1-4-5. Зависимость критической длины промежутка со слабонеоднородным полем от критической частоты (воздух при нормальных условиях).

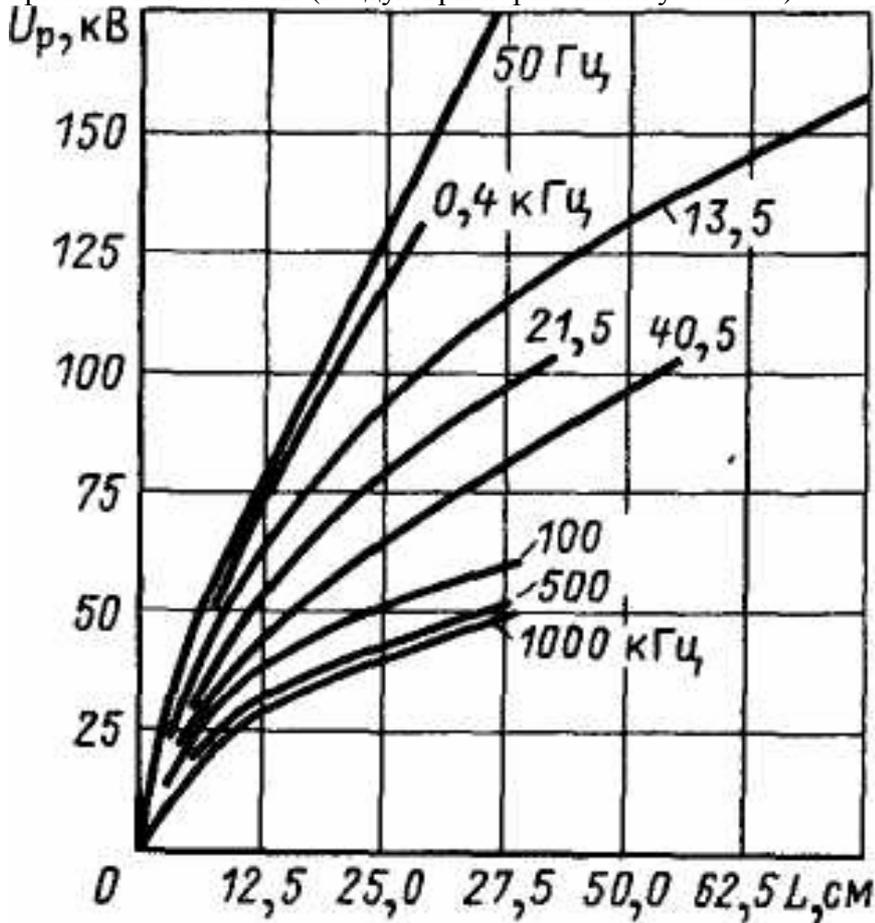


Рис. 1-4-6. Разрядные напряжения воздушных промежутков стержень-плоскость (нормальное атмосферное давление).

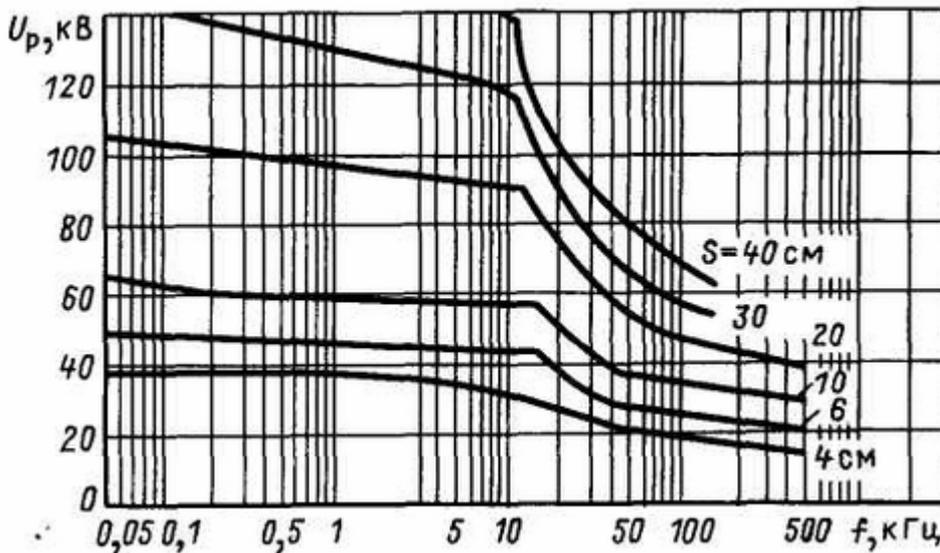


Рис. 1-4-7. Разрядные напряжения воздушных промежутков стержень-плоскость в зависимости от частоты.

**Наименьшее пробивное напряжение промежутков с неоднородным полем равно начальному напряжению возникновения короны.**

Из полученного графика следует, что чем выше напряжение, тем на большем расстоянии от пальца будет выполняться условие возникновения пробоя воздуха, условие возникновения электронных лавин.

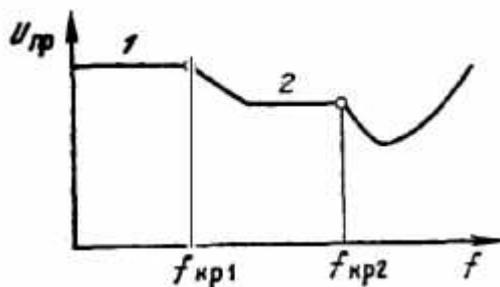


Рис. 1-4-8. Зависимость напряжения пробоя от частоты.

На кривой зависимости пробивного напряжения от частоты наблюдаются две критические частоты:  $f_{кр1}$  и  $f_{кр2}$ . При этих частотах начинается уменьшение пробивного напряжения с увеличением частоты. Наличие критических частот связано с особенностями образования объемного заряда в газовом промежутке при высоких частотах. При напряжении промышленной частоты 50 Гц и выше вплоть до определенного значения амплитудные значения пробивных напряжений газовых промежутков практически равны пробивным напряжениям при постоянном напряжении (горизонтальный участок 1). Ионы, образовавшиеся благодаря ударной ионизации в один из полупериодов напряжения, в течение этого же полупериода успевают дойти до электродов и в следующий полупериод процесс начинается при отсутствии объемных зарядов. С увеличением частоты часть ионов уже не успевает пройти весь промежуток и их количество с каждым полупериодом возрастает, что ведет к усилению поля и, следовательно, к снижению пробивного напряжения при частоте  $f_{кр1}$ . При дальнейшем увеличении частоты механизм разряда еще более усложняется. При определенной частоте не только ионы, но и электроны не успевают пересечь весь газовый промежуток, создается возможность кумулятивной ионизации электронами при их колебательном движении в промежутке, что ведет к дальнейшему снижению пробивного напряжения при частоте  $f_{кр2}$ .

При первой критической частоте и более высокой происходит накопление положительных ионов, так как подвижность электронов существенно выше ионов, а количество отрицательных ионов меньше, чем положительных. Наряду с процессом накопления объемного заряда происходит и процесс его диффузии. При уменьшении пробивного напряжения увеличивается время, необходимое для накопления заряда, что способствует его диффузии. При определенной частоте наступает равновесие между этими процессами. Поэтому с увеличением частоты выше критической снижение пробивного напряжения происходит до определенной частоты, начиная с которой пробивное напряжение не зависит от нее вплоть до наступления второй критической частоты, соответствующей кумулятивной ионизации электронами. Этой частоте соответствует горизонтальный участок 2. **Снижение пробивного напряжения при частотах выше второй критической также происходит до определенной частоты, выше которой происходит рост пробивного напряжения с повышением частоты.** В этом диапазоне частот длительность полупериода напряжения настолько мала, что некоторые электроны за это время не успевают осуществить ни одного акта ионизации. Для повышения вероятности ионизации необходимо повысить напряжение и тем самым увеличить скорость электронов, чтобы они успевали пройти расстояние, необходимое для ударной ионизации.

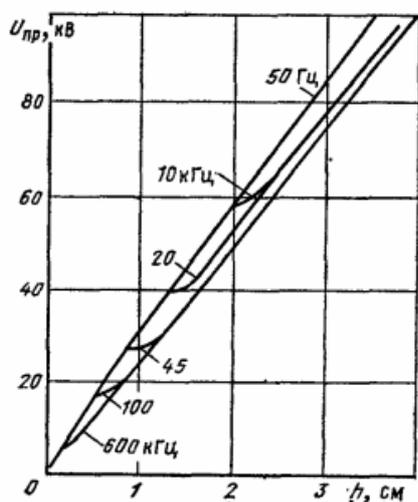


Рис. 1-4-9. Напряжения пробоя в зависимости от величины разрядного промежутка при различных частотах. Поле однородное, давление атмосферное.

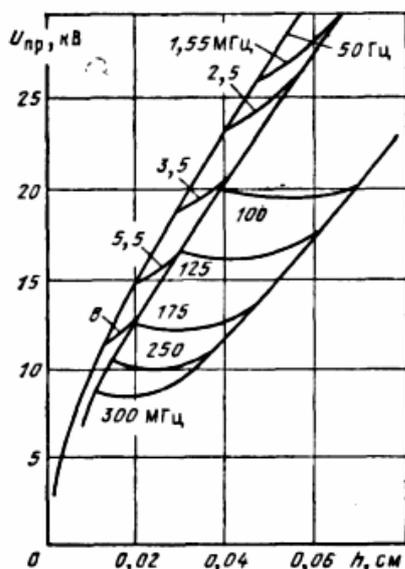


Рис. 1-4-10. Напряжение пробоя для воздуха в зависимости от величины разрядного промежутка в области сверхвысоких частот. Поле однородное, давление атмосферное.

Из графиков следует, что в однородном электрическом поле значения первой и второй критических частот (точки излома кривых на рисунках) уменьшаются с увеличением длины разрядного промежутка. Длина разрядного промежутка, начиная с которой происходит уменьшение пробивного напряжения, называется критической.

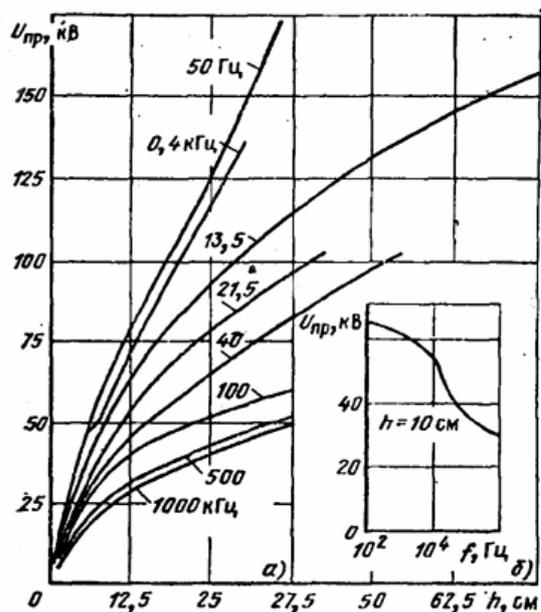


Рис. 1-4-11. Напряжение пробоя при разряде в воздухе (стержень-плоскость) в зависимости от величины разрядного промежутка при разных частотах (а), и в зависимости от частоты (б).

В сильнонеоднородных полях, где пробой предшествует коронный разряд, а затем возникновение стримерного канала с образованием интенсивных объемных зарядов, критические частоты существенно меньше, а пробивное напряжение снижается значительно по сравнению с соответствующим напряжением промышленной частоты 50 Гц.

1986-Справочник по электротехническим материалам. Под ред Ю.В. Корицкого. 1986. т.1.

Поверхностный разряд. Если электрическое поле в межэлектродном пространстве однородное, то пробой может произойти в любом месте и при самом высоком напряжении. Если же в однородное поле внести твердый диэлектрик, то электрический разряд произойдет в воздухе по поверхности твердого диэлектрика и, при прочих равных условиях, при более низком напряжении. В данном случае разрядное напряжение  $U_p$  будет зависеть от ряда факторов и, в первую очередь, от физико-химических свойств твердого диэлектрика, состояния поверхности образца и расположения ее относительно силовых линий поля, влажности воздуха, формы и частоты приложенного поля, плотности прилегания электродов к твердому диэлектрику и расстояния между ними.

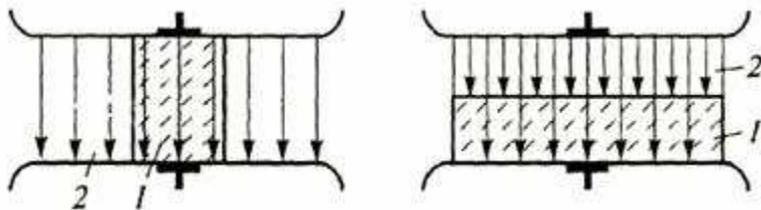


Рис. 1-4-12. Распределение линий вектора  $E$  в электроизоляционной конструкции, состоящей из твердого диэлектрика (1) и воздуха (2): а - силовые линии поля направлены параллельно, б - перпендикулярно относительно границы раздела диэлектриков.

Кривые зависимости  $U_p$  от расстояния  $L$  между электродами в однородном и неоднородном электрическом полях в зависимости от природы твердого диэлектрика (величины диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и удельной поверхностной электропроводности

gs) представлены на рисунке. Из рисунка видно, что с увеличением расстояния между электродами  $U_p$  возрастает неодинаково у твердых диэлектриков различной химической природы. Самое высокое  $U_p$  наблюдается при разряде вдоль поверхности неполярных твердых диэлектриков молекулярного строения. У полярных диэлектриков  $U_p$  ниже, чем у неполярных, и тем ниже, чем больше  $\epsilon$  и  $g_s$  твердого диэлектрика и меньше его краевого угол смачивания. У диэлектриков ионного строения, кривые 3 и 4), которые содержат ионы щелочных металлов и поэтому имеют более высокую поверхностную электропроводность,  $U_p$  еще ниже, чем у полярных диэлектриков молекулярного строения. Особенно значительно  $U_p$  снижается при плохом прилегании электродов к поверхности твердого диэлектрика (кривая 5). В этом случае электрическое поле в межэлектродном пространстве становится более неоднородным, в результате разрядное напряжение снижается.

Установлено, что на поверхности твердого диэлектрика образуется сплошная или прерывистая пленка сконденсировавшейся из воздуха влаги толщиной от мономолекулярного слоя и более, которая нарушает однородность поля, и поэтому  $U_p$  снижается. В данном случае электрический разряд фактически происходит в неоднородном поле. При этом чем больше электропроводность водяной пленки, тем ниже  $U_p$ .

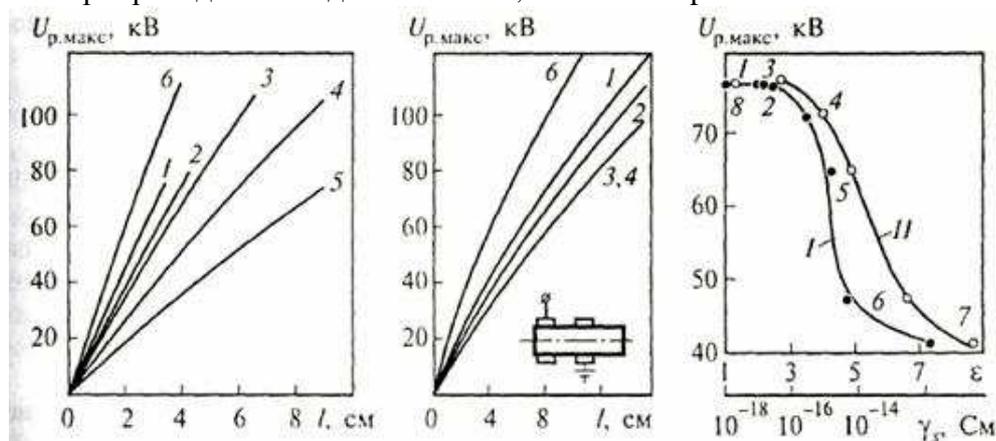


Рис. 1-4-13. Зависимость разрядного напряжения  $U_p$  в воздухе по поверхности диэлектриков от расстояния  $L$  между электродами в однородном поле (а) и неоднородном поле (б) и от величины диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  (I) и удельной поверхностной электропроводности  $\gamma_s$  (II) твердого диэлектрика (в):

а, б - диаметр образцов 50мм; 1 - парафин, 2 - бакелит, 3 - фарфор, 4 - стекло, 5 - фарфор и стекло при плохом контакте электродов, 6 - воздушный промежуток;

в - электроды плоскопараллельные с закругленными краями, диаметр образцов 45мм, высота 30мм,  $T=20^\circ\text{C}$ ; У - ПТФЭ, 2-ПЭ, 3-ПС, 4-ПММА, 5-винипласт, б - древесина, 7-гетинакс, 8-воздушный промежуток.

Если поверхность твердого диэлектрика сильно шероховатая и содержит трещины, то в этих местах образуются воздушные микрозазоры, которые оказываются включенными последовательно с твердым диэлектриком. Из-за разных значений диэлектрической проницаемости воздуха и твердого диэлектрика напряженность поля в микрозазорах повышается и, достигнув начальной напряженности, вызывает ионизацию воздушных включений. Ионизация, в свою очередь, становится дополнительным фактором усиления неоднородности поля и снижения  $U_p$ . На снижение  $U_p$  оказывают влияние и другие факторы. Известно, что в воздухе всегда имеются свободные положительные и отрицательные ионы. Поэтому на поверхности твердых диэлектриков даже в очень сухом воздухе образуется слой ионов одного знака, а над ним, в воздухе - слой ионов противоположного знака. Под действием приложенного напряжения эти ионы вместе с ионами воды смещаются к противоположно заряженным электродам, участвуя в формировании объемных зарядов. На величину образующихся у электродов объемных зарядов влияет не только поверхностная электропроводность, но и длительность воздействия напряжения. При коротких импульсах и высоких частотах ( $f > 50$  кГц) успевают сместиться малое число ионов, поэтому электрическое поле искажается слабо, и, следовательно,  $U_p$  снижается незначительно.

### 1.4.3 Зависимость болевых ощущений от частоты.

Если увеличивать напряжение, то при достижении некоторой величины наступает болевая граница. Но если увеличивать одновременно и напряжение, и частоту, то эта граница не чувствуется.

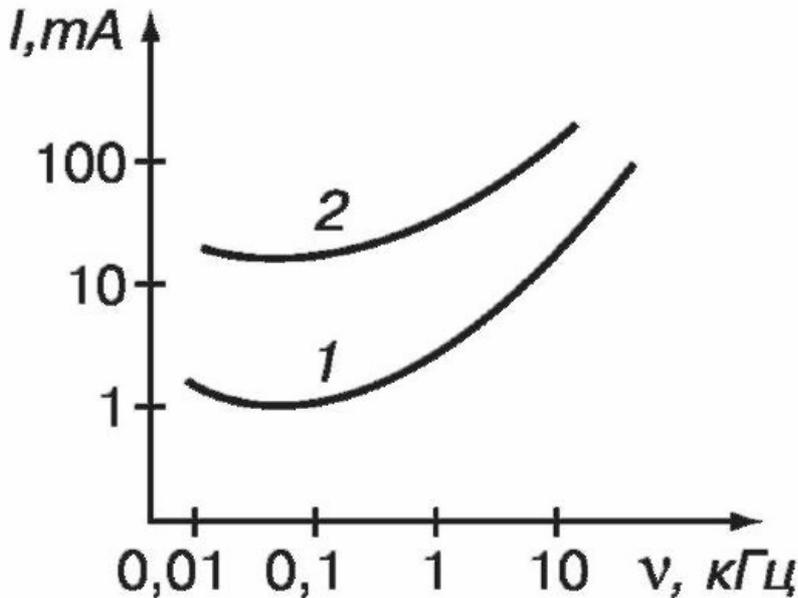


Рис. 1-4-14. Зависимость среднего значения порога осязаемого тока (1) и порога неотпускающего тока (2) от частоты на участке «предплечье-кисть» для среднего мужчины.

На частотах свыше 100 кГц раздражающее действие переменного тока полностью прекращается. Это связано прежде всего с тем, что на таких частотах воротные процессы ионных каналов не успевают срабатывать и внутриклеточный состав не изменяется. Основным первичным эффектом в этом случае является тепловое воздействие.

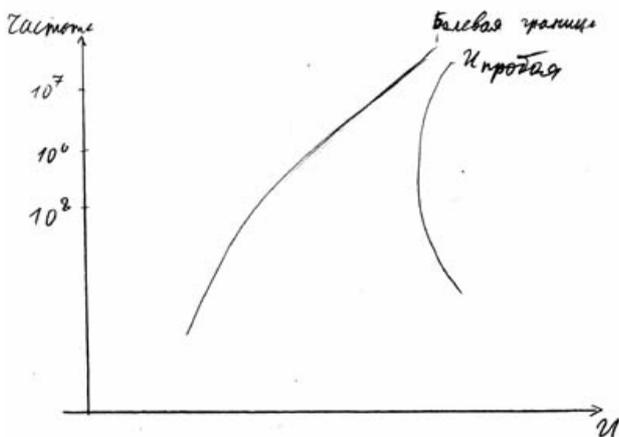


Рис. 1-4-15. Зависимость напряжения пробоя и болевой границы от частоты.



Рис. 1-4-16. Физиологические эффекты воздействия электрическим током с частотой 50Гц.

#### 1.4.4 Регистрация свечения при различных значениях напряжения и частоты.

При каждой фиксированной частоте желательно регистрировать свечение при различных напряжениях. Таким образом, для получения полной информации об объекте вместо одного снимка желательно получить целую серию снимков, полученных при различных частотах и напряжениях. При определенном напряжении и частоте свечение принципиально меняет свой характер. Характерные частоты для каждого объекта индивидуальны.

Увеличение напряжения, частоты, времени экспозиции приводит к увеличению размеров короны свечения, при этом вклад самого объекта в формирование разряда снижается, информация о состоянии организма искажается. Поэтому для диагностики необходимо использовать оптимальные импульсы (достаточные, чтобы развился разряд, но **минимальные по значению**).

Описание эксперимента. Идеальная картинка получается при минимальном токе разряда, когда при минимально возможном напряжении при подборке частоты начинался разряд. Затем, снижением длительности самого импульса (на той же частоте) можно добиться минимального тления. Рабочая частота менялась от 400кГц до 1мГц. Амплитуда напряжения меняться от 0.5кВ до 15кВ.

2002-Баркалов А.В. Щевелев М.И. Ащеулов А.Ю. (Воронеж, ВГПУ) Сравнительный анализ кирлиановских изображений твердотельных объектов. Конф. СПб. 2002. с.67-68.+

Регистрировалась площадь свечения от металлического цилиндра с помощью прибора «Корона ТВ». В качестве рабочих режимов были выбраны следующие: напряжение 12кВ, частота 1024Гц.

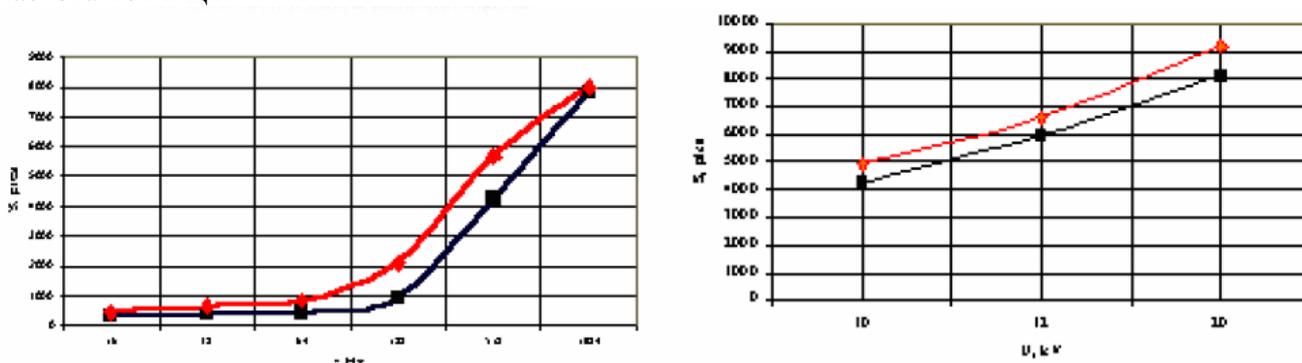


Рис. 1-4-17. Зависимость площади свечения от частоты (слева) и напряжения (справа).

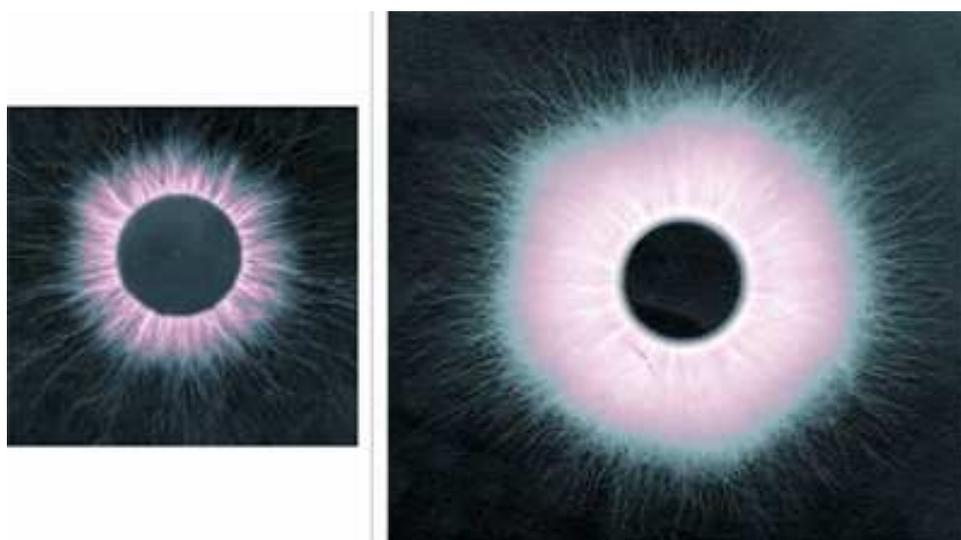


Рис. 1-4-18. Свечение тест-объекта при различных параметрах генератора (Игнетьев Н.К.).  
а)  $U = 12$  кВ,  $F = 50$  Гц,  $t = 0,1$  сек, б)  $U = 16$  кВ,  $F = 100$  Гц,  $t = 0,5$  сек.

2005-Andreas Esteban de la Plaza. Brazil.

<http://webspaces.webring.com/people/gl/lemagicien/kfpage/falseimage/falseimage.html>

<http://webspaces.webring.com/people/gl/lemagicien/kfpage/kfgallery/gal.html>

2003-de la Plaza, A. Andy's (Le Magicien) Kirlian photography. 20/11/03.

Регистрация свечения проводилась с помощью Кирлиан-камеры собственной разработки, на основе высоковольтного высокочастотного генератора. Используемые напряжения от 15 до 30кв. Чем больше время накопления, тем ярче корона свечения.

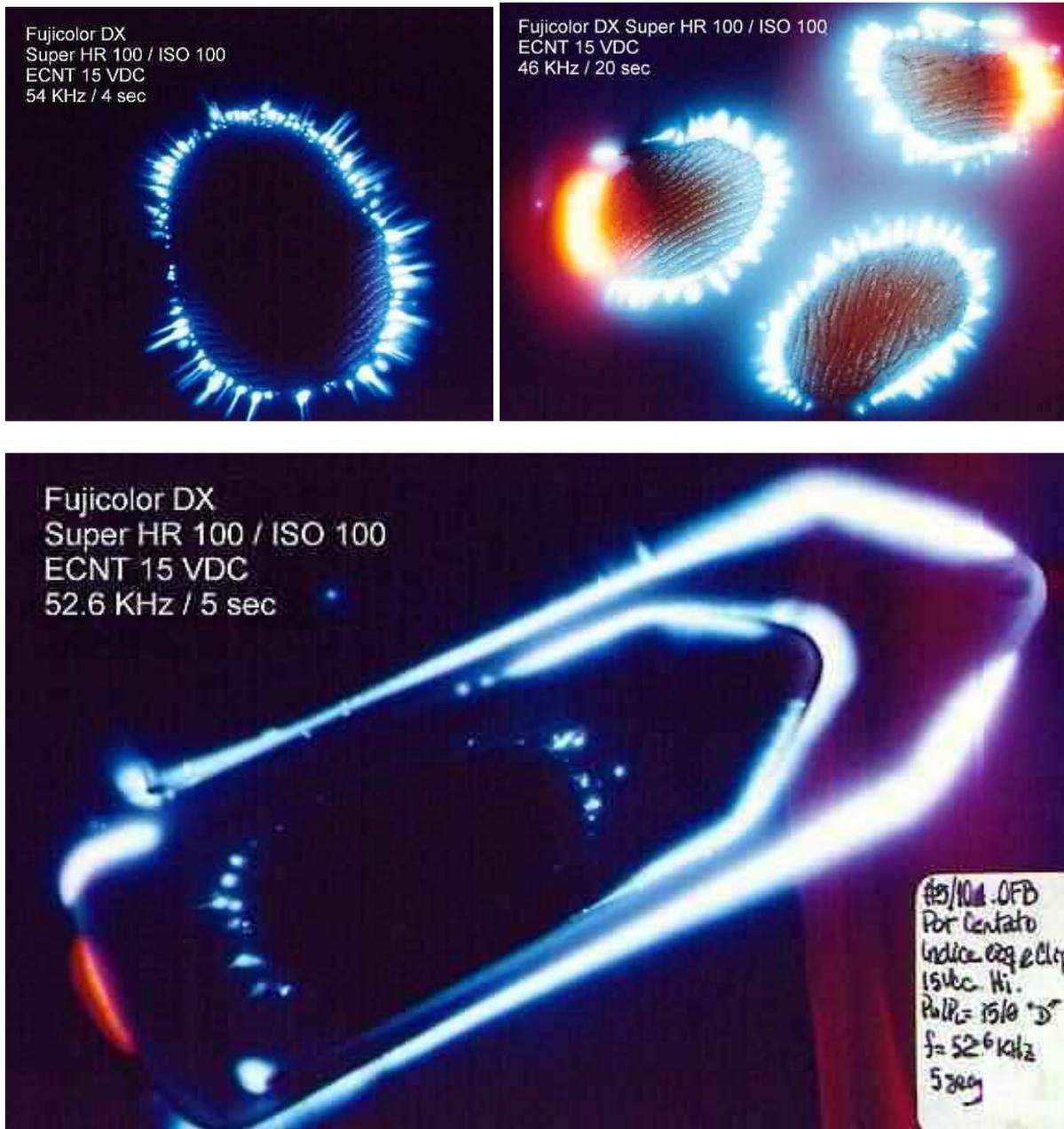


Рис. 1-4-19. Свечение, зарегистрированное при напряжении 15кВ.

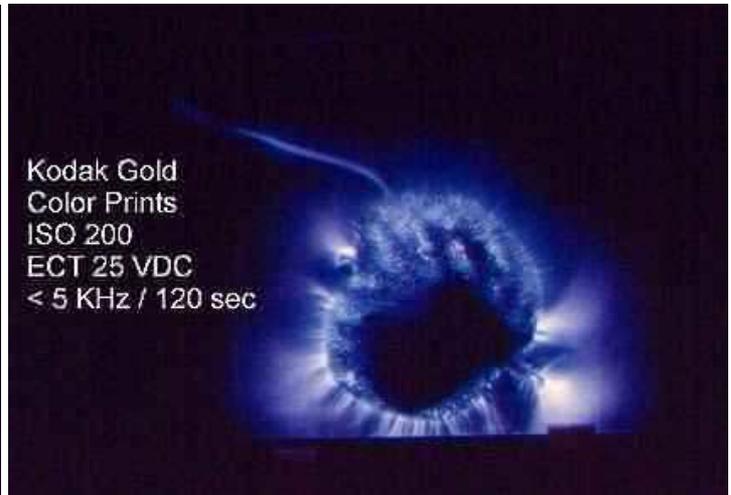
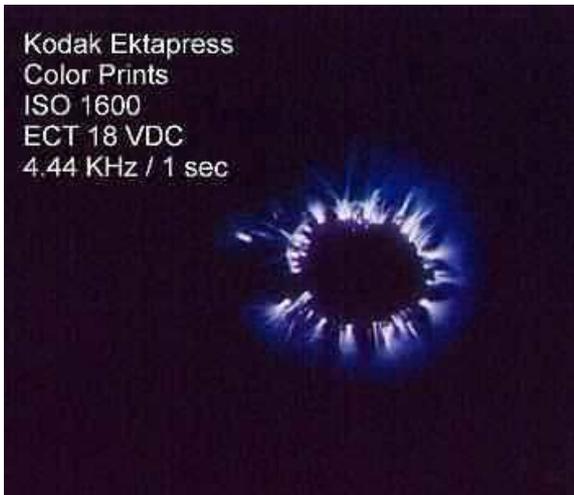
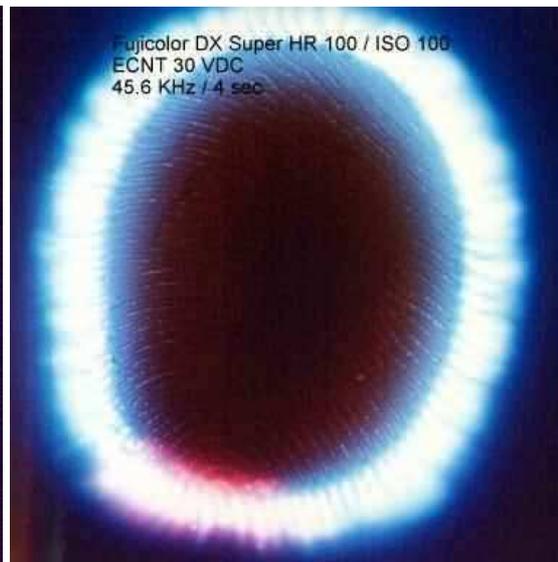
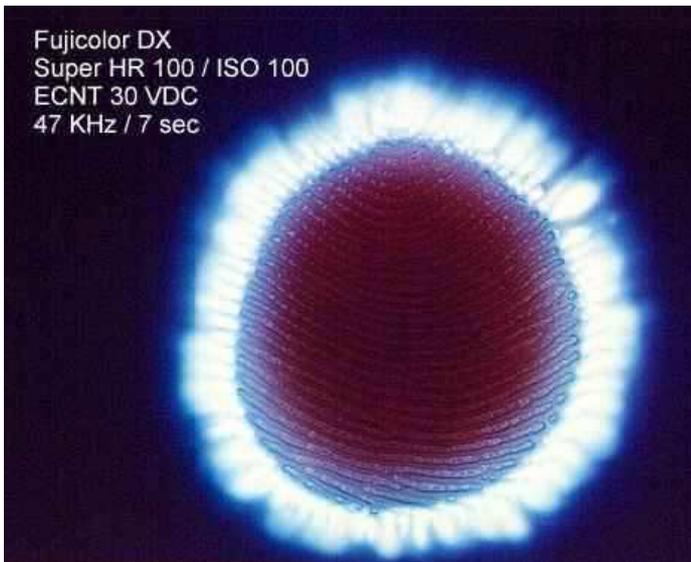
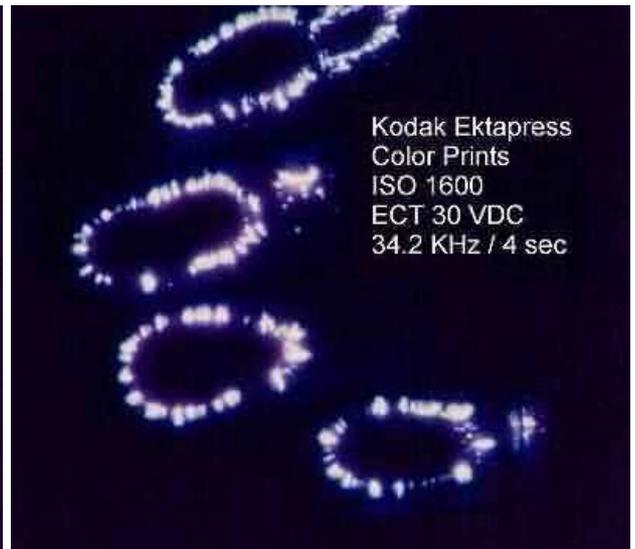
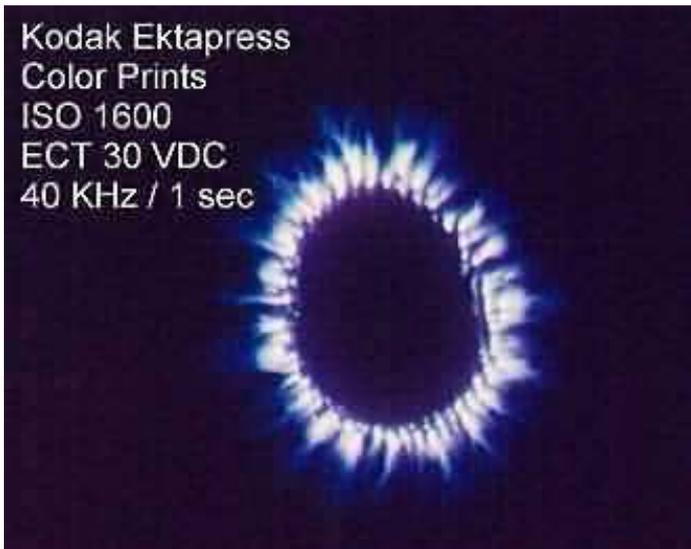


Рис. 1-4-20. Изображения зарегистрированные при напряжении 18 и 25кВ.



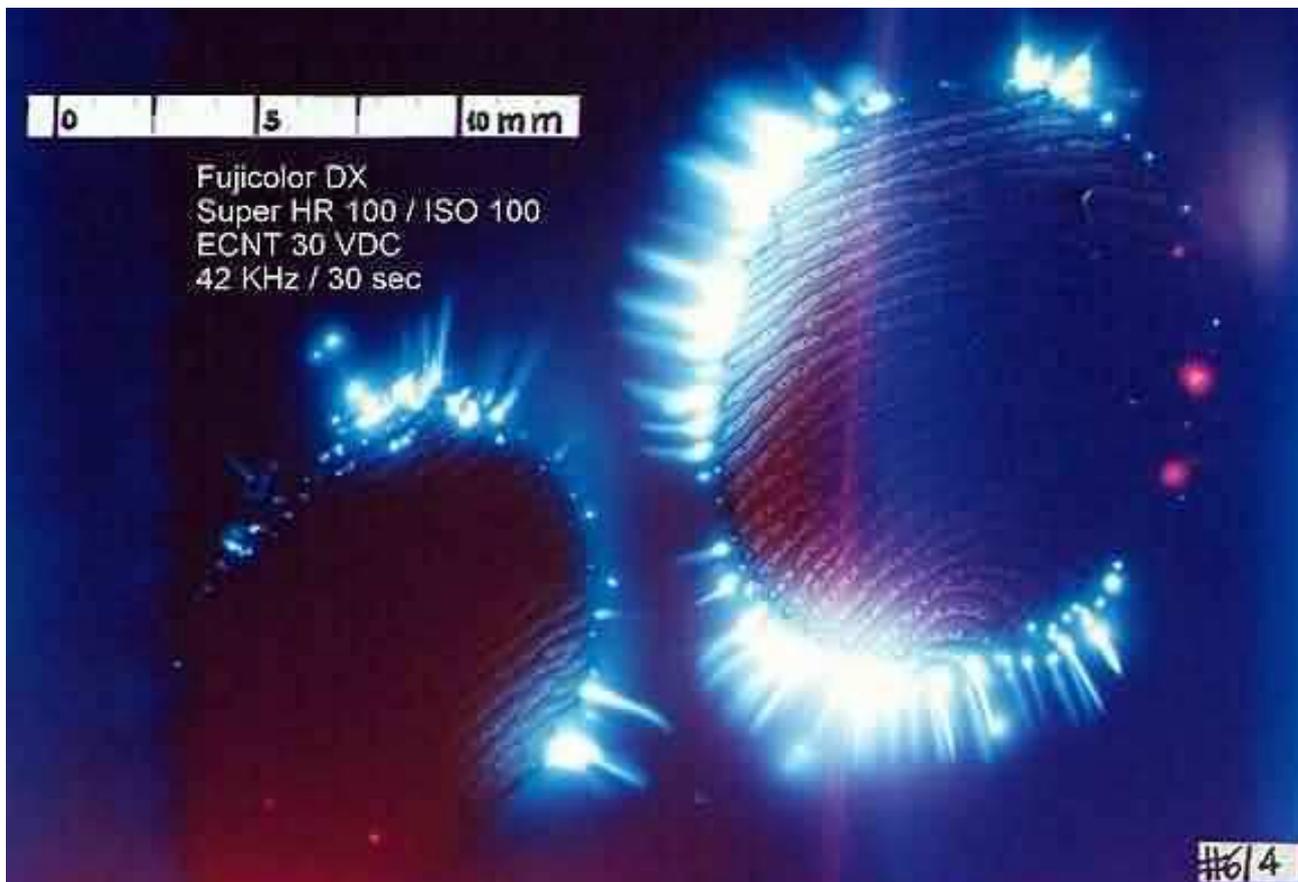


Рис. 1-4-21. Изображения, зарегистрированные при напряжении 30кВ.

2014-Cosmedtech.ru, сайт «электроника в косметике и медицине».

<http://www.cosmedtech.nm.ru/index.htm>

Приведены схемы Кирлиан-устройств и Кирлиановские снимки. Съемка производилась на черно-белую фотобумагу. Цвет подбирался в программе Photoshop 7.0 максимально похожим на реальный цвет.

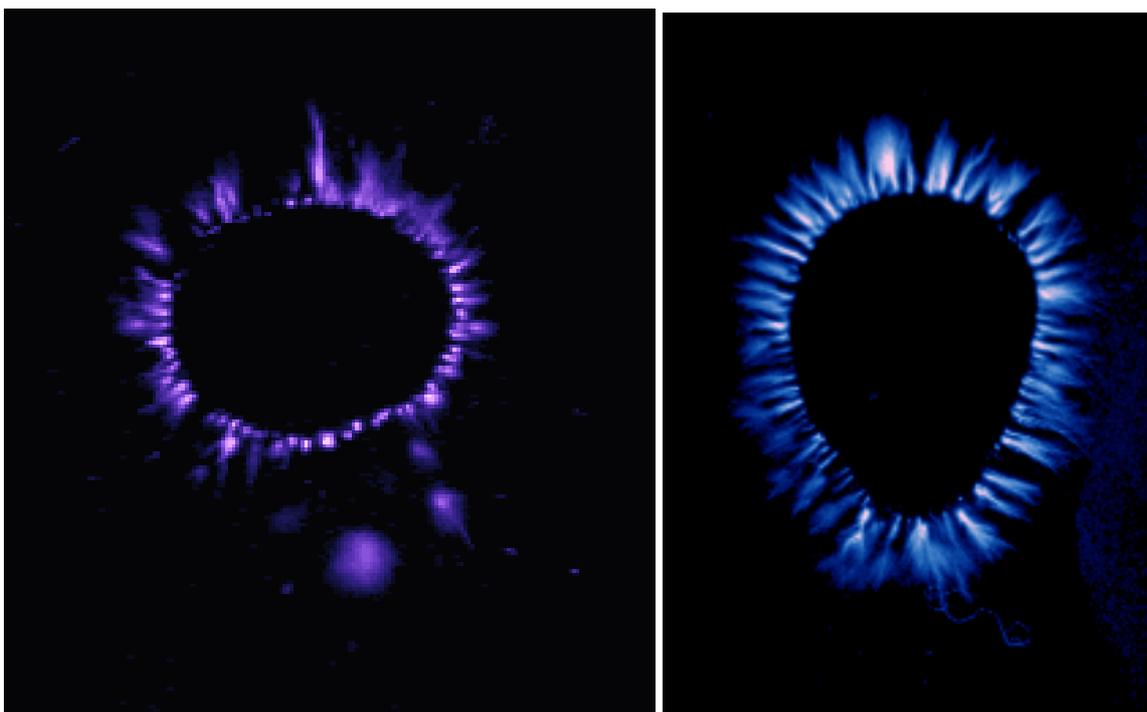


Рис. 1-4-22. Снимки при постоянном напряжении +25кВ, выдержка 3 сек.

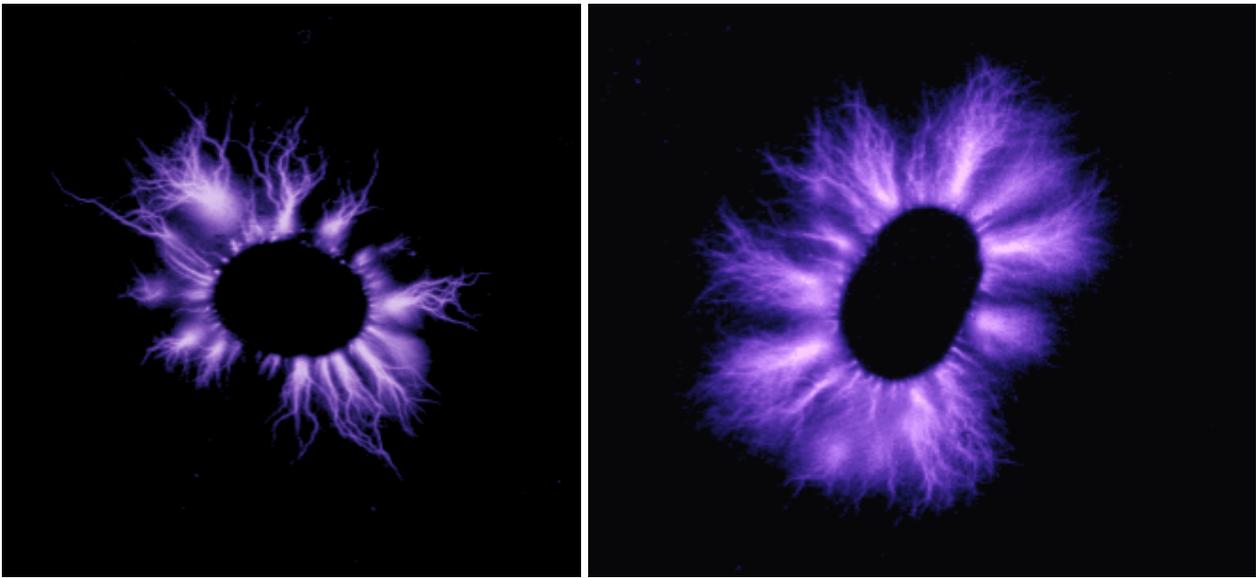


Рис. 1-4-23. Параметры регистрации:  $U=50\text{kV}$ ,  $F=22\text{kHz}$ , выдержка 0,5 и 1 сек.

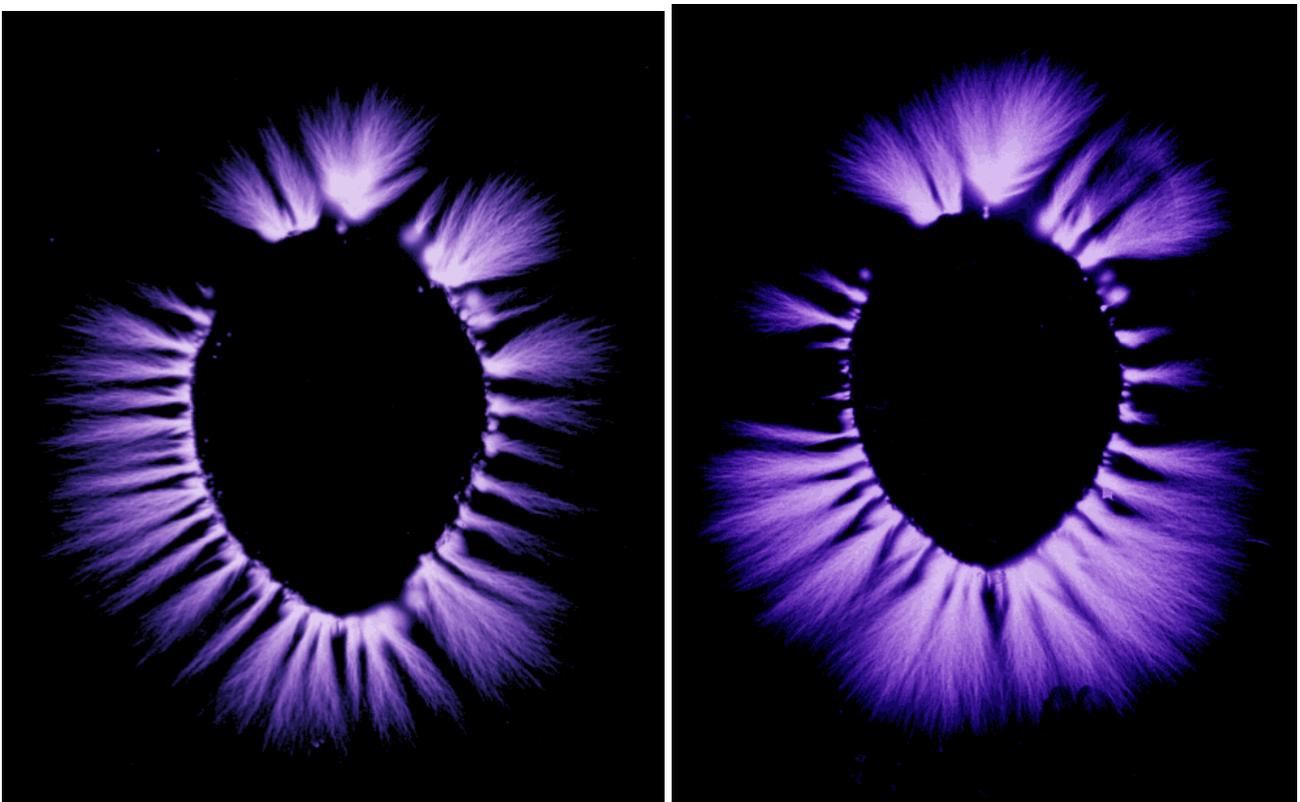


Рис. 1-4-24. Параметры регистрации:  $U=30\text{kV}$ ,  $F=150\text{kHz}$ , выдержка 0,5 и 1 сек.

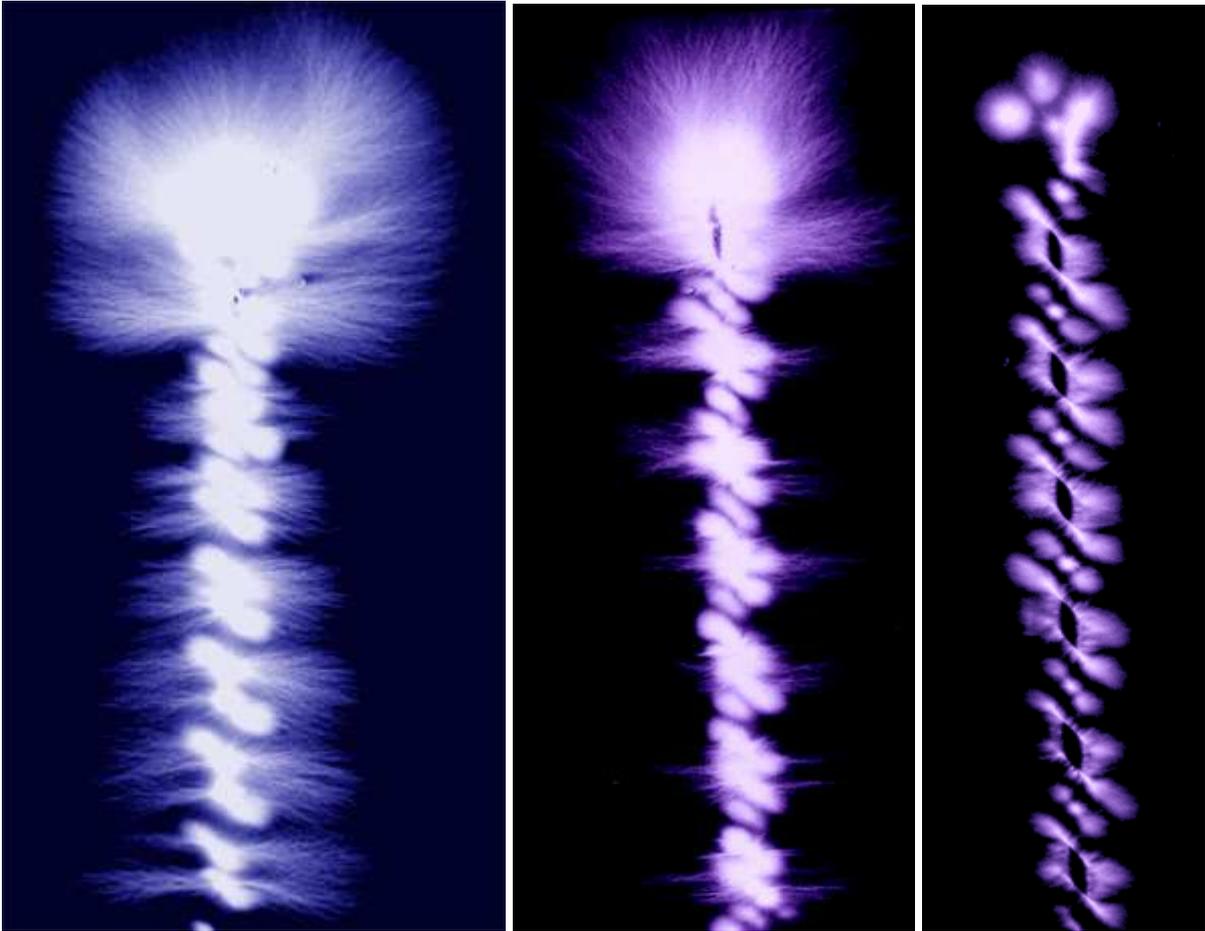


Рис. 1-4-25. Кирлиановский снимок бура для перфоратора. Режимы съемки:  
1-30кВ, 150кГц, 3 сек, // 2-30кВ, 150кГц, 0,5 сек, // 3-50кВ, 22кГц, 0,5 сек.

---

**1977-USA, Rochester Institute of Technology, RIT Scholar Works.**

**1977-Robert S. Suba, An Analysis of Kirlian Electrophotography. Dissertation.** Rochester Institute of Technology, 1977.+

Финансирование работ осуществлялось ЦРУ (Central Intelligence Agency),

Консультировал William A. Tiller (Stanford University),

Консультировал Nile Root (Biomedical photography department at RIT)/

1990-Root N. More on Kirlian photography. *Journal of biological Photography*. 1990. Jan. 58(1): p.28-29.

Проводил регистрацию свечения при напряжениях 10, 20, 30кВ, при частотах 1, 50, 100Гц.

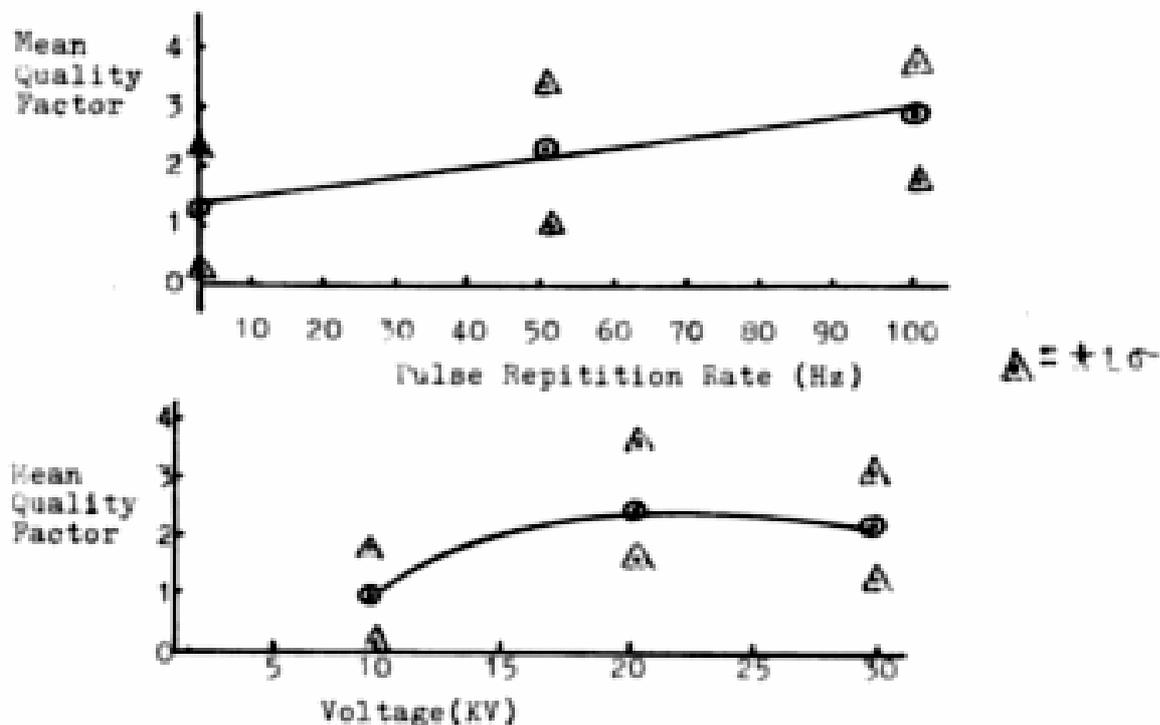


Рис. 1-4-26. Зависимость качества регистрации от частоты и напряжения.

### 1.5 Оптимальный выбор частоты при регистрации снимка.

- Свечение объектов обычно регистрируется при высоких частотах порядка 100 кГц.
- Возможна регистрация свечения при постоянном высоком напряжении. При подаче постоянного напряжения интенсивные разряды происходят только в момент подачи напряжения.
- Обычно устойчивое свечение регистрируется в диапазоне частот от 200 Гц до 6 кГц.

Прежде всего необходимо отметить, что при реализации эффекта Кирлиан возбуждение осуществляется пачками импульсов. При этом имеются следующие характеристики режима возбуждения:

- 1-напряжение импульса,
- 2-длительность одиночного импульса,
- 3-частота повторения импульсов в пачке импульсов,
- 4-длительность пачки импульсов.

Например, «ГРВ камера» имеет следующие характеристики:

- длительность импульса 3-5мкс,
- частота следования импульсов 1024Гц (частота строчной развертки видеокамер стандарта PAL)
- длительность пачки импульсов 0,1, 1, 2, 32 сек.

Обычно режим подачи импульсов задается следующими параметрами:

- 1-напряжение 20-100кВ.
- 2-длительность одиночного импульса-100 мксек/ частота заполнения 1-10кГц,
- 3-длительность серии импульсов 0,1-2 мсек,
- 4-время между двумя сериями импульсов, 20мсек/ частота пачек импульсов 50Гц,
- 5-время экспозиции, длительность воздействия импульсами 1 сек,

При периоде равном 0,01с (100 Гц) и при длительности импульса 0,00001с основная частота такой последовательности составит 10 КГц.

Если пачка импульсов заполняется (формируется) с помощью высокочастотного генератора, то длительность одиночного импульса связана с частотой задающего генератора, и равна половине периода. Длительность фронта импульса равняется половине длительности импульса. В характеристиках Кирлиан-камеры указывают либо частоту высокочастотного генератора (частоту заполнения) либо длительность импульса.

Частота	100кГц	200кГц	1 мГц
Длительность периода колебаний	10 мкс	5 мкс	1 мкс
Длительность импульса, микросекунд	5 мкс	2,5 мкс	0,5 мкс
Длительность фронта импульса, мкс	2,5 мкс	1,25 мкс	0,25 мкс

Для катушек зажигания АМ это время нельзя уменьшить менее 100-150 мкс поскольку их собственная резонансная частота около 6-7 кгц. Для катушек с ферритовым сердечником ширина импульса может быть уменьшена до 10-15мкс. Такие катушки применяются в приборах Короткова.

От частоты импульсов зависит форма стримеров. Кирлиан С.Д. отмечал, что при низких частотах фотографии получаются грубоватые, с толстыми стримерами, а при высоких разрядах стримеры очень тонкие и красивые. Если длительность импульса короткая (высокая частота), то стримеры получаются тонкими. Если импульс имеет большую длительность, то стримеры получаются размытыми. За время длительности импульса электроны испытывают больше столкновений, и стример размывается.

В обычном режиме регистрации частота постоянная, выбрана из опытов оптимальной и никак не зависит от объекта изучения. На самом деле желательно иметь возможность подстраивать частоту разряда в зависимости от объекта изучения, находиться с ним в резонансе. Это позволит получить принципиально новую информацию об объектах исследования.

Возникновение фантомной (удаленной) части листа возникает только при определенной частоте в области 8-12 мГц и при определенной скважности импульсов.



Рис. 1-5-1. Оциллограмма сигнала с генератора в установке Кирлиана С.Д.

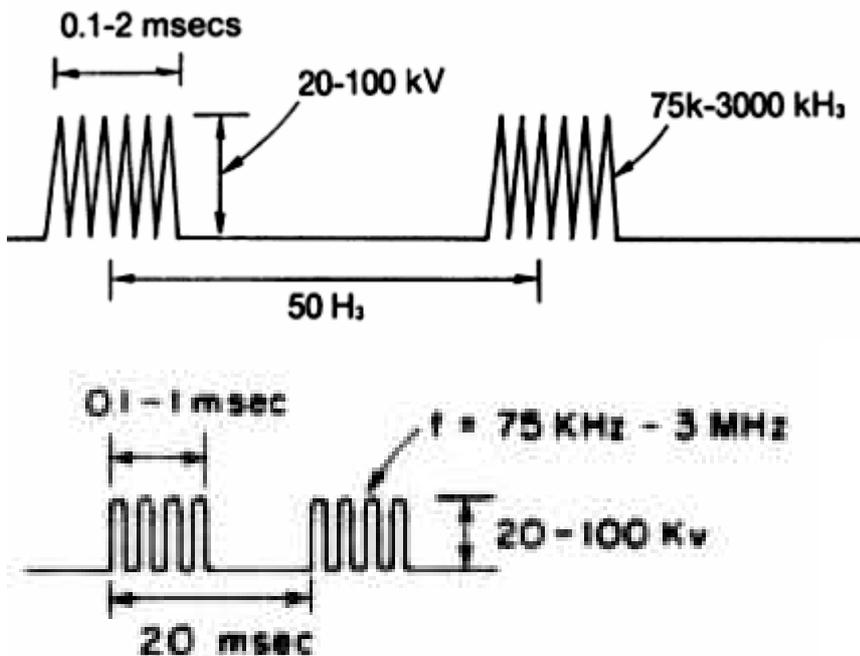


Рис. 1-5-2. Осциллограмма напряжения на Кирлиан-камере.

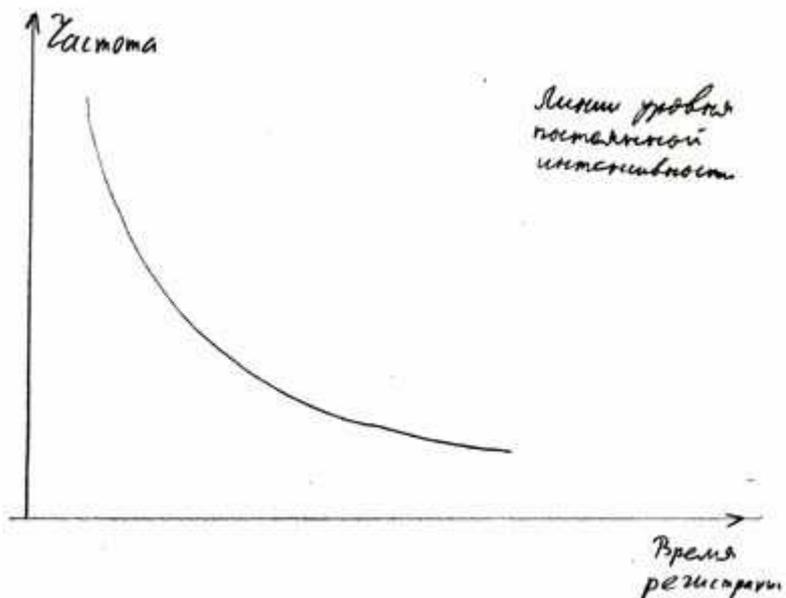


Рис. 1-5-3. Зависимость длительности регистрации от частоты следования импульсов.

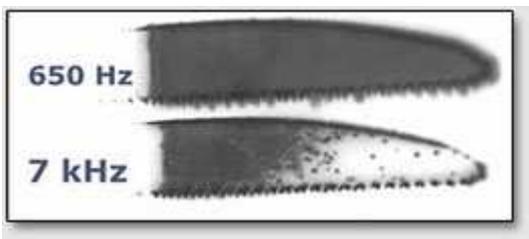


Рис. 1-5-4. Свечение металлического ножа при разных частотах.

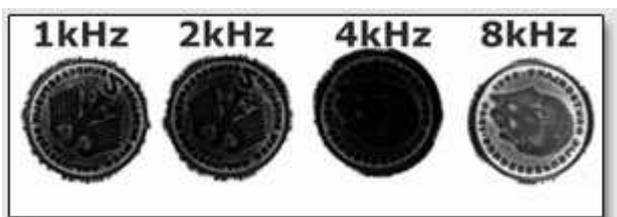


Рис. 1-5-5. Изображения, полученные при различных частотах.

Вопрос: при каком напряжении возникает разряд в газе является довольно сложным. Это напряжение определяется многими параметрами:

- состояние кожи пациента, влажностью воздуха,
- крутизной фронта импульса от генератора,
- напряжение генератора.

Для электрода на основе стекла свечение наблюдается начиная с частоты 200Гц. Максимальная частота составляет 15-20кГц в зависимости от материала и напряжения. Между нижней и верхней границей имеются две интересные области: первая 650 Герц, вторая 7000Гц. При низкой частоте, по-видимому, играет большую роль проводимость объекта, которая однородна, металл. При высокой частоте проводимость объекта не играет важной роли, а на первый план выступает собственное магнитное поле объекта, которое, как видно, неоднородно, и не находится в прямой связи с электрической проводимостью. При исследовании объекта целесообразно исследовать зависимость свечения от частоты.

---

Стримеры развиваются с большой скоростью ~10<sup>8</sup> см/сек и проходят зазор за несколько наносекунд. Электроны в проводящем канале рассеиваются примерно за 40 нсек, в то время как тяжелые и медленно движущиеся ионы остаются в течение нескольких микросекунд.

---

#### **2015-Игнат Игнатов (Болгария)**

В экспериментах использовались четыре частоты электрического тока-6, 12, 15, 24 кГц. Как показали исследования, контуры ГРВ-свечения при 12 кГц и 15 кГц однородны. Контур ГРВ-свечения при частоте 6 кГц составляет 55 % от контура при 15 кГц, а при 24 кГц-всего 15 % от контура при 15 кГц, что важно для дальнейшего анализа и идентификации снимков.

2015-Игнатов И. Мосин О.В. Газоразрядное свечение биологических объектов и воды.

---

**Ling Y. Wei.** Engineering Department, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1  
1976-Ling Y. Wei. Lichtenberg figures of corona discharge at low frequencies. Electrical Journal of Applied Physics. 11/1976.

Изучался коронный разряд от металлического электрода на частотах до 40 кГц. Анализировались рисунки Лихтенберга. Длина и плотность стримеров уменьшается с увеличением частоты. При низких частотах катодные(+) стримеры более интенсивным, чем анодных(-) стримеров, в то время как при высоких частотах наоборот. При одинаковом времени разряда, более короткие импульсы создают сильные растяжки, чем длинные.

---

### Взаимосвязь частоты и интенсивности свечения.

Увеличим частоты импульсов в два раза. При фиксированном времени регистрации будет зарегистрировано в два раза больше разрядов. Следовательно интенсивность свечения возрастет в два раза.

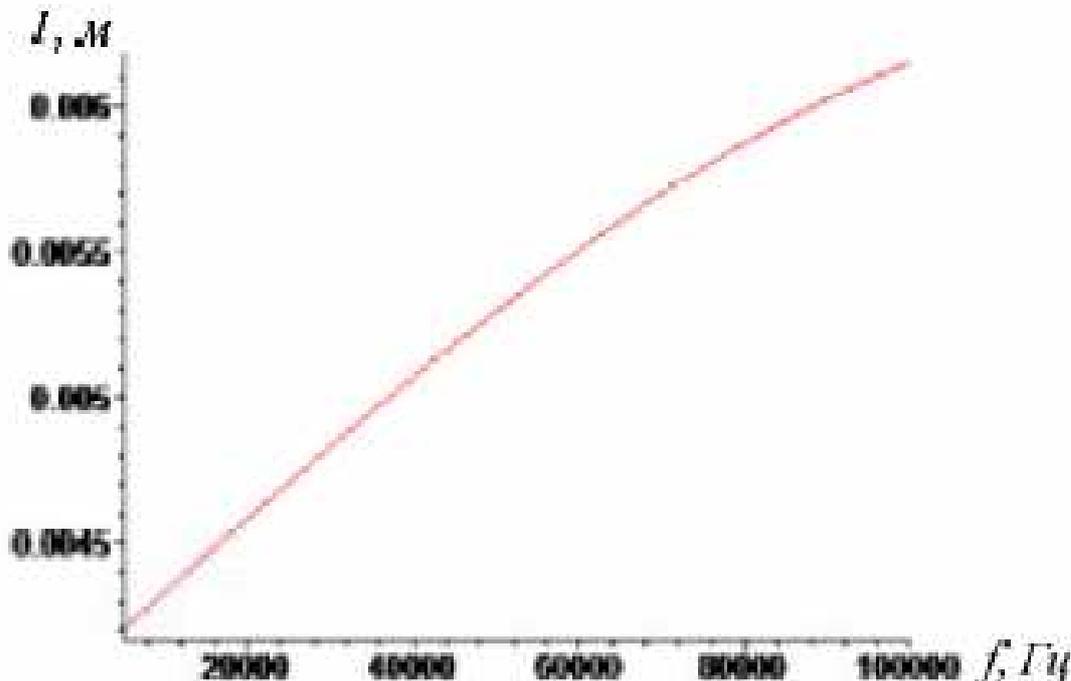


Рис. 1-5-6. Зависимость диаметра свечения капли дистиллированной воды от частоты.

2011-Билинский И.И. Павлюк А.А. Кныш Б.П. Исследование характеристик газоразрядной визуализации изображений жидкофазных объектов. Вестник ВПУ. 2011. №5(98). с.178-183.

-----  
**-Начиная с 4-5МГц, стример приобретает весьма специфический вид.**

**-Начиная с 9-10МГц стример становится факелом, который длинным не бывает.**  
-----

Уменьшение пробивного напряжения с ростом частоты объясняется искажением поля, обусловленным образованием объемных зарядов в газе вследствие различной подвижности положительных ионов и электронов. Ионизация газа и прорастание электронных лавин происходит лишь в те промежутки времени, когда мгновенное значение напряжения превосходит порог ионизации  $U$ . При снижении напряжения до уровня ниже порогового, ионизация прекращается и начинается рассасывание образовавшегося объемного заряда в межэлектродном пространстве. Скорость рассасывания определяется скоростью дрейфа ионов в направлении к катоду. На высоких частотах время полупериода настолько мало, что ионы не успевают нейтрализоваться на катоде. Накопление объемного положительного заряда увеличивает напряженность электрического поля, что облегчает дальнейшую ионизацию и снижает напряжение пробоя.

В области еще более высоких частот продолжительность полупериода изменения поля становится соизмеримой со временем формирования электронных лавин. Поэтому для полного развития и завершения процесса ударной ионизации необходимо повысить напряжение на электродах.

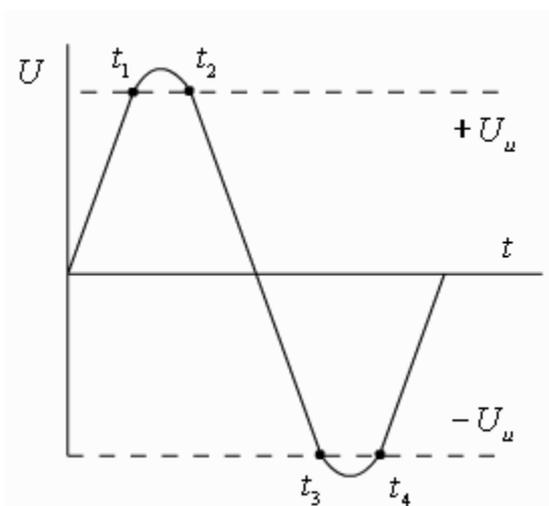


Рис. 1-5-7. Диаграмма, поясняющая особенности ионизации газа в переменном поле.

1937-Luft H. Arch. Elektrotechn. 1937. 31. p.93.

Он исследовал пробивное напряжение для случая электродов острие-плоскость. При 370кГц пробивное напряжение уменьшилось по сравнению со значением при 50Гц для промежутка 3см на 46%.

1934-Muller F. Arch. Electrotechn. 1934. 28. p.341.

Он установил существование критической длины промежутка. При 110кГц критическая длина промежутка составляет 0,45см, а при 995кГц равна 0,09см. При критической длине промежутка происходит накопление в промежутке положительных зарядов.

**1967-Колечицкий Е.С.** (МЭИ, Москва) Исследование коронного разряда на частотах выше 10 кГц. Электричество. 1967. №7. с.59-63.+ При повышении частоты происходит изменение структуры чехла короны. Чехол приобретает дискретное строение. На положительной полярности корона имеет вид длинных тонких каналов с плотностью тока несколько ампер на 1см<sup>2</sup>. На отрицательной полярности свечение сосредоточено у провода.

2000-Бесхлебный Сергей Игнатьевич. Оптические и электрические исследования одноэлектродного ВЧ разряда в воздухе в диапазоне частот 0,15-1,5МГц. Диссертация кандидата физико-математических наук. Хабаровск. 2000. 142с.

**Электропроводность кожи** улучшается с увеличением частоты. При изучении электропроводности биологических объектов обнаружили, что их сопротивление на высоких частотах (~10<sup>7</sup> Гц) гораздо меньше, чем на низких. На рисунке представлена зависимость сопротивления мышечной ткани от частоты (кривая дисперсии). Дисперсия электропроводности обычно наблюдается в интервале частот 10<sup>2</sup>÷10<sup>8</sup> Гц. Наличие дисперсии импеданса для живых тканей обусловлено тем, что при низких частотах (как и для постоянного тока) на величину электропроводности значительное влияние оказывает макроструктурная поляризация в тканях. По мере увеличения частоты поляризационные явления сказываются всё меньше и меньше. При изменении частоты от 25 МГц до 9 ГГц удельное сопротивление скелетной мышцы снижается в 10 раз).

Относительная диэлектрическая проницаемость кожного покрова с ростом частоты 25, 50, 100, 200, 1000МГц снижается, соответственно, до значений 150, 100, 75, 57, 44.

1977-Сердюк А.М. Взаимодействие организма с электромагнитными полями как с фактором окружающей среды. Киев: Наукова думка, 1977. 208 с.

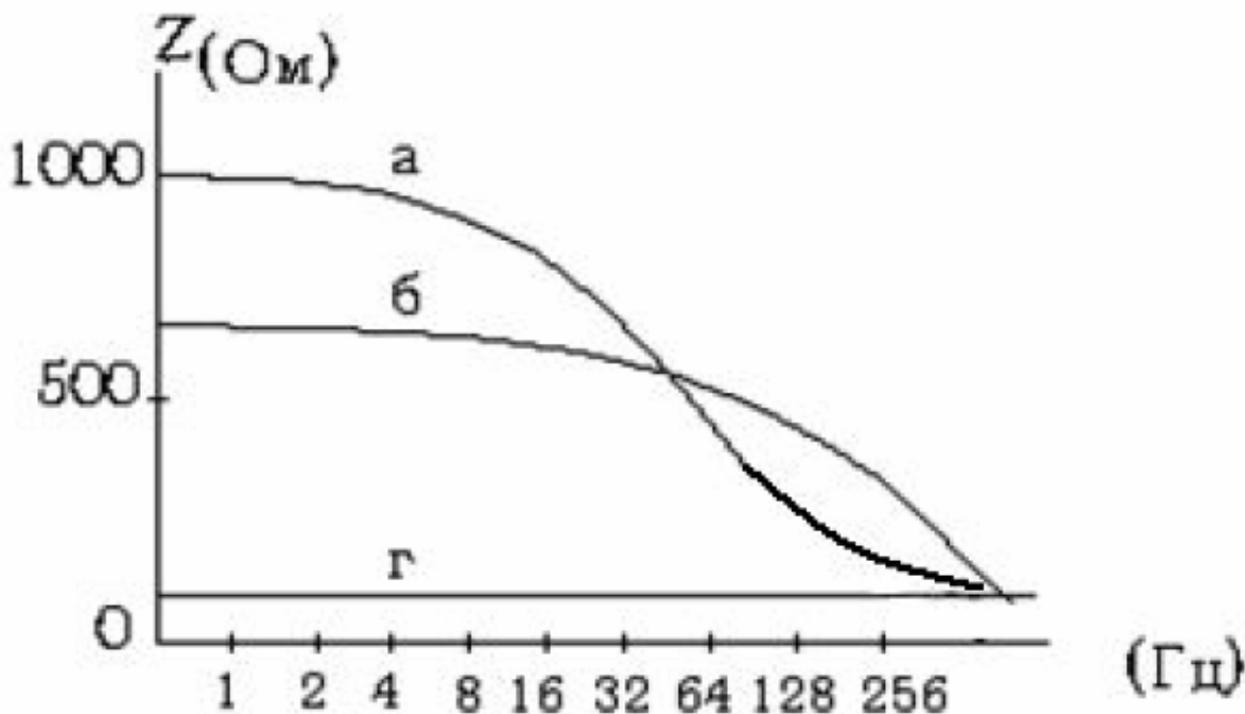


Рис. 1-5-8. Зависимость сопротивления мышечной ткани от частоты.

Следовательно чем больше частота, тем больший ток течет от заземляющего электрода на руке к пальце, и сильнее свечение.

**Скин эффект.** При высоких частотах ток распространяется по поверхности объекта. В 1893 году Тесла пропустил через своё тело электрический ток напряжением в миллион Вольт при частоте 200 кГц. При этом тело его светилось в темноте и казалось охваченным языками голубоватого пламени. Для примера приведем толщину скин-слоя для медного проводника: 50Гц-9,3мм, 10кГц-0,7мм, 100кГц-0,21мм, 1МГц-66мкм, 10МГц-21мкм.

**Изменение свойств эфира при высоких частотах.** Мишин Александр Михайлович в своих исследованиях показал, что чем выше частота, тем более плотным и жестким становится эфир. Следует учитывать, что в каждом подпространстве электромагнитная волна имеет свою уже не «электронную» вихревую структуру. Возмущения и волны в макроскопических подпространствах проявляют себя в нашем Мире в виде фликкер-шумов. Выбросы фликкер-шумов-это НЛО, шаровые молнии, полтергейст и другие аномальные явления. 2014-Мишин А.М. Начала высшей физики. 2014.

2011-Коломиец Р.А. Биотехническая система на основе эффекта Кирлиан для анализа жидкофазных объектов. Диссертация кандидата технических наук. Винница. 2011.а+ Проведены исследования низкочастотного и высокочастотного генераторов для газоразрядной визуализации, проанализированы преимущества и недостатки обоих вариантов. Показано, что низкочастотный генератор для газоразрядной визуализации более удобен в работе, потребляет меньше мощности и дает возможность анализировать спектр разрядного тока, в отличие от высокочастотного генератора, единственным существенным преимуществом которого является крайне малая глубина проникновения электрического поля в среду и возможность проведения исследований объектов in vivo.

## **Зависимость площади свечения от частоты, резонансные частоты.**

Проведем следующий эксперимент. Будем плавно изменять частоту следования импульсов от минимально возможной до максимально возможной. При этом будем анализировать структуру короны и площадь свечения. Возможны различные варианты эксперимента.

1-площадь не зависит от частоты. Это маловероятно, либо выбран слишком узкий диапазон частот (который определяется свойствами генератора), либо недостаточная точность измерений.

2-Унимодальное распределение. Спектр имеет единственный максимум при какой-то частоте. Это означает, что свечение определяется одним физическим процессом. Данная частота является оптимальной.

3-Полимодальное распределение. Спектр имеет несколько максимумов. Это означает, что имеет место несколько различных физических процессов, и для регистрации каждого из них необходимо производить измерения на определенной частоте.

Корона наблюдается не при всех частотах, но лишь в некоторых полосах, различных для разных приборов. Например, первая полоса 800-1200 Гц. Вторая около 4000 Гц.

Эксперимент. Устанавливается начальная частота 400 кГц и какое-то среднее значение напряжения питания выходных каскадов. При прикладывании пальца к рабочему месту начинался разряд. Затем снижается напряжение до почти исчезновения разряда. Затем начинаем увеличивать частоту и на определенных частотах появлялся устойчивый разряд, вызванный скорее всего явлением резонанса в выходной цепи. В диапазоне от 400 до 1000 кГц удавалось выловить не менее дюжины таких частот. Когда попадал на такую частоту, то либо снижал дальше напряжение, либо уменьшал длительность импульса. И только в таком случае появлялась четкая структура пальца с определенным рисунком и характерными точками, которые очень хорошо выделялись на цветной пленке.

## **Резонансные частоты электрической схемы генератора.**

При некоторых частотах может возникать повышение мощности на выходе генератора, и усиление свечения, независимое от объекта исследования.

## **Резонансные частоты газов.**

В воздушной среде, окружающей палец, имеются микрокапельки пота, который представляет собой раствор соли в воде. Джон Канзиус (John Kanzius) показал, что раствор NaCl-H<sub>2</sub>O с концентрацией от 1 до 30%, когда его облучают направленным поляризованным (polarised radiofrequency) ВЧ излучением с частотой, равной резонансной частоте раствора, порядка 13,56 МГц, при комнатной температуре начинает выделять водород, который в смеси с кислородом, начинает устойчиво гореть. При наличии искры водород воспламеняется и горит ровным пламенем, температура которого, как показывают эксперименты, может превышать 1600 градусов Цельсия.

---

## **Резонансная частота объекта исследования.**

Чем меньше длительность импульсов, тем шире спектр, так как последовательность импульсов представляет собой совокупность гармонических составляющих. А чем шире спектр, тем выше вероятность возникновения резонанса с объектом.

Наибольшая интенсивность наблюдалась при совпадении частоты генератора прибора с низшими гармониками Биологически Активных Частот (БАЧ) и низшими гармониками резонансных частот воды в жидкокристаллической форме.

При проведении исследований методом Кирлиан можно добиться биологического резонанса между энергией силового источника и изучаемым объектом. Так как при диагностике сравнивались данные, полученные на устройствах с разными рабочими частотами, то возникали

трудности с повторяемостью результатов. Различия частотных характеристик источников высокочастотных колебаний, являются причиной низкой повторяемости таких значимых результатов, как обнаружение болезни или фиксация эффекта фантомного листа. Как правило, только при использовании кирлиановских систем, которые генерируют резонирующие с изучаемыми биологическими объектами частоты, можно получить изображения, позволяющие диагностировать начало болезни.

Для получения эффекта фантомного листа также используются в несколько ином плане принципы биологического резонанса. Вместо генерирования частот, резонирующих с физическими атомами листа, исследователи стремятся резонансно стимулировать атомы эфирного шаблона листа. Хотя эфирная структура существует в более высоком диапазоне частот, чем физическая материя, эфирные поля способны влиять на поведение элементарных частиц, например электронов. Формирование изображения в кирлиановской системе основано на явлении коронного разряда и фиксации на пленке следов прохождения электронов вокруг заземленного объекта. Вызывая изменения в путях перемещения электронов вокруг фотографируемого предмета, кирлиановский метод использует эфирно стимулированные электроны, чтобы получить отпечаток контура эфирного тела листа.

В удачно полученном изображении фантомного листа электроны отклоняются силовыми линиями резонансно активизированного эфирного поля, подобно тому, как частицы распыляемой краски прилипали бы к невидимому человеку, делая его видимым. Иными словами, фантомный лист-это изображение стимулированных электронов, отражающее пространственную структуру эфирной матрицы. Чтобы воспроизвести этот феномен, необходимо иметь кирлиановский силовой источник для генерирования энергии такой частоты, которая резонансно возбуждает эфирное тело. Частоты энергий, применяемых в кирлиановских исследованиях, не идентичны собственным частотам эфирного тела, но состоит из нижних обертонов или октав частот этих высших вибрационных энергий.

---

#### **2005-Обнинск, Сергей Волков и Владимир Ланских.**

Исследовалось свечение объектов при возбуждении импульсами с высокой частотой, которая промодулирована низкой частотой. Для получения данного эффекта использовалась модулированная высоковольтная импульсная последовательность с частотой модуляции 50-100Гц. При эксперименте результат появился в связи с использованием маломощного трансформатора и внешней наводки (модуляции).



Рис. 1-5-9. Свечение листа на резонансной частоте. (2005-Уваров В.В. Точка опоры.)

---

**1991-**Позднякова Разия Зайдуловна, Манукян Левон Мамиконович, Либеров Анатолий Ильич, Нечаев Александр Валентинович, Малышева Надежда Борисовна. (Москва, Поликлиника №78, Москва) Способ экспресс-диагностики. Патент **1811373**. 1993.+ Сравнивают изображения, полученные при регистрации свечения пальцев левой руки **при возбуждении на различных частотах**. При совпадении нарушений в структуре короны свечения на разных частотах диагностируют заболевание. В работе использовался аппарат АГРД-2.

---

### Газовый разряд при сверхвысоких частотах (СВЧ).

-При частотах более 1МГц коронный разряд переходит в факельный разряд. В этом случае картины свечения становятся гораздо более интересными и информативными.

-При частотах более 100МГц свечение не регистрируется, по-видимому, инерционностью диполей диэлектрика на сверхвысоких частотах и уменьшением длины свободного пролета электронов.

---

1891-Никола Тесла исследовал разряд между двумя электродами при высоких частотах в воздухе при атмосферном давлении. Он обнаружил пять форм разряда.

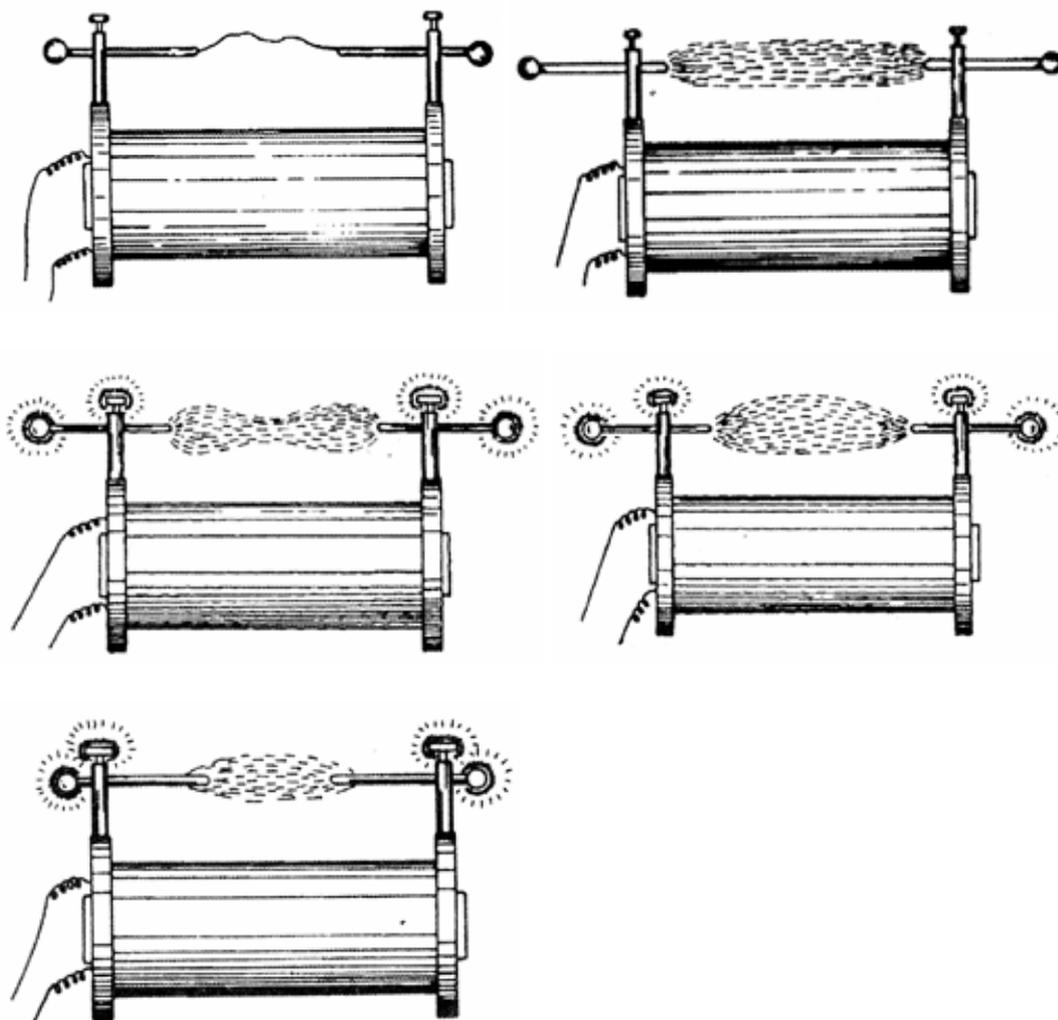


Рис. 1-5-10. Пять форм высокочастотного разряда.

1-слабый очень чувствительный разряд в виде тонкой нити. Даже дыхание воздействует на нее. При движении потоков воздуха она дрожит и извивается. Это в слчае высокой частоты и слабого тока в первичной обмотке.

2-При увеличении тока разряд утолщается и становится сильнее, пока, при некоторых условиях, не возникает белая дуга с открытым пламенем, толщиной 15мм. Она довольно горячая, характеризуется отсутствием высокого звукового сигнала, который сопровождает менее мощные разряды. При таком разряде частота не должна быть очень большой, при определенном соотношении емкости, самоиндукции и частоты. При сопротивлении катушки 10ком частота была 12кГц. В этом случае через катушку проходит максимальный ток.

3-При возрастании частоты появляется текучий разряд. На всех концах появляются свободно текущие потоки. Когда напряжение очень высокое, они появляются всегда, даже если частота низкая. Жля большой катушки с сопротивлением 67ком потоки появились на частоте 100Гц.

4-При боле высоких чатотах, или при сведении контактов, возникает дождь маленьких серебряных искр, или пучет очень тонких серебряных нитей посреди мощного потока. Каждая искра соответствует одному колебанию. Дождь искр, когда они проходят сквозь тело, вызывает некоторые неудобства.

5-Если еще повысить чатоту то катушка не дает искр только на очень малых расстояниях, и возникает новый тип разряда. Нет искр, даже если в поток поместить руку.

Помещая различные диэлектрики между электродами, можно наблюдать красивые разряды. Если электроды расположены достаточно близко, то между ними возникает пляшущая искра. Если между электродами поместить тонкую эбонитовую пластинку, то искра моментально гасится и разряд приобретает форму яркого круга диаметром в несколько дюймов.

Если электроды разведены так, что искры между ними нет. Если поместить между ними кусок стекла, то возникает разряд от электродов к стеклу в виде светящихся потоков.

**Это выглядит так, будто эти потоки проходят сквозь диэлектрик.**

В действительности потоки образуются возбужденными молекулами воздуха. Когда нет диэлектрика, бомбардировка слишком слабая, чтобы быть видимой. Когда помещается диэлектрик, индукция сильно увеличивается, кроме того, отраженные молекулы воздуха наталкиваются на препятствие и бомбардировка становится такой сильной, что потоки светятся.

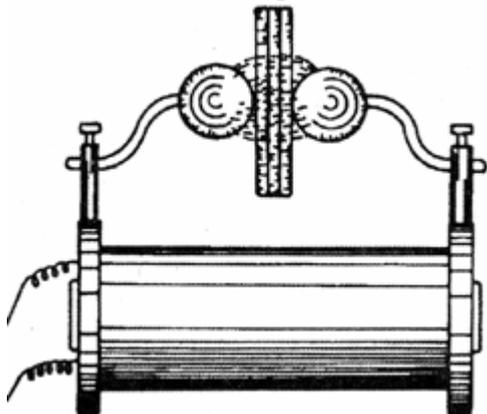


Рис. 1-5-11. Диэлектрик в зоне разряда.

Чем выше диэлектрическая проницаемость помещенного между контактами диэлектрика, тем более мощный эффект мы имеем. Благодаря этому появляются потоки, обладающие очень высокими потенциалами, даже если толщина стекла будет достигать 5см. Но кроме нагрева от бомбардировки, несомненно, происходит нагрев и в диэлектрике, причем в стекле он сильнее, чем в эбоните. Это происходит за счет большей диэлектрической проницаемости стекла, вследствие чего, при одинаковой разности потенциалов оно поглощает большее количество энергии, чем эбонит. Это равносильно тому, как если бы к батарее присоединить медный и оатунный провод одинаковых размеров. Медный провод, хотя он и лучший проводник, нагреется сильнее, поскольку пропустит больший ток.

Через некоторое время стекло прогревается, разряд проходит насквозь и принимает форму дуги.

Если между электродами вводится пластина изолирующего материала, то при разряде она притягивается к ближайшему электроду. Это возникает из-за электризации.

1949-Pim J.A. Journ. Inst. Electr. Enf. 1949. 96. p.315.

Он исследовал зависимость пробивного напряжения от частоты для плоскопараллельных электродов. Оказалось, что при увеличении расстояния между электродами до некоторой величины пробивное напряжение возрастает, а при достижении некоторого критического значения начинает уменьшаться.

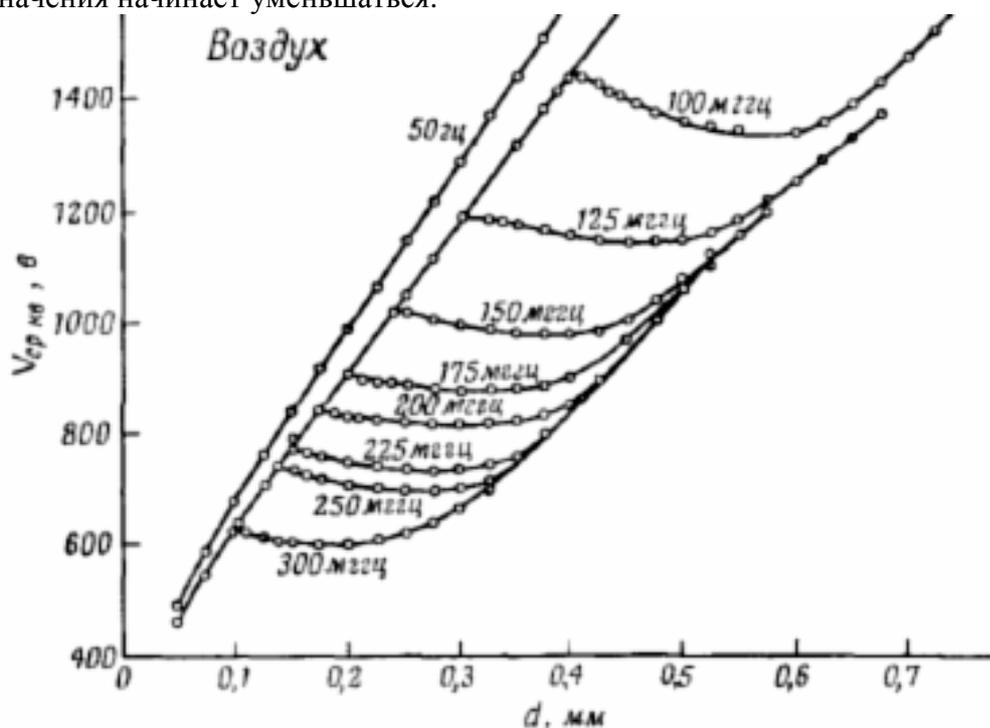


Рис. 1-5-12. Зависимость напряжения пробоя от расстояния между электродами при различных частотах. Чем выше частота, тем меньше напряжение пробоя.

1973-Адаменко В.Г., Жарый Е.В. К вопросу о формировании изображения на СВЧ. Электронная техника. 1973. Серия 1. Вып.5. с.127-129.

В работе использовались радиоимпульсы амплитудой 300В и длительностью 10мкс с несущей частотой в 650МГц и частотой повторения импульсов 50Гц. Вместо фотоэмульсионного слоя на диэлектрическую подложку наносился люминофор. Авторы показали отсутствие изображения при данных режимах возбуждения разряда, объясняя это инерционностью диполей диэлектрика на СВЧ и уменьшением времени пролета электронов в разрядном промежутке, величина которого в эксперименте не превышала 10 мкм. В качестве сравнения ими было получено изображение на том же люминофоре и режимах возбуждения с несущей частотой заполнения импульсов в 300кГц. На основании полученных результатов, авторами был сделан вывод о верхней частотной границе получения изображения, то есть, частоте изменения поля высокой напряженности до 650 МГц.

1980-Баньковский Н.Г., Ганичев Д.А., Коротков К.Г. О возможности формирования фотографических изображений с помощью СВЧ электрических полей. Труды ЛПИ им. Калинина. 1980. №371. с.49-51.

Для выяснения возможности получения изображения на галогенсеребряном фотоматериале при высоких частотах ими был проведен ряд экспериментов с электромагнитными полями трехсантиметрового и восьмимиллиметрового диапазонов (на частотах 10 и 37 ГГц соответственно). В первом случае непосредственно в волновод вводилась фотопленка, к которой прижимались различные предметы-металлические, диэлектрические, а также часть листа растения. Пленка располагалась перпендикулярно вектору напряженности электрического поля, величина которого у объекта составляла около 10 кВ/см при частоте его изменения 10 ГГц и 2,5 кВ/см-при 37 ГГц. Длительность импульсов СВЧ лежала в пределах 0,5-1 мкс, а их скважность 2000-3000. Общее время экспонирования составляло 15-17 мин.

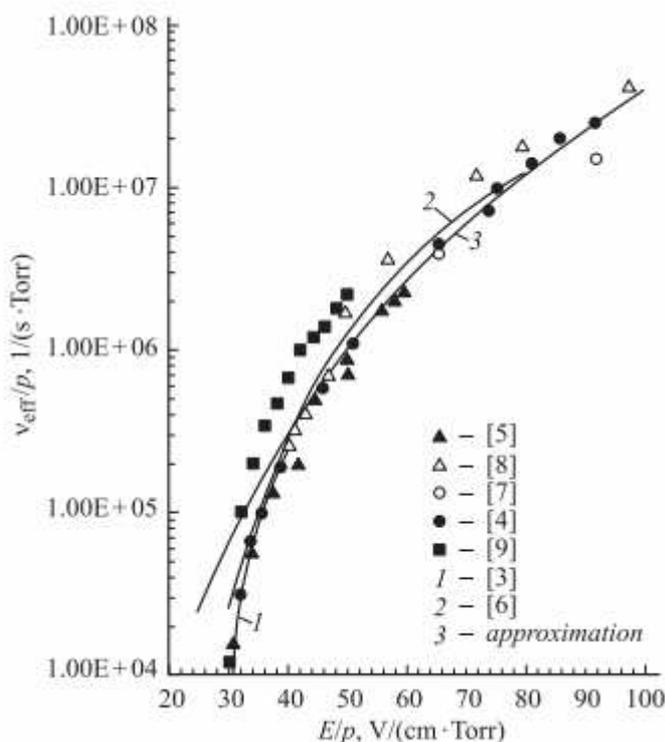
При исследовании в диапазоне восьмимиллиметровых волн объекты различной электрической природы, а также листья растений укреплялись на эмульсионной стороне негативной фотопластинки, которую помещали в светонепроницаемый бумажный конверт и устанавливали в фокусе СВЧ линзы. Во всех вариантах экспериментов на фотопленке после проявления получался темный контур экспонируемого предмета, а в случае листа-часть структуры прожилок.

---

2000-А.И.Бабарицкий и др. Импульсно-периодический СВЧ-разряд как катализатор химической реакции. ЖТФ. 2000, т.70, №11. с.36-41.

---

2006-Александров А.Ф., Бычков В.Л., Грачев Л.П., Есаков И.И., Ломтева А.Ю. Ионизация воздуха в околокритическом электрическом поле. Журнал Технической Физики. 2006. Т.76. В.3. с.38-43. Рассматривается СВЧ разряд в воздухе среднего и высокого давления.



Рс. Эффективная частота ионизации в воздухе в зависимости от давления и величины электрического поля.

---

### 1.6 Оптимальный выбор напряжения при регистрации снимка.

Для возникновения разряда в газовой среде одним из важнейших параметров является величина градиента поля. Величина градиента поля определяется двумя параметрами: величиной напряжения между электродом и объектом, и расстоянием между поверхностями электрода и объекта. В каждом конкретном приборе расстояние между поверхностью пальца и электродом определяется толщиной диэлектрической прокладки, расположенной между пальцем и электродом. Если в два раза уменьшить толщину прокладки, то та же самая картина свечения будет наблюдаться при вдвое меньшем напряжении.

-При повышении напряжения условия возникновения разряда (перепад напряжения) действуют на большем удалении от пальца, поэтому стримеры становятся длиннее.

-При повышении напряжения увеличивается ток, протекающий через газовый разряд, поэтому стримеры становятся более яркими и толстыми.

Таким образом получаем, что при повышении напряжения корона увеличивается в размере и усиливается яркость короны.

Необходимо учитывать следующий момент. Усиление тока короны сопровождается усилением свечения. При этом имеется в виду общее количество излучаемых фотонов. Но так как основная доля излучения расположена в УФ области, то усиление свечения в видимой области (в области которую регистрирует цифровая камера) может быть незначительным.

Интенсивность свечения пропорциональна напряжению. При низком напряжении свечение не возникает, при повышении напряжения разряд имеет флуктуационный характер. При высоком напряжении происходит пробой диэлектрика, и существенно изменяются характеристики объекта (пальца). На самом деле имеет большое значение не сама величина подаваемого напряжения, а величина напряженности поля, градиент. Эта величина определяется как величина напряжения, деленная на величину зазора между заземленным объектом и вторым электродом (толщиной разделительной диэлектрической пластины). Уменьшение толщины пластины в два раза эквивалентно увеличению напряжения в два раза. Использование очень тонких пластин нежелательно в связи с высокой вероятностью пробоя.

При малых напряжениях, недостаточных для инициации коронного разряда, весь ток течёт через пятно прямого контакта пальца.

Напряжение, при котором возникает разряд в газе зависит от многих параметров:

- состояние кожи пациента, влажностью воздуха,
- крутизной фронта импульса от генератора,
- частота генератора.

Можно условно разделить приборы на низковольтные (до 30 кВ) и высоковольтные (30-120кВ). Это связано с тем, что при напряжении свыше 30кВ вступает в действие рентгеновский фактор, в частности, при применении Д'Арсонваля на напряжениях свыше 30кВ, даже ощущения человека становятся другие.

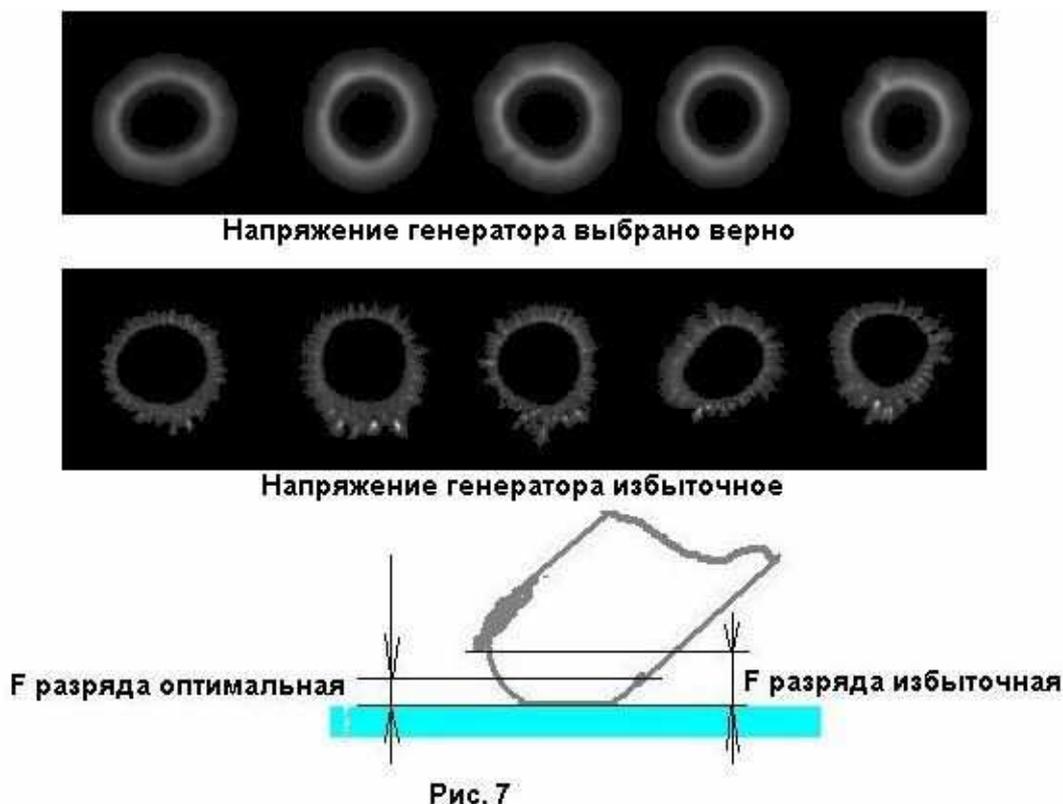


Рис. 1-6-1. Выбор оптимального напряжения разряда.

Если выбрано напряжение больше оптимального, то на той стороне пальца, которая противоположна ногтю, и которая образует более малый угол наклона с поверхностью электрода, образуются более длинные выбросы.

Вокруг пальца неоднородно, и необходимо выбрать режим регистрации так, чтобы попасть в среднюю точку кривой преобразования количества зарегистрированного света в степень почернения снимка. В этом режиме достигается максимальная чувствительность к неоднородности поля пальца. На электрод подается импульс положительной полярности (на пальце минус).

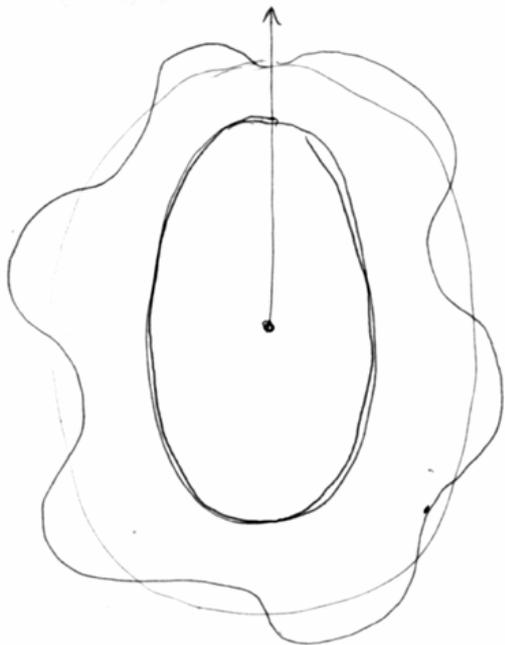


Рис. 1-6-2. Неоднородность поля вокруг пальца.

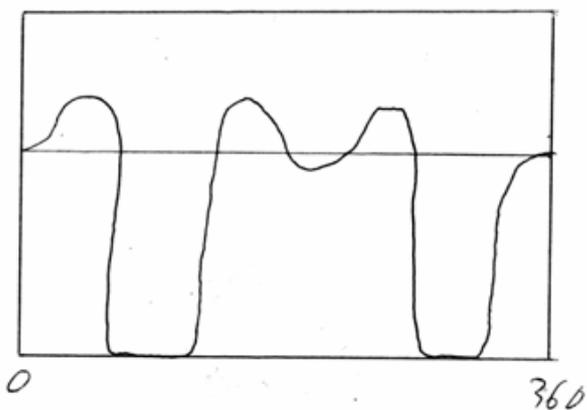
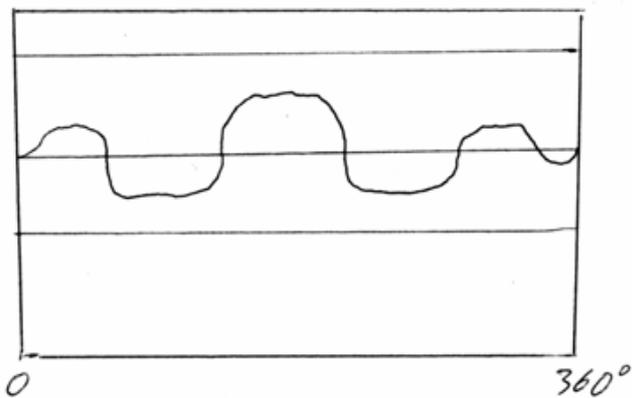


Рис. 1-6-3. Развертка сигнала вдоль кривой по границе пальца.

-Количество зарегистрированного света пропорционально количеству разрядов, которые возникли во время процесса регистрации, и интенсивности разрядов.

-Интенсивность разрядов пропорциональна величине напряжения импульсов.

-Количество разрядов пропорционально количеству импульсов, поступивших за время регистрации. Если увеличить частоту импульсов в два раза, то при фиксированном времени регистрации будет зарегистрировано в два раза больше разрядов. Следовательно, интенсивность свечения возрастет в два раза. Для увеличения интенсивности свечения необходимо увеличивать частоту генератора и время экспозиции. На самом деле определяющим является следующий параметр: число импульсов, поступающий на объект за время экспозиции. Этот параметр определяется как произведение частоты генератора на время экспозиции.

-Количество поданных импульсов пропорционально частоте подачи импульсов и длительности регистрации.

Таким образом, получаем, что количество зарегистрированного света (количество фотонов)  $E$  определяется формулой:  $E = C \times U \times F \times T$ , где  $C$  - некоторая константа,  $U$  - напряжение импульсов (10кВ),  $F$  - частота подачи импульсов (1кГц),  $T$  - длительность регистрации (1сек). За время регистрации происходит от 30 до 5000 единичных разрядов. Количество зарегистрированных фотонов так же пропорционально суммарной мощности разряда за время регистрации (произведение величины тока на время регистрации).

Длительность регистрации существенным образом влияет на картину короны свечения.

1-при очень короткой длительности регистрируются только отдельные стримеры ( $< 0,01$ сек). При коротком времени регистрации на регистрирующую систему поступает очень мало фотонов, и изображение является малоинформативным.

2-при короткой длительности регистрируются структура короны (1сек), высокая информативность. Наибольшая информативность проявляется при длительности регистрации от 0,1 до 10 сек.

3-при большой длительности регистрируется корона получается в виде сплошного облака ( $> 10$ сек), малая информативность. При длительном времени регистрации происходит различные процессы:

-происходит усреднение картины и пропадает тонкая структура изображения. При очень длительной регистрации происходит пересвет фотопленки (камеры) и информативность изображения уменьшается.

-происходит изменение состояния исследуемого объекта в результате действия первых импульсов, и регистрируется не мгновенное состояние объекта, а измененное состояние.

1-Регистрация на фотоноситель. Время регистрации определяется суммарной длительностью импульсов за время засвечивания пленки. Время регистрации определяется длительностью включения генератора импульсов. При моноимпульсном режиме время засветки определяется длительностью одного импульса.

2-Регистрация на видеокамеру. Время накопления определяется режимом работы кадровой развертки. В стандартном телевизионном сигнале время регистрации одного кадра составляет 40мсек, что соответствует 25 кадрам в секунду.

3-Регистрация на цифровой фотоаппарат. Время регистрации определяется выдержкой, которая установлена в цифровой камере. Время регистрации определяется как суммарное время импульсов за время выдержки.

### **Регистрация на фотопленку.**

Рассмотрим регистрацию моноимпульсного разряда на пленку различной чувствительности при фиксированном напряжении.

-При регистрации на пленку с очень высокой чувствительности даже при возбуждении одним импульсом будет получаться пересвет и равномерное кольцо.

-При регистрации на пленку очень низкой чувствительности даже большого количества импульсов будет недостаточно для получения изображения.

-При регистрации на пленку средней чувствительности при малом количестве импульсов будет очень слабая корона, а при большом количестве импульсов будет пересвет. Для каждого значения напряжения существует некоторое оптимальное количество импульсов, при котором корона будет иметь среднюю интенсивность, и будет неоднородной.

Степень неоднородности короны будет зависеть от величины напряжения. Чем выше напряжение, тем сильнее будет проявляться неоднородность короны.

1-один импульс, малое напряжение очень тоненькое еле заметное кольцо,

2-несколько импульсов, высокое напряжение широкое яркое кольцо.

#### **Алгоритм вывода прибора в оптимальный режим.**

Настройка параметров напряжение-длительность регистрации. Длительность регистрации изменяется путем изменения времени регистрации при фиксированной частоте импульсов.

1-Фиксируем некоторую величину напряжения импульсов и выбирает длительность регистрации тока образом, чтобы интенсивность свечения имела среднее значение. При малой длительности будет очень слабая корона, при большой длительности будет пересвет.

2-При заданной длительности регистрации изменяем напряжение таким образом, чтобы была наиболее четко видна структура кольца (разрывы в отрицательной короне). При малом напряжении будет очень слабая корона, при очень высоком напряжении будет пересвет.

3-При выбранном напряжении производим подстройку длительности регистрации.

Настройка параметров частота-длительность.

Если у прибора имеется возможность изменять (регулировать) частоту импульсов, то производится настройка параметров частота-длительность.

1-Фиксируем некоторую частоту. Выбираем длительность регистрации такой, чтобы интенсивность короны была средней.

2-При фиксированной длительности регистрации выбираем частоту такой, чтобы структура короны была наиболее четкой.

3-Производим подстройку длительности регистрации при фиксированной частоте.

-----  
1999-Коротков К.Г. Исследовалась зависимость качества изображения, получаемого ГРВ камерой, от количества накопленных кадров. При анализе параметров суммарного изображения в зависимости от количества суммированных одиночных картин было установлено, что при  $n < 4$  параметры суммы зависят от количества одиночных изображений, далее эта зависимость прекращается. Это свидетельствует о том, что при малой выборке доминирующими являются стохастические неповторяющиеся процессы, и характер суммарной картины оказывается квазислучайным, а после определенной величины выборки ее размер перестает сказываться на виде суммы. Отметим, что этот вывод, строго говоря, однозначно применим только к развитой в данной работе программно-аппаратной методике. Для фотопроектирования при увеличении числа последовательных суммирований начинают играть роль особенности характеристической кривой засветки данного фотоматериала, **поэтому выявление оптимального диапазона частот и экспозиций должно производиться экспериментально для каждого конкретного фотоматериала.**

1999-Коротков К.Г. Разработка научных основ и практическая реализация биотехнических измерительно-вычислительных систем анализа газоразрядного свечения, индуцированного объектами биологической природы. Диссертация доктора технических наук. СПб., 1999.

Регистрация короны свечения с помощью прибора «Корона ТВ» при напряжении 50кВ, частоте 22кГц, в режиме 2500 импульсов положительной полярности при различном времени накопления.

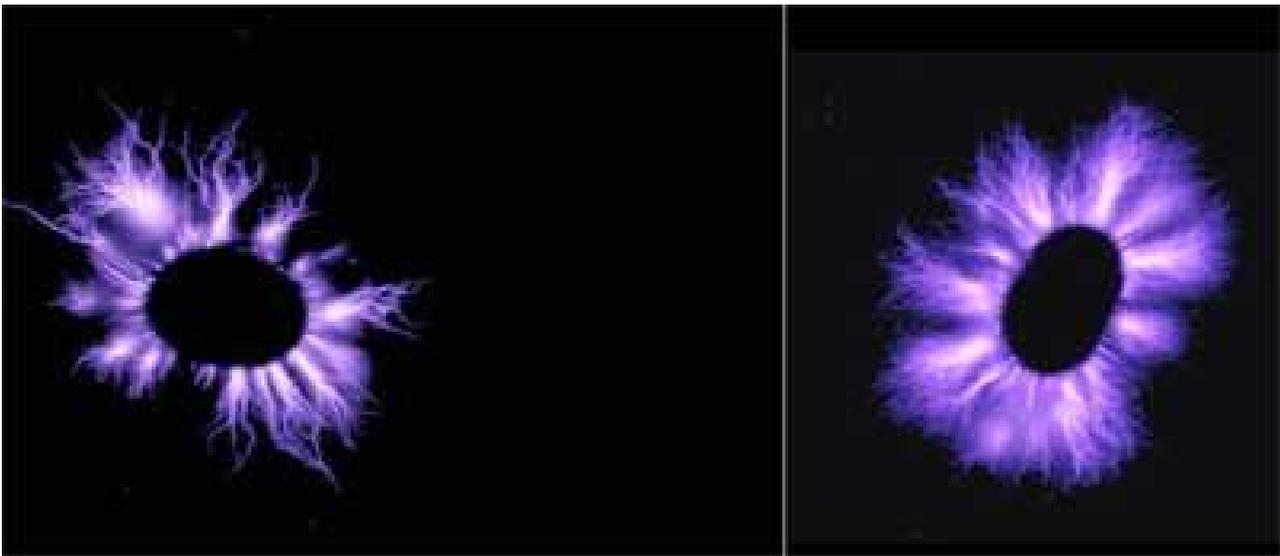
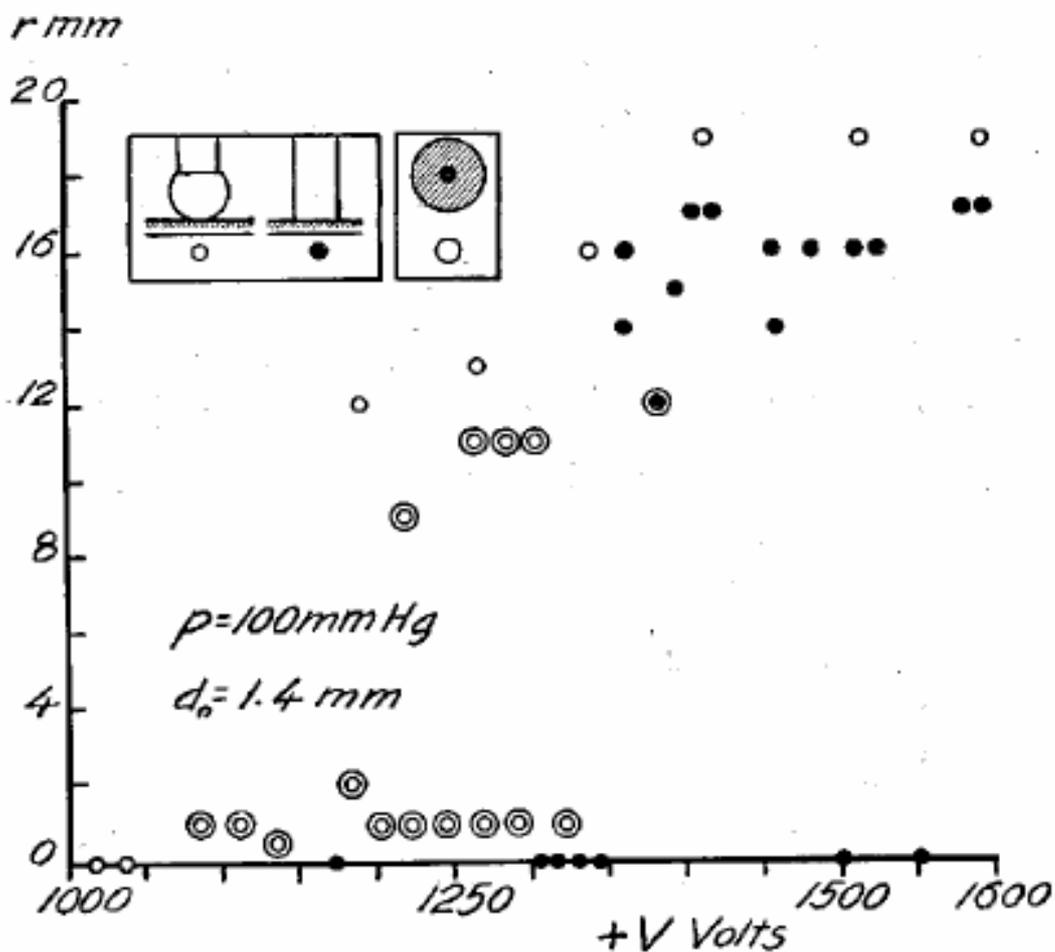


Рис. 1-6-4. Корона свечения при выдержке 0,5 и 1 сек.

### 1.7 Зависимость радиуса короны разряда от приложенного напряжения.

При увеличении напряжения до некоторого критического значения происходит постепенное увеличение размера области, в которой происходит разряд. При дальнейшем увеличении напряжения происходит образование длинных узких интенсивных стримерных каналов. Возникновение таких каналов означает возникновение искрового разряда.



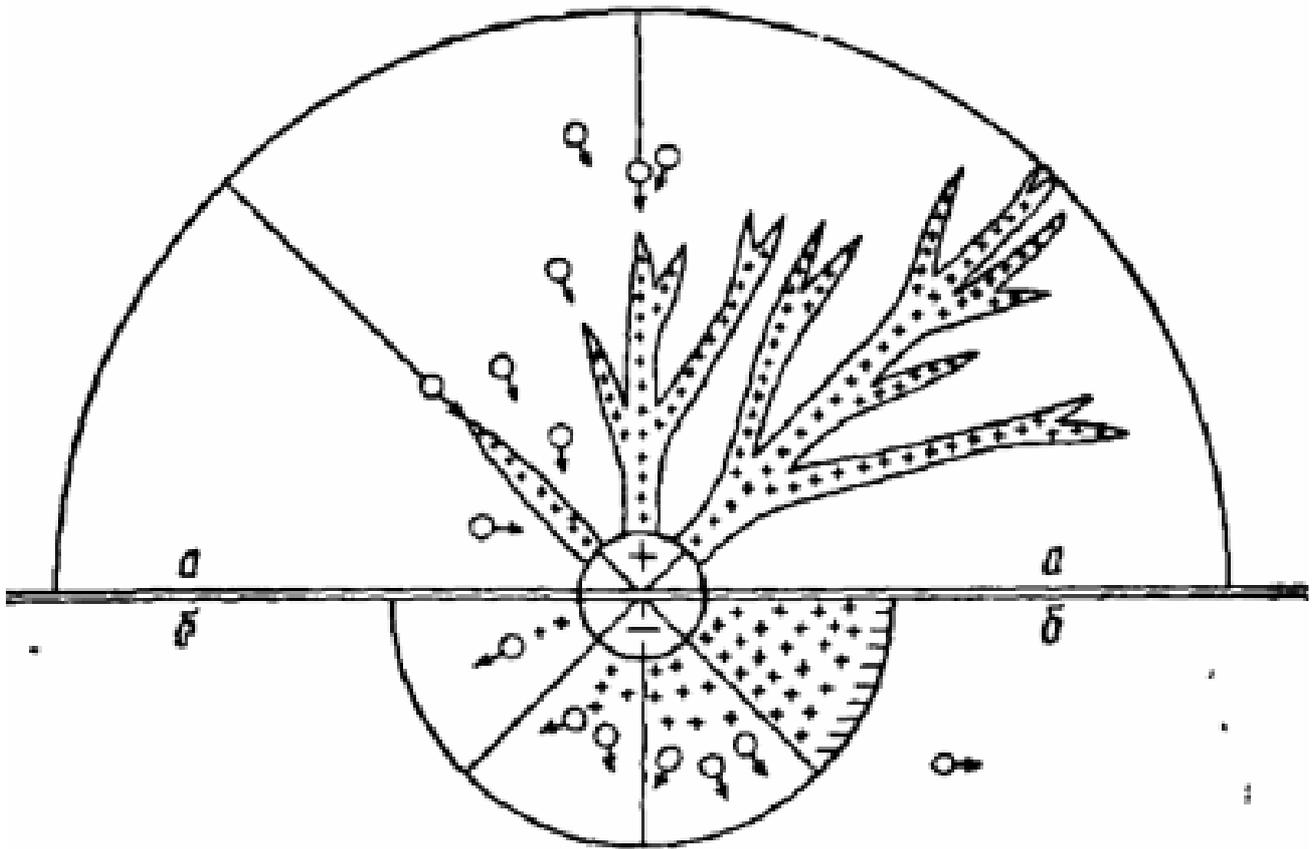


Рис. 1-7-1. Схема образования фигур Лихтенберга. А-при положительных разрядах, В-при отрицательных разрядах. Кружки со стрелками обозначают электроны.

1919-Pedersen P.O. «On the Lichtenberg Figures. **Part I.** Preliminary Investigation» Vidensk. Selsk. Math. fys. Medd. V.I, no.11. Copenhagen (February 1919).+

---

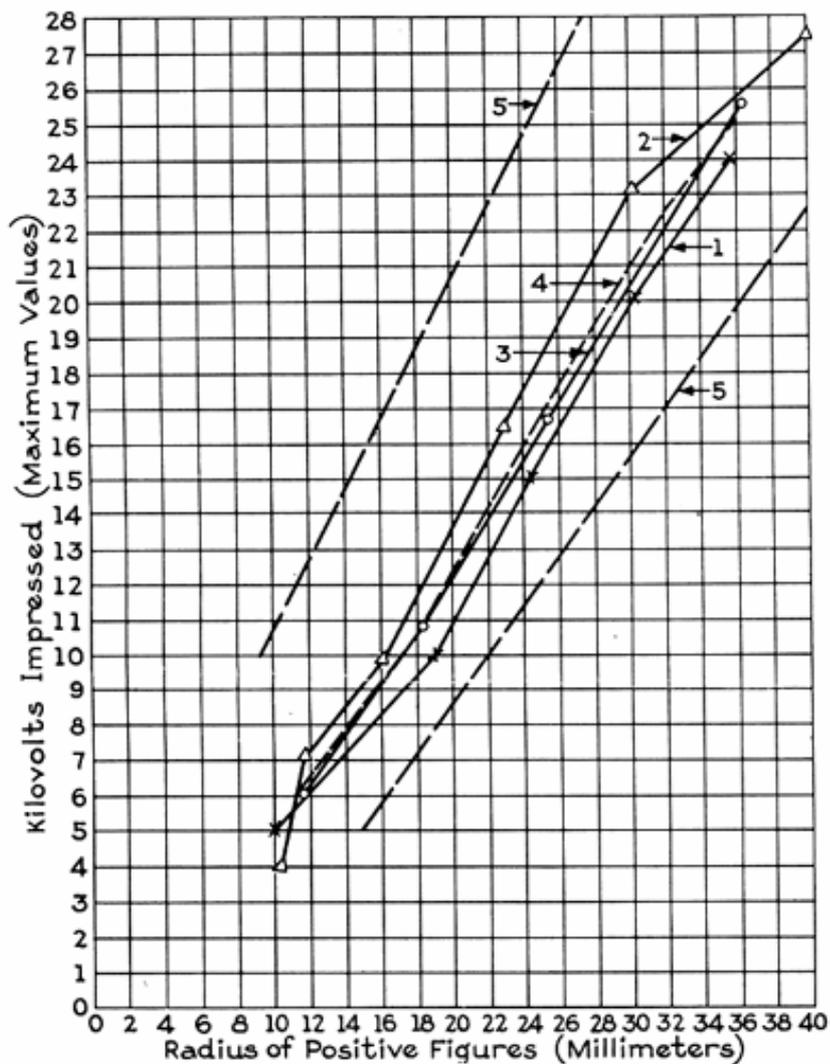


Рис. 1-7-2. Калибровочная кривая. При изменении напряжения от 5 до 25кВ радиус разряда изменяется от 10 до 30мм.

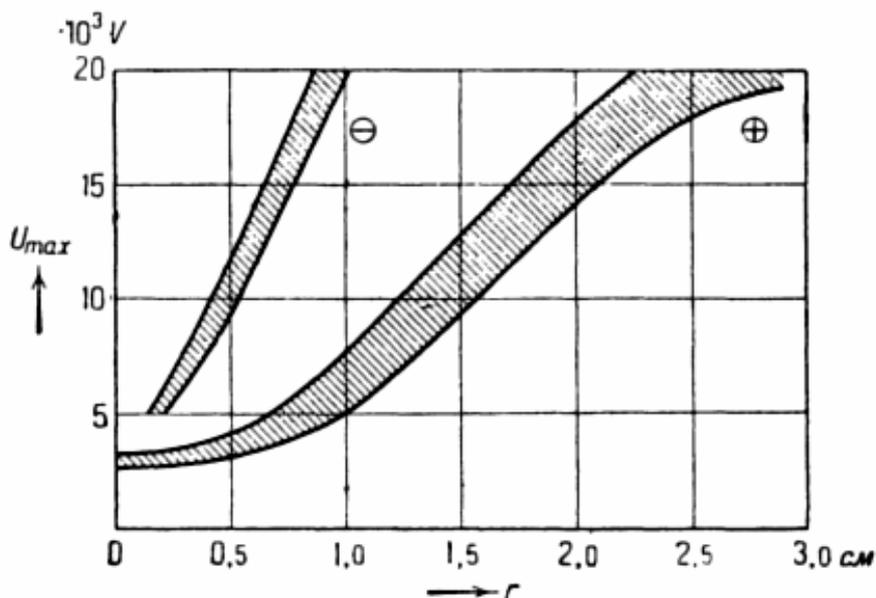


Рис. 1-7-3. Зависимость радиуса скользящего разряда на положительном и отрицательном электродах от напряжения. Острие на стеклянной пластине толщиной от 0,1 до 2 см.

1924-Peters J.F. "The Klydonograph". Electrical World. 1924. 19 April. V.183, p.769-773.

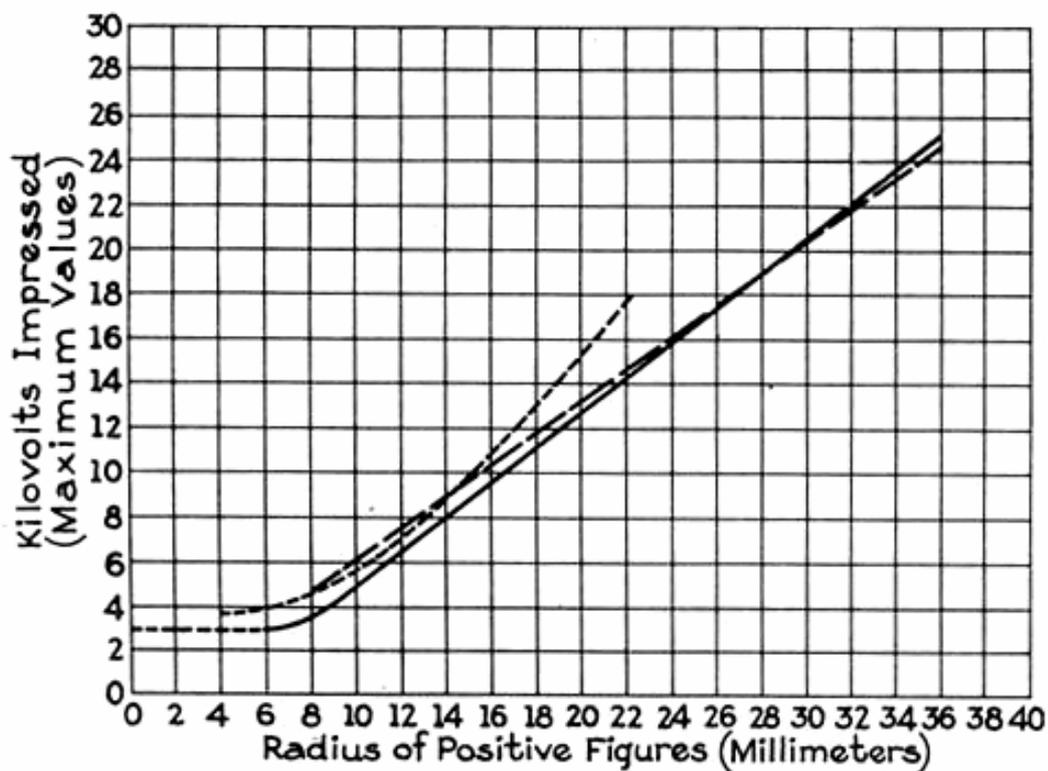


Рис. 1-7-4. Зависимость радиуса свечения от напряжения.

1927-Everett S. Lee and C.M. Foust. General electric review schenectady, New York.

---

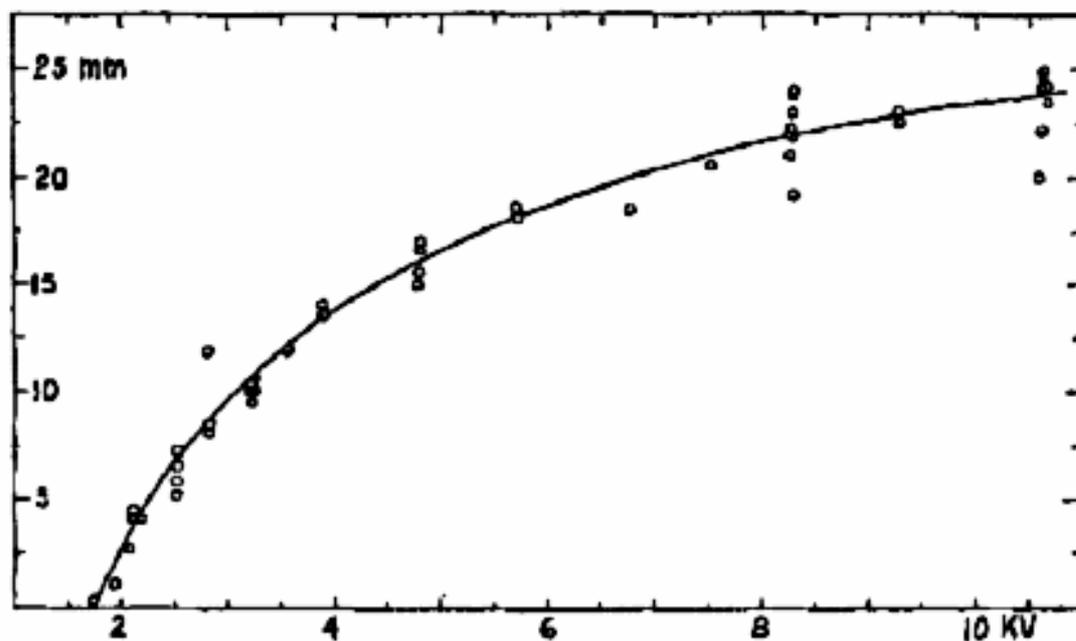


Рис. 1-7-5. Зависимость диаметра фигуры Лихтенберга от величины приложенного напряжения, при положительном напряжении, на стеклянной пластине толщиной 1,7мм, диаметр электрода 1,6мм.

1945-Zeleny John. Variation of Size and Charge of Lichtenburg Figures with Voltage. American Journal of Physics, 1945. v.13. Issue 2. p.106-109.+

---

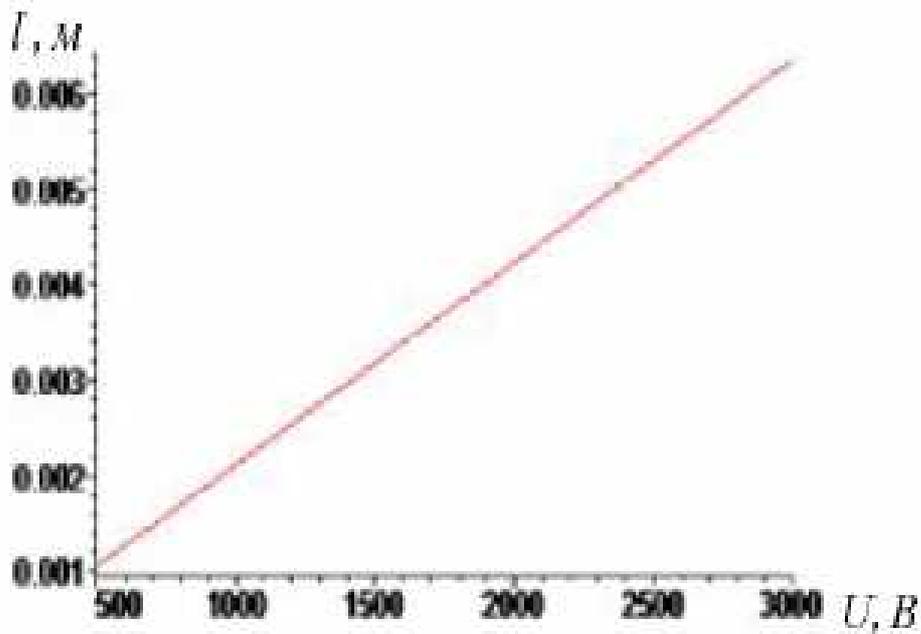


Рис. 1-7-6. Зависимость диаметра свечения капли дистиллированной воды от напряжения.

2011-Билинский И.И. Павлюк А.А. Кныш Б.П. Исследование характеристик газоразрядной визуализации изображений жидкофазных объектов. Вестник ВПУ. 2011. №5(98). с.178-183.

Зависимость площади короны от напряжения и времени накопления сигнала.

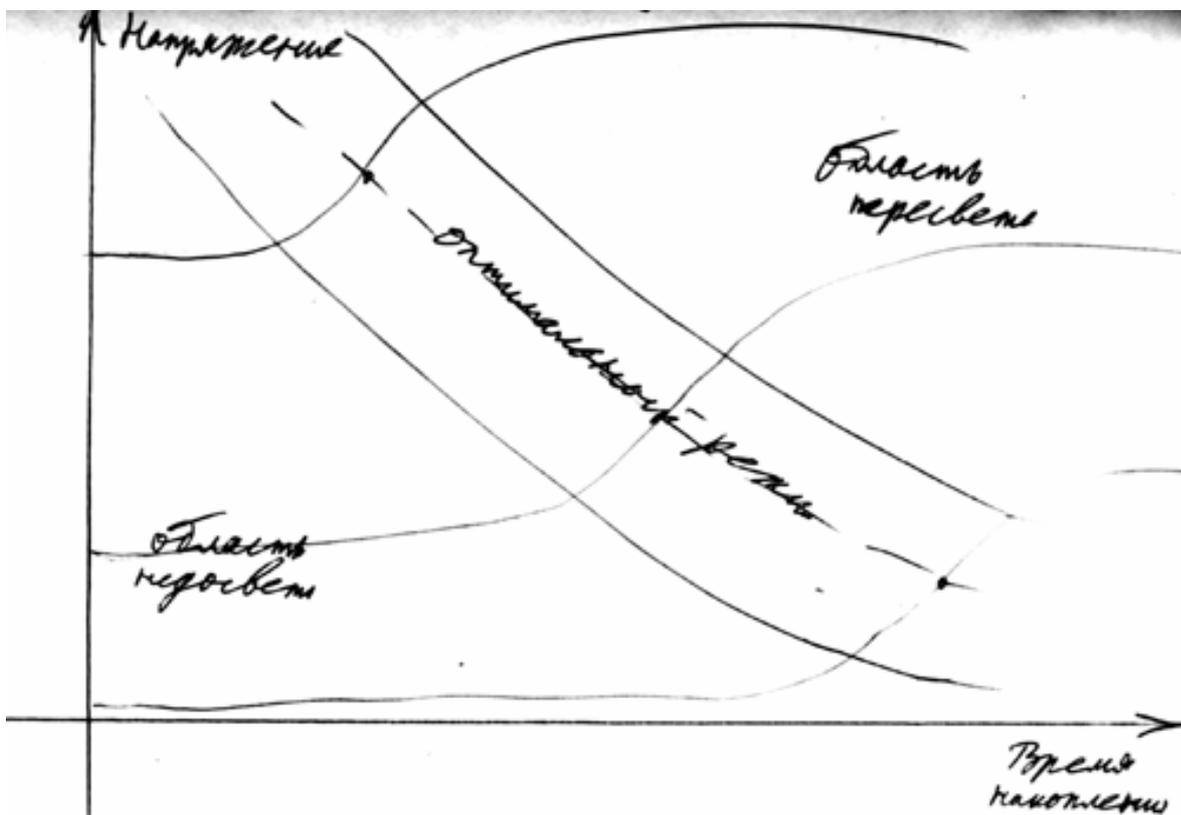


Рис. 1-7-7. Выбор оптимального напряжения для регистрации свечения.

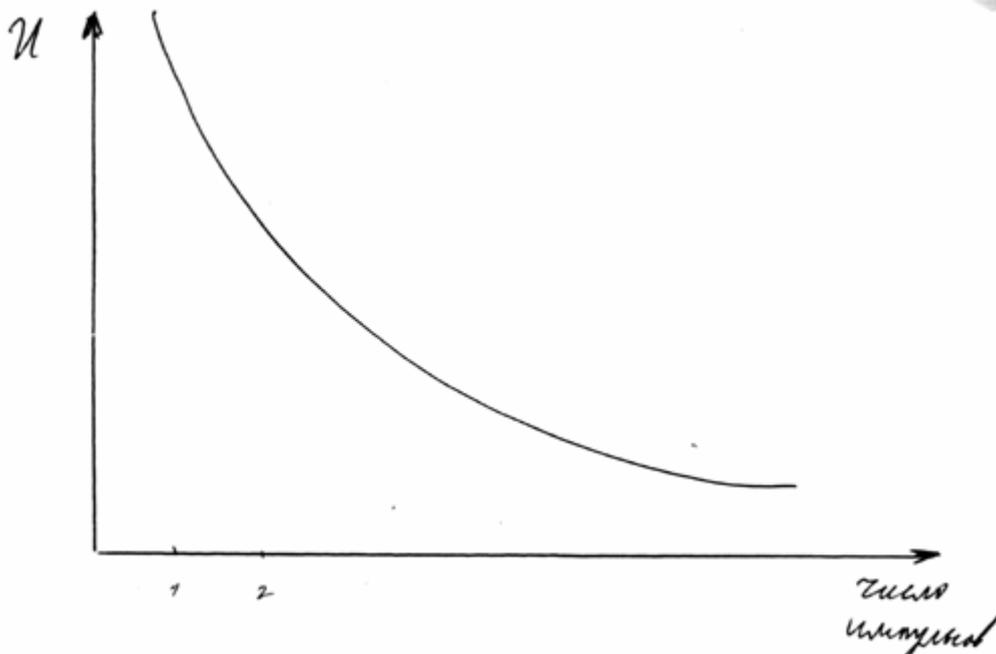


Рис. 1-7-8. Линия постоянной яркости короны в зависимости от напряжения и количества импульсов разряда.

---

### 1.8 Оптимальный выбор атмосферы.

Давление атмосферного воздуха и температура (комнатная) существенно не влияют на картину свечения. При съемках в одинаковых условиях короны свечения хорошо воспроизводимы.

Состав солей в жидкости организма характеризует его здоровье. У человека, через поры кожи испаряются разные вещества, имеется микроатмосфера. Каждый из нас пахнет по-особому, выделяет что-то. Если создать переменное электрическое поле около поверхности тела, то возникнет разряд. Фотография даёт электролюминесцентную картинку тех веществ, которые мы выделяем.

В электроположительных газах (воздух, азот, водород и др.) вид газоразрядных фигур различается не очень сильно, в то время как введение электроотрицательных добавок (например,  $\text{CCl}_4$ ) вызывает кардинальное изменение всей фигуры: резкое уменьшение размера и подавление «тонкой структуры» изображения. В атмосфере азота они более ярче выражены, чем просто в воздухе, не говоря уже об аргоне.

Для инертных газов величина энергии ионизации довольно большая ( $\text{Ue}-25$ ,  $\text{Ne}-23$ ,  $\text{Ar}-17$ ,  $\text{Kr}-15$ ,  $\text{Xe}-13$ ). Поэтому электроны в энергичном при фиксированном напряжении пролетают большое расстояние, и картина имеет большой размер.

---

**1890-F.J. Smith.** Inductoscript. Proceedings of the Physical Society of London, 1890. Volume 11, Issue 1, p.353-356.+

Проводилась регистрация разряда при различных газах. Наилучшие результаты получились при наполнении рабочего объема кислородом. В вакууме регистрация не происходила. При повышении температуры регистрация происходила более быстро, но качество результирующей картинки не изменялось.

---

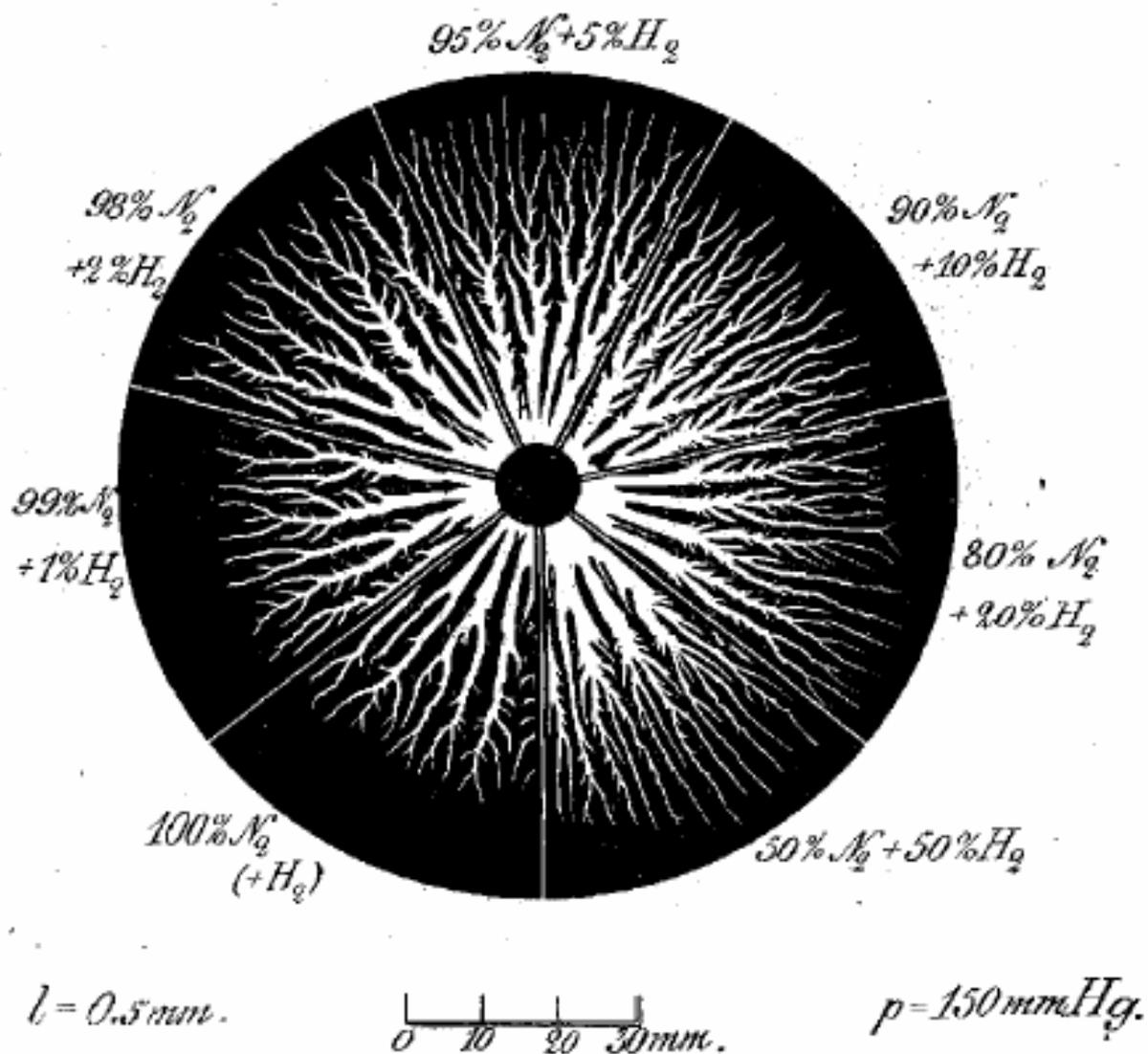


Рис. 1-8-1. Зависимость величины разряда **положительного** электрода от состава газовой среды, смесь водорода и азота.

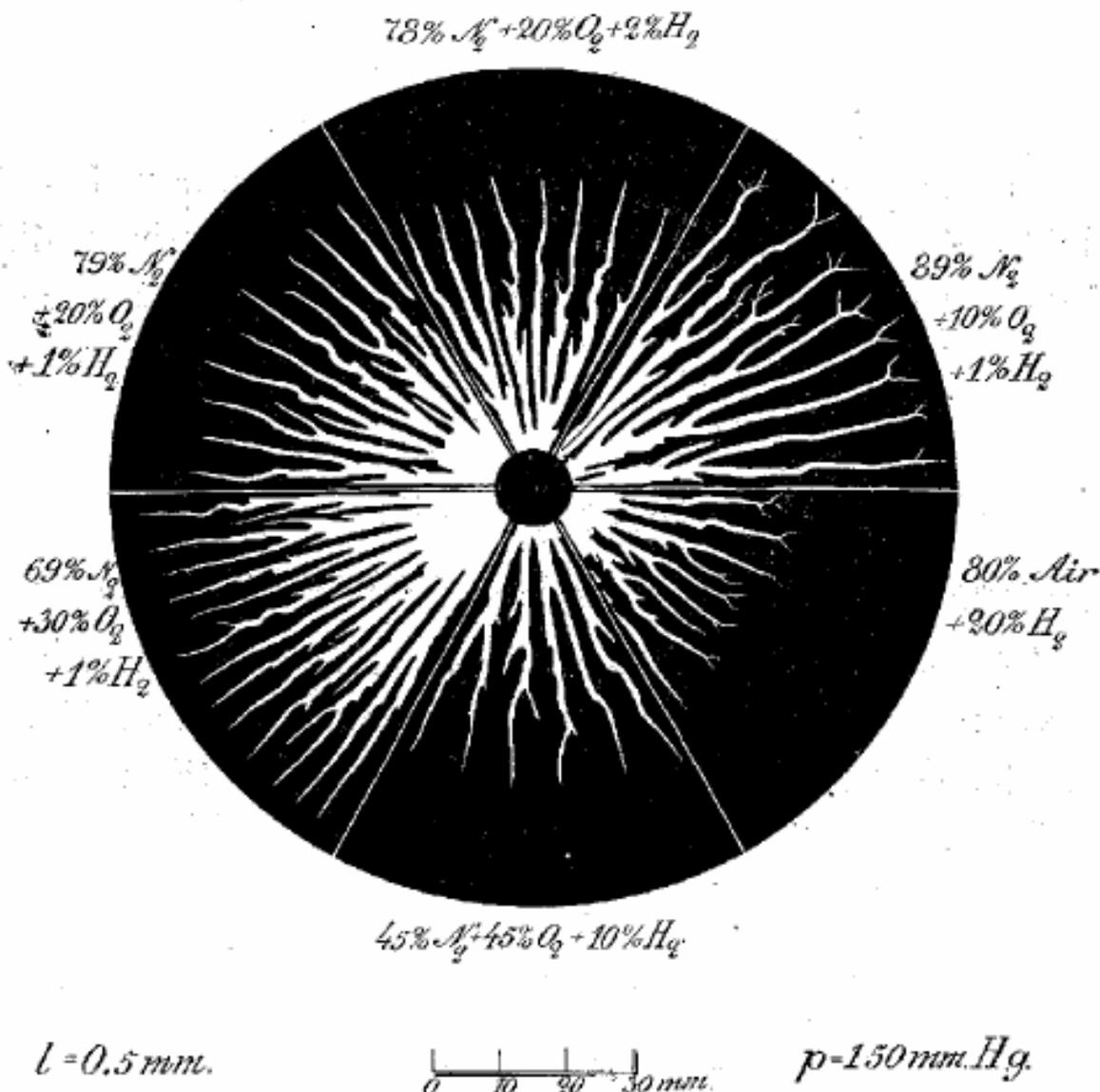


Рис. 1-8-2. Зависимость величины разряда положительного электрода от состава газовой среды, смесь водорода, кислорода и азота.

1919-Pedersen P.O. «On the Lichtenberg Figures. **Part I.** Preliminary Investigation» Vidensk. Selsk. Math. fys. Medd. V.I, No. 11. Copenhagen (February 1919).

1939-Merrill, F.H. and Artur von Hippel, The Atomphysical Interpretation of Lichtenberg Figures and Their Application to the Study of Gas Discharge Phenomena, Journal of Applied Physics. 1939. V.10. Issue.12. p.873-887.+ Они исследовали образование фигур Лихтенберга на фотографических пластинках в различных газах при различных давлениях. Исследования показали, что фигуры образуются от света, излучаемого разрядом, и что характер фигур определяется природой окружающего газа. В **электроположительных газах** (не поглощающих электроны) (воздух, азот, водород и др.) вид газоразрядных фигур качественно идентичен. Введение **электроотрицательных добавок** (поглощающих электроны) (кислород, хлористый углерод, фреон- $CCl_2F_2$ ) вызывает резкое уменьшение размера и подавление "тонкой структуры" изображения. Это связано с тремя основными процессами: поглощением иницирующих медленных электронов, что препятствует развитию электронных лавин; поглощением вторичных электронов, рожденных в лавине; искажением электрического поля за счет отрицательных ионов.

1941-Rogowski W., Martin O., Thielen H., Arch. Elektrotechn. 1941. 51. p.424.

Они исследовали фигуры Лихтенберга, полученный при коротких импульсах напряжения длительностью 10в-8сек в воздухе, водороде, азоте и кислороде. Они обнаружили следы отдельных электронных лавин,двигающихся от отрицательного электрода.

1952-White H.J. Trans. A.I.E.E. 1952. 71. 1. p.326.



Рис. 1-8-3. Зависимость тока от напряжения для различных газов при коронном разряде. Воздух имеет характеристики средние между азотом и кислородом.

1981-Инюшин Виктор Михайлович, Киреева Лидия Андреевна. Способ получения изображения биологических объектов. Патент **1027681**. 1983.+ Биообъект через светофильтр экспонируют на фотопленку, расположенную в газовой среде, после чего фотопленку проявляют, отличающийся тем, что, с целью повышения информативности о физиологическом и биоэнергетическом состояниях биообъекта, в качестве газовой среды **использован водород**.

1999-Коротков К.Г. Проводилось исследование разряда при различном составе воздуха с помощью эвакуированной камеры.

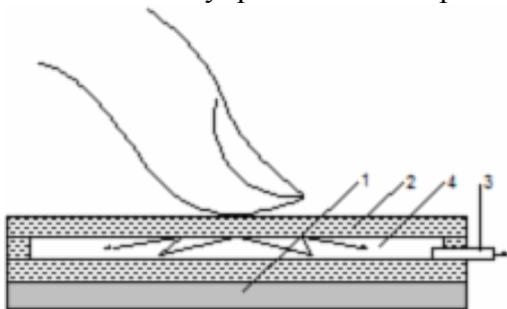


Рис. 1-8-4. Схема проведения эксперимента с эвакуированной камерой. 1-оптическое окно ГРВ прибора; 2-стеклянная камера; 3-патрубок для откачки воздуха и напуска газов; 4-вакуумный разрядный промежуток.

На оптическое окно ГРВ прибора 1 устанавливается устройство, состоящее из плоских оптических стекол 2, вакуумно плотно склеенных с зазором 1мм. Патрубок 3 служит для откачки воздуха и напуска газов. Величина зазора была подобрана путем количественного сопоставления контраста и яркости ГРВ-граммы тест-объекта при варьировании зазора от 0.55 до 1.5мм при обработке в ГРВ программах. Оптимальными оказались зазоры 0.8-1мм. Давление газов поддерживалось в пределах 1000-2000 ПА. Использовались воздух, азот, аргон. Разряд развивался полностью в замкнутой полости 4, потенциалы зажигания зависели от величины давления и сорта газа в соответствии с кривой Пашена.

Применение эвакуированной камеры полностью исключает физический контакт объекта с областью разряда, в частности, устраняет влияние влажности объекта и окружающего атмосферного воздуха. При этом характер ГРВ-граммы качественно не меняется (хотя площадь засветки увеличивается) и все особенности топографических неоднородностей ГРВ-грамм сохраняются.

1999-Коротков К.Г. Разработка научных основ и практическая реализация биотехнических измерительно-вычислительных систем анализа газоразрядного свечения, индуцированного объектами биологической природы. Диссертация доктора технических наук. СПб. 1999.

---

2005-Шибков Л.В. Шибкова В.М. Разряд в смесях инертных газов. М. Физматлит, 2005.

---

**2006-Иванов Илья Петрович, Ульяновск.**

руководитель ИТГ «Солярис», директор Центра «Солярис» при УлГУ,  
научный сотрудник НИТИ им.С.П.Капицы УлГУ.

Абдулов Игорь Игоревич, школьник.

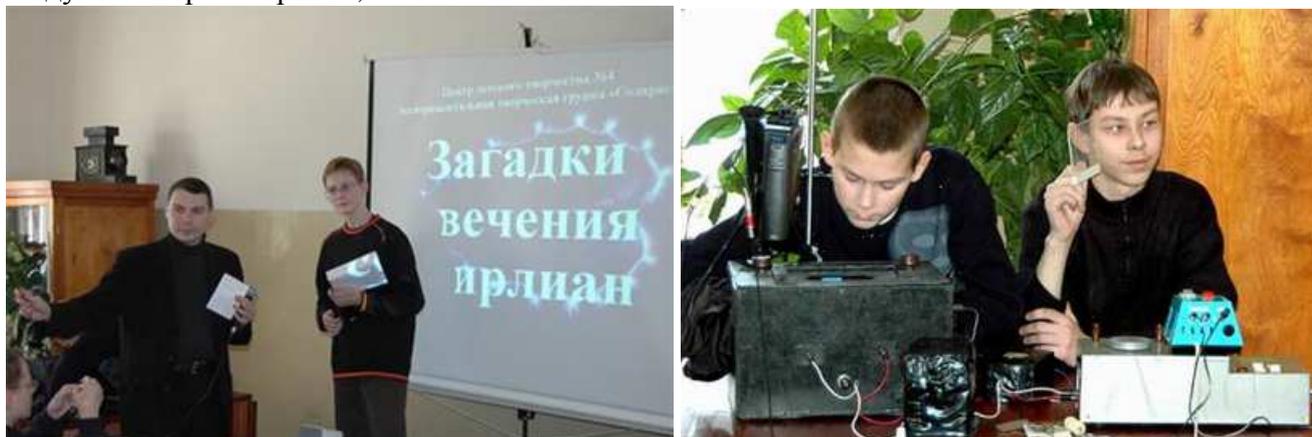


Рис. 1-8-5. Работа на приборе.

Загадку свечения Кирлиана пытаются раскрыть юные ученые из экспериментальной творческой группы "Солярис". О своих достижениях они поведали журналистам на открытом заседании Академии наук, состоявшемся в музее "Народное образование Симбирской губернии в 70-80-х гг. XIX века" 14 марта. Сама группа "Солярис", объединяющая учащихся лицея физики, математики и информатики №40 при УлГУ, существует с 2006 года. Руководит ей педагог дополнительного образования Илья Иванов. Ребята продемонстрировали работу сконструированного ими прибора "Кирлиан-камеры АЭС-1". Эксперименты проводились с помощью Кирлиан-камеры ГРВ-компакт, и с помощью самодельных камер Кирлиан. При регистрации свечения пальца в различной газовой среде использовалась ГРВ-компакт камера, в которой под крышку к пальцу по трубке запускался газ.

Основываясь на исследованиях свечения Кирлиан, можно предложить:

1) Использовать в ГРВ приборах свечение биологических объектов в атмосфере аргона. Это позволит понизить величины используемого напряжения, а значит, деструктивное воздействие на объект, увеличить время воздействия, уменьшить чувствительность фотоприёмника, приведёт к снижению отрицательного воздействия на живой объект и исследователя озона, окислов азота и других веществ, продуктов различных плазмохимических реакций, образующихся при свечении в воздушной атмосфере. Для практической реализации данного метода достаточно осуществить незначительную модификации выпускаемых сейчас ГРВ приборов, связанную с герметизацией их рабочей области и возможностью её продувания тем или иным газом.

2) Особенности свечения объектов в CO<sub>2</sub> необходимо учитывать при анализе любых ГРВ грамм живых объектов: тёмные участки, разрывы свечения могут быть обусловлены не только изменением электрических и эмиссионных характеристик объекта вблизи этих участков, но и повышенным выделением ими CO<sub>2</sub>, присутствие которого подавляет основные линии и полосы свечения.

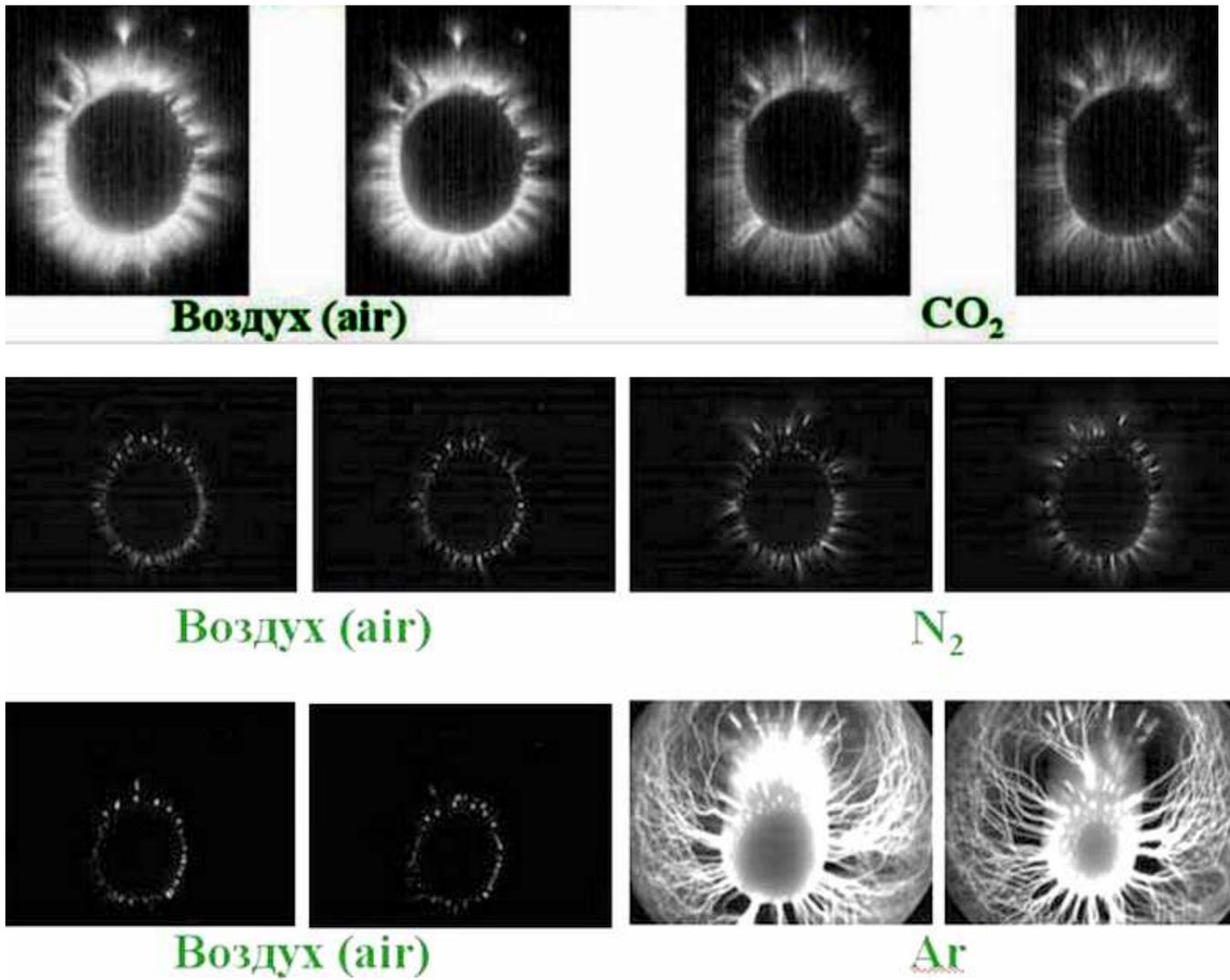


Рис. 1-8-6. ГРВ-граммы пальца в среде различных газов. Интервал между двумя снимками 3сек.



Рис. 1-8-7. Герметичная газовая Кирлиан-камера ГГКК-1.

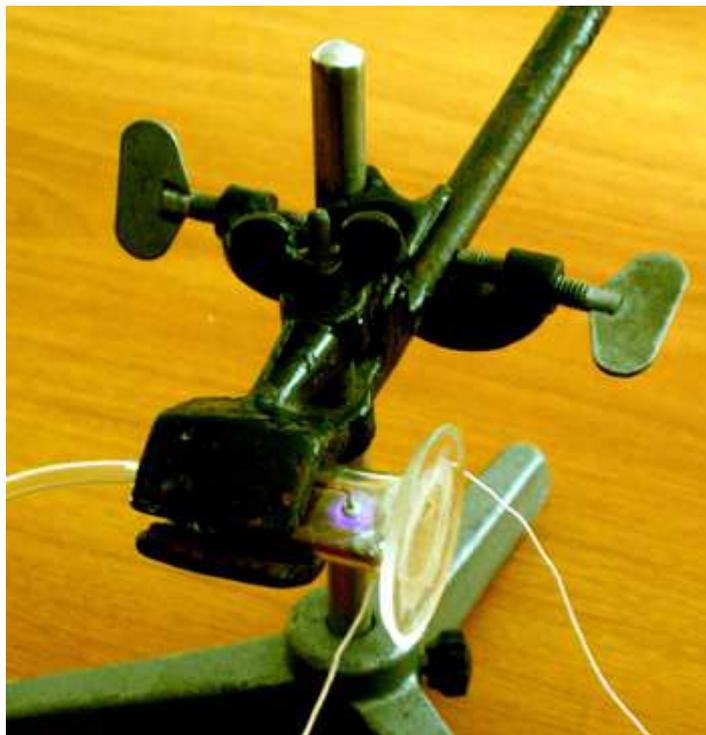


Рис. 1-8-8. Проточная газовая камера ПГКК.

2006-Абдулов И.И., Алтынбаев Е.В., Бабич А.Ю., Иванов И.П., Котович И.А., Тишкин Э.Ю., Тюрин С.С. Исследование зависимости спектра свечения Кирлиан от химического состава объекта и окружающей его газовой атмосферы. Конф. СПб. 2006.

2007-Абдулов И.И. Иванов И.П. Перспективы практического применения результатов исследований свечения Кирлиан. 2007.

---

2014-Ms. Maria Prantsidou, Ph.D in Physical Chemistry at the Plasma Chemistry lab of Prof. J. Christopher Whitehead, University of Manchester. 2014.



Рис. 1-8-9. Барьерный разряд в атмосфере аргона на влажном диэлектрике.



Рис. 1-8-10. Цвет стримеров в различной газовой среде.

---

Ar*	Kr*	F*	Xe*	ArCl*	ArF*	KrCl*	KrF*	XeI*	Cl*	XeBr*	Br*	XeCl*	I*	XeF*
126	146	157	172	175	193	222	248	253	259	282	289	308	342	354

---

Рис. 1-8-11. Длины волны излучения (нм) при разряде в различных газах.

### 1.9 Получение разряда с длинными стримерами.

Очень эффектными являются снимки свечения, на которых стримеры имеют большую длину. Для возникновения разряда при значительном удалении пальца от поверхности диэлектрика (2-5мм) и получения длинных стримеров необходимо выполнение следующих условий:

- 1-увеличение напряжения,
- 2-понижение давления газа,
- 3-регистрация разряда в атмосфере аргона.



Рис. 1-9-1. Свечение пальца.

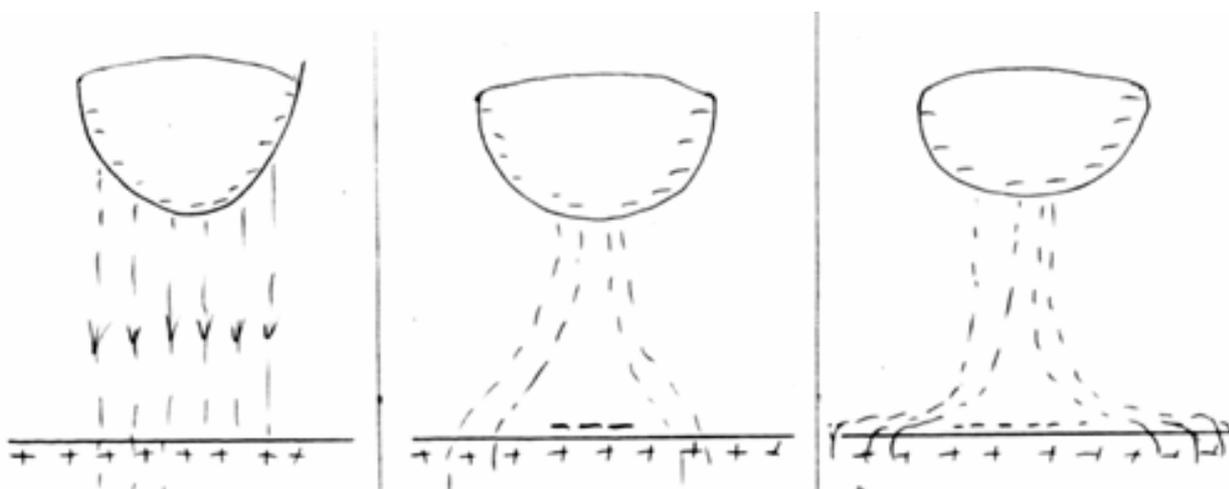


Рис. 1-9-2. Динамика развития разряда в атмосфере аргона.

2006-Абдулов И.И., Алтынбаев Е.В., Бабич А.Ю., Иванов И.П., Котович И.А., Тишкин Э.Ю., Тюрин С.С. Исследование зависимости спектра свечения Кирлиан от химического состава объекта и окружающей его газовой атмосферы. Конф. СПб. 2006.

Проводились исследования свечения в различных газовых средах. Наиболее существенное изменение формы ГРВ-грамм наблюдалось в атмосфере аргона. Испытуемый при этом чувствовал более сильное действие тока на палец, чем при съёмке в воздухе и других газах. Особенностью свечения Кирлиан в аргоне является существенное увеличение размера скользящего разряда вокруг объекта при неизменном напряжении высоковольтного источника. При исследовании металлических объектов в изготовленной герметичной газовой Кирлиан камере размер скользящего разряда вокруг них при заполнении камеры аргоном увеличивался с 1мм. до 5мм, т.е. в 5 раз.

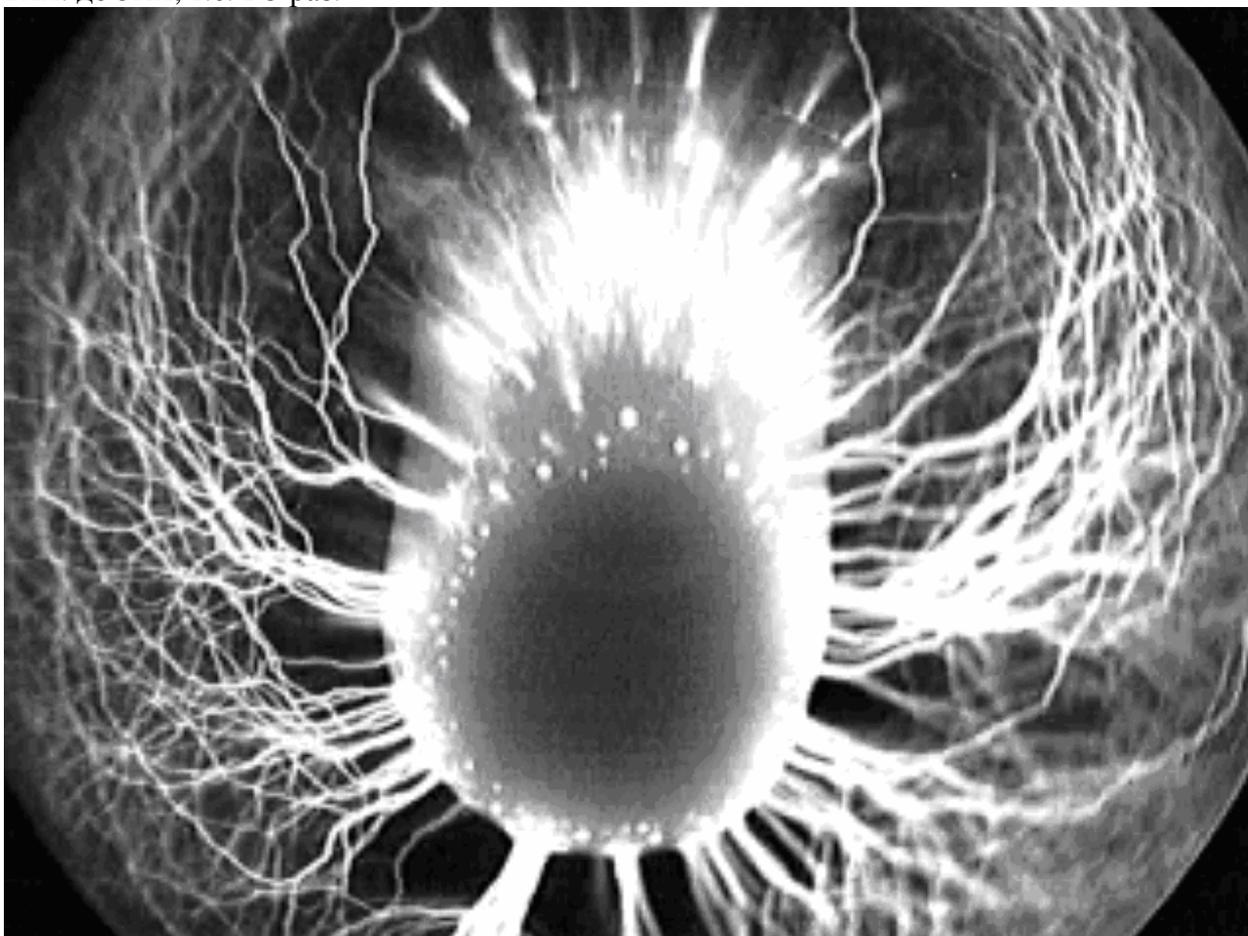


Рис. 1-9-3. Снимок свечения пальца в среде аргона. 2006 год.



Рис. 1-9-4. Снимок сделан Manfred Kirschner, Germany. 1975 год.

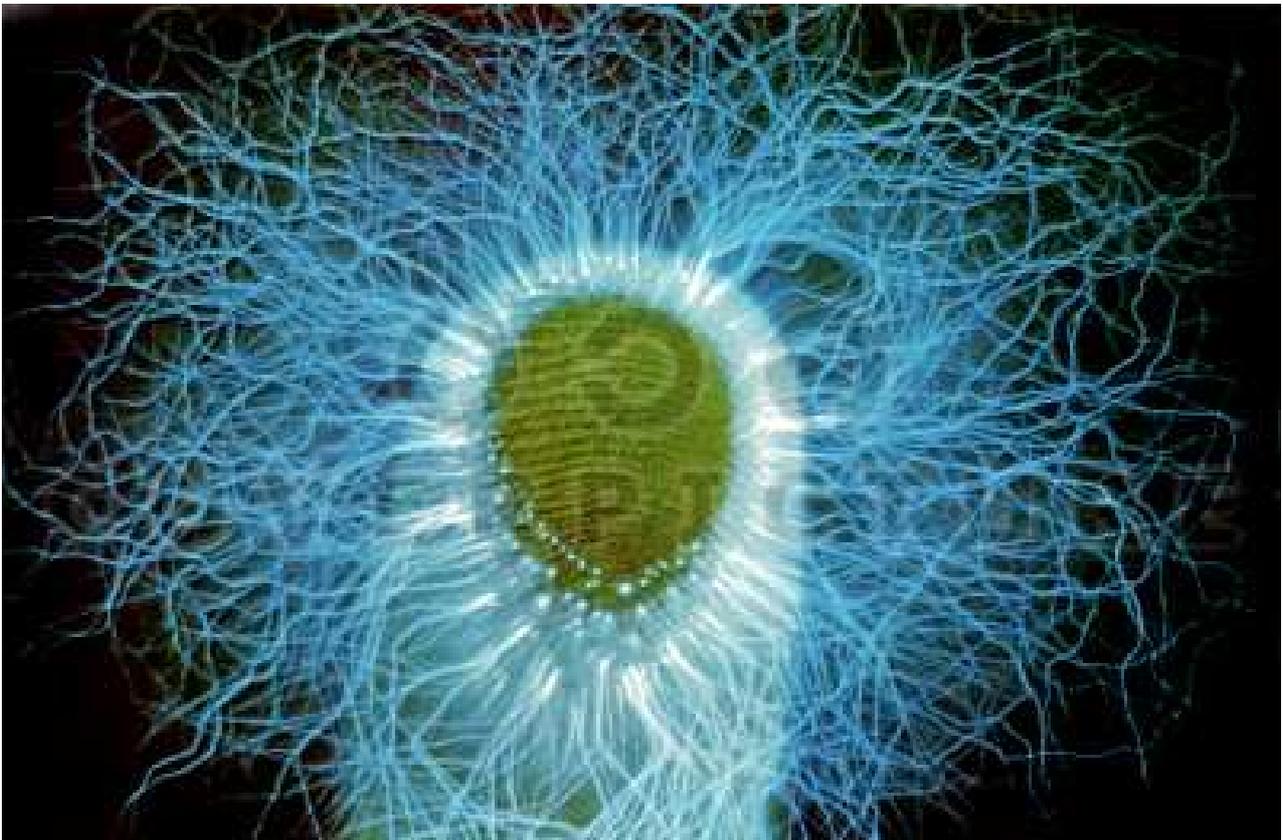


Рис. 1-9-5. Снимок сделан Manfred Kirschner, Germany. 1982 год.

---

Очень низкую электрическую прочность имеют инертные газы (неон, аргон и др.), а также пары натрия и ртути. Поэтому их широко применяют в газоразрядных приборах, в декоративных лампах. Длина стримера может достигать десятков сантиметров.

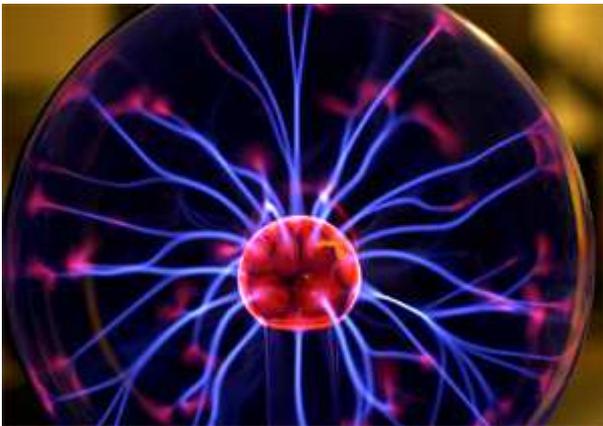


Рис. 1-9-6. Разряд в инертном газе.

### 1.10 Зависимость разряда от давления воздуха и расстояния между электродами.

1-Эффект Кирлиан в вакууме не наблюдается.

2-Тесла в 1892 году показал, что газовая среда (например, воздух) по мере разряжения превращается из изолятора в проводник, причем чем ниже давление, тем легче газ пропускает электричество.

3-При понижении давления увеличивается длина свободного пробега электронов в газе. Электрон набирает большую скорость и энергию. Вероятность возникновения разряда возрастает.

4-При повышении давления уменьшается длина свободного пробега электронов в газе. Следовательно соударение происходит с меньшей энергией.

5-При пониженном давлении и повышенной влажности свечение желтеет.

6-При повышении давления интенсивность линий ультрафиолетовой части спектра снижается, а интенсивность линий видимой части спектра возрастает.

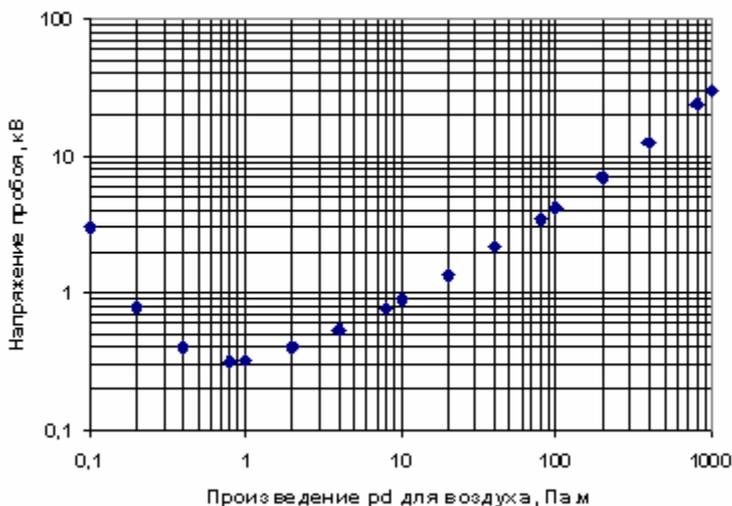


Рис. 1-10-1. Зависимость напряжения пробоя от давления и расстояния между электродами. Закон Пашена определяет зависимость напряжения пробоя газового промежутка с однородным полем от произведения давления газа на расстояние между электродами.

Для воздуха минимум пробивного напряжения составляет **300 В** и он достигается вблизи  $p \cdot d \sim 1$  Па·м. При давлении 0.1 МПа (1 атм) минимум соответствует размеру межэлектродного промежутка **10 мкм**.

При малых давлениях расстояние между частицами достаточно велики, следовательно мала вероятность столкновения, следовательно мало развита ударная ионизация. При некоторой величине давления начинается рост пробивного напряжения, т.к. расстояние между молекулами уменьшаются, соответственно уменьшается длина свободного пробега заряженной

частицы и снижается вероятность процессов ударной ионизации за счет малой величины энергии набираемой свободной частицей за время свободного пробега.

Электрическая прочность снижается при уменьшении расстояния.

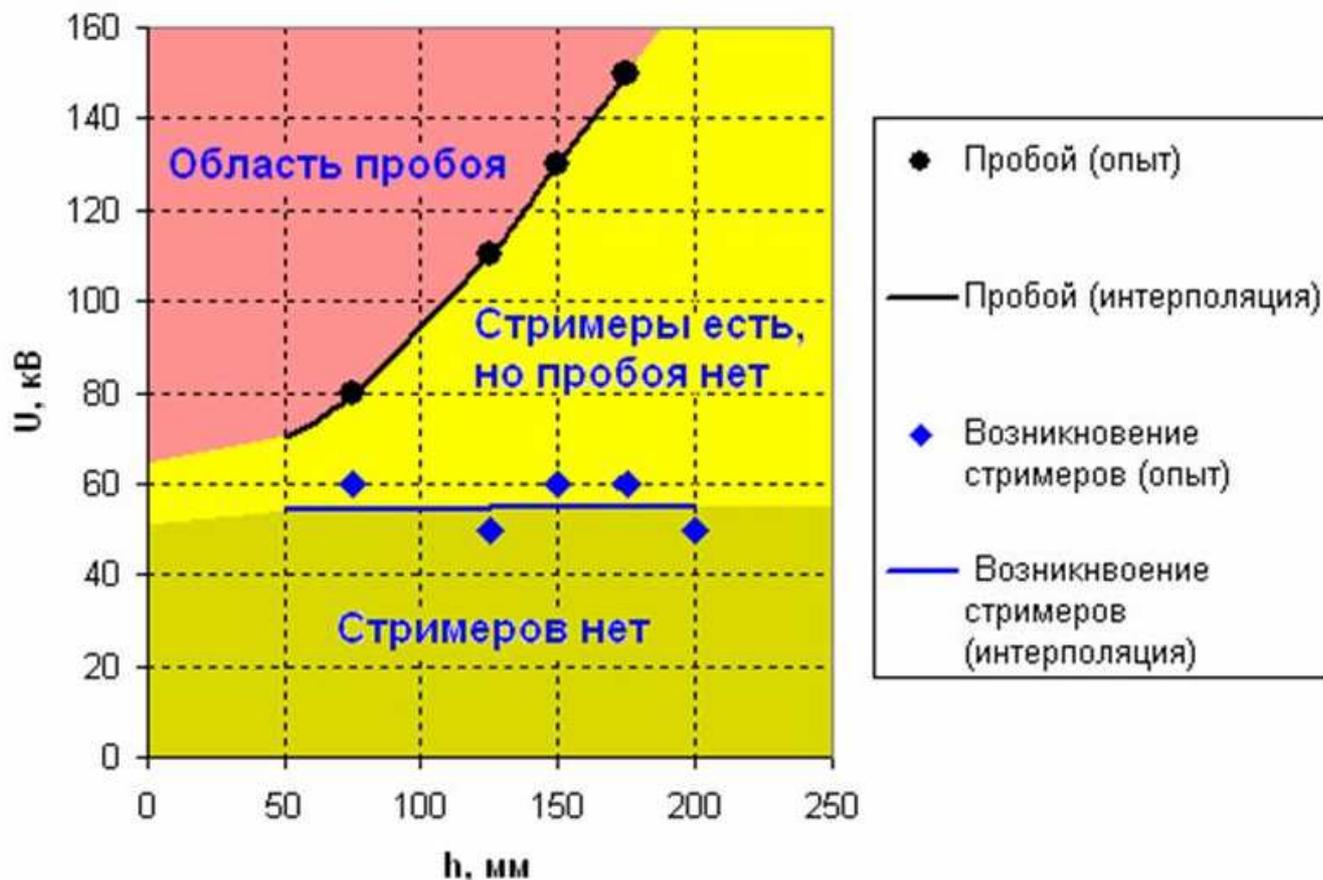


Рис. 1-10-2. Напряжение пробоя и напряжение возникновения стримеров. Зависимость от межэлектродного расстояния  $h$ . Система сфера-плоскость, радиус сферы 2,5мм.

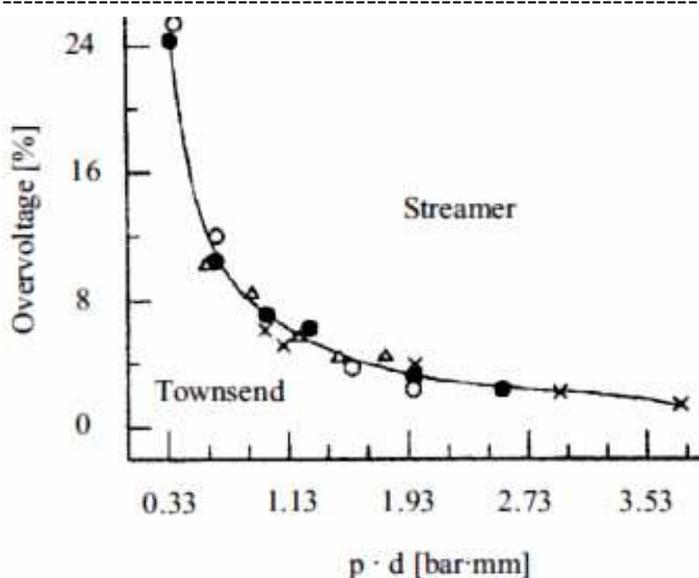


Рис. 1-10-3. Зависимость типа разряда в газе от перенапряжения и параметра  $P \cdot d$ , где  $P$ -давление.  $D$ -расстояние между электродами. Ниже кривой происходит Тоунсендовский (лавиновый) разряд, выше кривой происходит стримерный разряд.

1998-Yu. D. Korolev and G. A. Mesyats, "Physics of pulsed breakdown in gases", UROPress, (1998).



Рис. 1-10-4. Области таунсендовского и стримерного разрядов. С увеличением  $Pd$  растет число электронов в лавине, и поэтому необходимо меньшее перенапряжение.

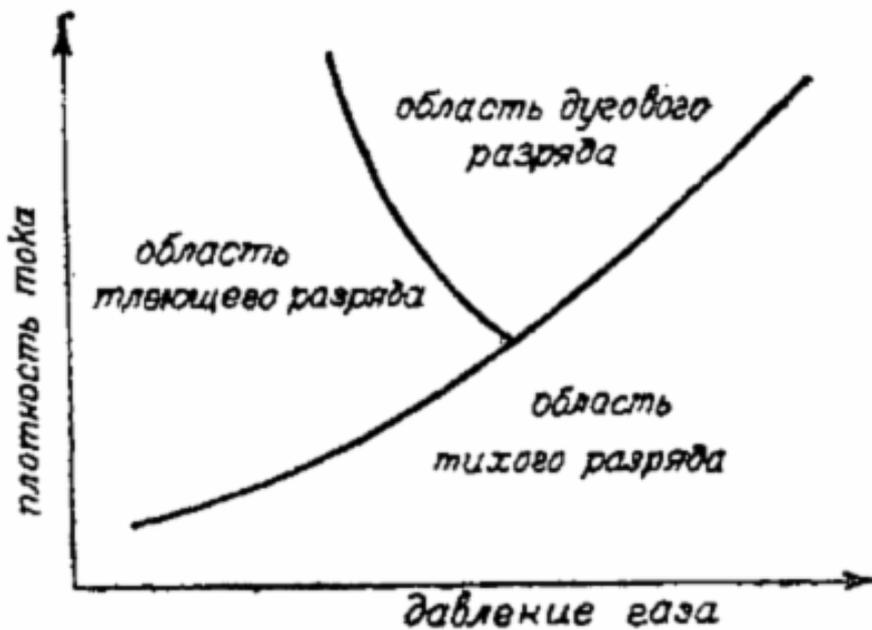


Рис. 1-10-5. Зависимость типа разряда от давления и плотности тока.

1777-**Георг Лихтенберг** исследовал зависимость радиуса разряда от давления, и обнаружил, что с уменьшением давления размер разряда увеличивается.

1898-**J. A. McClelland**. On the figures produced on Photographic plates by electric discharges. Cambridge. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Mathematical and Physical Sciences 1898. v.9. p.522-524.+

Положительный разряд производил более четкий и большой размер изображения. Исследовалась зависимость формы разряда от давления воздуха. При понижении давления происходит возрастание площади и положительного и отрицательного разрядов. При самом низком давлении разряд распространился на всю пластину. При повышении давления при положительном разряде уменьшаются ветвистые линии, а при отрицательном разряде образуется небольшой круг без структуры.

1939-F.H. Merrill and A. von Hippel A.R., "The atomphysical interpretation of Lichtenberg figures and their application to the study of gas discharge phenomena", Journal of Applied Physics. 1939. vol.10, p.873-887. Исследовался разряд при различных давлениях, от 5мм ртутного столба до 30 атмосфер. Разряд развивается в три этапа: основной разряд, искра, обратный разряд. Добавление четыреххлористого углерода и эксперименты с фреоном показали решающее

влияние электроотрицательных компонент. Они оказывают подавляющее воздействие на развитие коронного разряда.

---

1940-Praetorius G., Arch Elektrotechn. 1940. 34. p.83

Он исследовал форму фигур Лихтенберга от положительных и отрицательных разрядов в воздухе при пониженных давлениях и при давлениях до 20атм. Он определил зависимость среднего радиуса фигур от приложенного напряжения и давления газа.

---

1965-Кирлиан С.Д. разрабатывал различные приспособления для регистрации свечения при пониженном давлении, откачивался воздух из зазора, в котором возникал разряд.

---

1979-Dumitrescu I. (Румыния) так же разрабатывал различные приспособления для регистрации свечения при пониженном давлении.

---

1989-Беломестных Н.В., Самсыгин В.Ю. Оценка функциональных состояний человека и реакций на слабые энергетические воздействия с помощью метода Кирлиан /Нетрадиционные виды энергетики и проблемы энергоинверсии: Регион. научно-теорет. конф. Тез. докл. Краснодар, 1989. с.69-71. Для получения (визуального наблюдения или регистрации на фотоэмульсии) изображений объектов различной природы с помощью разряда в газе использовали:

-газ низкого давления 10<sup>-2</sup>-10<sup>-5</sup>мм рт. ст. и межэлектродное расстояние 10-150мм;

-атмосферное давление и узкий газоразрядный промежуток 50-250 мкм.

---

2014-Stepanyan S.A., Starikovskiy A.Yu., Popov N.A. Starikovskaia S.M. A nanosecond surface dielectric barrier discharge in air at high pressures and different polarities of applied pulses: transition to filamentary mode. Plasma Sources Science and Technology Volume 23 Number 4.

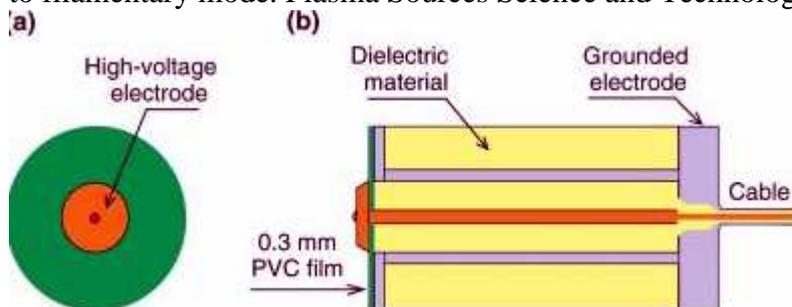


Рис. 1-10-6. Схема установки, красный-электрод высокого напряжения диск диаметром 20мм, фиолетовый-заземленный электрод, желтый и зеленый-диэлектрик.

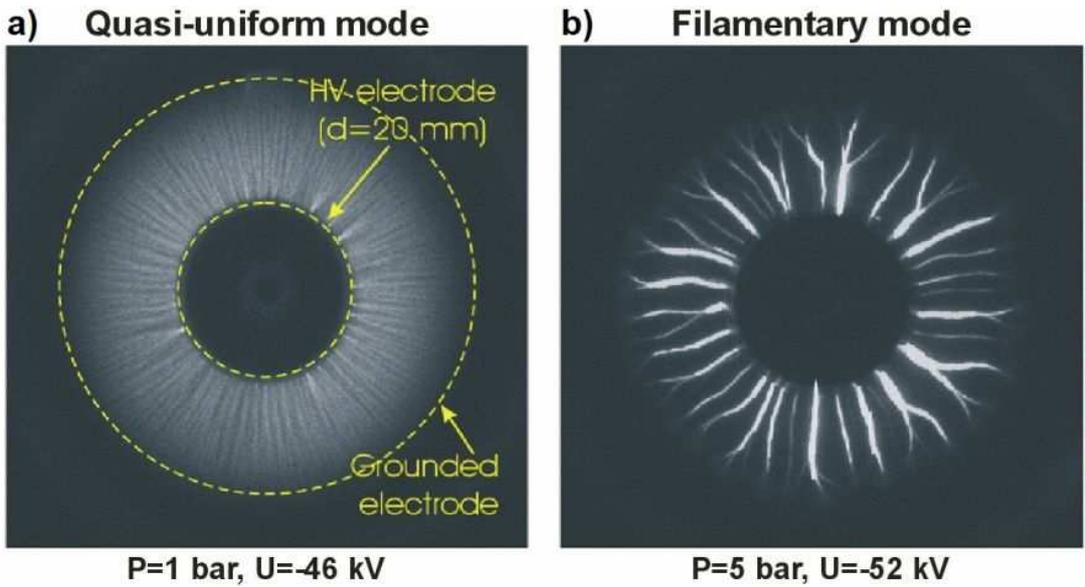


Рис. 1-10-7. Структура скользящего разряда при обычном и при высоком давлении.

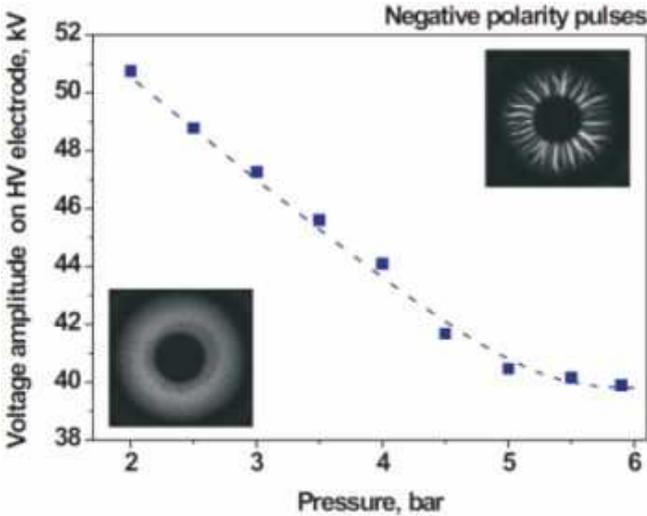


Рис. 1-10-8. Зависимость напряжение перехода из однородной формы разряда в нитевидную от давления. Выше кривой имеет место нитевидный разряд. Ниже кривой имеет место однородный разряд. (Шкала давлений 1бар=1атмосфер).

Снижение пробивного напряжения при сверхвысоких частотах наблюдается в широком диапазоне давлений. При этом при уменьшении давления газа критическая длина промежутка остается примерно постоянной.

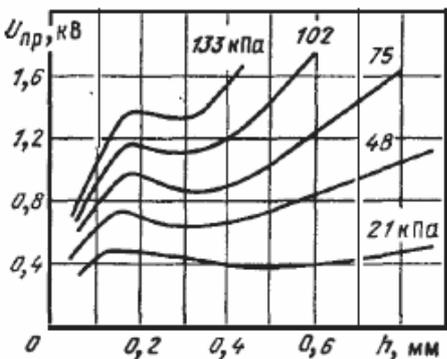


Рис. 1-10-9. Пробивные напряжения воздушного промежутка в зависимости от его длины при 200 МГц и различных давлениях воздуха. Однородное поле. Цифры у кривых указывают давление воздуха.

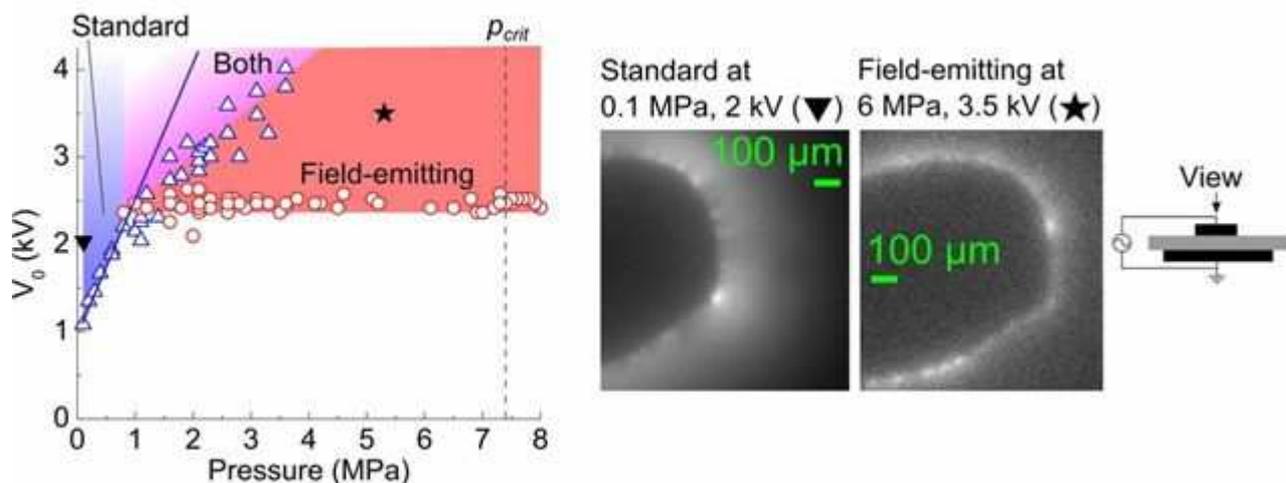


Рис. 1-10-10. Два типа барьерного разряда в атмосфере углекислого газа при различных давлениях.

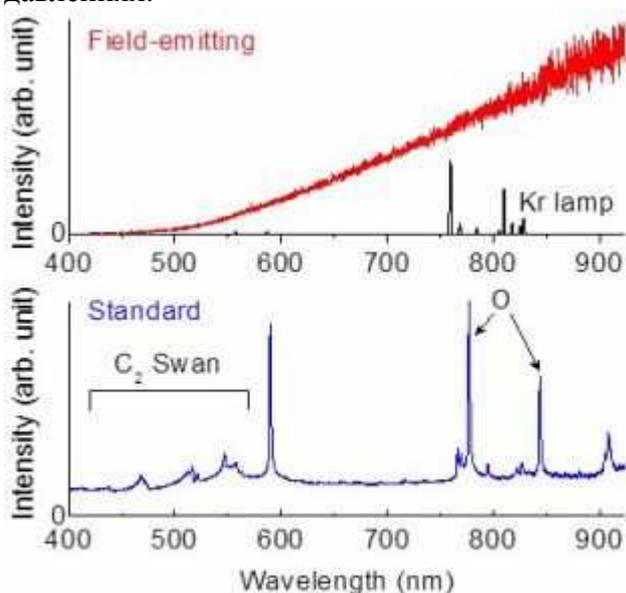


Рис. 1-10-11. Различие спектров излучения в случае стандартного и полевого разрядов.

2014 David Z Pai<sup>1</sup>, Sven Stauss and Kazuo Terashima. Surface dielectric barrier discharges exhibiting field emission at high pressures. *Plasma Sources Science and Technology*. 2014. v.23. №2.

### Зависимость газового разряда от температуры.

1998-Suehiro, Junya; Hari, Masanori; Sumiyoshitani, Satoru; Akazaki, Satoru. Modes and Characteristics of Corona Discharge in High-Temperature Air. *Electrical Engineering in Japan*. May/Jun1988, Vol. 108. Issue 3, p.10-21.

2005-Abdel-Salam, M.; Allen, N. L. Onset voltage of positive glow corona in rod-plane gaps as influenced by temperature. *IEE Proceedings--Science, Measurement & Technology*. Sep2005, Vol. 152. Issue 5, p.227-232.

2011-Leštinská, Lenka; Martišovitiš, Viktor; Machala, Zdenko. Corona discharge as a temperature probe of atmospheric air microwave plasma jet. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. Dec2011, Vol. 112. Issue 18, p.2779-2786.

## 1.11 Спектральные свойства свечения.

### 1.11.1 Спектр излучения при разряде.

#### Спектры излучения (флуоресценции) газов.

Спектр водорода: линии серии Бальмера-656 (красная), 486 (голубовато-зеленая), 434 (сине-фиолетовая), 410, 397, 388, 383 нм.

Спектр кислорода: красно-оранжевая линия, зеленая линия и фиолетовая линия.

Спектр азота: 467, 434, 406 нм.

1983-Зайдель А.Н. Атомно-флуоресцентный анализ. Ленинград. Химия. 1983. 127с.

Энергия ионизации различных молекул воздуха:

C2-11,2эВ, O2-12,1эВ, H2O-12,6эВ, H (водород)-13,6эВ, NO2-12,9эВ, CO-14,1эВ, CO2-14,4эВ, N2-15,5эВ, H2-15,6эВ.

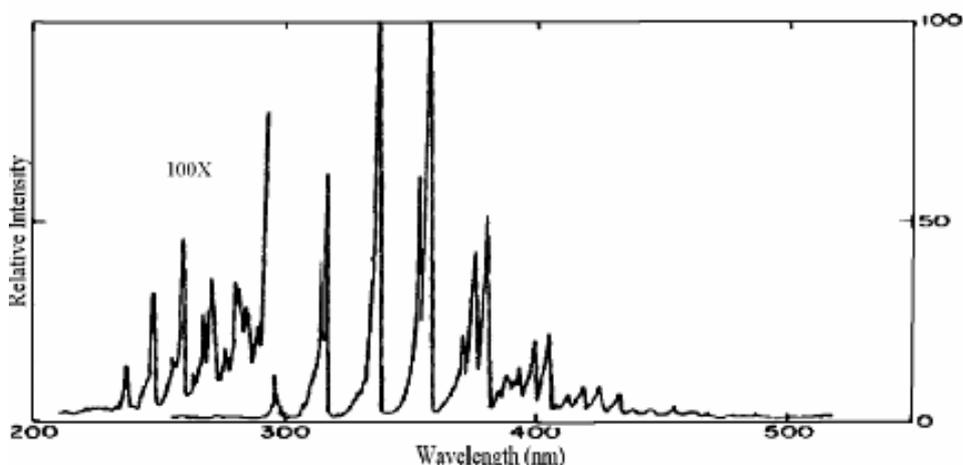


Рис. 1-11-1. Спектр свечения коронного разряда полученной фирмой OFIL (USA).

В работах конца 70-х и 80-х годов, проводились исследования мощных импульсных газовых лазеров. Скользящий разряд использовался для эффективной ионизации газа в межэлектродном пространстве и (или) создания плазменных электродов. Было замечено, что при использовании в качестве поверхности органического материала (лавсан, гетинакс и т.д.) улучшается однородность разряда и увеличивается мощность луча лазера. Были получены спектры обычного искрового и скользящего по поверхности органического диэлектрика разрядов при одинаковом удельном энергокладе. Было обнаружено, что в области вакуумного ультрафиолета интенсивность спектральных линий в случае скользящего разряда на порядок выше.

**1975-Дашук П.Н.,** Челноков Л.Л., Ярышева М.Д., Характеристики скользящего разряда по поверхности твердых диэлектриков применительно к высоковольтным коммутаторам. «Электронная техника», сер. 4. «Электровакуумные и газоразрядные приборы», 1975, №6, с.9.

В работе исследовался спектр излучения скользящего разряда.

1975-Дашук П.Н. Сергеенкова Е.П. Спектроскопические исследования характеристик скользящего разряда в стримерной и искровой стадиях. Всес. Семинар по физике газовых лазеров. Новосибирск. 1975. с.154.

1998-Дашук П.Н. Кулаков С.Л. Чистов Е.К. Восстановление спектра рентгеновского излучения скользящего разряда наносекундного диапазона. Письма в Журнал Технической Физики. 1998. т.24. №7. с.39-44.+

1976-Grum, F., Costa, L.F. Spectral emission of corona discharges. (1976) Applied Optics, 15 (1), p.76-79.

---

1978-Андреев С.И., Зобов Е.А., Сидоров А.Н. Метод управления развитием и формированием системы параллельных каналов скользящих искр в воздухе при атмосферном давлении. Прикл. мех. и техн. физика. 1978. №3. с.38-44.

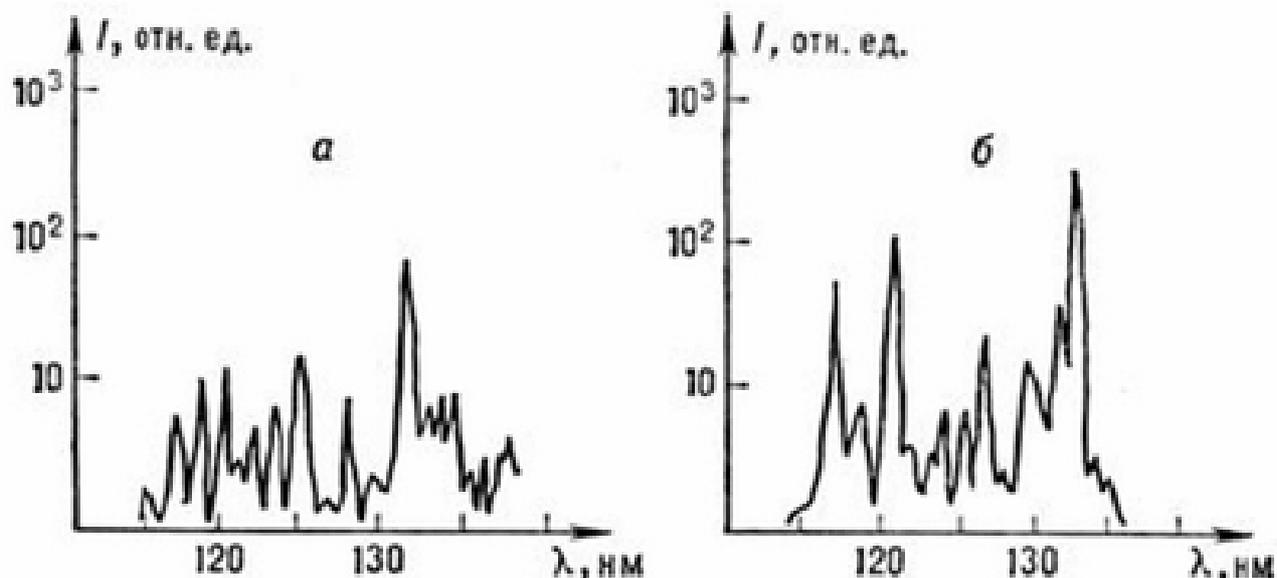


Рис. 1-11-2. Спектр излучения электрических разрядов в азоте при атмосферном давлении, а-искровой разряд между вольфрамовыми электродами, б-скользящий разряд по поверхности лавсановой пленки.

---

1984-Зарослов Д.Ю., Кузьмин Г.П., Тарасенко В.Ф., Скользящий разряд в CO<sub>2</sub> и эксимерных лазерах. «Радиотехника и электроника», 1984, т.29, вып.7, с.1217.

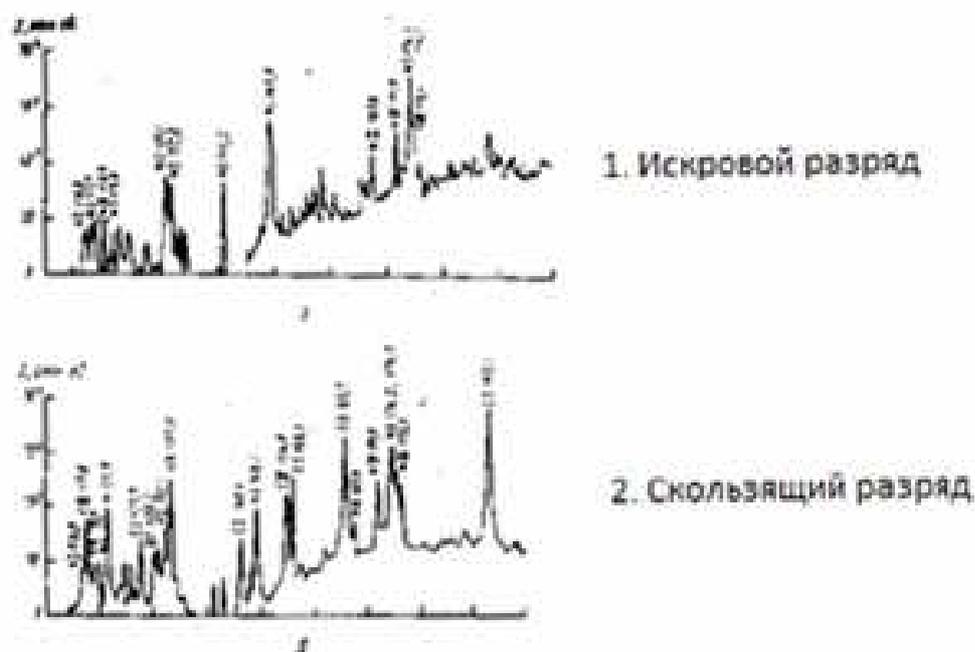


Рис. 1-11-3. Спектр искрового и скользящего разряда в азоте.

---

1988-Брынзалов П.П. и др., Азотный лазер на основе скользящего по поверхности диэлектрика разряда. «Квантовая электроника», 1988, т.15, №10, с.1971.

---

1995-Казанцев Сергей Анатольевич. Источник линейчатого спектра на основе высокочастотного разряда. СПбГУ. 1995.

---

Характер свечения газов и паров-наполнителей **в отрицательной и положительной области** разряда:

- воздух-голубая, красная,
- натрий-белая, желтая,
- кислород-желкто-белая, лимонно-желтая с розоватым оттенком у основания,
- азот-голубая, красновато-желтая,
- водород-светло-голубая, розовая,
- углерод-зеленовато-белая, белая,
- двуокись углерода-голубая, белая.

1971-Кноль М., Эйхмейхер И. Техническая электроника. т.1. Физические основы электроники. Вакуумная техника. М.: Энергия, 1971. 472 с.

---

**2013-Zhiqiang Liu, Tie Liu, Xinyu Miao, Wei Guo, Shoujie He (China)** Experimental research on spectral intensity of needle-plate corona discharge. Journal of Physics:ConferenceSeries 418 (2013). P.1-6.+

Разряд проводился при атмосферном давлении между электродом диаметром 0,1мм (катод, отрицательный заряд) и анодом в виде медного диска диаметром 65мм. Подавалось постоянное напряжение от 0 до 60кВ. Зарегистрирован основной пик свечения азота N<sub>2</sub> на длине волны 337,1 нм.

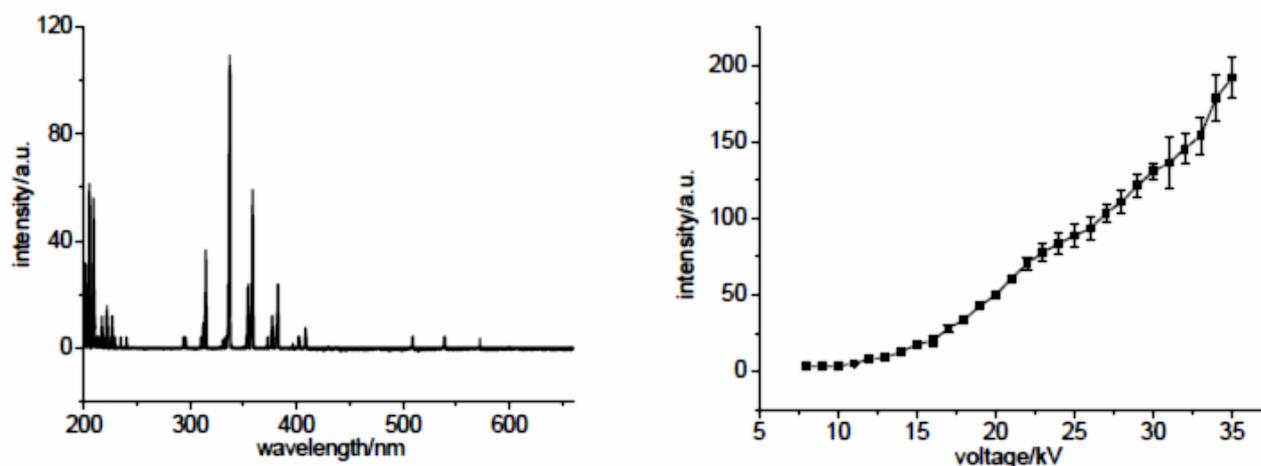


Рис. 1-11-4. Спектр разряда и зависимость интенсивности свечения от напряжения.

---

2009-Латфуллин Денис Фатбирович. (Москва, МГУ, физический факультет, кафедра молекулярной физики) Импульсный скользящий поверхностный разряд в газодинамическом потоке. Диссертация кандидата физико-математических наук. Москва. 2009.

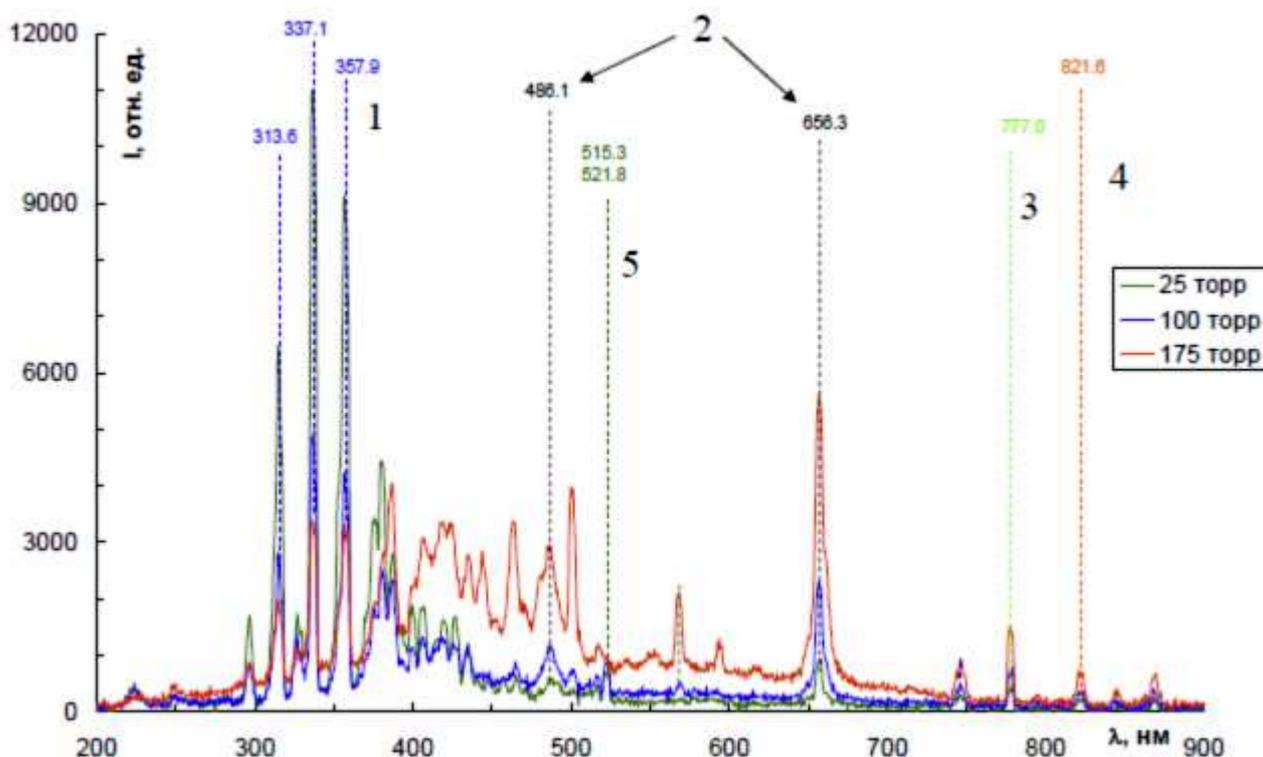


Рис. 1-11-5. Спектр скользящего разряда в воздухе: 1-линии второй положительной системы азота, 2-линии атома водорода, 656,3нм, 486,1нм, 3-атомарный кислород, 777нм, 4-атомарный азот, 821,6нм.

2011-М. Yousfi, N. Merbahi, J.P. Sarrette, O. Eichwald, A. Ricard, J.P. Gardou, O. Ducasse and M. Benhenni. Non Thermal Plasma Sources of Production of Active Species for Biomedical Uses: Analyses, Optimization and Prospect. book edited by Reza Fazel-Rezai.

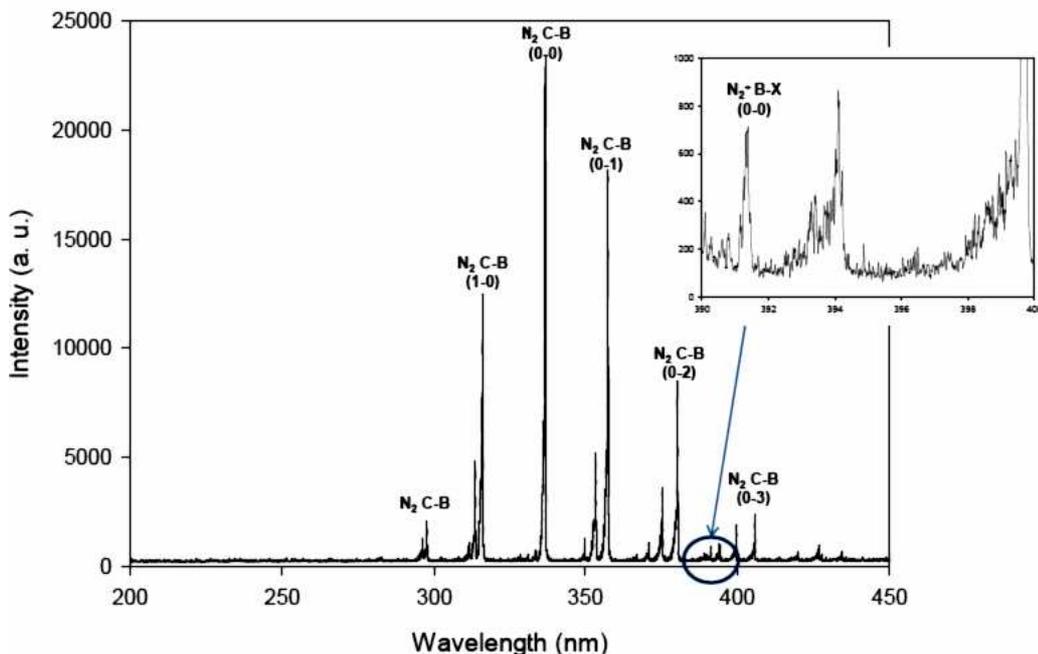


Рис. 1-11-6. Спектр газового разряда в воздухе. Основной вклад вносит излучение молекул азота.



Рис. 1-11-7. Цвет стримеров в различной газовой среде.

Ar*	Kr*	F*	Xe*	ArCl*	ArF*	KrCl*	KrF*	XeI*	Cl*	XeBr*	Br*	XeCl*	I*	XeF*
126	146	157	172	175	193	222	248	253	259	282	289	308	342	354

Рис. 1-11-8. Длины волны излучения (нм) при разряде в различных газах.

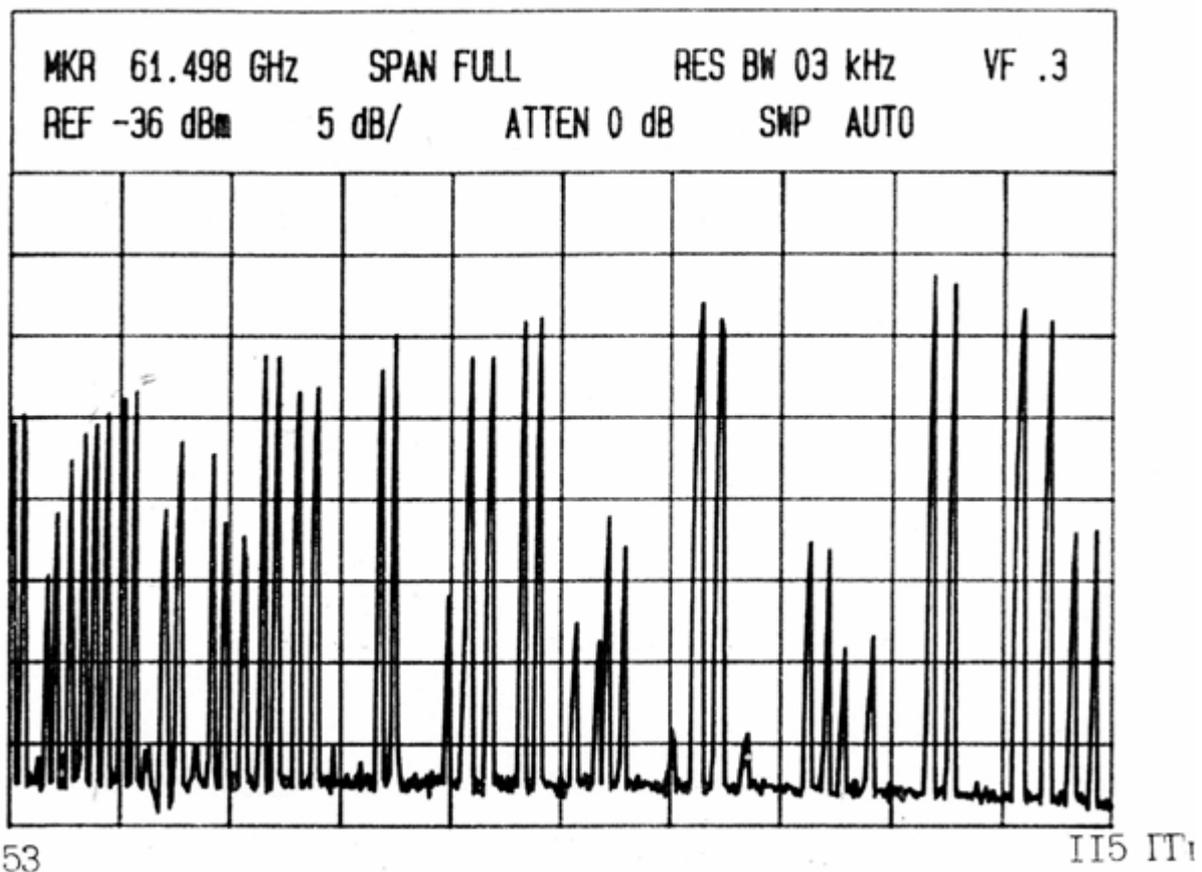


Рис. 1-11-9. Спектр излучения неоновой лампочки (газового разряда) в КВЧ.

### 1.11.2 Спектр излучения при регистрации Кирлиановского свечения.

Спектр излучения разряда определяется химическим составом газовой среды и, следовательно, меняется во времени. Состав газовой среды в существенной мере зависит, особенно для объектов биологического происхождения, от набора и соотношения газообразных ингредиентов, выделяемых биологическим объектом в процессе жизнедеятельности. Пространственное распределение микроканалов пробоя диэлектрического (межэлектродного) промежутка отвечает картине распределения минимальной электрической прочности среды, размещенной в межэлектродном пространстве. Таким образом, интенсивность и спектральный состав излучения при газовом разряде, его интенсивность и топографические признаки

(локализация, частота разрядных линий, густота пробоев) несут информацию об объекте исследований.

Спектр свечения (цвет) вокруг пальца может определяться химическими веществами, которые содержатся в выделяемой жидкости (пот). Например, если в пламя свечи внести кристаллик соли, то пламя окрасится в желтый цвет. Аналогично, если пот содержит повышенное содержание соли, то свечение станет желтоватым.

Разряд сопровождается электромагнитным излучением широкого спектра: радиоволны различного диапазона, инфракрасные, световые и ультрафиолетовые лучи. В высоковольтном же разряде имеется еще и рентгеновское излучение, возникающее при торможении ускоренных электронов в электродах.

Корона на положительном электроде имеет вид голубовато-белой оболочки, покрывающей весь электрод. Корона на отрицательном электроде представляет собой красноватые пучки. Пучки распределены равномерно по поверхности из-за отталкивания одноименно заряженных пучков.

При регистрации свечения на цветную пленку осуществляется воздействие излучения на три светочувствительных слоя, обладающих различной спектральной чувствительностью. Как правило это синяя, зеленая и красная компонента излучения.

При визуальном наблюдении корона светится фиолетовым светом. Это объясняется тем, что в спектре свечения короны преобладает УФ компонента.

---

Из анализа спектра газового разряда следует, что синий цвет (486нм) и красный цвет (656 нм) создаются атомами водорода, которые образуются из молекул воды, окружающих палец.

---

**1949-Кирлиан С.Д.** Цвет свечения зависит от того места, в котором проводится регистрация. Кожа над областью сердца дает глубокий синий, подмышки зеленоватый синий и бедра оливковые тона.

---

**1968-Инюшин В.М. Казахстан.**

Была создана установка для исследования спектральных характеристик высокочастотного разрядного свечения. Спектры органических веществ отличаются от спектров живых организмов. Пики от живых организмов изменяются по интенсивности и смещаются по длине волны. Аспирантка Инюшина Федорова Н.Н. сняла на этой установке колебания интенсивности кирлиановского свечения листьев табака в течение суток на одной длине волны. Эта кривая совпала с кривой изменения электрического поля Земли.

1974-Инюшин Виктор Михайлович, Борхсениус Владимир Сергеевич, Киреева Лидия Андреевна. Способ получения изображения биологических объектов. Патент **512452**. 1976.+ Для повышения четкости получаемого изображения между биообъектом и фотоэмульсией помещают **светофильтр, выделяющий УФ часть спектра**.

**1968-Шуйский Н.Н.** работал с Инюшиным В.М., и установил, что по спектрограмме разряда можно диагностировать лучевое поражение животных небольшими дозами рентгеновского излучения.

---

1974-Boyers, David G. The colors in Kirlian photography, fact or artifact? 1974.

---

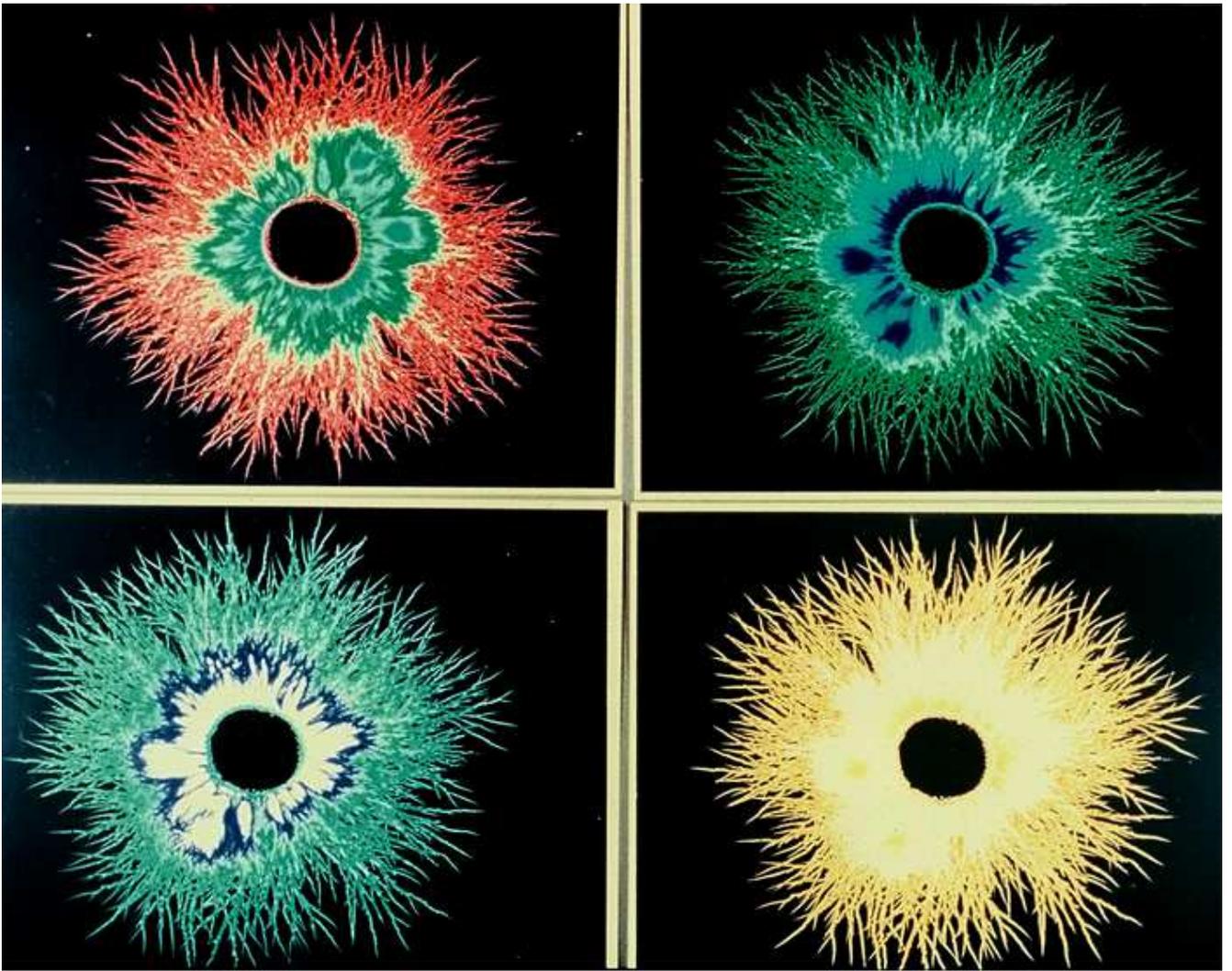


Рис. 1-11-10. Снимки свечения, полученные с использованием различных светофильтров. Telma Moss.

---

**1988-Коротков К.Г.**

Коротков К.Г. исследовал спектр излучения при свечении. Было установлено, что спектр излучения поверхностного разряда в воздухе состоит в основном из молекулярных полос второй положительной системы азота. Основная часть спектра лежит в области ближнего ультрафиолета, при этом захватывая синюю и красную часть видимого спектра. Спектры, полученные от разных объектов, отличались только интенсивностью линий.

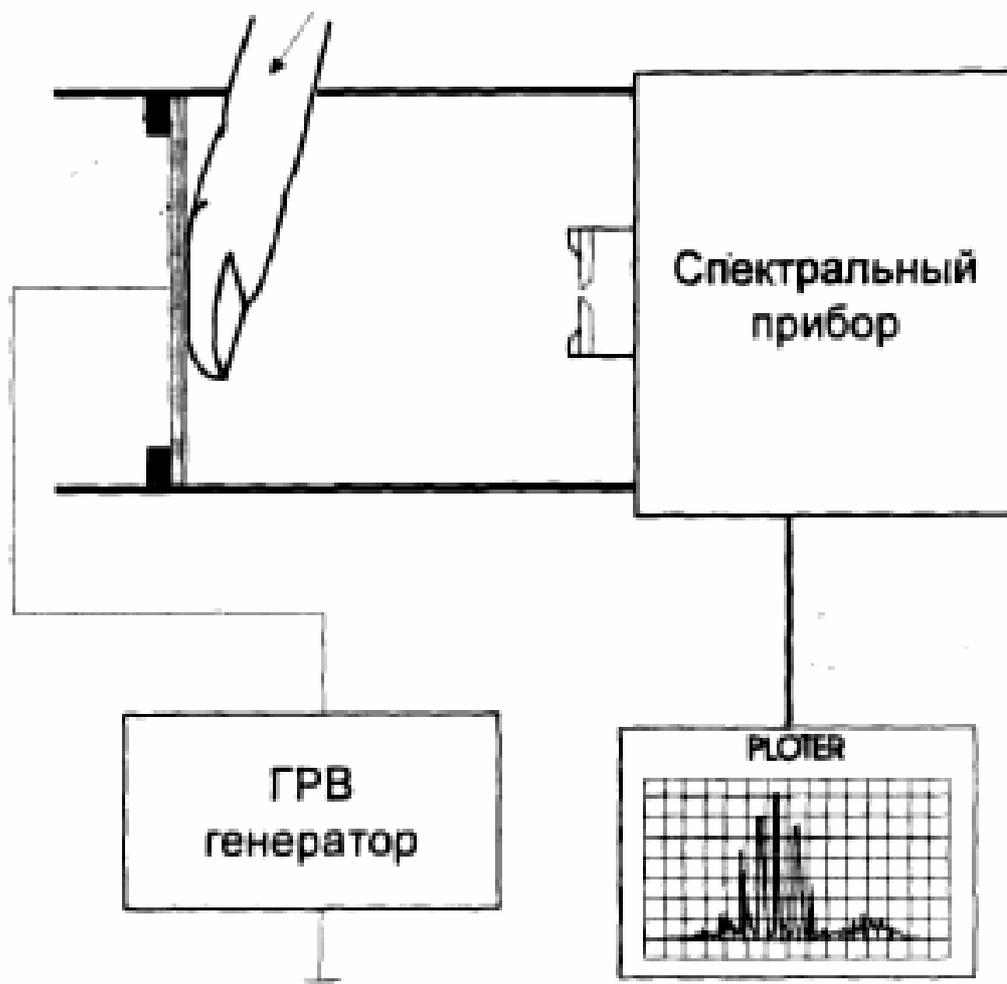


Рис. 1-11-11. Схема установки.

1988-Гудакова Г.З. Галынкин В.А. Коротков К.Г. Исследование спектральных характеристик газоразрядного свечения микробиологических культур. Журнал прикладной спектроскопии. 1988. т.49. №3. с.412-417.

---

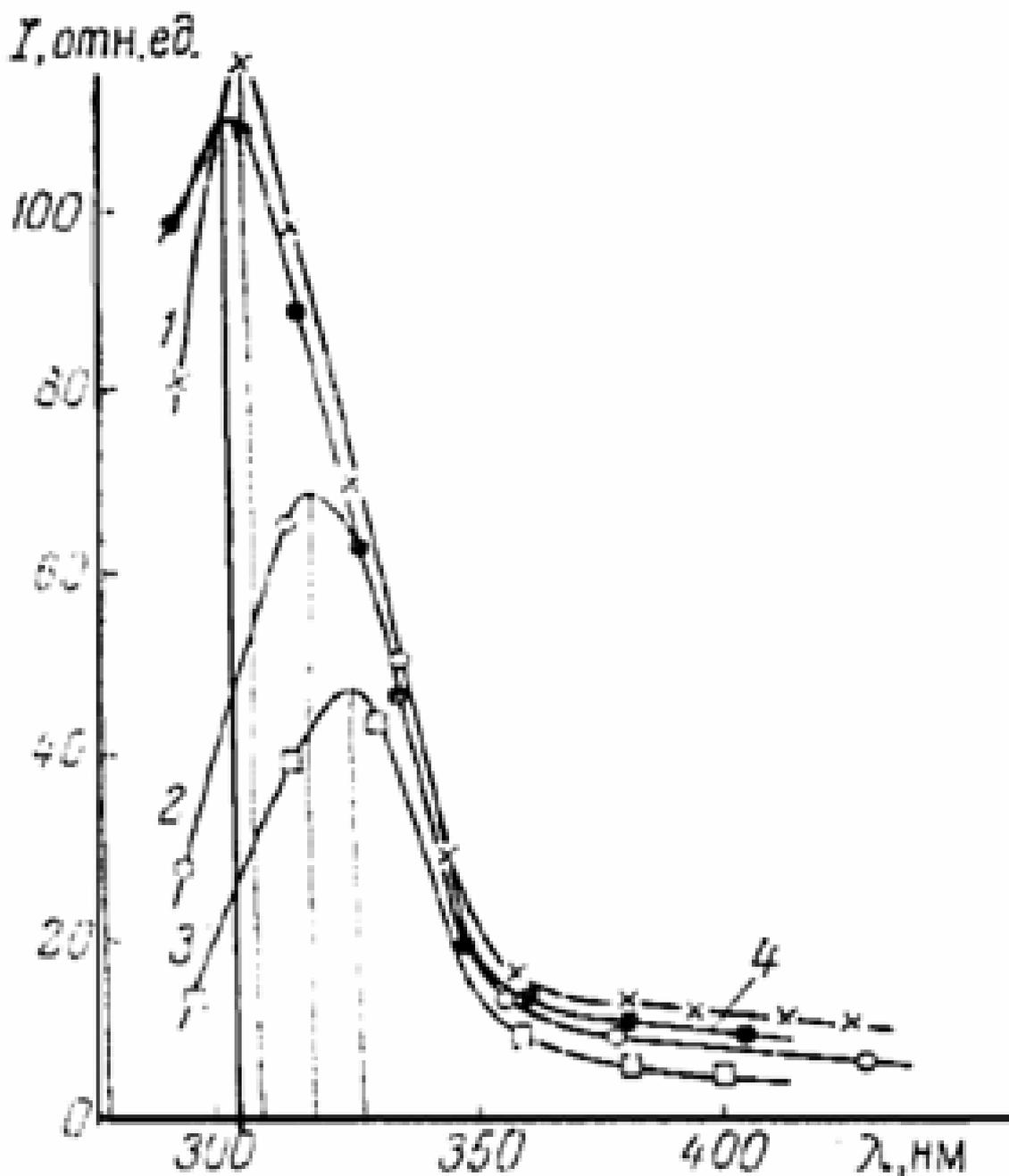


Рис. 1-11-12. Спектр свечения листа растения при различном содержании свободной жидкости.

1991-Протасевич Е.Т. Обработка спектра СВЧ-разряда. Сибирский физико-технический журнал. 1991. вып.3. с.94-98.

1993-Протасевич Е.Т. Простейшая спектроскопия холодной неравновесной плазмы. Оптика атмосферы и океана. 1993. т.6. №8. с.950-961.

1996-Санкин Г.Н. Тесленко В.С.

Световое излучение, соответствующее спектральному составу растворенного вещества в поре, может возникать преимущественно на отрицательном электроде.

1998-Игнат Игнатов (Dr. Ignat Ignatov) (1963-).



Рис. 1-11-13. Игнат Игнатов.

Игнатов-член Европейской академии Естественных наук (Германия), директор, Научно-исследовательский центр медицинской биофизики (София, Болгария).

Он и инженер Яцевич из Болгарского города Златна Панега с помощью метода Кирлиан зарегистрировали свечение капель воды.

С 1996 года он организовал Научно-исследовательский центр медицинской биофизики (НИЦМБ). <http://www.medicalbiophysics.dir.bg/ru/index.html>

Научный совет НИЦМБ: проф. д-р **Игнат Игнатов** (директор), инж. Христос Дросинакис (почетный директор), доц. к.х.н. **Олег Мосин**, проф. д-р Марин Маринов, д-р к.м.н. Георгий Тыминский, д-р к.м.н. Игорь Аксенович, проф. д-р Фриц-Алберт Поп, проф. д.б.н. к.х.н.кфн **Станислав Зенин**, инж. Энрико Бауер, д-р Паскал Боезингер, инж. Чавдар Стоянов, инж. Аснат Масандилова, Лиезелоте Едер (редактор).

Он является профессором Российской академии естествознания. Является соавтором исследований по биолечению глазных заболеваний. Является соавтором исследований по дистанционной регистрации биофизических полей, лауреатом многих премий и медалей по биофизике и альтернативной медицине. В 2007 г. д-р Игнатов создал методику Цветного Кирлиановского спектрального анализа. Главное научное направление д-ра Игнатова связано с исследованиями воды, “памятью” воды и зарождением живой материи.

Игнатов-соавтор **проф. Антонова** методов спектрального анализа неравновесного энергетического спектра (НЭС) Антонов (1983) и дифференциального неравновесного энергетического спектра (ДНЭС), Антонов (1993), Игнатов (1998). В 2007 Игнатов создал методику Цветного коронного (Кирлиановского) спектрального анализа. Согласно авторской методике д-ра Игнатова регистрируются все цвета спектра, исключая зеленый цвет.

Д-р Игнатов доказал, что главный биорезонансный пик биорезонансного взаимодействия между водными молекулами и биофизическими полями получается при **9.7  $\mu\text{m}$** .

### **Energy of the Separated Photons of Color Kirlian Aura (Dr. Ignatov, 2007)**



Рис. 1-11-14. Спектр оптического излучения и энергия соответствующего диапазона в эВ.

У красного цвета энергия фотона-1.82эВ. У оранжевого цвета-2.05эВ, желтого-2.14эВ, сине-зеленого (циан)-2.43эВ, синего-2.64эВ, а у фиолетового-3.03эВ.

2008-Игнатов И. Маринов М. Цветной Кирлиановский спектральный анализ. 2008.

Методики, разработаны болгарским коллективом: д-р Игнатов, профессор Антонов, инж. Гылыбова и инж. Стоянов. Первый метод-спектральный анализ воды с помощью прибора проф. Антонова (1983) проводился после биовоздействия в режиме „отдача” и „отнятие” энергии (1998). Метод спектрального анализа воды определяется как дифференциальный неравновесный энергетический спектр (ДНЭС). Второй метод-усовершенствованный Кирлиановский эффект с прозрачным электродом проф. Антонова (1984). Определен проф. Антоновым как высокочастотный селективный разряд (СВЧР).



Рис. 1-11-15. Обложка книги.

Эксперименты по определению влияния на размеры и характер ГРВ-свечения частоты электрического тока, подаваемого на электрод, получены методом селективного высокочастотного разряда (СВЧР) на приборах Kirlian Videografie B9 (Biomed, Германия) и ГРВ-камера (МедЭО, Россия) с электродом из полиэтилентерефталата (ПЭТФ, хостафан) (электрическая прочность 160...200 кВ/мм, плотность 1,38...1,4 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 260 °С) с электрическим напряжением на электроде 15кВ, длительностью электрического импульса 10мкс и частотой электрического тока 15кГц. В экспериментах использовались четыре частоты электрического тока-6, 12, 15, 24кГц. Как показали исследования, контуры ГРВ-свечения при 12кГц и 15кГц однородны. Контур ГРВ-свечения при частоте 6 кГц составляет 55 % от контура при 15 кГц, а при 24 кГц-всего 15 % от контура при 15 кГц, что важно для дальнейшего анализа и идентификации снимков.

Наряду с видимым диапазоном, для данного метода получены цветные Кирлиан-спектры и ГРВ-граммы в УФ-и ИК-диапазоне.

**Мосин Олег Викторович** к.х.н. науч. сотрудник, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет прикладной биотехнологии». Москва.



Рис. 1-11-16. Мосин О.В.

- 1998-Ignatov I. Antonov A. Galabova T. Medical Biophysics-Biophysical Fields of Man, Gea Libris, Sofia. 1998.
- 1998-Ignatov, I., Antonov, A., Galabova, T. Medical Biophysics-Biophysical Fields of Man, First World Congress for Global Health, EWEI, Manila. 1998.
- 2001-Ignatov I. Antonov A. Galabova T. Stoyanov S. Self-organization and Informationability of Water, Their Importance for the Possible Processes of Structuring of the Living Matter, Seminar Man and Nature, (SRCMB), Sofia, Teteven, 2001. p.63-65.
- 2001-Ignatov I. Antonov, A. Galabova, T. Structural Alterations in Water Due to the Earth Ground Radiation, Seminar Man and Nature (SRCMB), Sofia, Teteven, 2001. p.55-57.
- 2002-Ignatov I., Antonov, A., Galabova, T., Scientific Research Studies with Christos Drossinakis (October 2001-October 2002), Sofia. 2002.
- 2004-Ignatov I., Objective Biophysical and Medical Evidence of Bioinfluence, MISAHA, Newsletter №40-45, Monterey, USA (2004).
- 2005-Ignatov I. Energy Biomedicine, Gea-Libris, Sofia, 2005. p.1-88.
- 2006-Ignatov I. Energy Biomedicine, Moscow, ENIOM, Gea-Libris, Sofia. 2006.
- 2006-Игнат Игнатов. Энергетическая биомедицина. Зарождение живой материи, память воды, биорезонанс, биофизические поля. София, 2006. 96с. ISBN: 9543000697.
- 2006-Ignatov I. Research of Homeopathic Solutions, Society of Greek Homeopaths' Conference, Athens. 2006.
- 2007-Ignatov I. There are not Reliable Results with Research with Infrared Spectroscopy of Homeopathic Solutions after Avogadro's Number, Ministry of Health, Moscow, 2007. pp 196-199.
- 2007-Игнатов. Методика Цветного спектрального анализа Кирлиана доктора Игнатова. 2007. София, Болгария.
- 2008-Marinov M. Ignatov I. Color Kirlian Spectral Analysis. Color Observation with Visual Analyzer, Euromedica, Hanover, 2008. p.57-59.
- 2009-Zellner, A., Energy, Color Kirlian Analysis of Ignat Ignatov, Die Ingenieurin, Nr. 89, Germany, 2009.
- 2010-Ignatov I. Which Water is Optimal for the Origin (Generation) of Life? Euromedica, Hanover, 2010. p.34-37.
- 2011**
- 2011-Mosin O.V. Ignatov, I. Water-Substance of Life, Consciousness and Physical Reality, Natural Sciences, 2011. V.17, No. 11, Moscow, p.9-21.
- 2011-Mosin O.V. Ignatov, I. Structure of Water and Physical Reality, Consciousness and Physical Reality, Natural Science, 2011. V.17, No. 9, Moscow, p.16-31.
- 2011-Ignatov I. Tsvetkova V. "Informationability" of Water, Kirlian (Electric Images) of Different Types of Water, Euromedica, Hanover, 2011. p.62-65.
- 2011-Ignatov, I., Tsvetkova, V., Water for the origin of life and informationability of water, Kirlian (electric images) of different types of water, Euromedica, Hanover, 2011.
- 2012**
- 2012-Игнатов И. Мосин О.В. Эффект Кирлиан в биомедицинской диагностике и изучении биоэнергетических свойств биологических объектов и воды. Биомедицинская радиоэлектроника. 2012. №12. с.13-21.
- 2012-Mosin, O.V, Ignatov, I. Kirlian Effect in Biomedicine Diagnostics and Research of Properties of Biological Objects and water, Biomedical Radio electronics, Biomedical Technologies and Radio electronics, 2012. p.13-21.
- 2012 Игнатов И. Мосин Л.В. Эффект Кирлиан в изучении биоэнергетических свойств воды и биологических объектов. Сознание и физическая реальность. 2012. т.17. №8. с.23-34.+
- 2012-Ignatov I. Mosin O.V. Kirlian Effect for the Study of Properties of Water and Biological Objects, Consciousness and Physical Reality, Bioinformation, 2012. V.17, No. 8, p.23-34.
- 2012-Ignatov I. Mosin O.V. Kirlian Effect for the Study of Properties of Water and Biological Objects, Congress Science, Information, Consciousness, Saint-Petersburg Technical University, 2012. p.150-157.

2012-Mosin, O. V., Ignatov, I., The natural photo-transforming material bacteriorhodopsin derived from halobacterium Halobacterium halobium, №2, Nanomaterials and Nanotechnology, Science and Education, Moscow (2012).

#### **2013**

2013-Игнатов И., Мосин О.В. Цветной коронный (Кирлиановский) спектральный анализ в моделировании неравновесных условий с газовым электрическим разрядом, имитирующих первичную атмосферу. Эксперименты С.Миллера /Интернет-журнал «Науковедение». 2013. №3. с.1-15.

2013-Игнатов Игнат, Мосин О.В. Метод цветного коронного спектрального Кирлиан анализа. Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. №3. с.38-47.

2013-Игнатов И., Мосин О.В. Цветной коронный спектральный анализ Кирлиана в моделировании неравновесных условий с газовым электрическим разрядом, имитирующих первичную атмосферу /Наноинженерия. 2013. №12. с.40-51.

#### **2014**

2014-Игнатов И., Мосин О.В. Цветной коронный спектральный Кирлиан-анализ в моделировании неравновесных условий с газовым электрическим разрядом, имитирующих первичную атмосферу. Нано-и микросистемная техника. 2014. №8. с.8-15.

2014-Игнатов И., Мосин О.В. Изучение газоразрядного свечения биологических объектов и воды методом цветного анализа Кирлиана. Наноинженерия. 2014. №10. с.12-21.

2014-Ignatov I., Mosin O.V. Origin of Life and Living Matter in Primary Atmosphere and Hydrosphere. Modeling of Non-equilibrium Electric Gas Discharge Conditions /Journal of Health, Medicine and Nursing. 2014. V.6. P.25-49.

2014-Игнатов И., Мосин О.В. Цветной коронный спектральный Кирлиан-анализ в моделировании неравновесных условий с газовым электрическим разрядом, имитирующих первичную атмосферу /Биомедицинская радиоэлектроника. 2014. №2. с.42-51.

2014-Ignatov I., Mosin O.V. Kirlian Effect in Modeling of Non-Equilibrium Conditions With the Gas Electric Discharge, Simulating Primary Atmosphere /Nanotechnology Research and Practice. Издательство: Научный издательский дом Исследователь (Сочи)ISSN: 2310-6255. 2014. V.(3). №3. P.127-140.

2014-Ignatov I., Mosin O.V. Coronal Gas Discharge Effect in Modeling of Non-Equilibrium Conditions with Gas Electric Discharge Simulating Primary Atmosphere and Hydrosphere for Origin of Life and Living Matter /Journal of Medicine, Physiology and Biophysics. 2014. V.5. p.47-70.

2014-Ignat Ignatov, Oleg Mosin, Hugo Niggli, Christos Drossinakis, Chavdar Stoyanov. Registration of Electromagnetic Waves Emitted from the Human Body. Journal of Medicine, Physiology and Biophysics. An Open Access Journal, Vol. 5, 2014. p.1-22.

2014-Ignat Ignatov, Oleg Mosin, Chavdar Stoyanov. Biophysical Fields. Color Coronal Spectral Analysis. Registration with Water Spectral Analysis. Biophoton Emission. Journal of Medicine, Physiology and Biophysics. An Open Access Journal, Vol. 6, 2014. p.1-22.+

#### **2015**

2015-Игнатов И., Мосин О.В., Ниггли Х., Дросинакис К., Тыминский Г. Разработка возможных методов и подходов для регистрации электромагнитных полей, испускаемых человеческим телом. Биомедицинская радиоэлектроника. 2015. №2. с.21-38.

2008-Игнатов провел эксперимент по регистрации свечения в различных спектральных диапазонах.

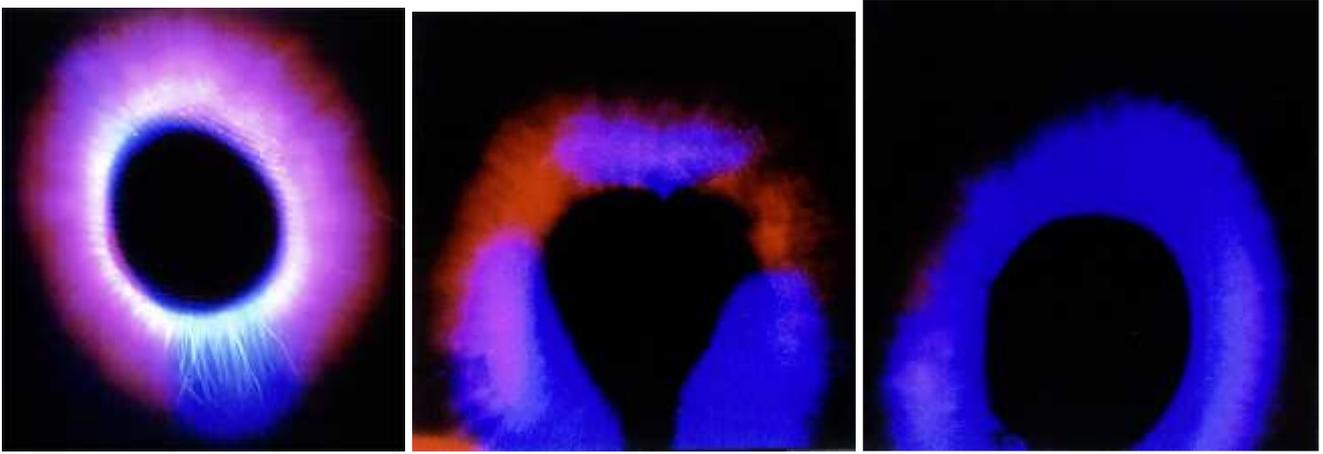


Рис. 1-11-17. Регистрация свечения в видимом диапазоне, в ИК диапазоне и УФ диапазоне.

2002-Бойченко А.П. Яковенко Н.А. Методика получения интегрального спектра излучения слаботоочного лавинного разряда с диэлектриком на электроде. Автотметрия. 2002. т.38, №5. с.113-118.

2010-Бойченко А.П. Савиновских Е.Г. Лазарев, А.В. Фотоэлектронная установка для спектроскопии низкоинтенсивных световых потоков. Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы: XII-я конф. Ульяновск: УлГУ, 2010. с.8-9.

**2004-Мамедов Ю.Э.** Зверев В.А. Применение узкополосных спектральных фильтров в практике ГРВ биоэлектрографии. VIII-й Конгресс по биоэлектрографии. СПб, 2004. с.138-139. Идея использования различных фильтров при съемке ГРВ-грамм всегда была одним из интересных направлений исследования в биоэлектрографии. На основании этого был развит подход, позволяющий разделить информацию о различных аспектах поля человека. За период 2003-2004 года было проведено обследование 548 человек. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили, что выделение частей спектра при помощи оптических фильтров создает дополнительную информацию по сравнению с компьютерной обработкой. Методика, предложенная Мамедовым Ю.Э. легла в основу модифицированного способа регистрации психосоматических нарушений, при котором вместо полимерной пленки устанавливается специальный фильтр.

**2006-Дроздов Д.А.** Короткина С.А. Шацилло О.И. Спектрографический анализ газоразрядного изображения как способ оценки психологической составляющей вегетативного статуса человека. Конф. СПб. 2006. с.9.

**2006-Иванов Илья Петрович, Ульяновск.**

руководитель ИТГ «Солярис», директор Центра «Солярис» при УлГУ, научный сотрудник НИТИ им.С.П.Капицы УлГУ.

**2006-Абдулов И.И.** Алтынбаев Е.В. Бабич А.Ю. Иванов И.П. Котович И.А. Тишкин Э.Ю. Тюрин С.С. Исследование зависимости спектра свечения кирлиан от химического состава объекта и окружающей его газовой атмосферы. Наука. Информация. Сознание. X-й Межд. конгресс по биоэлектрографии. СПб. 2006.+

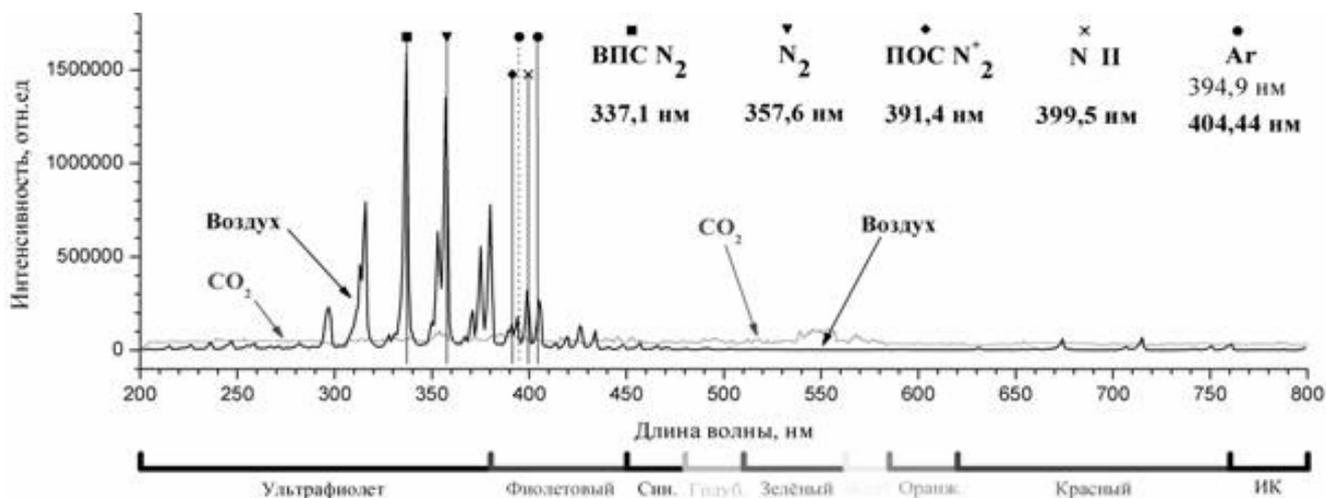


Рис. 1-11-18. Спектр газоразрядного свечения.

Тестовые объекты помещались на лавсановую пленку толщиной 100мкм, которая лежала на электроде. Подавалось биполярное напряжение 5кВ с частотой 1000Гц. Спектры свечения регистрировались модернизированным монохроматором МСД-2. на кафедре оптики и спектроскопии твердого тела УлГУ. Спектры регистрировались в диапазоне 200-800нм. В качестве приемника в монохроматоре использовался ФЭУ модели Н6240-01 фирмы Hamamatsu.

Основная мощность излучения приходится на ультрафиолетовую область спектра в диапазоне 300-400 нм. Следующим диапазоном, в котором присутствует значительная часть газоразрядного свечения, является фиолетово-синяя область 400-450 нм. Отдельные пики в спектре свечения, амплитуда которых сопоставима с фиолетово-синей областью, присутствуют в красной области спектра 630-700 нм.

Зарегистрированы следующие линии: 399,5нм-атомарный азот N, 337,2-молекулярный азот N<sub>2</sub>.

Применение цветных телевизионных камер, нецелесообразно из-за их значительно меньшей чувствительности по сравнению с черно-белыми камерами, а также из-за отсутствия в наблюдаемом фиолетово-синем изображении газоразрядного свечения каких-либо существенных цветовых оттенков.

Для выделения ультрафиолетовой области спектра требуется специальная оптика, а также специальные преобразователи свет/сигнал. В связи с этим представляют практический интерес варианты, предусматривающие трансформацию УФ-части излучения в видимую за счет специальных люминесцирующих покрытий предметного стекла, на которое устанавливается исследуемый объект. Для обеспечения работы системы в различных спектрах такое покрытие должно быть съемным, например, выполненным в виде люминесцирующей полимерной пленки. Простейшим, но достаточно эффективным образом трансформация УФ-света в видимую область может быть получена с использованием обычной тонкой бумажной салфетки. Фотолюминесценция целлюлозы под воздействием газоразрядного свечения, как показали эксперименты, позволяет в 2-2,5 раза повысить яркость получаемого изображения. Одновременно одноразовая салфетка выполняет гигиенические функции, предохраняя стеклянную поверхность от загрязнения руками пациента.

2010-Вильсон Пиклер (Wilson Pickler) бразильский исследователь, проводил регистрацию спектров свечения коронного разряда.

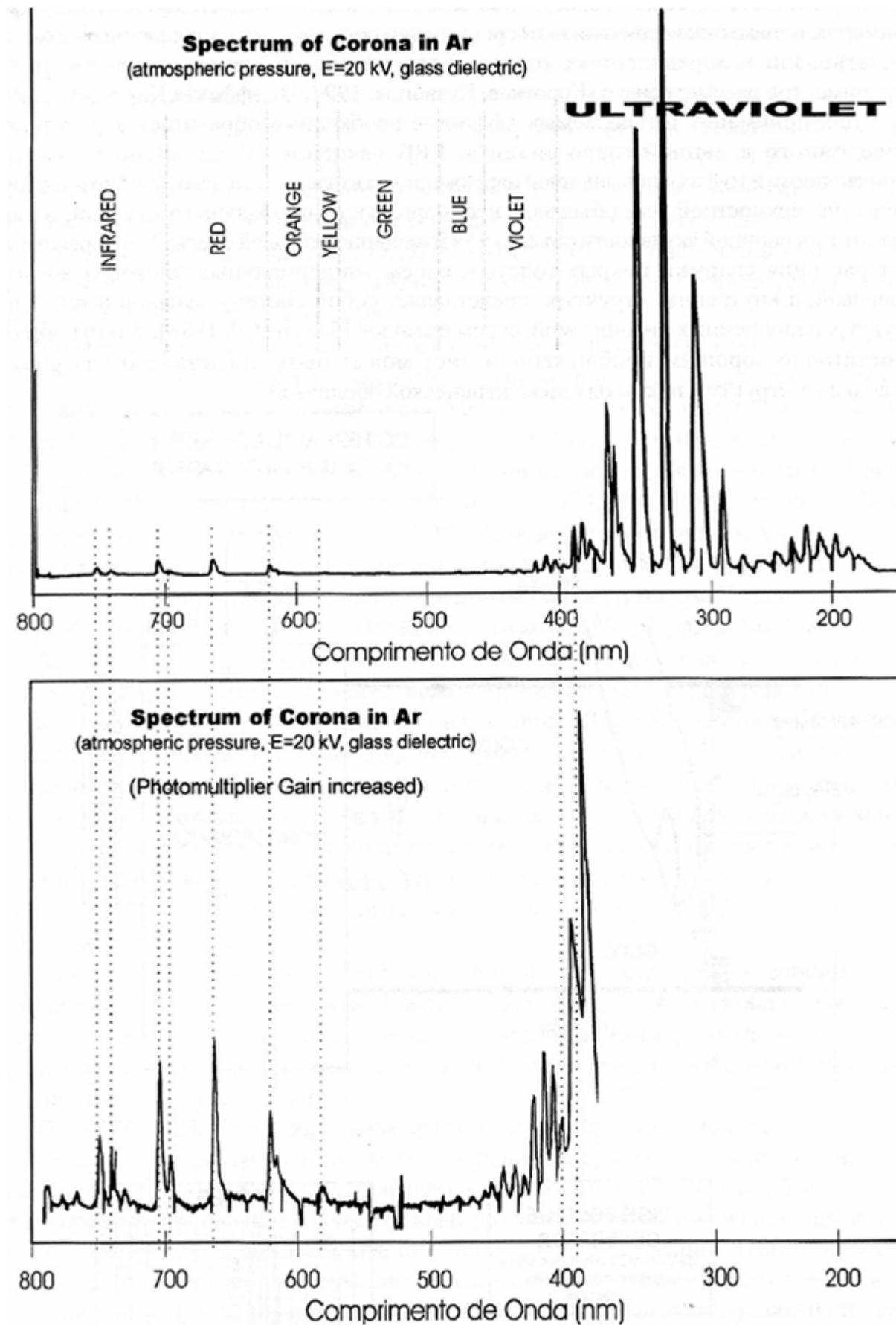


Рис. 1-11-19. Спектр свечения пальцев рук при различном масштабе (по данным Wilson Pickler).

2014-Билинский И.И. Павлюк А.А. Юкиш С.В. (Винница, ВНТУ) Исследование спектров излучения жидкофазных объектов при газоразрядной визуализации. Технологический аудит и резервы производства. 2014. №1/3(17). с.61-61.

Предложен метод определения малых концентраций общей минерализации жидкофазного объекта путем получения спектров излучения при газоразрядной визуализации. Разработана экспериментальная установка для исследования спектров, в которой одновременно исследуются два жидкофазных объекта. Получены спектры излучения растворов солей NaCl, MgSO<sub>4</sub>, KCl, CaCl<sub>2</sub>, FeSO<sub>4</sub>, выявлены характерные спектральные линии для них.

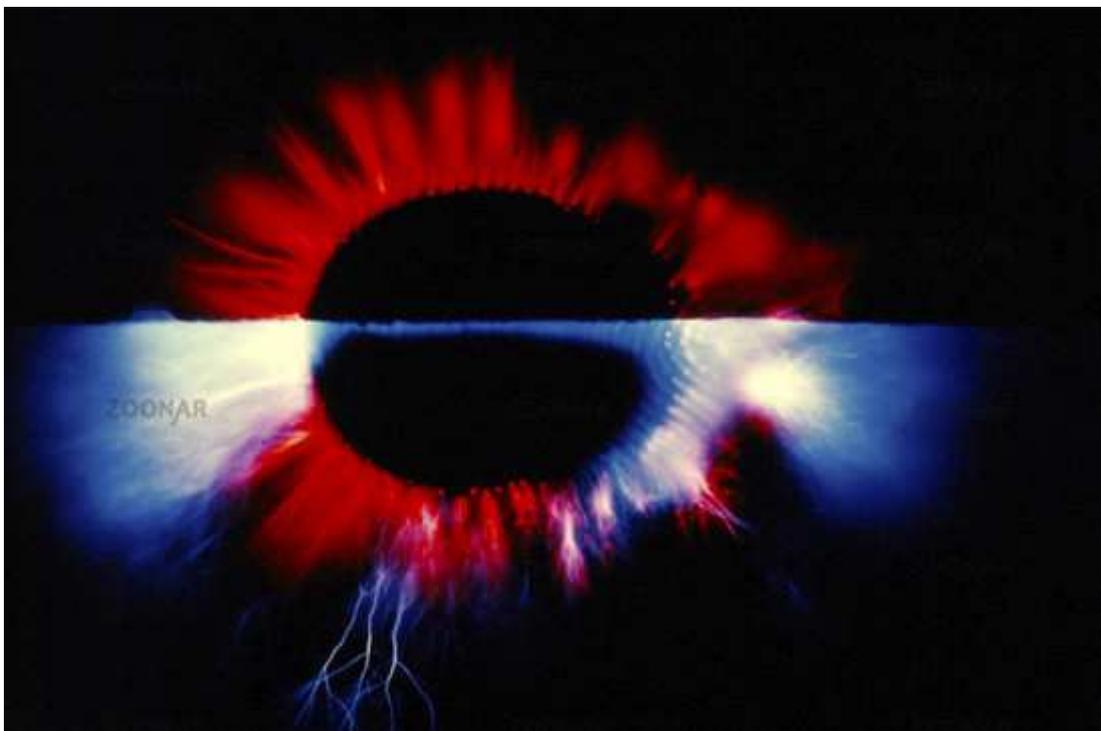


Рис. 1-11-20. Снимок свечения пальца. Регистрация на цветную пленку. Половина кадра закрыта частично светонепроницаемой пленкой, поглощающей синие компоненты света.

**Корнышев Николай Петрович**, НИИ Растр, Великий Новгород.

2004-Корнышев Н.П. Телевизионная визуализация и обработка изображений люминесцирующих объектов в криминалистике, молекулярной биологии и медицине. НовГУ. Новгородский Государственный университет. Великий Новгород. 2004. 230с.

Из литературы известно, что спектральный состав газоразрядного свечения включает в себя видимую и ультрафиолетовую области спектра. По данным, приведенным в работах К.Г. Короткова, основная мощность излучения приходится на ультрафиолетовую область спектра в диапазоне 300–400 нм. Следующим диапазоном, в котором присутствует значительная часть газоразрядного свечения является фиолетово-синяя область 400–450 нм. Отдельные пики в спектре свечения, амплитуда которых сопоставима с фиолетово-синей областью, присутствуют в красной области спектра 630–700 нм. На практике при построении телевизионной системы для визуализации газоразрядного свечения используется обычная стеклянная оптика и черно-белые телевизионные камеры с диапазоном спектральной чувствительности 380–1 000 нм. Применение цветных телевизионных камер, как показали эксперименты, нецелесообразно из-за их значительно меньшей чувствительности по сравнению с черно-белыми камерами, а также из-за отсутствия в наблюдаемом фиолетово-синем изображении газоразрядного свечения каких-либо существенных цветовых оттенков.

Рассмотрим возможные варианты построения телевизионных спектральных систем, в которых обеспечивается выделение характерных для газоразрядного свечения участков спектра, а также некоторые практические результаты, полученные в ходе экспериментальных проверок их работоспособности.

Для выделения ультрафиолетовой области спектра требуется специальная оптика, а также специальные преобразователи свет/сигнал, что создает, с одной стороны, вполне определенные технические сложности, а с другой стороны, существенно увеличивает стоимость системы. В связи с этим представляют практический интерес варианты, предусматривающие трансформацию УФ-части излучения в видимую за счет специальных люминесцирующих покрытий предметного стекла, на которое устанавливается исследуемый объект. Для обеспечения работы системы в различных спектрах такое покрытие должно быть съемным, например, выполненным в виде люминесцирующей полимерной пленки. Простейшим, но достаточно эффективным образом трансформация УФ-света в видимую область может быть получена с использованием обычной тонкой бумажной салфетки. Фотолюминесценция целлюлозы под воздействием газоразрядного свечения, как показали эксперименты, позволяет в 2–2,5 раза повысить яркость получаемого изображения. Одновременно одноразовая салфетка выполняет гигиенические функции, предохраняя стеклянную поверхность от загрязнения руками пациента. Увеличение яркости получаемого изображения газоразрядного свечения за счет вторичной фотолюминесценции покрытий, в частности целлюлозы, позволяет снижать амплитуду воздействующих импульсов до минимальных значений, при которых возможно возникновение газоразрядного свечения, уменьшая тем самым степень воздействия на исследуемый объект.

Для выделения рассмотренных выше участков фиолетово-синего и красного диапазонов спектра газоразрядного свечения могут быть использованы стандартные цветные стекла, устанавливаемые перед приемником люминесценции. Проведенные эксперименты по разделению участков спектра газоразрядного свечения, в частности по выделению красной области спектра, позволяют сделать определенные выводы о различиях в наблюдаемых изображениях. Так, например, сравнение изображений газоразрядного свечения, полученных с использованием светофильтров типа ОС-12, выделяющих оранжево-красную область спектра от 550 нм, и изображений сопоставимой интенсивности, полученных в том же режиме съемки, но с использованием нейтральных светофильтров, показывает на более четкое выявление в первом случае тонких структур, соответствующих стримерам.

Полученный эффект «скелетизации» стримеров, а также подчеркнутости наиболее интенсивно светящихся деталей изображения и подавлении фонового ореола может быть объяснен более широким спектром свечения стримеров, которые выглядят бело-голубыми по сравнению с фиолетово-голубым свечением ионизированного газа вокруг них.

Таким образом, использование телевизионных спектральных методов может быть полезно для выделения характерных особенностей изображения при визуализации газоразрядного свечения.

---

### **1.11.3 Спектральные свойства регистрирующих устройств.**

Материалы находясь в книге 3. Часть 3. Спектроскопия. Параграф 11.2.3 Спектральная чувствительность фотоматериалов.

---

## 1.12 Интерпретация цветного изображения короны свечения.

**Джеймс Ранди** в журнале «А-Я сверхъестественного. 1979. №2» описал интерпретацию цветов при регистрации кирлиановских изображений на цветную пленку. Розовый цвет это любовь и положительные эмоции, ярко-красный это ярость, желтый это интеллектуальная активность.

**Курт Батлер**, врач-диетолог (книга «Руководство по Альтернативной медицине») так же отмечает корреляцию между состоянием здоровья и цветами короны свечения пальцев человека.

**2012-Песоцкая Л.А.** исследовала цвет свечения при регистрации на цветную фотобумагу при изучении измененного состояния сознания. Фотографировали пациентов до и после выхода из наркотического медикаментозного сна. Изменение цвета свечения вокруг короны пальца по мере активации физиологических функций организма.

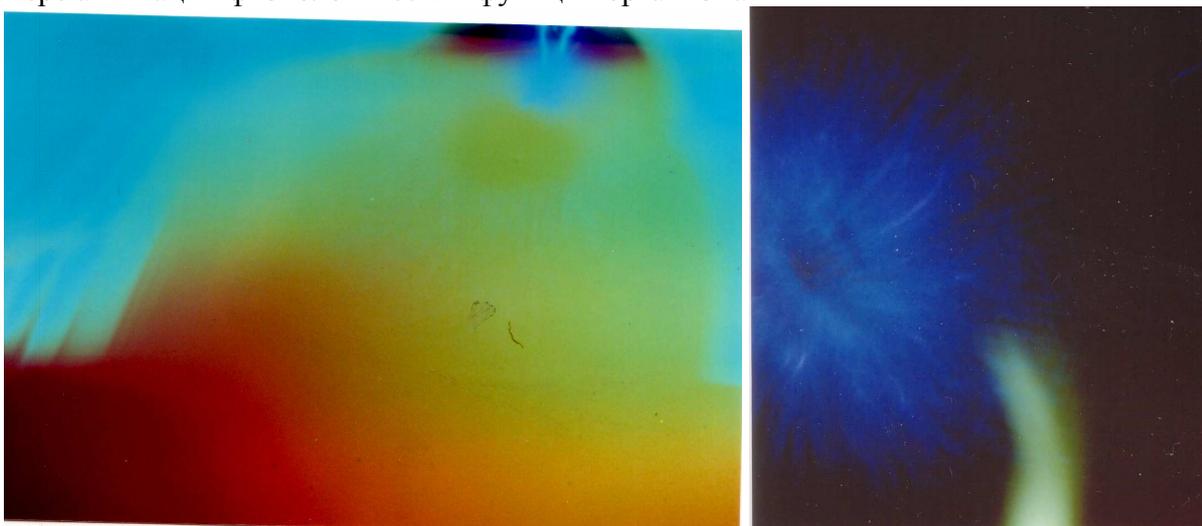


Рис. 1-12-1. Больной Б., свечение 4-го пальца левой руки, зоны эндокринной регуляции и психоэмоциональной сферы.

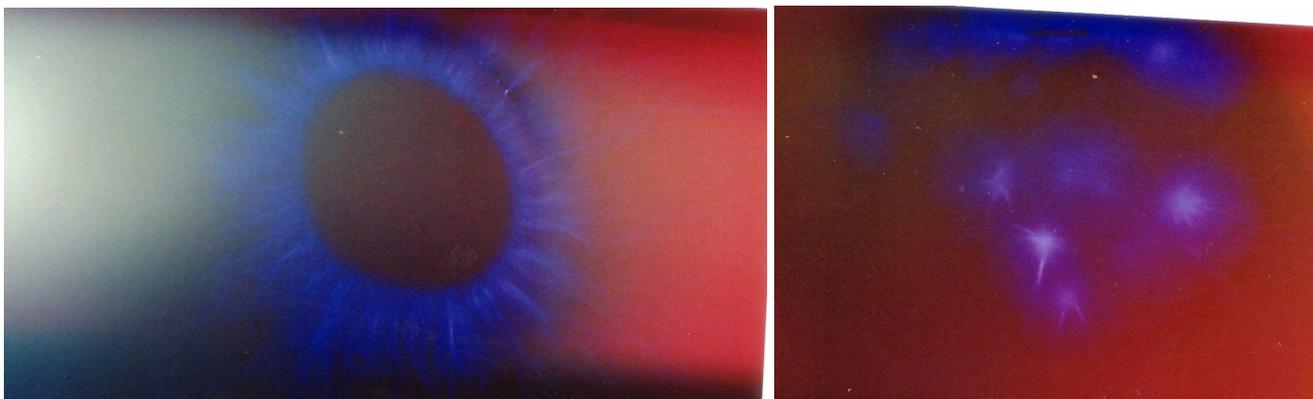


Рис. 1-12-2. Свечение пальцев в состоянии сна и после выхода из сна. Больной Кон. 2 п-сектор толстого кишечника, позвоночного столба. Диагноз: Сч. сигмы. После выхода из состояния медикаментозного сна (возвращение рефлекторной деятельности) появляется реактивный красный цвет и признаки патологии толстого кишечника-отстоящие точки интоксикации.

При кирлиан-обследовании детей с использованием цветного фотоматериала, общим было регистрация излучения вокруг пальцев рук в виде сине-фиолетовой короны, в некоторых случаях с сиреневым оттенком. При нахождении обследуемых лиц в состоянии психоэмоциональной активности вокруг короны излучений наблюдали визуализацию дополнительных излучений энергии разной локализации и цвета. В частности, при обследовании учащихся средней школы во время урока у 2/3 из них дополнительные цвета были преимущественно ярко-оранжевыми и красными.

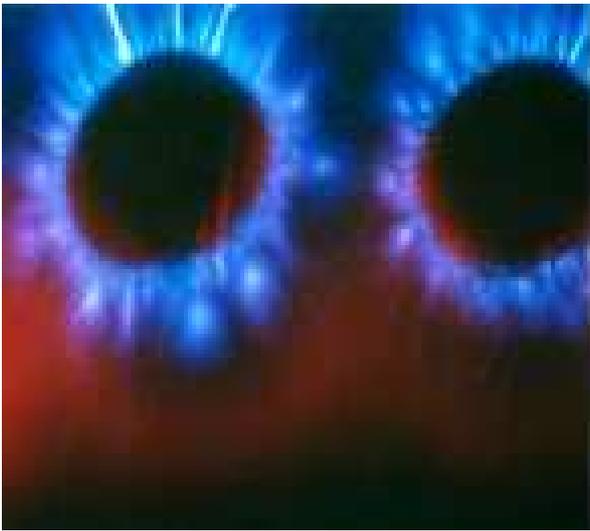


Рис. 1-12-3. При эмоциях в процессы размышления, осмысления услышанного и увиденного, любопытства в короне излучений усиливался синий, «васильковый», белый цвета.

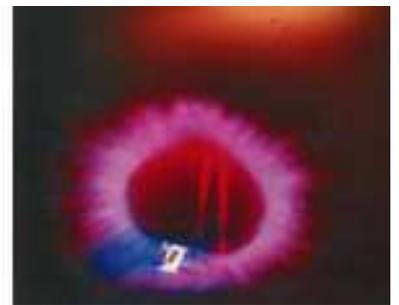
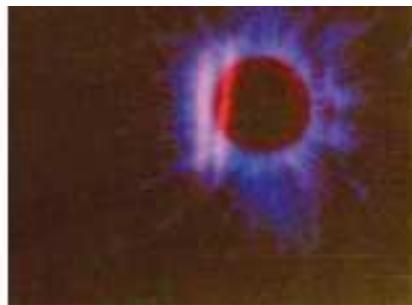


Рис. 1-12-4. Выраженная психоэмоциональная неуравновешенность, непродуктивность учебного процесса в виде конфликтной готовности, крайнего недовольства со вспыльчивостью и агрессивностью у отдельных детей отражалась на кирлианфотографиях «пылающим» свечением, пересеченными красными полосками через всю корону пальца, разрывами стримеров в ней, что соответствовало состоянию стресса.

2008-Песоцкая Л.А., Фадеева Л.В., Боцман Е.И., Кутало Л.Н. Некоторые аспекты визуализации тонкоматериальных структур организма человека методом кирлианографии. с.118.

2009-Л.А. Песоцкая, Д.К. Рукавишникова, А.И. Горовая, В.Н. Лапицкий, Л.В. Фадеева, Л.П. Скрышник, Е.И. Боцман. Оценка психоэмоционального состояния учащихся методом кирлианграфии. Вісник Харківського національного університету №862 (серія «Валеологія: сучасність і майбутнє» Випуск 6. Харків, 2009. с.113-118.+

---

## Глава 2. Разряд в газе при атмосферном давлении.

### 2.1 Различные типы разряда.

1-в вакууме газоразрядного свечения не происходит. Свечение обуславливается ионизацией молекул газовой среды в высокочастотном поле. (Эксперименты в вакууме проводил Соорег Alt).

2-для неживых объектов картина свечения статична, и определяется только свойствами проводимости (объект проводящий или нет) и свойствами поверхности (наличие острых неровностей).

3-для живых объектов картина свечения динамична и определяется прежде всего свойствами выделений веществ в окружающую среду, и в меньшей степени свойствами поверхности.

4-если у сорванного листа свечение сильное (сильное выделение молекул с поверхности) то по мере высыхания листа свечение постепенно пропадает, так как прекращается испарение.

5-особая роль в газообразной среде принадлежит молекулам воды. Они являются поставщиками электронов для процесса лавинного разряда.

Можно выделить следующие типы разрядов:

1-лавинный разряд, который образуется при малых межэлектродных зазорах (менее 1мм) и атмосферном давлении,

2-скользящий, скользяще-искровой, поверхностный, образующийся при скользящем по поверхности диэлектрика разряде.

---

Можно выделить следующие источники электронов (ионов), участвующих в образовании разряда:

-электроны, находящиеся в воздухе, и приповерхностном к коже слое воздуха,

-электроны, вырывающиеся из капель жидкости (пленки жидкости), покрывающей кожу,

-электроны, вырывающиеся с микрокапель влаги, находящейся в воздухе,

-электроны, вырывающиеся с поверхности кожи.

Если подать постоянное напряжение на два параллельных металлических электрода, то между ними возникнет поле, а на поверхности электродов возникнет поверхностных заряд противоположных знаков. Распределение зарядов по поверхности будет равномерная, если поверхность идеально ровная. Если на поверхности имеются неровности, то на вершине неровностей будет скапливаться больше зарядов, и возникнет неоднородность поля. Неоднородность поля будет тем больше, чем меньше радиус скругления возвышенности (острия). Локальное электромагнитное поля резко возрастает вблизи острия (эффект «громоотвода»).

Если между электродами вакуум, то тока в среде не будет, пока напряжение не достигнет величины, достаточной для отрыва электронов и ионов с поверхности электродов. Если между электродами находится газ, то возникнет слабый ток из ионов и свободных электронов, которые всегда имеются в газе. Пространственное распределение тока будет неоднородным. Максимальная плотность тока будет наблюдаться в областях с максимальной концентрацией зарядов, вблизи неоднородностей (возвышенностей) на поверхности электродов.

---

В зависимости от различных параметров возникают различные типв разрядов,

1-Среда. Разряды в газе, в жидкости.

2-Давление. Разряды в газе при атмосферном давлении, при пониженном давлении.

3-Напряжение. Разряды при постоянном напряжении, переменном напряжении, высокочастотный разряд, импульсный разряд.

4-Поле. Однородное (плоские электроды), слабо неоднородное (сфкрические электроды), сильно неоднородное (игла-плоскость).

5-Зазор. Газ (обычный разряд), в зазоре диэлектрик (барьерный разряд)ж.

6-Ток. Малый ток (тлеющий разряд), большой ток (дуга).

---

**Газовый разряд.** Процесс прохождения электрического тока в газовой среде называется газовым разрядом. Электрические разряды в газе подразделяются на несамостоятельные (требующие для своего поддержания внешнего источника ионизации, обеспечивающего появление заряженных частиц) и самостоятельные (развивающиеся только за счет процессов в самом разряде и не требующие внешнего возбуждения).

---

**Искровой разряд** возникает при атмосферном давлении. Расстояние, пробиваемое искрой в воздухе, зависит от напряжения, и обычно составляет 30кВ на 1 сантиметр. Искровой разряд обычно происходит, если мощность источника энергии недостаточна для поддержания стационарного дугового разряда или тлеющего разряда. В этом случае одновременно с резким возрастанием разрядного тока напряжение на разрядном промежутке в течение очень короткого времени (от нескольких микросекунд до нескольких сотен микросекунд) падает ниже напряжения погасания искрового разряда, что приводит к прекращению разряда. Затем разность потенциалов между электродами вновь растёт, достигает напряжения зажигания и процесс повторяется.

Искровой разряд представляет собой пучок ярких, быстро исчезающих или сменяющих друг друга нитевидных, часто сильно разветвлённых полосок, искровых каналов. Эти каналы заполнены плазмой, в состав которой в мощном искровом разряде входят ионы исходного газа. Механизм формирования искровых каналов объясняется стримерной теорией электрического пробоя газов. Согласно этой теории, из электронных лавин, возникающих в электрическом поле разрядного промежутка, при определённых условиях образуются стримеры-тускло светящиеся тонкие разветвлённые каналы, которые содержат ионизированные атомы газа и отщеплённые от них свободные электроны. Среди них можно выделить лидера, слабо светящийся разряд, «прокладывающий» путь для основного разряда. Он, двигаясь от одного электрода к другому, перекрывает разрядный промежуток и соединяет электроды непрерывным проводящим каналом. Затем в обратном направлении по проложенному пути проходит главный разряд, сопровождаемый резким возрастанием силы тока и количества энергии, выделяющегося в них. Каждый канал быстро расширяется, в результате чего на его границах возникает ударная волна.

Искровой разряд это нНестационарная форма электрического разряда, происходящая в газах. Возникает при малой силе тока (до 10 mA) и большом напряжении порядка 1кВ и выше. Температура в главном канале искрового разряда может достигать 10000 °С. Искровой разряд обычно происходит, если мощность источника энергии недостаточна для поддержания стационарного дугового разряда или тлеющего разряда. В этом случае одновременно с резким возрастанием разрядного тока напряжение на разрядном промежутке в течение очень короткого времени (от несколько микросекунд до нескольких сотен микросекунд) падает ниже напряжения погасания искрового разряда, что приводит к прекращению разряда. Расстояние, «пробиваемое» искрой в воздухе, зависит от напряжения и считается равным 10 кВ на 1 сантиметр.

---

**Скользкий искровой разряд**, это особый вид искрового разряда, возникающий вдоль поверхности раздела газа и твёрдого диэлектрика, помещенного между электродами, при условии превышения напряженностью поля пробивной прочности воздуха. Области скользящего искрового разряда, в которых преобладают заряды какого-либо одного знака, индуцируют на поверхности диэлектрика заряды другого знака, вследствие чего искровые каналы стелются по поверхности диэлектрика, образуя при этом так называемые фигуры Лихтенберга.

Практически всегда вектор напряженности электрического поля имеет тангенциальную составляющую, действующую по касательной к поверхности диэлектрика. Действие тангенциальной составляющей поля зависит не только от физической природы и характеристик диэлектрика, но и от состояния поверхности, подвергающейся воздействию электрического поля. На поверхности твердого диэлектрика всегда имеется пленка адсорбированной из воздуха влаги, которая в зависимости от природы диэлектрика является сплошной или прерывистой, толщиной от мономолекулярного слоя и более. Вода в пленке частично диссоциирована, а с

увеличением непрерывности и толщины пленки количество ионов возрастает. Чем больше  $\epsilon$  и  $\lambda_s$  твердого диэлектрика, меньше краевой угол смачивания  $\theta$ , сильнее загрязнена его поверхность ионогенной примесью, выше относительная влажность воздуха и температура, тем толще пленка адсорбированной влаги и тем, следовательно, больше в ней ионов. У стекол, кроме того, часть ионов щелочных металлов, являющихся структурными элементами стекла, переходит в адсорбированную влагу, увеличивая концентрацию заряженных частиц. Таким образом, электропроводность образующейся на поверхности твердого диэлектрика пленки адсорбированной из воздуха влаги является решающим фактором в нарушении однородности электрического поля, в результате чего разрядное напряжение  $U_p$  снижается. Напряжение пробоя в скользящем разряде меньше чем в газовой среде благодаря процессам образования носителей заряда вблизи диэлектриков.

Пространственные области с преобладающими зарядами какого-либо знака индуцируют на поверхности диэлектрика заряд противоположного знака и притягиваются им. Вследствие этого искровые каналы стелются вдоль поверхности диэлектрика. Высокие температуры и давление, которые имеются в искровых каналах, деформируют поверхность диэлектрика и создают на поверхности картину разряда. Эту картину можно сделать видимой путем посыпания поверхности порошком или путем проявления фотопластики.

---

**Кистевой разряд** одна из форм электрического разряда в газах, возникает в случае сильно неоднородного поля при разряде с острия. По характеру элементарных процессов кистевой разряд близок к начальной стадии искрового разряда и отличается от него тем, что пучок искр (кисть), расходящийся от острия, не достигает второго электрода. Эта и ряд других особенностей позволяют рассматривать кистевой разряд как коронный разряд на острие с резко выраженными прерывистыми явлениями. При понижении напряжения кистевой разряд переходит в обычный коронный разряд.

---

**Тлеющий разряд.** Вид стационарного самостоятельного электрического разряда в газах с холодными электродами при токах 0.00001А. Формируется, как правило, при низком давлении газа и малом токе. В нормальном тлеющем разряде напряжение между электродами не зависит от силы тока. Постоянство напряжения горения нормального тлеющего разряда при изменении в широких пределах разрядного тока используется в газоразрядных стабилизаторах напряжения. При токах 0,01А возникает аномальный тлеющий разряд с возрастающей вольтамперной характеристикой. При еще больших токах наблюдается переход от тлеющего разряда к дуговому с падающей вольтамперной характеристикой. Зажигание тлеющего разряда происходит при напряжении  $U_a$ , которое превышает напряжение горения разряда  $U_r$  Для зажигания тлеющего разряда, при низких давлениях газа (десятые и сотые доли миллиметра ртутного столба) необходимо напряжение порядка сотен вольт, а при атмосферном давлении, нужно напряжение порядка десятков киловольт. Типичным примером тлеющего разряда является неоновая лампа. Для целей освещения применяются люминесцентные лампы, в которых разряд происходит в парах ртути, причём вредное для зрения ультрафиолетовое излучение поглощается слоем флюоресцирующего вещества-люминофора, покрывающего изнутри стенки лампы.

---

**Дуговой разряд.** Вид электрического разряда в газе. Возникает он при сравнительно небольших напряжениях, но большой силе тока. При увеличении напряжения между двумя электродами до определённого уровня в воздухе между электродами возникает электрический пробой. Напряжение электрического пробоя зависит от расстояния между электродами и других факторов. Процесс приводит к образованию плазмы между электродами и горению дуги. Возникающая дуга является, по сути, проводником и замыкает электрическую цепь между электродами. В результате средний ток увеличивается ещё больше, нагревая дугу до 8.000–90.000°C. Взаимодействие электродов с плазмой дуги приводит к их нагреву, частичному расплавлению, испарению, окислению и другим видам коррозии. После поджига дуга может оставаться устойчивой при разведении электрических контактов до некоторого расстояния. Применение – сварка.

---

**Факельный разряд** это особый вид одноэлектродного высокочастотного разряда. Он возникает при повышении тока и частоты более 1МГц в коронном разряде или при удалении, например, одного из электродов высокочастотной дуги. При давлениях, близких к атмосферному или более высоких, факельный разряд имеет форму пламени свечи. С понижением давления факельный разряд постепенно утрачивает свою первоначальную форму, превращаясь в разряд с равномерным диффузным свечением. Как и коронный разряд, факельный разряд наиболее легко возникает на электродах с большой кривизной, на остриях, тонких проволоках и т.п.

---

**Высокочастотный разряд.** Обычно рассматривается диапазон частот 1...100МГц. Чаще всего употребляется частота  $f=13,56$ МГц. Различают высокочастотные разряды в присутствии электродов в разрядной области и в отсутствие их. Кроме того высокочастотные разряды делятся по способу возбуждения ВЧ поля в разрядном объеме на емкостные и индуктивные.

---

**Импульсный разряд.** Электрический разряд в диэлектриках или газах, вызванный мощным импульсом напряжения, длительность которого сравнима или меньше, чем характерное время установления стационарного режима горения.

---

**Безэлектродный разряд.** Вид высокочастотного, газового разряда, возникающий в присутствии высокочастотного электромагнитного поля или импульсного разряда наблюдающийся в отсутствие каких-либо электродов в разрядной области.

---

**Коронный разряд** это характерная форма самостоятельного газового разряда, возникающего в резко неоднородных полях. Главной особенностью этого разряда является то, что ионизационные процессы происходят не по всей длине промежутка, а только в небольшой его части вблизи электрода с малым радиусом кривизны (так называемого коронирующего электрода). Возникновение коронного разряда не означает пробоя промежутка, так как разрядная зона занимает только малую часть промежутка. В резко-неоднородном поле (на острие) возникает состояние, когда стримеры достигают противоположного электрода, но пробоя не происходит так как не происходит переход в искру. Для образования искры требуется повышение напряжения, чтобы хотя бы один из стримерных каналов превратился в искровой.

-В случае резко-неоднородного поля (острие) напряжение зажигания коронного разряда существенно ниже напряжения искрового пробоя.

-Коронный разряд состоит из двух областей. Зона ионизационных процессов (корона), находящаяся в непосредственной близости от коронирующего электрода, и зона без ионизационных процессов (внешняя зона коронного разряда).

-В зависимости от интенсивности разряда корона может быть видимой (при сильном разряде) или невидимой (при слабом разряде).

Название «коронный разряд» было предложено Штейнметцем, так как разряд напоминает корону. Пример коронного разряда: искрение на проводах высоковольтных линий.

1947-Капцов Н.А. Коронный разряд и его применение в электрофильтрах. М. Л. 1947.

1965-Loeb Leonard B., Electrical coronas. Their basic physical mechanisms, Berk.-Los Angeles, 1965;

1971-Емельянов Н.П. Козлов В.С. Коронный разряд на проводах. Минск. Наука и техника. 1971. 239с.+

Обратный коронный разряд

2002-Веремьев К.Н., Веремьев Н.К., Шеманин В.Г., Юров Ю.Л. // В Сб. Физика экстремальных состояний вещества -2002. Черноголовка. 2002. с.123

1999-Высоковольтные электротехнологии // Под ред. И.П. Верещагина. М., МЭИ 1999. 324с.+

---

**2002-Токарев А.В.** Киргизия, Бишкек, Кыргызско-Российский славянский университет. Кафедра физики и микроэлектроники.

2002-Ашмарин Г.В. Ким К.С. Токарев А.В. О физических механизмах горения линейного коронного факельного разряда. Вестник КРСУ. 2002. т.2. №2. с.47-52.

2002-Токарев А.В. Обнаружение мест дефектов и порывов проволок стальных канатов /Вестник КРСУ, 2002. т.2. №4. с.120-123.

2009-Токарев А.В. Коронный разряд и его применение. Бишкек. 2009. 138с.+  
-----

2005-Уваров В.В. Точка опоры. <http://grani.agni-age.net/articles5/uvarov1.htm>

Существует отличие коронного разряда при методе Кирлиан от обычного коронного разряда. При обычном коронном разряде за счет образования лавины происходит пробой газа. Возникает большой ток, образуется горячая плазма. При методе Кирлиан не происходит пробоя, ток маленький, и образуется холодная плазма. При моноимпульсном возбуждении образуется плазма объемом 23мл, что составляет  $6 \times 10^{21}$  степени молекул. Энергии одного импульса не хватит для возбуждения такого количества молекул. Для нейтральных газов (например, азот N<sub>2</sub>) потенциал ионизации зависит от частоты. В этом случае можно при малых энергетических затратах преобразовать молекулярный азот в молекулярную плазму, причем без разрушения молекул азота.  
-----

## 2.2 Зависимость типа разряда от напряжения.

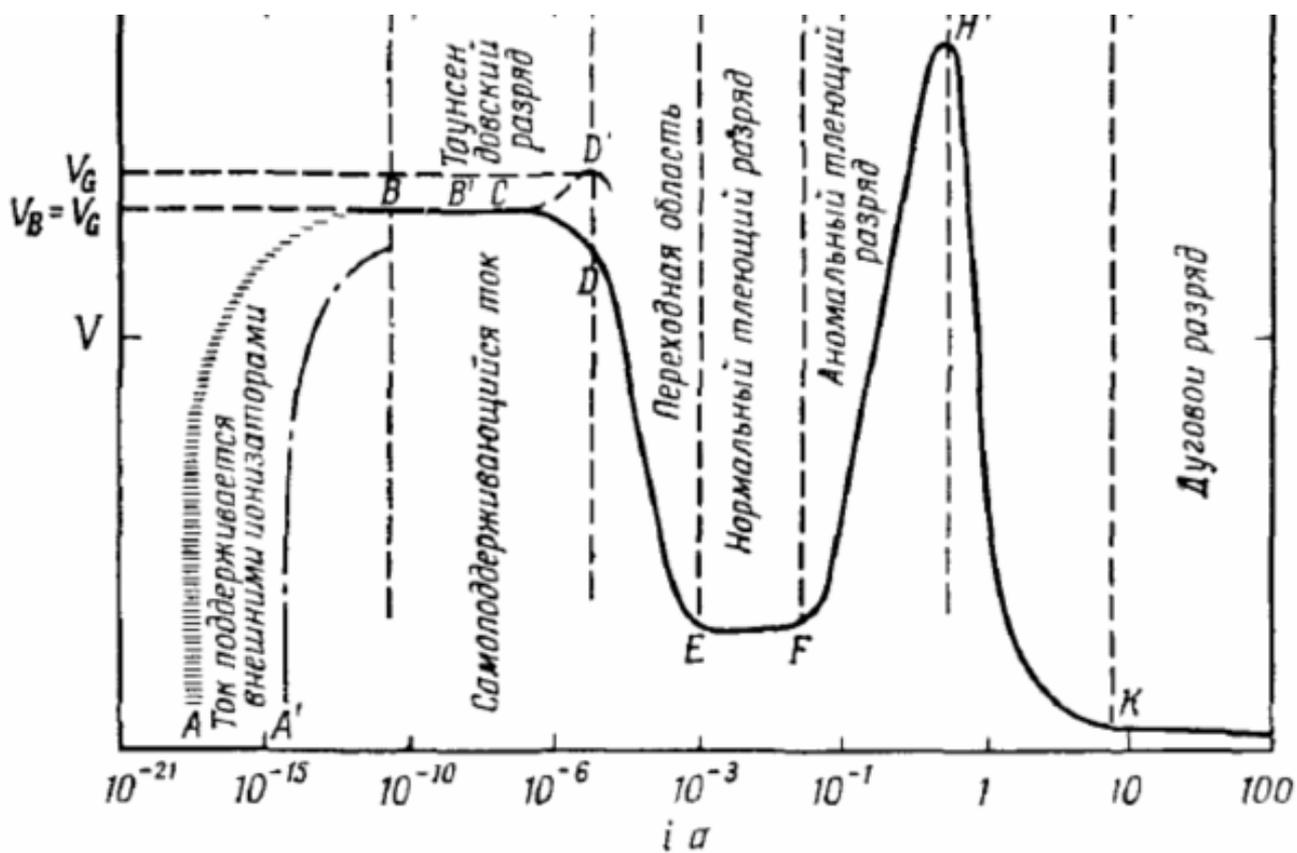
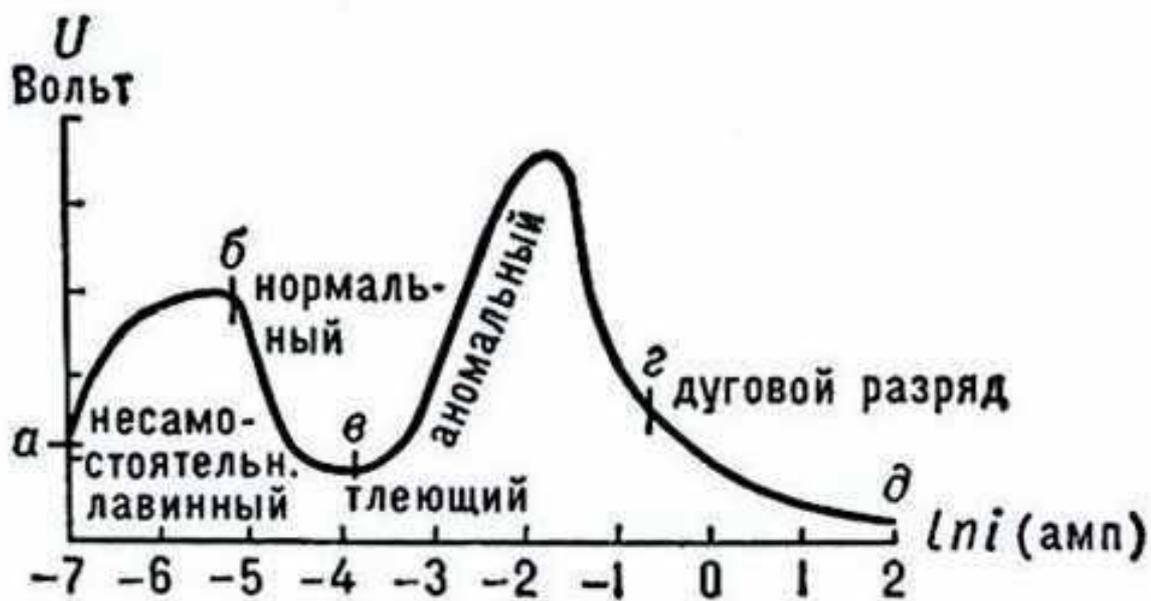


Рис. 2-2-1. Вольт-амперная характеристика разряда.

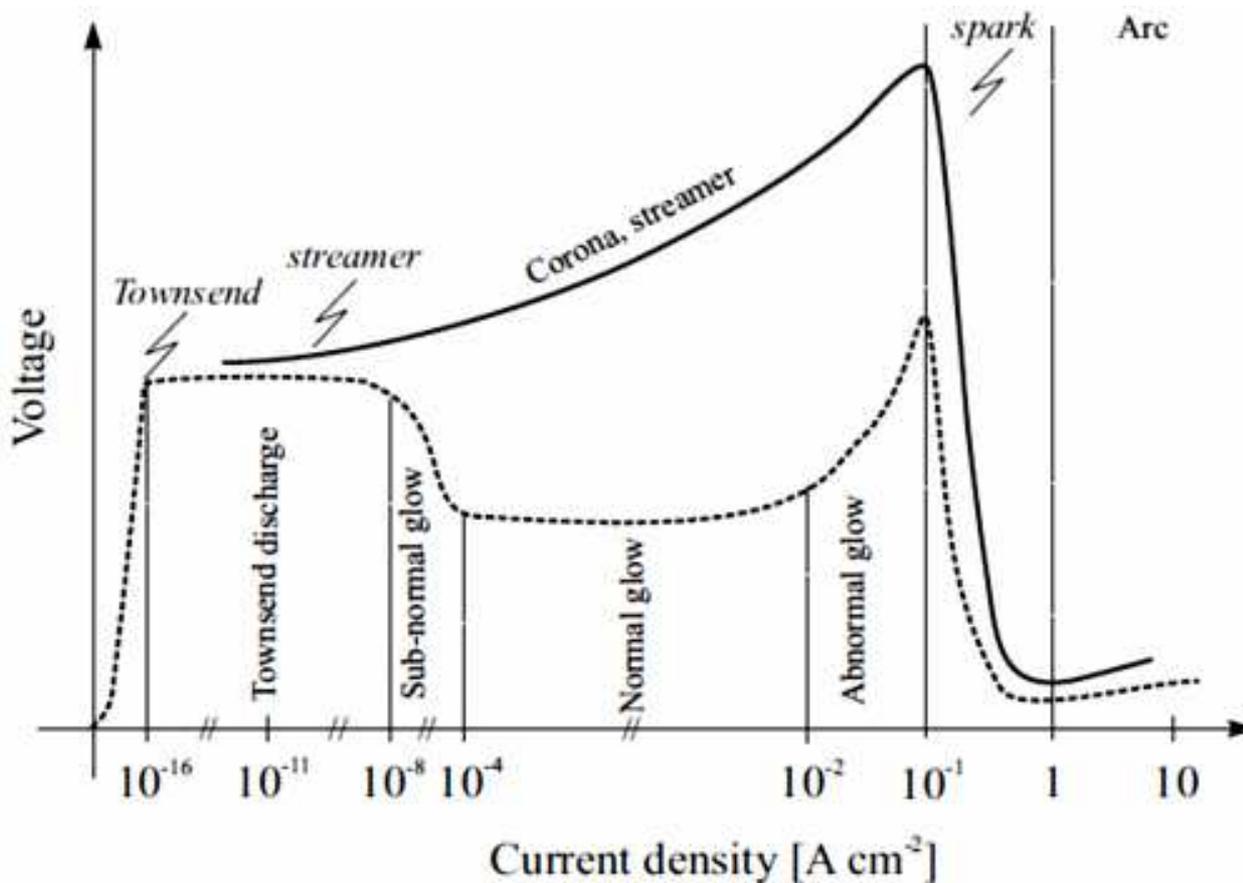


Рис. 2-2-2. Вольт амперная характеристика газового разряда при атмосферном давлении (сплошная кривая) и при низком давлении (пунктирная кривая).  
 1953-J.M. Meek and J.D. Craggs, "Electrical breakdown of gases", Clarendon Press, (1953).  
 2005-K.H. Becker, U. Kogelschatz, K.H. Schoenbach, R.J. Baker, "Non-equilibrium Air Plasmas at Atmospheric Pressure", Series in Plasma Physics-Institute of Physics Publishing, (2005).

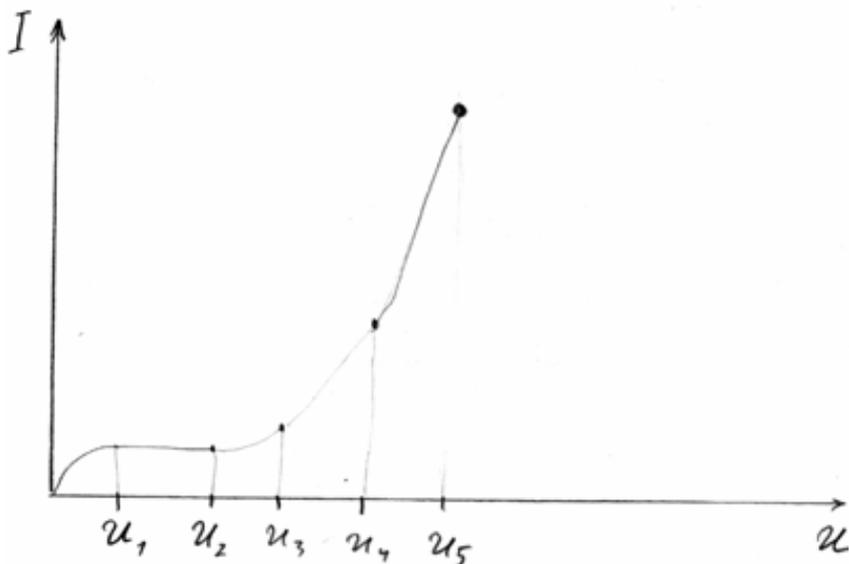


Рис. 2-2-3. Различные типы разряда в зависимости от напряжения.  
 U1-достигнуто насыщение тока свободных электронов,  
 U2-свободные электроны разгоняются до энергии, достаточной для ионизации молекул, возникновение лавин,  
 U3-возникновение стримеров,  
 U4-искровой пробой,  
 U5-дуговой разряд.

### 2.2.1 Начальный режим нарастания тока.

Необходимо отметить, что ток в газе всегда двунаправленный. В сторону анода (+) двигаются анионы (электроны и ионы с отрицательным зарядом). В сторону катода (-) двигаются катионы (ионы с положительным зарядом).

При малом анодном напряжении (участок 1) не все образовавшиеся носители достигают электродов. Поэтому по мере увеличения напряжения ток будет увеличиваться, пока не достигнет насыщения (участок 2, **тлеющий разряд**), определяемого тем, что на электроды попадают почти все образовавшиеся в трубке заряды. С дальнейшим увеличением напряжения разряд переходит в режим газового усиления, характеризующегося образованием электронных лавин (участок 3). Участок 4 соответствует переходу к самостоятельному разряду, область скачкообразного возрастания плотности тока. Происходит пробой межэлектродного промежутка, который характеризуется сильным возрастанием плотности тока.

---

### 2.2.2 Режим насыщения, $U > U_1$ .

1-При низком напряжении слабый ток есть, а свечения нет. Между двумя электродами возникает очень слабый ток, так как в воздухе всегда присутствуют (в малой концентрации) свободные электроны и ионы (ионизованные молекулы). При повышении напряжения величина тока не изменяется, так как она зависит только от концентрации свободных электронов и ионов в воздухе.

---

### 2.2.3 Режим возбуждения молекул воздуха, $U > U_2$ .

При повышении напряжения возникает момент, когда электроны на длине свободного пробега набирают энергию, достаточную для ионизации молекул газа. Обозначим  $U_1$  напряжение возникновения свечения (ионизации, коронного разряда). При дальнейшем повышении напряжения возрастает количество электронов, которые ионизируют молекулы и возрастает свечение. Интенсивность свечения (количество ионизованных молекул воздуха) возрастает с увеличением напряжения. Ток при этом не возрастает, так как определяется только количеством свободных электронов.

Под действием поля (приложенного напряжения) электроны ускоряются и начинают движение по направлению силовых линий. При движении электрона происходит столкновение с молекулами газа. Введем следующие обозначения:  $E_e$ -энергия электрона,  $E_v$ -энергия возбуждения молекулы воздуха,  $E_i$ -энергия ионизации молекулы воздуха,  $E_v < E_i$ .

Рассчитаем среднюю энергию электрона при соударении с молекулами. Исходные данные следующие.

-Как известно, 1эВ означает такую энергию, которую получает электрон, проходящий в электрическом поле с разностью потенциалов равной 1 вольту.

-Длина свободного пробега электрона в воздухе равна 1мкм.

-Дрейфовая скорость электрона  $10^7$  см/сек при напряженности поля 30кв/см.

-в свободном виде (в газе при атмосферном давлении) электрон существует  $10^{-7}$  секунд.

-Величина подаваемого напряжения 10кВ.

-Предположим, что величина расстояния между поверхностью пальца и электродом 1мм.

-Значит электрон за время пролета получает энергию  $E = (10000\text{в}/1000\text{мкм}) = 10\text{эв}$ .

Этой энергии не достаточно для ионизации молекул воздуха, но достаточно для возбуждения молекул воздуха.

100эВ (миллион градусов) это высокотемпературная плазма.

10эВ это низкотемпературная плазма.

От 2 до 20 эВ это потенциал ионизации и диссоциации атомов и молекул.

Энергия ионизации различных молекул воздуха:  
 NO-9,3эВ, NO<sub>2</sub>-9,8эВ, C<sub>2</sub>-11,9эВ, O<sub>2</sub>-12,1эВ, O-12,5эВ, H<sub>2</sub>O-12,6эВ, CO<sub>2</sub>-13,8эВ, CO-14,0эВ, N-14,5эВ, N<sub>2</sub>-15,6эВ, H<sub>2</sub>-15,4эВ.

Энергия 1эВ соответствует энергии связи иона с молекулой воды. Молекулы воды образуют гидратную оболочку вокруг ионов. В этом случае при присоединении молекулы воды к иону выделяется энергия 1эВ, что соответствует красной области спектра.

Разность потенциалов между молекулярным кислородом, являющимся акцептором, и молекулярным водородом, являющимся донором, составляет 1,23 вольта, а выделяемая энергия 1,23 эВ на 1 перенесенный электрон.

Существует некоторое распределение электронов по скоростям. Всегда имеются более быстрые и более медленные электроны. В связи с этим, в атмосфере азота при средней энергии электрона 2эВ уже наблюдается ионизация газа.

Из приведенных данных следует, что при повышении напряжения и при повышении энергии свободных электронов вначале происходит диссоциация молекул воды и кислорода.

Молекула или атом	Энергия в эВ		
	Диссоциации	Возбуждения	Ионизации
O <sub>2</sub>	5,17	7,9	12,1
N <sub>2</sub>	9,81	8,18	15,6
H <sub>2</sub>	4,51	11,5	15,44
CO <sub>2</sub>	7,78	10,0	13,8
H <sub>2</sub> O	4,77	7,6	13,6
H		10,2	13,6
H <sub>e</sub>		20,9 (19,8)	24,6
N <sub>e</sub>		16,58 (16,53)	21,6
O		8,1	13,6
X <sub>e</sub>		8,39 (8,28)	12,1

Рис. 2-2-4. Энергия диссоциации молекул, энергия возбуждения первых энергетических уровней и энергия ионизации для некоторых газов.

-----

Потенциал ионизации для различных компонент атмосферного воздуха:

Газ	Потенциал ионизации (В)	Газ	Потенциал ионизации (В)
Ar	15,8	SO <sub>2</sub>	13,1
N <sub>2</sub>	15,6	H <sub>2</sub> O	12,6
H <sub>2</sub>	15,4	O <sub>2</sub>	12,5
CO <sub>2</sub>	14,4	NO <sub>2</sub>	11,0
CO	14,1	NO	9,5

Из анализа таблицы следует, что ионы в атмосферном газе преимущественно состоят из ионов O<sub>2</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>+</sup>, NO<sup>+</sup>, или также из ионов H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> или O<sub>2</sub><sup>-</sup>, N<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sup>-</sup>. Положительный ион H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, который называется оксоний (oxonium-Ion), возникает в результате присоединения протона H<sup>+</sup> к молекуле водяного пара (H<sub>2</sub>O + H<sup>+</sup> => H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>).

Легкие ионы при атмосферных условиях представляют собой молекулярные смеси. Ионизированными центральными молекулами этих смесей могут быть H<sub>3</sub>O (H<sub>2</sub>O), O<sub>2</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-ионы, соответственно O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO-ионы, на которых ограниченное число других молекул воздуха-преимущественно H<sub>2</sub>O, а также N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, и молекул CO<sub>2</sub>-, быстро сменяясь, временно напластовывается. На отрицательных легких ионах количество напластовавшихся молекул всегда меньше, чем на положительных легких ионах.

Для атома водорода имеются следующие энергии (спектральные линии):

- 13,6эВ-серия Лаймана,
- 3,4эВ-серия Бальмера, 397нм, 410нм, 434нм, 486нм, 656нм.
- 1,5эВ-серия Пашена.

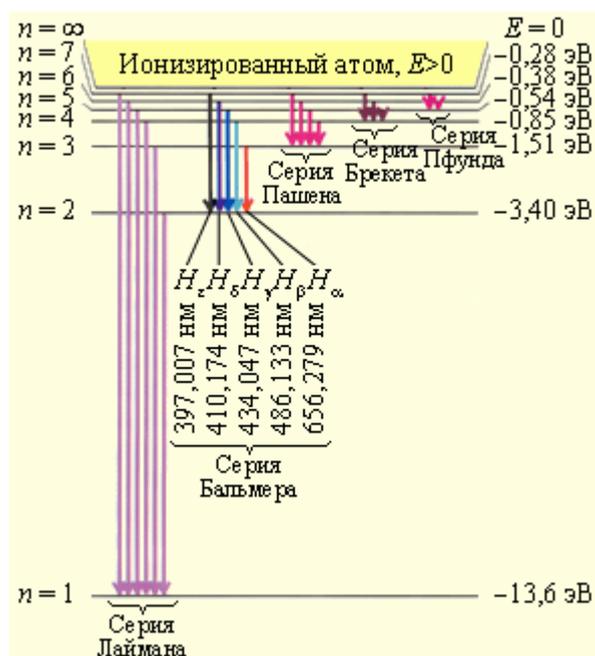


Рис. 2-2-5. Энергетические уровни атома водорода.

Энергия фотона при переходе из возбужденного состояния в основное для молекул O<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> составляет 5эВ, что соответствует ультрафиолетовому излучению. Величина напряжения пробоя воздуха составляет 30кВ на 1см.

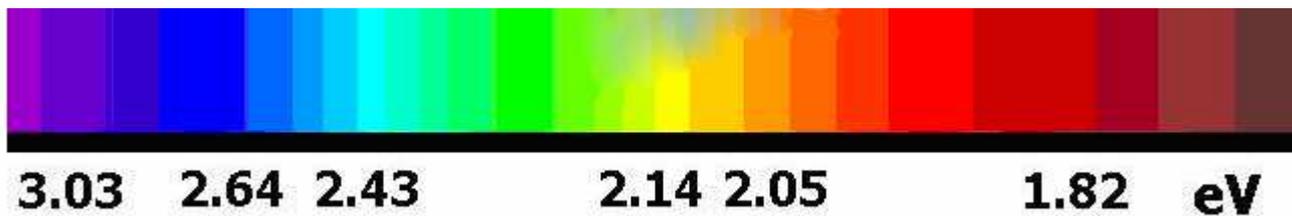


Рис. 2-2-6. Длина волны для фотонов с различной энергией.

Рассмотрим процессы столкновения летящего электрона с различными молекулами, происходящие в газе.

1-Столкновение свободного электрона с нейтральной молекулой газа.

а- $E_e < E_v$ , электрон не успел разогнаться, обладает малой энергией. В этом случае он просто отскакивает без потери энергии и продолжает разгоняться.

При столкновении электронов с нейтральным атомом или молекулой возможен захват электрона с образованием отрицательного иона.

**-Электроотрицательные газы.** Газы, в которых возможно образование отрицательных ионов, называются электроотрицательными (кислород O<sub>2</sub>, хлор, пары воды, SF<sub>6</sub>). У этих газов на внешней оболочке имеется вакансия, которую может занять свободный электрон. При присоединении электрона (образование отрицательного иона) происходит выделение энергии, так как энергия возникшего иона меньше чем энергия частиц до взаимодействия. Энергия, необходимая для отрыва электрона от отрицательного иона называется сродством атома или молекулы к электрону. Энергия сродства с электроном для разных газов: O<sub>2</sub>-0,4эВ, H-0,7эВ, O-1,4эВ, C-3,6эВ.

**-Электроположительные газы.** Газы, в которых отрицательные ионы не образуются, называются электроположительными (азот, водород, гелий).

При столкновении электрона с нейтральной молекулой газа может произойти диссоциация молекулы (распад на два атома). Энергия диссоциации для некоторых газов: O<sub>2</sub>-5,17эВ, N<sub>2</sub>-9,77эВ.

б- $E_v < E_e < E_i$ , электрон набрал энергии, достаточной для возбуждения молекулы воздуха. В этом случае его энергия переходит к электрону молекулы, который перескакивает на более высокую орбиту, происходит возбуждение молекулы. Исходный электрон теряет часть энергии, и после столкновения продолжает разгоняться. Происходит реакция  $e + M = Mv + e$  (где Mv-возбужденная молекула). Возбужденная молекула через короткое время переходит в основное состояние с испусканием фотона, который видно как свечение разряда. Под действием фотона может произойти ионизация другой молекулы (фотонная ионизация).

в- $E_i < E_e$ , электрон набрал много энергии. В этом случае при столкновении и молекулой газа происходит ионизация молекулы. Выбивается один электрон из молекулы. В результате столкновения образуется два электрона и положительный ион молекулы газа. Происходит реакция  $e + M = M_i + e + e$  (где M<sub>i</sub>-ионизованная молекула). Теперь два электрона разгоняются и вышибают еще два электрона. Образуется четыре электрона. Происходит образование лавины. Электронная лавина это экспоненциальный рост количества носителей заряда в промежутке от катода к аноду за счет ударной ионизации молекул электронами.

г-Если электрон обладает еще большей энергией, то при соударении с молекулой воздуха (молекула азота) происходит распад молекулы на два атома.

2-Столкновение свободного электрона с возбужденной молекулой газа

Возбужденная молекула переходит в более высокое возбужденное состояние (если энергия электрона мала), или ионизуется, при достаточной энергии электрона (ступенчатая ионизация).



3-Столкновение свободного электрона с ионом.

Реакция рекомбинации, захват ионом свободного электрона. В этом случае освобождается энергия, равная сумме энергии связи электрона в атоме и кинетической энергии электрона. Так как электроны летят с различной скоростью, то получается не линейный спектр, а сплошной спектр излучения в видимой области. В процессе рекомбинации свободный электрон может сразу перейти на основной уровень, или последовательно с внешней оболочки перейти на первую внутреннюю, и т.д. Каждому такому переходу соответствует своя спектральная линия.

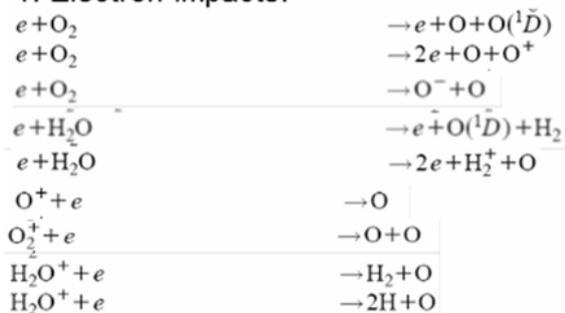
4-Столкновение ионов.

При столкновении ионы обмениваются энергией, и может произойти ионизация одного из ионов с потерей электрона.

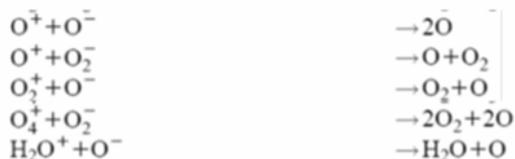


Различные реакции, происходящие в воздухе при газовом разряде:

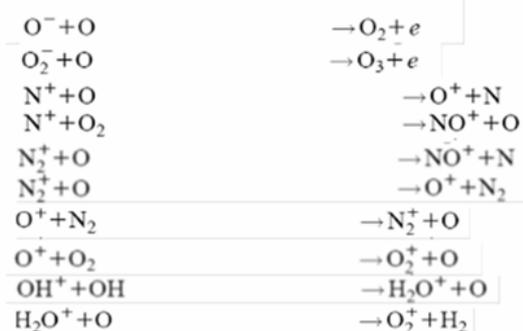
#### 1. Electron impacts:



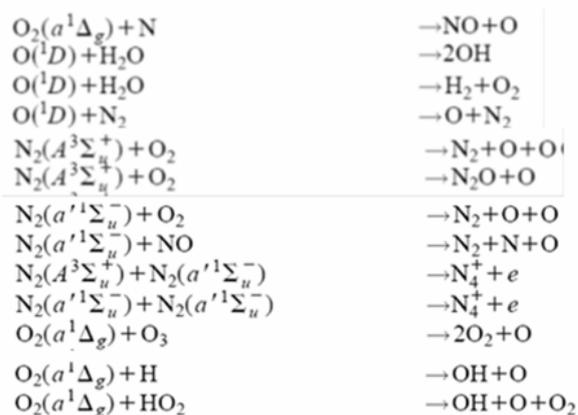
#### 2. Ion-ion Recombinations:



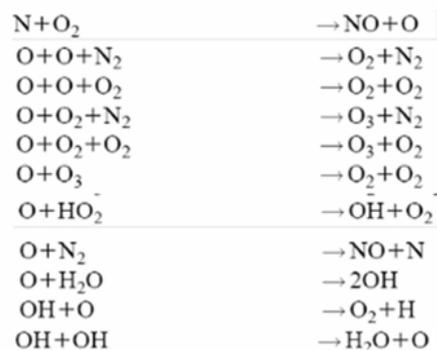
#### 3. Detachment and ion conversions



#### 4. Reactions involving excited species:



#### 5. Reactions involving radicals with background gas:



Вклад различных реакций в общий процесс излучения можно оценить на основе анализа пиков излучения, какие пики имеют максимальную интенсивность.

#### Автоэлектронная эмиссия из металлов.

Автоэлектронная эмиссия возникает в очень сильных электрических полях. Под действием электрического поля происходит искажение (наклон) энергетических уровней и электрон может непосредственно без изменения собственной энергии выйти за пределы металла путем тунелирования. При этом чем сильнее поле, тем меньше ширина потенциального поля, и тем большее число электронов может просачиваться через этот барьер.

Энергия для выхода электрона из металла в вакуум для алюминия 4.25 эВ, для железа составляет 4.31 эВ, для меди 4.39 эВ.

---

### Скорость и направление движения свободных электронов.

При наличии в газовой среде свободных электронов (при отсутствии внешнего поля) распределение скоростей по всем направлениям равномерное. Распределение свободных электронов по скоростям скорее всего аналогично распределению скорости молекул по скоростям и является распределением Максвелла. В этом случае мало быстрых и медленных электронов, а большинство электронов имеют некоторую среднюю скорость движения.

При появлении внешнего поля электроны начинают двигаться с ускорением. Часть электронов, которые двигались навстречу полю, начинают замедляться, а часть электронов, которые двигались по направлению поля, начинают ускоряться.

---

### Структура легких атмосферных ионов.

При ионизации газа возникают плотные скопления молекул. Молекулы кратковременно присоединяются к положительно или отрицательно ионизированной центральной молекуле и в результате процессов соударений постоянно заменяются другими молекулами. Количество молекул, которое в каждый момент времени принимает участие в процессе обмена, составляет для положительных ионов максимум двенадцать, а для отрицательных ионов максимум пять.

За счет водородных связей, которые, могут возникнуть между молекулами водяного пара, среднее время пребывания молекулы водяного пара в составе легкого иона составляет от  $10^{-6}$  сек до  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  сек. Для случая особенно стабильных комплексов  $H_3O^+(H_2O)_n$  время пребывания молекулы водяного пара в системе иона, по всей вероятности равно времени жизни иона.

Если провести исследование возможных геометрических форм таких плотноупакованных молекулярных сгустков, то окажется, как это уже показал Ланжевен, что положительные и отрицательные ионы будут иметь две существенно различные структуры.

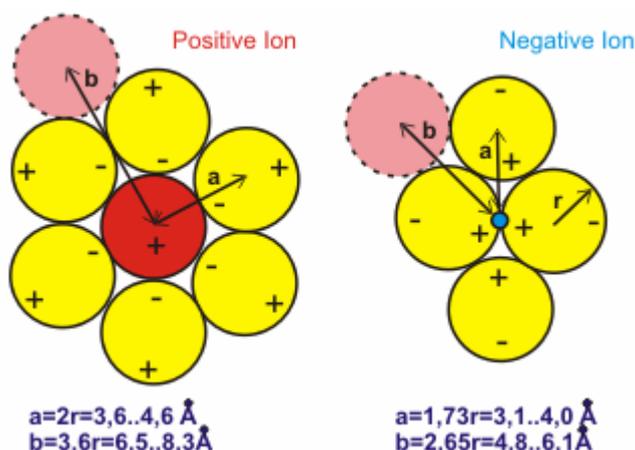


Рис. 2-2-7. Структура легких атмосферных ионов.

Для случая положительного иона (положительный) заряд находится в центре принадлежащего иону атома. Около такого атома или молекулы могут расположиться со всех сторон в виде мономолекулярного слоя, как максимум, около 12 нейтральных мономолекулярных поляризуемых молекул. Расстояние  $a$  (предполагая шаровидную форму) расположившихся молекул от центра центральной молекулы при этом будет составлять от 3,6 до 4,6 А. Вместе с центральной ионизированной молекулой это как раз и составит 13 молекул на один ион.

Таким же образом можно рассмотреть также и отрицательные ионы. Здесь носитель отрицательного заряда-электрон, находится на оболочке атома (т.е. на периферии), входящего в состав иона. Около такого атома (или молекулы) может прежде всего разместиться один, а затем следующие 5 молекул и при том оказаться в непосредственном соприкосновении с ионизированной молекулой. Это в итоге дает 7 молекул на один ион. Расстояния, которые при этом образуются между отрицательным зарядом и центрами присоединившихся молекул будут составлять не более 4,0 А.

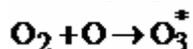
Если принять, что только одна десятая молекул с достаточной кинетической энергией в процессе соударений с ионом будет способствовать обмену молекул, то для молекул O<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> среднее время пребывания в составе иона будет порядка 0,01 мкс, а для молекул H<sub>2</sub>O среднее время пребывания в составе иона окажется равным примерно 3 мкс.

---

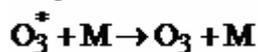
### **Образование озона.**

2011-Андреев В.В., Васильева Л.А. (Чувашский государственный университет, Чебоксары) Исследование структуры электрического разряда вблизи электродов с различными диэлектрическими барьерами. Конф. Звенигород. 2011.+

Исследованная система состоит из электрода, покрытого диэлектрическим барьером, а другой электрод, имеющий плоскую или цилиндрическую форму, расположен перпендикулярно по отношению к первому. При подаче электрического напряжения на электроды в некоторой области на поверхности барьера зажигается электрический разряд. Необходимо отметить, если барьер и плоский или цилиндрический электрод не соприкасаются, то возникает столб разряда в разрядном промежутке. Его проводимость очень высокая, вследствие чего данный столб разряда можно рассматривать как аналог металлического электрода, соприкасающегося с поверхностью диэлектрического барьера. В области соприкосновения с диэлектрическим барьером на его поверхности возникает расширенная область электрического разряда, называемая **прибарьерным пятном**. Область прибарьерного пятна обладает более низкой температурой по сравнению со столбом электрического разряда. В озонаторах на основе барьерного разряда указанная область наиболее производительна по озону. Это связано с тем, что в барьерном разряде в ходе реакции:



возникает возбужденная молекула озона. Если быстро не снять возбуждение молекулы, то она разлагается. Возбуждение снимается при её столкновении с другой частицей:



Если же озон синтезируется в области прибарьерного пятна, то вероятность столкновения молекулы озона с твердой поверхностью диэлектрика, в результате которого снимается её возбуждение, значительно возрастает.

---

При отрицательной короне происходит более сильное образование озона (O<sub>3</sub>), чем при положительной короне.

---

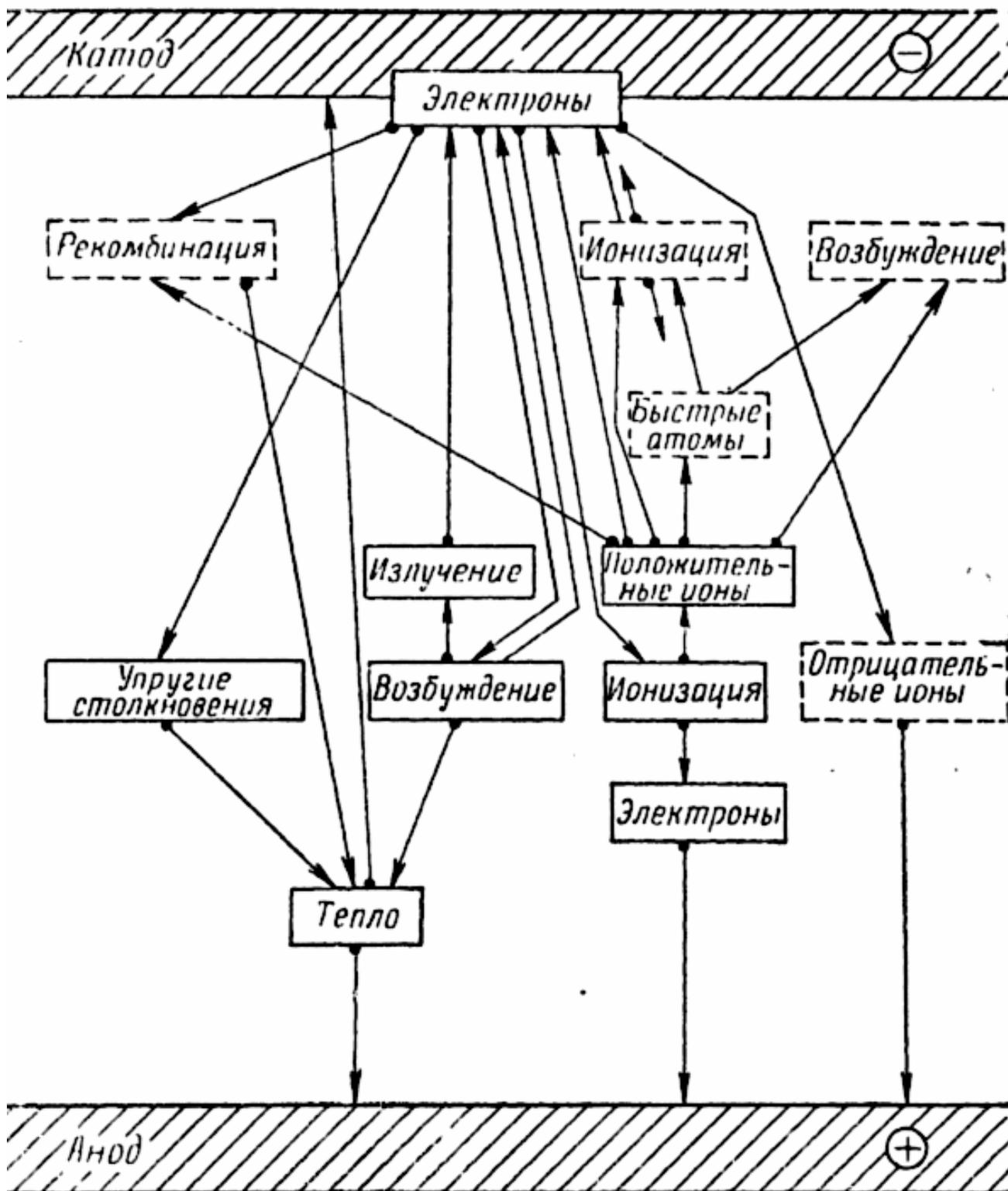


Рис. 2-2-8. Различные процессы, происходящие в газе при электрическом разряде.

При возбуждении молекул двигающимися электронами происходит испускание фотонов при возврате молекул из возбужденного в основное состояние. Как правило это фотоны имеют энергию в видимом диапазоне. При повышении напряжения количество возбужденных молекул возрастает и возрастает интенсивность свечения. Свечение однородное. В области, близкой к верхнему электроду, где поле наиболее сильное, свечение так же наиболее сильное.

## 2.2.4 Образование лавин $U > U_3$ .

-При напряжении  $U > U_3$  скорость образования свободных электронов в результате ударной ионизации превышает скорость поглощения свободных электронов молекулами. Образуется больше свободных электронов, чем поглощается. Возникают лавины.

-Время жизни свободных электронов и молекул в ионизированном состоянии составляет примерно 10<sup>-6</sup>-6 сек.

-Этому времени жизни соответствует определенная длина пробега.

-При повышении напряжения наступает момент, когда за время жизни (на длине пробега) электрон успевает набрать энергии, достаточной для ионизации молекул воздуха (**ударная ионизация**).

-В этом случае вместо одного свободного электрона появляется два свободных электрона.

-В этот момент число вновь образованных свободных электронов превышает число релаксирующих электронов.

-Энергию, необходимую для ионизации электрон получил от поля, в котором он разогнался.

-Количество свободных электронов растет по экспоненте, образуется лавина электронов.

-Необходимо отметить, что образование лавин происходит одновременно во всем пространстве между электродами.

-Там, где поле более сильное (у верхнего электрода) концентрация образовавшихся лавин больше.

-Некоторые из образовавшихся свободных электронов соединяются с положительными ионами, этот процесс называется рекомбинацией (нейтрализацией). Это обратный процесс по отношению к процессу ионизации.

-При рекомбинации излучается фотон,

-Фотон имеет энергию, достаточную для ионизации молекулы (сколько энергии затратилось, столько и освободилось).

-Фотон либо выходит наружу (жесткое УФ излучение разряда), либо поглощается молекулой газа и ионизует ее. Это **фотонная ионизация**, в результате которой образуются вторичные электроны и вторичные лавины.

-Это так называемый **Таунсендовский механизм лавинного пробоя газов**, это самостоятельный разряд в газе.

---

## 2.2.5 Режим стримерного разряда, $U > U_4$ .

При слабом напряжении возникают одиночные лавины. Увеличение напряжения приводит к стримерной стадии разряда, когда происходит слияние отдельных лавин с образованием стримера.

-Электроны обладают на два порядка большей подвижностью, чем положительные ионы.

-В результате у лавины образуется отрицательно заряженная голова из летящих свободных электронов, и хвост из положительных ионов.

-Исследование электронных лавин с помощью камер Вильсона по туманному следу от конденсации пересыщенного пара на ионах, а так же с помощью электронно-оптических преобразователей с усилителями света (регистрация излучения лавины) показали, что лавины имеют веретенообразную форму.

-В результате фотоионизации возникают вторичные лавины.

-Вторичные лавины, следуя по силовым линиям и имея на головке избыточный отрицательный заряд (электроны), втягиваются в область положительного объемного заряда, оставленного первичной лавиной. Происходит **слияние** лавин.

-В результате слияния отдельных лавин образуется дендритная структура.

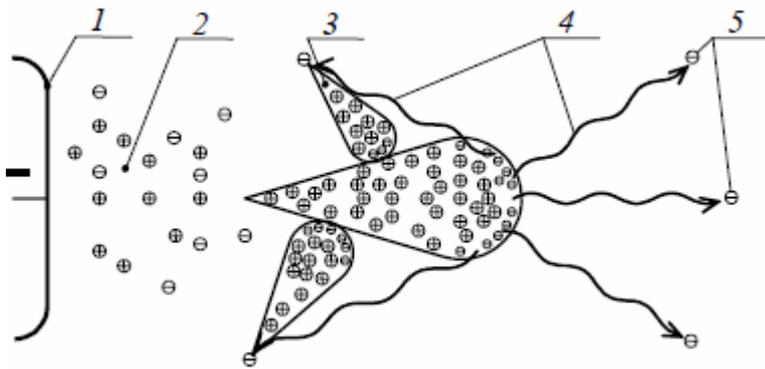


Рис. 2-2-9. Механизм развития катодного стримера: 1-электрод (катод); 2-канал стримера; 3-лавины; 4-движение фотонов; 5-электроны за счет фотоионизации.

-при малом количестве электронов в лавине ее поле мало изменяет внешнее поле. С увеличением числа электронов в лавине на процесс разряда начинает влиять поле, создаваемое лавиной.

-В связи с распределение зарядов в лавине происходит увеличение поля перед лавиной и позади лавины, и ослабление поля в канале.

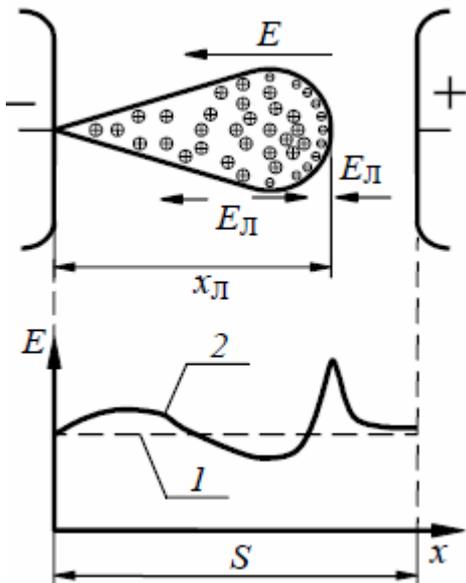


Рис. 2-2-10. Искажение электрического поля в промежутке, создаваемое лавиной: 1-средняя напряженность без лавины; 2-результатирующая напряженность.

-Основоположники теории стримеров Мик, Леб и Ретер связали изменение формы разряда (переход лавины в стример) с влиянием собственного поля мощной лавины на внешнее электрическое поле. Возрастание поля на концах лавины приводит к резкому усилению ионизационных процессов на концах лавины, и образованию вторичных лавин, инициированных фотоионизацией из канала.

1915-Таунсенд году выдвинул идею о развитии разряда как серии последовательных лавин.

1935-Дж. Ретер визуально наблюдал одиночные лавины в камере Вильсона.

1968-Г. Ретер. Электронные лавины и пробой в газах. М. Мир, 1968.

-Сливаясь вторичные лавины становятся продолжением канала, приводя к его удлинению.

-Критерием перехода лавинного разряда в стримерный является критическое число электронов в лавине. Расчеты показывают, что при числе электронов  $N_{кр} \geq 10^{17}$  лавина переходит в

стример. Для накопления такого количества электронов лавина должна пройти определенное критическое расстояние  $X_{кр}$ . Следовательно, с увеличением расстояния между электродами (свыше  $X_{кр}$ ) лавина неизбежно перейдет в стримерную форму развития разряда.

-**Стример** это слабо светящийся канал, который образуется в результате развития электронной лавины и распространяется со скоростью, превышающую дрейфовую скорость электронов в исходном поле.

-В лавинной стадии число свободных электронов возрастает экспоненциально. В стримерной стадии число свободных электронов растет еще быстрее.

-Свечение каналов стримеров свидетельствует о наличии в них высокой концентрации возбужденных молекул.

-Стример представляет собой **плазменное** образование, плазменный канал.

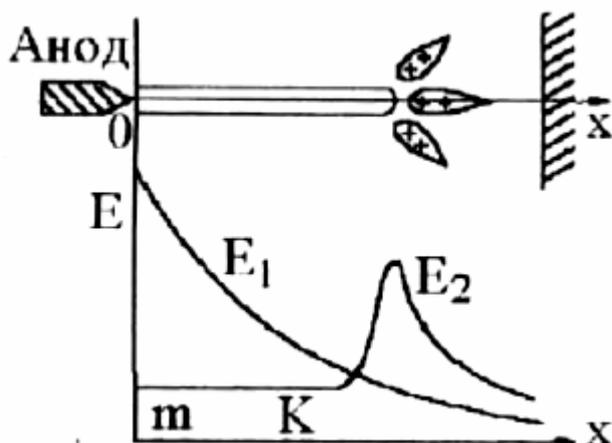


Рис. 2-2-11. Стример к положительному электроду.

1998-Кучинский Г.С. Техника высоких напряжений. СПб. 1998. 700с.+

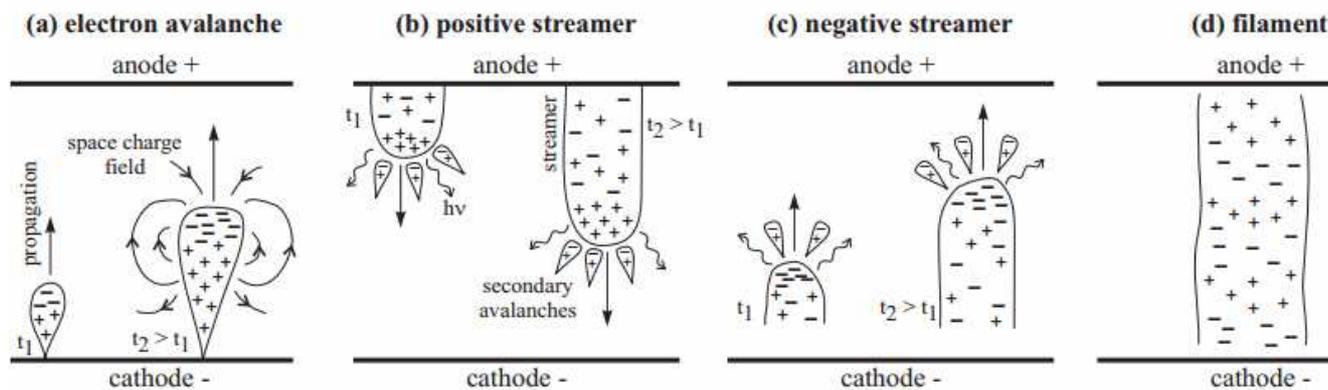


Рис. 2-2-12. Различные типы стримеров, показана динамика во времени. Характерное время перехода лавины в стример и распространение стримера составляет 10нс. Стример распространяется со скоростью  $10^8$  см/сек.

1991-Y.P. Raizer, "Gas discharge physics", Springer-Verlag, (1991).

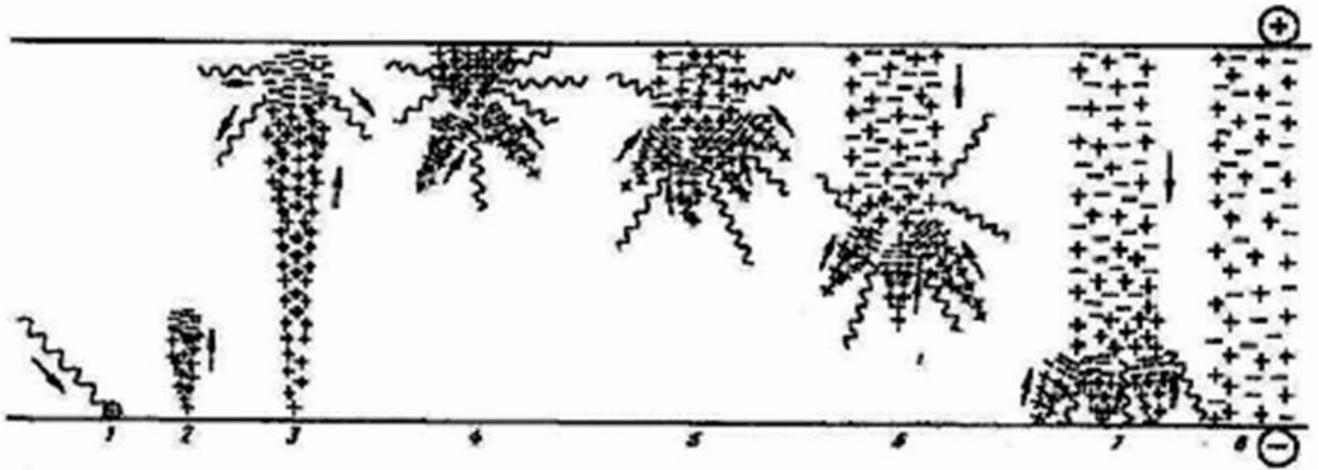


Рис. 2-2-13. Динамика лавинно-стримерного перехода.

-Так как головка стримера приходит к аноду, то возникает **стримерная корона** около анода (вокруг пальца).

-Поле между пальцем и электродом является сильно неоднородным. Поэтому стримеры возникают вблизи поверхности пальца. При увеличении напряжения стримеры становятся более длинными, и начинаются на большем удалении от пальца.

-Douyan Wang. Pulsed Discharge Plasma for Pollution Control.

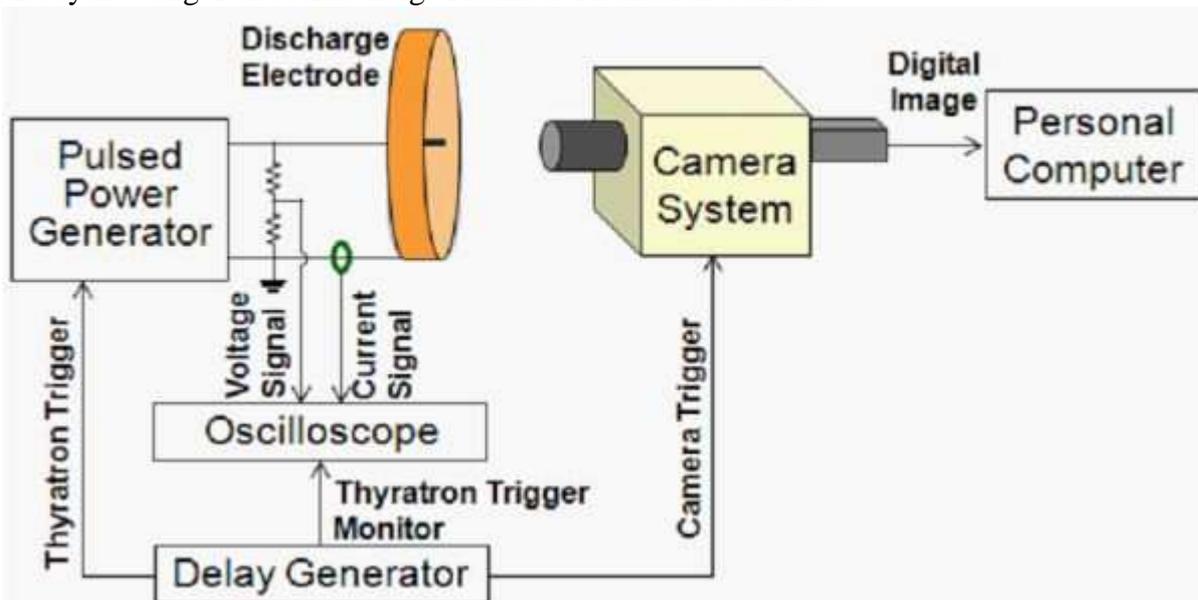


Рис. 2-2-14. Схема установки.

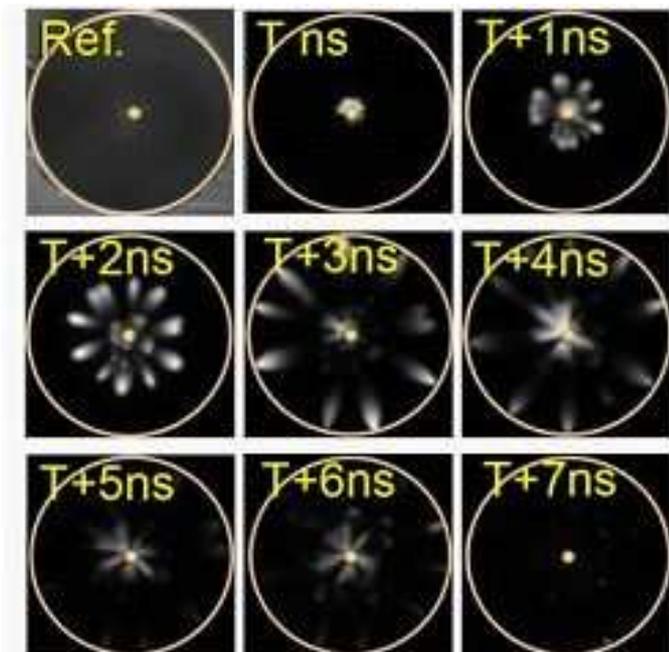


Рис. 2-2-15. Изображения стримеров при положительном импульсе в зависимости от времени после начала разрядного тока. Пиковое напряжение: 100кВ, длительности импульса 5нс. Внешний диаметр цилиндра: 76мм. Светлые участки показывают положение головы стримера в течение времени экспозиции 200 пс.

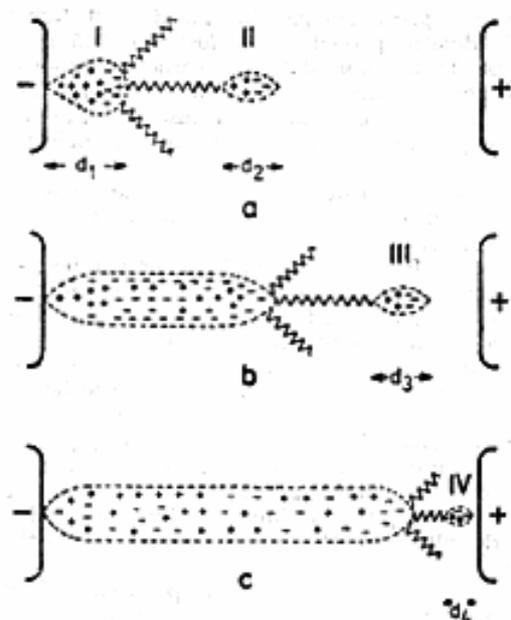


Рис. 2-2-16. Рост стримера.

1941-Loeb L.B. Meek J.M. The mechanism of the electric spark. Oxford. Clarendon Press. 1941.

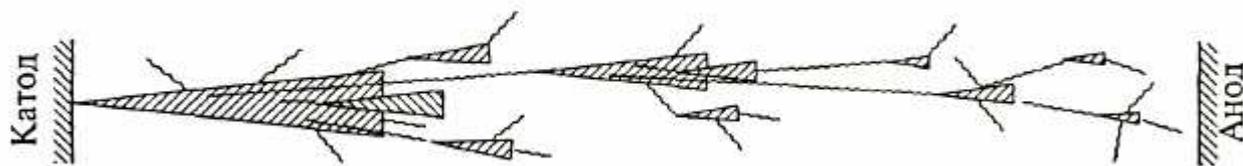


Рис. 2-2-17. Схематическое изображение электронной лавины и образования электроотрицательного стримера.

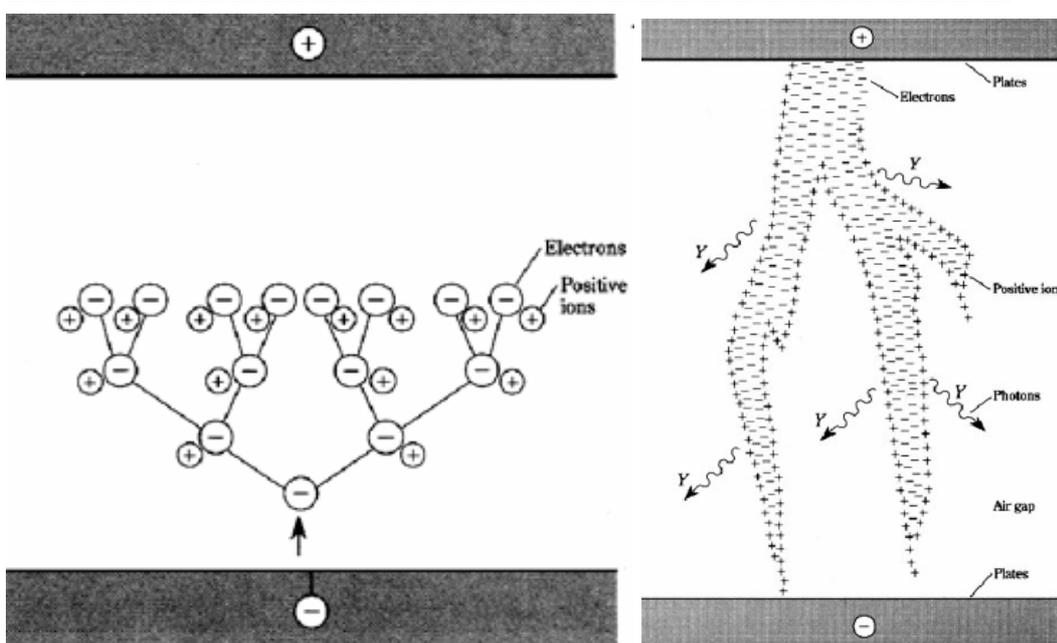


Рис. 2-2-18. Схема развития стримера.

1994-Iovine, John. Kirlian photography: a hands-on guide /1st ed. Blue Ridge Summit, PA: TAB Books, 1994. 136p.

1964-Левитов В.И. Попков В.И. Исследование короны на высоковольтных передачах. Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1964. №3.

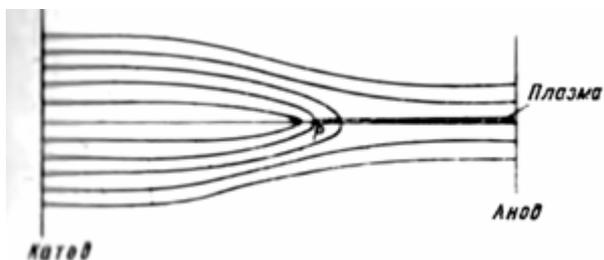


Рис. 2-2-19. Схема образования стримера.

2003-Лифанов В.Н. Электроизоляция и перенапряжения. Владивосток. 2003.+

При атмосферных давлениях механизм развития разряда носит самостоятельный характер в стримерной форме. Электрическое поле разрядного промежутка резко увеличивается в сторону головки первичной лавины, что приводит к появлению фотонов и интенсивной фотоионизации в объеме газа в районе головки лавины. Начинается самостоятельный разряд с образованием вторичных лавин, которые ориентируются к головке первичной лавины или в область высокой напряженности. Вторичные электроны втягиваются в первичную лавину, перераспределяют напряженность электрического поля в сторону катода и создают с положительными ионами первичной лавины канал проводящей плазмы, импульсивно внедряемый в глубь промежутка-это есть стример.

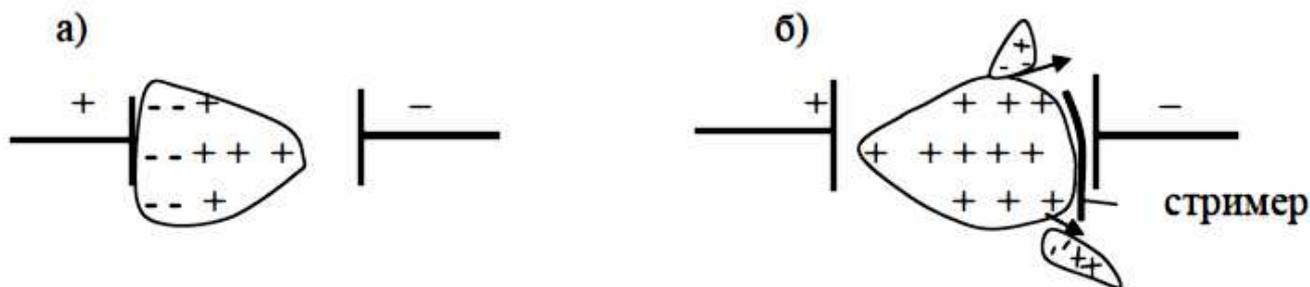


Рис. 2-2-20. Механизм образования стримера в малом разрядном промежутке: а-процесс ионизации; б-образование первичной лавины и интенсивная фотоионизация в объеме газа.

Дальнейшее повышение напряженности в канале разряда приводит к возникновению вторичных лавин по причине фотоионизации в объеме газа и быстрому прорастанию плазменного канала. Растущий канал разряда получил название стримера. По завершению перекрытия промежутка между электродами стример переходит в искровую стадию разряда. Время развития стримера порядка  $10^{-8}$  с, а причиной его образования является фотоионизация в объеме газа. Таким образом, в малых промежутках и в плотных газах разряд протекает в однолавиной форме, переходящей в стримерную.

### 2.2.6 Искровой пробой, $U > U_5$ .

При достижении напряжения некоторого критического значения (напряжения пробоя) происходит пробой газовой среды.

### 2.2.7 Дуговой пробой, $U > U_6$ .

При достижении напряжения некоторого критического значения происходит возникновение дугового разряда.

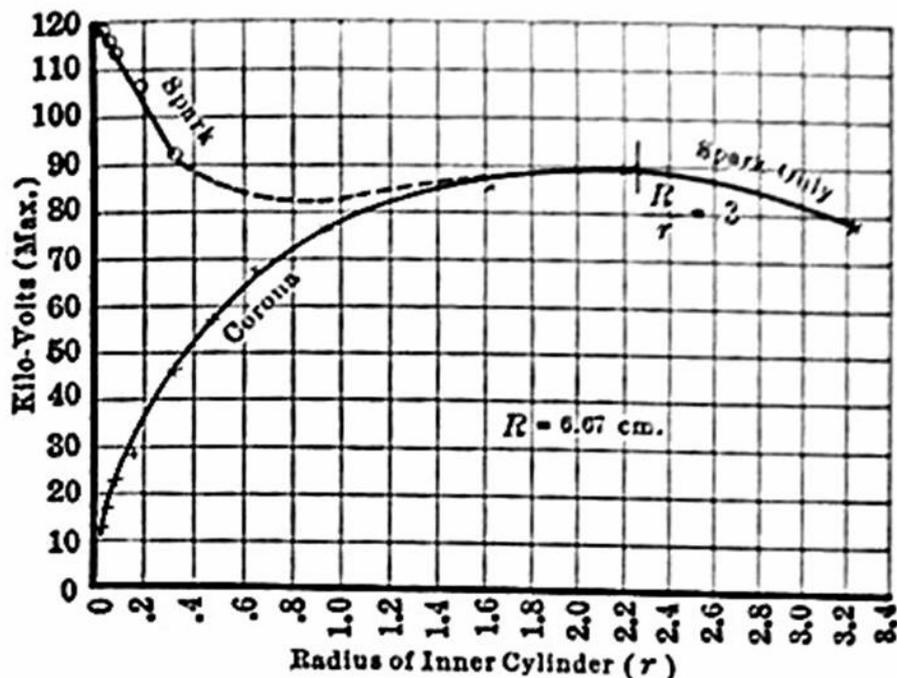


Рис. 2-2-21. Зависимость величины напряжения пробоя от степени неоднородности поля (радиуса внутреннего цилиндрического электрода). При резко неоднородном электрическом поле напряжение зажигания коронного разряда существенно ниже напряжения искрового пробоя.

2.2.8 Силовые линии в пространстве между электродами.

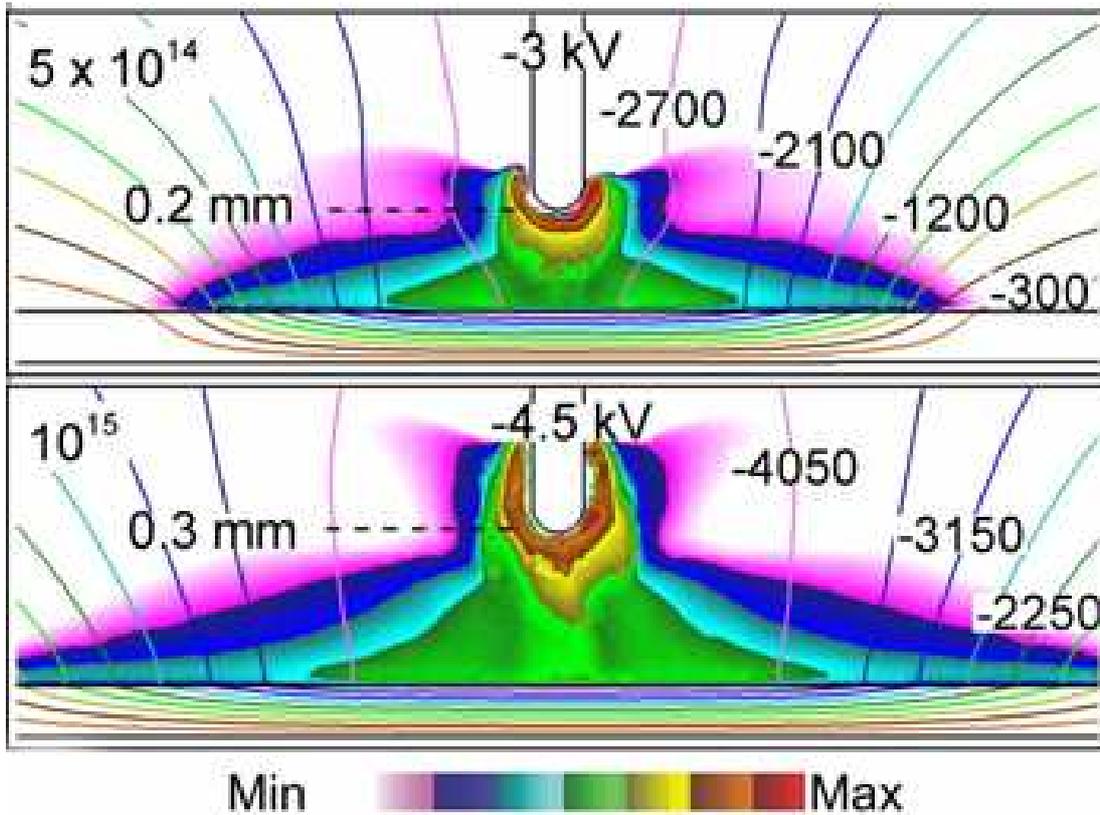


Рис. 2-2-22. Коронный разряд в воздухе, расстояние между электродами 0,2 и 0,3мм.

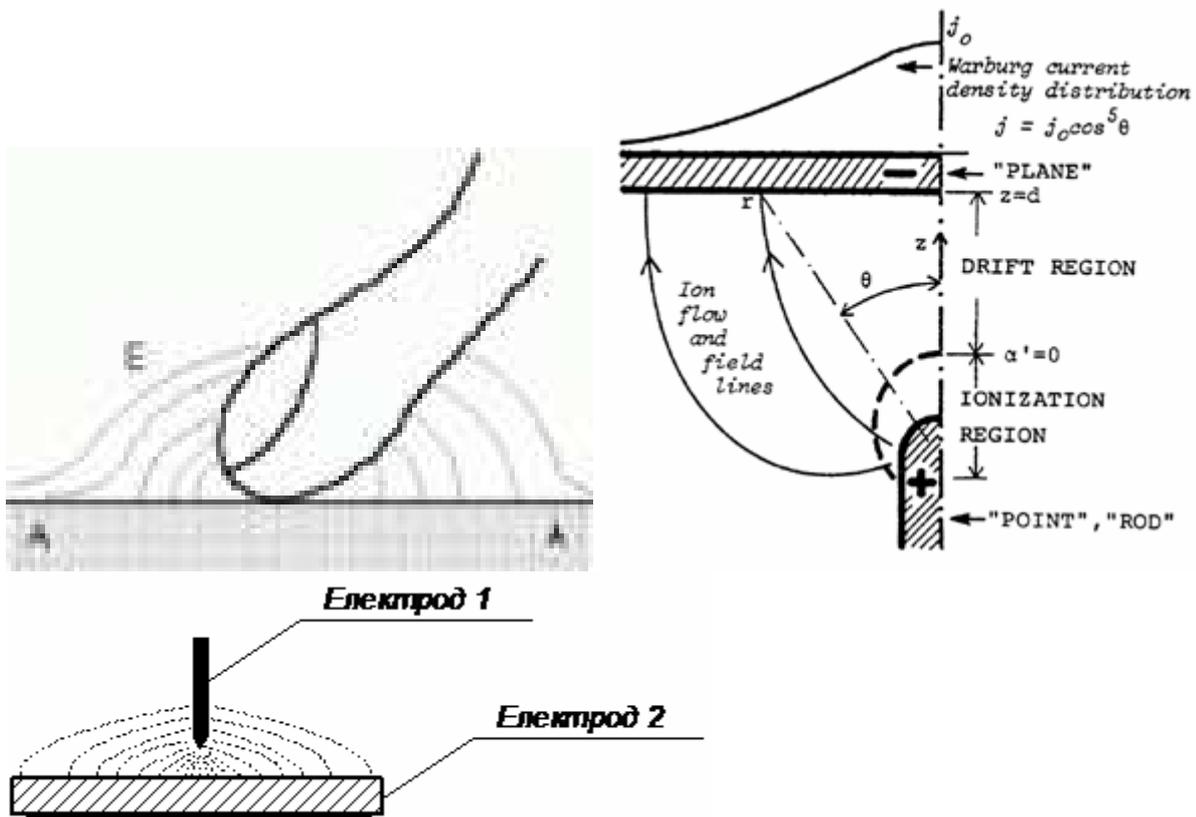


Рис. 2-2-23. Процесс ионизации и силовые линии между двумя электродами.

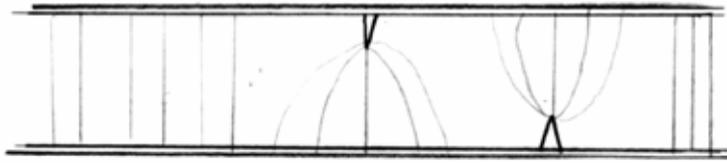


Рис. 2-2-24. Распределение поля между двумя плоскими электродами.

**Различные типы разрядных промежутков.**

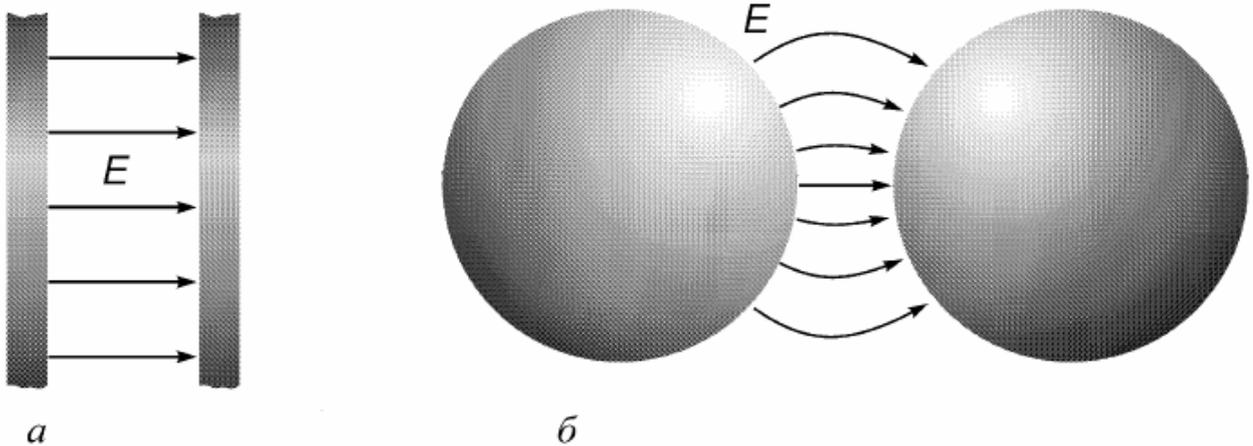


Рис. 2-2-25. а-однородное поле, б-слабонеоднородное поле.

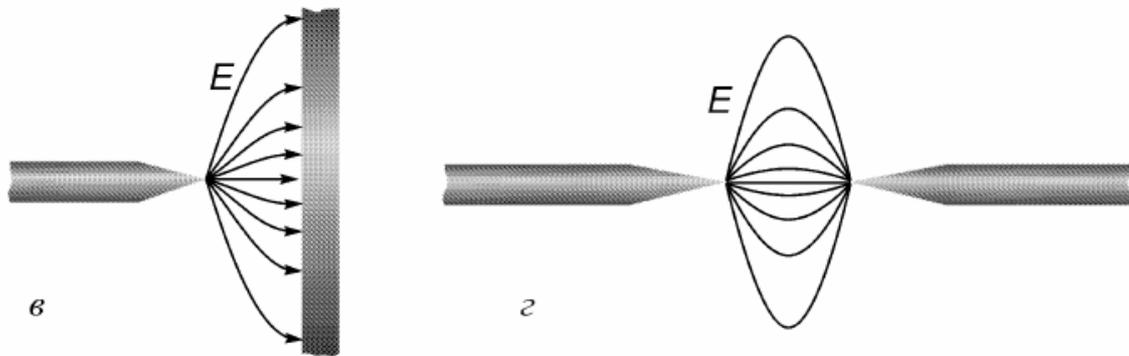


Рис. 2-2-26. Сильнонеоднородное поле: в-(игла-плоскость), г-(игла-игла).

В случае а), б), г) форма поля симметрична, и структура разряда от положительного и отрицательного импульса совпадают.

В случае в) игла-плоскость поле не является симметричным, и поэтому структура разряда для положительного и отрицательного импульсов различается.

В случае а) однородного поля, величины поля убывает пропорционально расстоянию до пластины,  $U=(E) \times (L)$ , где  $U$ -напряжение между пластинами,  $E$ -величина электрического поля между пластинами,  $L$ -расстояние между пластинами.

В случае в) и г) величина поля убывает обратно пропорционально расстоянию от точечного электрода,  $V=q/r$ , где  $V$ -потенциал от точечного заряда,  $q$ -величина точечного заряда,  $r$ -расстояние до точечного заряда.

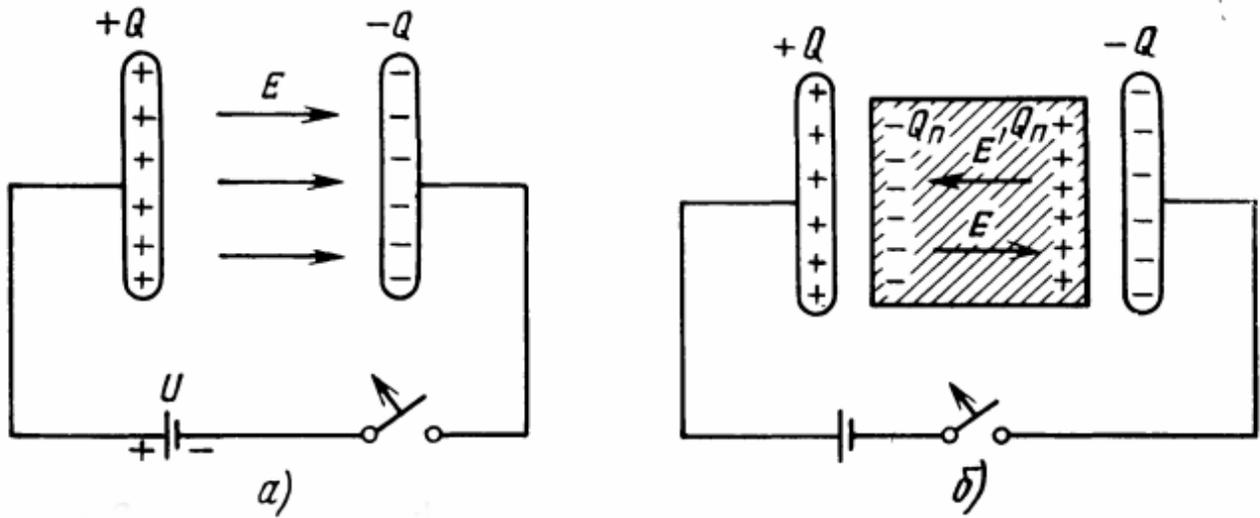


Рис. 2-2-27. Поле в плоском конденсаторе без диэлектрика и с диэлектриком.

**Поле для различных форм плоских электродов.**

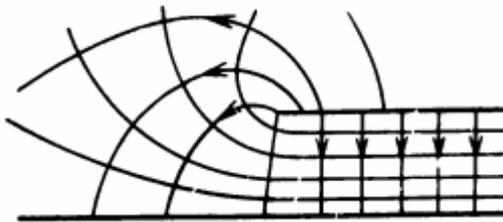


Рис. 2-2-28. Силовые линии на краю плоского электрода.

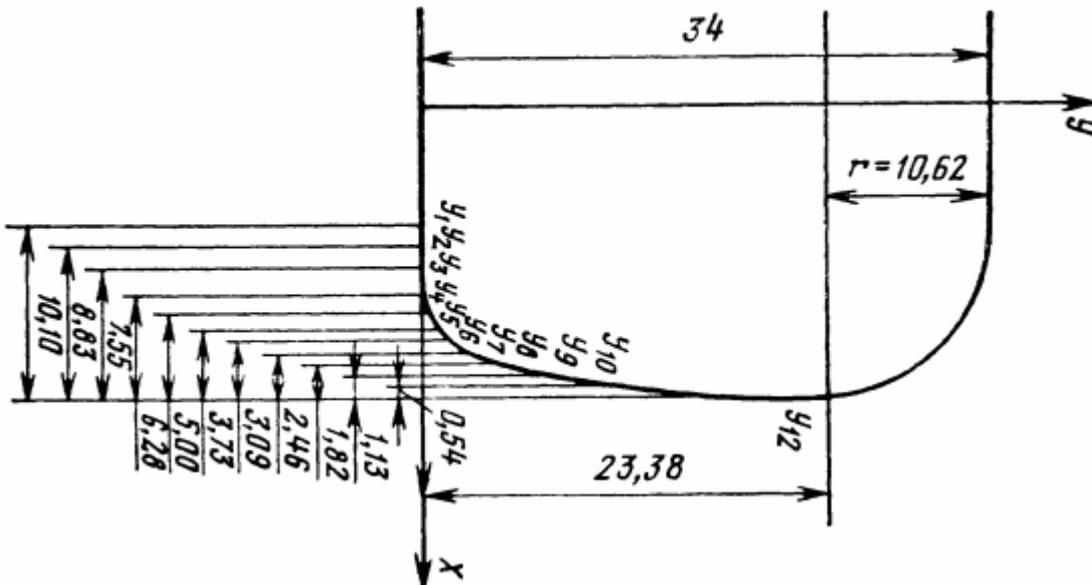


Рис. 2-2-29. Электрод с профилем Роговского, у которого значение напряженности электрического поля у края отличается от значения его в центральной части не больше чем на несколько процентов.

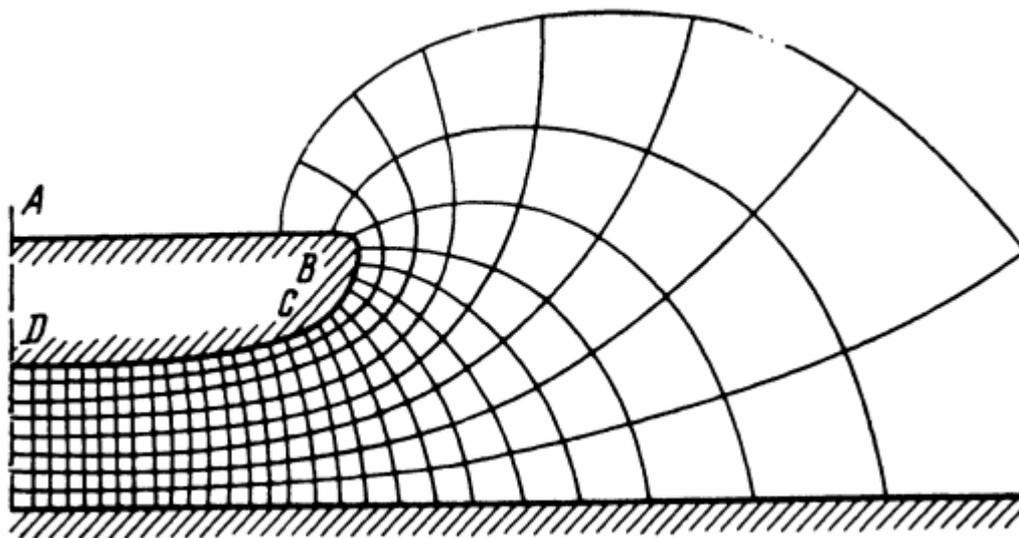


Рис. 2-2-30. Электрод с профилем Феличи, у которого в любой точке электрода поле постоянно.

### Роль углерода в формировании разряда в газе.

1-В атмосферном воздухе присутствует углекислый газ  $\text{CO}_2$ .

2-Водяной пар при температурах выше  $600^\circ\text{C}$  ведет себя как горючее. При наличии углерода вода вступает с ним в реакцию и в результате образуется водяной газ-смесь водорода и угарного газа.  $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \leftrightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$ . Это обратимая реакция, и чем выше температура, тем она больше смещается в сторону образования водяного газа. При наличии свободного кислорода водяной газ сгорает с образованием  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ . При температурах, приближающихся к  $1000^\circ\text{C}$ , вода просто разлагается на водород и кислород.

3-Войцеховский наблюдал свечение заряженных капель воды вокруг пальца. Свечение было более сильным, если на пальце было немного растительного масла.

4-Известно устройство для получения углерода и водорода из углеводородного газа (метана) которое реализует процесс термической диссоциации метана на углерод и водород:

$\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}$  при воздействии плазмы импульсно-периодического СВЧ-разряда на предварительно нагретый газ. Устройство содержит источник для нагрева газа, СВЧ-генератор (магнетрон), ферритовый циркулятор, разрядную камеру, волноводы для подвода СВЧ-энергии в разрядную камеру.

2000-А.И.Бабарицкий и др. Импульсно-периодический СВЧ-разряд как катализатор химической реакции. ЖТФ. 2000, т.70, №11. с.36-41.

**2014-Сеидов В.Ф.** (Германия) ГРВ фильтры, назначение и принцип работы. Конф. СПб. 2014.

Роль фильтра обычно объясняется отсеканием «перспирации, потоотделения, выделяемых газов подобно одетой на руку хирургической перчатке и, тем самым, отсеканием большей части влияния вегетативной нервной системы». Это утверждение является на самом деле некорректным и вот почему. Используемый в ГРВ камерах скользящий поверхностный разряд происходит по определению на поверхности, т.е. при съемке без фильтра-на поверхности стекла, а при съемке с фильтром-на поверхности фильтра, установленного на поверхности стекла. Разряд развивается между кожным покровом, установленного на поверхности стекла или фильтра пальца испытуемого и поверхностью стекла или фильтра.

Экспериментально получено, что интенсивность свечения с фильтром выше, чем без фильтра, хотя можно было предположить, что свечение с фильтром будет слабее. Этот эффект можно объяснить следующим образом. Было обнаружено, что в области вакуумного

ультрафиолета интенсивность спектральных линий в случае скользящего разряда на порядок выше по сравнению с искровым разрядом.

**Полиэтиленовая пленка, используемая в ГРВ камере, содержит атомы углерода и, тем самым, усиливает свечение разряда на поверхности.** Таким образом, полиэтиленовая пленка играет роль не фильтра, а скорее компенсатора воздействия на разряд изменения электрического импеданса кожи, обусловленного степенью активности симпатической части автономной нервной системы и позволяет оценить процессы в организме испытуемого в отсутствие стрессоров.

1984-Зарослов Д.Ю., Кузьминг.П., Тарасенко В.Ф., Скользящий разряд с CO<sub>2</sub> и эксимерных лазерах. «Радиотехника и электроника», 1984, т.29, в.7. с.1217. В работе показано, что усиление интенсивности спектров в области вакуумного ультрафиолета идет в основном из-за возбуждения атомов углерода поверхности углеродосодержащего электрода скользящего разряда, что ведет к дополнительной ионизации разрядных лавин, улучшению однородности и, как следствие, к росту интенсивности свечения разряда.

---

### 2.3 Способы управления размером разряда.

Управлять размером и формой разряда можно путем изменения напряжения, частоты, газовой среды и другими способами. Рассмотрим еще несколько способов.

#### 1-Зависимость размера разряда от толщины диэлектрика.

Длина стримеров при подаче напряжения положительной полярности увеличивается с увеличением толщины диэлектрика, при отрицательной полярности напряжения длина стримеров уменьшается с увеличением толщины диэлектрика.

1971-Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток. Наука, М. 1971. 560с.+

---

#### 2-Зависимость размера разряда от диэлектрической проницаемости диэлектрика.

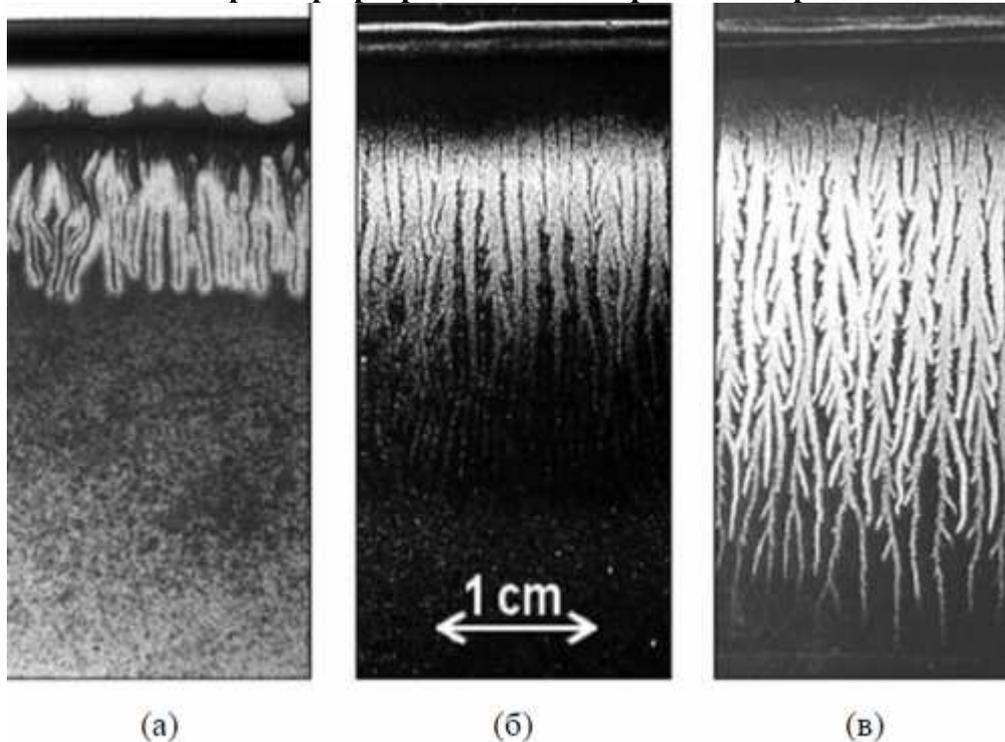


Рис. 2-3-1. Электрографическая картина поверхностного разряда на диэлектриках с различной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  (остальные экспериментальные условия идентичны).

а - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $\epsilon=9.8$ ),

б - боросиликатное стекло ( $\epsilon=4.8$ ),

в -сополимер полиэтилентерефталата ( $\epsilon=2.4$ ).

Чем меньше диэлектрическая проницаемость диэлектрика, тем больше размер разряда при тех же условиях.

2000-Gibalov V.I. Pietsch G.J. The development of dielectric barrier discharges in gas gaps and on surfaces. J. Phys. D: Appl. Phys. 2000. Vol. 33. p.2618-2636.+

Диэлектрическая проницаемость различных материалов:

- 1 воздух,
- 2,0-3,0 парафин,
- 2,0-2,1 фторопласт 4
- 2,0-3,5 бумага сухая,
- 2,1 тефлон,
- 2,2-2,3 полиэтилен высокого давления,
- 2-5 дерево сухое,
- 2,4 каучук,
- 3,5 оргстекло (плексиглас),
- 3,5-4,5 кварц,
- 4-16 стекло,
- 5-6 геттинакс,
- 5,7-7 слюда,
- 81 вода дистиллированная.

При выборе материала электрода с более высокими диэлектрическими свойствами и увеличении его толщины, относительное влияние тока через зону прямого контакта уменьшается.

---

Тимаков В.В. МЭИ, факультет электрофизики и высоковольтной техники, Москва.

2005-Timatkov V.V. Pietsch G.J., Saveliev A.B., Sokolova M. V., Temnikov A.G. Influence of solid dielectric on the impulse discharge behaviour in a needle-to-plane air gap // J. Phys. D: Appl. Phys 2005. 38. p.877-886.

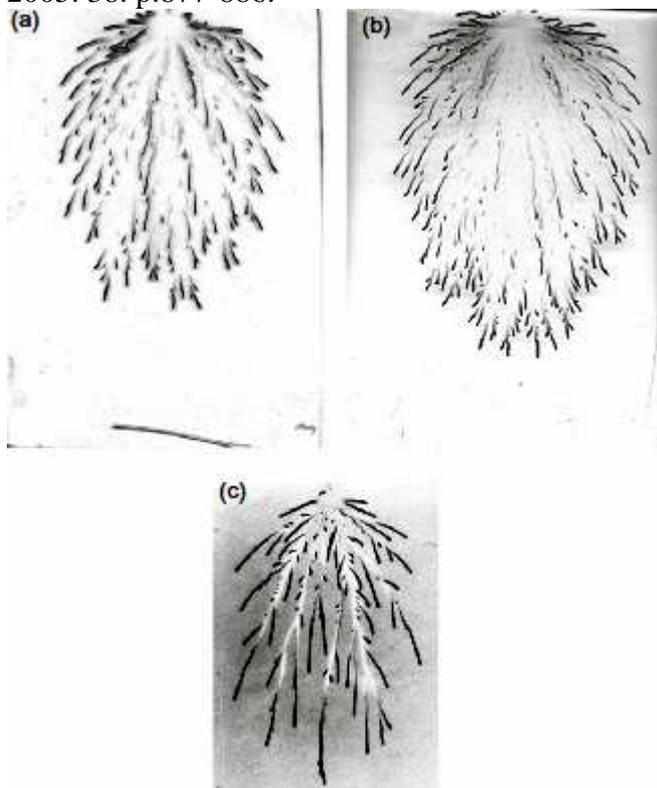


Рис. 2-3-2. Разряд вдоль поверхности из различных диэлектриков: а-плексиглас толщиной 1,5мм, в-плексиглас толщиной 5,8мм, с-керамика толщиной 1,5мм.

### 3-Зависимость разряда от используемых фильтров.

При регистрации разряда можно помещать между пальцем и стеклянным электродом различные прозрачные пленки (фильтра) различной толщины, и сделанные из различных материалов (с различной диэлектрической проницаемостью). Чем меньше будет диэлектрическая проницаемость фильтра, тем больше будет размер разряда.

---

### 4-Зависимость размера разряда от формы электродов.

Обычно регистрируется разряд на плоской поверхности.

- Если произвести разряд на выпуклой поверхности, то разряд будет иметь меньший размер.
- Если произвести разряд на вогнутой поверхности, то разряд будет иметь больший размер.

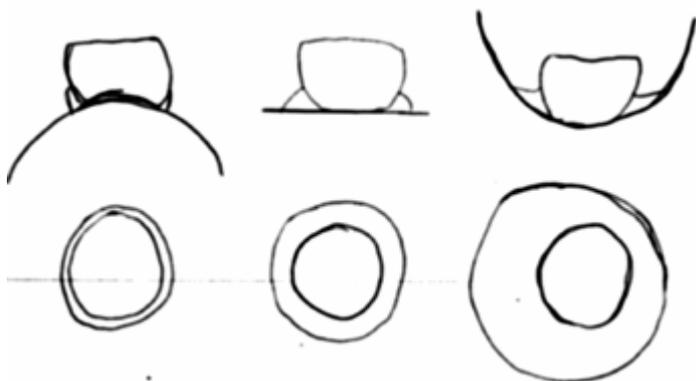


Рис. 2-3-3. Зависимость размера короны от формы электрода, 1-выпуклый электрод-узкая корона, 2-плоский электрод-обычная корона, 3-вогнутый электрод-широкая корона.

---

## 2.4 Литература по физике газового разряда.

### 1960-Эстония, Тартуский государственный университет.

Куду К.Ф.

1960-Куду К.Ф. О начальных стадиях разряда с острия в воздухе. Тарту. 1960.

1970-Веймер В.А., Куду К.Ф. Об импульсном ВЧ разряде в воздухе в промежутке острие-плоскость. Учен. зап. Тарт. ун-та. 1970. Вып.240. с.215-220.

1979-Лаан М.Р. Сравнительные исследования импульсов короны постоянного напряжения и начальной стадии высокочастотного разряда. Диссертация кандидата физико-математических наук. Тарту. 1979.

1984-2-е Всесоюзное совещание по физике электрического пробоя газов. Тарту, 1984.

1986-3-й Всесоюзный симпозиум по атмосферному электричеству. Тарту. 28-31.10.1986.

1989-Всесоюзный семинар по ВЧ пробоям газов. Тарту. 6-8 июня, 1989.

1986-3-я Всесоюзная конференция по физике газового разряда. Киев.-21-23 окт., 1986.

1988-4-я Всесоюзная конференция по физике газового разряда. Махачкала. 1988.

---

**Бесхлебный Сергей Игнатьевич** к.ф.м.н., (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск).

1977-Бесхлебный С.И., Айтс М.Х., Куду К.Ф. Наблюдение за возникновением и развитием световых и токовых импульсов ВЧ короны в диапазоне частот 0.15-1.5 МГц. Уч. зап. Тарт. ун-та. 1977. Вып.443. с.21-39.

1983-Бесхлебный С.И., Жуков А.А., Крупин В.Н., Микицей Я.И., Цыкун Н.К. Накопление положительных и отрицательных ионов в разрядном промежутке острие-плоскость электрическом поле на частотах 0.5-1.0 МГц. Уч. зап. Тарт. ун-та.-1983. Вып. 648. с.3-11.

- 1984-Бесхлебный С.И., Куду К.Ф. Экспериментальные исследования одноэлектродного ВЧ разряда в диапазоне частот 0.15-1.5 МГц. // Тезисы докл. II Всесоюзн. совещан. по физике электрического пробоя газов. Тарту. 5-8 июня, 1984. 4.1 с.100-101.
- 1984-Бесхлебный С.И., Жуков А.А. Электронная стабилизация величины высокочастотного напряжения. Уч. зап. Тарт. ун-та. 1984. Вып. 669. с.99-108.
- 1986-Бесхлебный С.И., Жуков А.А., Куду К.Ф. К механизму возникновения одноэлектродного разряда на частотах меньших первой критической // Тезисы докл. III Всесоюзн. конф. по физике газового разряда. Киев. 21-23 окт., 1986. 4.1 с.7779.
- 1988-Бесхлебный С.И., Куду К.Ф. Исследование возникновения одноэлектродного ВЧ разряда на смешанном напряжении. Уч. зап. Тарт. ун-та. 1988. Вып. 809. с.27-43.
- 1988-Бесхлебный С.И., Куду К.Ф. Исследование возникновения одноэлектродного ВЧ разряда при перенапряжениях. Уч. зап. Тарт. ун-та. 1988. Вып. 809. с.44-54.
- 1988-Бесхлебный С.И., Жуков А.А., Крупин В.Н., Микицей Я.И., Цыкун Н.К. Токи несамостоятельного электрического разряда в промежутке острие-плоскость в воздухе в диапазоне частот 0.03-1.0 МГц. Уч. зап. Тарт. ун-та. 1988. Вып. 809. с.55-63.
- 1988-Бесхлебный С.И., Жуков А.А., Куду К.Ф. Возникновение одноэлектродного ВЧ разряда в воздухе на частотах вблизи критической // Тезисы докл. IV Всесоюзн. конф. по физике газового разряда. Махачкала. 1988. 4.1 с.60-61.
- 1989-Бесхлебный С.И. Время формирования предразрядных процессов в области первой критической частоты // Всесоюзный семинар по высокочастотному пробоям газов. Тарту. 6-8 июня, 1989. с.71-73.
- 1989-Бесхлебный С.И. Исследование электрического разряда в промежутке острие-плоскость в воздухе в диапазоне частот 0,15-1,5 МГц. Деп. ВИНТИ, 9.06.1989, №3858 В 89.
- 1990-Бесхлебный С.И., Гинзбург Л.Д., Жуков А.А., Кирюкова Е.В. Влияние объемного заряда на высокочастотный пробой воздушных промежутков // В сб. «Техника средств связи», серии «Техника радиосвязи». М. 1990, Вып. 4. с.53-58.
- 1991-Бесхлебный С.И. Возникновение одноэлектродного разряда в области первой критической частоты. Электричество, №8, август 1991, с.45-49.
- 1994-Электрическая изоляция высокочастотных установок высокого напряжения / Аронов М.А., Бесхлебный С.И., Гинзбург Л.Д. и др. // Под ред. М.А. Аронова, В.П. Ларионова М.: АО «Знак», 1994.
- 1995-Beskhlebny S.I., Zhukov A.A., Krupin V.N., Mikitsey Ya.I., Tsykun N.K. Observation of the First Current Pulses of the Point-Discharge in Wide Frequency Range // 11th Int. Conf. on Gas Discharges and Their Applications Tokyo, 11th-15th sept., 1995.
- 1997-Zhukov A.A., Beskhlebny S.I., Zhukov P.A., Krupin V.N., Mikitsey Ya.I., Tsykun N.K. Correction of Electrical Air Breakdown Mechanism. // Proceed. Of the Int. Conf. on Gas Discharges, Greifswald, Germany, 1997, Vol. II, P.663-666.
- 2000-Бесхлебный Сергей Игнатьевич. Оптические и электрические исследования одноэлектродного ВЧ разряда в воздухе в диапазоне частот 0,15-1,5МГц. Диссертация кандидата физико-математических наук. Хабаровск. 2000. 142с.

---

**Санкт-Петербург. Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе.**

- 2008-Орлов Константин Евгеньевич. Исследование высокочастотного емкостного разряда низкого давления в инертном газе. Диссертация кандидата физико-математических наук. СПб. Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе. 2008.
- 2008-Бережной Станислав Владимирович. Моделирование высокочастотного емкостного разряда низкого и среднего давления. Диссертация кандидата физико-математических наук. СПб. Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе. 2008.

- 
- Агапов В.Г. Разевиг Д.В. Пробивные напряжения газовых промежутков при больших давлениях. Электричество. 1972. т.5. с.32.
- Актон Д.Р. Газоразрядные приборы с холодным катодом. М. Энергия, 1965. 479 с.
- Актон Д.Р., Свифт Д.Л. Газоразрядные приборы с холодным катодом /Под ред. Ф.М. Яблонского. М.-Л. Энергия, 1965. 480 с.

-Богданова Н.Б. Начальные напряжения короны на проводах. Электроэнергетика. АН СССР. вып.7. 1963.

-Браун С. Элементарные процессы газового разряда. М. Госатомиздат. 1961. 323с.+

-Важов В.Ф. Лавринович В.А. Лопаткин С.А. Техника высоких напряжений. Томск. 2006. 118с.+

---

**-Велихов Евгений Петрович**, МГУ, Физический факультет, кафедра электроники.

Велихов Евгений Петрович, Ковалев Александр Сергеевич, Рахимов Александр Турсунович.

-Велихов Е.П. Ковалев А.С. Рахимов А.Т. Физические явления в газоразрядной плазме. М. Наука. 1987. 160с.+

-Велихов Е.П., Ковалев А.С., Рахимов А.Т. Физические процессы в газоразрядной плазме. М. Наука, 1987. 85с.

---

-Гайсин Ф.М., Сон Э.Е. Электрофизические процессы в разрядах с твердым и жидким электродами. Свердловск: Изд-во Уральского университета. 1989 с.432

-Голубев В.С. Пашкин С.В. Тлеющий разряд повышенного давления. М. Наука. 1990. 334с.+

-Горин Б.Н. Шкилев А.В. Развитие электрического разряда в длинных промежутках «стержень-плоскость» при отрицательном импульсном напряжении. Электричество. 1976. №6. с.31-39.

-Горин Б.Н. Инков А.Я. Исследование канала искры. ЖТФ. 1962. т.32. вып.2.

-Грановский В.Л. (ВЭИ, Москва) Электрический ток в газе. Установившийся ток / Под ред. Л.А. Сена, В.Е. Голанта. М.: Наука, 1971. 544с.

-Грановский В.Л. Электрический ток в газе. М.Л. 1952.

-Грановский В.Г. Электрический ток в газе. Установившийся ток. М. Наука. 1971. 543с.+

-Дарроу К. Электрические явления в шарах. ОНТИ. 1937.

-Джуварлы Ч.М. Вечхайзер Г.В. Монов П.В. и др. Особенности электрического разряда в промежутке, ограниченном диэлектриком. Новосибирск. 1974. с.43-55.

-Драбкина С.И. О канале искрового разряда. ЖЭТФ. 1951, Т.21. с.473-483.

-Елецкий А.В. Рахимова А.Т. Неустойчивости в плазме газового разряда. Химия плазмы. Под ред. Смирнова Б.М. Москва. Атомиздат. 1977. вып.4. с.123-167.

-Елецкий Александр Валентинович. Газовый разряд. Научно-популярная литература. М. Знание. 1981. 63с. (Новое в жизни, науке и технике. Серия "Физика" №6).

-Елинсон М.И. Васильев Г.Ф. Автоэлектронная эмиссия. М. Физматгиз. 1958. 267с.

-Жуков А.А. Формирование положительного и отрицательного объемного заряда и механизм электрического пробоя воздуха в области первой критической частоты. Диссертация кандидата физико-математических наук. Хабаровск, 1966.

-Зингерман А.С. Теория и механизм пробоя газа. УФН. 1941, Т.25. вып.1. с.254-286.+

-Зотов В.М. Зотов Н. (Волгоградский политехнический институт) Основные причины возникновения разряда в малых газовых промежутках. Журнал технической физики. 1980. т.50. вып.4. с.716-719.+

-Иванов Игорь Григорьевич. (Ростов-на-Дону, Южный федеральный Университет) Газовый разряд и его применение в фотонике. 2009. 96с.+

-Ивановский А.В. О стримерном пробое воздуха в однородном электрическом поле. Журнал Технической Физики. 1996. т.66. выпуск 6. с.59-72.+

-Князев Б.А. Низкотемпературная плазма и газовый разряд. Новосибирск. 2000. 164с.+

-Капцов Н.А. Физические явления в вакууме и разреженных газах. М. 1937. 440с.+

-Капцов Н.А. Коронный разряд и его применение в электрофильтрах. М. Л. 1947.

-Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. М. Л. Гостехиздат, 1947. 841с.+

-Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. М. Л. Гостехиздат, 1950. 686с.

-Капцов Н.А. Физика электрических разрядов в газах за тридцать лет в СССР. УФН, 1948, т.35, вып.7, с.329-351.+

**МЭИ, Москва.**

**Верещагин И.П. д.т.н.**

**Козлов Максим Вадимович. к.т.н.**

1985-Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. Энергоатомиздат. 1985.

1992-Калинин А.В., Козлов М.В., Панюшкин В.В., Верещагин И.П., Воронков Е.П. Оптические наблюдения поверхностного разряда // Сб. докладов 6-й Конференции по электротехнике, Кошице (ЧССР), 1992, с.1-6 (на англ. языке).

1993-Козлов М.В. Исследование высокочастотного поверхностного разряда с целью повышения эффективности работы электротехнических установок: Диссертация кандидата технических наук. М. МЭИ. 1993. а+

1993-Калинин А.В., Козлов М.В., Панюшкин В.В. Экспериментальное исследование характеристик высокочастотного поверхностного разряда // Известия РАН. Энергетика, 4, 1993, с.45-51.

1999-Высоковольтные электротехнологии // Под ред. И.П. Верещагина. М., МЭИ 1999. 324с.+

1999-Дьяков А.Ф. Бобров Ю.К. Сорокин А.В. Юргеленас Ю.В. Физические основы электрического пробоя газов. М. МЭИ. 1999. 400с.+

**Левитов В.И. МЭИ.**

1964-Левитов В.И. Попков В.И. Исследование короны на высоковольтных передачах. Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1964. №3.

1971-Решидов И.К. Экспериментальное исследование электрических полей электрофильтров и их особенности при обратной короне. Диссертация кандидата технических наук. М.: МЭИ, 1971. 30 с.

1971-Левитов В.И., Решидов И.К. Характеристики электрических полей пластинчатых электрофильтров. Сильные электрические поля в технологических процессах: Сб. 1971. Вып.2., С.78-91.

1975-Левитов В.И. Корона переменного тока. М. Энергия. 1975. 280с.+

-----  
**Комельков В.С. Энергетический Институт им Г.М. Крыжановского АН СССР.**

1940-Комельков В.С. Исследование импульсных искровых разрядов. ЖТФ. 1940. т.10. вып.17.

1945-Комельков В.С. Доклады АН СССР. 1945. т.47. №4.

1947-Комельков В.С. Канал лидерного разряда. Доклады АН СССР. 1947. т.58. №1. с.57-60.+

1947-Комельков В.С. Структура и параметры лидерного разряда. Известия АН СССР. 1947. №8. с.955.

1950-Комельков В.С. Развитие электрического разряда в длинных промежутках. Известия АН СССР. Отделение Технических Наук. 1950. №6. с.851-865.+

1956-Комельков В.С. Обратный разряд в длинных искрах. Доклады АН СССР. 1956. т.111. №3. с.589-592.+

1961-Комельков В.С. Развитие импульсного разряда в жидкости. Журнал Технической Физики. 1961. т.31, вып.8. с.948-960.

1963-Комельков В.С. Мейлихов Е.З. Рост отрицательных фигур Лихтенберга в наносекундном интервале времени. Журнал Технической Физики. 1963. т.33. №8. с.943-944.+

1964-Комельков В.С. Мелизов Е.З. Образование отрицательных фигур Лихтенберга в течении наносекундного импульса. Журнал Технической Физики. 1964. т.8. с.704-705.

-----  
-Коновалов В.А. К свечению смеси газов и паров в полом катоде. Ленинград, ЛГУ. 1938. 43с.

-Королев Ю.Д., Месяц Г.А. Физика импульсного пробоя газов. М. Наука, 1991. 224с.

-Леб Л.Б. Основные процессы электрических разрядов в газах. М. Л. Гостехиздат. 1950.+

-Леб Л.Б. Статическая электризация. Пер. с англ. М. Л. Госэнергоиздат, 1963. 408с.

- Лозанский Э.Д. Фирсов О.Б. Качественная теория стримера. Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1969. т.56. №2. с.670-675.+
- Лозанский Эдуард Дмитриевич, Фирсов Олег Борисович. Теория искры. М. Атомиздат. 1975. 271с.+
- Лозанский Э.Д. Развитие электронных лавин и стримеров. УФН. 1975. т.117. вып.3. с.493-521.+
- 
- Мак-Дональд. Сверхвысокочастотный пробой в газах. М. Мир. 1969. 213с.+
- Маршак И.О. Электрический пробой газа при давлениях близких к атмосферному. УФН, 1960, т.71, вып.4, с.631-675.
- Месяц Г.А. Импульсный разряд в диэлектриках. Новосибирск. 1985. 163с.+
- Дж. Мик, Дж. Крегс. Электрический пробой в газах. М. Иностранная литература. 1960. 606с.+
- Мэсси Г. Бархоп Е. Электронные и ионные столкновения. ИЛ. 1958.
- Ноль Р.В. Учение об электричестве. Пер.с нем. М. Физматгиз, 1962. 516с.
- Пенинг Ф. Электрические разряды в газах. М. 1960. 100с.+
- Петров Н.И. Аванский В.Р. Бомбенкова Н.В. Измерение напряженности электрического поля в стримерной зоне и чехле канала лидерного разряда. Журнал Технической Физики. 1994. т.64. вып.6. с.50-60.+
- Пик Ф.В. Диэлектрические явления в технике высоких напряжений. Госэнергоиздат. 1934.
- Пластинин В.В. Введение в физику газового разряда. Иркутск. ИГУ. 1972. 218с.
- Попков В.И. К теории униполярной короны постоянного тока. Электричество. 1949. №1. с.33-48.
- Попков В.И. К теории коронного разряда в газе при постоянном напряжении // Известия АН СССР. ОТН. 1953. №5. с.433-448.
- Разевиг Д.В. Начальное напряжение газового разряда в электрических полях различной конфигурации. Электричество. 1970. т.8. с.14.

---

**Райзер Юрий Петрович**, (1927-) д.ф.м.н., профессор МФТИ, зав. лабораторией Института проблем механики РАН, академик РАЕН, автор 170 статей, 5 монографий, 3 изобретения.

**Базелян Э.М.**



Рис. 2-4-1. Райзер Ю.П.



Рис. 2-4-2. Базелян Э.М., Ражанский И.М. Искровой разряд в воздухе.

1980-Райзер Ю.П. Основы современной физики газоразрядных процессов. М. Наука. 1980. 415с.  
1986-Базелян Э.М. Горбнов А.Ю. Электричество. 1986. №11. с.27-33.  
1987-Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М. Наука. 1987. 592с.+  
1988-Базелян Э.М. Ражанский И.М. Искровой разряд в воздухе. Новосибирск. Наука. 1988. 164с.  
1991-Райзер Ю.П. Физика газового разряда. 2-е изд. М. Наука. 1991. 535с.+  
1995-Райзер Ю.П. Шнейдер М.Н. Яценко Н.А. Высокочастотный емкостный разряд: физика, техника эксперимента, приложения. М. Наука. (МФТИ, Долгопрудный) 1995.  
1997-Райзер Ю.П. Мощные электроразрядные лазеры на углекислом газе. Соросовский образовательный журнал. 1997. №8. с.99-104.  
1997-Райзер Ю.П. Базелян Э.М. Искровой разряд. МФТИ. Долгопрудный. 1997. 320с.+  
1997-Базелян Э.М. Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. Физматлит. 320с.  
1999-Райзер Ю.П. Высокочастотный емкостный разряд и его приложения. Соросовский образовательный журнал. 1999. №8. с.90-96.+  
2009-Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М. Наука. 2009. 736с.

---

-Ретер Г. Электронные лавины и пробой в газах. М. Мир, 1968. 208с.  
-Рожанский Д.А. Физика газового разряда. М.-Л. ОНТИ. 1937. 348с.  
-Савинов Владимир Павлович. Физика высокочастотного емкостного разряда. Физматлит. 2013. 308с.  
-Сливков И.Н. Электроизоляция и разряд в вакууме. М. Атомиздат, 1972. 304с.  
-Смирнов А.С. Прикладная физика. Физика газового разряда. СПб. СПбГУ. 1997. 69с.+  
-Смирнов Б.М. Физика слабоионизованного газа. М. Наука. 1972.

---

1938-Стекольников И.С. Беляков А.П. (ВЭИ) Влияние различных факторов на развитие искрового разряда. Электричество. 1938. №3. с.25-28.+  
1943-Стекольников И.С. Физика молнии и грозозащита. М. Л., 1943.  
1947-Стекольников И.С. Молния и гром. Гостехиздат. 1947. 40с.+  
1960-Стекольников И.С. Природа длинной искры. М. АН СССР. 1960.  
1980-Тэнэссеску Ф. Крамарюк Р. Электростатика в технике. Пер. с рум. М. Энергия. 1980. 57с.+

---

-Фельдман В.И., Пивоваров О.Н., Курсевич П.А. /Теплофизика высоких температур. 1982. т.20. №1. с.25.  
-Френсис Г. Ионизационные явления в газах. М. Атомиздат. 1964. 304с.+  
-Ховатсон А.М. Введение в теорию газового разряда. М. Атомиздат. 1980. 182с.++  
-Цырлин Л.Э. К теории коронного разряда в газе при постоянном напряжении // ЖТФ. 1952. Т.22, вып.6. с.1184-1205.  
-Цырлин Л.Э. К теории униполярной короны // ЖТФ. 1955. Т.25, вып.1. с.93-114.  
-Цырлин Л.Э. Некоторые вопросы математической теории коронного разряда при постоянном напряжении // ЖТФ. 1956. Т.26, вып.П. с.25242538.  
-Шехтер А.Б. Химические реакции в электрическом разряде Л.М. ОНТИ ГРОТЛ. 1935. 153с.+  
-Энгель А., Штенбек М. Физика и техника электрического разряда в газах. т.1. Основные законы. М. ОНТИ НКТП. 1936. 251с.+  
-Энгель А., Штенбек М. Физика и техника электрического разряда в газах. т.2. Свойства газовых разрядов. Технические применения. М. ОНТИ НКТП. 1936. 382с.+  
-Энгель А. Ионизованные газы. М. 1959. 332с.+

---

-Подпоркин Г.В., Сиваев А.Д. Импульсный искровой газоразрядник для электропередач /: пат. 2100885 Рос. Федерация. №96112614/09; заявл. 25.06.96; опубл. 27.12.97. 3с.

---

## Зарубежные материалы по газовому разряду.

- 1965-Dawson G.A. Winn W.P. A model for Streamer Propagation. Zeitschrift fur Physik. 183. 1965.
- 1971-Blaszuk P. (United Aircraft Corp.) Self stabilizing electrodes. Patent US3743881. 1973.
- 1974-Bapt J.C., Al B., Mayoux C. Corona Frequency Analysis in Artificial Cavities in Epoxy Resins. National Academy of Sciences, Washington, DC. 1974.
- 1975-Penning, F. M. Electrical discharges in gases. New York: McMillan Co. 1975.
- 1985-Goldman, M. Goldman, A. Sigmond, R.S. (1985) The corona discharge, its properties and specific uses. Pure & Appl. Chem. 57(9). P.1353-1362.
- 1990-High-voltage engineering: theory and practice, edited by M. Khalifa. M. Dekker, New York. 1990.
- 2003-Yu. S. Akishev, M.E. Grushin, V.B. Karal'nik, I.V. Kochetov, A.E. Monich, A.P.Napartovicgh, N. I. Trushkin, Evolution of the Radial Structure of a Negative Corona during its Transformation into a Glow Discharge and a Spark, Plasma Phys. Rep. 29(2) 176 (2003).
- 2006-Kenneth L. Kaiser. Electrostatic discharge. 2006.
- 2007-J. Zhang, K., Adamiak, G.S.P. Castle. Numerical modeling of negative-corona in oxygen under different pressures. Journal of Electrostatics 65, p.174-181, 2007.
- 2013-Yong, Huang; Xin, Zhang; Xun-Nian, Wang; Wan-Bo, Wang; Zong-Bo, Huang; Hua-Xing, Li. Experimental Investigation of the Induced Airflow of Corona Discharge. Chinese Physics Letters. Sep. 2013, Vol. 30 Issue 9, p.094702-094705.
- 2014-Trienekens, Dirk J. M.; Nijdam, Sander; Ebert, Ute. Stroboscopic Images of Streamers Through Air and Over Dielectric Surfaces. IEEE Transactions on Plasma Science, Oct2014 Part 1, Vol. 42 Issue 10, p2400-2401.
- 

**Technische Universiteit Eindhoven. Netherlands.** <http://www.tue.nl>

**W.F.L.M. (Wilfred) Hoeben**

- 1999-Hoeben, W.F.L.M., Veldhuizen, E.M. van, Rutgers, W.R. & Kroesen, G.M.W. (1999). Gas phase corona discharges for oxidation of phenol in an aqueous solution. Journal of Physics D: Applied Physics, 32(24), L133-L137.
- 1999-Hayashi, D., Hoeben, W.F.L.M., Doms, G., Veldhuizen, E.M. van, Rutgers, W.R. & Kroesen, G.M.W. (1999). LIF measurements for phenol degradation in an aqueous solution by pulsed corona discharges. In H.F. Doebele & K. Muraoka (Eds.), Proceedings of the 9th international symposium on laser-aided plasma diagnostics: Lake Tahoe, California, USA, 26 September-1 October 1999, (p.193-198).
- 2000-Hayashi, D., Hoeben, W.F.L.M., Doms, G., Veldhuizen, E.M. van, Rutgers, W.R. & Kroesen, G.M.W. (2000). LIF diagnostic for pulsed-corona-induced degradation of phenol in aqueous solution. Journal of Physics D: Applied Physics, 33(12), p.1484-1486.
- 2000-Hayashi, D., Hoeben, W.F.L.M., Doms, G., Veldhuizen, E.M. van, Rutgers, W.R. & Kroesen, G.M.W. (2000). Influence of gaseous atmosphere on corona-induced degradation of aqueous phenol. Journal of Physics D: Applied Physics, 33(21), p.2769-2774.
- 2000-Hoeben, W.F.L.M., Veldhuizen, E.M. van, Rutgers, W.R., Cramers, C.A.M.G. & Kroesen, G.M.W. (2000). The degradation of aqueous phenol solutions by pulsed positive corona discharges. Plasma Sources Science and Technology, 9(3), p.361-369.
- 2001-Van Veldhuizen, EM. Rutgers, WR. Corona discharges: fundamentals and diagnostics. Proc. Frontiers in Low Temp. Plasma. 2001.
-

## Глава 3. Зависимость разряда от влажности воздуха.

### 3.1 Зависимость напряжения пробоя от влажности воздуха.

Повышение влажности воздуха также приводит к уменьшению его электрической прочности. Увеличение абсолютной влажности воздуха в 1,5 раза приводит к уменьшению  $U_{пр}$  на 5 %.

1931-Franck J. Messentladungsstrecken. Berlin. Julius Springer. 1931.

Показано, что при напряжении искрового пробоя возрастает при увеличении влажности.

$F\%$ \ $s$ см	10	30	50
80	0	0	0
60	5,6	7,2	7,8
40	8,2	10,6	11,8
0	9,2	13,6	15,4

Рис. 3-1-1. Процентное уменьшение напряжения искрового пробоя между острием и пластиной в зависимости от относительной влажности  $F$  и пробивного расстояния  $S$ .

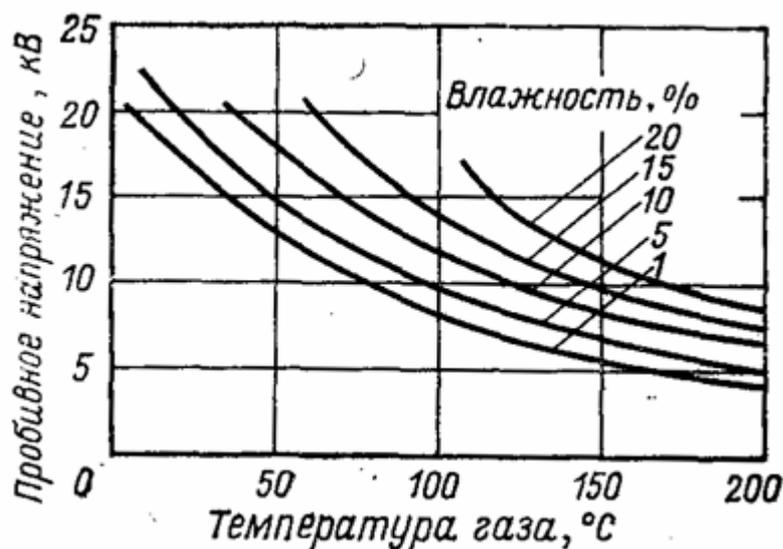


Рис. 3-1-2. Зависимость пробивного напряжения от температуры и влажности газа.

#### Влияние влажности воздуха на напряжение пробоя разрядного промежутка.

Влияние влажности воздуха на напряжение пробоя воздушного промежутка ощутимо при технических измерениях. Влажность оценивается общей массой молекул воды в единице объема воздуха и при нормальной температуре (20° C) и давлении (760 мм рт ст.) нормальной считают абсолютную влажность = 11 г/м<sup>3</sup> (парциальное давление водяных паров 8,7 мм.рт ст.). Вследствие электроотрицательного свойства молекул воды рост влажности увеличивает коэффициент прилипания  $\tau$  и снижает согласно (1.1) эффективный коэффициент ионизации  $\alpha$ . Эксперимент показал, что в однородном электрическом поле изменения абсолютной влажности примерно от 8 до 20 г/м и при атмосферном давлении приводит к увеличению напряжения примерно на 2% и полагают, что в случае слабонеоднородных полей реальные изменения влажности воздуха на электрическую прочность практически не влияют. Сильнее увеличивает напряжение пробоя рост влажности в промежутке с резконеоднородным полем. На примере системы стержень (игла) -плоскость следует ожидать втягивание молекул воды (диэлектрическая проницаемость воды в 80 раз превышает проницаемость воздуха) в окрестности иглы, где повышена напряженность поля. В результате именно у иглы повышается

коэффициент прилипания и затрудняется ионизация по сравнению со случаем отсутствия влажности в газе; менее действенны факторы типа некоторого выравнивания поля в промежутке вследствие повышения итоговой диэлектрической проницаемости газа у иглы из-за высокой проницаемости  $\text{H}_2\text{O}$  воды и возможного "затупления" иглы осаждающейся на острие влагой. Отмеченные процессы, связанные с перемещением молекул в воздухе, инерционны и практически не заметны при быстром подъеме напряжения на промежутке. Учет влияния влажности воздуха на прочность воздушного промежутка осуществляется специальной поправкой. Величины поправок зависят от формы напряжения, вида промежутка, случая перекрытия по поверхности изолятора. Следует отметить, что повышение электрической прочности разрядного промежутка с влажным воздухом и снижение напряжения поверхностного перекрытия увлажненной изоляционной конструкции имеют принципиальные различия физических процессов.

---

### 3.2 Разряд во влажном воздухе.

При рассмотрении разряда во влажном воздухе можно выделить два аспекта:

- влияние молекул воды (вода в газовой фазе, пар) в газовой среде,
- влияние микрокапель воды (вода в жидкой фазе) в газовой среде.

При наличии в среде, в которой происходит разряд, паров (молекул) воды в возникновении многих процессов. Оценить вклад каждого процесса в общую картину разряда (какой процесс имеет наибольшее влияние) достаточно сложно. Скорее всего каждый из рассматриваемых далее процессов вносит свой определенный вклад в общую картину.

Макропроцессы. Молекулы воды агрегируют и образуются микрокапельки воды (пар конденсируется). Наличие микрокапелек в высокочастотном поле существенно изменяет характеристики разряда.

Микропроцессы, это процессы, протекающие на молекулярном уровне. Можно выделить два основных процесса:

1-Молекулы воды (диполи) создают гидратную оболочку вокруг ионов, образующихся в газовой среде. Это создает условия для существования ионов в течении продолжительного времени. Образуется холодная плазма.

2-Распад молекулы воды на два иона  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ . И вот тут начинается самое интересное, множество различных процессов.

-дополнительные ионы создают дополнительные токи в разряде,

-происходят различные химические реакции, с образованием новых компонентов: водород  $\text{H}_2$ , перекись водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , ионы оксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,

-образуются различные радикалы:  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}^\bullet$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ .

-Разноименные ионы при сближении могут образовывать долгоживущие диполи, ионные пары  $\text{H}_2\text{O} \times \text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^- \times \text{H}_2\text{O}$  (окислитель и восстановитель), которые при соединении выделяют много энергии,

-При наличии углерода вода вступает с ним в реакцию и в результате образуется водяной газ-смесь водорода и угарного газа.  $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \leftrightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$ .

-Образуются устойчивые квадрупольные.

**Радиолиз воды.** Радиолиз воды это разложение воды на свободные радикалы под действием ионизирующего излучения. Фотолиз воды, это разложение воды на радикалы под действием ультрафиолетового излучения. Реакции при радиолизе воды:

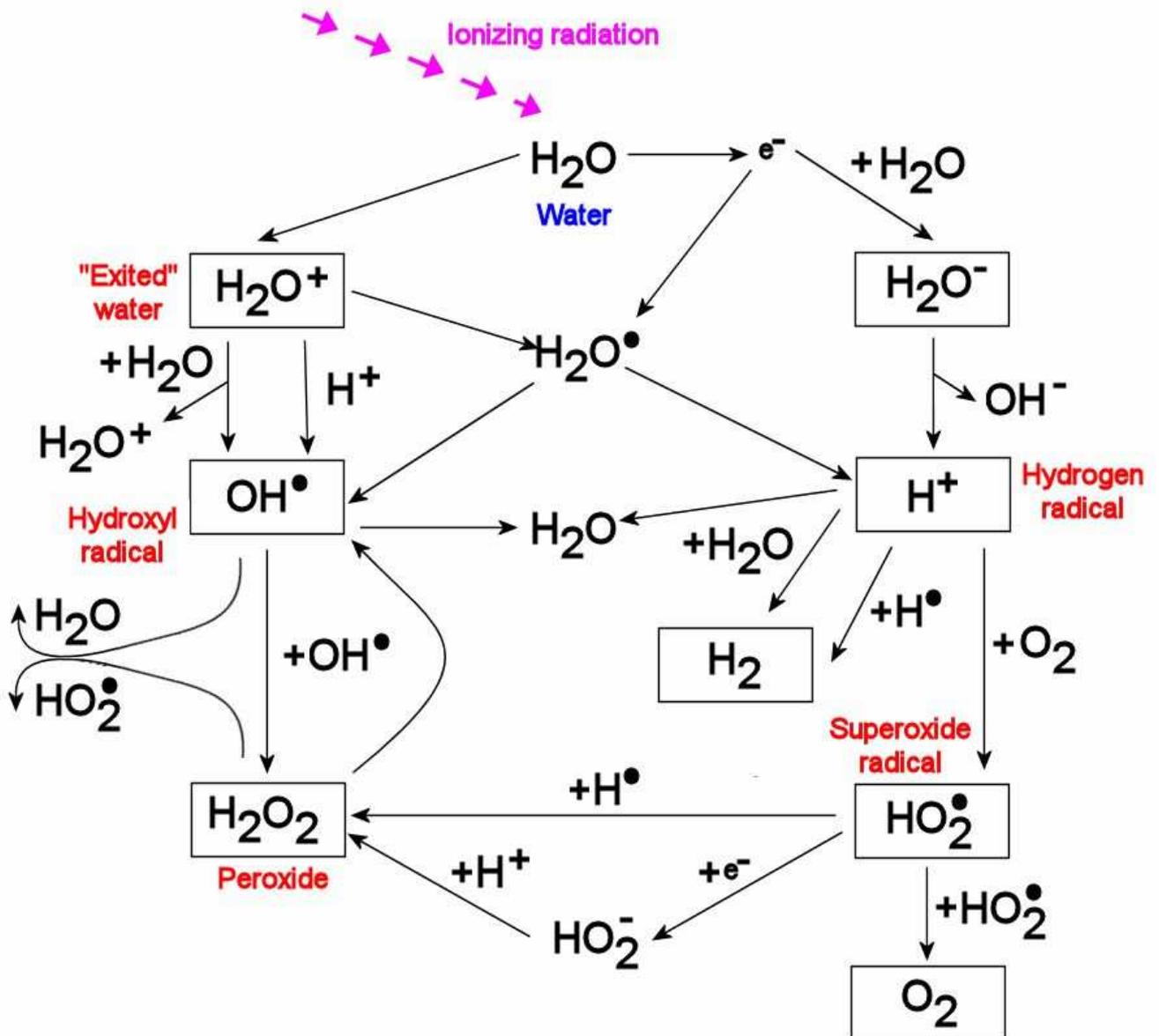


Рис. 3-2-1. Схема радиолиза воды.

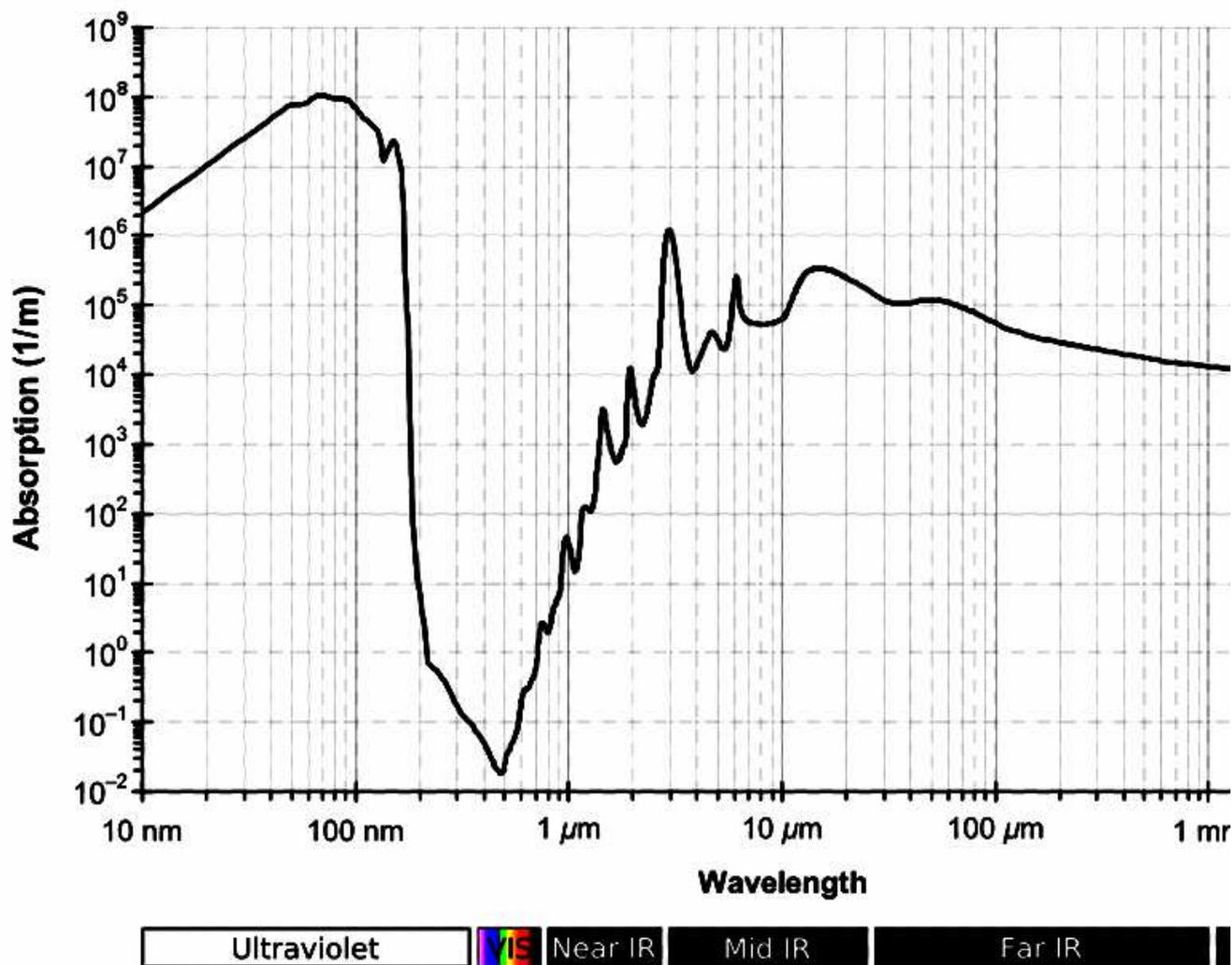


Рис. 3-2-2. Спектр поглощения воды.

Разряд происходит в воздушной (газовой) среде, поэтому увеличение концентрации паров воды приводит к изменению периферической части короны свечения. При повышенной влажности воздуха в помещении на негативных снимках стримеры имеют более светлый, «белесый» вид, они несколько длиннее обычных, а форма отличается от древовидной. Основные «патологические» изменения свечения сохраняются, но такие картины свечения труднее расшифровывать. Поэтому не рекомендуется проводить обследования в помещениях с повышенной влажностью воздуха.

Эффективность коронного разряда существенно зависит от влажности воздуха. Влажность вблизи поверхности кожи, естественно, зависит от потоотделения, а уже оно связано с психическим состоянием человека. Это давно известно, например, знаменитые "детекторы лжи" используют, помимо прочего, и этот механизм.

**-Одним из основных факторов влияния влажности на форму разряда состоит в том, что при наличии молекул воды в высокочастотном поле возникает холодная плазма.**

-При влажности порядка 100% в высокочастотном поле происходит интенсивное разложение молекул воды с образованием гидроксила OH.

-При пониженном давлении и повышенной влажности свечение желтеет.

-Под воздействием 30кВ мертвый лист не давал на снимке вообще никакого изображения, даже если его окунали в воду; а живой лист переливался в радуге собственного излучения.

-Напряжение пробоя воздуха в однородном поле составляет 30кВ/см.

-Напряжение пробоя воздуха в неоднородном поле составляет 9кВ/см.

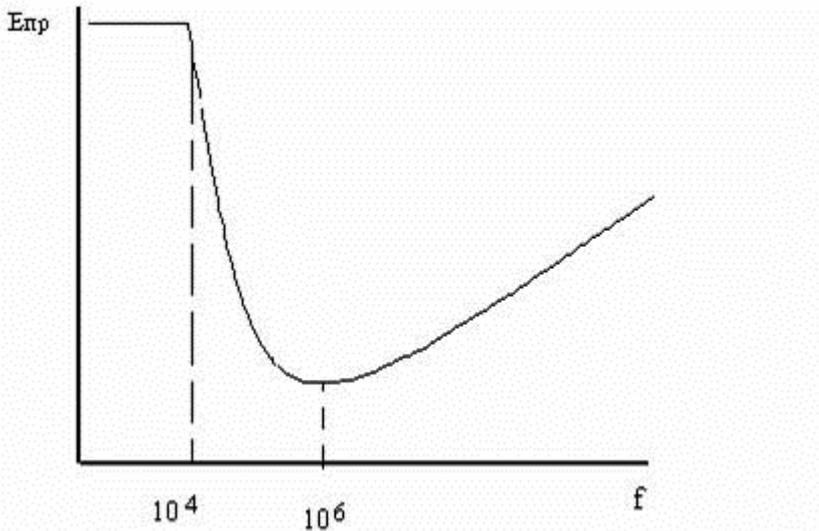


Рис. 3-2-3. Зависимость электрической прочности газов от частоты электрического поля.

Создание резко неоднородного поля и выбор частоты 1МГц сильно снижает электрическую прочность воздуха.

-При увлажнении воздуха его электрическая прочность меняется: уменьшается-если поле однородное; увеличивается-если поле неоднородное, потому что капельки воды выравнивают электрическое поле между электродами.

-Пробой воздуха вблизи поверхности диэлектрика называется напряжением разряда по поверхности  $U_{разр}$ , которое меньше пробивного напряжения. Потому что на поверхности диэлектрика имеются нескомпенсированные поверхностные заряды. Они искажают электрическое поле, делают его неоднородным, следовательно разряд произойдет быстрее.

- $U_{разр}$  резко снижается если поверхность увлажнена и загрязнена.

При увеличении влажности происходят различные процессы, по разному влияющие на образование стримеров.

-Увеличение влажности в воздухе приводит к затруднению образования стримеров.

-Увеличение влажности приводит к образованию тонкой водяной пленке на поверхности пальца, что способствует увеличению автоэлектронной эмиссии с поверхности пальца.

-Увеличение влажности приводит к образованию тонкой водяной пленке на поверхности диэлектрика, что способствует увеличению длины стелющегося разряда по поверхности.

При увеличении влажности происходят два процесса, влияющие на ток разряда противоположно:

1-в самой короне увеличивается количество ионов (и ток должен возрастать).

2-во внешней области при увеличении влажности на ионы налипает большее количество молекул воды, уменьшая тем самым их подвижность (и ток должен уменьшаться).

Влажность (наличия паров воды) оказывает большое влияние на интенсивность газоразрядного свечения. Можно выделить следующие механизмы влияния влажности на разряд:

1-Под действием высокочастотного поля происходит электростатическое распыление жидкости из микрокапель на поверхности кожи и из пор пальца.

2-Влажность окружающей газовой среды. У атома водорода электрон связан очень слабо с ядром. И спектр излучения атомов водорода лежит в видимой области. Для других атомов и молекул воздуха (кислород, азот, углерод) электроны более сильно связаны с атомом. Спектр излучения этих атомов лежит у ультрафиолетовой области спектра. Значит, чем больше в воздухе молекул воды, тем более интенсивным будет свечение. При этом необходимо отметить, что для диагностики важна не величина влажности воздуха в комнате, а влажность в окружении

пальца, которая отражает состояние организма. Из анализа спектра газового разряда следует, что синий цвет (486нм) и красный цвет (656 нм) создаются атомами водорода, которые образуются из молекул воды, окружающих палец.

3-Влажность как причина образования микрокапель и микропленки воды на поверхности диэлектрика (поверхностный разряд).

4-Слой воды на поверхности пальца создает двойной электрический слой. В связи с этим на два порядка повышается ток эмиссии с микровыступов (Домород Н.Е.).

5-После энергетического воздействия на влажный воздух образуются ионы оксония  $\text{H}_3\text{O}^+$  и гидроксильные группы  $\text{OH}^-$ . Разноименные ионы при сближении могут образовывать долгоживущие диполи, ионные пары  $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-\cdot\text{H}_2\text{O}$  (окислитель и восстановитель), которые при соединении выделяют много энергии (Протасевич Е.Т.).

6-Водяной пар при температурах выше  $600^\circ\text{C}$  ведет себя как горючее. При наличии углерода вода вступает с ним в реакцию и в результате образуется водяной газ-смесь водорода и угарного газа.  $\text{H}_2\text{O} + \text{C} \leftrightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$ . Это обратимая реакция, и чем выше температура, тем она больше смещается в сторону образования водяного газа. При наличии свободного кислорода водяной газ сгорает с образованием  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ . При температурах, приближающихся к  $1000^\circ\text{C}$ , вода просто разлагается на водород и кислород.

7-Роль атомарного водорода. Вуд наблюдал, как в токе атомарного водорода вольфрамовая спираль раскаляется добела. Оказалось, что выделение тепла связано с рекомбинацией атомарного водорода на вольфраме,  $\text{H} + \text{H} = \text{H}_2 + Q$ . (Q-теплота).

1922-Вуд Р. Спонтанное накаливание веществ в атомарном водороде.-“Proc. Roy Soc.”, №1, 1922, p.102.

---

#### Поведение дипольных молекул воды в сильном внешнем поле.

Во внешнем поле происходит ориентация дипольных молекул воды вдоль силовых линий поля. Степень упорядоченности зависит от соотношения тепловой энергии и напряженности электрического поля. Величина напряженности поля способствует снижению потенциального барьера для электронов, связанных с атомом.

Метод удержания плазмы электрическим полем был предложен в 1948 году Олегом Лаврентьевым.

---

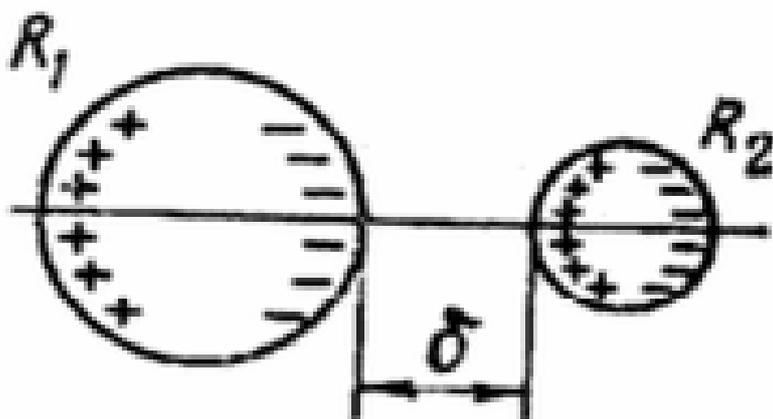


Рис. 3-2-4. Микрокапли воды во внешнем поле.

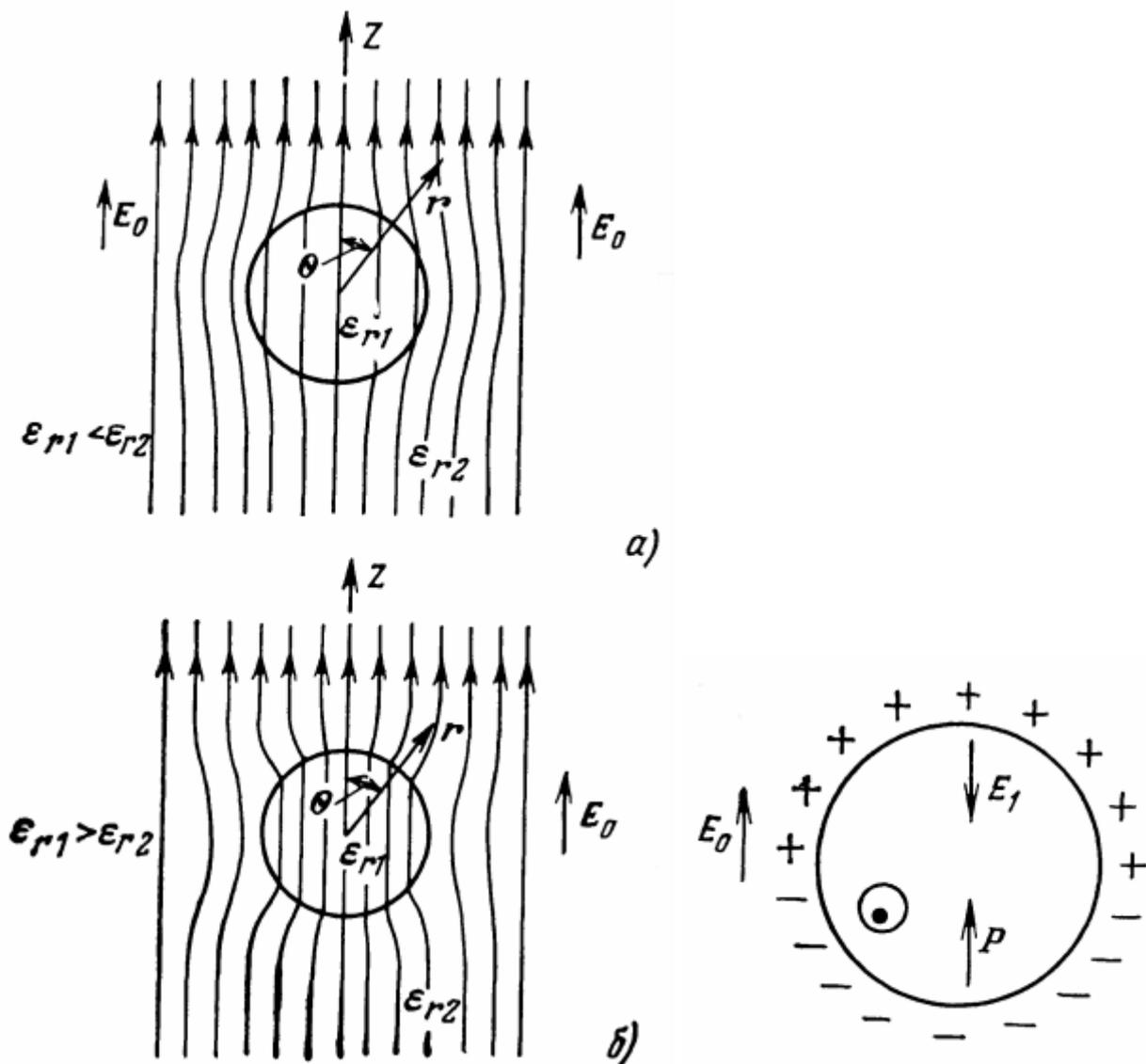


Рис. 3-2-5. Поле вокруг диэлектрической сферы, и распределение зарядов на поверхности капли воды в газовой среде.  $\epsilon$ -относительная диэлектрическая проницаемость, для воздуха равна 1,0006, для воды равна 81 (при 20 градусах).

Дипольные молекулы воды в капле ориентируются по полю и капля воды превращается в диполь. Это наблюдается в случае, когда частота внешнего поля меньше некоторой критической, которая определяется временем переориентации молекул воды.

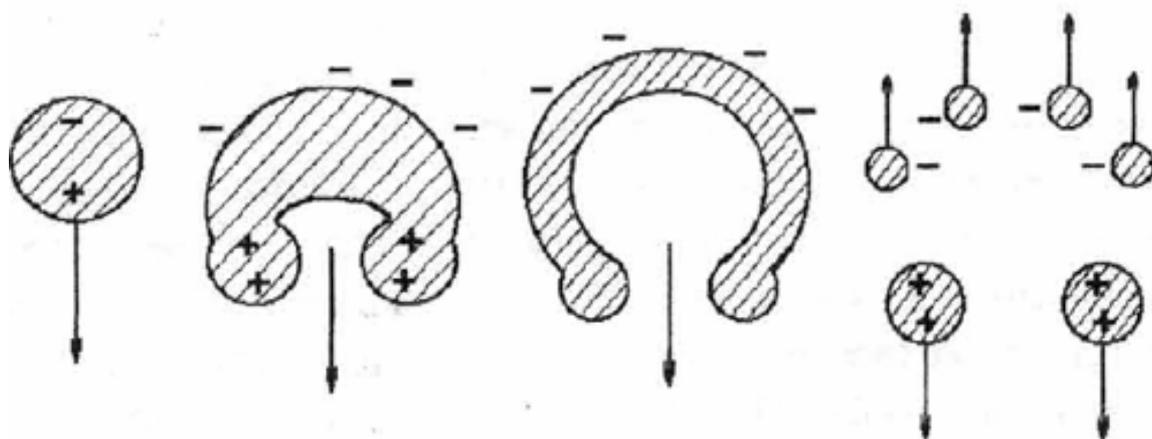


Рис. 3-2-6. Электризация капель воды при их разрушении.

**1951-Bandel Herman W.** Department of Physics, University of California, Berkeley, California, USA.

1951-Bandel Herman W. Point to plane corona in dry air. Physical Review. 1951. V.84. N.1. p.92-99.+  
В работе показано, что при подсветке УФ светом снижается величина напряжения пробоя. Исследовалась зависимость напряжения пробоя от давления и влажности воздуха.

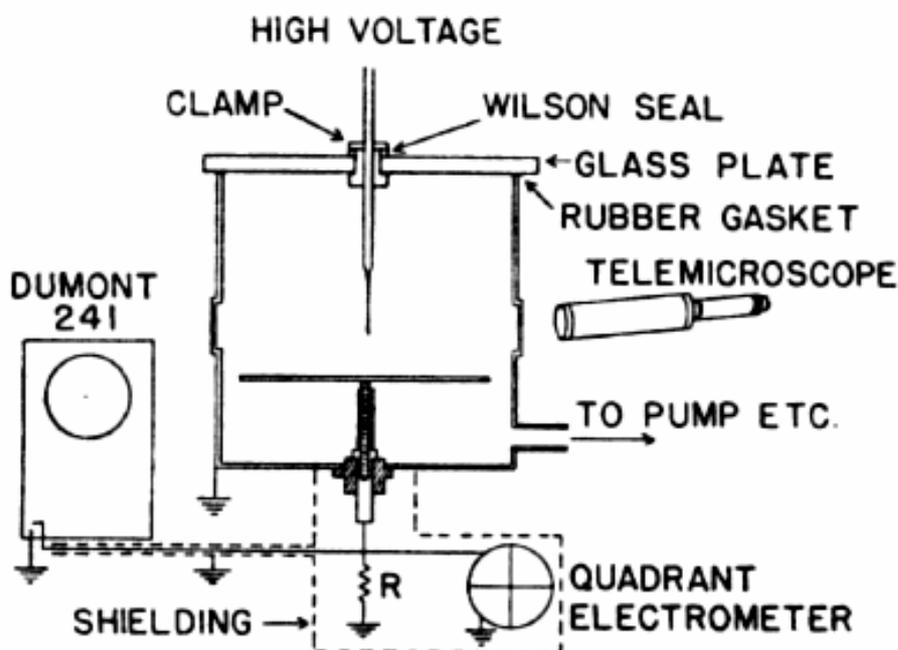


Рис. 3-2-7. Схема установки.

---

**1953-Балобанов Е.М.** Дисперсные системы в электрическом поле коронного разряда. Диссертация доктора технических наук. М., 1953. 462с. (2 тома).

---

**1956-Лившиц М.Н.** Моисеев В.Н. Электрические явления в аэрозолях и их применение. М. Л. Энергия, 1956. 224с.

1956-Лившиц М.Н. Электрические методы окраски, эмалирования и глазурирования изделий. М.: Промстройиздат, 1956. 112с.

1964-Лившиц М.Н. Автоматизация, эмалирование и окраска санитарно-технических изделий с применением коронного разряда. М. Стройиздат, 1964. 48с.

1965-Лившиц М.Н. Моисеев В.М. Электрические явления в аэрозолях и их применение. с.Л. Энергия. 1965. 222с.+

---

**1972-Докторевич В.Д.** (Симферополь).

Работы по эффекту Кирлиана проходили дома. Фотографируя монету, увидел, что длина разрядных стримеров сильно увеличивается вечером, примерно в одно и то же время. Неужели какие-то изменения в атмосфере или ионосфере влияют? Оказалось, что в это время жена выходила из ванны, и пары влаги меняли влажность фотоплёнки и разрядного промежутка. Так что эффект Кирлиана чувствителен к влажности, зависит от состояния поверхности и электрической проводимости, а у живых объектов-ещё и от состояния кровеносных сосудов, клеточных мембран, биоэнергетики.

---

**1959-Стаханов Игорь Павлович,** (1928-1987) д.ф.м.н., ИЗМИРАН (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространение радиоволн), Троицк.

1959-Стаханов И.П. Физическая природа шаровой молнии. М. Атомиздат. 1959. 240с.

1968-Стаханов И.П. К теории газового разряда и низкотемпературной плазме. Диссертация доктора физико-математических наук. Москва. 1968.

- 1973-Стаханов И.П. О природе шаровой молнии. Письма в ЖЭТФ. 1973. т.18. №3. с.193.+  
1973-Стаханов И.П. Об устойчивости шаровой молнии. Препринт №25. ИЗМИРАН. Москва. 1973. 18с.++  
1974-Стаханов И.П. Об устойчивости шаровой молнии. Журнал технической физики. 1974. т.44. №7. с.1373.  
1974-Стаханов И.П. Кластерная плазма и излучение шаровой молнии. Препринт №17(102). ИЗМИРАН. Москва. 1974. 20с.++  
1975-Стаханов И.П. Лопатников С.Л. Шаровая молния: загадки остаются. Наука и жизнь. 1975. №12. с.86.  
1976-Стаханов И.П. Кластерная плазма и излучение шаровой молнии. Журнал технической физики. 1976. т.46. №1. с.82.  
1978-Стаханов И.П. Эксперимент продолжается. Наука и жизнь. 1978. №2. с.82. 1978. №8. с.147.  
1979-Стаханов И.П. Шаровая молния: продолжаем наблюдения. Наука и жизнь. 1979. №5. с.123.  
1979-Стаханов И.П. Физическая природа шаровой молнии. М. Атомиздат. 1979.  
1982-Стаханов И.П. На снимке-шаровая молния. Наука и жизнь. 1982. №2. с.56.  
1985-Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии. М. энергоатомиздат. Издание 2-е. 1985. 208с.+

Плазма, это совокупность молекул, находящихся в ионизованном состоянии. При нормальных условиях ионы быстро рекомбинируют и плазма неустойчива. Устойчивостью обладает высокотемпературная плазма, в которой происходит ионизация за счет столкновения молекул. Плазма может находиться в устройством состоянии и при низких температурах (низкотемпературная плазма).

Если в воздухе находятся молекулы воды, то ионизированные молекулы притягивают молекулы воды (обладающие большим дипольным моментом) и образуется гидратная оболочка, образуются кластеры. Гидратная оболочка не разрушается при столкновении кластеров. Поэтому ионы не рекомбинируют и плазма приобретает устойчивость. Шаровая молния образуется в результате распада канала обычной молнии (разряда) в присутствии большого количества воды.

Расстояние между центрами иона и диполя составляет 2-2,5 ангстрема. Энергия связи молекулы воды с ионом 0,9-1,4эв. Если сольватная оболочка состоит из 3-5 молекул воды, то для ее разрушения потребуется около 4эв, что исключает возможность разрушения гидратной оболочки при столкновениях.

---

**1974-Верещагин Л.П.** и др. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. М. Энергия, 1974. 480с.

---

1974-Ревзин И.О. Экспериментальное исследование распада вертикальной струи жидкости в переменном электрическом поле. Известия вузов. Энергетика, 1974, №5, с.104-107,  
1975-Ревзин И.О. Экспериментальное исследование влияния переменного электрического поля на поверхностное натяжение жидкостей. Электронная обработка материалов, 1975, №3, с.28-30.

---

**1975-Чернышов В.А.,** (Чернов В.А.) Пантюхов С.Т., Позднякова С.А. и др. Усиление автоэлектронной эмиссии с холодного катода во влажной среде. В кн. Электрофизические свойства диэлектриков. Смоленск, 1975. с.35-38. В работе исследованы процессы эмиссии электронов во влажном воздухе при атмосферном давлении. Токи эмиссии были зарегистрированы только в неоднородных электрических полях у катода, и их величина зависела от влажности воздуха. Авторы полагают, что наблюдаемая в таких условиях автоэлектронная эмиссия обусловлена усилением поля у катода вследствие образования двойного электрического слоя.

---

**1976-Pehok John. O., Kyler, Harry J., and Faust, David L.** "Image Modulation Corona Discharge Photography". Science 15 October 1976. v.194. №4262, p.263-270.+

Анализируется влияние влажности на

поверхности пальца на формирование коронного разряда. На величину короны так же влияет скорость нарастания напряжения.

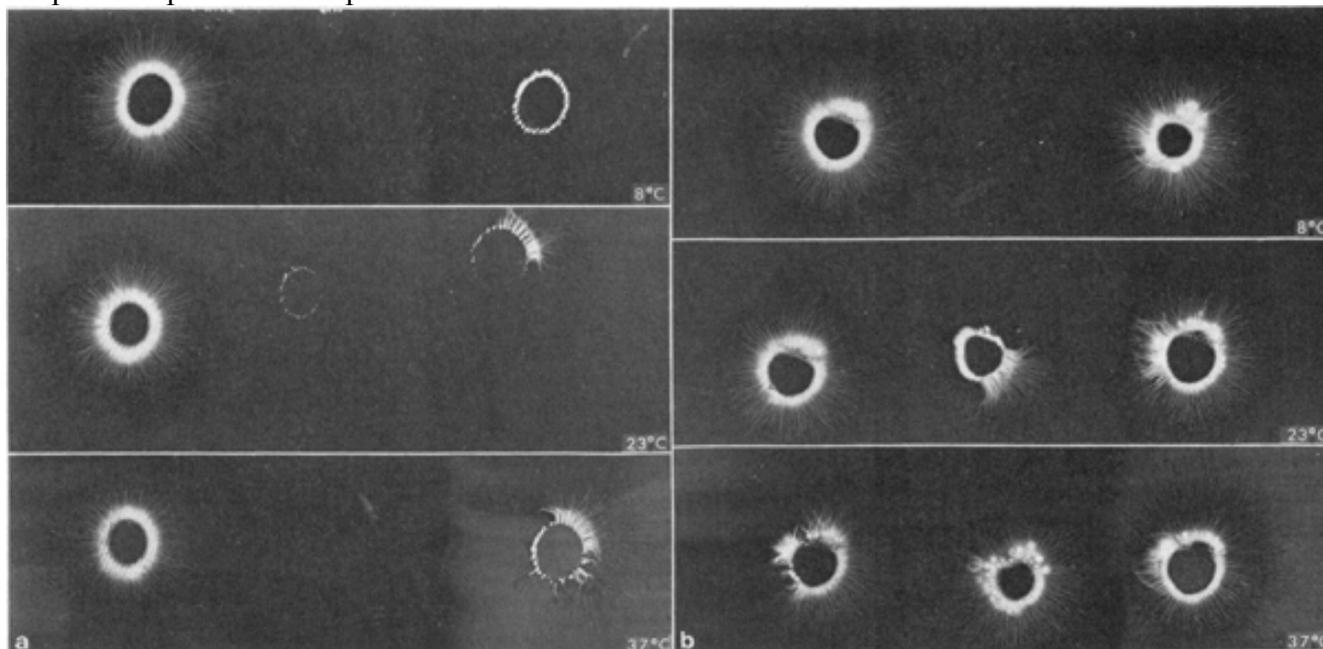
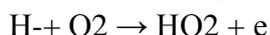
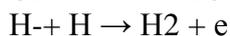
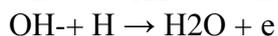
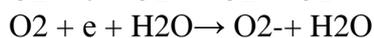
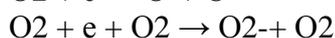
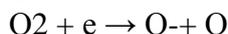
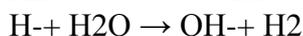
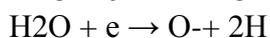
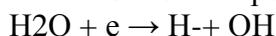


Рис. 3-2-8. Свечение пальцев при смачивании водой (слева) и раствором соли (справа) при температуре 8, 23 и 37 градусов. Левая колонка-после протирки спиртом, в центре-после выдержки в течении 1 мин. в соответствующей ванне, правая колонка-через 1 минуту после.

1980-Дубровин В.Ю., Максимов А.И. Влияние диссоциации на свойства плазмы паров воды. Химия высоких энергий. 1980. т.14. №1. с.54-59.

Особенностью плазмы паров воды является наличие процессов захвата электронов с образованием отрицательных ионов. О балансе отрицательных ионов из масс-спектроскопических измерений известно, что при столкновении электронов с молекулами H<sub>2</sub>O образуются отрицательные ионы двух типов: H- и O-. В обычных условиях при столкновении образуются главным образом ионы H-. Однако, основной отрицательный ион это OH-, который образуется в быстрых вторичных процессах.

Основные реакции в плазме паров воды:



Вследствие малой энергии связи HO-OH (52 ккал/моль) пары перекиси водорода легко диссоциируют по реакции H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> → OH + OH даже в разряде малой мощности.

**1981-Русанов В.Д., Фридман А.А., Шолин Г.В.** Физика химически активной плазмы с неравновесным колебательным возбуждением молекул. УФН. 1981. т.134, вып.2. с.185-235.+ Показано, что при энергии электронов  $<1,5\text{эВ}$  разложение молекул воды определяется в основном колебательным возбуждением.

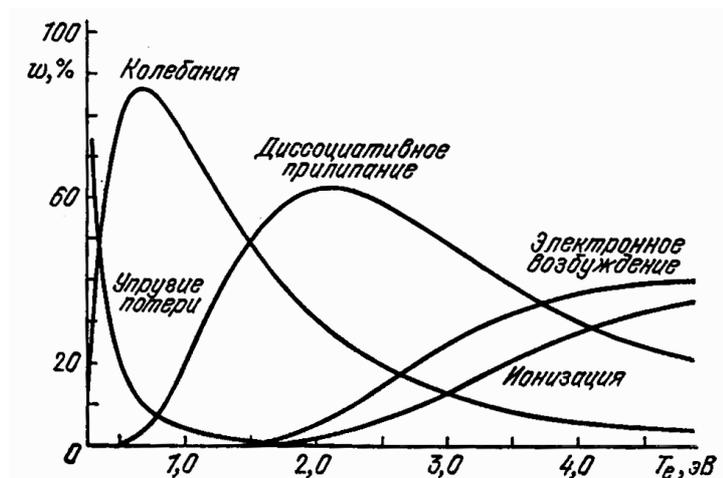


Рис. 3-2-9. Распределение энергии, теряемой электронами в  $\text{H}_2\text{O}$  по различным каналам возбуждения.

1982-Александров В.Я. Голубев Е.М. Подмошенский И.В. Аэрозольная природа шаровой молнии. Журнал технической физики. 1982. т.52. №10. с.1987.

**1987-Домород Н.Е. Кожаринов В.В. Храповицкий В.П. и др. (Минск)** О влиянии влажности окружающей среды на характер электроразрядных процессов в коротких воздушных промежутках. Журнал технической физики. 1987. т.57. Вып.2. с.264-267.

1986-Кожаринов В.В., Зацепин Н.Н., Домород Н.Е. Электроразрядный метод визуализации. Минск: Наука и техника, 1986. 134с. РЖФ 1986. Реф. 6Г394К.

Произведена качественная оценка влияния адсорбированных дипольных молекул воды на распределение тока автоэлектронной эмиссии по поверхности катода в зависимости от распределения поля у его поверхности. Расчетным путем показано возможное образование заметного тока автоэлектронной эмиссии **из-за усиления поля примерно на два порядка у поверхности электродов по причине образования двойных электрических слоев на микровыступах** в уже приложенном поле напряженностью до  $1\text{мВ/м}$ .

Показано, что максимум спектра излучения разряда во влажном воздухе приходится на длину волны  $306,4\text{нм}$ , что соответствует гидроксилу  $\text{OH}$ . Чем более сухой воздух, тем меньше линий, соответствующих продуктам разложения воды, и тем больше линий, соответствующих азоту ( $337,1\text{нм}$ ).

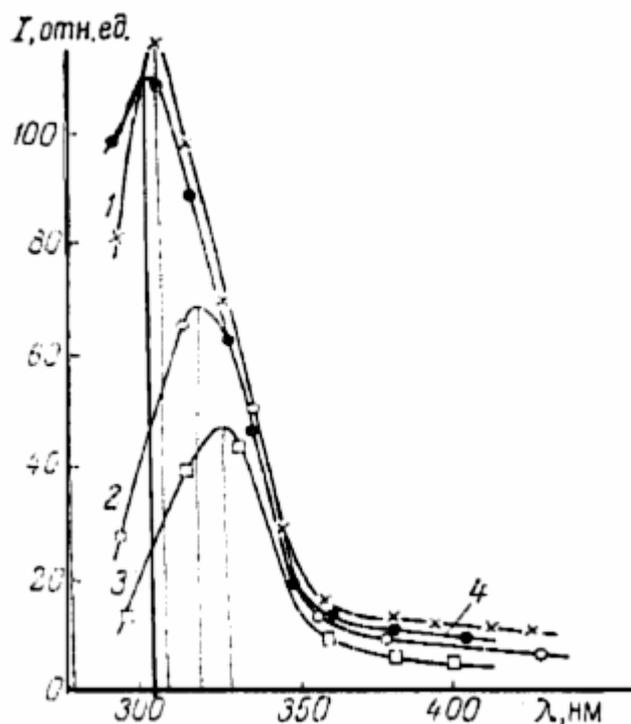


Рис. 3-2-10. Спектр излучения разряда во влажном воздухе.

**Протасевич Евгений Трофимович** (1943-2003), Томск, ТПИ.

д.ф.м.н., проф. автор 22 монографии и более двухсот публикаций. Область научных интересов: газовый разряд, физика и химия плазмы, электрон-ные пучки и ускорители, радиофизика, атмосферное электричество, геофизика, метеорология, экология, биофизика, психология, онкология.



Рис. 3-2-11. Протасевич Е.Т.

**Экспериментально показано, что при добавлении в высокочастотный разряд молекул воды удается создать холодную неравновесную плазму с аномальными свойствами:** низкой температурой нейтральных и заряженных частиц, аномально большим временем распада, уплотнением холодной плазмы газового разряда, появлением границы раздела между областями переохлажденной плазмы. При оптимальной концентрации паров воды в воздухе время рекомбинации плазмы ВЧ-разряда возрастает с 10-20 мкс (сухой воздух) до нескольких секунд (при относительной влажности воздуха, равной 95-97%). При относительной влажности воздуха, равной 95-97,5%, в свободном пространстве формируются локализованные сгустки холодной неравновесной плазмы, время жизни которых составляет единицы секунд в случае импульсного режима работы источника ионизации и может составлять минуты-часы при переходе в стационарный режим воздействия на влажный воздух.

Показано, что скорость конденсации (а затем коагуляции) водяного пара и капель воды определяется квадратом напряженности электрического поля.

Известно, что после энергетического воздействия на влажный воздух образуются ионы оксония  $\text{H}_3\text{O}^+$  и гидроксильные группы  $\text{OH}^-$ . Разноименные ионы при сближении могут образовывать долгоживущие диполи, ионные пары  $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{OH}^-\cdot\text{H}_2\text{O}$  (окислитель и восстановитель). Притяжение диполей приведет в стягиванию сгустка ионов. В центре сгустка за счет вытеснения воздуха будет возрастать «ядро» холодной плазмы. Возникает горение.

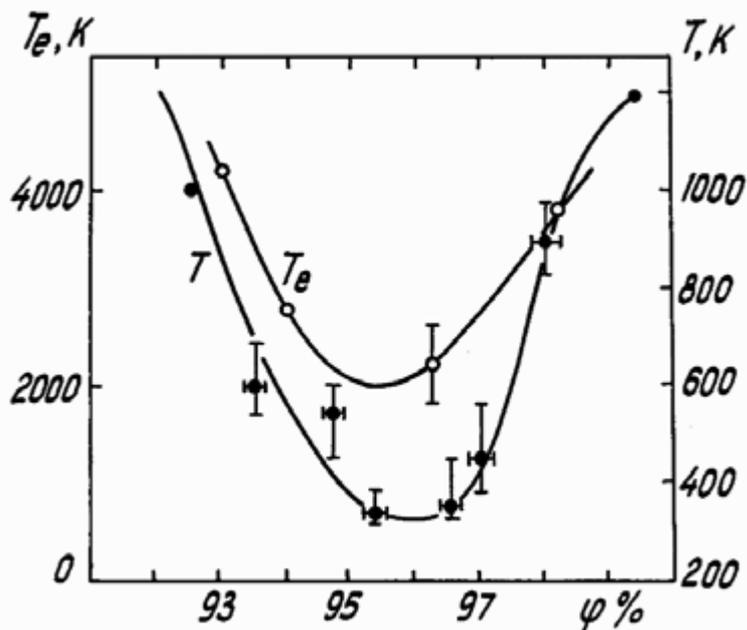


Рис. 3-2-12. Зависимость газовой температуры от влажности воздуха. Минимум при влажности 96%. Температура электронов составляет 0,2эВ (2000К). Это холодная плазма.

Принимая во внимание результаты экспериментов, в качестве основных механизмов охлаждения плазмы рассмотрены процессы, связанные с диссоциативным прилипанием электронов к молекулам  $\text{H}_2\text{O}$  и с возбуждением колебательных уровней молекулы воды с последующим ее распадом.

1982-Протасевич Е.Т. О методе охлаждения электронов в плазме газового разряда. Известия вузов, «Физика», Томск, 1983, 9с. (Деп. в ВИНТИ 28.12.82, №342-83).

1985-Протасевич Е.Т. Капичка В., Браблец А. Резонансное охлаждение плазмы ВЧ-разряда парами воды//ЖТФ, 1985, т.55, №4, с.743-745.

1987-Зуев В.Е., Копытин Ю.Д., Протасевич Е.Т. Образование долгоживущих плазмодов при охлаждении ВЧ-разряда потоком водно-капельного аэрозоля//ДАН СССР, 1987, т.296, №2, с.337-340.

1987-Байрамов М.Б., Копытин Ю.Д., Протасевич Е.Т. Эффекты, возникающие при взаимодействии плазмы лазерного и ВЧ-пробоя воздуха с потоком водно-капельного аэрозоля. Известия вузов, «Физика», Томск, 1987, 11с. (Деп. в ВИНТИ 6.07.87, №6516-В87).

1988-Протасевич Е.Т., Сметанин В.И., Суриков Ю.П. Взаимодействие СЭП с увлажненной средой. Известия вузов, «Физика», Томск, 1988, 6с. (Деп. в ВИНТИ 9.02.88, №1077-В88).

1988-Дорошков В.В., Копытин Ю.Д., Протасевич Е.Т. Метастабильные ионизационные состояния воздушной среды, инициируемые лазерным и высокочастотным излучением. XIII Междунар. конф. по когерентной и нелинейной оптике, 6-8 сентября 1988, Минск, 1988, т.2, с.233.

1989-Протасевич Е.Т. Высокочастотный разряд во влажном воздухе при давлениях 1-20 рт. ст. «Физика космической и лабораторной плазмы», Под ред. А.Г. Пономаренко. СОАН, Новосибирск: Наука, 1989. с.170-174.

1989-Протасевич Е.Т. Холодная неравновесная плазма газового разряда. Теплофизика высоких температур. 1989. т.27. №6. С.1206-1218.

1989-Куриленков Ю.К., Протасевич Е.Т. Об особенностях долгоживущих плазменных образований. Письма в ЖТФ, 1989, т.15, №14, с.7-12.+

1990-Протасевич Е.Т. ВЧ-разряд при пониженном давлении в условиях переменной влажности воздуха. Годишник на весшите учебни заведения. «Техническа физика» (Болгария), 1990, т.26, №2, с.169-180.

1991-Протасевич Е.Т. Обработка спектра СВЧ-разряда. Сибирский физико-технический журнал. 1991. вып.3. с.94-98.

1991-Григорьев В.П., Протасевич Е.Т., Поташев А.Г. и др. Исследование физико-химических процессов при ионизации влажного воздуха. /Сиб. физ. техн. журн. 1991. Вып.3. с.161-169.

1991-Протасевич Е.Т. Экспериментальное моделирование долгоживущих плазменных образований. Конф. М. ИВТАН. 1991.+

1992-Григорьев В.П., Протасевич Е.Т., Бейсамбаев Ж.К. Исследование физико-химических процессов при ионизации влажного воздуха. Сиб. физ. техн. журн., 1992, №3, с.57-62.

1993-Протасевич Е.Т. Простейшая спектроскопия холодной неравновесной плазмы. Оптика атмосферы и океана. 1993. т.6. №8. с.950-961.

1995-Protasevich E.T. Natural electromagnetic background and long-lived glowing phenomena in the atmosphere. Tomsk: TPU, 1995. 102p.

1995-Grigoryev V.P., Protasevich E.T. Der Kondensations-Koagulations-mechanismus der Niederschlagsbildung. Tomsk: TPU, 1995. 104p.

1997-Шустов М.А. Протасевич Е.Т. Аэроионная индикация энергетически напряженных зон. Вестник биолокации. 1997. №3 (7). с.6-8.

1999-Шустов М.А. Протасевич Е.Т. Электроразрядная фотография. Томск. ТПУ. 1999. 241с.+

1999-Protasevich E.T. Cold non-equilibrium plasma. Generation, Properties, Application. Cambridge: Cambridge Intern. Science Publishing, 1999. 280p.

2001-Шустов М.А. Протасевич Е.Т. Теория и практика газоразрядной фотографии. Томск: ТПУ. 2001. 252с. Параграф 1.2 Роль паров воды в газоразрядной фотографии.

2003-Протасевич Е.Т. Влияние влажности воздуха на характер его послесвечения при газоразрядном фотографировании объектов. Конф. Краснодар. 2003. с.4-6.++ В работе исследовалась зависимость газовой температуры разряда и температуры электронов от относительной влажности воздуха. Показано, что температура разряда минимальна при относительной влажности воздуха 96%, и составляет 27 градусов Цельсия.

2005-Протасевич Е.Т. Разновидности свечения ВЧ разряда в зависимости от влажности воздуха. Журнал технической физики. 2005. т.75. выпуск 7. с.134-136.+

---

1987-Разложение воды и атмосферное электричество. Доклады АН СССР. 1987. т.293. №3. с.572-574. Н.Н. Красиков (Ленинградское инженерное морское училище им. адмирала С.О. Макарова) предлагает рассматривать нижние слои атмосферы как среду, не имеющую поляризации молекул, а содержащую нейтральные молекулы O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> и инертных газов. В ней в виде примесей присутствуют молекулы окислов углерода и азота, а также аммиака, сернистого и других газов, но прежде всего, воды. Соударения молекул H<sub>2</sub>O может приводить к образованию димеров и других более сложных молекулярных комплексов (кластеров) с водородными связями. В таких молекулах воды вдоль ОН-групп действуют растягивающие электрические силы, которые способствуют отрыву протона, т.е. ионизации молекул, в то время как индивидуальные молекулы ионизируются только под воздействием излучения. Так, для отрыва H<sup>+</sup> от молекулы воды в димерном состоянии достаточно внешнего гидродинамического или электрического воздействия, носящего флуктуационный характер. Процесс идет интенсивней у ассоциатов, находящихся на поверхности капель, где из-за упорядочения полярных групп возникает разность потенциалов, способствующая ионизации.

---

1998-Александров Н.Л., Базелян Э.М., Новицкий Д.А. Влияние влажности на свойства длинных стримеров в воздухе. Письма в Журнал Технической Физики, 1998. т.24. №9. с.86-91.+

Выполненное моделирование показывает, что многократно обсуждавшийся эффект затруднения развития стримера с увеличением влажности связан не с кинетикой отрицательных ионов (как считалось ранее), а с ускорением электрон-ионной рекомбинации.

<http://neq.mipt.ru/publications/>

---

2007-Коренюгин Д.Г. Шигалев В.К. (Санкт-Петербургский государственный политехнический университет) Исследование разряда в парогазовой среде с жидкофазным электродом. Конф. СПб. 2007.

Показано, что в барьерно-поверхностном разряде с жидкофазным электродом существенное влияние на площадь поверхностной короны и среднюю длину стримеров в ее составе оказывают два фактора: состав атмосферы в разрядном промежутке и электропроводность жидкофазного электрода.

Использовалась методика с подвешенной каплей, величина зазора составляла 3. Для создания однородного пространственного распределения каналов разряда использовались прозрачные **целлофановые пленки** толщиной 20 мкм, которые накладывались на поверхность диэлектрической пластины в месте локализации разряда. Исследовались растворы солей NaCl, CuSO<sub>4</sub> и NaHCO<sub>3</sub>, концентрация которых изменялась от 20 мг/л до 20 г/л. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода.

Эксперименты показали, что при различных концентрациях примесей наблюдаются несколько видов разряда. Действительно, стример начинает развиваться из той точки поверхности капли, где напряженность электрического поля в данный момент времени максимальна и превышает пробойное значение. Следующая лавина будет развиваться только через время, когда плазма проводящего канала полностью или частично рекомбинирует. Это время можно оценить длительность в 100 нсек. Прямые осциллографические измерения показали, что длительность составляет 50-100 нсек.

За время развития лавины в точке на поверхности капли, где она начала образовываться, возникает поверхностный заряд. После окончания протекания тока он начинает рассасываться. В зависимости от соотношения между трас. и трек. можно выделить два основных вида разряда.

При концентрациях NaCl < 1,5 г/л, незначительное повышение концентрации ионов в среде приводит к увеличению импульсного тока проводимости от 400 мА до 850 мА, т.е. к увеличению общего числа проводящих каналов, а также к их удлинению. Рост средней длины стримеров, по всей видимости, в основном определяется перераспределением приложенного напряжения между раствором электролита и стримерами в зависимости от проводимости раствора.

При концентрациях значительно больших, чем 1,5 г/л, наблюдается уменьшение общей площади разряда для растворов NaCl и постоянные значения площадей для остальных растворов в пределе до 10 г/л. При этом импульсный ток разряда достигает величины 1,2 А и с дальнейшим увеличением концентрации не растет, т.е. почти все внешнее напряжение оказывается приложенным к разрядному промежутку. Однако, в данной фазе разряда существенным образом происходит изменение состава атмосферы, в которой он происходит, так как с увеличением концентрации примеси в растворе электрода в стримерные каналы инжектируется все большее количество ионов распыляемого электрода. Это, по-видимому, и приводит к изменению структуры стримерных каналов (увеличение сечения стримера, смыкание стримеров, ортогональное падение стримеров на поверхность диэлектрика и как следствие, отсутствие длинных, скользящих участков и т.п.). Более того, поскольку количество падающих перпендикулярно поверхности диэлектрика стримеров значительно возрастает, то это приводит к тому, что линии внешнего электрического поля в основном будут замкнуты на объемных зарядах головок групп стримеров. В результате, внешнее поле вблизи поверхности диэлектрика будет искажено настолько, что не будет вызывать скольжения стримеров по поверхности. Таким образом, уменьшение параметра площади разряда, по всей видимости, определяется данными явлениями.

---

2010-Арделян Н.В., Бычков В.Л., Космачевский К.В., Кочетов И.В. Моделирование разрядной плазмы с парами воды. 37-я Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и УТС, 8-12 февраля 2010 г. с.361.

---

2012-Савич Эдуард Владимирович (Харьков) Четвертое состояние воды. 2012.+ Рассматривается изменение состояния воды (пара) при воздействии температурой и

электромагнитным полем. В этом случае молекулярные диполи воды ориентируются вдоль направления электромагнитного поля.

---

2010-Широнос Валентин Георгиевич. Сверхкогерентное излучение квадрупольей.

---

### 3.3 Огни Святого Эльма.

#### Огни святого Эльма (Saint Elmo Light).

Огни святого Эльма это разряд в форме светящихся пучков или кисточек (или **коронный разряд**), возникающий на острых концах высоких предметов (башни, мачты, одиноко стоящие деревья, острые вершины скал и т.п.) при большой напряжённости электрического поля в атмосфере. Они образуются в моменты, когда напряжённость электрического поля в атмосфере у острия достигает величины порядка 500 В/м и выше, что чаще всего бывает во время грозы или при её приближении, и зимой во время метелей. По физической природе представляют собой особую форму коронного разряда.

Можно отметить, что огни Эльма часто наблюдаются на кораблях. Это может быть связано с тем, что вокруг кораблей имеется повышенная влажность воздуха, которая снижает напряжение для возникновения коронного разряда.

Своим именем огни обязаны церкви в Италии, на шпигеле которой они часто наблюдались. В Древнем Риме эти огни назывались огнями Кастора и Поллукса.

Интенсивность свечения зависит, при прочих равных условиях, от знака заряда острия. Положительный заряд даёт более крупное и интенсивное сияние, чем отрицательный. Чаще наблюдаются огни святого Эльма при отрицательном заряде, и тогда они голубоватого цвета, при положительном они красноватые.

Одним из объяснений возникновения огней святого Эльма является дробление водяных капель и эмиссией электронов с их поверхности в сильных электрических полях.

Разряд можно получить в домашних условиях, например, снять с себя синтетическую майку (или свитер) и направить на неё иголку. С определённого расстояния на кончике иглы возникает разряд, хорошо видимый в темноте, при этом слышно потрескивающее шипение. Возможно также вызвать разряд на кончике иглы, приблизив её к экрану телевизора с кинескопом, или же рядом с аппаратом, подобным трансформатору Теслы, на расстоянии большем, чем необходимо для дугового разряда.

«Холодным» огнём в XVIII в. был заинтересован петербургский академик швейцарского происхождения Леонард Эйлер. Считается, что именно он первым объяснил природу явления. Но только в XX в. смогли правильно связать огни с тихим электрическим разрядом (коронным разрядом).

В XX веке гипотеза о появлении огней благодаря только коронному разряду, появляющемуся во время грозы, была окончательно опровергнута. Во многом благодаря случайному открытию советского ученого Б.В. Войцеховского, который в лабораторных условиях пытался получить шаровую молнию, а получил свечение, подобное упомянутым огням. Так эксперименты с облаками сильно заряженных капель воды указали на важную роль, которую она играет в чудесном перевоплощении Эльма.



Рис. 3-3-1. Огни святого Эльма.

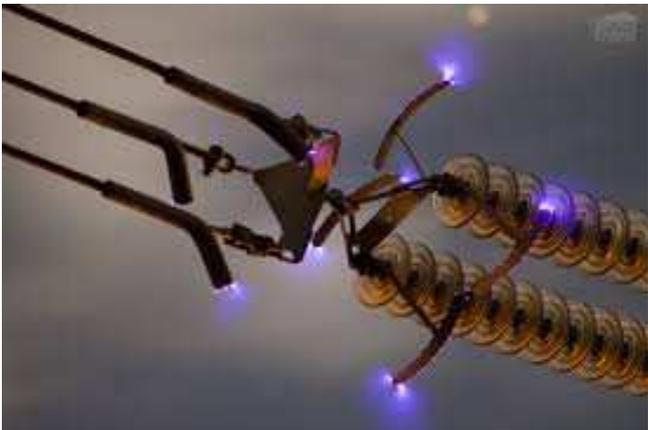


Рис. 3-3-2. Токи утечки во влажном воздухе.

**Войцеховский Богдан Вячеславович** (1922-1999), академик, зав. лабораторией. Институт гидродинамики СО РАН, Новосибирск.

**Войцеховский Богдан Богданович.**



Рис. 3-3-3. Войцеховский Б.В.

1974-Исследовалось свечение вокруг пальцев, которое возникает в сильном электрическом поле. Это свечение называется огни Эльма. Первая публикация Богдана Вячеславовича и Богдана Богдановича Войцеховских на тему шаровой молнии и огней св. Эльма была представлена в ДАН в 1974.

1976-Первые экспериментальные результаты были получены и опубликованы в 1976 г. Изюминка в постановке экспериментов заключалась в том, что Войцеховскими была создана установка по генерации "облака заряженных капель" в виде распыления воды до капелек ~ 10мкм в электрическом поле до 3кВ/см. **Различные предметы, поставленные в поток заряженных капель, начинают светиться.** От вставленного в поток конуса свечение расходится в виде веера. Светятся кончики пальцев руки. Свечение интенсивное, оно отчетливо видно с расстояния 3м.

1977-установка, на которой были получены модельные огни святого Эльма, вывозилась в Москву в Институт проблем физики, в лабораторию П.Л. Капицы для демонстрации московским физикам столь важного результата в физике светящихся природных явлений. Техническое обеспечение работы установки выполнял Михаил Савельевич Мандрик. Вот что он рассказывает. Для увеличения эффекта свечения Богдан Вячеславович поручил сотрудникам регулярно смазывать перила лестницы обычным маслом. Посетители приходили в комнату, где стояла установка, с "готовыми" руками на которых был тонкий слой углеводов, это обеспечивало более яркий эффект демонстрации огней Эльма.



Рис. 3-3-4. Богдан Войцеховский демонстрирует эффект образования огней святого Эльма в своей лаборатории. Слева виден генератор капельного облака, в которое введена ваза.

1974-Войцеховский Б.В. Войцеховский Б.Б. Природа шаровой молнии. Доклады АН СССР. 1974. т.218. №1. с.77-80.+  
1976-Войцеховский Б.В. Войцеховский Б.Б. Свечение в потоке заряженных капель. Письма в ЖЭТФ. 1976. т.23. №1. с.37-39.+  
1976-Войцеховский Б.В. Войцеховский Б.Б. Огни святого Эльма в лаборатории. Наука и жизнь. 1976. №5. с.21.+  
1982-Войцеховский Б.Б. Огни св.Эльма и свечение на предметах в облаке электрически заряженных капель воды. Доклады АН СССР. 1982. т.262, №1. с.84-88.+  
1987-Войцеховский Б.В. Войцеховский М.Б. Изолированный огонь св. Эльма на летающем концентраторе и шаровая молния. Доклады АН. 1987. т.295. №3. с.580-582.+

---

**1984-Григорьев Александр Иванович**, д.ф.м.н. Ярославский Государственный Университет, Особой формой атмосферного электричества вплотную занимались в Ярославском государственном университете им. П.Г. Демидова. В 1979 году на базе университета под руководством Александра Ивановича Григорьева был создан Центр по сбору и обработке информации о наблюдениях в естественных условиях редких форм атмосферного электричества. В результате многолетних исследований, наблюдений, за время которых у сотрудников центра собралась целая картотека с описаниями случаев этого феномена, удалось классифицировать огни Святого Эльма или, как они их обозначали, ОСЭ на три вида подобного свечения. Они различаются между собой условиями и физическими механизмами возникновения.

1-Свечение с характерным линейным размером порядка сантиметров, возникающее на сухих заостренных металлических предметах: колючках проволочных ограждений, штыках винтовок, антеннах, которое естественно связать с обычным коронным разрядом с металлического острия. Описания таких явлений встречались в 10% случаев. В особых комментариях эта форма огней Святого Эльма не нуждается и может считаться хорошо изученной в связи с исследованием коронного разряда с металлического острия.



Рис. 3-3-5. Фотография коронного разряда с бритвенного лезвия при подаче на него положительного электрического потенциала 10кВ. Фотография получена с выдержкой 10с.

2-Свечение, возникающее во время влажных снежных метелей и зимних гроз на произвольных предметах при эмиссии заснеженной или покрытой инеем поверхностью сильно заряженных микрокристаллов снега. Такая форма огней Святого Эльма наблюдается в 8% описаний. Характерный линейный размер свечения ~10 см.



Рис. 3-3-6. Фотография диффузного свечения в окрестности тающего снежка при подаче на него положительного потенциала 10кВ. Радиус кривизны снежка 1см. Выдержка при фотографировании 10сек.

3-Свечение с характерным линейным размером до 1 м, возникающее в грозовую погоду на произвольных предметах при повышенной влажности (когда поверхность предмета покрыта каплями или пленкой воды), связано с неустойчивостью поверхности воды в электрическом поле. Эта форма огней Святого Эльма встречается в 82% описаний.

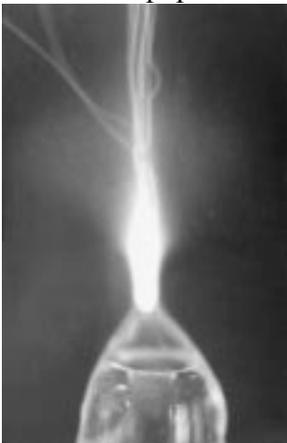


Рис. 3-3-7. Фотография диффузного свечения, возникающего в окрестности вершины водяного мениска на торце капилляра с радиусом 1,5мм при подаче на него положительного потенциала 10кВ. Выдержка при фотографировании 10сек. Видна траектория движения отдельных крупных капель воды, светящихся в темноте за счет коронного разряда в их окрестности.

Физические механизмы образования Огней Эльма основаны на возможности зажигания в окрестности заряженных дочерних капелек самоподдерживающегося за счет фотоионизации коронного разряда.

1984-Григорьев А.И. Синкевич О.А. О возможном механизме возникновения огней «св.Эльма». Журнал технической физики. 1984. Т.54, №7. с.1276-1283.+

1986-Григорьев А.И., Григорьева И.Д., Синкевич О.А., Ширяева С.О. Огни св.Эльма. 3-й Всесоюзный симпозиум по атмосферному электричеству. Тарту. 28-31.10.1986. с.139.

1990-Григорьев А.И., Сыщиков Ю.В., Ширяева С.О. Журн. прикл. химии. 1990. т.62, №9. с.2020-2026.

1994-Григорьев А.И., Ширяева С.О. Известия РАН. Механика жидкости и газа. 1994. №3. с.3-22.

2000-Григорьев А.И. Капиллярные электростатические неустойчивости. Соросовский образовательный журнал. 2000. т.6. №6. с.37-43.+

2006-Григорьев А.И., Ширяева С.О., Воронина Н.В., Егорова Е.В. ЭОМ. 2006. №6. с.23-34.

2009-Григорьев А.И. Электростатическая неустойчивость сильно заряженной струи электропроводной жидкости. Журнал технической физики. 2009. т.79. вып.4. с.36-45.+

### 3.4 Электростатическое распыление (electrospray).

При подаче на палец положительного импульса возникает эффект электростатического распыления из капилляров (пор), образуются выбросы микрочастиц жидкости. В результате образуются стримеры.

При возникновении разности потенциалов на электродах, на поверхности жидкости возникают электрические заряды, противоположные по знаку заряду на индуцирующем электроде. Индуцированные электрические заряды начинают вместе с жидкостью, согласно законам электростатики, притягиваться, то есть-двигаться к индуцирующему электроду. При достижении критической концентрации зарядов на поверхности жидкости они отрывают жидкость от капилляра. Оторвавшись от кромки жидкость, в связи с неоднородностью электростатического поля вблизи капилляра, сильно ускоряется, а избыточные электрические заряды, оставшиеся на оторвавшихся струях, начинают разрывать её на капли (частицы). При этом **на капилляр подается положительный потенциал, а на удаленную поверхность подается отрицательный потенциал.**

Если на поверхности жидкости возникает электростатический заряд, то под действием кулоновских сил пленка жидкости распадается на капли таких размеров, при которых силы взаимного отталкивания капель уравниваются силами поверхностного натяжения.

В результате экспериментов получено, что электростатическое распыление возникает при напряженности поля  $E > 0,5 \text{ ВК/см}^2$ .

Метод электродиспергирования основан на капиллярных электростатических неустойчивостях жидкости, подверженной действию электрических сил.

Метод электростатического диспергирования представляет собой процесс распыления из конусного мениска жидкости на конце капилляра множества мелких капель под действием достаточно сильного электрического поля. Если между капиллярным соплом, заполненным находящейся в равновесии жидкостью, и расположенным рядом электродом создать определенную напряженность электрического поля, то под действием индуцированных на поверхности жидкости зарядов нарушится устойчивость поверхности мениска. Электрические силы начнут превосходить силы сцепления в жидкости, и мениск жидкости начнет вытягиваться в конус, его вершина начнет совершать колебательные движения и дробиться на заряженные капли, которые будут с нарастающей скоростью двигаться в сторону ускоряющего электрода.

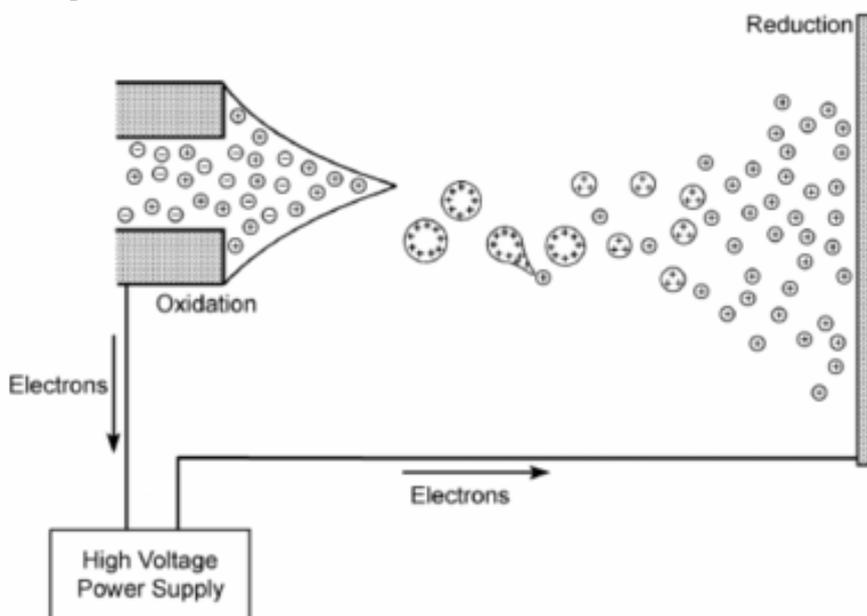


Рис. 3-4-1. Схема установки для электрораспыления.

**1751-Nollet Jean Antoine** (1700-1770) Еще в середине XVIII века на заре исследования электрических явлений профессор физики Туринского и Парижского университетов **аббат Нолле** описал явление диспергирования воды в тончайший аэрозоль при ее электризации с помощью простейшего генератора электричества-вращающегося стеклянного шара, приобретавшего заряд при трении о ладони экспериментатора. Аббат Нолле сообщил еще об одном интересном опыте: **при малейшем повреждении кожного покрова человека, стоящего на изоляционной подставке и подверженного высокой электризации, из ранки начинала бить струйка мельчайших капелек крови**, исчезающая при отключении от генератора электричества. Но поскольку теоретическое осмысление электрических явлений в целом и этих опытов в частности находилось в зачаточном состоянии, то и упомянутые эксперименты в последующие полтора века оставались в истории науки на уровне курьеза, пока в конце XIX века не была опубликована работа лорда Рэля, посвященная теоретическому исследованию устойчивости сильно заряженной капли.

1751-Nollet J.A. Extract of the observations made by Abbe Nollet on the Grotta de Cane. Ghilosophical Transactions of the Royal Society. 1751-2. 48-61. at 55.

**Рэлей.** Неустойчивость сильно заряженной капли. Рэлей задался простым вопросом: какой максимальный поверхностный заряд  $Q$  может нести в вакууме изолированная сферическая капля несжимаемой электропроводной жидкости радиуса  $R$  с поверхностным натяжением  $s$ . Ясно, что на сферическую поверхность капли действуют капиллярное давление  $P_s = 2s/R$ , направленное к центру капли, и давление электростатического поля собственного заряда капли  $P_Q = Q^2/8\pi R^4$ , равномерно распределенного по ее сферической поверхности, направленное наружу вдоль внешней нормали к поверхности капли. Капиллярное давление сжимает каплю. Давление же электрического поля, существование которого связано с отталкиванием друг от друга одноименных зарядов, стремится растянуть каплю (увеличить ее объем). Несложно видеть, что давления  $P_s$  и  $P_Q$  зависят только от радиуса капли  $R$  и при  $P_s > P_Q$  определяют ее равновесную сферическую форму. Тем не менее зависимость капиллярного давления  $P_s$  от радиуса капли  $R$  существенно слабее по сравнению с давлением электрического поля. Отсюда очевидно, что при фиксированном заряде  $Q$  для любой конкретной жидкости (при  $s = \text{const}$ ) можно указать такой размер капли (радиус  $R$ ), когда  $P_Q$  превысит  $P_s$ . Откликом на превышение давления электрического поля над капиллярным давлением будет изменение формы капли, при котором сила отталкивания друг от друга двух половинок (каждая из которых несет заряд  $Q/2$ ) уменьшится. Простейшей деформацией будет вытягивание капли в фигуру типа сфероида, получающуюся при вращении эллипса вокруг большей оси. При такой деформации расстояние между "центрами тяжести" зарядов обеих половинок капли будет увеличиваться, а сила и энергия их отталкивания уменьшаться. Можно сказать, что капля претерпит неустойчивость по отношению к собственному заряду. Критическое условие реализации описанной неустойчивости имеет вид  $P_Q > P_s$ . Отсюда легко получить так называемый критерий неустойчивости Рэля заряженной капли (неустойчивости заряженной капли по отношению к собственному заряду) в безразмерном виде. Дальнейшая судьба неустойчивой капли зависит от ее вязкости и электропроводности.

Капли сильно вязкой или плохо проводящей жидкости при большой величине сфероидальной деформации (при большом удлинении, вызванном действием каких-либо сторонних сил) разорвутся на две половинки равных размеров с равными зарядами. Дочерние капли будут уже устойчивы по отношению к имеющемуся на них заряду.

Несколько иной будет эволюция неустойчивой капли маловязкой и хорошо проводящей жидкости. При удлинении такой капли ее заряд будет перераспределяться по поверхности: плотность заряда на вершинах вытягивающейся капли увеличивается, а в окрестности плоскости симметрии, перпендикулярной направлению удлинения, уменьшается. Давление электрического поля собственного заряда на вершинах капли, направленное наружу по отношению к поверхности капли и стремящееся ее разорвать, пропорционально квадрату поверхностной плотности заряда, будет быстро расти с вытягиванием капли. При некотором фиксированном удлинении давление электрического поля превысит капиллярное давление,

сжимающее каплю, и из ее вершин начнут бить струйки мелких, сильно заряженных дочерних капелек, уносящих избыточный поверхностный заряд.



Рис. 3-4-2. Схематическое изображение неустойчивой по отношению к собственному заряду капли, сбрасывающей избыточный заряд путем эмиссии высокодисперсных сильно заряженных капелек.

Строгие расчеты показывают, что неустойчивая капля эмитирует около 200 дочерних капелек, заряды и радиусы которых на два порядка меньше заряда и радиуса родительской капли. Но самое любопытное то, что для хорошо проводящих жидкостей дочерние капельки изначально неустойчивы по отношению к собственному заряду и распадаются по тому же закону, выбрасывая еще более мелкие.

Незаряженная капля в однородном электрическом поле принимает форму эллипсоида. Закономерности финальной стадии развития неустойчивости незаряженной капли по отношению к заряду, индуцированному на ее вершинах полем качественно сходны с рассмотренными в предыдущем разделе. Основное отличие в том, что дочерние капельки, эмитированные с противоположных концов неустойчивой родительской капли, несут теперь заряды противоположных знаков.

Неустойчивость плоской поверхности проводящей жидкости в перпендикулярном к ней однородном электрическом поле не зависящем от времени. Этот вид электростатической неустойчивости заряженной поверхности жидкости носит название неустойчивости Тонкса-Френкеля по именам исследователей, определивших критические условия ее реализации. При реализации неустойчивости Тонкса-Френкеля, когда давление постоянного однородного электрического поля напряженностью на свободную поверхность жидкости превысит критическое значение, определяемое условием (3), случайные возмущения равновесной плоской свободной поверхности начинают расти со временем по экспоненциальному закону. В итоге на свободной поверхности жидкости образуется множество выступов, с вершин которых начинается сброс избыточного заряда, индуцированного полем на свободной поверхности жидкости. Сброс заряда, как и в упомянутых ситуациях, происходит в виде эмиссии с вершин выступов мелких, сильно заряженных капелек.

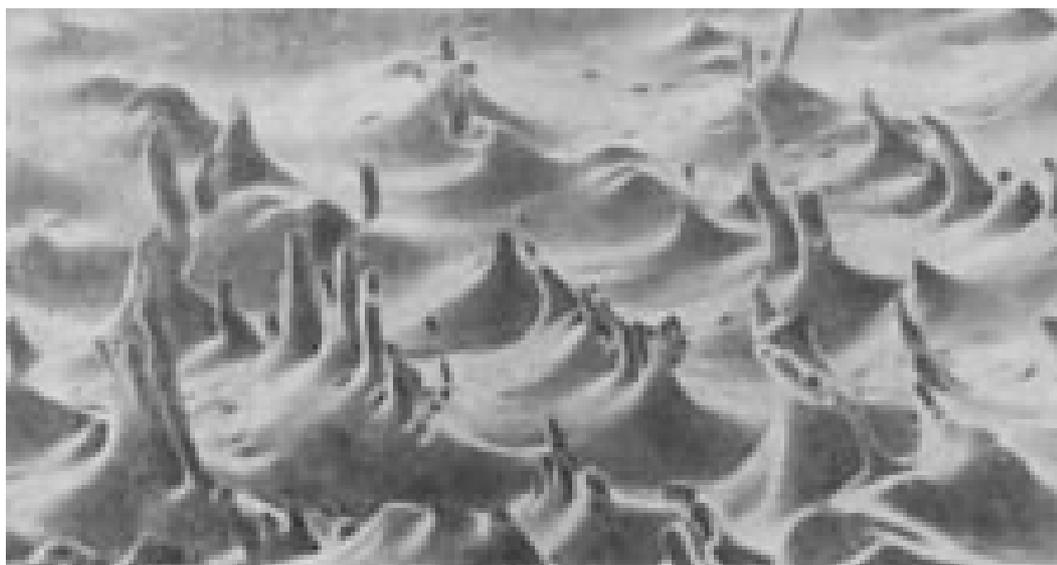


Рис. 3-4-3. Неустойчивость по отношению к индуцированному заряду поверхности жидкого металла, неустойчивость Тонкса-Френкеля.

1952-Vonnegut B., Neubauer R.L. Production of Monodisperse Liquid Particles by Electrical Atomization., J. Colloid. Sci., 1952, v.7, №7, p.616-622.

1967-Багдасаров А.М. Некоторые вопросы теории электростатического распыливания и интенсификации процессов сгорания автомобильных топлив о помощью их искусственной электризации. Диссертация кандидата технических наук. Ташкент, 1967.

1968-Салимов А.У. Балабеков М.Г. Багдасаров А.М. Вопросы теории электростатического распыливания. Ташкент. Фан. АН УзССР, 1968. 109с.

1971-Салимов А.У, и др. Влияние электризации на процесс самовоспламенения одиночных свободно падающих капель авиационных топлив. Ташк.полит.ин-т, 1971, вып.82, с.153-166.

1978-Салимов А.У. Вопросы теории электростатического распыливания жидкостей и интенсификации процессов сгорания жидких топлив в тепловых двигателях. Диссертация додктора технических наук. Ташкент, 1978. 365с.

1971-Ситугин А.Г. Простой прибор для получения монодисперсных аэрозолей. Физика аэродисперсных систем. 1971, вып.4. с.33-37.

1976-Кожевников В.И., Фукс Н.А. Электродинамическое распыление жидкости. Успехи химии. 1976, т.XLV, вып.12. с.2275-2284.

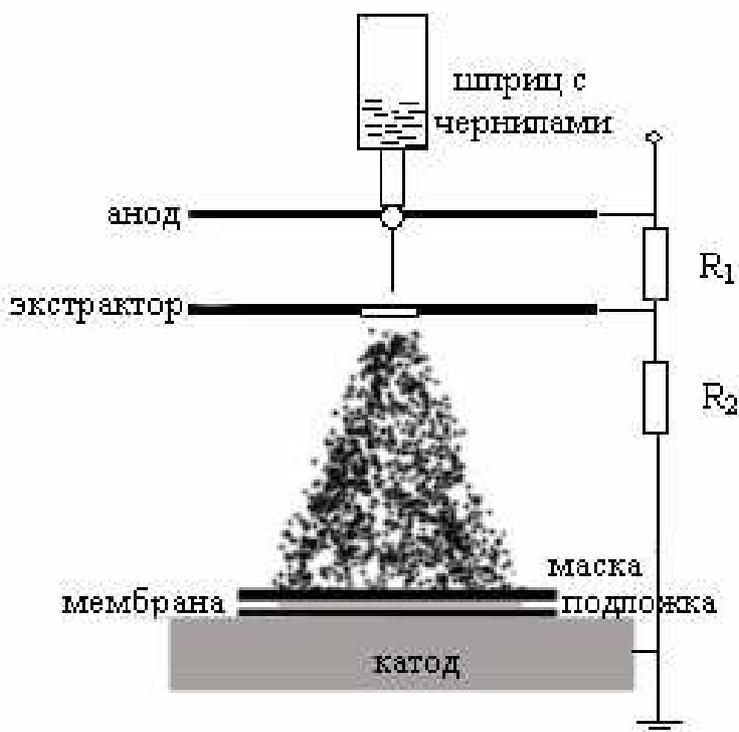


Рис. 3-4-4. Схема электродиспергирования. Рассматривается распад на капли с поверхности менисков жидкости на торцах капилляров.

1962-Magarvey R., Outhouse L. Note on the break up of charged liquid jet // J. Fluid Mech. 1962. Vol. 13. №1. P.151-157.

1971-Huebner A., Chu H. Instability and breakup of charged liquid jets // J. Fluid Mech. 1971. Vol. 49. №2. p.361-372.

1975-Болога М.К., Руденко В.М, Об интенсификации испарения жидкости под воздействием электрического поля. Электронная обработка материалов, 1975, №3, с.37-40,

1975-Hoburg J.F., Melcher J.R. Current-driven, corona terminated water jets as sources of charged droplets and audible noise. JEEE Transaction on Power Apparatus System. 1975. V.94. №1. p.128-136.

- 1976-Kim K., Turnbull R. Generation of charged drops of insulating liquids by electrostatic spraying // J. Appl. Phys. 1976. V.47. №5. P.1964-1969.
- 1976-Коженков В.И., Фукс Н.А. Усп. химии. 1976. т.45. №12. с.2274-2284.
- 1983-Габович М.Д. Жидкометаллические эмиттеры ионов. УФН. 1983. т.140. №5. с.137-151.+
- 1984-Ентов В.М., Ярин А.Л. ВИНТИ. Итоги науки и техники. Сер. „Механика жидкости и газа“. 1984. т.17. с.112-197.
- 1986-Bailey A.G. // Atomization and Spray Technology. 1986. Vol. 2. p.95-134.
- 1989-Fenn J.B., Mann M., Meng C.K. et al. // Science. 1989. Vol. 246. №4926. p.64-71.
- 1990-Cloupeau M., Prunet Foch B. Electrostatic spraying of liquids: main functioning modes // J. Electrostatics. 1990. v.25. P.165-184.
- 1996-Ширяева Светлана Олеговна. Релаксационные и дисперсионные явления в капиллярных электростатических неустойчивостях и электродиспергирование жидкости. Диссертация доктора физико-математических наук. Москва. 1996.
- 2008-Горохов М.В., Кожевин В.М., Явсин Д.А., Томасов А.А, Зеленина Н.К., Гуревич С.А. Электродиспергирование спиртовых растворов платиновой черни для формирования высокопористых каталитических слоев воздух-водородных топливных элементов. Альтернативная энергетика 10, 2008. с.26-30.
-

## Глава 4. Динамика свечения, зависимость интенсивности свечения от времени.

### 4.1 Динамическая ГРВ. Временной интервал до 1 минуты.

Основной метод использования динамического режима состоит в фиксации параметров воздействия на объект (частота и напряжение) и регистрация динамики изменения свечения. Однако, существует другой, более интересный метод использования динамического режима. Плавно изменяются параметры воздействия в каком-то диапазоне (частота, напряжение, скважность). В этом случае мы получаем трехмерный спектр отклика объекта на воздействие. В этом спектре существуют области с повышенным значением отклика. В качестве меры отклика можно рассматривать площадь свечения или структуру короны (наличие выбросов).

При измерении динамики площади свечения пальца оказалось, что в течение первых 6 секунд происходит уменьшение площади свечения, а затем значение площади не изменяется. Это можно интерпретировать следующим образом. За первые 6 секунд происходит истощение запаса электронов на поверхности пальца, и наступает стационарный процесс поступления ионов из ткани пальца и газовой среды.

---

#### Насыщение.

При регистрации динамики свечения объекта важными являются следующие параметры:  
1-происходит увеличение или уменьшение интенсивности свечения,  
2-за какое время происходит переход в нежим насыщения.

При регистрации свечения металлического тест-объекта в течении 10 сек происходит стабилизация параметров свечения (площади свечения).

При решении задачи идентификации объекта (материала, вещества) важными параметрами является интенсивность свечения в начальный момент и при установившемся режиме свечения (ориентировочно 10 сек).

В зависимости от динамики изменения площади свечения во времени можно выделить два класса объектов:

- 1-площадь свечения возрастает со временем, пальцы, масла,
- 2-площадь свечения убывает со временем, металлический цилиндр, растворы электролитов NaCl, KCl.

**Эффект насыщения свечения.** При регистрации свечения пальцев некоторые исследователи отмечают увеличение интенсивности свечения.

**Эффект истощения свечения.** Если на один и тот же объект непрерывно и достаточно долго (от 10 до 30 минут) воздействовать токами высокой частоты, то интенсивность свечения ослабевает.

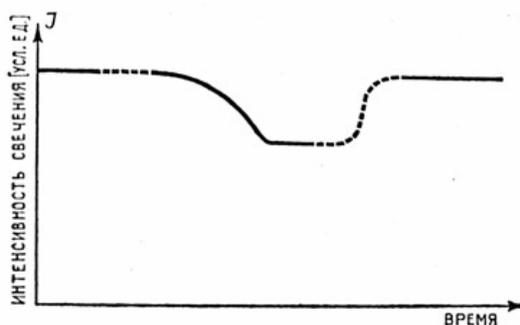


Рис. 4-1-1. Эффект истощения свечения при длительном воздействии высокочастотного поля на кожу человека и восстановлении свечения после прекращения воздействия.

## Динамика отдельного стримера.

Развитие импульса обусловлено ионизацией молекул газовой среды за счет эмитированных электронов и фотонов, срыв импульса связан с процессами зарядки диэлектрической поверхности и возникновением градиента ЭМП, направленного противоположно исходному полю. При подаче серии стимулирующих импульсов ЭМП с частотой следования 1000Гц эмиссионные процессы развиваются в течение времени действия каждого импульса. Телевизионное наблюдение временной динамики свечения участка кожного покрова диаметром несколько миллиметров и покадровое сравнение картин свечения в каждом импульсе напряжения свидетельствует о возникновении эмиссионных центров практически в одних и тех же точках кожи.

2001-Коротков К. Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. Ст. Петербург. СПбГУИТМО. 2001.

---

При возбуждении разряда одиночным импульсом высокого напряжения разряд имеет многоимпульсный характер горения с длительностью 0,1-0,5 микросекунд. Каждый импульс разряда сопровождается вспышкой света, которая имеет длительность 1,5 микросекунд.

Происходящие процессы:

- импульс напряжения: один, длительность 10 микросекунд,
- импульсы тока (импульсы разряда): много, длительность 0,1-0,5 микросекунд,
- вспышки света: много, длительность 1,5 микросекунд.

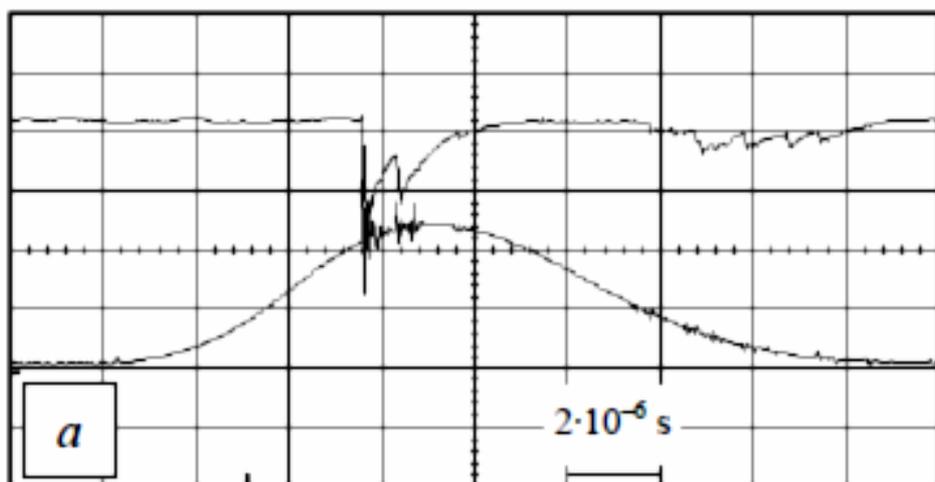


Рис. 4-1-2. Осциллограмма напряжения пробоя воздуха при атмосферном давлении и осциллограмма фототока с фотоэлектронного умножителя. Масштаб по оси Y — одна клетка 3300V для напряжения, и 2,5 микроампер для тока.

2013-Бойченко А.П. Начальные процессы взаимодействия барьерного разряда с галогенсеребряными фотоматериалами. Диссертация доктора физико-математических наук. Краснодар. КГУ. 2013. 321с.

---

**1970-Faust David L.** Drexel University, Philadelphia, USA.

Фауст Дэвид создал установку на основе высокочувствительной видеокамеры. Алюминиевый цилиндр устанавливался на прозрачный электрод и записывалась динамика разряда. Оказалось, что свечение продолжается несколько минут после того, как на объект был подан одиночный очень короткий импульс. Изучается процесс разряда с позиций холодной плазмы.

---

**1974-Poock G.K. (USA)** Description of the Methodology Used in the Poock-Sparks Technique of Motion-Picture Kirlian Photography. 1974.

---

Свечение от пальцев очень динамично, корона свечения постоянно изменяется. Но характеристики свечения (площадь, интенсивность) остаются постоянными.

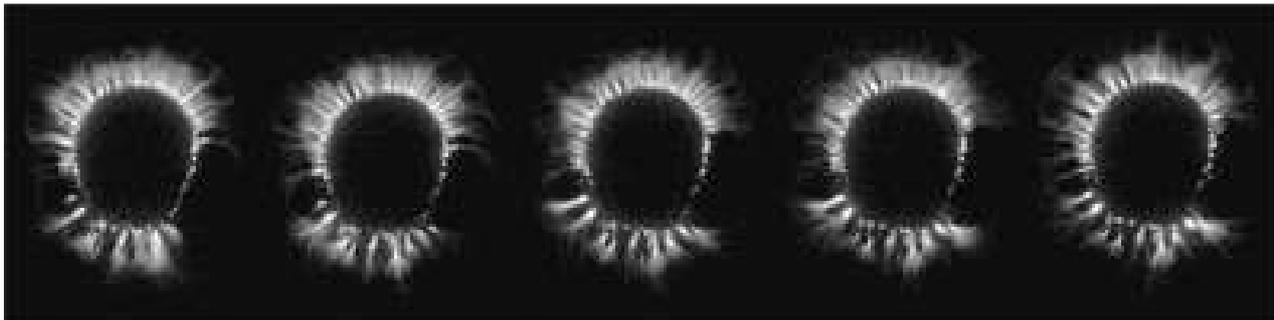


Рис. 4-1-3. Пять кадров свечения, снятые с интервалом в несколько секунд.

При регистрации динамических изображений очень важно оценивать изменение площади свечения короны. На самом деле кроме площади короны в данный момент времени важным параметром является дисперсия разбросов значения поры при нескольких измерениях. Этот параметр соответствует устойчивости состояния организма.



Рис. 4-1-4. Изменение площади свечения от пальца (Коротков К.Г.).

**2003-Крыжановский Эдвард Владимирович.**

2003-Крыжановский Э.В. Метод контроля жидкофазных объектов на основе газоразрядной визуализации. Диссертация кандидата технических наук. СПб. СПбГУИТМО. 2003. 103с.а++

Крыжановским отмечена важность исследования коронного разряда в динамике, динамическая ГРВ. Был создан прибор «Кроуноскоп» для регистрации динамики свечения. Поскольку динамический подход давал принципиально новые возможности, неприводимые к статической классической схеме ГРВ, в 2007 году было предложено назвать описанный динамический метод кроуноскопией.

В качестве тест объекта использовался цилиндр из титана.

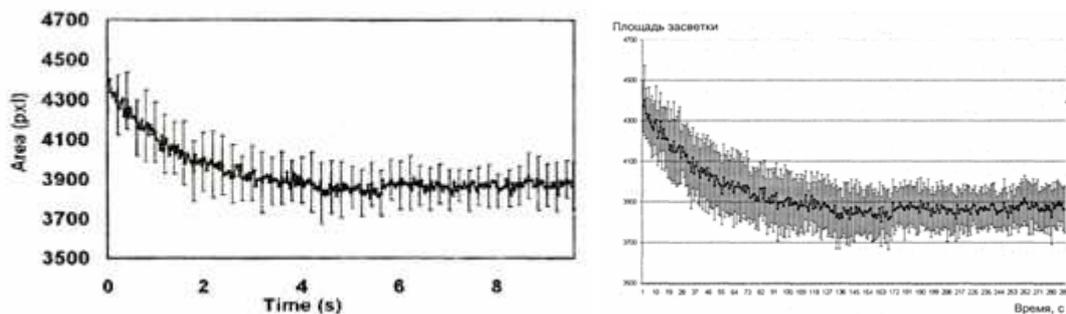


Рис. 4-1-5. Площадь свечения для металлического цилиндра. В течение 4 сек (по другим данным 100 сек) интенсивность свечения ослабевает, а затем остается постоянной.

(Один из возможных вариантов объяснения наблюдаемого начального убывания интенсивности состоит в исчерпании имеющихся в начальный момент электронов на поверхности).

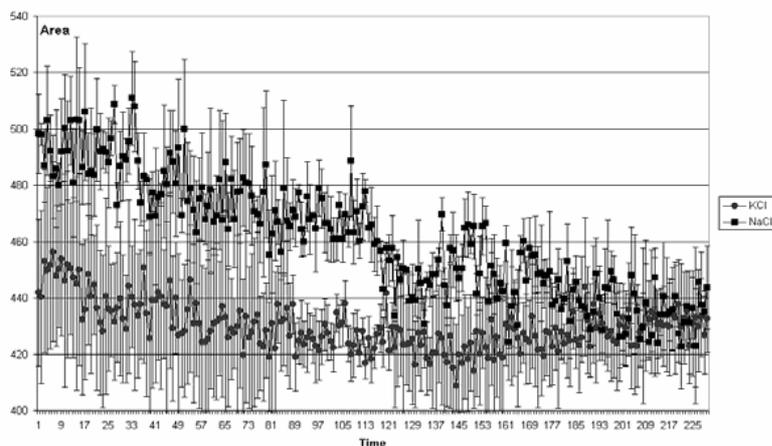


Рис. 4-1-6. Зависимость площади засветки от времени для растворов NaCl и KCl.

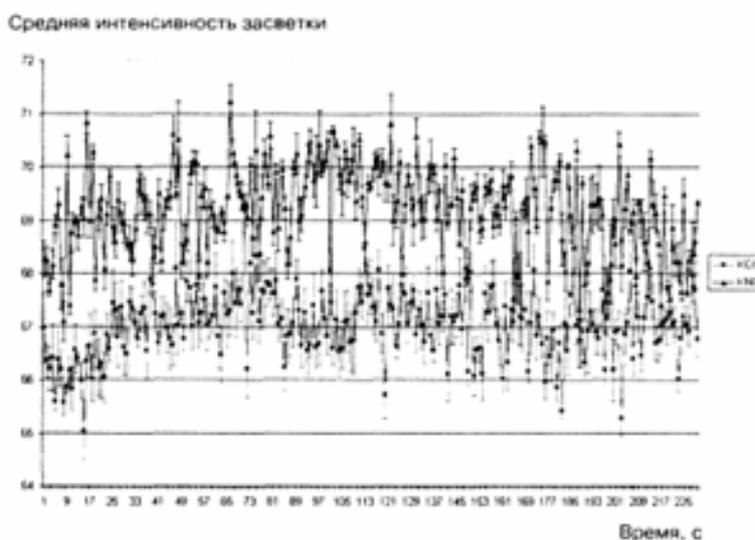


Рис. 4-1-7. Зависимость интенсивности засветки от времени для растворов NaCl и KCl.

Получается, что площадь засветки является более информативным параметром, чем средняя интенсивность засветки.

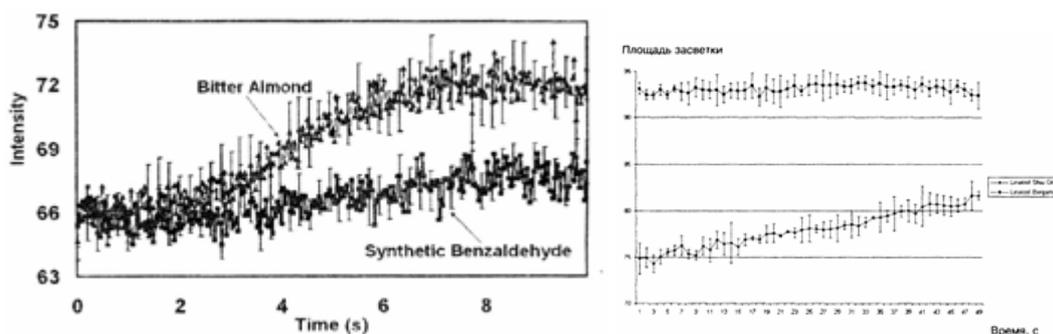


Рис. 4-1-8. Зависимость средней интенсивности свечения и площади свечения для различных масел.

2002-Ахметели Г.Г. Борисова М.Б. Крыжановский Э.В. Коротков К.Г. Короткина С.А. Исследование крови методом динамической ГРВ-графии. 6-й меж. Конгресс Наука, Информация, Сознание. 13-14 июля 2002. СПбГУИТМО. 2002. с.64-65.

2003-Крыжановский Э.В. Коротков К.Г. Короткина С.А. Математическое моделирование процессов динамической газоразрядной визуализации жидкофазных объектов. 7-й междунар. Конгресс Наука, Информация, Сознание. СПб. 6-8 июля 2003. СПбГУИТМО, 2003. с.40-41.

2003-Крыжановский Э.В. Коротков К.Г. Короткина С.А. Борисова М.Б. Матраверс П. Момох К. Петерсон П. Шаас Н. Вайншельбойм А. Исследование динамических характеристик газоразрядного свечения жидкофазных объектов. 7-й междунар. конгресс Наука, Информация, Сознание. СПб. 6-8 июля 2003. СПбГУИТМО, 2003. с.42-43.

2003-Крыжановский Э.В. Коротков К.Г. Короткина С.А. Борисова М.Б. Матраверс П. Момох К. Петерсон П. Шаас Н. Вайншельбойм А. Исследование динамических характеристик газоразрядного свечения жидкофазных объектов. 7-й междунар. конгресс Наука, Информация, Сознание. СПб. 6-8 июля 2003. СПбГУИТМО, 2003. с.42-43.

2004-Korotkov, K; Krizhanovsky, E; Borisova, M; Hayes, M; Matravers, P; Momoh, KS; Peterson, P; Shiozawa, K; Vainshelboim, A. Time dynamics of the gas discharge around drops of liquids. Journal of Applied Physics. 2004. v.95. Issue 7. p.3334-3338.+

---

**Санкт-Петербург, СПбГУИТМО, кафедра проектирования компьютерных систем (ПКС).**  
**Муромцев Дмитрий Ильич к.т.н.,** доцент кафедры. Директор фирмы «АИС» (Адаптивные Информационные Системы).  
**Блобаба О.И. инженер,**



Рис. 4-1-9. Муромцев Д.И.

2001-Бабицкий М.А. Муромцев Д.И. Методика и техника динамической ГРВ-графии. Наука, Информация, Сознание: 5-й конгресс, СПб. 10-12 июля 2001. СПб. СПбГУИТМО (ТУ). 2001. с.60-62.

2002-Бундзен П.В. Загранцев В. Комаров И. Коротков К.Г. Бабицкий М.А. Муромцев Д. Психологический потенциал спортсменов олимпийского резерва-технология квантовополевой диагностики. В сборнике «Юношеский спорт XXI века», М, Изд. «Советский Спорт». 2002. с.62-66.

2003-Коротков К.Г. Крыжановский Э.В. Муромцев Д.И. Бабицкий М.А. Борисова М.Б. Автоматизированная система измерения динамических характеристик параметров изображения газоразрядного свечения. Информационно-управляющие системы. 2003. №2-3. с.73-79.+

**2003-Муромцев Дмитрий Ильич. Автоматизированная система обработки и анализа динамических ГРВ-грамм биологических объектов. Диссертация кандидата технических наук. 2003. 134с.**

2005-Бабицкий М.А., Короткина С.А., Коротков К.Г., Крыжановский Э.В., Муромцев Д.И. Принципы анализа динамических ГРВ-грамм человека. Наука, Информация, Сознание: материалы 9-ого междунар. конгресса, СПб. 2-4 июля 2005. СПб. СПбИТМО. 2005. с.167-169.

2006-Муромцев Д.И. Формирование диагностических знаний на основе баз данных газоразрядных изображений. Приборостроение. 2006. т.49, №2. с.22-26.

2006-Бабицкий М.А. Короткина С.А. Коротков К.Г. Крыжановский Э.В. Муромцев Д.И. Проектирование систем анализа динамических полутоновых изображений, полученных методом ГРВ биоэлектрографии. Приборостроение. т.49, №2. 2006. с.19-21.

2006-Коротков К.Г. Крыжановский Э.В. Муромцев Д.И. и др. Практические основы метода газоразрядной визуализации (ГРВ).

2009-Коротков К.Г. Муромцев Д.И. Бабицкий М.А. Борисова М.В. Яновская Е.Е. Шапин А.В. Исаева Е.В. Практические основы метода газоразрядной визуализации. СПб. СПбГУИТМО. 2009. 132с.++  
2009-Муромцев Д.И. Практические основы метода ГРВ. СПб. 2009.

---

**Бабицкий Максим Александрович к.т.н., (ООО «КТИ») (НИИФК) (ЛИТМО)**

2000-Бабицкий М.А. Автоматическая классификация ГРВ-грамм в прогнозировании психофизической соревновательной готовности спортсменов /IV-й Международный конгресс по биоэлектрографии. Энергия Земли и Человека. СПб. 2000. с.20-22.  
2001-Бабицкий М.А. Муромцев Д.И. Методика и техника динамической ГРВ-графии. Наука, Информация, Сознание: 5-й конгресс, СПб. 10-12 июля 2001. СПб. СПбГУИТМО (ТУ). 2001. с.60-62.  
2002-Бундзен П.В. Загранцев В. Комаров И. Коротков К.Г. Бабицкий М.А. Муромцев Д. Психофизический потенциал спортсменов олимпийского резерва-технология квантовополевой диагностики. В сборнике «Юношеский спорт XXI века», М, Изд. «Советский Спорт». 2002. с.62-66.  
2003-К.Г. Коротков, Э.В. Крыжановский, Д.И. Муромцев, М.А. Бабицкий, М.Б. Борисова. Автоматизированная система измерения динамических характеристик параметров изображения газоразрядного свечения. Информация. Управление. Системы. 2003. №2. С. 68.  
**2004-Бабицкий М.А. Автоматизированное проектирование систем анализа динамических газоразрядных изображений. Диссертация кандидата технических наук. СПб. 2004.**  
2005-Бабицкий М.А., Короткина С.А., Коротков К.Г., Крыжановский Э.В., Муромцев Д.И. Принципы анализа динамических ГРВ-грамм человека. Наука, Информация, Сознание: материалы 9-ого междунар. конгресса, СПб. 2-4 июля 2005. СПб. СПБИТМО. 2005. с.167-169.  
2006-Бабицкий М.А., Короткина С.А., Коротков К.Г., Крыжановский Э.В., Муромцев Д.И. Проектирование систем анализа динамических полутоновых изображений, полученных методом ГРВ биоэлектрографии. 2006, Приборостроение. Спец. выпуск, Т.49 (2). с.19-22.  
2009-Коротков К.Г. Муромцев Д.И. Бабицкий М.А. Борисова М.В. Яновская Е.Е. Шапин А.В. Исаева Е.В. Практические основы метода газоразрядной визуализации. СПб. СПбГУИТМО. 2009. 132с.++

---

**Короткина Светлана Александровна, директор фирмы «Гемотест».**

1997-Коротков К.Г. Короткина С.А. Лехтомаки Л.(FI) Способ определения энергоинформационного состояния биологического объекта. Патент **2141250**. 1999.  
1998-Коротков К.Г., Короткина С.А. Применение метода Газоразрядной Визуализации для аппаратного тестирования уровня энергоинформационного воздействия. Конф. СПб. 1998.  
1998-Коротков К.Г. Короткина С.А. Применение методов ГРВ для исследования жидкофазных объектов. Конф. Кирилоника, белые ночи-98. СПб. 1998. с.46.  
2005-Коротков К.Г. Короткина С.А. Устройство для измерения напряженности поля электромагнитного излучения. Патент **2280258**. 2006.

---

Очень интересными являются исследования более тонкой динамики, динамики площади отдельных секторов в короне свечения.

2002-Кондратьев А.Ю. Крыжановский Э.В. Короткина С.А. Анализ секторальной динамики изменения ГРВ-грамм как новое направление исследований в ГРВ-графии.+

---

2011-Рябченко Н.А. Дитрих И.В. Михалева Е.Н. Особенности методики динамической ГРВ-графии при определении фальсификатов продовольственных товаров. 1-я Всеукраїнська науково-практична та студентська конференція «Проблеми розвитку та впровадження систем управління, стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України», Донецьк, ДНТУ, 2011. с.165-166.

---

При измерении динамики площади свечения пальца оказалось, что в течение первых 6 секунд происходит уменьшение площади свечения, а затем значение площади не изменяется.

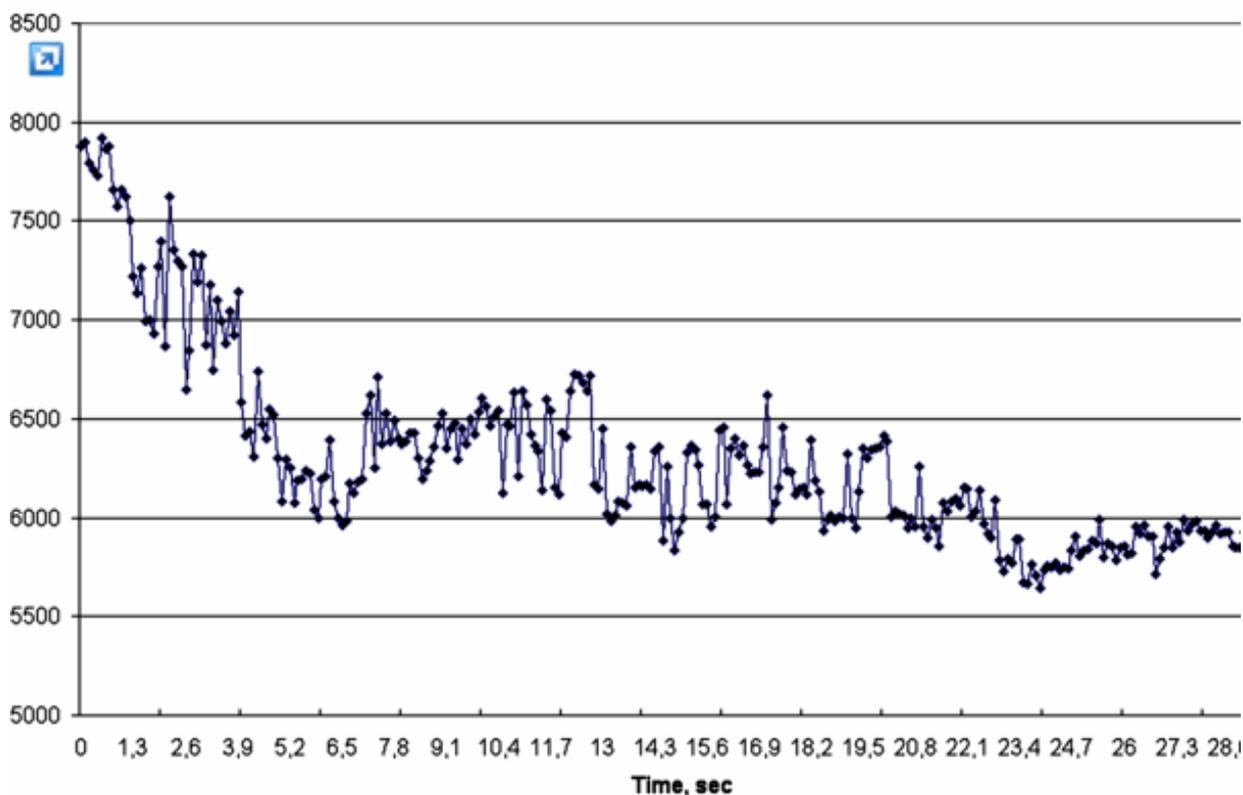


Рис. 4-1-10. Временная зависимость площади ГРВ сигнала кожного покрова во времени

2007-Коротков К.Г. Принципы анализа в ГРВ биоэлектрографии. 2007. 288с.++

### СПбГУИТМО.

2006-Буйлин В.А. Подтаев С.Ю. Жарков В.М. Нейрососудистые реакции системы микроциркуляции кожи при использовании метода газоразрядной визуализации изображений для медицинской диагностики. Вестник новых медицинских технологий. 2006. т.13. №4. с.124-126. В работе измерялся коэффициент формы как отношение квадрата длины периметра изображения короны к ее площади. Была зарегистрирована динамика изменения коэффициента формы для коронного разряда металлического стержня. Измерения проводились с интервалом 30мс.

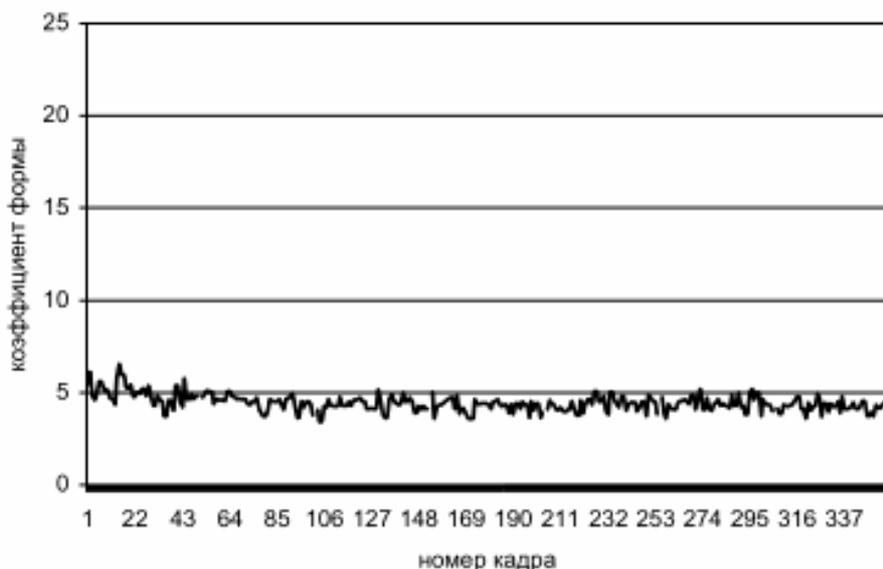


Рис. 4-1-11. Значение коэффициента формы коронного разряда от времени для металлического стержня.

Было показано, что характеристики разряда являются случайной величиной, которая не подчиняется закону Гаусса, а является более сложной. Если при распределении Гаусса можно пренебречь большими отклонениями от средних значений, то в данном распределении этого сделать нельзя. Подобные распределения называются распределениями с тяжелыми хвостами (heavy tails или fat tails). Это степенное распределение, и нельзя пренебрегать редкими событиями. В этом случае выборочные средние неустойчивы и мало информативны из-за неприменимости закона больших чисел.

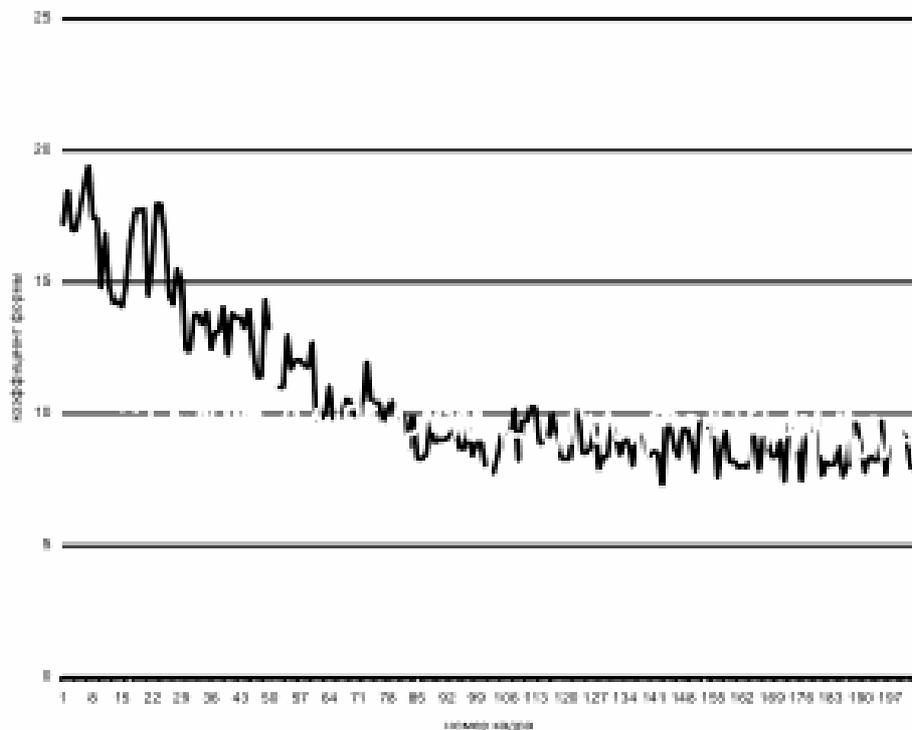


Рис. 4-1-12. Значение коэффициента формы для безымянного пальца правой руки. Видеофрагмент продолжительностью 5 секунд, с интервалом 30 мс. Уменьшается среднее значение и амплитуда колебаний.

## 4.2 Динамика свечения в течение длительного периода времени.

### Динамика в течение одного часа.

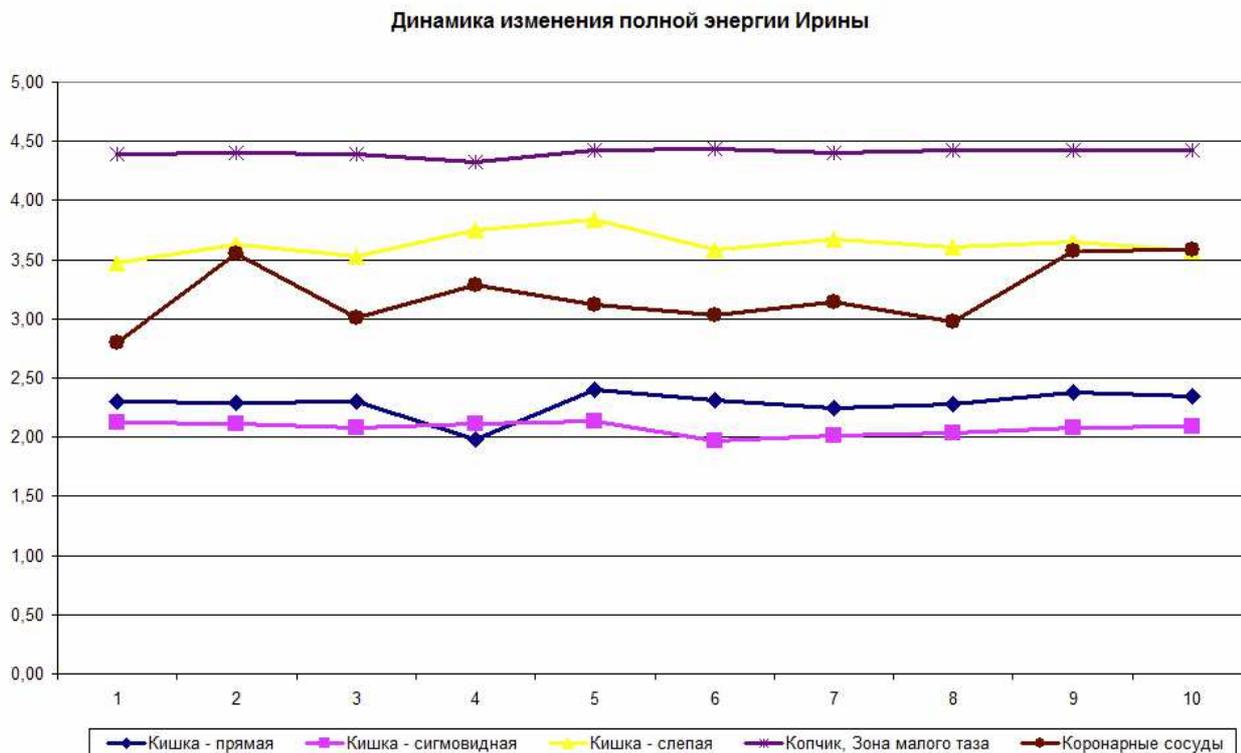


Рис. 4-2-1. Графики изменения основных ГРВ-параметров человека в течение одного часа, если человек на протяжении этого периода находится в спокойном состоянии. Как видно изменение энергетики различных органов в течение часа незначительно (отклонение почти всегда в пределах 15%). (Светлов А.В.).

2001-Шабаев В.П. Хван С.М. Шабаев В.П. 10-летний опыт применения метода ГРВ в медицине. Конф. СПб. 2001. с.26. В настоящее время разработана новая модификация комплекса «СКАТ». Комплекс производит фидео и фоторегистрацию одновременно всех 5-10 пальцев рук и ног.

Обнаружен хрономографический эффект, имеющий место при последовательных экспозициях, как правило, в интервале 0,1-20 минут. Этот эффект объясняет явление «невоспроизводимости» получаемых одномоментных изображений у человека.

1992-Учеными Тверского центра эргономических исследований под руководством А.С. Ашметкова было выявлено проявление цикличности в динамике кирлианограмм.

1992-Ашметков Ф.С. Баукина Л.Н. Всевожский Л.А. Новый метод газоразрядной диагностики. Мед. информ. Системы. Таганрог. 1992. №4(11). с.55. (вып.3. 1993).

### Динамика свечения в течение суток.

1969-Аспирантка Инюшина **Федорова Н.Н.** сняла на этой установке колебания интенсивности кирлиановского свечения листьев табака в течение суток на одной длине волны. Эта кривая совпала с кривой изменения электрического поля Земли.

1969-Федорова Н.Н. Опыт использования электробиоллюминесценции для оценки физиологического состояния растений. Диссертация кандидата биологических наук. Алма-Ата. КГУ. 1969.

## Глава 5. Регистрация величины тока во время разряда.

### 5.1 Пульсирующий режим коронного разряда.

Стимулирование эмиссии электронов с поверхности кожного покрова происходит за счет коротких (10мкс) импульсов электромагнитного поля. Как показали измерения при помощи импульсного осциллографа с памятью, во время действия импульса развивается серия импульсов тока (и свечения) длительностью примерно 10нс каждый.

При коронном разряде возникают отдельные разряды, которые следуют с высокой частотой. Коронный разряд является источником акустического шума и высокочастотного электромагнитного излучения с частотами от 0,15 до 100МГц.

В каждый момент времени существует всего несколько стримеров. За время длительности импульса успевает образоваться несколько сотен стримеров. Если длительность импульса достаточно большая, то свечение короны получается достаточно интенсивной по всему периметру. Если длительность импульса небольшая, то корона получается неоднородной, с участками пониженной яркости.

При увеличении напряжения величина тока возрастает по экспоненте, наблюдается экспоненциальный рост числа носителей тока.

Можно выделить следующие компоненты тока:

-высокочастотный ток, которые возникает через емкость, образованную пальцем и электродом, этот ток существует даже тогда, когда нет разряда. Этот ток имеет постоянную величину. Предположим, частота 3000 гц. Ёмкость 1 пф. При напряжении 6000 в, даже если не учитывать импульсный характер тока, а считать его синусоидальным, ток через эту ёмкость будет грубо  $I=U/R$ , где  $R=1/WC$ .  $R= 5.3$  мом.  $I=1,1$  ма.

-лавинный ток, который возникает в очень узкой области малого расстояния между пальцем и электродом. Этот ток имеет постоянную величину.

-пульсирующий ток газовых разрядов.

---

**1938-Тричел. (Trichel G.W.)** Ток отрицательного коронного разряда, как впервые показал Тричел, состоит из периодических импульсов. При повышении напряжения сила тока в каждом импульсе остается неизменной, а общая сила тока коронного разряда увеличивается за счет увеличения частоты импульсов. Отрицательная корона в воздухе в области начальных токов не стационарна и существует в режиме периодических всплесков тока, амплитуда которых намного превышает величину среднего тока. Импульсы тока получили название импульсов Тричела, открывшего это явление в 1938 г. Импульсный режим прекращается при увеличении среднего тока короны выше критического, характерная величина, которого соответствует 120-140 мкА.

Разряды развиваются из отдельных пятен острия. Диаметр пятна составляет 0,02см. С повышением напряжения частота импульсов возрастает пропорционально току. Наивысшая частота, измеренная Тричелом, составляла 200кГц. Частота импульсов уменьшается с увеличением радиуса кривизны острия.

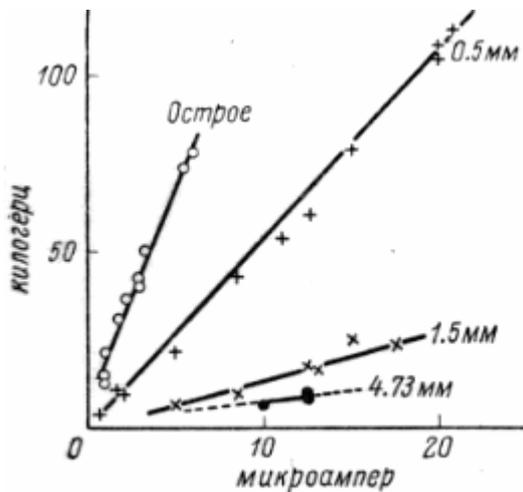


Рис. 5-1-1. Зависимость частоты импульсов от величины тока при различных диаметрах острия (0,5/ 1,5/ 4,37 мм) и остром острие.

1938-Trichel G.W. The mechanism of the negative Point to Plane Corona Near Onset. Phys. Rev., 1938. v.54, p.1078-1084.

**Ленинградский Политехнический Институт.**

1956-Александров Г.Н. Физические условия формирования коронирующего разряда переменного тока. Советская физика. 1956. т.1, №8, стр.1714-1726.

1956-Александров Г.Н. Физические условия формирования коронирующего разряда переменного тока. ЖТФ. 1956. т.26, с.2640.

1956-Александров Г.Н. Начальные стадии отрицательной короны с острия. Журнал технической физики. 1956. т.26. №12. с.2687-2699.+

1964-Александров Г.Н. Коронный разряд на линиях электропередач. М. Энергия, 1964. 228с.

1965-Александров Г.Н. О механизме перехода коронного разряда в искровой в длинных воздушных промежутках. Журнал Технической Физики. 1965. 35. вып.7. с.1225-1229.+

1948-Loeb L. J. of Phys. 1948. 19. p.882.

1961-Hudson G.G. Loeb L.B. Streamer mechanism and main stroke in the filamentary spark breakdown in air as revealed by photomultipliers and **fast oscilloscope methods**. Physical Review. 1961. v.123. p.29-43.

Исследования, проведенные в лаборатории Леба (Loeb L.) показали, что импульсы Тричела наблюдаются только в электроотрицательных газах, или при их наличии хотя бы в небольших количествах. Пульсирующие разряды не наблюдались в сухом воздухе.

Никандров Дмитрий Сергеевич. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.

2005-Никандров Д.С. Цендин Л.Д. Низкочастотный барьерный разряд в таунсендовском режиме. ЖТФ. 2005. т.75. Вып.10. с.29-38.+

2008-Никандров Д.С. Формирование функции распределения убегающих электронов в сильных полях импульсных газовых разрядов. ЖТФ. 2008. т.78. с.35-46.

2008-Никандров Дмитрий Сергеевич. Динамические ионизационные процессы в барьерном разряде. Диссертация кандидата физико-математических наук. СПб. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. 2008.

За счет генератора напряжения электрическое поле в зазоре возрастает. Из-за малости электрического тока в начале фазы тока на скорость этого роста не оказывают влияние медленно меняющиеся поверхностные заряды. Далее, экспоненциально быстрое размножение электронов приводит к резкому увеличению электрического тока и экранированию поля поверхностными зарядами на диэлектрических барьерах. Максимальный электрический ток при

колебания течет в момент, при котором поле в зазоре равно полю пробоя. Падение электрического поля ниже пробивных значений приводит к экспоненциальному уменьшению тока. После этого поверхностные заряды снова можно считать постоянными, и они снова не оказывают влияния на рост электрического поля в зазоре. Таким образом, процесс нелинейных колебаний электрического поля и тока повторяется периодически и зависит от скорости увеличения напряжения при разряде. При зависимости внешнего напряжения от времени в форме меандра периодических колебаний нет.

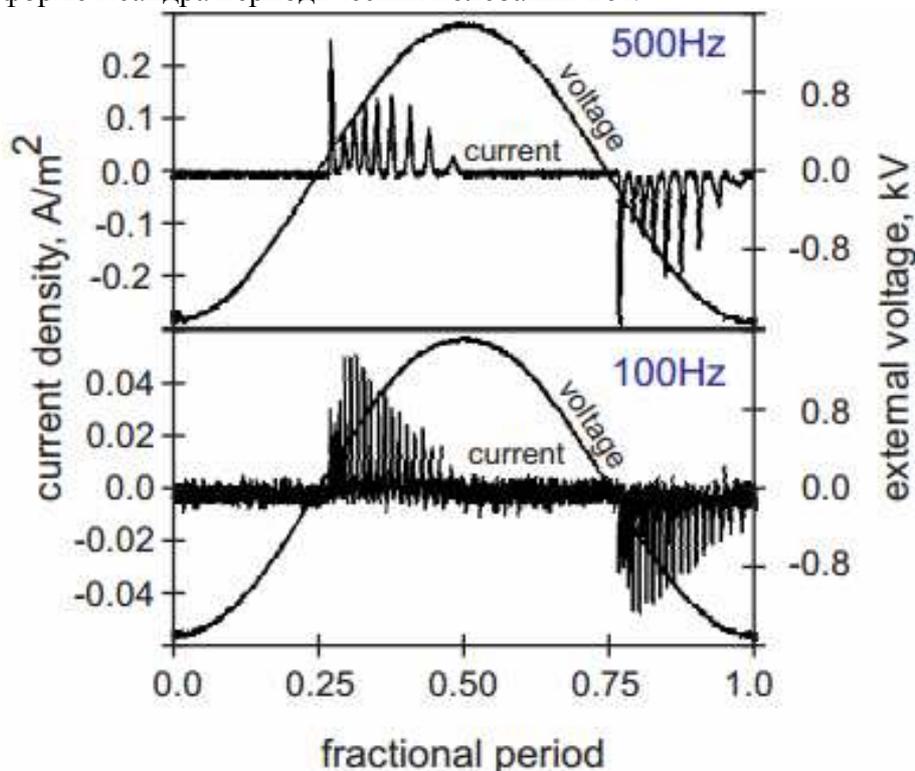


Рис. 5-1-2. Колебания тока в барьерном разряде.

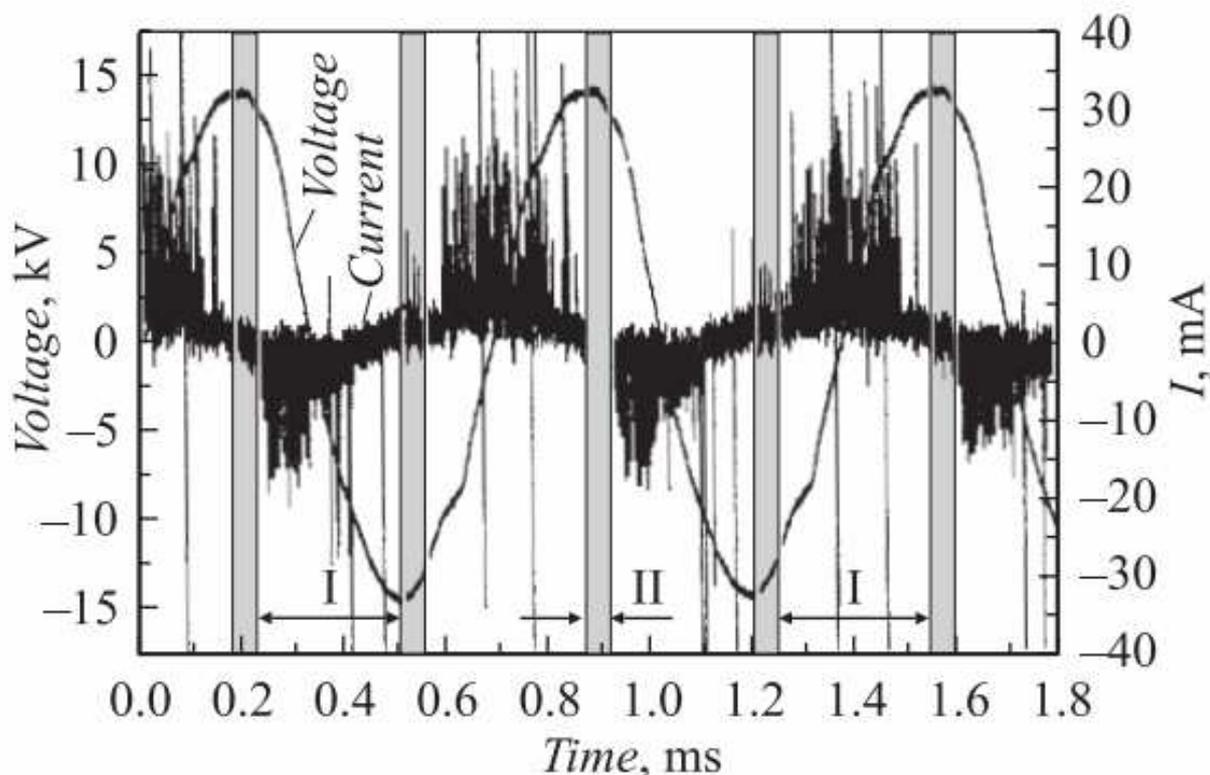


Рис. 5-1-3. Зависимость тока и напряжения от времени.

2001-Liu Dongping, Ma Tengcai, Yu. Shiji, Xu Yong, Yang Xuefeng // J. Phys. D. 2001. Vol.34. P.1651-1656.

Особенность данного графика состоит в том, что большой ток разряда протекает в момент прохождения напряжения через 0. Это означает, что величина тока разряда пропорциональна скорости изменения напряжения.

---

2007-Xu J., Xia L., Zhang J., Plasma Sources Sci. Technol. 2007. v.16. p.448-453.

Разряд при знакопеременном напряжении возникает периодически (дважды за период). Разряд возникает при достижении определенного значения напряжения. Разряд гаснет, когда напряжение достигает максимального значения.

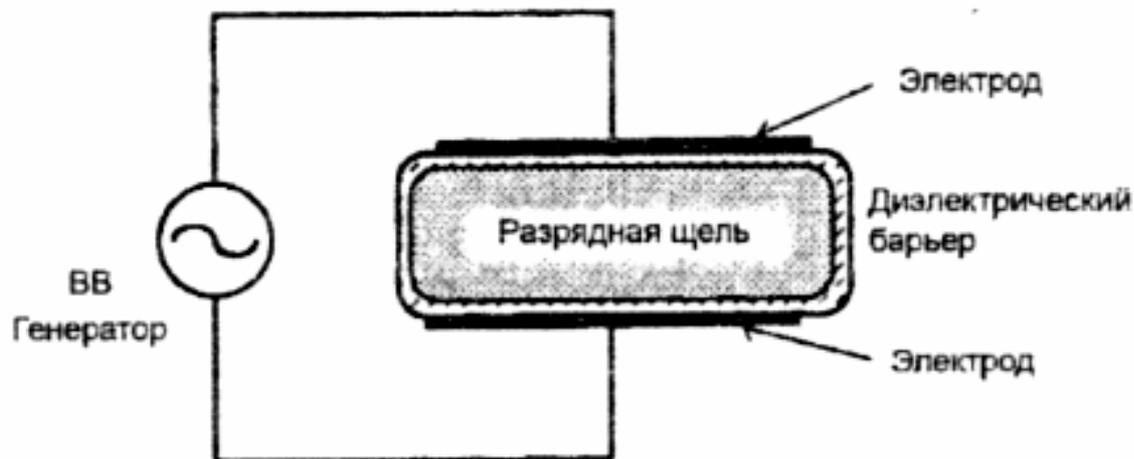


Рис. 5-1-4. Схема установки.

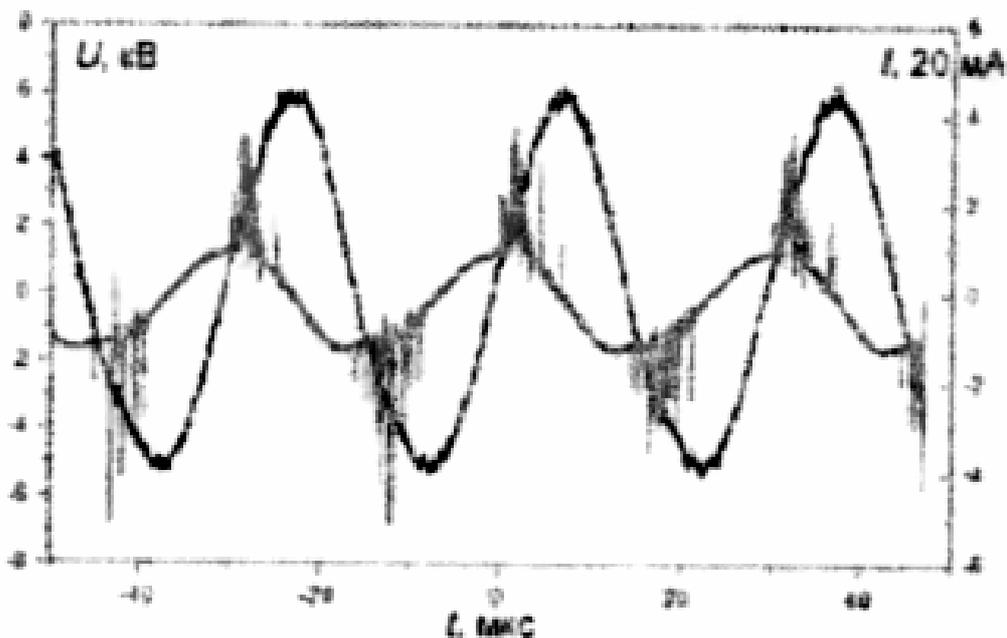


Рис. 5-1-5. Измеренные напряжения и ток в барьерном разряде в смеси хлора и ксенона при давлении 460 Тор.

---

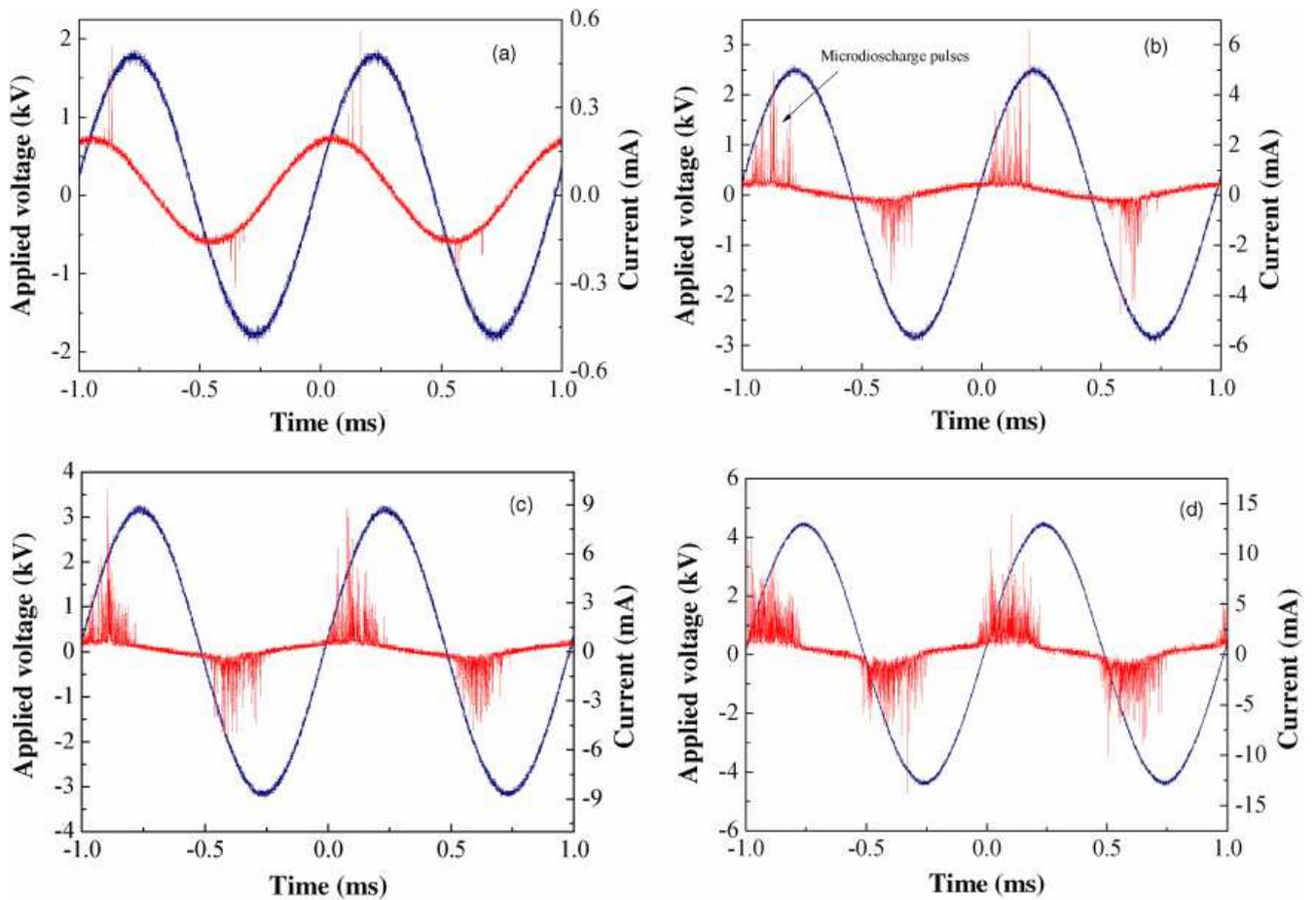


Рис. 5-1-6. Зависимость тока и напряжения от времени.

2012-Ayman A. Abdelaziz, Takafumi Seto, M. Abdel-Salam and Yoshio Otani. Performance of a surface dielectric barrier discharge based reactor for destruction of naphthalene in an air stream. Journal of Physics D: Applied Physics Volume 45 Number 11.

---

2012-Yu Akishev, G Aponin, A Balakirev, M Grushin, V Karalnik, A Petryakov and N Trushkin. (ТРИНИТИ, Троицк) Spatial-temporal development of a plasma sheet in a surface dielectric barrier discharge powered by a step voltage of moderate duration. Plasma Sources Science and Technology Volume 22 Number 1.

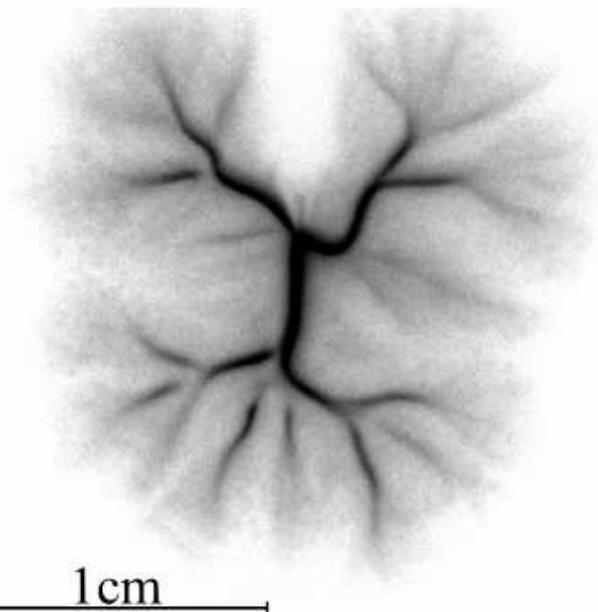
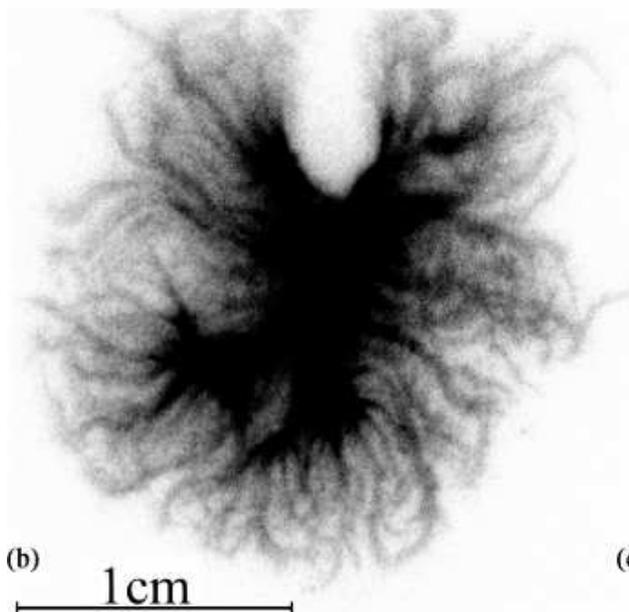
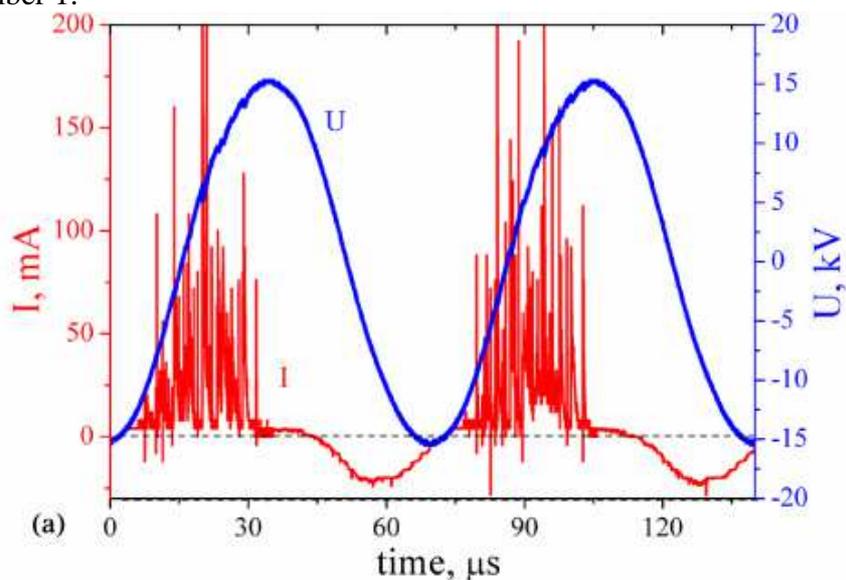


Рис. 5-1-7. Измерение тока (красный цвет) и напряжения (синий цвет) во время разряда.

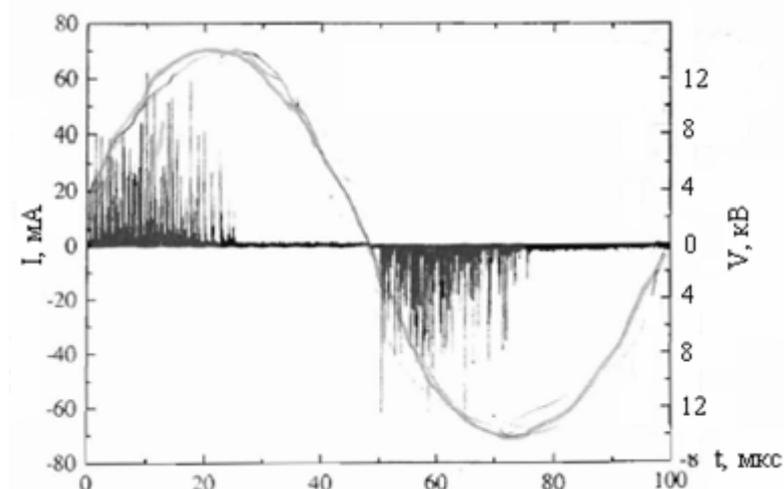


Рис. 5-1-8. Зависимость тока и напряжения от времени.

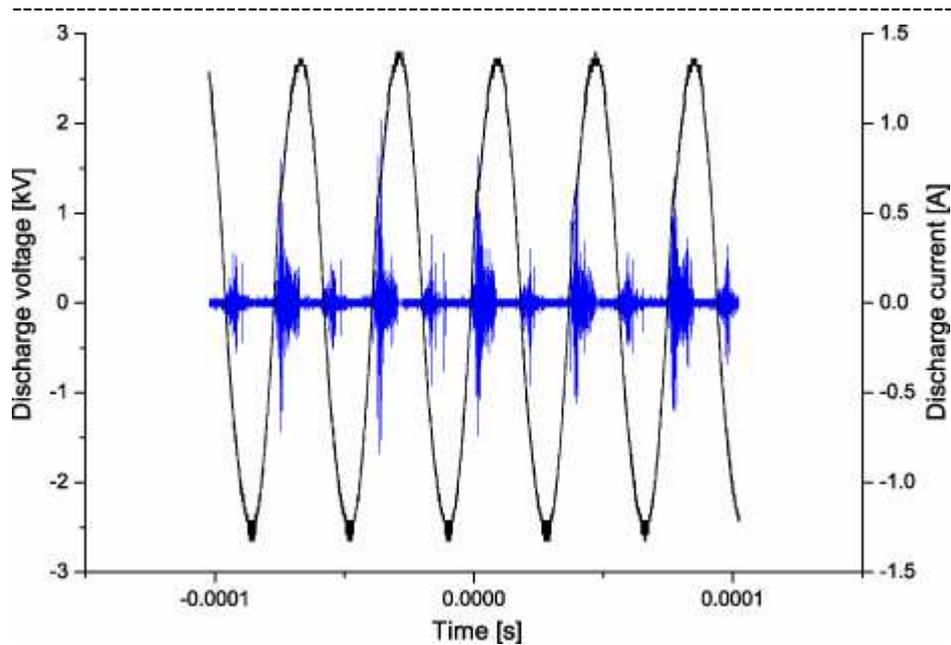


Рис. 5-1-9. Зависимость тока и напряжения от времени.

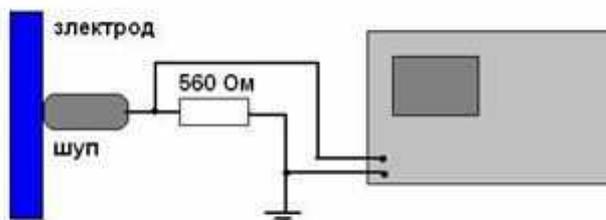
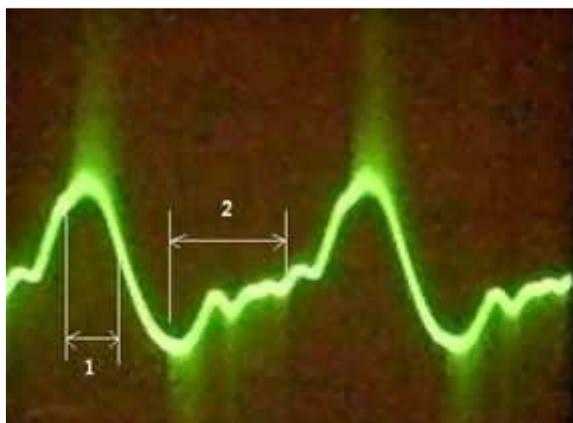


Рис. 3

Рис. 5-1-10. Установка для регистрации величины тока при разряде и осциллограмма разряда. Частота генерации 3960Гц, длительность двойного импульса 200мкс.

## 5.2 Зависимость тока от времени при одиночном импульсе.

2011-M. Yousfi, N. Merbahi, J.P. Sarrette, O. Eichwald, A. Ricard, J.P. Gardou, O. Ducasse and M. Benhenni. Non Thermal Plasma Sources of Production of Active Species for Biomedical Uses: Analyses, Optimization and Prospect. book edited by Reza Fazel-Rezai.

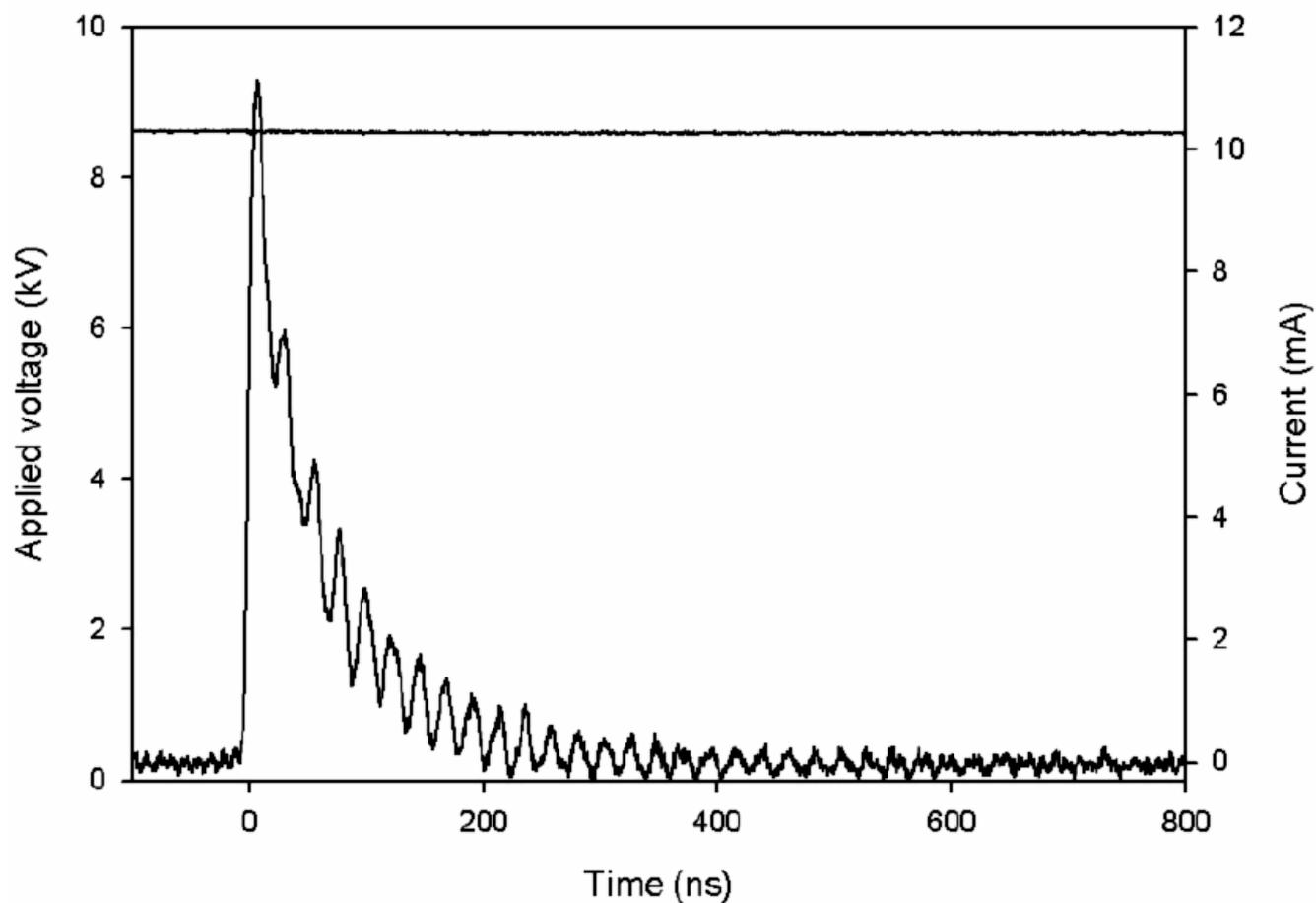


Рис. 5-2-1. Пульсации тока при газовом разряде.

---

1990-William A. Tiller. A Gas Discharge Device for Investigating Focussed Human Attention, Journal of Scientific Exploration. 1990. V.4. No.2. p.255-271.+

В работе проведено измерение тока при воздействии пальцем человека на газоразрядную ячейку. Толщина прозрачной перегородки ячейки равна 5мм.

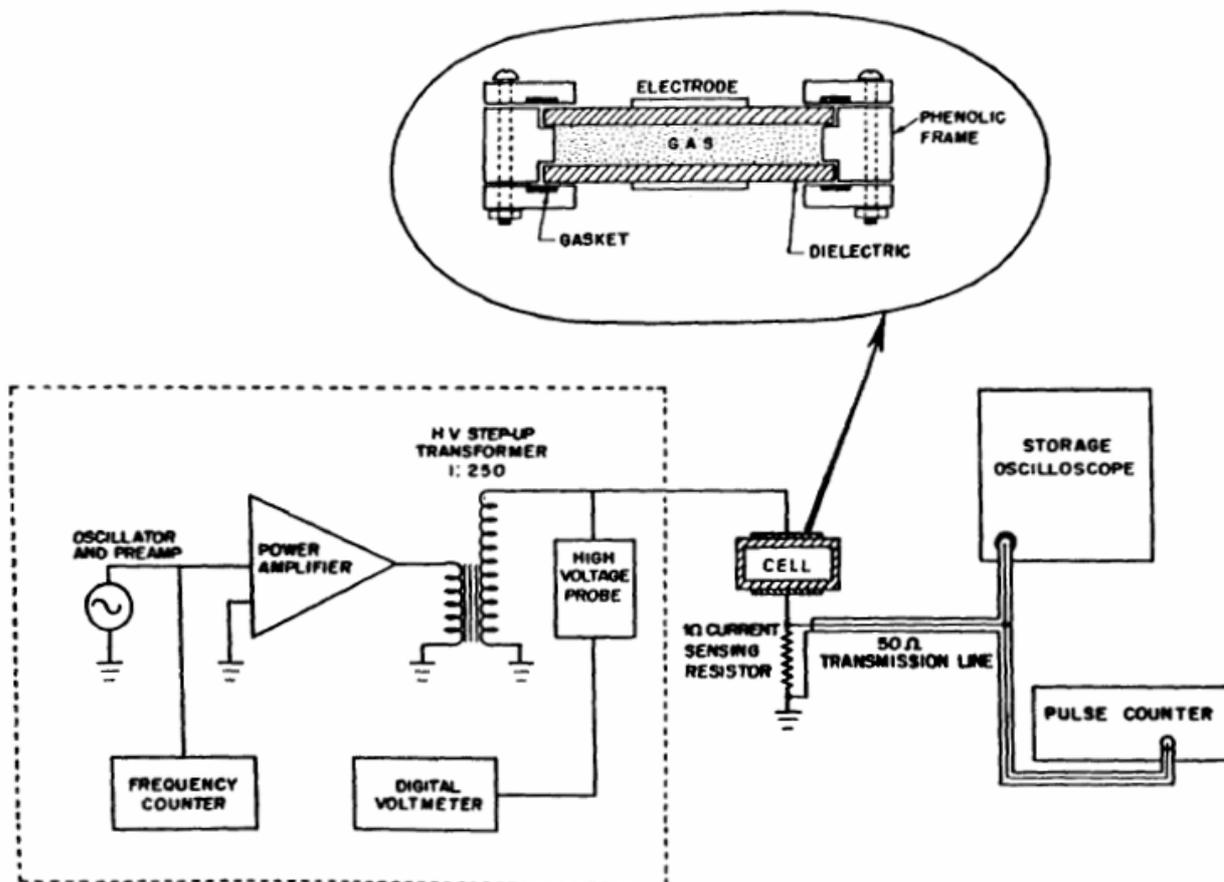


Рис. 5-2-2. Схема установки.

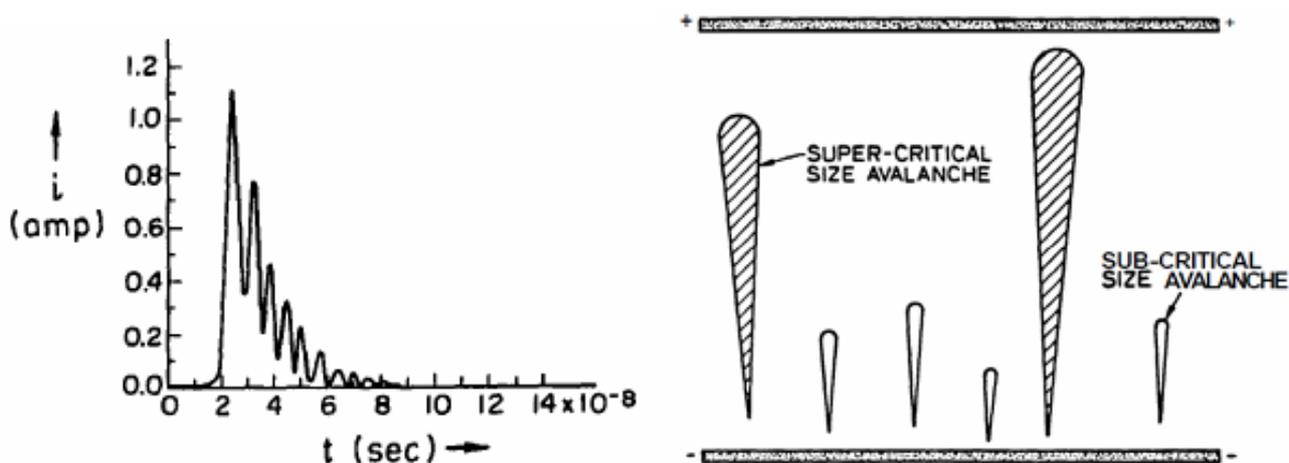


Рис. 5-2-3. Зависимость величины тока от времени и развитие стримеров.

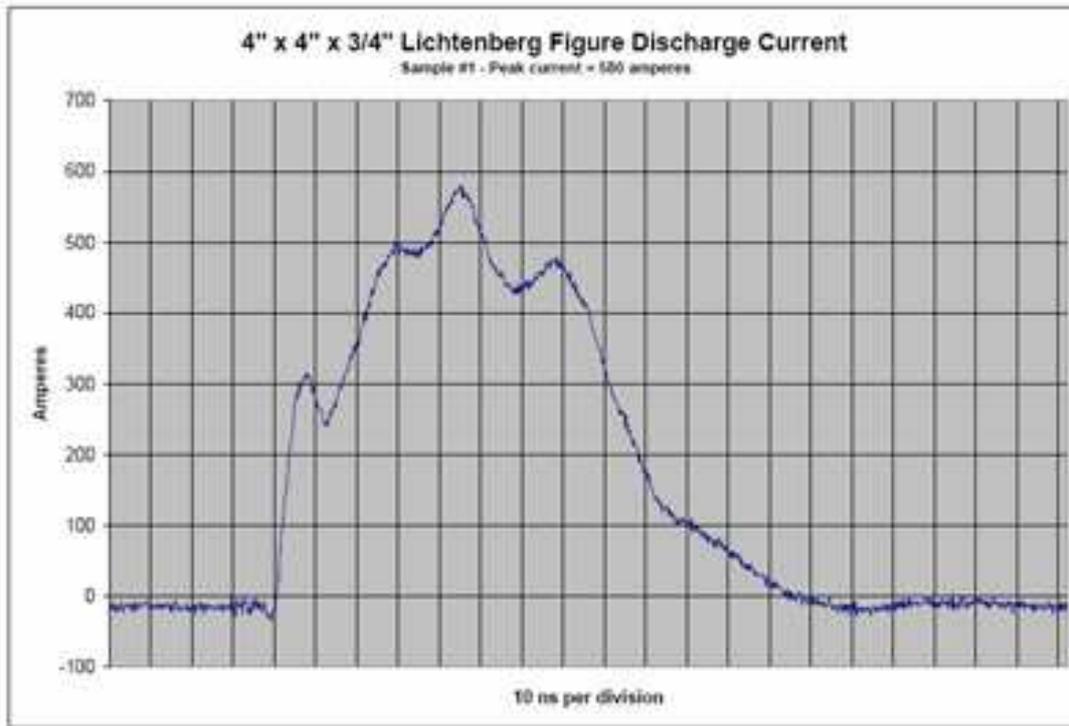


Рис. 5-2-4. Зависимость тока от времени при одиночном разряде (одно деление 10нс).

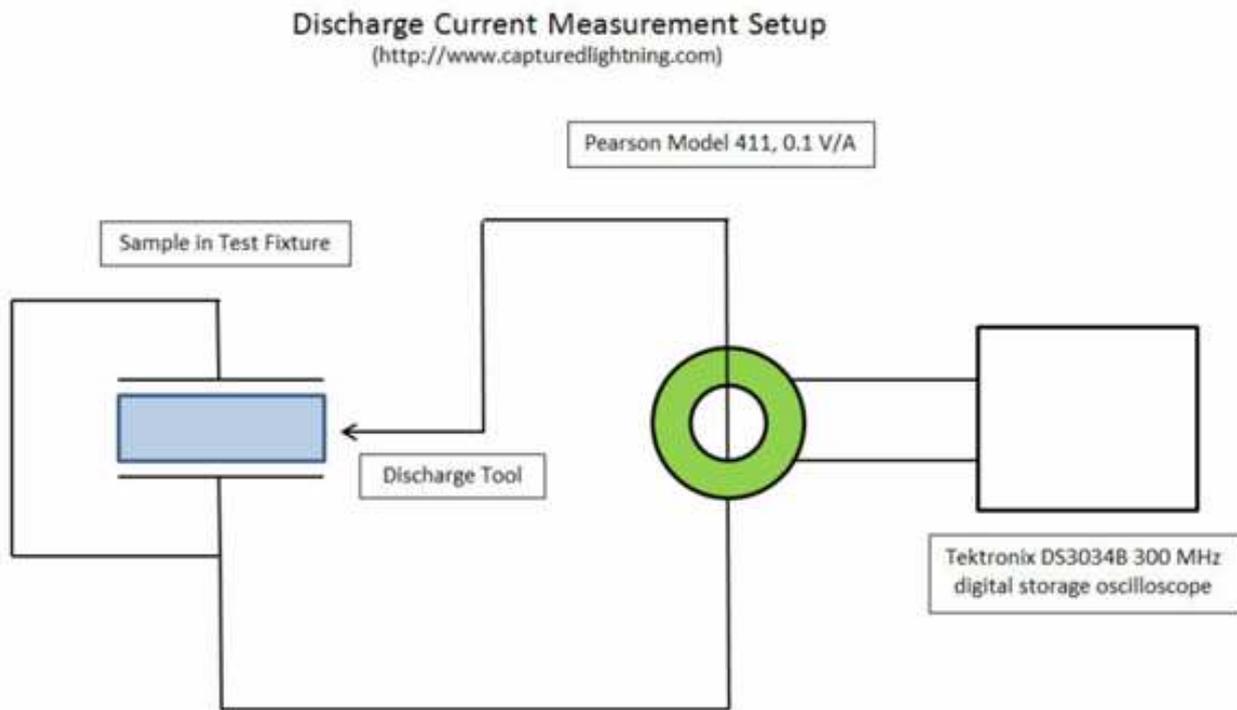


Рис. 5-2-5. Схема установки для измерения величины тока при разряде. Используется цифровой осциллограф с памятью модели Tektronix DS3034B 300MHz. <http://www.capturedlightning.com>

2006-Lazhar Kebbabi. Lyon, France.

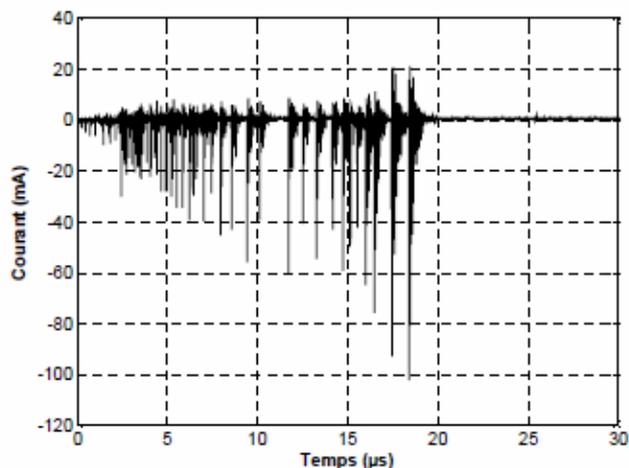
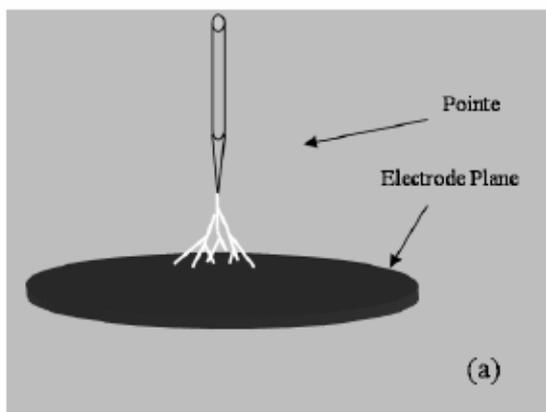


Рис. 5-2-6. Пульсации тока при разряде, напряжение 30кВ.

### 5.3 Измерение величины тока при регистрации свечения для диагностики.

1989-Всевожский Лев Алексеевич. Тверь. ТГУ.

1989-Всевожский Л.А. Баукина Л.Н. Способ регистрации при исследовании по методу Кирлиана и устройство для его осуществления. Патент **1690678**. 1991.+ Устройство для регистрации изображения содержащее генератор высоковольтных высокочастотных импульсов, высоковольтный электрод, и широкодиапазонный преобразователь импульсов разрядного тока в напряжение. Производится измерение суммарной мощности импульсов разрядного тока в одном или нескольких участках частотного спектра.

Импульсы разрядного тока поступают на вход преобразователя тока в напряжение. С выхода преобразователя импульсы напряжения с широким спектром частот поступают на многодиапазонный селективный измеритель напряжения. Выходной сигнал измерителя пропорционален суммарной мощности импульсов разрядного тока в данной полосе частот. На объект подается импульсы напряжения 2-50кв, с частотой 10-250 герц при заполнении с частотой 68кГц. Диапазон частот селективного измерителя 1-100 мегагерц. Полоса частот 3кГц. Проводилась регистрация выходного сигнала при выполнении испытуемыми задержки дыхания на выдохе.



Рис. 5-3-1. Схема устройства: 1-генератор высоковольтных высокочастотных импульсов; 2-высоковольтный электрод; 3-объект исследований; 4-преобразователь импульсов разрядного тока в напряжение; 5-измеритель напряжения.

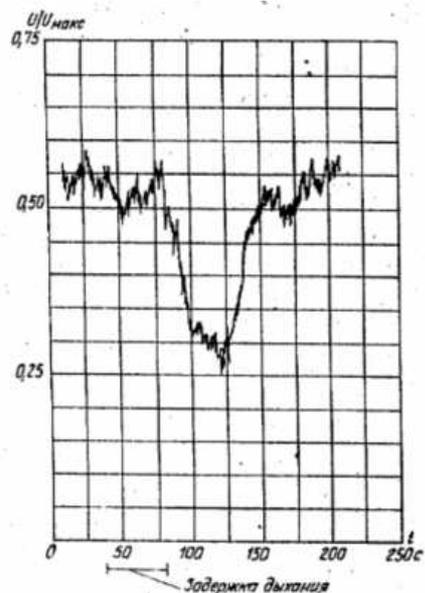
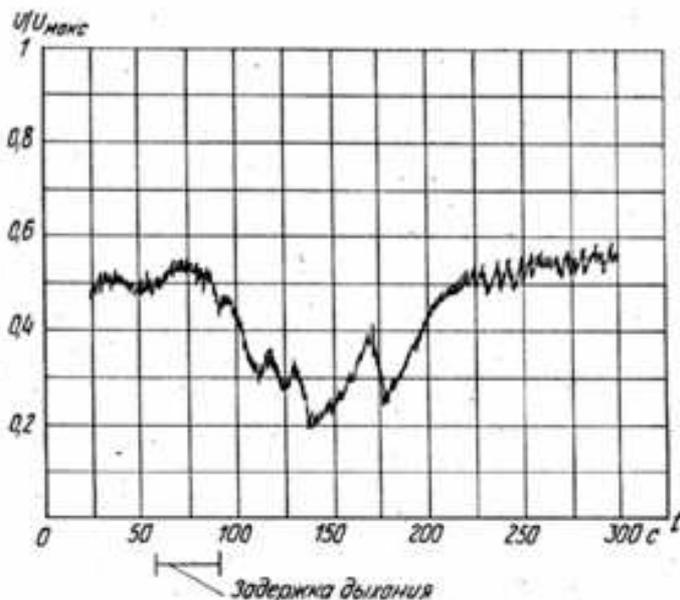


Рис. 5-3-2. 1-кривая снята в диапазоне 14мГц при полосе частот 3кГц, 2-кривая снята в диапазоне 30мГц при полосе частот 3кГц.

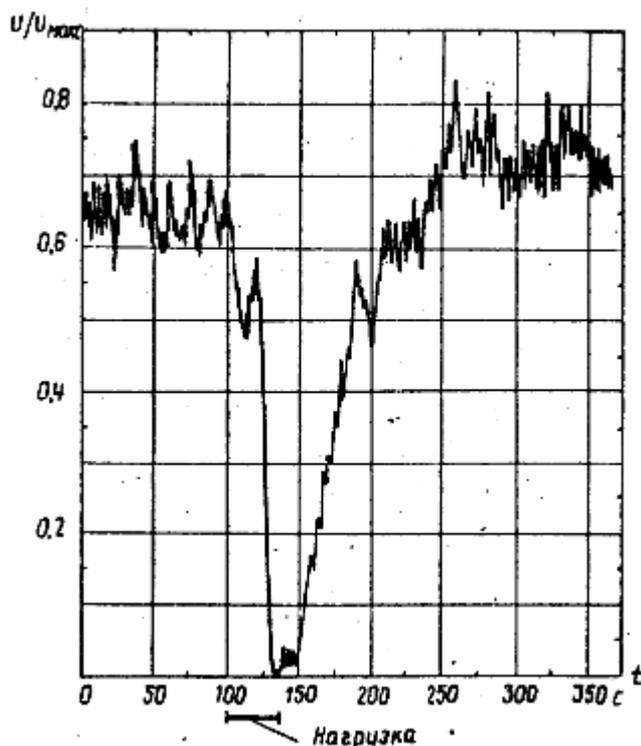


Рис. 5-3-3. Изменение сигнала при выполнении нагрузки.

1992-Ашметков Ф.С. Баукина Л.Н. Всеволжский Л.А. Новый метод газоразрядной диагностики. Мед. информ. Системы. Таганрог. 1992. №4(11). с.55. (вып.3. 1993.).

2003-Коротков К.Г. Способ определения тревожности человека. Патент **2234854**. 2004.+ Для определения тревожности человека возбуждают газоразрядное свечение вокруг исследуемой части кожного покрова человека посредством пропускания импульсного электрического тока через этот участок через полимерную пленку и без нее. Измеряют PF-суммарную мощность импульсов электрического тока, проходящего через исследуемую часть участка кожного покрова с пленкой, и PNF-суммарную мощность импульсов электрического тока, проходящего через исследуемую часть участка кожного покрова без пленки. При этом, если PF отличается от PNF, констатируют состояние тревожности; если PF отличается от PNF в пределах до 25%, то

констатируют низкий уровень тревожности, в пределах от 25% до 75% констатируют выраженную тревожность, а если PF отличается от PNF более чем на 75%, констатируют стрессовое состояние.

---

**Коротков К.Г.** Спираный траверс.

был разработан метод измерения высокочастотных токов разряда. Дело в том, что эффект Кирлиан представляет собой эмиссию объекта, стимулированную импульсом напряжения и усиленную в газовом разряде. Процесс усиления очень напоминает процессы, протекающие в фотоэлектронных умножителях (ФЭУ) или счетчиках Гейгера. При этом возникает свечение, которое может быть зафиксировано на фотопленке или при помощи физических приборов (ФЭУ, спектрометр, ПЗС-матрица), а также возникают импульсы электрического тока. Мы провели специальные измерения и убедились, что кривые свечения и тока меняются синхронно и что активной компонентой тока являются короткие импульсы, следующие с частотой 30-50 МГц. Поэтому был создан прибор, проводящий измерение высокочастотного тока.

---

**2005-Гришенцев Алексей Юрьевич, СПбГУИТМО.**

2005-Гришенцев А.Ю. Регистрация проявления реакции человека на стандартные тесты раздражители при помощи прибора ИПЧ. СПб. ГУП НИИФК. Сборник трудов конференции. СПб. 2005.

2006-Гришенцев А.Ю. Моделирование распределения плотности тока в сложном неоднородном проводнике. Часть 1,2. СПб. ГУИТМО. 3-я Конф. молодых ученых. СПб. 2006.

2006-Гришенцев А.Ю. Воробьев А.Б. Дорофеева Т.Б. Исследование физического состояния деревьев с использованием прибора измеритель поверхностных частот. Конф. НИС. СПб. 2006. с.103-106.+

2006-Коротков К.Г. Гришенцев А.Ю. Анализ принципов работы прибора измеритель интегральной суммы токов высокой частоты. Конф НИС. СПб. 2006. с.112-119.

2006-Нечаев Д.А. Гришенцев А.Ю. Иванова Н.Ю. Исследование работы прибора «измеритель поверхностных частот» при различных значениях влажности. Приборостроение. т.49, №2, 2006, с.26-29.

2006-Гришенцев А.Ю. Петрова Е.Н. Предварительные эксперименты по изменению характеристик газоразрядного свечения волос при различных условиях. /Научно-технический вестник СПбГУИТМО. Выпуск 29. СПбГУИТМО 2006. с.100-103. 280 с.

2007-Гришенцев А.Ю. Петрова Е.Н., Исаева Е.В., Шапин А.В. Выявление реакций людей при восприятии музыки методом ГРВ. Научно-технический вестник СПбГУИТМО. Изд-во. СПбГУИТМО. 2007. №40. с.95-101.

**2009-Гришенцев А.Ю. Аппаратно-программный комплекс оценки психофизиологического состояния объекта путем анализа высокочастотных токов с поверхности кожных покровов. Диссертация кандидата технических наук. СПб. СПбГУИТМО. 2009.**

Наиболее значимые изменения дисперсии комплексной электропроводности биологических тканей в частотном диапазоне проявления эффектов диэлектрофореза и электровращения характерных для живых клеточных тканей, наблюдаются в диапазоне 2-8 МГц. Оценку состояния вегетативной нервной системы в режиме реального времени возможно производить по динамике изменения во времени значений стимулированных внешним потенциалом токов в диапазоне 2-8МГц, протекающих через кожные покровы различных частей тела человека.

Анализ данных ИПЧ показал: динамика изменения показаний ИПЧ, связанная с изменением психофизиологического состояния, имеет низкочастотный характер, спектральный анализ позволил заключить, что период их динамических изменений характеризуется временем порядка единиц и десятков минут. Таким образом, интересующая нас информация лежит в области частот ниже 0,02 Гц.

Предложены два направления разработки аппаратно-программных комплексов, получивших следующие условные названия:

1-АСТ (Анализатор Спектра Тока). Прибор позволяющий производить анализ электропроводящих свойств исследуемого объекта в диапазоне частот 0,01-110МГц с регулируемой полосой пропускания от 5кГц до 100МГц и дискретизацией внутри полосы 32 точки, методом измерения амплитуды тока протекающего через объект исследования при неизменной амплитуде внешнего синусоидального потенциала 0.1-1В. Данный АПК разработан с целью выявления особенностей дисперсии электропроводящих свойств биологических тканей.

2-ИПЧ (Измеритель Психофизиологического состояния Человека). Протекание тока через объект исследования стимулируется внешним кратковременным высоковольтным потенциалом с дискретно регулируемым амплитудным значением 0-10кВ, измерение тока производится после фильтрации с выделением частотного диапазона 2-8МГц. Данный аппаратно-программный комплекс (далее АПК) является основным инструментом, разрабатываемым в диссертации.

Рассматривается прибор ИПЧ-измеритель поверхностных частот, разработанный в СПбГУИТМО. ИПЧ генерирует высокочастотный потенциал, вызывающий протекание высокочастотного тока через исследуемый объект. При этом измеряется интегральная сумма тока в выделенном частотном диапазоне.

---

#### **5.4 Простой прибор для диагностики методом Кирлиан.**

Возможно дооснащение существующих ГРВ камер микроамперметром для измерения микротока, протекающего во время разряда. Величина тока пропорциональна интенсивности свечения, и может служить важным количественным параметром для диагностики. С помощью микроамперметра удобно регистрировать динамику свечения (постоянное свечение, увеличивается, уменьшается, пульсирует). Так же можно оперативно количественно регистрировать изменение свечения при различных внешних раздражителях.

Возможно создание простого диагностического прибора на основе метода Кирлиан. В состав прибора входит высокочастотный генератор, электроды и микроамперметр. Оптический блок регистрации отсутствует. Это существенно удешевляет и упрощает прибор. Прибор регистрирует ток при разряде, когда палец касается электрода.

Величина тока, регистрируемого при разряде, пропорциональна площади свечения и суммарной яркости свечения. Таким образом, в реальном масштабе времени можно отслеживать динамику этих параметров без использования компьютера.

---

#### **5.5 Электрический ветер (электронный ветер).**

Электрический ветер (электронный ветер, ионный ветер, electric wind). «Ионный ветер»- физическое явление, при котором движение газа создаётся с помощью электрического поля, создаваемого электростатическим ускорителем. Электростатический ускоритель представляют собой довольно простые устройства, содержащие «острый» и «тупой» электроды с присоединённым к ним источником высоковольтного питания. Острым электродом может быть игла, лезвие, тонкая проволока.

Под электрическим ветром понимают движение молекул воздуха, возникающее в результате механического воздействия на них потока ионов. Электрический ветер (коронарный ветер) вызван выталкиванием ионов из области, прилегающей к коронирующему электроду. Робинсон изучал явление электрического ветра на модели электрофильтра с положительной короной, используя вводимый гелий в качестве индикатора. Скорость электрического ветра может достигать 0,5-1м/сек.

Маленьким кусочком воска приклейте к шарик кондуктора обыкновенную булавку так, чтобы она была расположена горизонтально и касалась кондуктора головкой. Теперь вертите машину правой рукой, а левую поставьте наружной стороной против острия булавки. Вы почувствуете ветер. Булавка дует. Если вы смочите руку, ощущение будет еще сильнее.

Попробуйте обрезать покороче фитиль свечи, чтобы огонь был небольшим, и тогда этим электрическим ветром вы сможете даже задуть свечу.

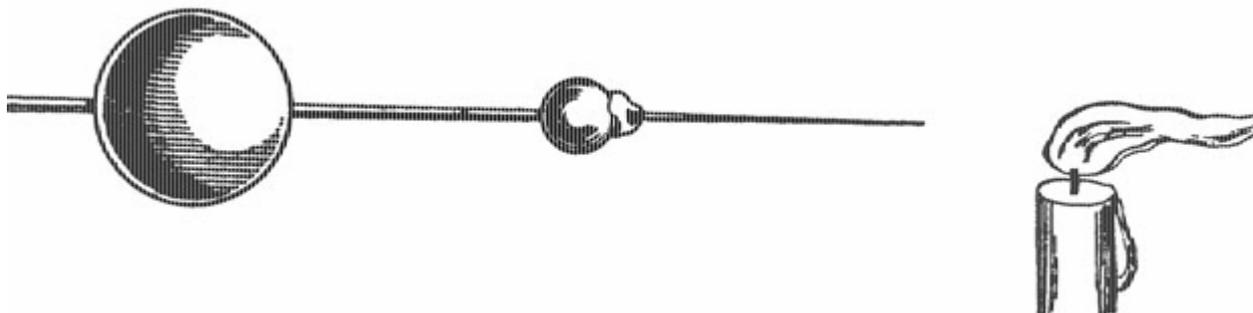


Рис. 5-5-1. Электрический ветер.

Электрический ветер используется для создания электрофильтров, устройств, предназначенных для очистки газов от мелких частиц. Мелкие частицы получают заряд от ионов газа и двигаются к осадительному электроду.

Для электроосаждения используют отрицательный коронный разряд, так как он возникает при более высоких напряжениях и более устойчив.

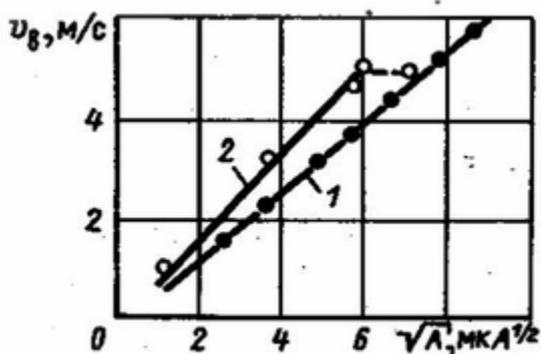


Рис. 5-5-2. Зависимость скорости электронного ветра на расстоянии 15мм от иглы от тока. Режим игла-плоскость, расстояние от иглы до плоскости 100мм. 1-отрицательная полярность, 2-положительная полярность.

**1709-Фрэнсис Хоксби** (Fransis Hauksbee) (Фрэнсиа Гауксби-старший) британский ученый, куратор Лондонского Королевского общества. Он сообщил на заседании Королевского общества об открытии «электрического ветра».



Рис. 5-5-3. Fransis Hauksbee.

1809-F. Hauksbee, Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects. (London, England, 1709).

1718-Исаак Ньютон рассматривал явления коронарного свечения и электрического ветра.



2010-Стишков Ю.К., Козлов В.Б., Ковалев А.Н., Самусенко А.В. Влияние барьера на форму и структуру коронного разряда в воздухе. Электронная обработка материалов, 2010, №4, с.31-40. Рассматривается система электродов игла-плоскость. Форма иглы – параболоид вращения с максимальным диаметром 1,6мм в основании и радиусом кривизны острия 0,1мм. Барьером служит тонкий лист плексигласа, размещенный внутри разрядного промежутка.

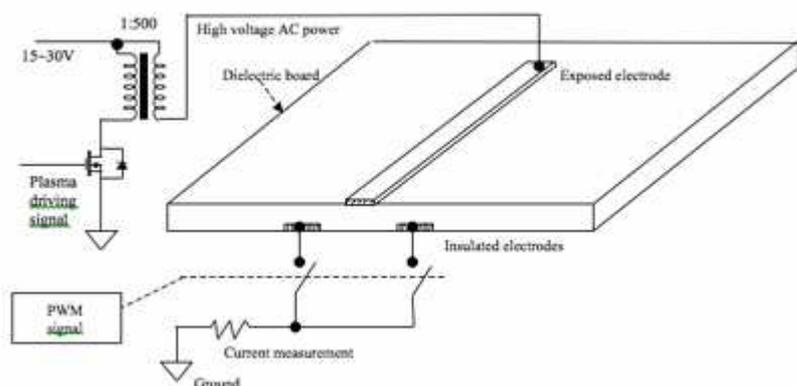


Рис. 5-5-6. Плазменные генератор (plasma actuator).

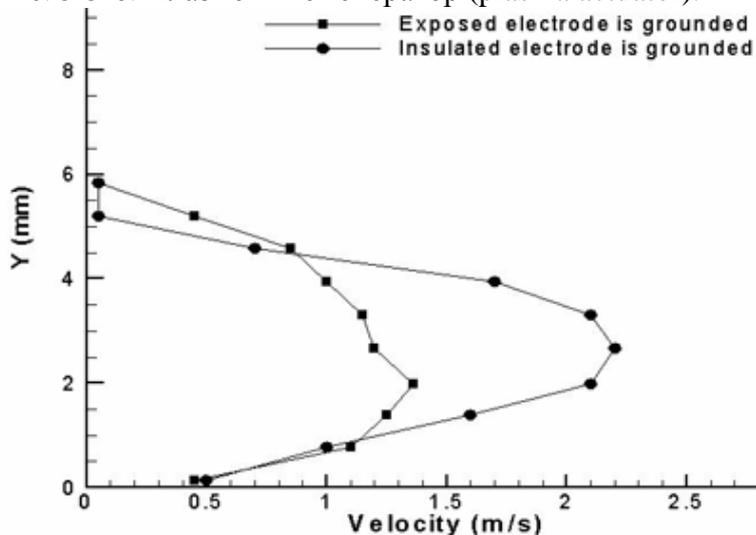


Рис. 5-5-7. Распределение скоростей потока в плазменном генераторе.

1989-Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии М. Энергоатомиздат, 1989. 160 С.

1994-Горкин С.Б., Козлов Б.А., Соловьев В.И. // Известия РАН. Серия физическая. 1994. Т.58. № 2. с.42.

2007-Козлов Б.А. Соловьев В.И. Исследование «электрического ветра» в электродных системах с коронирующими остриями. Журнал Технической физики. 2007. т.77. вып.7 с.70-76.+

1981-Страус В. Промышленная очистка газов. М. Химия. 1981. 616с.+

2003-Хомич В.Ю., Ямщиков В.А. Препринт ЦНП ИПЭ РАН. М. РИИС ФИАН, 2003.

1960-Чижевский А.Л. Аэроионизация в народном хозяйстве. М. Госпланиздат, 1960.

2003-Brown D. L., Jewell-Larsen N. E., Krichtafovitch I. A., et al. / In Proc. International Symposium on High Voltage Engineering (ISH). Delft, Nederland, 2003. P.1-4.

1997-Colver G., El-Khabiry S. // Phys. Fluids. 1997. V.9. No.3. P.587.

1983-Leonard G.L., Mitchner M., Self S. A. // Journal Fluid Mech. 1983. V.127. P.123.

1998-Mclean K.J.//IEEE Proceedings on Science Measurement and Technology. 1998. V.135. No.6. P.347.

1929-Peek F.W. Dielectric phenomena in high voltage engineering. New York: McGraw-Hill, 1929.

1961-Robinson M. // AIEE Transactions. 1961. V.80. P.143.