

# Оптический пробой сред

A. Simankovich    D. Dedkov

Moscow Institute of Physics and Technology

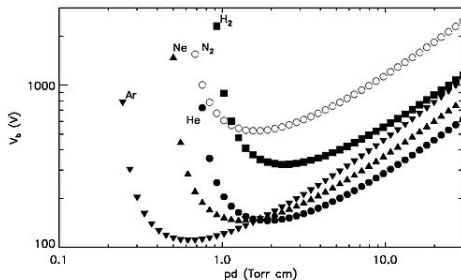
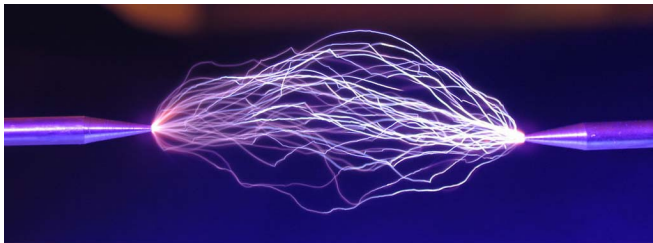
# Аннотация

TODO: Аннотация

Article studies He-Ne laser and it's basic principle of operation. Laser gain is measured. Feasibility of Malus' law is demonstrated. Mode structure of laser is examined.

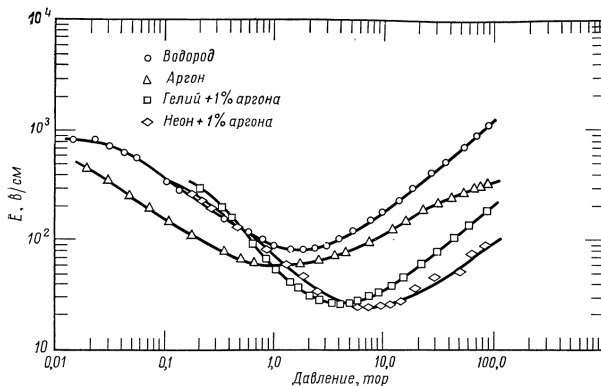
# Введение

# Статический пробой



Самый известный и хорошо изученный тип пробоя – пробой постоянным напряжением. Его поведение в первом приближении описывается кривыми Пашена. Заметим, что у кривой существует минимум.

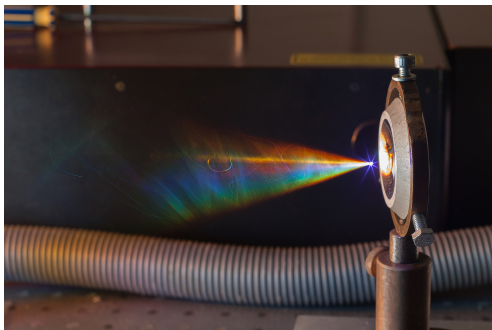
# Пробой в переменных полях



Зависимость пробойного поля от давления  
( $f = 992$  МГц, диффузионная длина  $0.631$  см)

Под действием переменного поля также возникает пробой. Его минимум для типичных параметров установки расположен в диапазоне давлений, близких к нормальному.

## Оптический пробой



Пробой воздуха фемтосекундным лазером

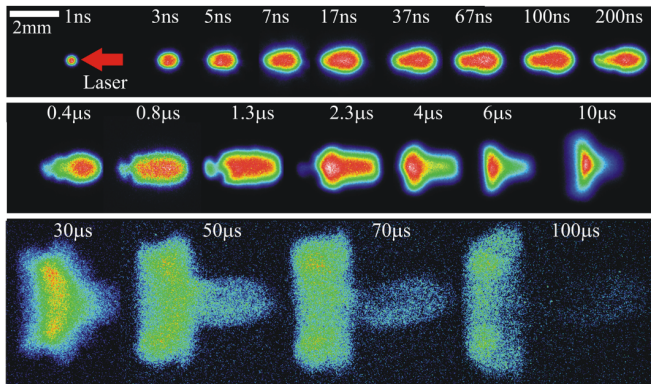
В данной работе изучается пробой полем оптического диапазона. Характерные значения поля для пробоя  $E \approx 10^6 \div 10^7$  В/см (для постоянного и СВЧ полей  $E \approx 3 \cdot 10^4$  В/см).

$$P \approx 30 \text{ МВт}, \quad d = 2 \cdot 10^{-2} \text{ см}$$

$$I \approx 10^5 \text{ МВт/см}^2, \quad E \approx 6 \cdot 10^6 \text{ В/см}$$



# Стадии искры



Эволюция воздушной искры во времени

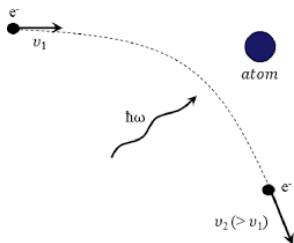
Явление лазерной искры можно разделить на три стадии:

- Пробой: ионизация и появление начальной плазмы.
- Взаимодействие плазмы с лазерным импульсом, движение плазменного фронта.
- Распространение ударной волны, свечение.

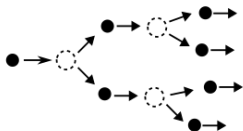


Теория

# Электронная лавина



Процесс, обратный тормозному излучению

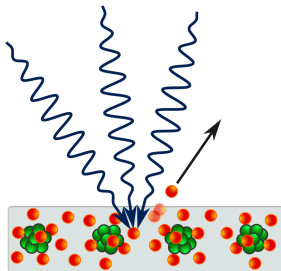


Электронная лавина

В осциллирующем поле, при колебании электронов, в среднем энергия электронов при столкновениях переходит в тепло. По квантовой теории электрон поглощает фотоны при столкновениях с атомами.

В области поля средняя скорость электронов увеличивается. Происходит ионизация. Новые электроны добавляются к свободным, увеличивая скорость ионизации. Формируется электронная лавина.

# Многоквантовый фотоэффект



Электрон поглощает несколько фотонов одновременно. Суммарная энергия превосходит энергию ионизации:

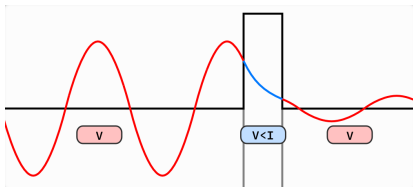
$$n \cdot h\nu \sim n \cdot 2 \text{ эВ} > I \sim 10 \div 20 \text{ эВ}.$$

Электрон отрывается от атома.

Многоквантовый фотоэффект

# Ионизация излучением

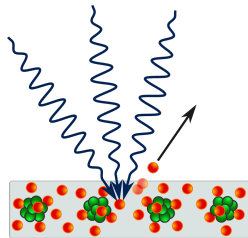
Два механизма вырывания электрона из атома излучением:



Туннельный эффект

- $E$  – поле световой волны.
- $\Delta \sim \frac{I}{eE}$  – ширина потенциального барьера.
- $v \sim \sqrt{I/m}$  – скорость электрона.
- $\tau \sim \Delta/v \sim \frac{\sqrt{Im}}{eE}$  – время пролета барьера.

$\omega\tau \ll 1$  – условие статичности поля.



Многоквантовый фотоэффект

$\omega\tau \gg 1$  – условие получения достаточного числа квантов за колебание.

Оценка для пробоя на оптических частотах дает  $\omega\tau \gg 1$ .

# Простейшая оценка напряженности поля

Попытаемся оценить пороговое значение поля с помощью теории многоквантового фотоэффекта.

- $w$  – вероятность многоквантового фотоэффекта
- $n$  – количество поглощаемых фотонов
- $F$  – поток квантов

$w \sim F^n \sim E^{2n}$  – вероятность пропорциональна  $n$ -ой степени потока квантов.

$w \sim \frac{1}{I^n}$  – чем выше порог ионизации, тем ниже вероятность.

$w \sim \frac{1}{\omega^n}$  – чем ниже частота, тем больше время, за которое электрон может поглотить нужную энергию.

$$w \sim \left( \frac{E^2}{\omega I} \right)^n$$

Результат полученный Л.В.Келдышем в рамках квантовой механики:

$$w = B\omega n^{3/2} \left( \frac{\bar{e}\pi e^2}{mc} \frac{\hbar E}{\omega I} \right)^n$$

# Нарастание энергии

TODO: Райзер, с 19-22 (вывод довольно простой)

КЕКВ: Классическая теория не описывает оптический диапазон:  $h\nu \gg \varepsilon_{\text{кол}}$ .

КЕКВКЕКВ: А нет, описывает:  $h\nu \gg \varepsilon_{\text{кол}}$ , но  $h\nu \ll \varepsilon$ , а это новое условие применения классики (Райзер, с 40, 43)

TODO: 6 глава, оттуда вытащить более точное значение порога

# Elementary processes

Where  $\rho(\omega)$  – spectral energy density of the isotropic radiation field at the frequency of the transition.



# Laser Gain

Beer–Lambert–Bouguer law states that intensity of light  $I(x)$  changes:

$$I(x) = I_0 \exp(\gamma x),$$

where  $\gamma$  – medium gain coefficient. With length  $L$  gain per period is called **laser gain**:

$$G = \exp(\gamma L).$$

Thank you for your attention!