

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЫ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В НЕОНЕ

Симанкович Александр

Маслов Артём

Б01-104

03.11.2022

## Аннотация

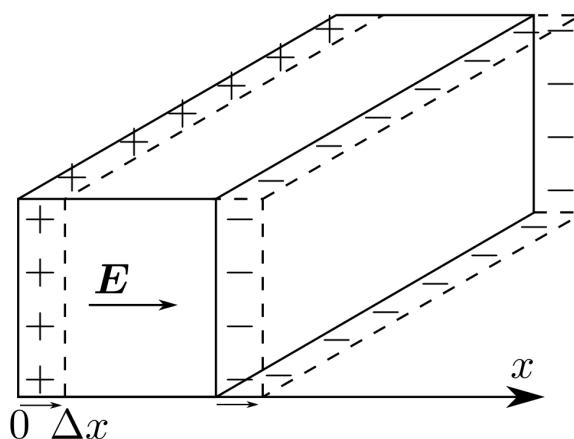
В работе исследуется вольт-амперная характеристика тлеющего разряда, исследуются свойства плазмы методом зондовых характеристик.

## Введение

Вещество может находиться в трёх агрегатных состояниях - твёрдом, жидком и газообразном, причём эти состояния последовательно сменяются по мере возрастания температуры. Если и дальше нагревать газ, то сначала молекулы диссоциируют на атомы, а затем и атомы распадаются на электроны и ионы, так что газ становится ионизованным, представляя собой смесь из свободных электронов и ионов, а также нейтральных частиц. Если степень ионизации газа (отношение числа ионизованных атомов к их полному числу) оказывается достаточно велика, то такой газ может обладать качественно новыми свойствами. Поведение заряженных частиц приобретает коллективный характер, так что описание свойств среды не может быть сведено к описанию обычного газа, содержащего некоторое количество отдельных заряженных частиц. Такое состояние ионизованного газа называется *плазмой*.

## Теория

### Плазменные колебания



Выделим в нейтральной плазме некоторый объём в виде параллелепипеда. Обозначим концентрацию электронов как  $n_e$ ; ионы для простоты будем считать однозарядными ( $Z = 1$ ), тогда их концентрация такая же, как у электронов:  $n_i = n_e$ . Предположим, что все электроны сместились на расстояние  $\chi$  относительно ионов. Ионы как существенно более

тяжёлые частицы можно считать неподвижными. В результате на боковых гранях параллелепипеда возникнут нескомпенсированные поверхностные заряды с плотностью:

$$\sigma = \pm n_e e \Delta x$$

Эти заряды — как две пластины конденсатора — создадут электрическое поле:

$$E = 4\pi n_e e \Delta x$$

В свою очередь это поле будет действовать на электроны, придавая им ускорение, равное:

$$\frac{d^2 \Delta x}{dt^2} = -\frac{eE}{m} = -\frac{4\pi n_e e^2}{m} \Delta x$$

Видно, что полученное уравнение описывает гармонические колебания с частотой:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m_e}}$$

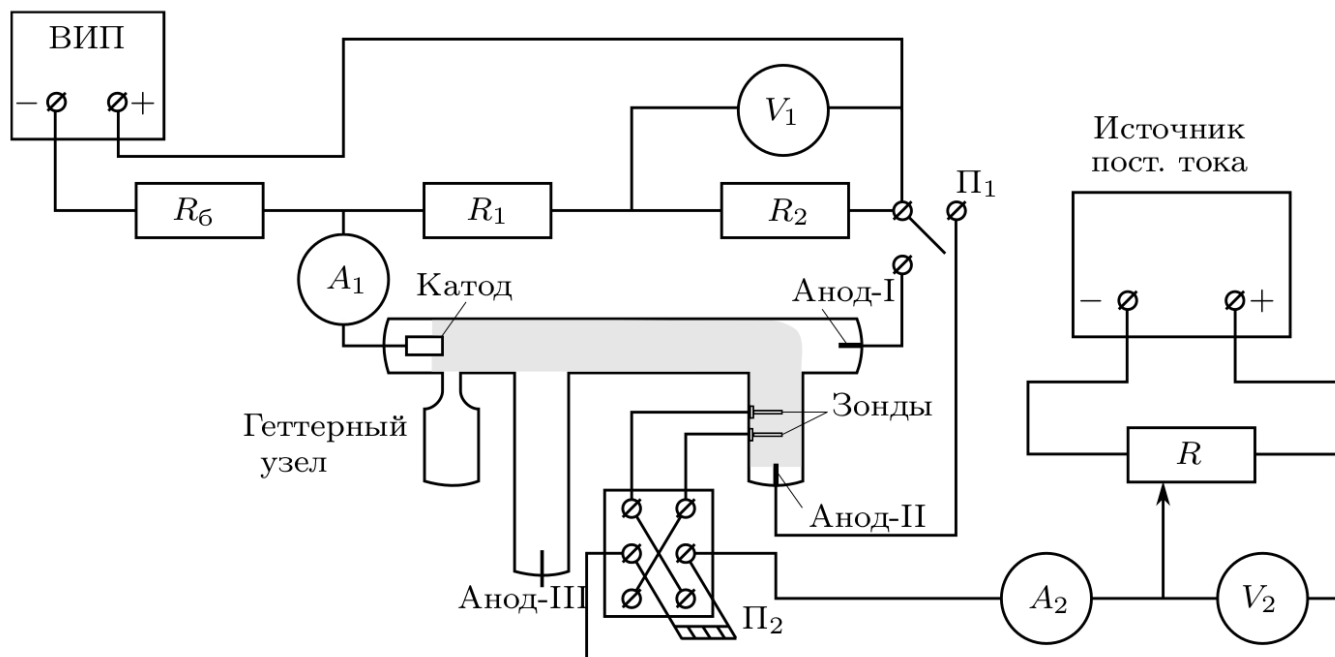
Таким образом, мы получили частоту коллективных колебаний электронов относительно квазинейтрального состояния. Такие колебания называют *ленгмюровскими*, а частоту  $\omega_p$  — *плазменной* или *ленгмюровской*. Эта частота — один из важнейших параметров плазмы. Она определяет характерный временной масштаб для плазмы — время отклика на флуктуацию плотности заряда в ней. Частота  $\omega_p$  определяет многие физические процессы, включая распространение электромагнитных волн в плазме.

## Дебаевский радиус

Плазменные колебания могут быть возбуждены как за счёт внешнего воздействия (например, при прохождении электромагнитной волны), так и за счёт тепловой энергии, содержащейся непосредственно в плазме. Оценим амплитуду колебаний в последнем случае. Средняя скорость теплового движения электронов по порядку величины равна  $\bar{v}_e \sim \sqrt{\frac{kT_e}{m_e}}$ , где  $T_e$  — температура электронов. Амплитуду  $r$  колебаний электронов относительно ионов оценим как смещение с тепловой скоростью  $\bar{v}_e$  за характерное время плазменных колебаний  $\frac{1}{\omega_p}$ :  $r = \frac{\bar{v}_e}{\omega_p}$ . Полученную величину обозначают как

$$r_D = \sqrt{\frac{kT_e}{4\pi n_e e^2}} \sim \frac{\bar{v}_e}{\omega_p}$$

и называют *дебаевским радиусом* (или *дебаевской длиной*). Это — ещё один важный плазменный параметр, задающий характерный пространственный масштаб многих плазменных явлений.



## Схема экспериментальной установки

Схема установки изображена на рисунке:

Стеклянная газоразрядная трубка имеет холодный (нагреваемый) полый катод, три анода и геттерный узел — стеклянный баллон, на внутреннюю поверхность которого напылена газопоглощающая плёнка. Трубка наполнена изотопом неона  $^{22}\text{Ne}$

## Оборудование

1. Стеклянная газоразрядная трубка, наполненная неоном.
2. Высоковольтный источник питания.
3. Источник питания постоянного тока.
4. Делитель напряжения.
5. Потенциометр.
6. Амперметр.
7. Вольтметр.
8. Переключатели.

## Экспериментальные результаты

## Выводы