

ЗАКОН ПАШЕНА



Выполнил:
Грошев М.А. Б01-206

Долгопрудный 2023

Цель работы: Исследовать закон Пашена и определить границы его применимости.

1 Исторические сведения



Немецкий физик, иностранный почетный член АН СССР (1930). Отметился трудами электрическим разрядам в газах (установил закон, названный его именем, 1889), спектроскопии, спектральным и измерительным приборам. Обнаружил спектральную серию водорода в инфракрасной области.

Рис. 1: Фридрих Пашен (1865-1947).

2 Закон Пашена

Разность потенциалов φ между электродами трубки, при которой начинается пробой газа, есть функция произведения давления газа P на расстояние между электродами l .

Электрический пробой - явление резкого возрастания тока в твёрдом, жидком или газообразном диэлектрике (или полупроводнике) или воздухе, возникающее при приложении напряжения выше критического.

2.1 Доказательство закона Пашена

2.1.1 Опыт Таунсенда

Введём два коэффициента ионизации α , β

α - среднее число ионов одного знака, производимое электроном на единице пути длины своего пути. Аналогичный смысл имеет коэффициент β , характеризующий ионизирующую способность положительных ионов. Причём $\alpha > \beta$

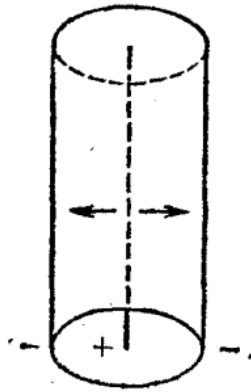


Рис. 2: Установка опыта Таунсенда

Что доказывается следующим экспериментом. Берется ионизационная камера в виде цилиндрического конденсатора, внутренним электродом которого служит тонкая металлическая нить. Между нитью и наружным цилиндром конденсатора прикладывается разность потенциалов U , достаточная для того, чтобы в объеме камеры происходила ударная ионизация газа. Последняя практически будет происходить лишь вблизи нити, где электрическое

поле очень сильное. Допустим, что на нить подан положительный потенциал. Тогда к нити устремятся электроны и будут вблизи нее ионизовать газ. Положительные же ионы, устремляясь к наружному цилиндру, пройдут через область слабого поля и практически никакой ионизации не вызовут. Изменим теперь полярность напряжения U , не меняя его величину. Тогда роли положительных и отрицательных ионов поменяются местами. К нити устремятся положительные ионы, и ионизация в камере будет возбуждаться практически только ими. Опыт показывает, что в первом случае ионизационный ток больше и быстрее растет с напряжением U , чем во втором.

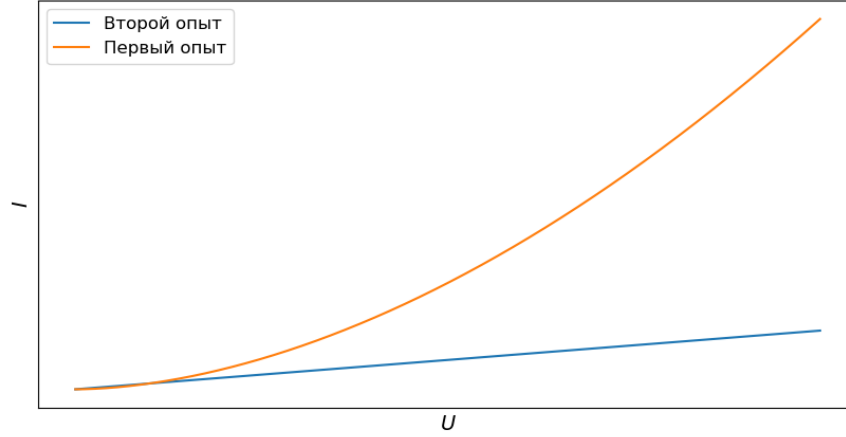


Рис. 3: Результат опыта Таунсенда

2.1.2 Зависимость α , β от E , P

Для определенности рассмотрим электроны. Примем вместе, что при каждом столкновении электрон теряет скорость, которую он приобрел в электрическом поле. Чтобы электрон мог ионизовать газ, он должен на пути свободного пробега x приобрести энергию, не меньшую энергии ионизации, т. е. величина x должна удовлетворять условию:

$$xE \geq U_{ion},$$

где U_{ion} — потенциал ионизации. Предположим, что каждый такой электрон будет ионизировать газ. Пустим тогда почок из N_0 электронов в поле E с нулевой начальной скоростью. Известно, что среднее число электронов, проходящих путь x без столкновений:

$$N = N_0 \cdot e^{\frac{-x}{\bar{l}}}$$

где \bar{l} — средняя длина свободного пробега электрона. Рассмотрим крайний случай: $xE = U_{ion}$. В таком случае на пути 1 см электрон испытает $\frac{1}{\bar{l}}$ столкновений. Тогда получим, что на всём пути у нас будет следующее число ионизаций

$$\frac{N}{\bar{l}} = \frac{N_0}{\bar{l}} \cdot e^{\frac{-x}{\bar{l}}} \quad (1)$$

Тогда из полученного выражения уже будет несложно получить выражение для среднего числа ионизаций, проводимых одним электроном на том же пути

$$\alpha = \frac{1}{\bar{l}} \cdot e^{\frac{U_{ion}}{El}} \quad (2)$$

Полузуясь тем фактом, $\bar{l} = \frac{1}{AP}$, где A - некоторая константа

$$\alpha = AP \cdot e^{BPE}, \quad (3)$$

где B - некоторая константа. Отсюда получаем:

$$\frac{\alpha}{P} = f\left(\frac{E}{P}\right), \quad (4)$$

Данное выражение позже было проверено Таунсендом для ряда газов при малых далениях ($P < P_{atm}$). Однако позже Показано, что данное соотношение дает ошибку при давлениях больших атмосферного, а при больших давлениях ($P \gg P_{atm}$) становится неверным.

Если продифференцировать данное выражение и найти его максимум, то получим, что он достигается при $P = \frac{E}{B}$ и равен:

$$\alpha_{max} = \frac{A}{eB} E, \quad (5)$$

где e - основание натурального логорифма. То максимальное значение ионизируемости пропорционально напряжению электрического поля.

2.1.3 Условие пробоя

Из теории построенной Таунсендом, монжно получить условие пробоя газа или зажигания газового разряда.

$$(\beta + \gamma \cdot \alpha) e^{(\beta + \alpha)l} - (1 + \gamma)\alpha = 0 \quad (6)$$

Рассмотрим случай, когда вторичная эмиссия электронов у катода роли не играет ($\gamma = 0$) Тогда подставляя в 6, следующие выражения:

$$\alpha = Pf\left(\frac{U}{lP}\right)$$

$$\beta = Pf_1\left(\frac{U}{lP}\right),$$

где U напряжение на трубке. Тогда несложно получить следующее выражение.

$$F\left(\frac{U}{lP}\right) = 0,$$

Решив это уравнение, найдём потенциал пробоя:

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{пр}}(lP), \quad (7)$$

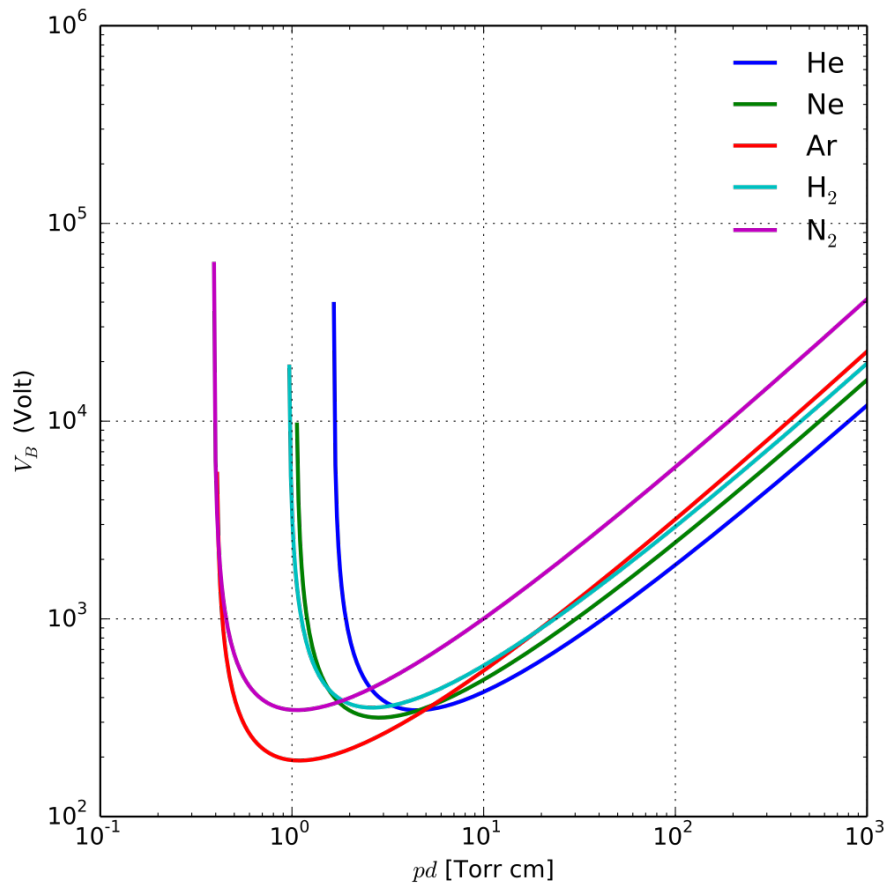


Рис. 4: Экспериментальные данные Закона Пашена

3 Вывод

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{пр}}(lP),$$

Разность потенциалов между электродами трубки, при которой начинается пробой газа, есть функция произведения давления газа на расстояние между электродами. Если в нескольких разрядных трубках с плоскими электродами создать условия, при которых произведения PL постоянны, то для всех трубок потребуется одна и та же разность потенциалов, чтобы вызвать газовый разряд. Этот закон был установлен экспериментально Пашеном (1865—1947) еще до создания Таунсендом теории пробоя газа.