



# ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

**Лекция «КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ  
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ  
МЕТАЛЛОВ»**

# Экспериментальные доказательства классической ТЭМ

**Опыт К.Рикке (1901)** – доказательство того, что ионы металла не участвуют в переносе электричества.

**Суть опыта:** пропускание электрического тока через три последовательно соединенных металлических цилиндра (медь, алюминий, медь) одинакового радиуса в течение одного года.

**Результаты опыта:** никаких следов переноса вещества при пропускании тока обнаружено не было.

# Экспериментальные доказательства классической ТЭМ

Опыты С.Л.Мандельштама и Н.Д. Папалекси (1913г) и Р.Тольмена (1916г) - экспериментальное определение знака и величины удельного заряда носителей

Суть опытов: регистрация импульса тока в металлическом проводнике заданных размеров и с известным сопротивлением при его резком торможении.

Результаты опыта: экспериментально доказано, что носители тока в металлах имеют отрицательный заряд, а их удельный заряд приблизительно одинаков для всех исследованных металлов и совпадает по величине с удельным зарядом электрона.

# Основные положения элементарной классической теории электропроводности металлов (ТЭМ)

- В узлах кристаллической решетки металла располагаются ионы, а между ними хаотически двигаются свободные электроны.
- Свободные электроны являются носителями тока в металлах.
- Электроны образуют своеобразный электронный газ, обладающий свойствами идеального газа:
  - валентные электроны металлов - это одинаковые твердые сферы;
  - электроны двигаются по прямым линиям до столкновения друг с другом;
  - время контакта частиц пренебрежимо мало по сравнению с временем "свободного" движения.
  - сильным электрон-электронным и электрон-ионным взаимодействием пренебрегают.
- Электроны проводимости при своем движении сталкиваются с ионами решетки, в результате устанавливается термодинамическое равновесие между электронным газом и решеткой.
- Электрический ток в металле возникает под действием электрического поля, вызывающего упорядоченное движение электронов проводимости.

# Преимущества и недостатки классической ТЭМ

## *Преимущества:*

- простота и наглядность теории по сравнению с квантовой теорией.
- правильные качественные результаты при малой концентрации электронов проводимости и высокой температуре.

## *Недостатки:*

- невозможность правильно объяснить температурную зависимость сопротивления металлических проводников.
- затруднение при сопоставлении с опытом формул для теплоемкостей металла.
- трудности при оценке средней длины свободного пробега электронов в металле.
- противоречия при объяснении закона Видемана-Франца.

# Противоречия классической ТЭМ

1. Согласно выводов классической ТЭМ *сопротивление металла должно возрастать пропорционально квадратному корню из температуры.*

*Опыт показывает, что сопротивление металлических проводников линейно возрастает с температурой.*

2. По электронной теории, теплоемкость одновалентных металлов должна составлять

$$C_{мет} = C_{ат} + C_{эл} = 1,5R + 3R = 4,5R.$$

Опыт показывает, что теплоемкость металлов так же, как теплоемкость твердых диэлектриков, в соответствии с законом Дюлонга и Пти близка к  $3R$

(то есть у электронного газа теплоемкость практически отсутствует).

# Противоречия классической ТЭМ

3. Чтобы значения удельной электрической проводимости металла, рассчитанные по формуле (1) не расходились с опытными, средняя длина свободного пробега электронов должна быть в сотни раз большей, чем период решетки металла. Это предположение противоречит классической электронной теории

$$\gamma = \frac{ne^2 \langle l \rangle}{2m \langle u \rangle}. \quad (1)$$

4. Согласно эмпирическому закону Видемана-Франца отношение коэффициента теплопроводности  $\lambda$  к коэффициенту электропроводности  $\gamma$  для всех металлов приблизительно одинаково и изменяется пропорционально абсолютной температуре:

$$\lambda / \gamma = \beta T \quad (2)$$

где  $\beta$ - постоянная, не зависящая от рода металла.

$$\beta = 3(k / e)^2 \quad (3)$$

В рамках классической ТЭМ

$$\beta = 2(k / e)^2 \quad (4)$$

где  $k$  - постоянная Больцмана,  $e$  – заряд электрона

# Работа выхода электронов из металла

**Работа выхода электронов из металла** - работа, которую нужно затратить для удаления электрона из металла в вакуум.

Единица измерения работы выхода - **электрон-вольт (эВ)**

*1 эВ равен работе, совершаемой силами поля при перемещении элементарного электрического заряда при прохождении им разности потенциалов в 1 В.*

$$1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Работа выхода зависит от химической природы металлов и от чистоты их поверхности.

Таблица 1 - Работа выхода электронов из металла

| Металл | A, эВ | A · 10 <sup>-19</sup> Дж | Металл  | A, эВ | A · 10 <sup>-19</sup> Дж |
|--------|-------|--------------------------|---------|-------|--------------------------|
| Калий  | 2,2   | 3,5                      | Платина | 6,3   | 10,1                     |
| Литий  | 2,3   | 3,7                      | Серебро | 4,7   | 7,5                      |
| Натрий | 2,5   | 4,0                      | Цинк    | 4,0   | 6,4                      |



# Электронная эмиссия

**Электронная эмиссия – явление испускания электронов металлом под воздействием внешних факторов**

## **Виды эмиссии**

**(в зависимости от способа сообщения  
электронам энергии):**

- термоэлектронная эмиссия**
- фотоэлектронная эмиссия**
- вторичная электронная эмиссия**
- автоэлектронная эмиссия.**

# Термоэлектронная эмиссия

**Термоэлектронная эмиссия** – это испускание электронов нагретыми металлами.

**Применение** явления термоэлектронной эмиссии - в приборах, в которых создается поток электронов в вакууме: электронных лампах, рентгеновских трубках, электронных микроскопах и т.д.

**Вакуумный диод**- двухэлектродная лампа, представляющая собой откачанный баллон, содержащий два электрода: катод и анод.

# Параметры и характеристики вакуумного диода

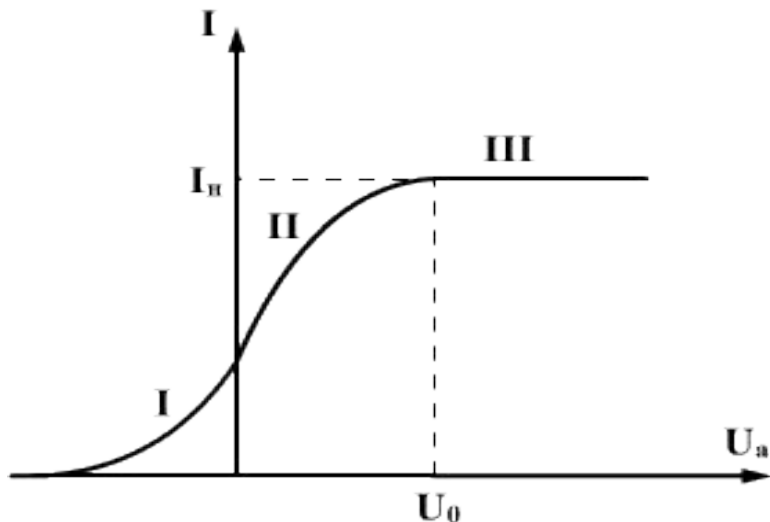


Рисунок 1 -Вольт- амперная характеристика вакуумного диода

Область I – «кривая задержки»;  
область II- область малых положительных значений  $U$ ;  
область III - область насыщения тока.

Зависимость термоэлектронного тока от анодного напряжения в области II закон трех вторых (С.А.Богуславский, И. Ленгмюр)

$$I = BU^{3/2}$$

где  $B$  – коэффициент, зависящий от формы и размера электродов и их взаимного расположения.

Зависимость плотности тока насыщения от абсолютной температуры

$T$   
(формула Ричардсона – Дэшмена)

$$j_{нас} = CT^2 \exp(-A/kT),$$

где  $C$ - постоянная, теоретически одинаковая для всех металлов;  
 $A$ - работа выхода электронов из катода;  
 $k$ -постоянная Больцмана;  
 $T$ - термодинамическая температура.

# Виды эмиссии

- **Фотоэлектронная эмиссия** – это эмиссия электронов из металла под действием света, а также коротковолнового электромагнитного излучения (например, рентгеновского)
- **Вторичная электронная эмиссия** – это испускание электронов поверхностью металлов, полупроводников или диэлектриков при бомбардировке их пучком электронов.
- **Автоэлектронная эмиссия** – это эмиссия электронов с поверхности металлов под действием сильного внешнего электрического поля.



***Благодарю за внимание***