

## Урок №32 (18.04.2019)

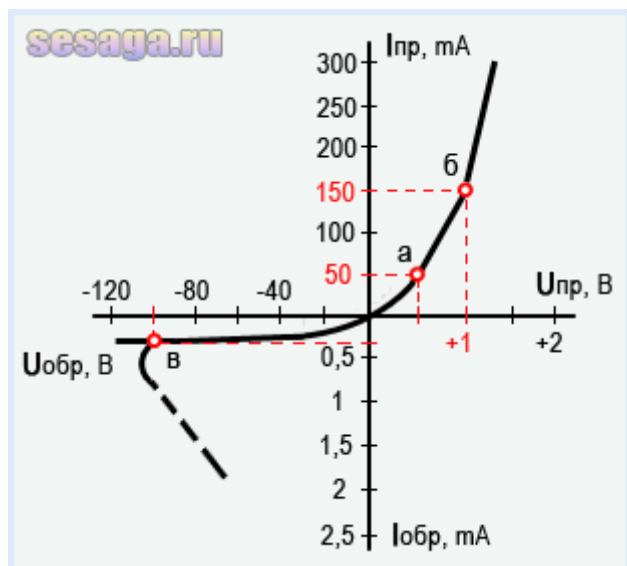
### Дополнения к теме «Электричество и магнетизм»

#### 1. Электролиз.

- Электролит.
  - Устройство электролитического конденсатора.
- Ионные токи.
- Использование в промышленности, добыча алюминия.
- Законы электролиза Фарадея:
  - $m = k \cdot I \cdot t$ , где  $m$  – масса выделившегося за время  $t$  при токе  $I$  на электроде вещества,  $k$  – электрохимический эквивалент (зависит от вещества);
  - $k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{z}$ , где  $F = 96485 \text{ Кл/моль}$  – постоянная Фарадея,  $A$  – молярная масса иона,  $z$  – валентность иона.

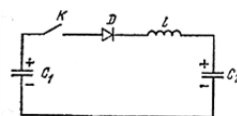
#### 2. Диод.

- Определение.
- Принцип работы вакуумного диода.
- Принцип работы полупроводникового диода.
- ВАХр диода:



#### Диод в цепях с реактивными элементами.

**Задача 1.** Конденсатор ёмкости  $C_1$  заряжен до разности потенциалов  $V_0$ . К нему через идеальный диод  $D$  и катушку индуктивности  $L$  подключают незаряженный конденсатор ёмкости  $C_2$  (см. рис.) До какой разности потенциалов он зарядится после замыкания ключа  $K$ ? Индуктивность  $L$  достаточно велика, так что процесс перезарядки происходит медленно.

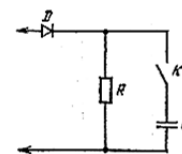


*Решение.* Т.к. процесс перезарядки медленный, можно пренебречь потерями на излучение (про излучение, впрочем, мы будем говорить только в следующем году). При этом, т.к. заряд у нас проходит, благодаря диоду, только в одну сторону – от  $C_1$  к  $C_2$ , то колебаний не возникнет: просто конденсатор  $C_1$  несколько разрядится, а конденсатор  $C_2$  зарядится на ту же величину. Т.е. мы можем записать закон сохранения заряда:  $Q_{01} = Q_1 + Q_2$ , или  $C_1V_0 = C_1V_1 + C_2V_2$ .

С другой стороны, тепло в системе не выделяется. Следовательно, мы можем записать закон сохранения энергии в виде:  $\frac{C_1V_0^2}{2} = \frac{C_1V_1^2}{2} + \frac{C_2V_2^2}{2}$ . Заметим, что энергией магнитного поля на катушке индуктивности мы пренебрегаем, т.к. в момент полной зарядки конденсатора  $C_2$  ток в схеме уже не идёт и магнитное поле отсутствует.

Решая систему из получившихся двух уравнений, находим:  $C_2 = 2C_1V_0 / (C_1 + C_2)$ .

**Задача 2.** Выпрямитель с идеальным выпрямляющим элементом подключён к сети переменного тока с напряжением  $V$  и частотой  $f$  (см. рис.). Во сколько раз изменится мощность, рассеиваемая на резисторе с сопротивлением  $R$  при замыкании ключа  $K$ , если известно, что за период переменного тока конденсатор ёмкости  $C$  практически не успевает разряжаться через резистор?



*Решение.* При разомкнутом ключе мощность в схеме без диода равнялась бы  $V^2/R$ , поэтому с учётом того, что диод пропускает лишь половину колебания, получаем:  $P_1 = V^2/2R$ . При замыкании ключа конденсатор, по условию, практически не разряжается за время колебания, следовательно, поддерживает на сопротивлении амплитудное значение напряжения  $V\sqrt{2}$ . Значит, на сопротивлении всё время выделяется мощность  $P_2 = (V\sqrt{2})^2/R = 2V^2/R$ . Следовательно, мощность возрастает в 4 раза.

### 3. Прибор Томпсона

В 1897 году Томпсон пропустил катодные лучи через систему скрещённых магнитных и электрических полей. В случае, когда электрическое и магнитное поля компенсируются, получаем:  $F_B = evB$ ,  $F_E = eE$ . Следовательно, скомпенсировав эти две силы, получаем для скорости частиц  $v = \frac{E}{B}$ .

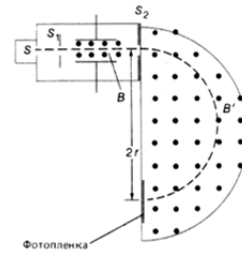
С другой стороны, если включить только магнитное поле, то  $evB = \frac{mv^2}{r}$ . Измерив  $r$ ,  $B$  и подставив выражение для  $v$ , Томпсон сумел измерить отношение заряда электрона к его массе:  $\frac{e^-}{m_e} = \frac{E}{B^2r}$ .

В 1911 году Роберт Милликен точно измерил заряд электрона, заряжая мельчайшие капли масла и уравновешивая силу тяжести электрическим отталкиванием.

#### 4. Масс-спектрометр

Исследуемые частицы образуются в источнике  $S$ , проходят селектор скоростей  $S_1 - S_2$  и попадают в камеру с отклоняющим магнитным полем  $B'$ . Так как  $qvB' = mv^2/r$  и  $v = E/B$ , то

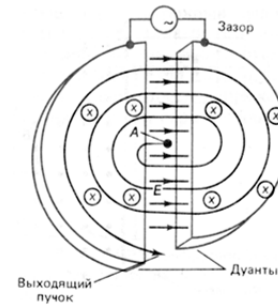
$$m = \frac{qB'r}{v} = \frac{qBB'r}{E}.$$



#### 5. Циклотрон<sup>1</sup>

Циклотрон разработан в 1932 году Э.О.Лоуренсом в Калифорнийском университете в Беркли для ускорения заряженных элементарных частиц типа протонов и альфа-частиц (ядра гелия).

Магнитное поле циклотрона заставляет частицы двигаться по траекториям, близким к круговым. Заряженные частицы движутся внутри двух D-образных полых металлических электродов (дуантов) (см. рис.). Всякий раз, когда частицы попадают в промежутки между дуантами, к электродам прикладывается ускоряющее напряжение. Происходит увеличение скорости частиц, а следовательно, и радиуса их траектории:



$$r = \frac{mv}{qB}.$$

После большого числа оборотов протоны приобретают значительную кинетическую энергию и достигают периферии циклотрона. В конце концов, они либо попадают на мишень, установленную внутри циклотрона, либо выводятся тщательно отъюстированным магнитом из циклотрона и направляются на внешнюю мишень.

Приложенное к дуантам ускоряющее напряжение должно быть переменным. Когда протоны движутся через промежуток вправо на рисунке, правый дуант должен быть отрицательным, а левый – положительным. Спустя полпериода протоны будут пролетать промежуток влево, и левый дуант должен быть отрицательным, чтобы ускорить их. Частота приложенного напряжения должна быть равна частоте кругового движения протонов; эта частота называется *циклотронной*.

$T = \frac{2\pi r}{v}$ ,  $r = \frac{mv}{qB}$ , следовательно, период обращения  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ , а циклотронная час-

тота:  $f_{\text{цикл}} = \frac{qB}{2\pi m}.$

Важно, что циклотронная частота не зависит от радиуса орбиты, т.е. не надо менять частоту ускоряющего напряжения в процессе разгона частиц (мы же не знаем, где в данный момент пролетают частицы, следовательно, это была бы большая проблема...)

*Интересно, что энергия получающихся частиц не зависит от величины ускоряющего напряжения.*

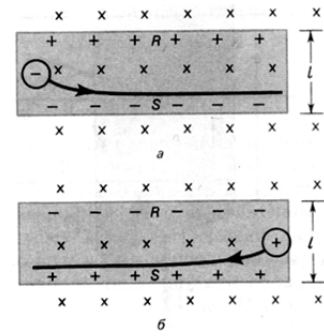
<sup>1</sup> Материал цитируется по книге Д. Джанколи «Физика, т.2»

## 6. Эффект Холла

В 1879 году Холл открыл способ определить знак носителей заряда в проводнике.

Так если в проводнике движутся положительно заряженные частицы, то если поместить проводник в магнитное поле нижний край проводника приобретает положительный заряд (так как показано на рис.), а если отрицательные – нижний край приобретает отрицательный заряд.

Величина ЭДС Холла пропорциональна силе тока и магнитной индукции. Поэтому эффект Холла может быть использован для измерения магнитных полей.



## 7. Переменный ток в проводах.

- Высокочастотный фильтр.
- Индуктивность прямого провода.
- Паразитная индуктивность на печатных платах.
- Индуктивность витой пары.