

В.В. Саманов

Волгоградский государственный педагогический университет

УПРОЩЕННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

Математика, естественные науки и методика их преподавания

Измерение одной из важнейших характеристик электрона — его удельного заряда — вызывает определённые трудности. Ниже рассмотрен способ их частичного устранения.

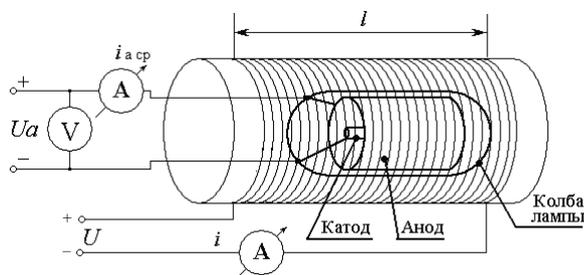


Рис. 1. Схема установки с измерением среднего значения анодного тока

При размещении вакуумного диода с цилиндрическими соосными электродами в однородном магнитном поле соленоида (рис.1) прямолинейное движение электронов от анода к катоду силой Лоренца изменяется на криволинейное [1]:

$$BVe = mV^2/r, \quad (1)$$

где B — индукция магнитного поля соленоида, V — скорость электрона, e — заряд электрона, r — радиус орбиты.

$$\text{Следовательно, } r = mV/Be. \quad (2)$$

Если диаметр круговой орбиты не превышает межэлектродного расстояния: $2r \leq (r_a - r_k)$ (где r_a и r_k — радиусы анода и катода соответственно), то электроны не могут попасть на анод и анодный ток прекращается.

Введём обозначение:

$$r_{кр} = (r_a - r_k)/2, \quad (3)$$

следовательно:

$$B_{кр} e = 2mV/(r_a - r_k). \quad (4)$$

Так как электроны ускоряются анодным напряжением, то:

$$mV^2/2 = eU_a \quad (5)$$

Магнитное поле создаётся током соленоида, протекающим под действием напряжения U . Для него:

$$B_{кр} = \mu\mu_0 H_{кр} = \mu\mu_0 j_{кр} N/l, \quad (6)$$

где N — число витков обмотки; l — длина обмотки (для исключения краевых эффектов должна в несколько раз превышать длину электродов лампы); $i_{кр}$ — критический ток обмотки, после достижения которого анодный ток лампы прекращается; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

$\mu = 1$ относительная магнитная проницаемость вакуума.

Из (4 – 6) следует:

$$e/m = 8U_a^2 / [\mu\mu_0 j_{кр}^2 N^2 (r_a - r_k)^2]. \quad (7)$$

Все величины, входящие в уравнение (7), кроме U_a и $i_{кр}$, для любой конкретной установки являются константами. Отсюда следует, что каждому значению U_a соответствует единственное по модулю значение $i_{кр}$. Если $i > i_{кр}$, то анодного тока нет, а при $i < i_{кр}$ анодный ток равен току насыщения лампы. Следовательно, при поиске $i_{кр}$ для чёткого прекращения анодного тока необходимо поддерживать довольно большой ток намагничивания строго постоянным, с ничтожнейшими пульсациями, почти недостижимыми от выпрямителя. При пульсациях магнитного поля вакуумный диод работает как компаратор, выдавая прямоугольные импульсы анодного тока, скважность которых зависит от формы пульсаций и среднего значения тока соленоида, что существенно усложняет проведение измерений. Применение аккумулятора для питания соленоида позволяет избавиться от пульсаций тока, но создает добавочные неудобства, т. к. требует грамотного ухода за ним вне эксперимента, без чего срок службы аккумулятора резко сокращается.

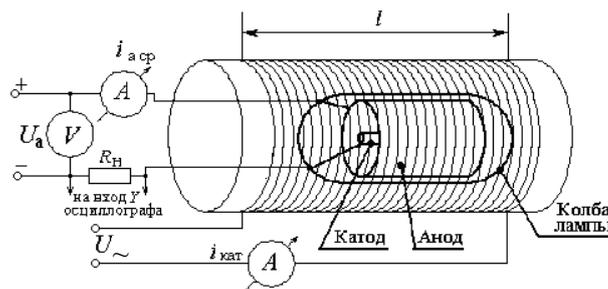


Рис. 2. Схема установки с измерением длительности и периода импульсов анодного тока

Исключить эти сложности можно заменой постоянного тока соленоида переменным гармоническим, протекающим от U_{\sim} , подаваемого, например, от ЛАТРа (рис.2). Осциллограммы такого процесса представлены на рис.3. Так как осциллограф реагирует на напряжение, а не на ток, для превращения изменений анодного тока лампы в напряжение служит резистор R_n , для которого $U = i_a R_n$ и, следовательно, $i_a = U/R_n$.

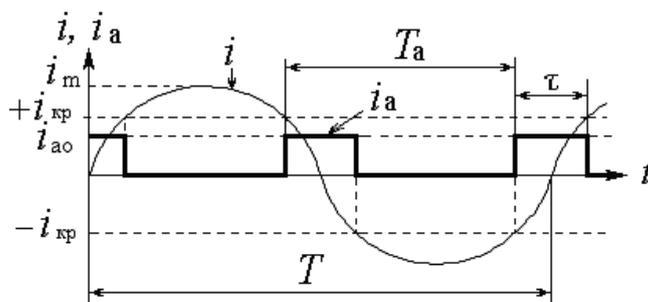


Рис. 3. Осциллограммы токов соленоида (i) и анодного (i_a)

$$\text{Из рис. 3 следует: } i_{кр} = i_m \sin(\pi\tau/2T_a); \quad (8)$$

$$i_{а ср} = i_{ао} \tau/T_a. \quad (9)$$

Примечание: i_{a0} измеряется миллиамперметром при наличии накального и анодного напряжения и отсутствии магнитного поля.

Определить значение критического тока намагничивания $i_{кр}$ можно измерением среднего значения анодного тока $i_{a\text{cp}}$ (см. рис.1):

$$i_{кр} = i_m \sin(\pi i_{a\text{cp}} / 2i_{a0}) \quad (10a)$$

или осциллографическим измерением длительности и периода T_a импульсов анодного тока (см. рис.2):

$$i_{кр} = i_m \sin(\pi\tau / 2T_a). \quad (10б)$$

Так как большая часть амперметров переменного тока показывает эффективное $i_{эфф}$, а не амплитудное i_m значение, и для гармонического процесса:

$$i_m^2 = 2i_{эфф}^2, \quad (11)$$

то при измерении:

а) среднего значения анодного тока

$$e/m = 4U^2 / [\mu\mu_0 i_{эфф} N(r_a - r_k) \sin(\pi i_{a\text{cp}} / 2i_{a0})]^2, \quad (12a)$$

б) длительности импульсов анодного тока

$$e/m = 4U^2 / [\mu\mu_0 i_{эфф} N(r_a - r_k) \sin(\pi\tau / 2T_a)]^2. \quad (12б)$$

Использование гармонического тока соленоида вместо постоянного упрощает экспериментальную установку и проведение измерений за счет несуществен-

ного усложнения вычислений, которые применением компьютера или даже калькулятора могут быть сведены на нет. Это позволяет для каждого значения анодного напряжения не подбирать одно, а применять сколько угодно значений переменного тока и для каждого из них получить искомую величину удельного заряда электрона, если экстремальное значение индукции магнитного поля не меньше критического.

Расчеты можно существенно упростить, если регулировкой тока соленоида установить $i_{a\text{cp}} = i_{a0}/2$ или, что равноценно, $\tau = T_a/2$.

При этом

$$\sin(\pi i_{a\text{cp}} / 2i_{a0}) = \sin(\pi\tau / 2T_a) = 1 \quad (13)$$

и

$$e/m = 4U^2 / [\mu\mu_0 i_{эфф} N(r_a - r_k)]^2, \quad (14)$$

что различается с (7) только коэффициентом пропорциональности.

Литература

1. Физический энциклопедический словарь. Т.3. С.19., М., 1963.