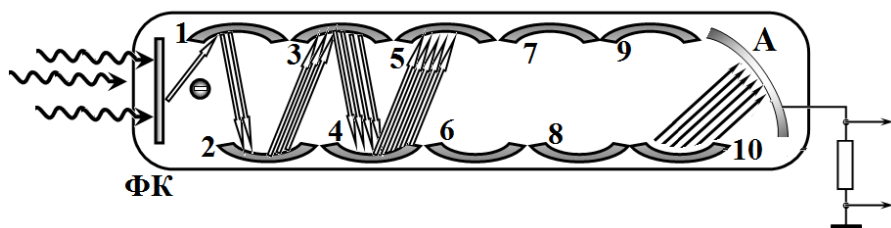


Задача 11-2 Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)

Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) – электронный прибор, используемый для регистрации слабых световых потоков. Схематически устройство ФЭУ показано на рисунке

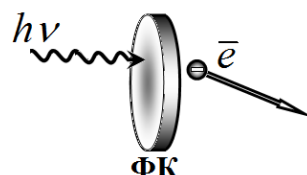


В сосуде, из которого полностью откачан воздух, расположен *фотокатод* (ФК), 10 одинаковых динодов (металлических пластин, покрытых слоем окисла) и *собирающий анод* (А). Все эти элементы далее будем называть *электродами*. На рисунке диноды обозначены числами от 1 до 10. От каждого динода, катода и анода сделаны выводы, позволяющие подключать к ним электрическую схему питания. Между всеми электродами прикладывается постоянное электрическое напряжение. Свет попадает на фотокатод, который в результате фотоэффекта может испустить электрон (внутри баллона). Этот электрон ускоряется электрическим полем и попадает на первый динод в результате вторичной электронной эмиссии, динод испускает несколько вторичных электронов. Эти электроны разгоняются и летят ко второму диноду, каждый из электронов может выбить из второго динода несколько электронов, которые летят к следующему диноду и т.д. В результате между динодами развивается электронная лавина. Электроны, испущенные последним динодом, собираются на аноде и создают импульс тока в выходной цепи, который регистрируется счетным устройством (на схеме его вход показан стрелками).

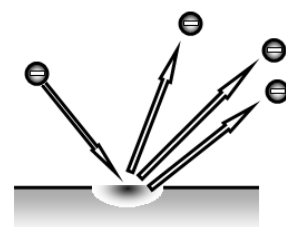
Одним из основных способов регистрации световых потоков является **метод счета фотонов**. В этом режиме регистрируются и подсчитываются отдельные импульсы тока, возникающие при появлении единственного электрона, вылетевшего из фотокатода при поглощении кванта света. Существенно, что в этом режиме импульсы от различных фотонов не должны перекрываться, так как регистрирующее устройство подсчитывает число этих импульсов.

Именно режим счета фотонов рассматривается в данной задаче.

Фотокатод. Основной характеристикой фотокатода является квантовый выход фотоэффекта η , который равняется вероятности того, что квант света, попавший на фотокатод, приведет к появлению свободного электрона. Также можно сказать, что квантовый выход равен отношению числа испущенных фотоэлектронов к числу попавших на катод фотонов.



Вторичная электронная эмиссия. Электрон, обладающий достаточной энергией попадающий на поверхность твердого тела, может выбить из этой поверхности несколько электронов (которые называются вторичными). Среднее число вторичных электронов, испущенных при попадании одного первичного электрона, называется коэффициентом вторичной эмиссии σ . Этот коэффициент зависит от энергии падающих электронов.



Вторичные электроны имеют различные энергии. Для описания этих энергий используется функция распределения энергии $f(E)$. Эта функция имеет следующий смысл: для малого интервала энергий ΔE величина $f(E)\Delta E$ равна доле вторичных электронов, энергии которых лежат в интервале от E до $E + \Delta E$.

Время вылета вторичных электронов из поверхности пренебрежимо мало. Каждый падающий электрон приводит к появлению вторичных электронов не зависимо от количества первичных электронов.

В данной задаче рассматривается ФЭУ со следующими характеристиками:

Фотокатод является круглой пластинкой диаметра $D = 2,50\text{см}$;

Фотокатод равномерно освещается монохроматическим световым потоком с длиной волны $\lambda = 450\text{нм}$;

Квантовый выход фотоэффекта для данной длины волны равен $\eta = 4,0 \cdot 10^{-2}$.

Чтобы избежать вторичной эмиссии электронов с анода и его излишнего разогрева напряжение между последним динодом и анодом устанавливается равным 20 В.

Площадь каждого динода равна $S = 2,0\text{см}^2$.

Все вторичные электроны, испущенным динодом, попадают на следующий динод. Движение электронов между последовательными электродами можно приближенно считать равноускоренным, расстояния между всеми последовательными электродами одинаковы и равны $l = 3,0\text{см}$.

Считайте, что скорости электронов значительно меньше скорости света.

Зависимость коэффициента вторичной эмиссии энергии первичных электронов для всех динодов одинакова и показана на рисунке. Шкала энергий первичных электронов в электрон-вольтах (эВ).

Функция распределения энергии вторичных электронов не зависит от энергии первичных электронов и также показана на рисунке. Шкала энергий вторичных электронов также в электрон-вольтах (эВ).

Физические постоянные:

Постоянная Планка $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$.

Скорость света $c = 3,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Заряд электрона $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Масса электрона $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

Наконец, вопросы данной задачи.

Модель работы ФЭУ, которая рассматривается в этой задаче, естественно, является весьма упрощенной, поэтому при решении задачи используйте разумные приближения. При оценивании вашей работы, прежде всего, будут учитываться основные физические идеи. Если записанные вами формулы и численные значения будут иметь погрешность менее 10%, они будут рассматриваться как правильные. Кроме того, при решении данной задачи допускается и приветствуется проведение промежуточных численных расчетов.

1. Развитие электронной лавины.

В режиме счета фотонов лавина порождается одним электроном вылетевшем из фотокатода под действием кванта падающего света.

- 1.1 Каким должно быть напряжение ΔU между катодом и первым динодом, а также между соседними динодами, чтобы число электронов, попадающих на анод, было максимальным?
- 1.2 Чему равно среднее значение числа электронов \bar{N} , попадающих на анод, при оптимальном режиме работы ФЭУ?
- 1.3 Рассчитайте среднее время пролета лавины от катода до анода \bar{T} в оптимальном режиме.
- 1.4 Рассчитайте длительность импульса тока τ на входе в регистрирующую систему.

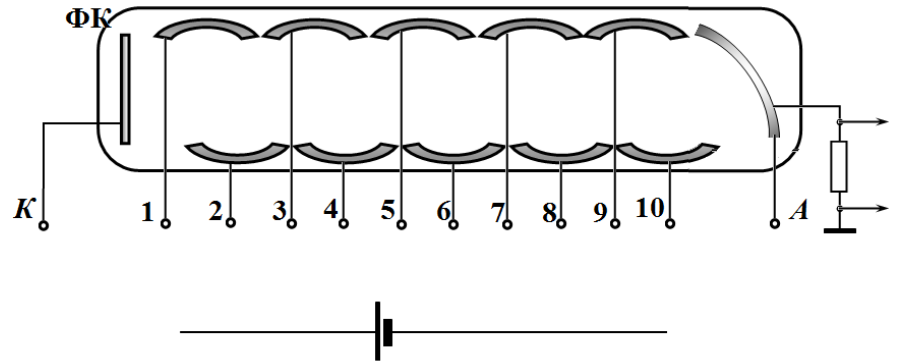
Подсказка. Считайте, что энергии вторичных электронов лежат в интервале ΔE , который определяется на полувысоте функции распределения (см. рис).

- 1.5 Найдите среднее значение силы тока в выходном импульсе.
- 1.6 При работе ФЭУ в рассматриваемом режиме возможно появление, так называемых, «темновых» импульсов, которые возникают из-за электронов, которые вылетают из динодов вследствие термоэлектронной эмиссии (испускание электронов нагретой металлической поверхностью). Что бы исключить подсчет этих паразитных импульсов на входе регистратора устанавливается пороговое устройство (дискриминатор), которое пропускает только те импульсы, у которых среднее значение силы тока превышает некоторое пороговое значение $I_{пор}$. Укажите значение порогового значения силы тока, позволяющее отсечь большую часть «темновых» импульсов.
- 1.7 Определите максимальную интенсивность светового потока, при которой число зарегистрированных импульсов в единицу времени пропорционально интенсивности падающего потока.

2. Схема питания ФЭУ в режиме счета фотонов.

Для правильной работы ФЭУ необходимо собрать схему его питания, создающую оптимальные условия для работы прибора. Желательно иметь схему, потребляющую минимальный ток от источника.

Для питания ФЭУ имеется источник постоянного напряжения $U_0 = 1,0 \text{ кВ}$.



2.1 На рисунке показан ФЭУ с выводами от динодов (они пронумерованы), катода и анода. Нарисуйте схему питания ФЭУ, используя только источник питания и резисторы с произвольными сопротивлениями. В данном пункте вам необходимо указать только соотношения между сопротивлениями резисторов. Окончательно значения сопротивлений вы должны установить позже.

Для расчета значений сопротивлений необходимо учесть два дополнительных условия, обеспечивающих работу ФЭУ в режиме счета фотонов.

- 1) Среднее значение силы тока в анодной цепи при прохождении импульса тока должно быть примерно в 10 раз меньше силы тока в цепи питания ФЭУ.
- 2) Характерное время установления зарядов на динодах должно быть примерно в 2 раза меньше длительности импульса.

2.2 Рассчитайте значения сопротивлений резисторов в цепи питания, при которых удовлетворяется первое условие.

2.3.1 Пару последовательных динодов можно рассматривать как обкладки конденсатора. Оцените емкость такого конденсатора.

2.3.2 Оцените характерное время зарядки динодов посредством цепи питания. Определите сопротивления резисторов в цепи питания, при которых выполняется второе условие правильной работы ФЭУ в рассматриваемом режиме.

2.4 Укажите значения сопротивлений резисторов в схеме питания ФЭУ.

К задаче 11-2 ФЭУ

