

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления
«210100.62 – Электроника и наноэлектроника»
Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Аксенов, Александр Иванович

Вакуумная и плазменная электроника = Вакуумная и плазменная электроника: методические указания к практическим занятиям для студентов направления 210100.62 – Электроника и наноэлектроника (профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника) / А.И. Аксенов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2013. - 40 с.

Материал пособия поможет в закреплении теоретических знаний, а также вырабатывать навык в решении практических вопросов и задач.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– способностью осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (ПК-9);

– способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

Пособие предназначено для студентов очной формы, обучающихся по направлению 210100.62 – «Электроника и наноэлектроника» (профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника) по дисциплине «Вакуумная и плазменная электроника».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«__» _____ 2013 г.

ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления
210100.62 – «Электроника и наноэлектроника»
Микроэлектроника и твердотельная электроника

Профиль

Разработчик
Доцент каф. ЭП
_____ А.И. Аксенов
«__» _____ 2013 г.

Содержание

Введение	5
Практическое занятие 1. Термоэлектронная эмиссия, фотоэлектронная эмиссия, вторичная эмиссия	6
1.1 Примеры решения задач по термоэлектронной эмиссии	6
1.2 Примеры решения задач по фотоэлектронной эмиссии	7
1.3 Примеры решения задач по вторичной эмиссии	8
Практическое занятие 2. Диодный промежуток, вакуумный и ионный фотоэлемент, многокаскадные ФЭУ	9
2.1 Примеры решения задач	9
Практическое занятие 3. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях	9
3.1 Примеры решения задач	9
Практическое занятие 4. Отклоняющие и фокусирующие системы, токопрохождение в ЭЛТ	10
4.1 Примеры решения задач	10
Практическое занятие 5. Тлеющий разряд	13
5.1 Примеры решения задач	13
Задачи для проработки тем	13

Введение

Материал пособия должен помогать закреплению теоретических знаний, а также вырабатывать навык в решении практических вопросов и задач.

В результате решения задач студент приобретает способность осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения (ПК-9); способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения (ПК-20).

Прежде чем решить задачу или ответить на поставленный вопрос, надо понять их сущность, физический смысл заданных величин, вспомнить физические процессы, законы и соотношения, относящиеся к данному вопросу.

Все аналитические решения следует проводить, используя общеизвестные физические законы, физические постоянные и физические системы единиц. Сначала надо написать исходные формулы, сделать, если это необходимо, соответствующие преобразования, получить конечные формулы, а затем подставить в эти формулы числовые значения и найти результат. Помните, что все физические величины в формуле должны быть в одной системе единиц. Не забывайте в ответе давать размерность полученной величины.

Ход всех преобразований и вычислений должен быть четко показан в решении задачи. Вычисления, как правило, достаточно делать до третьего знака, а в ряде случаев и до второго.

Полученный в виде числа ответ надо постараться проверить каким-либо способом. Полезно обратиться к справочной литературе и сравнить полученную величину с известными подобными величинами в справочнике. Если отличие в несколько порядков, то ищите ошибку в своем решении.

Ответы на вопросы следует давать кратко, но ясно и точно.

Практическое занятие 1. Термоэлектронная эмиссия, фотоэлектронная эмиссия, вторичная эмиссия

1.1 Примеры решения задач по термоэлектронной эмиссии

Задача 1. Определить плотность тока термоэмиссии (в А/м^2), если материал термокатода имеет эффективную работу выхода $\varphi_{\text{эфф}} = 1,5$ эВ, температура катода $T_{\text{к}} = 900$ К, проницаемость потенциального барьера $D = 0,95$.

Решение. Плотность тока термоэмиссии можно определить, используя уравнение Ричардсона-Дэшмана:

$$j_{\text{Э}} = A_0 \cdot D \cdot T_{\text{к}} \cdot e^{-\frac{e\varphi_{\text{эфф}}}{k \cdot T_{\text{к}}}} = 120 \cdot 10^4 \cdot 0,95 \cdot 900^2 \cdot e^{-\frac{1,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 900}} = 3,85 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2,$$

где $A_0 = 120 \cdot 10^4 \frac{\text{А}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}^2}$ – универсальная постоянная термоэмиссии;

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Задача 2. Определить эффективную работу выхода материала термокатода $\varphi_{\text{эфф}}$, если температура катода $T_{\text{к}} = 900$ К, проницаемость потенциального барьера $D = 0,95$, а плотность тока термоэмиссии $j_{\text{Э}} = 3,85 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$. Определить ток эмиссии термокатода, если площадь катода $S_{\text{к}} = 0,1 \text{ см}^2$.

Решение. Ток эмиссии термокатода можно определить из уравнения:

$$j_{\text{Э}} \cdot S_{\text{к}} = 3,85 \cdot 10^3 \cdot 10^{-5} = 3,85 \cdot 10^{-2} \text{ А} = 38,5 \text{ мА}.$$

Для определения $\varphi_{\text{эфф}}$ используем уравнение Ричардсона-Дэшмана:

$$j_{\text{Э}} = A_0 \cdot D \cdot T_{\text{к}} \cdot e^{-\frac{e\varphi_{\text{эфф}}}{k \cdot T_{\text{к}}}}.$$

$$3,85 \cdot 10^3 = 120 \cdot 10^4 \cdot 0,95 \cdot 900^2 \cdot e^{-\frac{\varphi_{\text{эфф}} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 900}};$$

$$3,85 \cdot 10^3 = 205,2 \cdot 10^9 \cdot e^{-12,88 \cdot \varphi_{\text{эфф}}};$$

$$\text{Дж} = 1,5 \text{ эВ.}$$

Постоянные представлены в задаче 1.

1.2 Примеры решения задач по фотоэлектронной эмиссии

Задача 3. Найти максимальную энергию (в эВ), выходящих с поверхности фотокатода под действием монохроматического пучка света с длиной волны $\lambda = 2 \cdot 10^{-7}$ м, если эффективная работа выхода фотокатода $\varphi_{\text{эфф}} = 0,5$ эВ.

Решение. Фотон имеет энергию $h\nu$ и, попадая на фотокатоду, всю энергию отдает электрону в кристалле. Электрон, получив энергию $h\nu$, покидает кристалл фотокатода, если этой энергии достаточно для выхода. При выходе из кристалла электрон теряет энергию, равную эффективной работе выхода кристалла ($\varphi_{\text{эфф}}$).

Выйдя из кристалла фотокатода, электрон в вакууме имеет кинетическую энергию, равную $\frac{mv^2}{2}$. В результате можно записать уравнение:

$$\frac{mv^2}{2} \equiv h \cdot \frac{c}{\lambda} - \varphi_{\text{эфф}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-7}} - 0,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 9,139 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 5,7 \text{ эВ,}$$

где $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж – постоянная Планка;

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме;

$m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг – масса электрона;

$\nu = \frac{c}{\lambda}$ – связь между частотой и длиной волны кванта.

Если известна начальная энергия электрона в кристалле (φ_0), то уравнение баланса энергий можно записать:

$$\varphi_0 + h\nu - \varphi_{\text{эфф}} = \frac{mv^2}{2}.$$

Задача 4. Электрон фотокатода получил энергию кванта, покинул кристалл и имеет энергию в вакууме 5,7 эВ. Эффективная работа выхода фотокатода $\varphi_{\text{эфф}} = 0,5$ эВ. Какой станет энергия электрона в вакууме (в эВ), если длину волны кванта увеличить в 5 раз.

Решение. Энергию кванта можно найти из уравнения:

$$h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = \frac{mv^2}{2} + \varphi_{\text{эфф}} = 5,7 + 0,5 = 6,2 \text{ эВ.}$$

При увеличении длины волны в 5 раз энергия кванта уменьшается в 5 раз и становится равной 1,24 эВ.

Теперь можно найти энергию электрона в вакууме:

$$h \frac{c}{\lambda} - \varphi_{\text{эфф}} = 1,24 - 0,5 = 0,74 \text{ эВ.}$$

1.3 Примеры решения задач по вторичной эмиссии

Задача 5. Динод имеет коэффициент вторичной эмиссии $\sigma = 3,5$. На этот электрод падает поток первичных электронов, и во внешней цепи электрода протекает ток $I = 5$ мА. Каким станет этот ток (в мА), если $\sigma = 2$?

Решение. Динод (вторичный электрод) в приборах предназначен для того, чтобы умножать ток первичных электронов. Первичные электроны падают на поверхность динода, выбивают вторичные электроны, которые все уходят на следующий динод. Ток в цепи динода можно записать:

$$\begin{aligned} I_g &= I_{e2} - I_{e1}, \text{ а } I_{e2} = \sigma I_{e1}; \\ I_g &= I_{e1}(\sigma - 1), \quad 5 = I_{e1}(3,5 - 1); \\ I_{e1} &= 2 \text{ мА}, \quad I_{e2} = \sigma I_{e1} = 7 \text{ мА}, \end{aligned}$$

где σ – коэффициент вторичной эмиссии;

I_{e1} – ток первичных электронов;

I_{e2} – ток вторичных электронов;

I_g – ток динода.

Если $\sigma = 2$, то $I_g = 2 \cdot (2 - 1) = 2$ мА.

Задача 6. Диод работает в режиме насыщения. На анод падает поток первичных электронов, то во внешней цепи анода $I_a = 1$ мА, при этом коэффициент вторичной эмиссии материала анода $\sigma = 3$. Определить ток первичных электронов.

Решение. Диод – это прибор, в котором два электрода: катод и анод. Режим насыщения в диоде, когда все электроны, вышедшие из катода, ускоряются полем анода и приходят на анод, вызывая появление тока первичных электронов. Вторичные электроны, покинув анод, попадают в ускоряющее поле анода и захватываются им снова. Поэтому ток во внешней цепи анода будет определяться потоком первичных электронов:

$$I_a = I_{e1} = 1 \text{ мА.}$$

Практическое занятие 2. Диодный промежуток, вакуумный и ионный фотоэлемент, многокаскадные ФЭУ.

2.1 Примеры решения задач

Задача 1. В электронном фотоэлементе интегральная чувствительность $K = 50 \text{ мкА/Лм}$, на фотокатод падает световой поток $\Phi = 6 \text{ Лм}$. Чему равен ток фотоэмиссии (в мА)?

Решение. Ток фотоэмиссии можно найти:

$$I_{\phi} = K\Phi = 50 \cdot 6 = 300 \text{ мкА} = 0,3 \text{ мА}.$$

Ответ: 0,3 мА.

Задача 2. В ФЭУ чувствительность катода $K = 10 \text{ мкА/Лм}$, световой поток $\Phi = 4 \text{ Лм}$, число каскадов $n = 5$, коэффициент вторичной эмиссии $\sigma = 3$, коэффициент передачи тока $\alpha = 0,8$. Определить ток в цепи анода I_a (в мкА). Как изменится σ , если световой поток уменьшить в два раза?

Решение. Определим фототок с катода:

$$I_{\phi} = K\Phi = 10 \cdot 4 = 40 \text{ мкА} = 0,04 \text{ мА}.$$

Определим коэффициент усиления ФЭУ:

$$M = \sigma^n \alpha^n = 3^5 \cdot 0,8^5 = 79,6.$$

Определим ток анода:

$$I_a = I_{\phi} M = 40 \cdot 79,6 = 3184 \text{ мкА} = 3,2 \text{ мА}.$$

Коэффициент вторичной эмиссии не зависит от светового потока, поскольку фотон всю свою энергию отдает одному электрону.

Ответ: 3,2; «не изменится».

Практическое занятие 3. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях

3.1 Примеры решения задач

Задача 1. Электрон прошел разность потенциалов 200 В . Определить скорость электрона (в м/с) у поверхности положительного электрода, если начальная скорость электрона $V_0 = 0$.

Решение. Электрон у поверхности анода будет иметь энергию, соответствующую потенциалу электрода $E_a = eU_a$. Это кинетическая энергия, выраженная формулой $E_k = \frac{mV^2}{2}$. Учитывая, что $\frac{mV^2}{2} = eU_a$, можно определить скорость электрона:

$$V = \sqrt{\frac{2eU_a}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 200}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 8,4 \cdot 10^6 \text{ м/с},$$

где $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ – масса электрона.

Ответ: $8,4 \cdot 10^6$ м/с

Задача 2. Каким полем ускорился ион, имеющий массу протона, если его скорость $V = 10^6$ м/с? Ответ дать в кВ.

Решение.

$$U = \frac{m_{pr} V^2}{2e} = \frac{1,7 \cdot 10^{-27} \cdot 10^{12}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 5,3 \text{ кВ},$$

где $m_{pr} = 1,7 \cdot 10^{-27}$ кг – масса протона.

Ответ: $U = 5,3$ кВ.

Практическое занятие 4. Отклоняющие и фокусирующие системы, токопрохождение в ЭЛТ

4.1 Примеры решения задач

Задача 1. В электронно-лучевой трубке отклоняющие пластины по оси X имеют размеры: $d = 5$ мм; $l = 10$ мм; $L = 30$ см; напряжение на втором аноде $U_{a2} = 3$ кВ. Определить чувствительность к отклонению (в мм/В). Какой величины сигнал подан на пластины, если луч отклонился на 2 см на экране?

Решение. Чувствительность к отклонению можно найти из выражения:

$$\varepsilon = \frac{l \cdot L}{2U_a d} = \frac{10 \cdot 300}{2 \cdot 5 \cdot 3000} = 0,1 \text{ мм/В}.$$

Учитывая, что размерность в мм/В, все размеры подставляем в мм, а напряжение в В.

На экране луч отклонился на $l_l = 2$ см, тогда напряжение, поданное на пластины:

$$U_{пл} = \frac{l_l}{\varepsilon} = \frac{20}{0,1} = 200 \text{ В}.$$

Ответ: $U = 200$ В.

Задача 2. В кинескопе магнитная отклоняющая система. На экране видна горизонтальная линия в центре длиной $l = 25$ см. При этом ток в катушке 50 мА, а число витков 2000. Определить чувствительность к отклонению (в мм/А·вит). Как запитаны катушки, отклоняющие по Y? Как изменится чувствительность к отклонению, если напряжение на третьем аноде увеличить в 1,5 раза?

Решение. Чувствительность можно определить из выражения:

$$\varepsilon = \frac{l}{nI} = \frac{250}{2000 \cdot 50 \cdot 10^{-3}} = 2,5 \text{ мм/А} \cdot \text{вит}.$$

Обратите внимание: в размерности чувствительности расстояние подставляем в мм, а ток – в А.

На экране видна горизонтальная линия, значит на отклоняющие катушки по Y ток не подан.

Чувствительность к отклонению не зависит от потенциала A_3 .

Ответ: 2,5 мм/А·вит; «не запитаны»; «не изменится».

Задача 3. В ЭЛТ температура катода 2000 К, напряжение на модуляторе $U_m = -5 В$, напряжение на ускоряющем электроде $U_{y_3} = 1 кВ$, проницаемость модулятора 0,02, напряжение на втором аноде $U_{a2} = 10 кВ$. Какова максимальная энергия (в эВ) электрона у катода, в плоскости модулятора, ускоряющего электрода, второго анода и экрана? Как изменится эта энергия в плоскости экрана, если на отклоняющие катушки подано $B = 1 Тл$?

Решение. Электрон, находясь в кристалле, получает энергию, соответствующую $T = 2000 К$. Эту энергию можно определить по формуле:

$$\frac{m\bar{v}^2}{2} = 3kT = \frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 2000}{2} = 4,14 \cdot 10^{-20} Дж = 0,26 эВ.$$

Поскольку в задаче не дана эффективная работа выхода из катода, можно считать, что максимальная энергия, которую будет иметь электрон при выходе из катода, составляет 0,26 эВ.

В плоскости модулятора на электрон действует поле самого модулятора и поле ускоряющего электрода. Результирующее поле определяется действующим напряжением:

$$U_d = U_M + DU_{y_3} = -5 + 0,02 \cdot 1000 = 15 эВ.$$

ЭЛТ – высоковакуумный прибор, поэтому электрон при движении к экрану не претерпевает столкновений с молекулами. Электрон, двигаясь от одного электрода до другого, ускоряется и в плоскости электрода имеет энергию, соответствующую потенциалу того электрода:

$$U_{y_3} = 1000 эВ; U_{a2} = 10000 эВ; U_s = 10000 эВ$$

Магнитное поле изменяет только траекторию электрона и не изменяет его энергию.

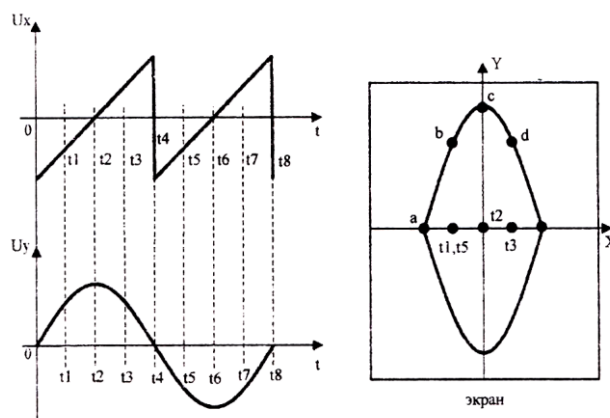
Ответ: 0,26 эВ; 1000 эВ; 10000эВ; 10000эВ; «не изменится».

Задача 4. В электронно-лучевой трубке запитаны все электроды. На отклоняющие пластины сигналы не поданы. Что видим на экране? На

пластины, отклоняющие по X, подана «пила», а по Y – синусоида, причем $\tau = \frac{1}{2}T$, где τ – длительность «пилы», T – период синусоиды. Что видим на экране?

Решение. Если в электронно-лучевой трубке запитаны все электроды, то получен и сфокусирован луч электронов. На отклоняющие пластины не поданы сигналы, значит, отклонения нет, луч проходит в центр экрана. Таким образом, в центре экрана видим светящуюся точку.

Подаем напряжение на отклоняющие пластины:



Рассмотрим движение луча по экрану при подаче отклоняющих сигналов. По оси X подали сигнал в виде «пилы», а по оси Y не подали сигнала, что видим? Луч в центре экрана. В момент времени t_0 на отклоняющих пластинах X отрицательное напряжение – луч смещается в крайнее левое положение. Напряжение на пластине растет равномерно (пила), и луч равномерно движется вправо. В момент времени t_2 луч оказывается в центре экрана, а в момент времени t_4 – в крайнем правом положении. Таким образом, когда по оси X подана «пила», на экране видим горизонтальную прямую линию в центре.

Теперь дополнительно подали синусоиду по оси Y. В момент времени t_0 луч на левом краю экрана и по Y смещения нет (точка «a»), в момент времени t_1 луч смещается по X в точку «t1», а по Y – в точку «b». В момент времени t_2 по X луч оказался в центре, а по Y в точке «c» – амплитуда синусоиды. При дальнейшем движении луча вырисовывается $\frac{1}{4}T$ синусоиды за время $t_2 - t_4$. Итак, за время τ (длительность «пилы») на экране получили полпериода синусоиды. В момент времени t_4 луч по оси X смещается (скачком) в крайнее левое положение. Луч опять равномерно движется к центру. Но по оси Y теперь идет отрицательная полуволна синусоиды, которая и вырисовывается на экране за время $t_4 - t_7$.

Практическое занятие 5. Тлеющий разряд

5.1 Примеры решения задач

Задача 1. В тиратроне с электростатическим управлением моментом зажигания горит разряд между катодом и анодом. При этом $U_{c1} = 90 \text{ В}$, $U_{c2} = 110 \text{ В}$, $U_2 = 150 \text{ В}$. Напряжение на второй сетке понизили до нуля. Как изменится при этом ток разряда? Как изменится напряжение горения (U_2)?

Решение. Когда разряд горит, сетка теряет свое управляющее действие. Вокруг сетки образуется двойной слой (радиус Дебая), на котором падает разность напряжений между потенциалом плазмы и потенциалом сетки. При этом напряжение горения зависит от материала и геометрии электродов, от давления и рода газа, но не зависит от потенциала сетки. Ток разряда определяется балластным сопротивлением и не зависит от потенциала сетки.

Ответ: «не изменится»; «не изменится».

Задача 2. Электрон движется в электрическом поле с напряженностью 400 В/м . При этом средняя длина свободного пробега электрона $\bar{\lambda} = 10 \text{ см}$, а потенциал ионизации газа $U_i = 20 \text{ В}$. Будет ли электрон ионизировать газ?

Решение. При напряженности поля 400 В/м электрон набирает энергию 400 эВ на пути 1 м . Чтобы набрать энергию 20 эВ , электрон должен пройти путь d :

$$d = \frac{U_i}{E} = \frac{20}{400} = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см}.$$

Двигаясь в газе, электрон набирает энергию в электрическом поле на пути $\bar{\lambda}$. При столкновении он теряет и направление, и энергию. Учитывая, что $d < \bar{\lambda}$, можно сказать, что на пути $\bar{\lambda}$ электрон наберет энергию 40 эВ и будет ионизировать газ.

Ответ: «будет».

Задачи для проработки тем

Задача 1

В диоде $T_k = 1700 \text{ К}$. На анод подано напряжение U_a и ток в цепи анода I_a возрос в 1,2 раза ($d_{ak} = 0,6 \text{ см}$).

Определить:

- 1) какое напряжение подали на анод;
- 2) как изменился потенциальный барьер;

3) как изменится ток I_a , если σ возрастает в 4 раза.

Задача 2

Термокатод работает при $T_k = 1200K$, имеет $U_{эфф} = 2,2эВ$. За счет электронного поля потенциальный барьер понижается на $\Delta\phi = 0,2эВ$. Определить плотность тока термоэмиссии с электрическим полем и без него, величину этого поля.

Задача 3

В диоде $T_k = 1800K$, $S_k = 0.2см^2$, $U_{эфф} = 1,6эВ$, $d_{ак} = 0.2см$, $\Delta\phi = 0,1эВ$, $\sigma = 1$. Определить U_a и I_a при этом.

Задача 4

В диоде $T_k = 1700K$. На анод подано напряжение U_a , плотность тока с катода возросла на 10% ($d_{ак} = 0.5см$).

Определить:

- 1) какое напряжение подали на анод;
- 2) как изменился потенциальный барьер после подачи напряжения;
- 3) как изменится ток I_a , если σ возрастает в 6 раз.

Задача 5

Оцените величину плотности термоэлектронного тока C_s – фотокатода при комнатной температуре $T_k = 20^\circ C$. Во сколько раз этот ток понизится, если фотокатод охладить до $T_k = -23^\circ C$ ($\phi = 1,2эВ$).

Задача 6

Температура катода $T_k = 1100K$ понизили температуру до $T_k = 600K$. Как изменилась плотность тока термоэмиссии, если $\phi_{эфф} = 1,2эВ$.

Задача 7

Термокатод имеет плотность тока $200 \frac{A}{M^2}$ при $T_k = 1800K$. Определите эффективную работу выхода $\phi_{эфф}$.

Задача 8

Катод с поверхностью $0,1см^2$ имеет ток эмиссии $0,5A$ при $T_k = 1400K$ и $1,9A$ при $T_k = 1600K$. Определить постоянные в уравнении термоэмиссии. Определить ток в цепи анода I_a , если $\sigma = 3$, $U_a = 200B$. Весь ток с катода идет на анод.

Задача 9

Определить ток эмиссии термокатод, если $T_k = 1500K$, $S_k = 0.3\text{см}^2$, $\varphi_{эфф} = 1,5\text{эВ}$.

Задача 10

При какой напряженности электрического поля можно получить плотность тока эмиссии $10^3 \text{ A}/\text{м}^2$, если $T_k = 1800K$, а $\varphi_{эфф} = 2,8\text{эВ}$. На сколько электрон-вольт изменится при этом работа выхода?

Задача 11

Термокатод имеет плотность тока $10 \text{ A}/\text{м}^2$ при $T_k = 1000K$. Определите эффективную работу выхода $\varphi_{эфф}$?

Задача 12

Термокатод имеет плотность тока $100 \text{ A}/\text{м}^2$ при $T_k = 1100K$ и эффективную работу выхода $\varphi_{эфф}$. Определить напряженность электрического поля при этом у поверхности анода и изменение работы выхода.

Задача 13

На фотокатод падает поток света с $\lambda = 3000\text{нм}$, $\varphi_{эфф} = 2,34\text{эВ}$. Определить скорость, вылетающих электронов? Определить $\Delta\varphi$, если к катоду приложено $E = 10^5 \text{ В}/\text{м}$.

Задача 14

Какова работа выхода электрона из металла, если повышение температуры накала от $2000K$ до $2001K$ увеличивает ток эмиссии катода на 1%?

Задача 15

Какой процент электронов, находящихся в оксидном катоде при $T_k = 1400K$, может преодолеть потенциальный барьер $0,8\text{эВ}$

Задача 16

Фотокатод имеет площадь $S_k = 20\text{см}^2$. Он обеспечивает при определенном освещении $I_{эл} = 2\text{мкА}$. При определенном напряжении на аноде ток становится 3мкА . Рабочая температура 23°C . Определить изменение работы выхода катода при наложении электрического поля.

Задача 17

Ток эмиссии катода с площадью поверхности $S_k = 0.1 \text{ см}^2$ равен $0,5 \text{ А}$ при $T_k = 1400 \text{ К}$. Определить $\varphi_{\text{эфф}}$. Если все электроны, вышедшие с катода, достигают анод, какой ток протекает в цепи анода. Как он изменится, если σ анода увеличить в 8 раз?

Задача 18

Ток термоэмиссии $I_{\text{э}} = 10 \text{ мА}$, при $T_k = 1200 \text{ К}$ ($S_k = 3 \text{ мм}^2$). Между плоскими анодом и катодом приложили электрическое поле при этом потенциальный барьер изменился $\Delta\varphi = 0,1 \text{ В}$. Какое напряжение подали на анод, если $d_{\text{КА}} = 0,1 \text{ см}$? А σ изменился и стал равен. Какой ток протекает в цепи анода?

Задача 19

Фотокатод обеспечивает термоток $I_{\text{э}} = 10 \text{ мкА}$, а в цепи анода протекает ток $I_a = 14 \text{ мкА}$, $\varphi_{\text{эфф}} = 0,8 \text{ В}$, $T_k = 40^\circ \text{ С}$. Определить напряжение на аноде, если $d_{\text{КА}} = 0,5 \text{ см}$ (электроды плоские). Каким станет ток в цепи анода, если σ уменьшить в 4 раза?

Задача 20

Какой процент электронов, находящихся в вольфрамовом катоде при $T_k = 2600 \text{ К}$, может преодолеть потенциальный барьер 1 В ?

Задача 21

При какой напряженности электрического поля у поверхности вольфрамового катода работа выхода уменьшится на 3%? Температура катода $T_k = 2400 \text{ К}$.

Задача 22

Максимальная скорость электронов в вольфрамовом катоде равна $1,77 \cdot 10^6 \text{ м/с}$. До какого значения должна быть повышена скорость электрона, чтобы он мог выйти из катода ($\varphi_{\text{эфф}} = 3,52 \text{ В}$)?

Задача 23

Как изменится эффективная работа выхода, если между катодом и анодом приложено напряжение 50 кВ , а расстояние между катодом и анодом $0,5 \text{ см}$? ($\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$)

Определить максимальную скорость электронов, вылетевших из металла при облучении фотокатода светом $\lambda = 0,2 \text{ мкм}$, если $\varphi_{\text{эфф}} = 1 \text{ В}$?

Задача 24

Вычислить максимальную скорость электронов, выбиваемых с поверхности сурьмяно-цезиевого фотокатода под действием монохроматического пучка света с длиной волны $0,4\text{ мкм}$. Работа выхода катода равна $1,5\text{ эВ}$.

Задача 25

Фоточувствительная поверхность имеет $\varphi_{\text{эфф}} = 2,5\text{ эВ}$. Какова энергия самых быстрых фотоэлектронов, если длина волны ультрафиолетового излучения составляет $\lambda = 2536\text{ нм}$.

Задача 26

Вычислить длину волны монохроматического пучка света, падающего на фотокатод, работа выхода которого равна 1 эВ , если известно, что максимальная скорость электронов, выбиваемых с поверхности катода равна 500 км/с .

Задача 27

Чему равна энергия фотона с длиной волны:

- 1) $\lambda = 5000\text{ \AA}$
- 2) $\lambda = 0,5\text{ \AA}$

Задача 28

На фотокатод с эффективной работой выхода $1,3\text{ эВ}$ падает пучок света (монохроматический) под действие которого из фотокатода вылетают электроны со скоростью 400 км/с . Определить длину волны падающего света, какова будет эмиссия света, если λ увеличить в 5 раз?

Определить первый коэффициент Таунсенда при формировании самостоятельного разряда, если $\alpha = 1$, $d = 10\text{ см}$.

Задача 29

Какой разряд горит в индикаторном тиратроне? Перечислите способы управления моментом зажигания разряда в этом тиратроне. Между какими электродами горит разряд в режиме «память», «плазменный катод»?

Задача 30

Какой разряд горит в индикаторной панели переменного тока? Напишите условие записи и стирания информации в ячейки этой памяти. Что изменится в ячейки, если рабочий ток разряда уменьшить в три раза?

Задача 31

Определите минимальную скорость, необходимую электрону для того, чтобы ионизировать атом неона, если потенциал ионизации его 12,5В. Какое расстояние должен пройти электрон в поле с напряженностью $100 \frac{B}{cm}$, чтобы приобрести эту скорость?

Задача 32

Ток термоэмиссии с катода 10мА. Катод бомбардируют ионами ($I_i = 2mA$). Каким должен быть γ , чтобы ток катода увеличился в 1,5 раз?

Задача 33

В ячейки индикаторной панели переменного тока горит тлеющий разряд, напряжение горения $U_z = 95B$, рабочий ток разряда $I_p = 3mA$. Как изменится U_z , если $I_p = 6mA$?

Задача 34

В тиратроне горит тлеющий разряд при этом напряжение на сетке $U_c = 120B$, а напряжение горения на аноде $U_z = 180B$. Напряжение на сетке уменьшили на 120В ($U_c = 0B$). Как при этом уменьшится напряжение горения? Как изменится ток разряда?

Задача 35

На анод тиратрона подали напряжение в виде синусоиды с амплитудой 200В. При токе в цепи сетки $I_c = 0,3mA$ разряд загорается через $\frac{1}{4}T$ синусоиды, после подачи напряжения. Чему равен потенциал зажигания разряда? (ответ дать в В)

Задача 36

При каком расстоянии между электродами зажигается самостоятельный разряд, если $\gamma = 0.4$, $\alpha = 5$.

Задача 37

В ячейки индикаторной панели постоянного тока светиться не весь катод, а только его половина. Какой параметр разряда изменили и как?

Задача 38

Средняя длина свободного пробега электрона в неоне ($U_i = 24B$) составляет $8 \cdot 10^{-4}m$ при $T = 300K$ и $p = 133Pa$. Определить минимальную напряженность электрического поля при которой электрон сможет ионизировать, начальную скорость электрона принять равной нулю.

Задача 39

В разрядной трубке $d = 2,5\text{ м}$, $U_3 = 200\text{ В}$, $\gamma = 0,04$. Определить первый коэффициент Таунсенда α и во сколько раз I_a больше I_k . Газ – аргон.

Задача 40

В тиратроне с электростатическим управлением горит тлеющий разряд. Нарисуйте потенциальную диаграмму с 80В до 2В. Что изменится в диаграмме?

Задача 41

В индикаторной панели со сканированием горит самостоятельный, тлеющий разряд. Напряжение зажигания $U_3 = 200\text{ В}$, напряжение горения $U_2 = 120\text{ В}$, ток разряда $I_p = 1\text{ мА}$. Можно ли изменить напряжение зажигания, изменяя параметры?

Задача 42

В тиратроне между анодом и катодом горит самостоятельный тлеющий разряд. Определить, как изменится ток в цепи анода ΔI , если ток в цепи сетки первой уменьшится в 4 раза?

Задача 43

В ячейки индикаторной панели постоянного тока светиться не весь катод, а только его половина. Какой параметр разряда надо изменить и как, чтобы светился весь катод?

Задача 44

В ячейки индикаторной панели со сканированием горит самостоятельный, тлеющий разряд. Напряжение горения $U_2 = 150\text{ В}$, ток разряда $I_p = 2\text{ мА}$. Как изменится напряжение горения, если ток разряда уменьшится в 2 раза?

Какое расстояние должен пройти электрон в электрическом поле, если $U_i = 20\text{ В}$, $U_a = 100\text{ В}$, $d_{ak} = 0,04\text{ м}$.

Задача 45

В ячейке ГИП $I_{\min} = 5\text{ мА}$, $I_{\max} = 40\text{ мА}$. Рассчитать необходимое сопротивление ограничительного резистора, если напряжение на нагрузке $U_n = 150\text{ В}$, $R_n = 10\text{ кОм}$ и номинальное E_a в 1,5 раза больше напряжения на ячейке. Задачу решить для трех случаев:

- 1) E_a может уменьшиться и увеличиться;
- 2) E_a уменьшается;
- 3) E_a увеличивается.

Задача 46

Потенциал ионизации газа $U_i = 21B$, средняя длина свободного пробега электрона $\lambda = 0,3m$. Определить напряженность электрического поля ($v \frac{B}{m}$), при котором электрон сможет ионизировать газ.

Задача 47

Определить третий коэффициент Таунсенда (γ) при формировании самостоятельного разряда, если $\alpha = 1$, $d = 20cm$.

Задача 48

Как изменится рабочая область на вольт - амперной характеристике тиратрона тлеющего разряда, если площадь катода уменьшится в 3 раза? Как при этом изменится потенциал зажигания, если электроды плоско – параллельные?

Задача 49

Нарисуйте вольт – амперную характеристику ячейки индикаторной панели переменного тока. Покажите рабочую точку на этой характеристике. Как запоминается сигнал?

Задача 50

Напишите условие зажигания индикаторной ячейки в панели с самосканированием, нарисуйте вольт – амперную характеристику и покажите рабочую точку.

Задача 51

Нарисуйте вольт – амперную характеристику ячейки газоразрядного индикатора. Покажите рабочую точку на этой характеристике.

Задача 52

Нарисуйте пусковую характеристику тиратрона тлеющего разряда с токовым управлением. Нарисуйте потенциальную диаграмму для двух случаев, когда разряда нет, и когда он горит.

Задача 53

Задача Нарисуйте пусковую характеристику тиратрона тлеющего разряда с токовым управлением, выберите рабочую точку. Нарисуйте потенциальную диаграмму для данной точки, когда разряда нет, и когда он горит.

Задача 54

В тиратроне тлеющего разряда с электростатическим управлением нарисуйте потенциальную диаграмму для случая $U_{c2} > U_a$ (разряд горит).

Задача 55

Какой минимальной скоростью должен обладать электрон для возбуждения молекулы аргона, имеющей потенциал возбуждения $U_L = 11.6B$.

Задача 56

Определите коэффициент газового усиления, если $\alpha = 2,3\text{см}^{-1}$, $d = 5\text{см}$. Какой разряд горит в фотоэлементе?

Задача 57

В индикаторной ячейки панели разряд зажигается при $U_3 = 230B$, $\alpha = 8,3\text{см}^{-1}$, $d = 0,4\text{см}$. Определить третий коэффициент Таунсенда, начертить потенциальные диаграммы для следующих случаев, когда есть разряд, и когда его нет.

Задача 58

В тиратроне с электростатическим управлением в момент зажигания горит «паразитный» разряд (между катодом-сеткой первой и между сеткой второй-анодом). Напряжение какого электрода и как надо изменить, чтобы зажегся основной разряд катод-анод?

Задача 59

Оцените:

- 1) скорость электрона с энергией 10^3эВ ;
- 2) протона с энергией 10^6эВ ;
- 3) молекулы N_2 при $T = 1000K$.

Задача 60

Начальная скорость электрона $\mathcal{G}_0 = 0$. Определите разность потенциалов, пройденную электроном, набравшем скорость $\mathcal{G} = 4,8 \cdot 10^8 \text{км/с}$.

Задача 61

Между пластинами расстояние 2см и разность потенциалов 500В. Электрон начальной нулевой скоростью летит к положительной пластине. Определите скорость и энергию в момент удара о пластину.

Задача 62

Заряженная частица, движущаяся со скоростью $0,8 \cdot c$, обладает кинетической энергией 340кэВ. Что это за частица?

Задача 63

Ион имеет начальную скорость $\mathcal{V}_0 = 0$ и массу $m = 5 \cdot 10^{-25} \text{ кг}$. Какую скорость будет иметь ион в плоскости анода, если $U_a = 200 \text{ В}$?

Задача 64

За какое время электрон, прошедший разность потенциалов 1 В , сможет преодолеть 100 км ?

Задача 65

Электрон с начальной скоростью $\mathcal{V}_0 = 2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ влетает в область электрического поля и проходит в нем разность потенциалов 200 кВ . определить скорость электрона в конце пути.

Задача 66

При каком ускоряющем напряжении масса электрона увеличивается в конце пробега на 15% ?

Задача 67

Какую разность потенциалов должен пройти электрон, чтоб его масса сравнялась с массой пули (9 г)? А ион азота?

Задача 68

Определите:

- 1) скорость электрона с энергией 10 эВ ;
- 2) скорость протона с энергией 10^4 эВ .

Задача 69

Между пластинами расстояние 3 см и разность потенциалов 2000 В . Электрон начальной нулевой скоростью летит к положительно заряженной пластине. Определить:

- 1) какой путь он пройдет прежде чем достигнет скорости $\mathcal{V} = 10^7 \text{ м/с}$;
- 2) какой разности потенциалов соответствует эта скорость;
- 3) чему равна кинетическая энергия в конце пути.

Задача 70

За какое время электрон, прошедший разность потенциалов 1 В , сможет преодолеть 10 км , если после ускорения он движется с постоянной скоростью?

Задача 71

Электрон ускоряется разность потенциалов 1В. Начальная скорость его равна нулю. Определите конечную скорость электрона и его кинетическую энергию.

Задача 72

Электрон с начальной скоростью $v_0 = 2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ влетает в область электрического поля и проходит в нем разность потенциалов 200кВ. Определить скорость электрона в конце пути. Нарисуйте потенциальную диаграмму.

Задача 73

Электрон с начальной скоростью $v_0 = 5 \cdot 10^7 \text{ м/с}$ в электронном поле проходит разность потенциалов 1кВ. Будет ли он ускоряться?

Задача 74

Какой разности потенциалов соответствует скорость электрона $v = 200 \text{ км/с}$, если начальная скорость $v_0 = 0$.

Задача 75

Электрон имеет скорость $v = 4,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$. Определить потенциал анода, при котором электрон не сможет попасть на анод?

Задача 76

Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтоб его длина волны была равна 1 нм ?

Ион проходит ускоряющую разность потенциалов 50В, а потом движется в пространстве, где поле отсутствует, пролетая $d = 5 \text{ см}$ за $t = 5 \cdot 10^{-6} \text{ с}$. Найти массу иона.

Задача 77

Электрон, пройдя через сетку, потенциал которой $U_c = 30 \text{ В}$, попадает в поле анода $U_a = 300 \text{ В}$. Какую энергию имеет электрон в плоскости анода?

Задача 78

Электрон, прошедший в ускоряющем поле $U = 1,3 \text{ кВ}$, влетает в поперечное электромагнитное поле и движется по окружности с радиусом $r = 2,5 \text{ см}$. Определить индукцию магнитного поля.

В диоде на анод подают напряжение $U_a = 150 \text{ В}$. Включили в цепь анода сопротивление нагрузки $R_H = 0,5 R_0$ и ток в точке пересечения

нагрузочной прямой с осью тока стал $I = 60 \text{ мА}$. Определите, каким стал ток в цепи анода после включения R_H .

Задача 79

В диоде $P_{A_{\text{пр}}} = 4 \text{ Вт}$. При $U_a = 80 \text{ В}$ мощность рассеивания анодом P_A составляет 25% от $P_{A_{\text{пр}}}$, а при $U_a = 180 \text{ В}$ $P_A = 60\%$ от $P_{A_{\text{пр}}}$. Определить S и R_i .

Задача 80

При изменении U_a на 2В анодный ток диода изменился на 4мА. Определить крутизну характеристики S и внутреннее сопротивление R_i .

Задача 81

В диоде определить S и R_i , если при $U_a = 40 \text{ В}$ $R_0 = 2 \text{ кОм}$, а при $U_a = 50 \text{ В}$ $P_A = 2 \text{ Вт}$.

Задача 82

Линия нагрузки диода с R_H пересекает ось I_a в точке, соответствующей 50мА. Определить R_H , если $E = 200 \text{ В}$.

Задача 83

Диод плоскими электродами работает в режиме ограничения тока пространственным зарядом. $I_a = 20 \text{ мА}$ при $U_a = 100 \text{ В}$. Определить:

- 1) каков закон, связывающий I_a и U_a ;
- 2) при каком U_a анодный ток увеличится вдвое;
- 3) чему равен I_a , если $U_a = 200 \text{ В}$

Задача 84

В диоде, работающем в режиме пространственного заряда $E_a = 180 \text{ В}$, $I_a = 10 \text{ мА}$, а половина напряжения падает на R_H . Какая мощность рассеивается на аноде? Чему будет равна эта мощность, если $R_H = 0$?

Задача 85

В электронном фотоэлементе $E_a = 350 \text{ В}$, а $K = 200 \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$. Параллельно с сопротивлением нагрузки включен электронный ключ. Определить R_H , если порог срабатывания ключа 100В, а $\Phi = 0,4 \text{ лм}$.

Задача 86

Диод, работающий в режиме ограничения тока пространственным зарядом, при $U_a = 100 \text{ В}$ $I_a = 8 \text{ мА}$. Определить I_a , если $P_a = 2 \text{ Вт}$.

Задача 87

Нагрузочная прямая на анодной характеристике диода пересекает ось тока $I_a = 20 \text{ мА}$ при $U_{RH} = 150 \text{ В}$. Определите R_n и R_0 , если половина E_a падает между катодом и анодом.

Задача 88

Ток эмиссии катода 10 мА , все электроны достигают анод. Какой ток измеряем во внешней цепи если:

- 1) $\sigma = 0$;
- 2) $\sigma = 1$;
- 3) $\sigma = 0,5$

Задача 89

В вакуумном фотоэлементе $I_\phi = 15 \text{ мкА}$, при $U_a = 60 \text{ В}$, $I_a = 12 \text{ мкА}$. Каким станет I_a в мкА, если $U_a = 100 \text{ В}$?

Задача 90

В диодном промежутке ток эмиссии с катода $I_\phi = 20 \text{ мА}$, а при $U_a = 50 \text{ В}$ ток $I_a = 10 \text{ мА}$. Определить I_a и P_A , если расстояние между катодом и анодом уменьшили в 4 раза.

Задача 91

В диодном вакуумном промежутке при $U_a = 200 \text{ В}$, $P_A = 2 \text{ Вт}$. Расстояние между катодом и анодом уменьшили в 3 раза. Определить P_A .

Задача 92

В диоде $I_a = 20 \text{ мА}$, $P_A = 3 \text{ Вт}$. Включить в цепь анода R_n , ток в точке пересечения нагрузочной прямой с осью стал 60 мА . Определить каким стал I_a , если половина E_a падает на R_n .

Задача 93

Диод, работающий в режиме ограничения тока пространственным зарядом, при $U_a = 200 \text{ В}$ $I_a = 15 \text{ мА}$. При каком U_a анодный ток увеличится вдвое? Чему равен I_a , если $U_a = 100 \text{ В}$?

При какой продольной энергии электронов (в эВ) в области отклоняющих пластин в ЭЛТ предельная частота сигнал 300 МГц , если длина отклоняющих пластин 20 мм ?

Задача 94

В ЭЛТ определить при какой длине отклоняющих пластин в см можно наблюдать без искажения сигнал с предельной частотой $f_{np} = 250 \text{ МГц}$, если энергия электронов в луче $2,5 \text{ кэВ}$.

Задача 95

В ЭЛТ определить смещение пятна на экране в мм, если $l = 10 \text{ мм}$, $L = 15 \text{ см}$, $d = 8 \text{ мм}$, $U_{nn} = 32 \text{ В}$, а U_{a2} изменяется от 1 кВ до 2 кВ.

Задача 96

В кинескопе $U_{a2} = 8 \text{ кВ}$. Определить во сколько раз надо изменить ток отклоняющей катушки, чтобы чувствительность к отклонению сохранялась прежней при $U_{a2} = 2 \text{ кВ}$.

Задача 97

ЭЛТ имеет чувствительность к отклонению $0,2 \frac{\text{мм}}{\text{А} \cdot \text{вит}}$, диаметр экрана 40 см, число витков в катушки 200. Какой ток в амперах надо пропустить через катушку, чтобы луч переместился на расстояние равное радиусу экрана.

Задача 98

В ЭЛТ определить предельную частоту сигнала, если $\varepsilon = 0,25 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$, $L = 28 \text{ см}$, $d = 7 \text{ мм}$, $l = 2 \text{ см}$.

Задача 99

В ЭЛТ определить чувствительность к отклонению магнитной катушки, если амплитуда сигнала на экране 5 см, $n = 1000$, $I = 250 \text{ мА}$.

Задача 100

В кинескопе определить число витков в магнитной отклоняющей катушке, если $I_k = 50 \text{ мА}$, $\varepsilon = 0,5 \frac{\text{мм}}{\text{А} \cdot \text{вит}}$, луч отклоняется при этом на 10 см.

В ЭЛТ определить энергию электрона в плоскости второго анода (в эВ), если $l = 10 \text{ мм}$, $L = 40 \text{ см}$, $d = 5 \text{ мм}$, $\varepsilon = 0,4 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$.

Задача 101

В суперортиконе электрон с фотокатода ускоряется на мишень. Во сколько раз усиливается видеосигнал на мишени, если коэффициент вторичной эмиссии мишени $\sigma = 5$?

Задача 102

В ЭЛТ на все электроды поданы рабочие напряжения: $U_m = -5 \text{ В}$, $U_{y3} = 1,5 \text{ кВ}$, $U_{a1} = 5 \text{ кВ}$, $U_{a2} = 10 \text{ кВ}$. Под электронным лучом коэффициент люминофора $\sigma < 1$. До потенциала, какого электрода заряжается люминофор под лучом?

Задача 103

Как изменится видеосигнал, снимаемый с суперортикаона, если ток считывающего луча увеличить в 10 раз?

Задача 104

В ЭЛТ поданы рабочие напряжения на все электроды. Сигнал – синусоида с периодом T . какой сигнал надо подать по X , какова должна была быть длительность сигнала по X , чтобы на экране было 4 периода синусоиды?

Задача 105

В ЭЛТ на пластины, отклоняющие по оси X и Y поданы пилообразные напряжения, причем $\tau_x = \tau_y$. На экране виден один зубец пилы. Напряжения на модуляторе изменили от -10В до -7В. Как изменилась амплитуда сигнала?

Задача 106

В цветном кинескопе видео сигнал не пода, на катушку, отклоняющуюся по оси X подана пила, а по Y - синусоида, причем период синусоиды равен длительности пилы ($T = \tau$). Что видим на экране?

Задача 107

В цветном кинескопе все электроды запитаны в рабочем режиме. Изменяя напряжение, на каких электродах, можно изменить яркость свечения экрана.

Задача 108

Как изменится видеосигнал, снимаемый с суперортикаона, если ток считывающего луча увеличить в 3 раза?

Задача 109

В суперортикаоне есть ФЭУ с параметрами: $n = 9, \alpha = 0.8, \sigma = 4$. Определить амплитуду видеосигнала с суперортикаона, если коэффициент вторичной эмиссии мишени $\sigma = 1$.

Задача 110

В цветном кинескопе изображение формируется за счет изменения изменении яркости свечения экрана от точки к точке. По какому закону изменяется коэффициент вторичной эмиссии люминофора при этом?

Задача 111

В ЭЛТ напряжение модулятора $U_m = -10В$, напряжение ускоряющего электрода $U_{yэ} = 1,5кВ$, проникаемость $D = 0.01$. Определить энергию электрона в плоскости модулятора эВ.

Задача 112

В ЭЛТ напряжение модулятора $U_m = -20B$, напряжение запираения $U_{3M} = -50B$, ток луча $I_l = 600\text{мкА}$. Как изменится ток луча, если повысить $U_{y3} = -5B$, а $U_m = -70B$.

Задача 114

Определите напряжение запираения на модуляторе ЭЛТ, если $U_{y3} = 1,5\text{кВ}$, $D = 0.02$. Какова будет энергия электрона в плоскости модулятора (в эВ), если $U_m = -10B$.

Задача 115

В кинескопе при $U_{y3} = 2\text{кВ}$, $D = 0.02$, $U_m = -20B$ ток луча 100мкА . Каков будет ток луча, если напряжение на модуляторе станет $U_m = -40B$?

Задача 116

В кинескопе при $U_{y3} = 2\text{кВ}$, $D = 0.02$ действующее напряжение $U_\delta = 5B$, определить потенциал модулятора. При напряжении на модуляторе то луча равен нулю?

Задача 117

В ЭЛТ между модулятором и ускоряющим электродом поставлены две короткофокусные магнитные фокусирующие катушки. Определить ток луча в мкА, если $U_m = -10B$, $U_{y3} = 1,5\text{кВ}$.

Задача 118

Определить коэффициент усиления ФЭУ-24, если $I_\phi = 18\text{нА}$, $I_a = 160\text{мкА}$.

Задача 119

В вакуумном фотоэлементе $E_a = 200B$, $R_a = 20\text{Мом}$, $I_\phi = 5\text{мкА}$. Определить мощность, выделяющуюся на аноде фотоэлемента.

Задача 120

Определить как изменится световой поток для ФЭУ – 9, если его интегральная чувствительность $21 \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$, а ток в цепи анода изменяется на 148 мкА .

Задача 121

Как изменится световой поток для ФЭУ с $n=13$, $\Delta I_a = 4 \text{ мА}$, $h = 100 \text{ мкА/лм}$, $\sigma = 3,1$, $\alpha = 0,9$. Определить ток в цепи второго динода ФЭУ.

Задача 122

Как измениться ток в цепи четвертого динода ФЭУ, если $\Delta I_a = 4 \text{ мА}$, $\sigma = 2,8$, $\alpha = 0,8$, $\Delta \phi = 0,3 \text{ лм}$, $K = 50 \text{ мкА/лм}$. Сколько динодов у ФЭУ?

Задача 123

На фотокатод с интегральной чувствительностью $K = 200 \text{ мкА/лм}$ падает световой поток $\Phi = 0,2 \text{ лм}$, $R_n = 800 \text{ кОм}$. Сигнал с R_n снимается на усилитель, управляющий реле с током срабатывания 5 мА , при $U = 200 \text{ В}$. Определить коэффициент усиления по мощности и по напряжению.

Задача 124

Определить ток в мкА во внешней цепи анода и динода однокаскадного ФЭУ, если ток с фотокатода 200 мкА , $\sigma = 10$ напряжение на аноде 20 В , а напряжение на диноде 300 В (прибор работает в режиме насыщения).

Задача 125

Как измениться ток в цепи первого динода ФЭУ, если $\Delta I_a = 4 \text{ мА}$, $\sigma = 4,7$, $\alpha = 0,8$, $\Delta \phi = 0,4 \text{ лм}$, $K = 50 \text{ мкА/лм}$. Сколько динодов у ФЭУ?

Задача 126

Как измениться ток в цепи третьего динода ФЭУ, если $\Delta I_a = 125 \text{ мА}$, $\sigma = 10$, $\alpha = 0,5$, $\Delta \phi = 2 \text{ лм}$, $K = 20 \text{ мкА/лм}$. Сколько динодов у ФЭУ?

Задача 127

Как изменится световой поток, падающий на фотокатод ФЭУ, если $n = 7$, $\Delta I_a = 4 \text{ мА}$, $\sigma = 5$, $\alpha = 0,8$, $K = 40 \text{ мкА/лм}$. Сколько динодов у ФЭУ?

Задача 128

В девятикаскадном ФЭУ при изменении напряжении на аноде от 2 кВ до 3 кВ чувствительность по току анода возросла в 10^3 раз. Как изменился σ каждого каскада и коэффициент усиления ФЭУ, если коэффициент передачи тока изменился?

Задача 129

В ионном фотоэлементе при $K = 50 \text{ мкА/лм}$, а $\Phi = 2 \text{ лм}$ на $R_n = 100 \text{ кОм}$ выделяется мощность $P_R = 2.5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}$, при этом $R_0 = R_H$ в рабочей точке. Определить коэффициент газового усиления.

Задача 130

Чувствительность катода 6 – каскадного ФЭУ 100 мкА/лм , а анода $72,9 \text{ мкА/лм}$, при этом $\alpha = 0,6$. Определить коэффициент вторичной эмиссии каскада.

Задача 131

В ФЭУ чувствительность по катодному току 10 мкА/лм , по анодному току 10 мкА/лм , $I_\phi = 5 \text{ мкА}$ сопротивление в цепи анода $R_n = 10 \text{ кОм}$. Какое необходимо усиление по напряжению, чтобы сигналом с нагрузки засечь разряд $U_3 = 250 \text{ В}$.

Задача 132

В ионном фотоэлементе при $K = 80 \text{ мкА/лм}$, а $\Phi = 0,5 \text{ лм}$ на $R_n = 1 \text{ МОм}$ выделяется мощность $P_R = 2.5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}$ в рабочей точке. Определить коэффициент газового усиления в этой точке.

Задача 133

Какая будет выделяться мощность на аноде ФЭУ, если $I_{o2} = 20 \text{ мкА}$, $I_\phi = 5 \text{ мкА}$, $n = 6$, $U_a = 100 \text{ В}$. Ответ дать в мВт.

Задача 134

Определить число каскадов ФЭУ, если выходной ток 15 мА , $I_\phi = 1,5 \text{ мкА}$, $\sigma = 5,2$, $\alpha = 0,89$.

Задача 135

В ионном фотоэлементе коэффициент газового усиления $K_{гв} = 8$, $R_n = 700 \text{ кОм}$, $\Phi = 1 \text{ лм}$ при чувствительности по катодному току $K = 30 \text{ мкА/лм}$. Какое необходимо усиление по напряжению, чтобы сигналом с нагрузки зажечь разряд в тиратроне с $U_3 = 336 \text{ В}$.

Задача 136

В электронном фотоэлементе напряжение источника питания $E_a = 200B$, $R_n = 500k\Omega$, $K = 10 \frac{мкА}{лм}$. Параллельно с включен электронный ключ. Определить световой поток, при котором откроется ключ, если порог его срабатывания 50В? Какое напряжение при этом между катода и анодом?

Задача 137

Чувствительность катода 4 – каскадного ФЭУ $25 \frac{мкА}{лм}$, а анода $102,4 \frac{мкА}{лм}$, при этом $\alpha = 0,8$. Определить коэффициент вторичной эмиссии для каждого каскада. Измениться ли σ , если световой поток увеличить в два раза?

Задача 138

Как измениться световой поток, падающий на фотокатод ФЭУ, если $n = 3$, $\Delta I_a = 7,2 \text{ мА}$, $\sigma = 10$, $\alpha = 0,9$, $K_k = 40 \frac{мкА}{лм}$. Чему равен коэффициент усиления ФЭУ?

Задача 139

В ионном фотоэлементе при $K = 120 \frac{мкА}{лм}$, а $\Phi = 0,5 \text{ лм}$ на $R_n = 0,3M\Omega$ выделяется мощность $P_R = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}$, при этом $R_i = 3R_n$ в рабочей точке. Определить коэффициент газового усиления в этой точке.

Задача 140

Напряжение на делителе 11 каскадного ФЭУ увеличили в 2 раза, при этом коэффициент усиления возрос в 50 раз. Определите как изменились σ и чувствительность по анодному току S .

Задача 141

Определить ток в цепи анода и динода однокаскадного ФЭУ, если $I_{фэ} = 4 \text{ мА}$, $U_a = 200B$, $U_d = 50B$, $\sigma = 2,8$.

Определить величину фототока в ФЭУ - 25, если $\sigma = 3,2$, а ток в цепи четвертого динода 84мкА.

Задача 142

Определить величину фототока в ФЭУ - 13, если $\sigma = 1,85$, а ток в цепи четвертого динода 243мкА.

Задача 143

Определить величину фототока в ФЭУ - 24, если $\sigma = 2,2$, а ток в цепи четвертого динода $100 \mu\text{A}$.

Задача 144

Определить коэффициент вторичной электронной эмиссии, если ток фотокатода 4mA , а ток в цепи первого динода 10nA .

Задача 145

В вакуумном фотоэлементе напряжение источника питания $E_a = 200 \text{B}$, $R_n = 300 \text{k}\Omega$, $I_\phi = 50 \mu\text{A}$. Определите мощность, выделяющуюся на аноде фотоэлемента.

Задача 146

В вакуумного фотоэлементе $R_n = 25 \text{M}\Omega$, $I_\phi = 3 \mu\text{A}$ $R_i = R_n$. Определить величину напряжения источника питания.

Задача 147

В ЭЛТ отклоняющие пластины по Y имеют $l = 8 \text{мм}$, $d = 3 \text{мм}$, амплитуда сигнала 2см , чувствительность к отклонению $0,1 \frac{\text{мм}}{\text{B}}$.

- 1) определить горизонтальную составляющую энергии в эВ;
- 2) вертикальную составляющую энергии к моменту выхода из пластин;
- 3) предельную частоту.

Задача 148

Сколько зубцов пилы увидим на экране ЭЛТ, если на пластины, отклоняющие по X подать сигнал в виде пилы, время развертки τ_x , а по Y - пила с τ_y . Причем $\tau_x = 3\tau_y$.

Задача 149

На отклоняющие пластины ЭЛТ подано переменное напряжение (синусоида), а на экране видна прямая горизонтальная линия в центре экрана длина 5см . Определите напряжение на пластинах и по X и по Y , если чувствительность отклонения обеих пар пластин $0,4 \frac{\text{мм}}{\text{B}}$?

Задача 150

В ЭЛТ определить в вольтах при каком напряжении на втором аноде U_{a2} с длиной отклоняющих пластин $l = 20 \text{мм}$ можно без искажения наблюдать сигнал с частотой $f = 375 \text{MHz}$. Как уменьшится чувствительность к отклонению, если $f_{\text{сигнала}} = 0,5f$ предельная.

Задача 152

При какой продольной энергии электронов (в эВ) в области отклоняющих пластин в ЭЛТ предельная частота сигнала 600 МГц, если длина отклоняющих пластин 15мм? Какова будет эта энергия, если длина пластин будет 30 мм.

В ЭЛТ на отклоняющие пластины по Y подан сигнал – прямолинейный импульс. Луч на экране вычертил прямую линии длиной 5 мм. Какой величины напряжение импульса, если чувствительность к отклонению $2 \text{ мм}/B$? Какой формы и величины подано напряжение на пластины, отклоняющие по X ?

Задача 153

На экране осциллографа видна синусоида (один период), амплитуда 5см, период 10см. На обе пары пластин подан сигнал с напряжением 50В. Определите чувствительность к отклонению обеих пар пластин, какой формы сигнал подан на пластины?

Задача 154

На сколько мм переместиться луч из центра на экране, если на вертикально отклоняющие пластины подано постоянное напряжение $U_Y = 100B$, а на горизонтально отклоняющие пластины $U_X = -40B$, при этом чувствительность к отклонению по Y $0,3 \text{ мм}/B$, по X - $0,4 \text{ мм}/B$?

Задача 155

В кинескопе система магнитного отклонения имеет 2 катушки, которые соединены последовательно по 3000 витков каждая с током 5мА. На экране в центре виден светящийся квадрат $30 \times 15 \text{ мм}$ (30мм по X). Какой формы сигнал подан на катушки? Найти чувствительность к отклонению каждой катушки?

Задача 156

К кинескопе оксидный термокатод имеет температуру $T_k = 900K$ и эффективную работу выхода $\varphi_{эфф} = 1,1 \text{ эВ}$. Определить плотность тока термоэмиссии (A/m^2), если $D = 1$.

Задача 157

В кинескопе определить чувствительность магнитной катушки к отклонению, если амплитуда сигнала 5 см, число витков катушке 500, а ток через катушку 0,1А. Как изменится чувствительность к отклонению, если напряжение на модуляторе 3 раз?

Задача 158

В ЭЛТ определить напряжение второго анода и энергию электронов в плоскости второго анода, если чувствительность к отклонению $0,2\text{мм/В}$, $l = 20\text{мм}$, $L = 300\text{мм}$, $d = 10\text{мм}$. Определить предельную частоту.

Задача 159

Определить запирающее напряжение на модуляторе ЭЛТ, если $U_{вэ} = 2,5\text{кВ}$, $D = 0,01$. Какова будет энергия электронов в плоскости модулятора, если $U_M = -5\text{В}$?

Задача 160

В ЭЛТ напряжение модулятора $U_M = -15\text{В}$, напряжение ускоряющего электрода $U_{вэ} = 3\text{кВ}$, напряжение запирающего электрода $U_{зп} = -25\text{В}$. Определить энергию электрона в плоскости модулятора и ускоряющего электрода в эВ.

Задача 161

В ЭЛТ действующее напряжение 7В , напряжение ускоряющего электрода $3,5\text{В}$, проницаемость $0,004$. Определить потенциал модулятора. При каком напряжении на модуляторе ток луча равен 0?

Задача 162

ЭЛТ с магнитной фокусировкой имеет потенциал запирающего электрода -40В при напряжении ускоряющего электрода 3кВ , а при напряжении модулятора -10В ток луча 500мА . Как изменится ток луча, если $U_{вэ} = 6\text{кВ}$, а $U_M = -50\text{В}$.

Задача 163

В ЭЛТ начертите траекторию электронов от катода до экрана, если после модулятора поставлены две короткофокусные магнитные фокусирующие катушки затем ускоряющий электрод и остальные электроды. Чему равен ток луча?

Задача 164

Для ЭЛТ определить величину приложенного напряжения на отклоняющие пластины, если $h = 0,3\frac{\text{мм}}{\text{В}}$, а перемещение пятна на экране 20мм .

Задача 165

Определить длину отклоняющих пластин, если $U_{a2} = 1,3\text{кВ}$, а предельная частота сигнала на отклоняющие пластины 240МГц .

Задача 166

При каком U_{a2} предельная частота сигнала на отклоняющие пластины 500МГц, если длина пластины 1,4см.

Задача 167

Определить потенциал второго анода в ЭЛТ, если $l = 11,5\text{мм}, L = 238\text{мм}, d = 7,3\text{мм}, h = 0.17\text{мм}/\text{В}$.

Задача 168

В кинескопе подано напряжение, и луч виден в виде точки в центре экрана. Как надо запитать электроды, чтобы получить на экране изображение.

Задача 169

В ЭЛТ какой параметр и как надо изменить, чтобы чувствительность к отклонению увеличилась в 1,5раз. (отклонение электростатическое).

Задача 170

В ЭЛТ определить l_2 ,

если

$$l_1 = 11.1\text{мм}, L = 263\text{мм}, d_1 = 4.3\text{мм}, d_2 = 12.99\text{мм}, U_{a2} = 3121\text{В}, h = 0.16\text{мм}/\text{В}.$$

Задача 171

Определить как измениться чувствительность к отклонению в ЭЛТ с электростатическим отклонением, если напряжение на пластинах увеличить в 2раза.

Задача 172

На экране кинескопа видна вертикальная линия. Какой сигнал подан на отклоняющие катушки по Y и X .

Задача 173

Какой величины и формы получим сигнал на выходном сопротивлении суперортикаона, если мишени коэффициент вторичной эмиссии $\sigma = 1$.

Задача 174

В цветном телевизоре напряжение на втором аноде 25кВ. отклонение луча обеспечивают две магнитные катушки с чувствительностью по Y $2\text{мм}/\text{А}\cdot\text{вит}$, по X - $1\text{мм}/\text{А}\cdot\text{вит}$ и i . Определить продольную энергию электронов в момент входа в область отклонения в момент выхода из нее в эВ.

Задача 175

В фотоэлектронном умножителе суперортикаона 5 динодов. Коэффициент вторичной эмиссии динода увеличился в 2 раза, коэффициент передачи тока при этом не изменился. Как изменилась амплитуда видео сигнала на выходе прибора?

Задача 176

В кинескопе все электроды имеют рабочее напряжение, экран не покрыт Al пленкой. Какой потенциал устанавливается на экране, если $\sigma > 1$? Что видим на экране? Что изменится, если потенциал модулятора изменить от $-25В$ до $-15В$?

Задача 177

В цветном кинескопе по паспорту записаны все электроды, только не подан видео сигнал. Что видим на экране? Что изменится на экране? Подали сигнал на модулятор. Что видим на экране?

Задача 178

В кинескопе температура катода $1000К$, напряжение модулятора $-15 В$, проницаемость его $0,02$, напряжение ускоряющего электрода $2 кВ$, напряжение второго анода $25кВ$. найти энергию электрона при выходе из катода в плоскость модулятора (в эВ).

Задача 179

В кинескопе при напряжении на модуляторе $-10 В$ и на ускоряющем электроде $1500 В$ при проницаемости $0,01$, ток в луче рабочий ($100 мкА$). Определить энергию электронов в плоскости модулятора в эВ? Каков ток луча, если напряжение на модуляторе $-15В$? Как изменится этот ток, если напряжение на A_3 увеличится в 2 раза?

Задача 180

В ЭЛТ определить при каком напряжении на втором аноде с длиной отклоняющей пластины $20мм$ можно без искажения наблюдать сигнал с частотой $f = 375 МГц$. Если сигнал синусоида, какую часть периода электрон будет между отклоняющими пластинами?

Задача 181

При ускоряющем напряжении на электроде $1 кВ$ запирающее напряжение $-25 В$. Определить энергию электронов в плоскости модулятора и ускоряющего напряжения, если напряжение модулятора $-5 В$.

Задача 182

В ЭЛТ определить смещение пятна, если $U_{a2} = 1000B$, $U_{nl} = 100B$, длина пластин 2см, расстояние между ними 0,8см, расстояние до экрана 20см.

Задача 183

В осциллографе
 $l_x = 6мм$; $d_x = 3мм$, $L_x = 300мм$, $l_y = 7мм$, $d_y = 3.5мм$, $L_y = 320мм$, $U_{a2} = 10кВ$, экран 50×60 мм. Рассчитать максимальную величину сигнала для каждой пары отклоняющих пластин.

Задача 184

Расстояние между пластинами отклоняющей системы ЭЛТ 1см, длина пластин 5см. Какое напряжение необходимо приложить между пластинами, чтоб луч с энергией 750эВ исчез с экрана?

Задача 185

В ЭЛТ отклоняющие пластины по Y имеют $l = 14мм$, $L = 170мм$, $d = 6мм$, $U_{a2} = 5кВ$. Определить:

- 1) горизонтальную составляющую энергии в эВ (в направлении экрана);
- 2) вертикальную составляющую энергии к моменту выхода из пластин;
- 3) предельную частоту.

Задача 186

Определить потенциал модулятора для ЭЛТ, если $I_k = 90мкА$, $k = 3$, $\gamma = 2$, $U_{3M} = -60B$.

Задача 187

В ЭЛТ поданы рабочие напряжения на все электроды, только не подан видео сигнал. Что видим на экране? Сигнал синусоида с периодом T . Как надо запитать электроды по X , чтобы на экране появилась синусоида, состоящая из 2 периодов.

Задача 188

Кинескоп запитан, но не подан видеосигнал, что видим на экране? На какой электрод подается видеосигнал? Видеосигнал необходимо усилить в 24 раза, предложите способ, рассчитайте.

Задача 189

Видеосигнал, снимаемый с иконоскопа, необходимо усилить в 68раз. Предложите способ, рассчитайте.

Задача 190

Определить величину отклонения на экране кинескопа, если индукция магнитного поля 5 мТл, область действия магнитного поля 0,3 см, расстояние от катушки до экрана 20 см, начальная скорость электрона 10^7 м/с.

Задача 191

В ЭЛТ напряжение на втором аноде 5 кВ, длина отклоняющих пластин 1 см. На отклоняющие пластины подано синусоидальное напряжение. Определить предельную частоту трубки? Определить частоту, при которой электрон будет оставаться в пространстве между пластинами в течение одного полупериода?

Задача 192

Кинескоп имеет чувствительность к отклонению 0,5 мм/А вит, диаметр экрана 200 мм, число витков 200. какой ток надо пропустить через катушку, чтобы луч переместился на расстояние равное радиусу экрана?

В ЭЛТ $U_y = 60 \sin(2\pi \cdot 10^8 t)$,
если $l_1 = 0.02$ м, $L = 0.16$ м, $d = 8$ мм, $U_{a2} = 1$ кВ. Каково отклонение электрона на экране.

Задача 193

Определить, как изменится скорость электрона, имеющего скорость $1,5 \cdot 10^4$ км/с после того, как он пролетит между плоскопараллельными пластинами, имеющими разность потенциалов 25 В и отстоящих друг от друга на расстоянии 2 см. длина пластин 1,5 см.

Задача 194

В ЭЛТ с магнитным отклонением электронный луч проходит расстояние 5 см через область поперечного магнитного поля. Определить магнитную индукцию, необходимую для отклонения луча на $17,5^\circ$.

Задача 195

Трубка с электростатической фокусировкой имеет запирающее напряжение -50 В при $U_{a2} = 1500$ В. Каково будет запирающее напряжение при $U_{a2} = 2100$ В.

Задача 196

В ЭЛТ отклоняющая катушка имеет 5000 витков, ток 40 мА, величина отклонения луча 135 мм. Определить чувствительность отклоняющей системы трубки.

Задача 197

Труба с магнитной фокусировкой имеет запирающее напряжение - 50В при $U_a = 2,5кВ$. При напряжении модулятора -20В ток катода равен 600мкА. Как изменится ток катода, если повысить $U_a = 5кВ$, а $U_m = -70В$?

Задача 198

Для ЭЛТ изобразить фигуру, получающую на экране, если к отклоняющим пластинам подведены синусоидальные напряжения одинаковой частоты, амплитуды фазы. Чувствительность обеих пар пластин считать одинаковой.

Задача 199

В ЭЛТ определить U_{a2} , при котором луч будет отклоняться от центра на экране на 2см, если напряжение пластин 50В. Расстояние между пластинами 0,4см, длина пластин 5см, расстояние до экрана 16см.

Задача 200

В ЭЛТ используются отклоняющие пластины длиной 2см, расстояние между пластинами 0,5см. Пластины вертикального отклонения удалены от экрана на 49см, горизонтального – 52см. какова чувствительность к отклонению пластин вертикального и горизонтального отклонения, если:

- 1) $U_{a2} = 1кВ$;
- 2) $U_{a2} = 1,5кВ$.

Задача 201

Спираль, по которой движется электрон в однородном магнитном поле, имеет диаметр 80мм, шаг спирали 200мм, индукция магнитного поля 5мТл. Определить скорость электронов.

Задача 202

В ЭЛТ электроны с энергией 1000эВ пересекают отклоняющее электрическое поле. Эффективная длина поля и расстояние между отклоняющими пластинами равны 2 и 1 см. на расстоянии 20 см от конца пластин находится флуоресцирующий экран. К пластинам приложено переменное синусоидальное напряжение, амплитуда которого равна 100 В. Каков след луча на экране?

Учебное пособие

Аксенов А.И.

Вакуумная и плазменная электроника
Методические указания к практическим занятиям

Усл. печ. л. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40