

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  
222900 - «Нанотехнологии и микросистемная техника»  
(профиль - Нанотехнологии в электронике и микросистемной  
технике)

## **Аксенов, Александр Иванович**

Вакуумная и плазменная электроника = Вакуумная и плазменная электроника: методические указания к практическим занятиям для студентов направления 222900 - «Нанотехнологии и микросистемная техника» (профиль – Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике) / 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. - 36 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:

В ходе выполнения работы у студентов формируется способность проводить физико-математическое и физико-химическое моделирование исследуемых процессов и объектов с использованием современных компьютерных технологий (ПК-9); готовность применять знания о технических характеристиках и экономических показателях отечественных и зарубежных разработок материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-20).

Пособие предназначено для студентов очной формы, обучающихся по направлению 222900 - «Нанотехнологии и микросистемная техника» (профиль – Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике) 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  
222900 - «Нанотехнологии и микросистемная техника»  
(профиль – Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике)

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
1.2 Примеры решения задач по вторичной эмиссии .....	8
Практическое занятие 2. Диодный промежуток, вакуумный и ионный фотоэлемент, многокаскадные ФЭУ .....	9
Практическое занятие 3. Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях .....	9
Практическое занятие 4. Отклоняющие и фокусирующие системы, токопрохождение в ЭЛТ .....	9
Задачи для проработки тем .....	9

## 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 проводить физико-математическое и физико-химическое моделирование исследуемых процессов и объектов с использованием современных компьютерных технологий (ПК-9); готовность применять знания о технических характеристиках и экономических показателях отечественных и зарубежных разработок материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (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  $\text{А/м}^2$ ), 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 ( $\varphi_0$ ), 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:

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

## 1.2 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  $\sigma$  – 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.

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

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

## Практическое занятие 5. Тлеющий разряд

### Задачи для проработки тем

#### Задача 1

В диоде  $T_k = 1700K$ . На анод подано напряжение  $U_a$  и ток в цепи анода  $I_a$  возрос в 1,2 раза ( $d_{ak} = 0.6cm$ ).

Определить:

- 1) какое напряжение подали на анод;
- 2) как изменился потенциальный барьер;
- 3) как изменится ток  $I_a$ , если  $\sigma$  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  $\Delta\varphi = 0,2эВ$ . Определить плотность тока термоэмиссии с электрическим полем и без него, величину этого поля.

#### Задача 3

В диоде  $T_k = 1800K$ ,  $S_k = 0.2cm^2$ ,  $U_{эфф} = 1,6эВ$ ,  $d_{ak} = 0.2cm$ ,  $\Delta\varphi = 0,1эВ$ ,  $\sigma = 1$ . 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% ( $d_{ak} = 0.5см$ ).

Определить:

- 1) какое напряжение подали на анод;
- 2) как изменился потенциальный барьер после подачи напряжения;
- 3) как изменится ток  $I_a$ , если  $\sigma$  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  $T_k = -23^\circ C$  ( $\varphi = 1,2эВ$ ).

#### Задача 6

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

#### Задача 7

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

#### 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  $\sigma = 3$ ,  $U_a = 200В$ . Весь ток с катода идет на анод.

#### Задача 9

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

#### Задача 10

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

#### Задача 11

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

### Задача 12

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

### Задача 13

На фотокатод падает поток света с  $\lambda = 3000 \text{ нм}$ ,  $\varphi_{\text{эфф}} = 2,34 \text{ эВ}$ . 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  $2000 \text{ K}$  до  $2001 \text{ K}$  увеличивает ток эмиссии катода на 1%?

### Задача 15

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

### Задача 16

Фотокатод имеет площадь  $S_k = 20 \text{ см}^2$ . Он обеспечивает при определенном освещении  $I_{\text{эл}} = 2 \text{ мкА}$ . При определенном напряжении на аноде ток становится  $3 \text{ мкА}$ . Рабочая температура  $23^\circ \text{ C}$ . 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  $T_k = 1400 \text{ K}$ . Определить  $\varphi_{\text{эфф}}$ . Если все электроны, вышедшие с катода, достигают анода, какой ток протекает в цепи анода. Как он изменится, если  $\sigma$  анода увеличить в 8 раз?

### Задача 18

Ток термоэмиссии  $I_{\text{э}} = 10 \text{ мА}$ , при  $T_k = 1200 \text{ K}$  ( $S_k = 3 \text{ мм}^2$ ). Между плоскими анодом и катодом приложили электрическое поле при этом потенциальный барьер изменился  $\Delta\varphi = 0,1 \text{ эВ}$ . Какое напряжение подали на анод, если  $d_{\text{КА}} = 0,1 \text{ см}$ ? А  $\sigma$  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  $I_{\text{а}} = 14 \text{ мкА}$ ,  $\varphi_{\text{эфф}} = 0,8 \text{ эВ}$ ,  $T_{\text{к}} = 40^\circ \text{С}$ . Определить напряжение на аноде, если  $d_{\text{КА}} = 0,5 \text{ см}$  (электроды плоские). Каким станет ток в цепи анода, если  $\sigma$  уменьшить в 4 раза?

### Задача 20

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

### Задача 21

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

### 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 ( $\varphi_{\text{эфф}} = 3,52 \text{ эВ}$ )?

### Задача 23

Как изменится эффективная работа выхода, если между катодом и анодом приложено напряжение  $50 \text{ кВ}$ , 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  $\varphi_{\text{эфф}} = 1 \text{ эВ}$ ?

### 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  $1 \text{ эВ}$ , если

известно, что максимальная скорость электронов, выбиваемых с поверхности катода равна  $500 \frac{км}{с}$ .

### 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  $400 \frac{км}{с}$ . Определить длину волны падающего света, какова будет эмиссия света, если  $\lambda$  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  $12,5 \text{ В}$ . Какое расстояние должен пройти электрон в поле с напряженностью  $100 \frac{В}{см}$ , чтобы приобрести эту скорость?

### Задача 32

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

### Задача 33

В ячейки индикаторной панели переменного тока горит тлеющий разряд, напряжение горения  $U_z = 95 \text{ В}$ , рабочий ток разряда  $I_p = 3 \text{ мА}$ . Как изменится  $U_z$ , если  $I_p = 6 \text{ мА}$ ?

### Задача 34

В тиратроне горит тлеющий разряд при этом напряжение на сетке  $U_c = 120B$ , а напряжение горения на аноде  $U_a = 180B$ . 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  $p = 133Па$ . Определить минимальную напряженность электрического поля при которой электрон сможет ионизировать, начальную скорость электрона принять равной нулю.

### Задача 39

В разрядной трубке  $d = 2,5m$ ,  $U_a = 200B$ ,  $\gamma = 0,04$ . Определить первый коэффициент Таунсенда  $\alpha$  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  $U_a = 200B$ , напряжение горения  $U_c = 120B$ , ток разряда  $I_p = 1mA$ . 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  $\Delta I$ , 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  $U_z = 150B$ , ток разряда  $I_p = 2mA$ . Как изменится напряжение горения, если ток разряда уменьшится в 2 раза?

Какое расстояние должен пройти электрон в электрическом поле, если  $U_i = 20B$ ,  $U_a = 100B$ ,  $d_{ak} = 0.04m$ .

### Задача 45

В ячейке ГИП  $I_{\min} = 5mA$ ,  $I_{\max} = 40mA$ . Рассчитать необходимое сопротивление ограничительного резистора, если напряжение на нагрузке  $U_n = 150B$ ,  $R_n = 10k\Omega$  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 ( $e \frac{B}{m}$ ), при котором электрон сможет ионизировать газ.

### Задача 47

Определить третий коэффициент Таунсенда ( $\gamma$ ) 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  $\alpha = 2,3см^{-1}$ ,  $d = 5см$ . Какой разряд горит в фотоэлементе?

### **Задача 57**

В индикаторной ячейке панели разряд зажигается при  $U_3 = 230B$ ,  $\alpha = 8,3см^{-1}$ ,  $d = 0,4см$ . 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  $10^3 \text{ эВ}$ ;
- 2) протона с энергией  $10^6 \text{ эВ}$ ;
- 3) молекулы  $N_2$  при  $T = 1000 \text{ К}$ .

### 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 2 см и разность потенциалов 500 В. 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 340 кэВ. Что это за частица?

### Задача 63

Ион имеет начальную скорость  $\mathcal{G}_0 = 0$  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  $\mathcal{G}_0 = 2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  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 (9г)? А ион азота?

### Задача 68

Определите:

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

### Задача 69

Между пластинами расстояние 3см и разность потенциалов 2000В. 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 1В, сможет преодолеть 10км, 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  $\mathcal{V}_0 = 2 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  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  $\mathcal{V}_0 = 5 \cdot 10^7 \text{ м/с}$  в электронном поле проходит разность потенциалов 1кВ. Будет ли он ускоряться?

### Задача 74

Какой разности потенциалов соответствует скорость электрона  $\mathcal{V} = 200 \text{ км/с}$ , если начальная скорость  $\mathcal{V}_0 = 0$ .

### 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  $1 \text{ нм}$ ?

Ион проходит ускоряющую разность потенциалов  $50 \text{ В}$ , 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  $P_{A_{пр}} = 4 \text{ Вт}$ . При  $U_a = 80 \text{ В}$  мощность рассеивания анодом  $P_A$  составляет 25% от  $P_{A_{пр}}$ , а при  $U_a = 180 \text{ В}$   $P_A = 60\%$  от  $P_{A_{пр}}$ . Определить  $S$  и  $R_i$ .

### Задача 80

При изменении  $U_a$  на  $2 \text{ В}$  анодный ток диода изменился на  $4 \text{ мА}$ . 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  $50 \text{ мА}$ . 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  $R_n$ . Какая мощность рассеивается на аноде? Чему будет равна эта мощность, если  $R_n = 0$ ?

### Задача 85

В электронном фотоэлементе  $E_a = 350 \text{ В}$ , а  $K = 200 \text{ мкА/лм}$ . Параллельно с сопротивлением нагрузки включен электронный ключ. Определить  $R_n$ , если порог срабатывания ключа  $100 \text{ В}$ , 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  $10 \text{ мА}$ , 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  $U_a = 200B$ ,  $P_A = 2Bm$ . Расстояние между катодом и анодом уменьшили в 3 раза. Определить  $P_A$ .

### Задача 92

В диоде  $I_a = 20mA$ ,  $P_A = 3Bm$ . Включить в цепь анода  $R_n$ , ток в точке пересечения нагрузочной прямой с осью стал 60mA. Определить каким стал  $I_a$ , если половина  $E_a$  падает на  $R_n$ .

### Задача 93

Диод, работающий в режиме ограничения тока пространственным зарядом, при  $U_a = 200B$   $I_a = 15mA$ . При каком  $U_a$  анодный ток увеличится вдвое? Чему равен  $I_a$ , если  $U_a = 100B$ ?

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

### Задача 94

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

### Задача 95

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

### Задача 96

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

### Задача 97

ЭЛТ имеет чувствительность к отклонению  $0,2 \frac{мм}{A \cdot вит}$ , диаметр экрана 40см, 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  $\varepsilon = 0,25 \frac{мм}{B}$ ,  $L = 28см$ ,  $d = 7мм$ ,  $l = 2см$ .

### Задача 99

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

### Задача 100

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

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

### Задача 101

В суперорбитроне 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 суперорбитрона, 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. Напряжение 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 суперорбитрона, если ток считывающего луча увеличить в 3 раза?

### Задача 109

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

### Задача 110

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

### Задача 111

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

### Задача 112

В ЭЛТ напряжение модулятора  $U_m = -20B$ , напряжение запирающего электрода  $U_{zm} = -50B$ , ток луча  $I_l = 600мкА$ . Как изменится ток луча, если повысить  $U_{yэ} = -5B$ , а  $U_m = -70B$ .

### Задача 114

Определите напряжение запирающего электрода на модуляторе ЭЛТ, если  $U_{yэ} = 1,5kB$ ,  $D = 0.02$ . Какова будет энергия электрона в плоскости модулятора (в эВ), если  $U_m = -10B$ .

### Задача 115

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

### Задача 116

В кинескопе при  $U_{yэ} = 2kB$ ,  $D = 0.02$  действующее напряжение  $U_0 = 5B$ , определить потенциал модулятора. При напряжении на модуляторе ток луча равен нулю?

### Задача 117

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

### Задача 118

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

### Задача 119

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

### Задача 120

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

### Задача 121

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

### Задача 122

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

### Задача 123

На фотокатод с интегральной чувствительностью  $K = 200 \frac{мкА}{лм}$  падает световой поток  $\Phi = 0,2лм$ ,  $R_n = 800кОм$ . Сигнал с  $R_n$  снимается на усилитель, управляющий реле с током срабатывания 5мА, при  $U = 200В$ . 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 200мкА,  $\sigma = 10$  напряжение на аноде 20В, а напряжение на диноде 300В (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 измениться 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 напряжения на аноде от 2кВ до 3кВ чувствительность по току анода возросла в  $10^3$  раз. Как изменился  $\sigma$  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  $R_0 = R_n$  в рабочей точке. Определить коэффициент газового усиления.

### Задача 130

Чувствительность катода 6 – каскадного ФЭУ  $100 \text{ мкА/лм}$ , 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  $10 \text{ мкА/лм}$ , по анодному току  $10 \text{ мкА/лм}$ ,  $I_\phi = 5 \text{ мкА}$  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  $I_{\delta 2} = 20 \text{ мкА}$ ,  $I_{\phi} = 5 \text{ мкА}$ ,  $n = 6$ ,  $U_a = 100 \text{ В}$ . Ответ дать в мВт.

### Задача 134

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

### 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  $E_a = 200 \text{ В}$ ,  $R_n = 500 \text{ кОм}$ ,  $K = 10 \text{ мкА/лм}$ . Параллельно с включен электронный ключ. Определить световой поток, при котором откроется ключ, если порог его срабатывания  $50 \text{ В}$ ? Какое напряжение при этом между катода и анодом?

### Задача 137

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

### Задача 138

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

### Задача 139

В ионном фотоэлементе при  $K = 120 \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$ , а  $\Phi = 0,5 \text{ лм}$  на  $R_n = 0,3 \text{ МОм}$  выделяется мощность  $P_R = 4 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}$ , при этом  $R_i = 3R_H$  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  $\sigma$  и чувствительность по анодному току  $S$ .

### Задача 141

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

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

### Задача 142

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

### Задача 143

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

### Задача 144

Определить коэффициент вторичной электронной эмиссии, если ток фотокатода  $4 \text{ мА}$ , а ток в цепи первого динода  $10 \text{ нА}$ .

### Задача 145

В вакуумном фотоэлементе напряжение источника питания  $E_a = 200 \text{ В}$ ,  $R_n = 300 \text{ кОм}$ ,  $I_{\text{ф}} = 50 \text{ мкА}$ . Определите мощность, выделяющуюся на аноде фотоэлемента.

### Задача 146

В вакуумного фотоэлементе  $R_n = 25 \text{ МОм}$ ,  $I_{\text{ф}} = 3 \text{ мкА}$   $R_i = R_H$ . Определить величину напряжения источника питания.

### Задача 147

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

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  $\tau_X$ , а по  $Y$  - пила с  $\tau_Y$ . 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 5 см. Определите напряжение на пластинах и по  $X$  и по  $Y$ , если чувствительность отклонения обеих пар пластин  $0,4 \text{ мм/В}$ ?

### 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  $f = 375 \text{ МГц}$ . 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 15 мм? 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  $2 \text{ мм/В}$ ? Какой формы и величины подано напряжение на пластины, отклоняющие по  $X$ ?

### Задача 153

На экране осциллографа видна синусоида (один период), амплитуда 5 см, период 10 см. На обе пары пластин подан сигнал с напряжением 50 В. 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  $X$ ). Кокой 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  $\phi_{эфф} = 1,1 \text{ эВ}$ . 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  $0,2 \text{ мм}/B$ ,  $l = 20 \text{ мм}$ ,  $L = 300 \text{ мм}$ ,  $d = 10 \text{ мм}$ . 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  $U_M = -5B$ ?

### Задача 160

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

### Задача 161

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

### Задача 162

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

### 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  $h = 0.3 \cdot \frac{\text{мм}}{\text{В}}$ , а перемещение пятна экроне  $20\text{мм}$ .

### Задача 165

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

### Задача 166

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

### Задача 167

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

### 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  $1,5$  раз. (отклонение электростатическое).

### Задача 170

В ЭЛТ определить  $l_2$ ,

если

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

### Задача 171

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

### 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  $X$  -  $1 \text{ мм} / \text{А} \cdot \text{вит}$ . 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  $-10\text{ В}$  и на ускоряющем электроде  $1500\text{ В}$  при проницаемости  $0,01$ , ток в луче рабочий ( $100\text{ мкА}$ ). Определить энергию электронов в плоскости модулятора в эВ? Каков ток луча, если напряжение на модуляторе  $-15\text{ В}$ ? 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  $20\text{ мм}$  можно без искажения наблюдать сигнал с частотой  $f = 375\text{ МГц}$ . Если сигнал синусоида, какую часть периода электрон будет между отклоняющими пластинами?

### Задача 181

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

### Задача 182

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

### Задача 183

В осциллографе  
 $l_x = 6\text{ мм}$ ,  $d_x = 3\text{ мм}$ ,  $L_x = 300\text{ мм}$ ,  $l_y = 7\text{ мм}$ ,  $d_y = 3,5\text{ мм}$ ,  $L_y = 320\text{ мм}$ ,  $U_{a2} = 10\text{ кВ}$ , экран  $50 \times 60\text{ мм}$ . Рассчитать максимальную величину сигнала для каждой пары отклоняющих пластин.

### Задача 184

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

### Задача 185

В ЭЛТ отклоняющие пластины по  $Y$  имеют  $l = 14\text{ мм}$ ,  $L = 170\text{ мм}$ ,  $d = 6\text{ мм}$ ,  $U_{a2} = 5\text{ кВ}$ . 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  $I_k = 90 \text{ мкА}$ ,  $k = 3$ ,  $\gamma = 2$ ,  $U_{3M} = -60 \text{ В}$ .

### 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 68 раз. Предложите способ, рассчитайте.

### Задача 190

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

### Задача 191

В ЭЛТ напряжение на втором аноде  $5 \text{ кВ}$ , длина отклоняющих пластин  $1 \text{ см}$ . 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  $0,5 \text{ мм/А вит}$ , диаметр экрана  $200 \text{ мм}$ , 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  $I_1 = 0.02 \text{ м}$ ,  $L = 0.16 \text{ м}$ ,  $d = 8 \text{ мм}$ ,  $U_{a2} = 1 \text{ кВ}$ . Каково отклонение электрона на экране.

### Задача 193

Определить, как изменится скорость электрона, имеющего скорость  $1,5 \cdot 10^4 \text{ км/с}$  после того, как он пролетит между плоскопараллельными

пластинами, имеющими разность потенциалов 25В и отстоящих друг от друга на расстоянии 2см. длина пластин 1,5см.

#### **Задача 194**

В ЭЛТ с магнитным отклонением электронный луч проходит расстояние 5см 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 -50В при  $U_{a2} = 1500В$ . Каково будет запирающее напряжение при  $U_{a2} = 2100В$ .

#### **Задача 196**

В ЭЛТ отклоняющая катушка имеет 5000витков, ток 40мА, величина отклонения луча 135мм. 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