

Программа зачета по электронной оптике

1. Движение электронов в электрическом и магнитном статических полях.

Уравнения движения в электромагнитном поле. Случаи однородных электрического и магнитного полей. Интеграл энергии. Движение в слабо неоднородных полях (дрейфовая теория). Поперечный адиабатический инвариант. Дрейфовые уравнения. Уравнения Лагранжа. Теорема Буша. Критический режим магнетрона. Инвариант Пуанкаре. Адиабатическая теория магнетронно-инжекторной пушки гиротрона. Вариационные принципы динамики заряженных частиц. Электронно-оптический коэффициент преломления.

2. Электронно-оптические свойства полей с аксиальной симметрией. Электронные линзы.

Дифференциальные уравнения траекторий заряженных частиц в аксиально-симметричных полях. Уравнения параксиальных траекторий. Изображающие свойства параксиальных пучков (стигматичность и подобие изображений). Классификация электростатических линз. Особенности электростатических линз с ограниченной областью поля. Иммерсионные линзы. Построение изображения в тонкой и толстой линзах. Линзы-диафрагмы. Иммерсионный объектив.

Классификация магнитных линз. Электронно-оптические свойства короткой (слабой) и длинной магнитных линз. Сильные магнитные линзы. Аберрации электронных линз. Электронные зеркала. Квадрупольные линзы. Отклоняющие системы.

3. Электронно-оптические системы.

Пржекторы электронно-лучевых трубок. Электронно-лучевые технологические установки. Электронные микроскопы (эмиссионный, просвечивающий, отражательный, растровый, автоэлектронный и автоионный, проекционные микроскопы). Разрешающая сила электронных микроскопов просвечивающего типа. Системы фокусировки протяженных интенсивных электронных пучков (магнитная, периодическая, электростатическая, центробежная). Системы рекуперации энергии электронов в мощных электронных приборах.

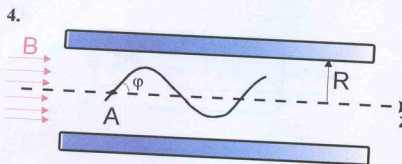
4. Интенсивные электронные пучки.

Система самосогласованных уравнений пучка в статических полях. Режимы температурного ограничения эмиссии и ограничения тока пространственным зарядом в электронных диодах. Теория идеализированного плоского диода (закон "трех вторых"). Предельный ток транспортировки электронного пучка в пространстве дрейфа. Формирование ленточных электронных пучков. Пушки Пирса.

ЗАДАЧИ

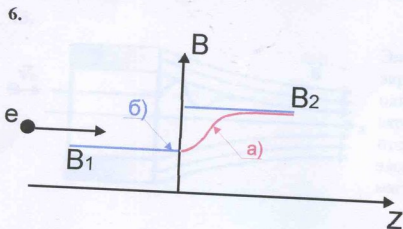
к зачету по электронике (электронная оптика)

1. Вывести формулу для замедления в релятивистском приближении. Получить приближенную формулу путем разложения в ряд по параметру ξ_0^{-1} , где $\xi_0 = \frac{C}{\sqrt{2\eta U}}$.
2. Исследовать в релятивистском приближении движение электрона в однородном электрическом поле.
3. Показать, что вращение электрона в магнитном поле происходит против часовой стрелки, если смотреть со стороны B .



Через точку A на оси металлической трубки радиуса $R=8$ см пролетает электрон под углом $\varphi=45^\circ$ к оси. Трубка помещена в однородное магнитное поле $B=300$ Гс, направленное вдоль её оси. Определить потенциал стенки трубки относительно катода, при котором электроны попадают на стенку.

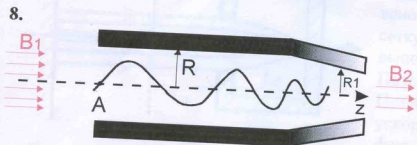
5. Электрон вращается в магнитном поле $B=2 \cdot 10^5$ Гс по окружности радиуса $R=2$ см. Найти частоту вращения и энергию (в кэВ) электрона.



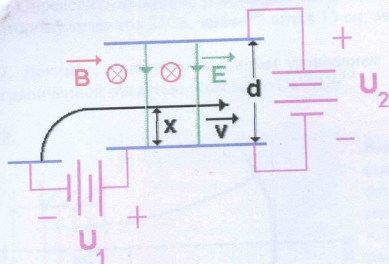
Электрон с радиусом R_0 вбрасывается вдоль силовой линии магнитного поля в однородное поле B_1 и затем попадает в однородное поле $B_2 > B_1$. Найти положение ведущего центра и скорость вращения электрона в поле B_2 . Рассмотреть два случая:

- а) на участке от B_1 до B_2 поле меняется адиабатически;
- б) поле меняется скачком от B_1 до B_2 .

7. Показать эквивалентность условий сохранения поперечного адиабатического инварианта, потока магнитной индукции через ларморовскую окружность и магнитного момента элементарного кругового тока, образованного электроном, вращающимся по ларморовской окружности.



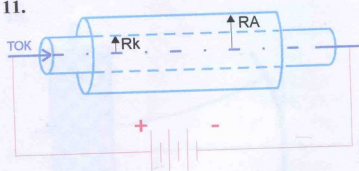
Металлическую трубку из задачи 4 предполагается сузить до радиуса R_1 , а для исключения попадания электрона на трубку - увеличить в суженной части магнитное поле. Вычислить $B_{2 \min}$ для $R_1=0,5$ см. Существует ли предел сужения трубки?



Каковы условия, при которых электрон движется прямолинейно в скрещенных полях внутри плоского промежутка. Вычислить расстояние x от траектории до нижней пластины. ($U_1=250$ В, $U_2=4200$ В, $d=3,5$ см, $B=50$ Гс).

10. Получить из уравнений Лагранжа векторные релятивистские уравнения движения заряженной частицы в произвольном электромагнитном поле.

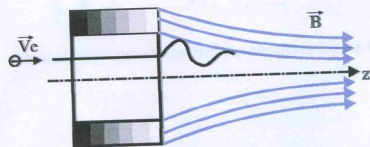
11.



Ток накала цилиндрического диода создает магнитное поле, отклоняющее электроны. Найти величину тока накала, достаточную для отсечки анодного тока. ($U_a=80$ В, $R_a=3,5$ см, $R_k=1,8$ мм).

12. Рассчитать, не пользуясь теоремой Буша, параболу критического режима плоского магнетрона.

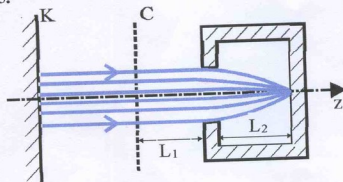
13.



Электрон через отверстие в магнитном экране влетает в магнитное поле, однородное на достаточном удалении от экрана. Слева от экрана магнитное поле отсутствует. Определить угловую скорость электрона в области однородного магнитного поля справа от экрана.

14. Показать, что эквипотенциальные поверхности вблизи седловой точки, расположенной на оси, в аксиально-симметричных системах имеют вид конусов с углом при вершине $109^\circ30'$.

15.

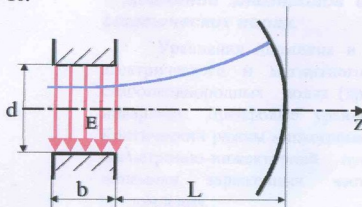


Аксиально-симметричная система содержит плоский катод К, вспомогательную плоскую ускоряющую сетку С и камеру Р, вход в которую выполнен в виде круглой диафрагмы. Потенциал камеры относительно катода $U_k=300$ В. Определить потенциал ускоряющей сетки, необходимый для фокусировки пучка на дне камеры. Расстояния L_1 и L_2 равны соответственно 3,5 см и 8,5 см.

16. Определить фокусное расстояние магнитной линзы, образованной круглым витком проволоки, по которому течет ток 250А, диаметр витка 15 см, энергия электронов 3000 эВ.

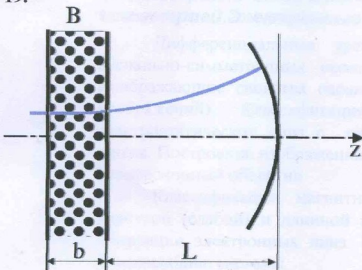
17. Доказать, пользуясь основным уравнением параксиальных траекторий, что для любой линзы с ограниченной областью поля $f_a/f_b = Ua^{1/2}/Ub^{1/2}$.

18.



Вычислить чувствительность электростатической отклоняющей системы (отношение отклонения луча на экране в мм к отклоняющему напряжению в В). Энергия электронов на оси системы равна eU_0 .

19.



Вычислить чувствительность магнитной отклоняющей системы (отношение отклонения луча на экране в мм к индукции отклоняющего магнитного поля в Гс). Отклоняющее магнитное поле полагается однородным и направленным перпендикулярно плоскости рисунка.

20. Вывести релятивистскую теорему Буша из инварианта Пуанкаре.