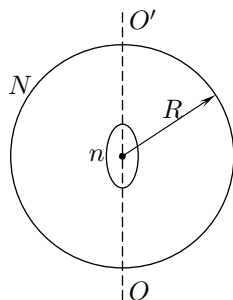


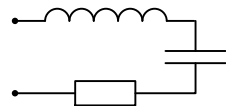
2002/2003 учебный год. Вариант А

1А. На оси симметрии плоского конденсатора с пластинами в виде круглых дисков площадью S на большом расстоянии r от него ($r \gg \sqrt{S}$) расположен незаряженный проводящий шарик радиусом $R \ll r$. Конденсатор заряжен до напряжения V . Определите величину и направление силы, действующей на шарик.

2А. В модели амперметра электродинамической системы в центре неподвижной плоской катушки радиусом $R = 20$ см, имеющей $N = 40$ витков, расположена небольшая катушка, которая может поворачиваться относительно оси OO' . Подвижная катушка имеет $n = 20$ витков площадью $S = 5$ см² каждый. Она удерживается спиральной пружиной жёсткостью $k = 5 \cdot 10^{-5}$ Н·м/рад так, что в положении равновесия плоскости обеих катушек перпендикулярны. Катушки соединены последовательно и по ним пропускается ток I . Предполагая угол φ поворота подвижной катушки достаточно малым, определите зависимость $\varphi(I)$. На какой угол в градусах повернётся катушка при токе $I = 1$ А?



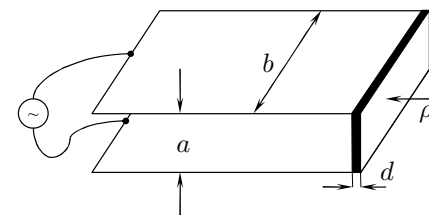
3А. На вход колебательного контура подается сигнал в виде периодической последовательности прямоугольных импульсов, длительность которых τ равна половине периода T их следования. Круговая частота следования импульсов $\Omega = 2\pi/T = 50$ с⁻¹, колебательный контур настроен на частоту $\omega_0 = 350$ с⁻¹.



1) Определите добротность контура, если амплитуда V напряжения на конденсаторе оказалась в 8 раз больше амплитуды импульсов U_0 .

2) Пусть период T следования импульсов начинают плавно увеличивать, не изменяя отношения τ/T и параметров колебательного контура. При каком значении $\Omega = \Omega_1$ наступит ближайший резонанс? Во сколько раз при этом изменится амплитуда напряжения на конденсаторе?

4А. Плоский конденсатор в виде двух круглых дисков радиусов a и расстоянием между ними d заполнен слабо проводящей средой ($\varepsilon = \mu = 1$) с электропроводностью λ . В момент времени $t = 0$ конденсатор подключают к батарее постоянного тока с ЭДС, равной \mathcal{E} , и внутренним сопротивлением r . Найдите зависимость от времени тока проводимости $I_{пр}$ и тока смещения $I_{см}$ в конденсаторе, а также магнитного поля B вблизи боковой поверхности конденсатора.

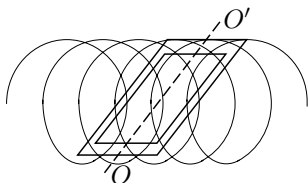


5А. Длинная линия, предназначенная для передачи электромагнитной энергии от генератора высокочастотных колебаний к нагрузке, выполнена в виде двух плоских идеально проводящих шин шириной b , расположенных параллельно друг другу на расстоянии a , причём $a \ll b$. Выходной торец этой линии закрывают плёнкой толщиной d из полупроводникового материала с удельным сопротивлением ρ . Оказалось, что при этом исчезли как отражённые от торца, так и выходящие из линии волны. При каком соотношении между d и ρ это возможно? Вычислите значение ρ при $d = 0,1$ мм. Можно ли на основании этого результата прийти к проекту антирадарной защиты?

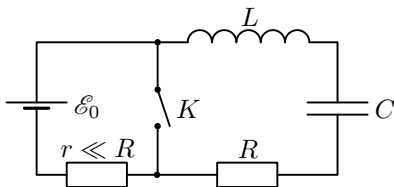
2002/2003 учебный год. Вариант Б

1Б. На оси круглого витка площадью S с током I на большом расстоянии от него $r \gg \sqrt{S}$ расположен сверхпроводящий шарик радиусом $R \ll r$. Определите величину и направление силы, действующей на шарик.

2Б. Внутри длинного соленоида, имеющего $n = 5000$ витков на метр, помещена рамка, состоящая из $N = 50$ витков провода площадью $S = 4 \text{ см}^2$ каждый. Рамка может поворачиваться вокруг оси OO' , перпендикулярной оси соленоида, и удерживается в равновесии спиральной пружиной так, что её плоскость параллельна оси соленоида. Жёсткость пружины $k = 3 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{м}/\text{рад}$. Определите силу тока, протекающего по виткам рамки и соленоида при их последовательном соединении, если рамка повернулась на угол $\varphi = 60^\circ$.



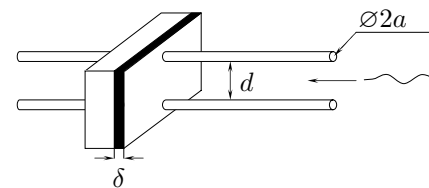
3Б. В схеме, изображённой на рисунке, ключ K периодически замыкается и размыкается на равные промежутки времени (круговая частота переключений $\Omega = 2\pi/T = 100 \text{ с}^{-1}$), и в колебательном контуре возникают колебания. Контур настроен на частоту $\omega = 500 \text{ с}^{-1}$, напряжение источника постоянного тока $\mathcal{E}_0 = 1 \text{ В}$, добротность контура $Q = 50$.



1) Определите амплитуду V_C вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе.

2) Предположим, что, оставляя параметры схемы неизменными, частоту переключений Ω начинают плавно увеличивать. При каком значении $\Omega = \Omega_1$ наступит ближайший резонанс и какова при этом будет амплитуда V_1 колебаний напряжения на конденсаторе?

4Б. Плоский конденсатор ёмкостью C_0 в виде двух круглых дисков радиусом a заполнен слабо проводящей средой ($\varepsilon = \mu = 1$) с сопротивлением утечки между пластинами, равным R . Конденсатор подключён к источнику переменного напряжения с ЭДС $\mathcal{E} = \cos \omega t$ и внутренним сопротивлением r . Найдите амплитуды $I_{пр}$ и $I_{см}$ токов проводимости и смещения, текущих через конденсатор в установившемся режиме. Определите амплитуду магнитного поля B_0 на расстоянии $x < a$ от конденсатора. Параметры схемы подобраны так, что $\omega RC_0 = 1$.



5Б. Два провода в системе Лехера, используемой в лекционном зале для демонстрации стоячих волн, были пропущены сквозь расположенный поперёк линии большой лист стекла, покрытый кремниевой плёнкой. При этом оказалось, что в системе не возникла отражённая волна и стоячие волны не возбудились. Определите толщину δ этой кремниевой плёнки, приняв удельное сопротивление кремния $\rho = 0,47 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, а удельное сопротивление стекла бесконечным.

2003/2004 учебный год. Вариант А

1А. В плоский конденсатор параллельно его обкладкам вставлена диэлектрическая пластина с проницаемостью ε , толщина которой равна половине зазора конденсатора. К пластинам конденсатора приложено напряжение V . На рисунке пунктиром изображён некоторый замкнутый контур L , пронизывающий конденсатор и диэлектрическую пластину. Найти циркуляцию

$$\oint_L \vec{D} \cdot d\vec{l}$$

вектора электростатической индукции \vec{D} по контуру L . Положительное направление обхода контура указано на рисунке.

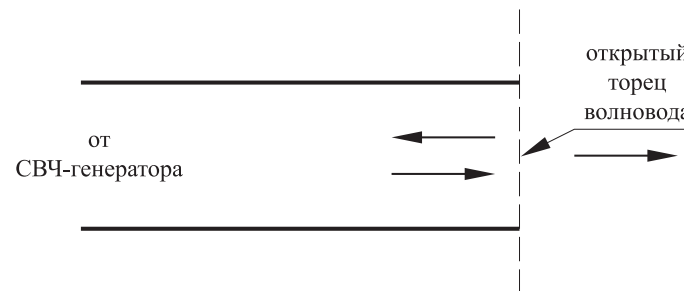
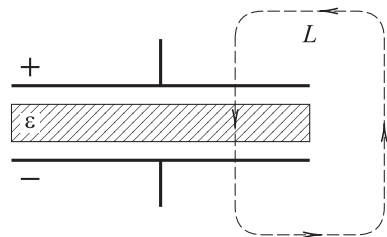
2А. Найти распределение объёмной плотности поляризационного заряда $\rho_{\text{пол}}(r)$ в длинном цилиндре радиусом R с замороженной поляризацией:

$$\vec{P} = P_0 \left(1 - \frac{r}{R}\right) \frac{\vec{r}}{R}.$$

Чему равны при этом напряжённость $E(r)$ и индукция $D(r)$ электрического поля внутри и вне цилиндра?

3А. В точках A и B плоскости расположены две далеко отстоящие друг от друга магнитные стрелки. Одна из них жёстко закреплена, и её магнитный момент составляет угол $\alpha = 45^\circ$ с линией AB . Другая стрелка может свободно вращаться. Какой угол составляет с линией AB магнитный момент подвижной стрелки?

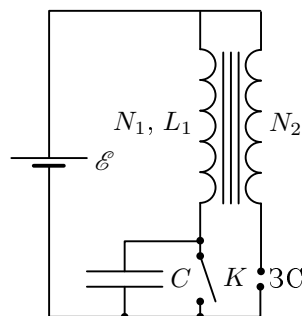
4А. На рисунке изображена схема зажигания автомобиля. Вторичная обмотка высоковольтного трансформатора нагружена на запальную свечу ЗС. Первичная обмотка имеет сопротивление $R = 2,5$ Ом и индуктивность $L = 10^{-3}$ Гн и подключена через конденсатор с ёмкостью $C = 0,2$ мкФ к источнику постоянной ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В. Определить, через какое время после размыкания прерывателя (ключа K) возникнет разряд. Пробой зарядного промежутка свечи возникает при напряжении $U_{\text{разр}} = 3$ кВ.



5А. Относительный показатель преломления n двух сред можно определить как отношение длин волн или волновых чисел:

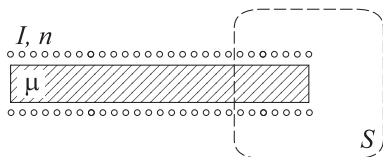
$$n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{k_2}{k_1}.$$

С этой точки зрения излучение электромагнитной энергии с открытого торца волновода можно рассматривать как переход электромагнитной энергии из одной среды в другую. При этом неизбежно возникает отражённая волна. Пользуясь этой моделью, определить коэффициент стоячей волны (КСВ) в волноводе прямоугольного сечения для волны с наименьшей возможной частотой (волны H_{10}). Один торец волновода подключён к генератору высокочастотного электромагнитного поля с частотой $f = 3000$ МГц, другой торец открыт. Широкая стенка волновода имеет размер $a = 5,2$ см.



2003/2004 учебный год. Вариант Б

1Б. По виткам длинной катушки с плотностью намотки n витков на см протекает постоянный ток I . Если смотреть на катушку со стороны правого торца, то ток течёт по виткам в направлении по часовой стрелке. В катушку соосно вставлен длинный магнитный стержень с площадью сечения σ и магнитной проницаемостью $\mu > 0$. На рисунке пунктиром изображена некоторая замкнутая поверхность S , которая пересекает катушку вдали от её торцов. Найти поток



$$\oint_S \vec{H} \cdot d\vec{S}$$

вектора напряжённости магнитного поля \vec{H} , пронизывающий поверхность S , и определить знак этого потока.

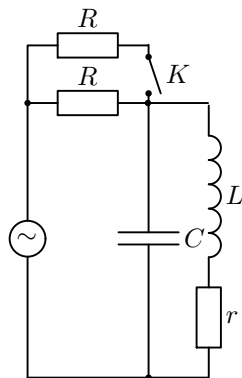
2Б. Найти распределение объёмной плотности поляризованного заряда $\rho_{\text{пол}}(r)$ в шаре радиусом R с замороженной поляризацией:

$$\vec{P}(r) = P_0 \left(1 - \frac{r}{R}\right) \frac{\vec{r}}{R}.$$

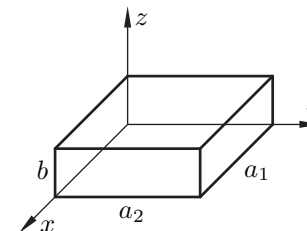
Чему равны также напряжённость $E(r)$ и индукция $D(r)$ электрического поля внутри и вне шара?

3Б. Рядом с вертикальной сверхпроводящей плоскостью находится магнитный компас, стрелка которого может вращаться в горизонтальной плоскости. Как она ориентирована в состоянии устойчивого равновесия, если внешнее магнитное поле отсутствует?

4Б. Параллельный колебательный контур подключён через сопротивление $R = 10$ кОм к источнику переменного напряжения. Активное сопротивление катушки $r = 5$ Ом. Для измерения добротности колебательного контура к сопротивлению R подключили параллельно такое же сопротивление, замкнув ключ K . При этом амплитуда колебаний напряжения на контуре при резонансе токов увеличилась в 1,5 раза. Чему оказалась равной добротность контура Q , если известно соотношение между параметрами контура $\frac{L}{C} \gg r^2$ (СИ)?

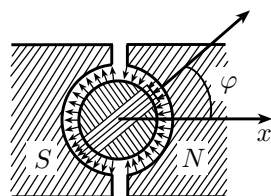


5Б. Оценить силы F_x , F_y и F_z , оказываемые электромагнитным полем на стенки объёмного резонатора, имеющего размеры $a_1 = a_2 = a = 3$ см, $b = 1$ см, в условиях, когда СВЧ-генератор непрерывно подводит к резонатору мощность $N = 1$ Вт на наименьшей моде резонатора. Добротность резонатора $Q = 10^3$.

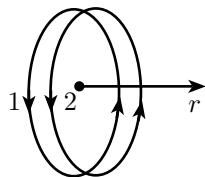


2004/2005 учебный год. Вариант А

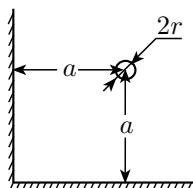
1А. Милливеберметр представляет собой электромеханическую систему, в которой рамка, содержащая N витков площадью S каждый, находится в состоянии безразличного равновесия (т. е. не имеет возвратной пружины). Рамка находится в радиальном магнитном поле с индукцией B так, что магнитный поток, пронизывающий рамку, пропорционален углу поворота φ (см. рис.). Момент инерции рамки относительно оси вращения I . Рамка включена последовательно с измерительной катушкой и резистором. Общая индуктивность всей цепи L . При резком изменении измеряемого поля в цепи возникает ток. Определить, при каких значениях R движение рамки не будет иметь колебательного характера.



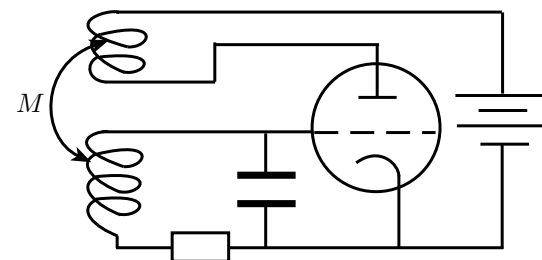
2А. Два одинаковых сверхпроводящих витка с индуктивностью L каждый расположены вплотную друг к другу. По виткам в одном направлении текут токи I_1 и I_2 . Какую работу нужно совершить, чтобы, не нарушая состояния сверхпроводимости, удалить витки на большое расстояние друг от друга?



3А. Двухпроводная линия состоит из прямолинейного провода круглого сечения радиуса r , расположенного параллельно ребру двугранного угла, образованного двумя взаимно перпендикулярными проводящими плоскостями. Считая $r/a \ll 1$, найти погонную ёмкость такой линии.



4А. Катушка с индуктивностью $L = 1$ Гн в момент времени $t = 0$ замыкается на источник постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 10$ В и внутренним сопротивлением $R = 1$ Ом. Определите максимальное значение полного потока вектора Пойнтинга, втекающего в катушку, а также момент времени τ , когда достигается это максимальное значение. Сопротивлением катушки и соединительных проводов пренебречь.



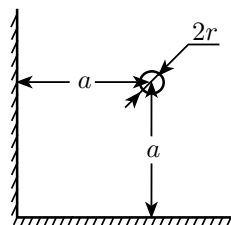
5А. Колебательный контур с добротностью $Q = 40$, настроенный на частоту $\omega_0 = 2\pi f_0 = 2,5 \cdot 10^4$ с $^{-1}$, используется в схеме недовозбуждённого лампового генератора (см. рис.). Крутизна линейной части анодно-сеточной характеристики лампы $S = 2 \cdot 10^{-3}$ А/В. Коэффициент взаимной индукции между катушкой колебательного контура и катушкой обратной связи $M = -4 \cdot 10^{-4}$ Гн. Определите в этих условиях эквивалентную добротность Q^* колебательного контура с учётом влияния цепи обратной связи.

2004/2005 учебный год. Вариант Б

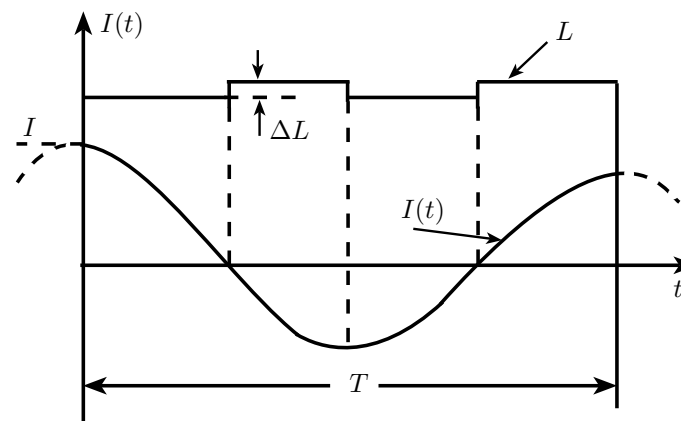
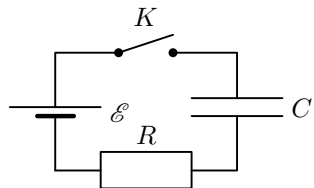
1Б. Свободная частица с зарядом q массой m совершает равномерное круговое движение в поле неподвижного «точечного» электрического диполя с дипольным моментом p . Расстояние от диполя до частицы равно r . Найдите угловую скорость вращения частицы.

2Б. Два шарика радиуса R , один из которых сверхпроводящий, а второй немагнитный хорошо проводящий, помещены в однородное магнитное поле B . Шарiki расположены вдоль линии, перпендикулярной направлению поля, на расстоянии $l \gg R$. Поле практически мгновенно увеличивается в полтора раза за время много меньшее времени затухания тока в хорошо проводящем шарике. Определите силу взаимодействия шариков до и сразу после изменения поля.

3Б. Двухпроводная линия состоит из прямолинейного провода круглого сечения радиуса r , расположенного параллельно ребру двугранного угла, образованного двумя взаимно перпендикулярными сверхпроводящими плоскостями, на одинаковых расстояниях a от его граней (см. рис.). Считая $r/a \ll 1$, найти погонную индуктивность такой линии.



4Б. В схеме, изображённой на рисунке, ЭДС батареи $\mathcal{E} = 12$ В, сопротивление резистора $R = 3 \cdot 10^3$ Ом, ёмкость конденсатора $C = 10$ мкФ. В момент времени $t = 0$ ключ K замыкается. Определите максимальное значение полного потока вектора Пойнтинга, втекающего в конденсатор, а также момент времени τ , когда достигается это максимальное значение.



5Б. В колебательном контуре с добротностью $Q = 32$ возбуждены собственные колебания. График зависимости тока $I(t)$ в контуре от времени на интервале одного периода показан на рисунке. Чему будет равна эквивалентная добротность Q^* колебательного контура, если его индуктивность периодически в такт с колебаниями тока скачкообразно изменять так, как показано на рисунке. Относительное изменение индуктивности $\frac{\Delta L}{L} = 0,05$.

Указание: используйте энергетическое определение добротности.

2005/2006 учебный год. Вариант А

1А. Зазор между обкладками плоского конденсатора площадью S с зарядом Q заполнен веществом, диэлектрическая проницаемость которого изменяется в перпендикулярном к обкладкам направлении по закону:

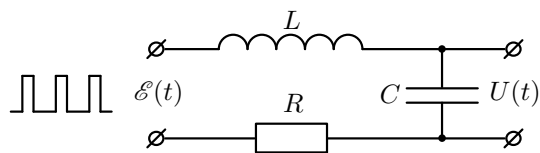
$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_0}{1 + \frac{x^2}{d^2}},$$

где x — расстояние до положительно заряженной пластины, d — расстояние между пластинами. Найдите:

- 1) зависимость объёмной плотности поляризованного заряда от x ,
- 2) суммарный объёмный поляризованный заряд,
- 3) суммарный поверхностный поляризованный заряд у каждой из пластин.

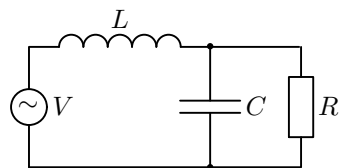
2А. Сфера радиуса R и толщины $h \ll R$ из слабо проводящего материала с удельным сопротивлением ρ помещена во внешнее однородное магнитное поле, меняющееся во времени по закону $B(t) = B_0 \cos \omega t$. Найдите отличие магнитного поля в центре сферы от внешнего поля $B(t)$.

3А. Вынужденные колебания в контуре L, C, R с большой добротностью $Q = 100$ возбуждаются периодической последовательностью прямоугольных импульсов $\mathcal{E}(t)$ (длительность импульсов τ , период следования импульсов $T = 3\tau$). Каково отношение амплитуд первой и второй гармоники входного $\mathcal{E}(t)$ и выходного $U(t)$ сигналов, если резонансная частота контура $\omega_p = \frac{2\pi}{T}$?



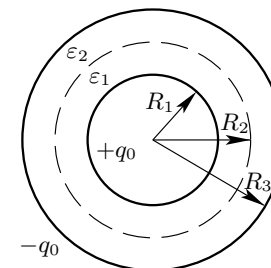
4А. Определить дебаевский радиус экранирования в идеальной неизолированной плазме ($e^2 n_\alpha^{1/3} \ll kT_\alpha$, $\alpha = e, i$; $T_e \gg T_i$). $T_e = 11600$ К, $T_i = 500$ К, $n = 10^{16}$ м $^{-3}$.

5А. В изображённой на рисунке электрической цепи L — индуктивность катушки, C — ёмкость конденсатора, R — сопротивление нагрузки, V — источник гармонического напряжения частоты ω . Найдите зависимость амплитуды тока через сопротивление R от частоты. При какой частоте ω ток через нагрузку не зависит от величины R (т. е. рассматриваемая схема представляет собой простейший стабилизатор переменного тока частоты ω).

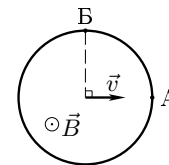


2005/2006 учебный год. Вариант Б

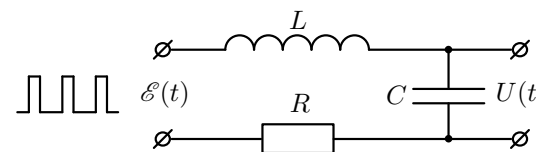
1Б. Заряд сферического конденсатора с двухслойным диэлектриком ($\varepsilon_1 > \varepsilon_2$) равен q_0 (положительно заряжен внутренний электрод). Определить: 1) величину и знак поверхностных поляризационных зарядов на всех поверхностях диэлектрика ($r = R_1, R_2, R_3$), 2) величину объёмного поляризационного заряда в диэлектрике, 3) разность потенциалов между обкладками.



2Б. Металлический незаряженный шар радиуса R движется с постоянной скоростью v перпендикулярно линиям однородного магнитного поля B . Найдите электрическое поле внутри шара, распределение плотности заряда на его поверхности и разность потенциалов между точками А и Б.



3Б. Вынужденные колебания в контуре L, C, R с большой добротностью $Q = 100$ возбуждаются периодической последовательностью прямоугольных импульсов. Отношение длительности импульсов к периоду их следования $\frac{\tau}{T} = \frac{1}{2}$. Резонансная частота контура $\omega_p = \frac{2\pi}{T}$. Как изменится отношение амплитуд первой и третьей гармоники выходного сигнала $U(t)$ (напряжения на конденсаторе) при уменьшении ёмкости конденсатора в девять раз?



4Б. Оценить число частиц, экранирующих заряд в идеальной неизолированной плазме ($e^2 n_\alpha^{1/3} \ll kT_\alpha$, $\alpha = e, i$; $T_i \gg T_e$). $T_e = 11600$ К, $T_i = 116000$ К, $n = 10^{16}$ м $^{-3}$.

5Б. Некоторому классу генераторов СВЧ соответствует эквивалентная схема, приведённая на рисунке, где R_0 — резистор с отрицательным сопротивлением. Найдите предельное значение этого сопротивления, при котором в контуре возникнет генерация. Параметры элементов схемы: ёмкость $C = 80$ пФ, индуктивность $L = 2,5$ мкГн, сопротивление нагрузки $R_H = 120$ Ом.

