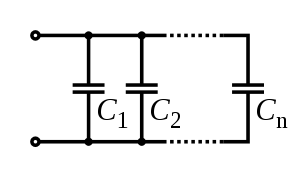
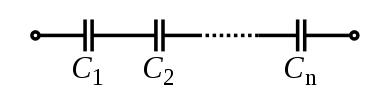
# Семинар 1

**Последовательно вводим необходимые понятия: U, I, R, C, L, E.**

1. **Найти емкость последовательно и параллельно соединенных конденсаторов и катушек (достаточно двух соединенных).**



Для последовательного включения знаем, что заряды на каждом из конденсаторов одинаковые, следовательно, падение напряжения на всей схеме выражается следующим образом:

При параллельном включении одинаковыми будут напряжения на каждом из конденсаторов, заряд же на каждом из конденсаторов свой, причем эти заряды складываются. Отсюда

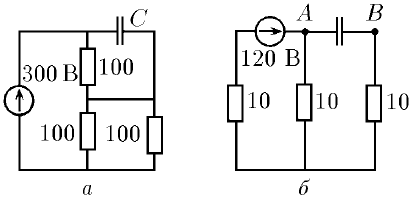
1. **Сравнить резистивный и емкостной делители.**

Делитель напряжения – устройство, в котором входное и выходное напряжение связаны коэффициентом передачи .



Для резистивного делителя ток через резисторы течет одинаковый, следовательно:

1. **Схемы цепей постоянного тока с резисторами, конденсаторами и источниками постоянной ЭДС даны на рисунке. Найти: а) заряд конденсатора емкостью 4 мкФ; б) напряжение между точками А и В.**



В схеме (*а*) конденсатор можно рассматривать как разрыв цепи, следовательно, такая схема эквивалентна схеме



На резисторе 1 напряжение

На конденсаторе, как нетрудно понять, напряжение будет таким-же. Отсюда заряд на конденсаторе:

1. **Пояснить смысл схем**

*а*)  *б*) 

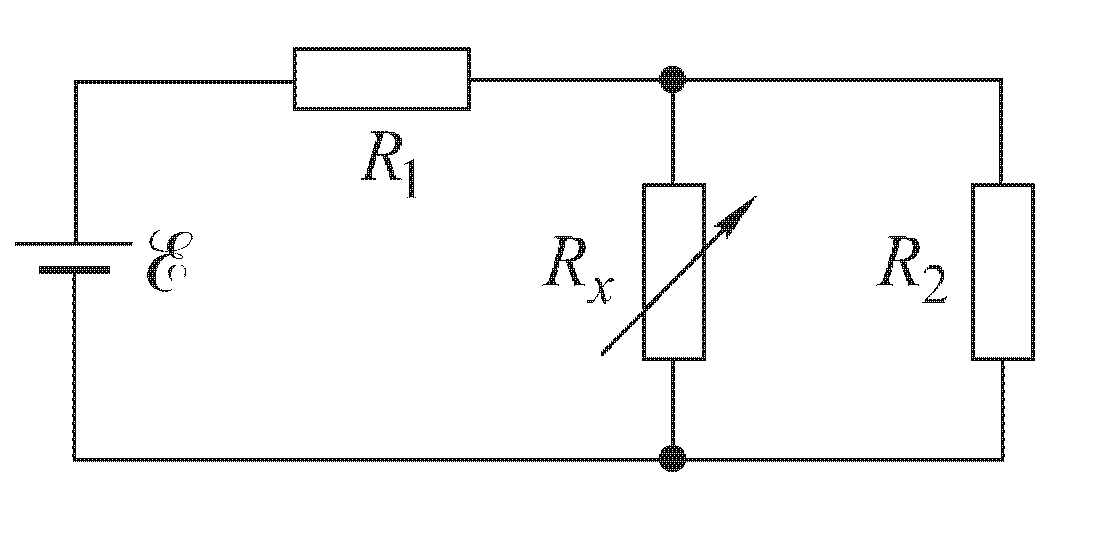
*в*)  *г*) 

*д*)  *е*) 

1. **При каком соотношении внутреннего сопротивления и сопротивления нагрузки на нагрузке выделается максимальная мощность?**
2. **Найти ток и напряжение на нагрузке *R*н. *E*1 = 10 В, *E*2 = 30 В, *r*1 = 2 Ом, *r*2= 3 Ом, *R*н*=*4.8Ом.**



1. **Батарея с ЭДС , сопротивление и параллельно соединённые между собой сопротивления и составляют замкнутую цепь. При каком значении мощность, рассеиваемая на нём, не будет зависеть от малых изменений этого сопротивления?**



1. **Оценить сопротивление электрочайника.**
2. **Оценить скорость упорядоченного движения электронов в медном проводе.**

# Семинар 2

1. **В приведенных схемах найти токи через реактивные элементы и напряжения на них. Источники тока и напряжения включаются в нулевой момент времени. Изначально конденсаторы разряжены, через катушки индуктивности токов нет. *Внимание*: некоторые из схем некорректны, объяснить почему. Что будет, если в каждую из схем добавить сопротивление (для схем и источником ЭДС – последовательно, с источником тока - параллельно)?**



Для схемы (а) ток через конденсатор

.

Так как напряжение включается мгновенно, то ток формально бесконечно большой; такая схема является некорректной. Если в такую схему добавить резистор, то он ограничит величину начального тока, и схема станет корректной. Рассчитаем ее:

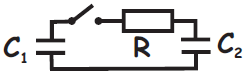
Продифференцируем это уравнение по времени. Поскольку , то ,

Решение этого дифференциального уравнения имеет вид

константа , поскольку при переходных процессах напряжение на емкости не изменяется, а изначально оно было равно нулю.



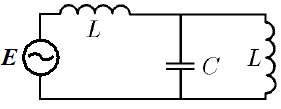
1. **Рассмотреть разрядку изначально заряженного до напряжения  конденсатора  на конденсаторе . Какая часть энергии выделится в виде тепла на резисторе *R*?**



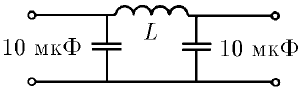
# Семинар 3

**Напоминаем про импеданс и комплексные числа.**

1. **К цепи, состоящей из конденсатора и катушек индуктивности, подключили источник переменной ЭДС, как показано на рисунке. Найти ток, текущий в цепи.**



1. **Подберите величину индуктивности катушки так, чтобы амплитуда напряжения на выходе изображенного на рисунке фильтра при частоте 100 Гц была в 10 раз меньше амплитуды на входе.**



1. **Рассмотреть последовательный колебательный контур. Познакомить студентов с Лоренцевским контуром.**
2. **К последовательному колебательному контуру подключили нагрузку как показано на рисунке. Найти резонансную частоту в этом случае, оценить ее абсолютный и относительный сдвиг.**



При резонансной частоте мнимая часть импеданса должна обращаться в ноль:

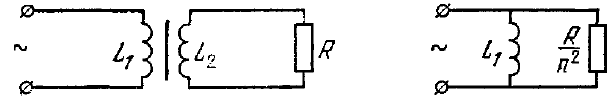
При где

1. **Какое напряжение в розетке?**

# Семинар 4

**Напомним про ЭДС индукции.**

1. **Найти ЭДС простейшего генератора – квадратная рамка вращается в постоянном магнитном поле.**
2. **К вторичной обмотке трансформатора подключено сопротивление , к первичной — генератор синусоидального напряжения. Найти ток в первичной обмотке, если коэффициенты самоиндукции обмоток  и , потоками рассеяния и сопротивлениями обмоток пренебречь.  
   *Подсказка*: должна получиться следующая эквивалентная схема:**



1. **На 50 Гц рассчитать глубину скин-слоя для меди, железа и алюминия. Медь , алюминий , железо . Сравнить, что будет на частоте 10 кГц.**

Система уравнений Максвелла и материальные уравнения среды в СИ имеют вид

, ,

, ,

, ,.

Выведем формулу для глубины скин-слоя. В квазистационарном приближении

В случае гармонической зависимости от времени переходим к комплексным амплитудам:

Медь , .

Алюминий , .

Железо () .

1. **Найти среднюю за период мощность, выделяющуюся в бесконечно глубоком столбике единичной площади.**

Средняя по времени мощность, выделяемая в объеме

Средняя за период мощность, выделяющуюся в бесконечно глубоком столбике единичной площади

**Вывод**: при переменном напряжении сопротивление проводника возрастает – ток идет только в приповерхностном слое, и эффективная площадь сечения уменьшается. Попытка использовать материал с большей проводимостью успешна только частично – из-за дальнейшего уменьшения эффективной площади сечения (глубина скин-слоя уменьшается с ростом ) проводимость проводника пропорциональна не , а .

# Семинар 5

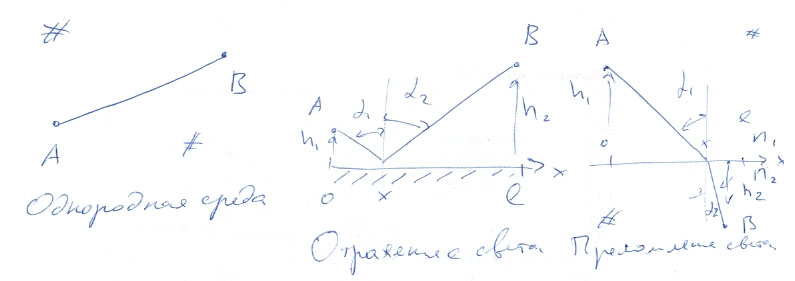
**Напомним про волновую оптику, поляризацию света и граничные условия.**

1. **Вывести закон Малюса.**
2. **Используя граничные условия найти коэффициент отражения света от границы раздела двух сред для нормального падения света.**
3. **Прием задач (второй урок полностью).**

# Семинар 6

**Напомним законы геометрической оптики.**

1. **Вывести законы геометрической оптики из принципа Ферма. (если мало времени, то пропустить отражение)**



Пусть луч света выходит из точки A и приходит в точку B. Найдем из принципа Ферма законы движения луча. Запишем время движения

**Для однородной среды**

где – полная длина пути. Очевидно, что минимальная длина у кратчайшего пути – прямой линии, соединяющей точки A и B.

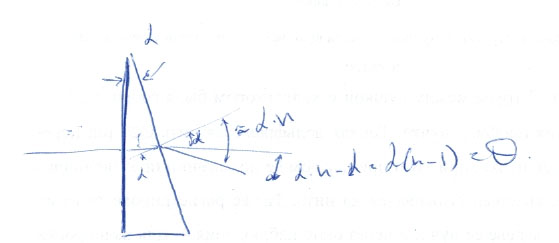
**Для случая отражения** представим время движения как сумму времен в пути до отражения и после. Как уже доказали, на этих этапах луч движется по прямой. Введем обозначения как показано на рисунке.

Условие минимума времени тогда запишется как

Угол падения равен углу отражения, как и следовало ожидать.

**Для преломления** поступаем аналогично:

1. **Найти какой угловой размер будет у тонкого белого пучка света после прохождения стеклянной призмы.**



Исходя из рисунка, при малых углах падения и малой величине угол преломления призмы

Отсюда можно для малого диапазона длин падающих на линзу волн оценить разброс углов преломления

Видимый свет имеет диапазон от 380 нм до 780 нм, следовательно, нм. Также положим . Величина показателя преломления находится в диапазоне от 1.4 до 2 для видимого света для разных типов стекол, причем падает при увеличении длины волны. В оптическом диапазоне n меняется примерно на 0.02-0.04 для разных типов стекл. Отсюда оценим

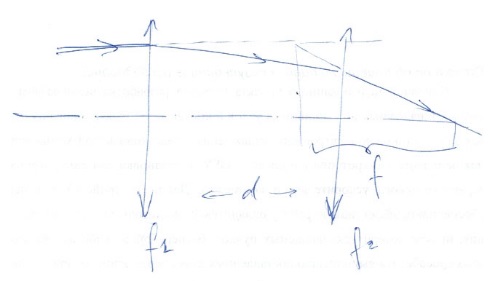
Окончательно получаем

1. **Найти фокусное расстояние плоско-выпуклой линзы.**
2. **Прием задач (второй урок полностью).**

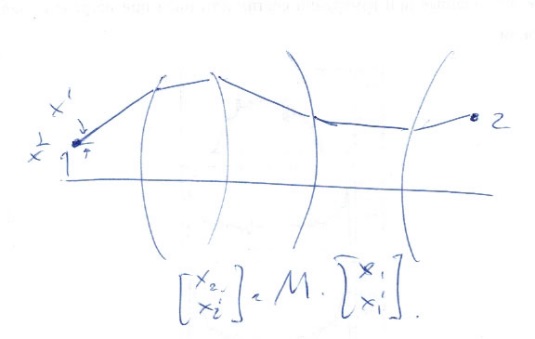
# Семинар 7

**Вспомним ход лучей и построение изображения в тонкой линзе.**

1. **Найти фокусное расстояние дуплета тонких линз.**



Часто путь луча света, а именно связь его начального и конечного положений можно описать при помощи матрицы. Это возможно, когда известна какая-либо “опорная” траектория луча, и известно, что луч мало отклоняется от этой опорной траектории (на небольшие расстояния, имеет малые углы наклона к ней). Простейшей и наиболее распространенной системой, его движение описывается подобным образом, является система, состоящая из линз, поверхности которых обладают симметрией вращения (аксиальной симметрией), а оси всех линз совпадают. Получается аксиально-симметричная система; опорная траектория в такой системе совпадает с ее осью. Очевидно, что если начальное направление луча целиком лежит в плоскости, образованной начальной точкой и направлением вдоль оси, то и в дальнейшем луч будет лежать в этой плоскости. В таком случае можно использовать величины – отклонение луча от оси, и – наклон луча к оси.



Можно найти матрицу для сферической границы, для толстой линзы и т.д. Для тонкой линзы c фокусным расстоянием матрица имеет вид

Для пустого промежутка размером :

**Важно**:

а) Если последовательно размещены несколько оптических элементов, то матрица такой системы есть произведение матриц элементов (в обратном порядке).

б) Фокусное расстояние системы

Отсюда фокусное расстояние дуплета находим, записав матрицу дуплета как

**Напомним про сложение двух монохроматических волн.**

1. **Найти распределение интенсивности света на экране в опыте с зеркалом Ллойда**



Пусть источник расположен на расстоянии от экрана и на расстоянии – от зеркала. Свет, отраженный от зеркала, можно представить как исходящий от мнимого источника . Направим ось вдоль экрана, точку ноль выберем на пересечении экрана и зеркала. Тогда разность фаз лучей от реального и мнимого источников будет равна

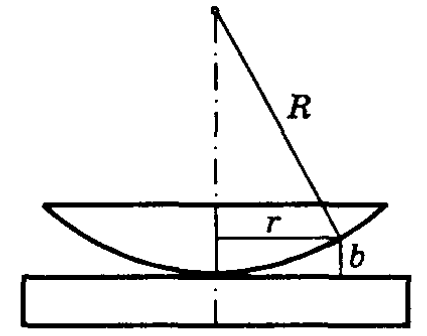
Дополнительная добавка возникает при отражении

1. **Определить показатель преломления стекла, если интерференционные полосы в схеме Юнга смещаются на величину при помещении стеклянной пластинки толщиной перед одной из щелей установки.**
2. **В схеме Юнга используется не один, а два источника, расположенных симметрично по обе стороны от оси на расстоянии друг от друга. Найти, как зависит видность интерференционной картины от расстояния .**

# Семинар 8

1. **Немонохроматический источник в схеме с зеркалом Ллойда. ( Если мало времени, то две близкие монохроматические линии, вместо сплошного спектра).**
2. **Найти коэффициент пропускания света плоскопараллельной стеклянной пластинки.**
3. **Кольца Ньютона**

Это кольцевидные полосы равной толщины, наблюдаемые при отражении света от поверхностей зазора между стеклянной пластинкой и соприкасающейся с ней выпуклой линзой. Волна, отраженная от верхней поверхности линзы, в силу небольшой длины когерентности обычных источников, некогерентна с волнами, отраженными от поверхностей зазора, и участия в образовании интерференционной картины не принимает.



Найдем радиусы темных колец. Они возникают там, где оптическая разность хода волн, отраженных от обоих поверхностей зазора, равна нечетному числу полуволн:

Согласно теореме Пифагора

Отсюда радиусы темных колец

Заметим, что значению соответствует граница центрального темного пятна.

**Расскажем про дифракцию, принцип Гюйгенса, дифракционная расходимость пучка.**

1. **Пусть лазер с длиной волны 500 нм светит с Земли на Луну. Каков будет минимальный размер пятна на Луне, если начальный размер лазерного пятна равен 1 см?**

Характерный угол дифракционной расходимости

здесь – начальный размер лазерного пятна. Отсюда размер пятна на Луне:

Для того, чтобы уменьшить размер пятна на Луне, необходимо увеличивать начальный размер! Можно использовать такую схему:



# Семинар 9

**Расскажем про интеграф Кирхгофа, дифракцию Френеля и Фраунгофера.**

1. **Круглое отверстие в непрозрачном экране освещается точечным источником, расположенным на оси отверстия на расстоянии от экрана. Точка наблюдения расположена также на оси отверстия на расстоянии за экраном. Найти, при каком радиусе отверстия интенсивность света в точке наблюдения будет минимальной, а при каком – максимальной.**

Максимальная интенсивность будет, когда открыта только первая зона Френеля, т.е. когда разница между минимальным и максимальным путями лучей света составит . Имеем

Отсюда радиус первой зоны Френеля

Именно при таком радиусе отверстия интенсивность света в точке наблюдения будет максимальной и будет в 4 раза превышать интенсивность света в этой точке без экрана.

Радиус m-ой зоны Френеля

Как нетрудно заметить, все зоны Френеля имеют одинаковую площадь.

1. **Найти угловое распределение интенсивности волны, дифрагирующей на плоской щели (дифракция Фраунгофера).**
2. **Оценить влияние дифракционного предела на максимальный объем информации, который может быть записан на CD, DVD и Blu-Ray дисках.**

# Семинар 10

1. **Найти угловое распределение интенсивности волны, дифрагирующей на дифракционной решетке.**
2. **Могут ли перекрываться спектры 1-го и 2-го порядков дифракционной решетки при освещении ее видимым светом ()?**
3. **Прием задач (второй урок полностью).**

# Семинар 11

1. **Определить красную границу фотоэффекта для меди. б) Найти максимальную скорость электронов, вылетающих из медной пластины, если её освещают светом с длиной волны 150 нм (ультрафиолетовое излучение). в) Оценить фототок с 1 см2 пластины, если интенсивность света равна 1 кВт/м2 (примерно столько энергии поступает с солнечным светом на Землю от Солнца на экваторе); считать, что всё падающее излучение поглощается медной пластинкой. Работа выхода электронов из меди равна 4,4 эВ. Квантовый выход электронов из меди для излучения с длиной волны 150 нм составляет Y≈5\*10-3 электронов/фотон.**
2. **Оцените температуру на поверхности Солнца, зная угловой размер Солнца — 32' и среднюю температуру на Земле — 10°С, считая Землю абсолютно чёрным телом. Вычислите на какую длину волны приходится максимум солнечного излучения. Какой это цвет?**

**Решение:**

Обозначим радиус Солнца *R*C, а расстояние до Солнца за *L.*

Полная мощность излучения Солнца (всей его поверхностью) по закону Стефана-Больцмана равна:



Эта мощность излучается изотропно в полный телесный угол 4π. На Землю приходится лишь её часть, которую можно найти, вычислив отношение телесного угла , под которым видна наша планета с Солнца, к полному телесному углу :

.

Таким образом, на Землю поступает мощность:

 (1)

В то же время чтобы быть в термодинамическом равновесии, Земля излучает ровно столько же, сколько поглощает. По закону Стефана-Больцмана:

 (2)

Приравнивая (1) и (2), получим:



Но неизвестное отношение  есть не что иное, как величина, обратная угловому размеру Солнца!



Окончательно получим:



Согласно закону Вина максимум излучения Солнца приходится на длину волны:

 — зелёный свет.

1. **Прием задач (второй урок полностью).**

# Семинар 12

1. **Какую разность потенциалов прошёл электронный пучок, если известно, что под углом 0,57° к поверхности кристаллического кремния наблюдается дифракционный максимум первого порядка. Известно, что межплоскостное расстояние в кристалле кремния (поверхности 111) равно 0,312 нм.**

**Решение:**

Проходя разность потенциалов, по закону сохранения энергии электрон приобретает импульс: 

Тогда длина волны де Бройля электрона равна:  (1)

Из условия Вульфа-Брэгга:  (2)

Приравнивая (1) и (2), получим: 

Выражая напряжение *U*, получим: 

1. **Оцените энергию основного состояния частицы в следующих потенциалах: а) бесконечная прямоугольная яма шириной a; б) параболическая яма mω2x2/2; в) кулоновский потенциал –e2/r.**

**Решение:**

а) неопределённость по координате в такой яме порядка *a*. Тогда неопределённость в импульсе имеет порядок:

Энергия частицы связана с импульсом соотношением:

*U*

*x*

*a/2*

*–a/2*

*E*0

*0*

*a*



Энергию основного состояния можно оценить, как:



1. **Пользуясь правилом квантования Бора-Зоммерфельда найти уровни энергии гармонического осциллятора.**
2. **Найти уровни энергии и построить соответствующие волновые функции в одномерной прямоугольной бесконечной потенциальной яме шириной *a*.**

**Решение:**

Запишем уравнение Шрёдингера:

*U*

*x*

*a*

*0*



Здесь потенциал имеет вид:



Можно условно разбить ось *x* на три области и решать уравнение Шрёдингера в каждой области отдельно.

I. При  равнение Шрёдингера имеет вид:



Это дифференциально уравнение описывает гармонические колебания, поэтому решение будет иметь вид:



Обозначим  — импульс частицы.



II. Заметим, что области *x>a*  и  недоступны, частица не может находиться под бесконечным барьером, поэтому .

Волновая функция обладает свойством непрерывности, поэтому потребуем, чтобы:





Решая эти уравнения, приходим к выводу, что:



, где

Импульс может принимать лишь дискретные значения где

Отсюда, получаем, что , а энергия, отвечающая *n*-ому состоянию равна:

В основном состоянии (*n* = 1) в яме укладывается полволны синуса, в первом возбуждённом (*n* = 2) — две полуволны и т.д.

Неопределённой пока осталась лишь константа *A*. Оказывается её можно определить из нормировки. Так как волновая функция — это амплитуда плотности вероятности, а вероятность обнаружить частицу хоть где-то, очевидно, равна 1:

Следовательно,  (амплитуда определена, фаза произвольна, волновую функцию всегда можно умножить на произвольную фазу). Волновая функция равна:

*U*

*x*

*a*

*0*

*E*1

*E*2

*E*3



# Семинар 13

1. **Найти уровни энергии и построить соответствующие волновые функции в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной *a* и глубиной –*U*0.**

*x*

*a/2*

*–a/2*

*–U0*

*U*

1. **Найти среднюю координату и наиболее вероятную координату частицы, состояние которой описывается волновой функцией:**



1. **(Если есть время) Найти среднюю кинетическую энергию частицы массой *m* в одномерной прямоугольной потенциальной с бесконечно высокими стенками (*0<x<a*), если частица находится в состояниях, описываемых волновыми функциями:  
   а) ; б)  (Одно на выбор)**
2. **В одномерном потенциальном поле *U(x)*, таком, что *U(x)=0* при , находится частица в стационарном состоянии, описываемом волновой функцией  . Найти вид функции *U(x)* и константу *A*.**

**Решение:**

Определим вид функции *U(x),* подставив волновую функцию в уравнение Шрёдингера:





Подставляя в уравнение Шрёдингера, получим:

.

Сократив на  и выразив , получим:



По условию:

, следовательно , а



Константу *А* определим из нормировки:

, следовательно:

 (в принципе фаза может быть любой)

# Семинар 14

1. **Найти коэффициент отражения частицы с энергией *E* на барьере высотой *U*0*<E*.**

**Решение:**

*x*

*0*

*U0*

*U*

*E*

Запишем уравнение Шрёдингера:



Здесь потенциал имеет вид:



Таким образом, волновая функция имеет вид:

,

Где , .

Выпишем условия непрерывности волновой функции и её производной на границах барьера, т.е. при *x = 0*:



Решая систему двух линейных алгебраических уравнений:

,  (как формулы Френеля для нормального падения в оптике).

Коэффициент отражения равен отношению тока вероятности отражённой волны к току вероятности падающей:

 — коэффициент надбарьерного отражения.

1. **Найти коэффициент туннелирования частицы с энергией *E* сквозь барьер высотой *U*0*>E* и шириной *a*.**

*x*

*a*

*0*

*U0*

*U*

*E*

1. **Пользуясь формулой для нахождения коэффициента туннелирования , где *a*, *b* — классические точки поворота для потенциального барьера, найти вероятность прохождения электрона с энергией *E* сквозь потенциальный треугольной формы высотой *U*0 и шириной *d* (см. рисунок), если *U*0 = 3 эВ, *d* = 1 нм, а энергия электрона равна: а) *E*= 1 эВ, б) *E*= 2 эВ.**

*x*

*d*

*0*

*U0*

*U*

*E*

# Семинар 15

1. **Прием задач (пара полностью).**