**Межрегиональная** **олимпиада школьников на базе ведомственных**

**образовательных учреждений (2023 г.)**

**Физика. 11 класс**

Вариант 1

*Задача 1.* В настоящее время широко применяются метаматериалы, позволяющие создавать среды с совершенно новыми свойствами, в том числе с отрицательным показателем преломления. На рис. изображен ход лучей от точечного источника S, расположенного на верхней поверхности плоскопараллельной пластинки толщиной d с показателем преломления n2>1, находящейся в среде с показателем преломления n1=1. Теперь представим, что пластинка изготовлена из метаматериала с отрицательным показателем преломления n2 = -1. Изобразите для этого случая ход лучей от источника через пластинку. Где в этом случае будет находиться изображение источника S’? Будет оно действительным или мнимым? Примечание: углы падения α и преломления β отсчитываются от нормали, стрелочками указано положительное направление отсчета (см. рисунок). Пунктиром показана нормаль к поверхности.

Решение.

Изобразим ход лучей в пластинке с учетом направления отсчета углов падения и преломления:



Ответ: Получили действительное изображение на расстоянии d, равном толщине пластинки.

*Задача 2.* Равномерно заряженную по поверхности до заряда q сферу радиуса R разделили по диаметру на две одинаковых части, которые, из-за взаимодействия зарядов, стали отталкиваться. Найдите силу, которую необходимо приложить к каждой половине, чтобы компенсировать внутреннее давление, которое возникает из-за взаимодействия зарядов?

Решение.

Подcчитаем работу, которую нужно выполнить, чтобы (мысленно) уменьшить на малую величину объем сферы, и результат, применяя закон сохранения энергии, сравним с изменением потенциальной энергии сферы.

Если искомое давление равно *p*, то, чтобы сжать сферу на маленький объем *V* (со всех сторон равномерно), нужно выполнить работу

*A = pV = 4πp[]/3 4πpR,*

*где R –* изменение радиуса сферы.

При этом потенциальная энергия заряда на сфере изменится на величину

 *= .*

Тогда из равенства = находим, что

p = .

Теперь найдем силу F.

Пусть полусферы разошлись на столь малое расстояние , что ни давление,

ни распределение зарядов на них не изменились.



При этом за счет взаимодействия зарядов произведена работа = р = *pπx* (cм. рис. а). Эту же работу можно подсчитать по формуле = F, где F — искомая сила отталкивания полусфер. Следовательно, с учетом соотношения

F = *π = .*

Ответ: F *=*

*Задача 3.* Вертолет к-52 «Аллигатор» теплым летним днем поднимается вертикально вверх со скоростью 0,2 м/с.Диаметр винта вертолета 14,7 м. Суммарная мощность двигателей 3500 л.с. Какова масса вертолета? Универсальная газовая постоянная *R*= 8,3 Дж·К⁻¹·моль⁻¹, температура воздуха 3о С.

Решение.

Ведем обозначения: *M -*  масса вертолета, *u* – скорость подъема, *v* - скорость потока воздуха от винта, *ρ* – плотность воздуха, *d* – диаметр винта, *P*o – полезная мощность двигателя в том случае, когда вертолет зависает над землей. Она же – мощность воздушного потока под винтом. Будем считать, что весь воздух отбрасывается винтом вниз.

При подъеме со скоростью *u* и силе тяги двигателей *F* мощность увеличивается на величину *Fu*. Полная мощность

 . (1)

Сила тяги *F* = *Mg*. Такая же сила действует со стороны винта на воздух. Найдем *P*o. Запишем второй закон Ньютона в виде

 (2)

где *m* – масса воздуха, отбрасываемого винтом за время ∆*t*.

  (3)

где - площадь поперечного сечения воздушного потока. Из (2) и (3) получаем:

 *.*  (4)

Плотность воздуха можно найти из уравнения Менделеева - Клапейрона , в котором *μ* – молярная масса. (Для оценки можно использовать значение для азота, который составляет большую часть воздуха).

Мощность воздушного потока равна кинетической энергии массы *m*, деленой на время:

 . (5)

Из (2), (3) и (5) получаем:

 (6)

Таким образом, (7)

Из этого уравнения с учетом (4) можно в принципе вычислить *М*. Однако не трудно убедиться, что скорость воздушного потока (4) под винтом существенно больше скорости подъема вертолета, и при малых скоростях, второе слагаемое в (7) мало по сравнению с первым, и им можно пренебречь. Таким образом для оценки получаем:

В формулах (2) и (3) предполагается, что масса отбрасываемого винтом воздуха и его скорость постоянны по поперечному сечению. В действительности это не так, и сила тяги зависит от *d* сильнее. Поэтому мы полученная формула дает несколько заниженное значение.

Ответ:

*Задача 4.* Параллельный пучок света малого диаметра и пространственной протяженности *l*, двигавшийся параллельно главной оптической оси, проходит через тонкую собирающую линзу, отражается от расположенного вплотную к линзе плоского зеркала и снова проходит через линзу. Отношение расстояния между оптическим центром линзы и точкой падения на нее светового пучка к фокусному расстоянию линзы равно *k*. Коэффициент отражения света от поверхности зеркала равен единице, от поверхностей линзы – нулю; оптическое стекло, из которого изготовлена линза, поглощает часть энергии проходящего через него света, равную η. Энергия светового пучка до падения на линзу равна *W*. Найти величину средней силы *N*ср, действующей на линзу при прохождении через нее пучка света.

Решение.

Отраженный от зеркала и затем прошедший вторично через линзу пучок света составляет с главной оптической осью угол θ такой, что tgθ = *kF*/( *F*/2)= 2*k*, где через *F* обозначено фокусное расстояние линзы.

При прохождении через линзу приращение импульса фотонов светового пучка составит величину:

Δ**p** = **p**2 – **p**1,

где *p*1 = *W*/*c*, *p*2 = (1 – η)*W*/*c*, здесь *c* – скорость света. Дальнейшее решение предполагает, что линза с зеркалом представляют единое целое.

Модуль приращения импульса фотонов равен:



.

Средняя сила, действующая на фотоны за время прохождения света через линзу τ = *l*/*c*, равна:



.

Сила, действующая на линзу, равна по величине и противоположна по направлению силе, действующей на фотоны:

**N**ср  = – **N**ср фот .

Ответ: . Аналогично может быть рассмотрен случай отсутствия непосредственного контакта между зеркалом и линзой.

*Задача 5.* Бесконечный проводящий изолированный провод изогнули таким образом, что получился плоский фрактальный объект, часть которого изображена на рисунке. Фрактальный объект является бесконечным. Он был построен на основании квадрата со стороной a, у которого по углам были сформированы квадраты со стороной в k раз меньше, затем в их углах был сформирован еще один уровень квадратов со стороной в k раз меньше, чем у предыдущих и так далее до N – го уровня (N – очень большое натуральное число). Перпендикулярно плоскости объекта действует магнитное поле, магнитная индукция B которого в каждой точке изменяется по закону: , где – амплитуда, а 𝜔 – частота. Они заданы. Удельное сопротивление единицы длины проводника равно ρ. Найдите амплитуду тока в цепи данного объекта. При каких k задача будет иметь физическое решение?

Решение.

где R – сопротивление, а – скорость изменения магнитного потока.

Учитывая, что магнитное поле действует по оси перпендикулярной плоскости рисунка для токов текущих по сторонам квадратов можно получить схему, представленную на рисунке 2. Отметим, что когда B будет направлена от нас, то направление токов измениться на противоположное.



Рис. 2. Часть проводящего бесконечного проводящего объекта.

Формально в квадратах каждого из уровней (I, II, III, IV, V и т.д.) будут течь свои токи II, III, IIII, IIV, IV и т.д., но в вершинах (например, A, C, D и E) сходятся токи разного направления, поэтому это необходимо учесть за счет вычитания. Если мы примем II за положительный ток, то Iобщ. будет равно:

Найдем правило вычисления токов II, III, IIII, IIV, IV и т.д. Рассмотрим, например, первый уровень.

За время Δt равное периоду T: . Таким образом амплитуда II будет равна: . Учитывая, что сторона квадрата на каждом следующем уровне уменьшается в k раз запишем:

Учитывая, что число уровней N является очень большим, то:

Таким образом, амплитуда тока будет равна:

Заряд Q, который протечет по цепи объекта за время T/2 будет равен:

Задача будет иметь физическое решение при k≥2

Ответ: , Задача будет иметь физическое решение при k≥2.