**Контрольное задание №2**

**Волны**

Уравнение волны

∂2u/∂t2 – v2∂2u/∂x2 =0 – дифференциальное волновое уравнение

упругих волн,

u = uocos(ωt – kx) – уравнение плоской волны,

u = (A/r1/2 )cos(ωt – **kr**) – уравнение цилиндрической волны,

u = (A/r)cos(ωt – **kr**) – уравнение сферической волны,

v2 = E/ρ - выражение для скорости упругих волн для тел стержнеобразной формы, Е – модуль Юнга, ρ - плотность среды или тела.

v2 = γRT⁄μo – выражение для скорости упругих волн в воздухе, γ = 1,4 – адиабатическая постоянная идеального газа, R = 8,31Дж/(К моль), Т – абсолютная температура газа, μo – 0,029 кг/моль – молярная масса газа.

ω=2πν, ν= 1/Т - частота упругих волн, к = v/ω - волновое число,

Т – период волнового движения, ωt – kx = ϕ - фаза волны.

Эффект Доплера

ν=νо(v + uпр)/(v – uист) – формула для эффекта Доплера для звуковых волн,ν - частота принимаемого сигнала, νо – испускаемого сигнала, uпр- скорость движения приемника, uист – скорость движения источника.

ν=νо(v + u)/(v – u) – формула для эффекта Доплера в гидроакустике, v – скорость звука в воде, u скорость движения объекта.

 ν=νо(с + v)1/2/(с - v)1/2 - формула для эффекта Доплера для электромагнитных волн, с – скорость света, v – скорость движения объекта.

 

Интенсивность и громкость звука

J = Р2/2ρv – интенсивность звука, Р – амплитуда звукового давления,v – скорость звука в среде, ρ - плотность среды.

L = 20 lg P/Pо = 10lgJ/Jо – уровень громкости звука в децибелах (дБ).

Ро =2.10-5 Па – порог слышимости человеческого уха, Jo = 10-12 Вт/м – порог слышимости человеческого уха по интенсивности.

Стоячие волны

uΣ = 2uocos(kx + ϕ/2)cosωt – уравнение стоячей волны для волны смещения частиц среды, РΣ = 2Рocos(kx + ϕ/2)cosωt – уравнение стоячей волны для волны избыточного давления, ϕ - неизвестная фаза отраженной волны, которая находится из граничных условий при х = 0.

**Интерференция волн**

d = λ/2n – толщина просветляющего слоя объектива фотоаппарата, толщина обмазки для получения условий, когда отсутствует отраженная электромагнитная волна от поверхности объекта, n – показатель преломления материала слоя или обмазки.

a =λL/b – ширина интерференционной полосы в опыте Юнга, с зеркалами и линзой Френеля, L – расстояние от отверстий до экрана, в – расстояние между отверстиями.

v=c/n – скорость света в среде с показателем преломления n,

L = nL\* - оптическая длина пути световой волны, L\* - геометрическая длина пути световой волны в среде,

Δ= 2dncosγ + λ/2 – оптическая разность хода световых волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей очень тонкого клина, показатель преломления материала которого равен n, d – толщина клина в точке падения лучей, γ- угол преломления. Так как γ=0 для тонкого клина, то Δ= 2dn + λ/2 .

Δ =±кλ, где к = 0,1,2,3….. – условие максимумов интенсивности света при интерференции,

Δ=±(2к+1)λ/2 – условие минимумов интенсивности света при интерференции.

Дифракция волн

вsinϕmin = ±kλ - условие минимума дифракции в дальней зоне, в – ширина (диаметр) отверстия, к – порядок дифракции,

вsinϕmax = ±(2k+1)λ/2 – условие максимума дифракции,

I = N2 Io – связь интенсивности излучения дифракционной (антенной) решетки с интенсивностью излучения от одного отверстия (излучателя)Io ,N – число штрихов (излучателей) на единицу длины.

R = Nm – разрешающая сила дифракционной (антенной) решетки, m – порядок дифракции.

dsinϕmax = ±mλ - условие для определения положения главных максимумов дифракции на дифракционной решетке,

dsinϕmin = ±(m + k/N)λ - условие для определения положения дополнительных минимумов дифракции на дифракционной решетке,

Угловая ширина диаграммы направленности равна 2ϕmin . Угловая ширина диаграммы направленности антенной решетки, состоящей из N излучателей или приемников на единицу длины примерно равна 2ϕmin = 2λ/dN= 2λ/L, где L – общая длина антенной решетки. Здесь мы положили m=0 и к=1, то есть взяли первый дополнительный минимум к основному максимуму.

**1. Уравнение волны**

Задача

Определите частоту волны, распространяющейся в упругой среде, если разность фаз двух точек, расположенных на расстоянии 12 см друг от друга равна π/4. Скорость распространения волны равна

1500 м/с.

**Пример решения**

ϕ2 - ϕ1 = π/4 ν = ω⁄2π = v/λ

х2 – х1 = 12 см = 0,12 м ϕ2 - ϕ1 = ωt – kx2 - ωt – kx1 = k(х2 – х1)= π/4

v = 1500 м/c Перепишем это равенство таким образом

 (2π⁄λ)(х2 – х1)=(2πv⁄ν) (х2 – х1)=π/4

ν = ? ν = 8v(х2 – х1) = 1500.0,12 = 180 Гц.

Ответ в герцах, так как все данные подставляли в системе СИ.

**2. Эффект Доплера**

**Задача**

 На шоссе две машины следуют одна за другой. Скорость первой машины 20 м/с, а скорость второй 35 м/с. Вторая машина подает сигнал на частоте 600 Гц. Какую частоту воспринимает водитель первой машины, если скорость звука в воздухе 340 м/с?

**Пример решения**

uпр = 20 м/c Формулы для эффекта Доплера приведены для

uист = 35 м/c случая, когда объект приближается к источнику или

νo = 600 Гц локатору. Поэтому скорость движения приемника

v = 340 м/c следует взять с обратным знаком.

ν = ? ν=νо(v - uпр)/(v – uист)= 600.320/305 = 630 Гц.

У задачи может быть и второй вариант решения.

Перейдем в систему отсчета, связанную с одним из движущихся объектов. Тогда

uпр = 0

uист = 15 м/с

ν=νо(v - uпр)/(v – uист)= 600.340/325= 628 Гц, то есть получаем примерно тот же ответ.

**3.Интенсивность и громкость звука**

**Задача**

 Определить уровень громкости звука в точке, удаленной от источника на 5 м, если мощность этого точечного источника 3 Вт. Порог слышимости человеческого уха 10-12 Вт/м2 .

**Пример решения**

r = 5 м Поскольку источник точечный, то он излучает

Jo = 10-12 Вт/м2 сферические волны. Тогда по определению

N = 3 Вт интенсивности звука J = N/4πr.

 L = 10 lgJ/Jo = 10 Lg N/4πrJo = 99,8 дБ.

L = ?

1. **Стоячие волны**

**Задача**

Нарисовать эпюры упругих стоячих волн первых двух мод в

железном стержне длиной 1 м, закрепленном с одной стороны. Определить частоты колебаний этих мод. Модуль Юнга материала стержня 200 Гпа, а его плотность 7870 кг/м3.

**Пример решения**

Стержень закреплен с двух сторон.

 Поэтому поперечные смещения на

uΣ **з**акрепленном конце нулевые, а на

 x свободном максимальные.

uΣ = 0 , uΣ = max .

x=0 x=L

uΣВоспользуемся первым граничным

 условиемдля амплитуды стоячей

 x волны

uΣ = 2uocos(kx + ϕ/2) = 0 при х = 0.

Следовательно cos(ϕ/2) = 0 , ϕ=π. Тогда уравнение стоячей волны будет выглядеть следующим образом

uΣ = 2uosinkxcosωt.

Воспользуемся вторым граничным условием

uΣ = 2uosinkx = max = 2uo при х=L или sin kL = ±1, kL = (2n+1)π/2.

Заменим волновое число на длину волны

 (2π/λ)L = (2n+1)π/2 или L =(2n+1)λ/4 n = 0,1,2…..

На рисунке приведены эпюры двух первых мод для n = 0 и n=1.

Заменим в последнем выражении длину волны на частоту, используя выражение v = λν. L =(2n+1)v/4ν. Тогда ν =(2n+1)v/4L

Ответ: ν1 = v/4L, ν2 =3v/4L.

**5.Интерференция волн**

**Задача**

На стеклянный клин падает нормально пучок света с длиной волны 0,582 мкм. Угол клина равен 20”. Какое число интерференционных полос приходится на единицу длины клина? Показатель преломления стекла 1,5.

**Пример решения**

λ = 0,582 мкм Разность хода световых волн, отраженных от

α = 20” верхней и нижней поверхностей стеклянного клина,

n = 1,5 равна Δ=2dncosγ +λ/2 . Запишем ее дважды для

L = 1 см= АВ луча, падающего в точку А и луча, падающего в

 k = ? точку В. Для условия

 максимума интерференции

 имеем:

 B Δ=2d2 ncosγ +λ/2 = k2λ

 A C Δ=2d1 ncosγ +λ/2 = k1λ

 α d1 d2 Вычтем одно из другого и учтем, что угол преломления практически равен нулю:

 2n(d2 - d1) =(k2-k2)λ

Требуется найти число интерференционных полос, приходящихся на единицу длины клина. Это (k2-k2)/L = 2n(d2 - d1)/λL= (2nsinα)/λ =

 =(2.1,55sin20”)/0,582.10-6 = 30678.

**6.Дифракция волн**

Задача

Рассчитать и нарисовать диаграмму направленности излучения рта диаметром 5 см на частотах 1000 и 15000 гц. Скорость звука в воздухе 340 м/с. Определить ширину диаграммы направленности излучения.

**Пример решения**в = 5 см Условие минимума излучения вsinϕmin =±kλ,

v = 340 м/с Условие максимума излучения вsinϕmах =±(2k+1)λ/2.

ν1 = 1000 Гц λ1 = v/ν1 = 34 см, λ2 = v/ν2 = 2,3 см

ν2 = 15000 Гц sinϕmin =±kλ1/b= ±k6,8, sinϕmin =±kλ2/b= ±k0,46,

 Для частоты 1000Гц минимумов не получено. Поскольку имеем дело с дифракцией в дальней зоне, то один максимум имеется всегда при ϕ=0. Этот максимум самый большой. Диаграмма направленности – это угловая зависимость интенсивности излучения или приема.

ϕ=π/2

Диаграмма направленности на

 частоте 1000 Гц (строится из

ϕ=0 плавных линий).

ϕ=−π/2

Рассчитаем диаграмму направленности для частоты 15000 Гц.

Для к = 1 ϕmin =±27o , для к =2 ϕmin =±67о , для к=3 sinϕmin >1, то есть больше минимумов не будет. Найдем максимумы из условия:

 sinϕmах =±(2k+1)λ2/2b= ±(2k+1)0,46/2.

Для к=1ϕmах =± 44о , для к=2 синус оказывается больше единицы. Следовательно больше максимумов не будет. Итак. Имеем три максимума (при ϕmах =0 и ± 44о ) и четыре минимума (ϕmin =± 27о,±67о ).

ϕ=π⁄2 min  max

 min

 max ϕ=0

 min max min

ϕ=−π⁄2

На рисунке с помощью плавных кривых по полученным данным построена диаграмма направленности излучения на частоте 15000 Гц.

Здесь мы учли, что максимум при ϕ=0о наибольший. Боковые же лепестки диаграммы направленности всегда поскромнее.

Ширина диаграммы направленности на частоте 1000 Гц (угловое расстояние между ближайшими минимумами) оказывается больше 180о , а ширина диаграммы направленности того же рта на частоте 15000 Гц оказывается равной 54о.

**7. Квантовая физика. Туннельный эффект**

D =exp{-2[2m(U – E)]1/2a/ħ} – коэффициент прохождения микрочастицей массой m, обладающей энергией Е, через прямоугольный потенциальный барьер высотой U и шириной а (вероятность обнаружения микрочастицы позади потенциального барьера).

ħ =h/2π, где h = 6,63.10-34 Дж/с – постоянная Планка.

D = W(x=a)/W(x=0) – коэффициент прохождения равен отношению вероятности обнаружения частицы позади потенциального барьера к вероятности ее обнаружения в начале барьера.

В физике элементарных частиц, атомного ядра и атомов в качестве энергетической единицы применяется электрон-вольт

1 эВ = 1,6.10-19 Дж.

**mp = 1,66.10-27 кг – масса протона, me = 9,11.10-31 кг – масса электрона.**

1. **Закон радиоактивного распада. Дефект массы атомного ядра**

Закон радиоактивного распада N = Noe-λt . No – число нераспавшихся ядер, N – число ядер распавшихся через интервал времени t.

Период полураспада – время, в течение которого распадется половина имеющихся ядер Т = ln2/λ, λ - постоянная распада, τ=1/λ - среднее время жизни радиоактивного ядра.

Дефект массы Δm = [Zmp +(A – Z)mn]- mя – разность суммы масс протонов mp и нейтронов mn и массы ядра. А – атомный номер элемента в таблице Д.И.Менделеева, Z - число протонов в ядре, А – Z – число нейтронов в ядре, ZХА – обозначение атомного ядра.

Есв =Δm c2 – энергия связи нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре.

mp = 1,6736.10-27 кг, mn =1,675.10-27 кг, 1а.е.м.= 1,66.10-27 кг .

1 эВ = 1,6.10-19 Дж.

Задача

Определите, во сколько раз начальное количество ядер радиоактивного изотопа уменьшится за три года, если за один год оно уменьшилось в 4 раза.

**Пример решения**

t1 = 1 год N1 = Noe-λt1 , N2 = Noe-λt2 .

t2 = 3 года No/N1 =e-λt1 = 4, λ=ln4/t1

No/N1 = 4 No/N2 =e-λt2 = eλt2 =e3ln4 = 64.

No/N2 = ?

1. **Квантовая теория атома водорода по модели Нильса Бора**

Em -Еn = hR(1/m2 – 1/n2) = hν - разность энергий между уровнями со значениями главного квантового числа m и n, h = 6,63.10-34 Дж.с – постоянная Планка, R = 3,29.1015 c-1 – постоянная Ридберга, ν - частота излучаемого или поглощаемого фотона.

Серия Бальмера располагается в видимой части спектра. Для нее

m = 2, n = m +1,m+2,m+3,….., серия Пашена m = 3, серия Лаймана m=1.

Задача

Определить энергию фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на второй

**Пример решения**Z = 1 E3 -Е2 = hR(1/m2 – 1/n2) = hR(1/22 – 1/32)/1,6.10-19 =1,89 эВ.

m=2 Поскольку 1 эВ = 1,6.10-19 Дж, то для получения ответа в

n = 3 электрон-вольтах результат разделили на 1,6.10-19 .

E3 -Е2 = ?

1. **Классическая статистика Больцмана и Максвелла**

n = noe-U/kT – распределение Больцмана (концентрации частиц в силовом поле), к =1,38.10-23 Дж/K – постоянная Больцмана, Т – абсолютная температура, в случае гравитационного поля U = mgz, а

no- концентрация молекул воздуха у поверхности земли при z = 0.

р=рoe-mgz/kT – барометрическая формула, рo - давление воздуха у поверхности земли.

ρ(v) = 4π(m/2πkT)3/2 v - распределение Максвелла по скоростям движения молекул идеального газа.

<v>= - средняя скорость движения молекул газа,

<vкв>=, где <v2>= 

=(π)1/2a-3/2/4, =1/2a, =3π1/2a-5/2/8.

Наиболее вероятная скорость находится путем нахождения экстремума функции ρ(v), то есть путем дифференцирования этой функции по v и приравнивания первой производной к нулю.

Задача

 Найти средний квадрат скорости движения молекул идеального газа.

**Пример решения**

 <v2>= = . Используем табличный интеграл

<v2>=4π(m/2πkT)3/2=3kT/m.

**Задачи**

8.1. Найти смещение от положения равновесия точки, находящейся на

 расстоянии L = λ/12, для момента времени t = T/6. Амплитуда

 колебаний в плоской волне равна 0,05 м.

8.2. Движущийся по реке теплоход дает свисток частотой 400 Гц.

 Стоящий на берегу наблюдатель воспринимает звук свистка

 частотой 395 Гц. Считайте скорость звука в воздухе 334 м/с и

 определите скорость движения теплохода. Определите также

 удаляется он или приближается к наблюдателю.

8.3. С помощью кривых уровней громкости найти интенсивность звука,

 соответствующую уровню 100 дБ

8.4. В цилиндрической трубе, открытой с двух сторон, длиной 1,3 м

 возникают колебания воздуха, соответствующие третьей

 гармонике. Найти частоту этих колебаний. Скорость звука в

 воздухе 340 м/c. Изобразить эпюры смещения частиц среды в

 трубе.

8.5. Мыльная пленка, расположенная вертикально, образует клин.

 Интерференция наблюдается в отраженном свете через красное

 стекло (λ= 0,631 мкм). Расстояние между соседними красными

 полосами при этом равно 3 мм. Затем пленка наблюдается через

 синее стекло (λ=0,4мкм). Найти расстояние между соседними

 синими полосами. Считать, что за время измерений форма

 пленки не изменяется и свет падает на пленку под прямым

 углом.

8.6. Современная радиолокационная антенна строится по принципу

 дифракционной решетки. Ширина антенного поля решетки 10 м.

 Антенна работает на частоте 10 ГГц. Определить ширину

 диаграммы направленности такой антенны.

8.7. Протон и электрон прошли одинаковую разность потенциалов

 Δϕ=10 кВ. Во сколько раз отличается коэффициент

 прохождения для электрона и для протона, если высота

 потенциального барьера равна 20 кэВ, а его ширина а = 0,1 нм?

8.8. Определите массу нейтрального атома, если ядро этого атома

 состоит из трех протонов и двух нейтронов, а энергия связи

 ядра равна 26,3 МэВ.

* 1. Определите частоту и длину волны, соответствующую второй

 спектральной линии в серии Лаймана.

* 1. Найти среднюю квадратичную скорость движения молекул

 идеального газа.