

Задачі теоретичного туру IV етапу XLVII Всеукраїнської олімпіади з фізики. 11 клас

1. Прямолінійний провідник довжиною h і масою m підвішений на двох пружинах жорсткістю k в горизонтальному однорідному магнітному полі з індукцією B (Рис.1). При замиканні ключа K конденсатор ємністю C , заряджений до різниці потенціалів U , замикається на провідник і розряджається. Визначити амплітуду коливань провідника, якщо час розрядження конденсатора набагато менший за період цих коливань.

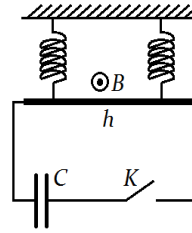


Рис.1

1. Прямолінійний провідник довжиною h і масою m підвішений на двох пружинах жорсткістю k в горизонтальному однорідному магнітному полі з індукцією B (Рис.1). При замиканні ключа K конденсатор ємністю C , заряджений до різниці потенціалів U , замикається на провідник і розряджається. Визначити амплітуду коливань провідника, якщо час розрядки конденсатора набагато менше періода цих коливань.

2. До ланцюжка пальників, розташованих на невеликих відстанях один від одного, надходить газ. Кількість теплоти, що виділяється при його горінні на одиницю довжини ланцюжка за одиницю часу, визначається співвідношенням $Q_+(T) = Q_0 \Theta(T - T_c)$, де T_c – температура запалювання, $\Theta(x) = 1$ при $x > 0$ і $\Theta(x) = 0$ при $x < 0$. Коли всі пальники горять, кількість теплоти на одиницю довжини ланцюжка, що надходить за одиницю часу в навколишнє середовище, визначається формулою $Q_-(T) = \gamma(T - T_0)$, де T_0 – температура навколишнього середовища. Теплоємність одиниці довжини ланцюжка дорівнює C . Знайдіть температуру T_1 ланцюжка в стаціонарному стані, коли всі пальники горять.

Прийmemo, що у випадку, коли пальники горять лише в деякій частині ланцюжка, температура вздовж ланцюжка в перехідній області завдовжки L на межі області горіння змінюється за лінійним законом від T_1 до T_0 . За яких температур навколишнього середовища вздовж ланцюжка побіжить хвиля запалювання, а за яких – хвиля гасіння? Знайдіть швидкість цих хвиль.

3. Дві однакові заряджені намистинки нанизані на горизонтально розташоване тонке кільце, зроблене зі спеціального непровідного матеріалу. Спочатку намистинки знаходяться у діаметрально протилежних точках кільця. Яку невелику швидкість v_0 слід надати одній із намистинок, щоб, зробивши повний оберт, вона на мить зупинилась у точці, з якої почала рух? Силами тертя, опором повітря і розмірами намистинок у порівнянні з розміром кільця знехтувати. Кільце вважати нерухомим. Відомо, що якби перед початком досліду кільце раптово зникло, частинки розлетілися б і (за умови невагомості) на великій віддалі набули швидкості V_∞ .

2. На цепочку горелок, розміщених на невеликих расстояниях друг от друга, поступает газ. Количество теплоты, выделяющееся при его горении на единицу длины цепочки за единицу времени, определяется соотношением $Q_+(T) = Q_0 \Theta(T - T_c)$, где T_c – температура зажигания, $\Theta(x) = 1$ при $x > 0$ і $\Theta(x) = 0$ при $x < 0$. Когда все горелки горят, количество теплоты на единицу длины цепочки, уходящее за единицу времени в окружающую среду, определяется формулой $Q_-(T) = \gamma(T - T_0)$, где T_0 – температура окружающей среды. Теплоемность единицы длины цепочки равна C . Найдите температуру T_1 цепочки в стационарном состоянии, когда все горелки горят.

Примем, что в случае, когда горелки горят лишь в некоторой части цепочки, температура вдоль цепочки в переходной области длиной L на границе области горения изменяется по линейному закону от T_1 до T_0 . При каких температурах окружающей среды вдоль цепочки побегит волна зажигания, а при каких – волна гашения? Найдите скорость этих волн.

3. Две одинаковые заряженные бусинки нанизаны на горизонтально расположенное тонкое кольцо, сделанное из специального непроводящего материала. Сначала бусинки находятся в диаметрально противоположных точках кольца. Какую небольшую скорость v_0 следует придать одной из бусинок, чтобы, сделав полный оборот, она на миг остановилась в точке, из которой начала движение? Силами трения, сопротивлением воздуха и размерами бусинок в сравнении с размерами кольца пренебречь. Кольцо считать неподвижным. Известно, что если бы перед началом опыта кольцо внезапно исчезло, бусинки разлетелись бы и (в условиях невесомости) на большом расстоянии приобрели бы скорости V_∞ .

4. Квантова теорія передбачає притягання незаряджених провідників у вакуумі (ефект Казимира), які знаходяться на малих відстанях один від одного. Оцініть, за якої відстані між двома паралельними металевими пластинами сила, що діє на одиницю площі пластини (своєрідний квантовий тиск), дорівнює атмосферному тиску 10^5 Па. Оцінку проведіть двома способами і порівняйте їх результати.

Вказівки: 1. Проведіть розрахунки згідно наступної моделі. Уявіть, що за рахунок випадкових відхилень від рівноважного стану (флуктуацій) у поверхневому шарі пластини з'являється пара зарядів $+e$ і $-e$ (диполь), кожний з яких займає однаковий об'єм, один ближче до другої пластини, інший – далі. За рахунок електростатичної індукції на протилежній пластині виникає перерозподіл зарядів і, як наслідок, сила взаємодії. Проведіть розрахунки для однієї пари зарядів і припустіть далі, що такі флуктуації відбуваються безперервно вздовж всієї поверхні. 2. Проведіть оцінку з міркувань розмірностей, вважаючи, що квантовий тиск не повинен залежати від елементарного заряду e . Довідкові дані: швидкість світла $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, стала Планка $\hbar = 10^{-34}$ Дж · с, елементарний заряд $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл, електрична стала $\epsilon_0 = 8.9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

4. Квантовая теория предполагает притяжение незаряженных проводников в вакууме (эффект Казимира), которые находятся на малых расстояниях друг от друга. Оцените, при каком расстоянии между двумя параллельными металлическими пластинами сила, действующая на единицу площади пластины (своеобразное квантовое давление), равно атмосферному давлению 10^5 Па. Оценку проведите двумя способами и сравните их результаты.

Указания: 1. Проведите расчеты согласно следующей модели. Представьте, что за счет случайных отклонений от равновесного состояния (флуктуаций) в поверхностном слое пластины появляется пара зарядов $+e$ и $-e$ (диполь), каждый из которых занимает одинаковый объем, один ближе к второй пластине, другой – дальше. За счет электростатической индукции на противоположной пластине возникает перераспределение зарядов и, как следствие, сила взаимодействия. Проведите расчеты для одной пары зарядов и допустите далее, что такие флуктуации происходят непрерывно вдоль всей поверхности. 2. Проведите оценку из соображений размерностей, считая, что квантовое давление не должно зависеть от элементарного заряда e .

Справочные данные: скорость света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, постоянная Планка $\hbar = 10^{-34}$ Дж · с, элементарный заряд $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл, электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8.9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

5. В дальніх кутах сцени на віддалі $d=2$ м від її переднього краю на висоті $H=2$ м над сценою встановлені динаміки. Вісь симетрії кожного динаміка знаходиться під кутом 45° до сцени, а звук з нього йде в конус з кутом розходження $\alpha=30^\circ$ (Рис.2). Кожен динамік відтворює підсилений звук від мікрофона в руках співака на сцені. Якщо мікрофон перебуватиме досить близько від динаміка, можливе явище, коли звук, вийшовши з динаміка, приймається мікрофоном, підсилюється і знову виходить з динаміка вже з більшою гучністю. В такій ситуації акустична система починає видавати звук сама по собі. Де має знаходитися співак з мікрофоном, щоб виникло це явище? Визначте можливі частоти створюваного звуку. Ширина сцени $L=5$ м. Співак тримає мікрофон на висоті $h=1.5$ м. Мікрофон перетворює звук (коливання тиску повітря) на коливання напруги з коефіцієнтом перетворення $A=100$ В/Па. Далі ця напруга підсилюється в $k=100$ разів підсилювачем і надходить на динамік, де перетворюється на коливання тиску з коефіцієнтом перетворення $B=0.01$ Па/В. Площа мембрани динаміка $S_0=0.01$ м².

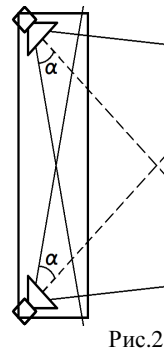


Рис.2

5. В дальних углах сцены на расстоянии $d=2$ м от ее переднего края на высоте $H=2$ м над сценой установлены динамики. Ось симметрии каждого динамика находится под углом 45° относительно сцены, а звук из него идет в конус с углом расхождения $\alpha=30^\circ$ (Рис.2). Каждый динамик воссоздает усиленный звук от микрофона в руках певца на сцене. Если микрофон находится достаточно близко от динамика, возможно явление, когда звук, выйдя из динамика, принимается микрофоном, усиливается и снова выходит из динамика уже с большей громкостью. В таком случае акустическая система начинает издавать звук сама по себе. Где должен находиться певец с микрофоном, чтобы возникло это явление? Определите возможные частоты издаваемого звука. Ширина сцены $L=5$ м. Певец держит микрофон на высоте $h=1.5$ м. Микрофон превращает звук (колебания давления воздуха) в колебания напряжения с коэффициентом преобразования $A=100$ В/Па. Далее это напряжение усиливается в $k=100$ раз усилителем и поступает на динамик, где превращается в колебания давления с коэффициентом преобразования $B=0.01$ Па/В. Площадь мембраны динамика $S_0=0.01$ м².

Задачі запропонували: С.У.Гончаренко (1), І.О.Анісімов (2), О.Ю.Орлянський (3,4), О.І.Кельник (5)