

Национално пролетно състезание по физика
Велико Търново, 13 – 14 март 2004 г
Специална тема

Задача 1. Собствената честота на пружинно махало е $\nu_0 = 10$ Hz при маса на окаченото топче $m = 0,10$ kg. Под действие на периодична външна сила точката на окачване O на махалото започва да трепти хармонично в хоризонтално направление по закона:

$$x_O = A_O \sin(2\pi\nu t),$$

където x_O е отклонението на точката на окачване спрямо равновесното ѝ положение, $A_O = 1$ cm е амплитудата ѝ на трептене, а честотата ν може да се регулира. След достатъчно дълго време топчето започва да трепти принудено със същата честота ν като тази на външната сила. Като начало ще разгледаме случая, когато $\nu \neq \nu_0$ и ще пренебрегнем силите на триене и съпротивление.

а) Изразете амплитудата A на принуденото трептене на топчето чрез A_O , ν и ν_0 . [3,5 т]

б) Намерете фазовата разлика $\Delta\phi$ между трептенето на топчето и трептенето на точката на окачване в два случая: $\nu < \nu_0$ и $\nu > \nu_0$. [1 т]

в) В какъв интервал от стойности трябва да лежи честотата на външната сила така, че $A > 2A_O$? [1,5 т]

г) Когато $\nu = \nu_0$, амплитудата на трептене на топчето става толкова голяма, че силите на съпротивление оказват съществено влияние върху неговото движение. Приемете, че върху топчето действа сила на съпротивление, пропорционална на скоростта: $\vec{f} = -r\vec{v}$, където $r = 0,5$ kg/s е коефициент на пропорционалност. Намерете в този случай амплитудата на трептене на топчето и фазовата разлика между трептенето на топчето и трептенето на точката на окачване? [4 т]



➤ **Задача 2.** В камерата на хладилник, който работи по цикъла на Карно, е поставен съд с $m = 1$ kg вода с температура $t_0 = 0$ °C. Хладилникът консумира постоянна мощност $P = 80$ W от електрическата мрежа, която се трансформира изцяло в механична работа, необходима за протичане на работния цикъл на хладилника. Хладилникът е поставен в стая с обем $V = 100$ m³, с начална температура на въздуха $t_1 = 20$ °C и начално налягане $p_a = 1,0 \cdot 10^5$ Pa.

➤ а) Колко време след включване на хладилника водата в камерата ще замръзне? [4,5 т]

➤ б) С колко ще се повиши температурата на въздуха в стаята, докато водата замръзне? [1,5 т]

Топлината на топене на лед е $\lambda = 3,3 \cdot 10^5$ J/kg. Стаята е термически изолірана и херметично затворена, т.е. не обменя въздух с околната среда. Разгледайте въздуха като идеален двуатомен газ. Приемете, че относителното изменение на абсолютната температура в стаята е много малко.

Задача 3. Съгласно с модела на Бор електронът във водородния атом може да обикаля около ядрото по т. нар. стационарни орбити, които се определят от условието, че дължината на орбитата s е целочислено кратна на дължината λ на вълната на дьо Бройл за електрона:

$$s = n\lambda.$$

Числото $n = 1, 2, 3, \dots$ се нарича главно квантово число на орбитата.

Скоростта, с която обикаля електронът във водородния атом е значително по-малка от скоростта на светлината. Ако обаче електронът обикаля около ядро, което съдържа голям брой протони, е възможно неговата скорост да стане съпоставима със скоростта на светлината. В този случай електронът трябва да се разглежда като релативистка частица с маса, по-голяма от масата му в покой.

а) Разгледайте движението на електрон по кръгова орбита около неподвижно ядро, съдържащо Z протона. Като използвате модела на Бор изразете отношението v/c на скоростта на електрона към скоростта на светлината чрез броя на протоните Z , главното квантово число на орбитата n и фундаментални константи от дадените в края на задачата. [3 т]

б) Отношението v/c за основната орбита ($n = 1$) в атома на водорода се нарича **константа на фината структура** и се бележи с α . Като използвате резултата от т. а) пресметнете с минимум четири значещи цифри стойността на константата α . [1 т]

в) Какъв е максималният брой протони $Z_{\max}$ в ядрото, при който съществува електронна орбита с главно квантово число $n = 1$? [1,5 т]

г) Изразете пълната механична енергия E на електрон (сумата от кинетичната и потенциалната му енергии) за орбита с главно квантово число n в атом с пореден номер Z чрез α , масата в покой m_0 на електрона и скоростта c на светлината. [3 т]

д) Колко нанометра е максималната дължина на вълната на фотон, който може да избие електрон от основната орбита ($n = 1$) в атом с пореден номер $Z = Z_{\max}$? [1,5 т]

Фундаментални константи:

Кулонова константа: $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 8,9876 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$;

Скорост на светлината във вакуум: $c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$;

Константа на Планк: $h = 6,6268 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$;

Елементарен електричен заряд: $e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;

Маса на електрона в покой: $m_0 = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.