

# МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА

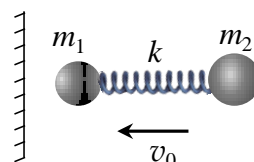
## Национално есенно състезание по физика

Бургас, 08–10 ноември 2024 г.

### Специална тема

#### Задача 1. Трептяща гира

Две топки с маса  $m_1 = 1.00 \text{ kg}$  и  $m_2 = 2.00 \text{ kg}$  съответно са свързани с недеформирана пружина с коефициент на еластичност  $k = 150 \text{ N/m}$ . Топките се движат успоредно на пружината с еднаква скорост  $v_0 = 0.30 \text{ m/s}$  към стена, перпендикулярна на посоката им на движение, както е показано на Фиг. 1. След като топката 1 се удари в стената, тя отскача от нея абсолютно еластично в посока, противоположна на първоначалната посока на движение. Силата на тежестта не се отчита.



Фиг. 1

а) Намерете по абсолютна стойност максималната деформация  $\Delta \ell$  на пружината след удара. Приемете, че дължината на пружината е достатъчно голяма, така че топките не се удрят помежду си. [3.5 т]

б) Колко време след удара със стената топките се доближават на минимално разстояние една до друга? [3.0 т]

в) Колко време след първия удар със стената топката 1 се удря в стената за втори път? В тази подточка не е нужно да получите аналитичен отговор, а единствено числена стойност с точност до стотна от секундата. [3.5 т]

#### Задача 2. Електростатична призма

За получаване на образ на субмикронни обекти, в електронните микроскопи се използват снопове от ускорени електрони. Затова в електронните микроскопи има електрични и магнитни системи, например електростатични или магнитни лещи, които отклоняват електронния сноп, както съответните оптични системи в светлинен микроскоп отклоняват светлинните лъчи. В тази задача ще анализирате проста електростатична система, която отклонява електронен сноп, подобно на призма. При решението на задачата не е нужно да се отчитат релативистки ефекти.

а) Безкрайно дълга права нишка е заредена положително с постоянна линейна плътност  $\gamma$  на заряда.<sup>1</sup> Колко е интензитетът  $E(r)$  на електричното поле на разстояние  $r$  от нишката? [1.5 т]

б) На фиг. 2а е показано напречното сечение на две дълги успоредни праволинейни жички с радиус  $a$  всяка, и разстояние  $L$  между осите им ( $L \gg a$ ). Жичките са свързани към източник на напрежение  $U$ , при което се зареждат с противоположен по знак заряд

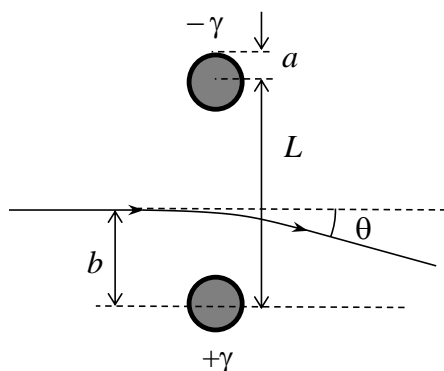
<sup>1</sup> Линейната плътност  $\gamma$  се дефинира като заряд на единица дължина от нишката, т.е.  $dq/d\ell$ , и се измерва с кулони върху метър (C/m).

с линейна плътност  $+\gamma$  и  $-\gamma$  съответно. Изразете  $\gamma$  като функция на дадените параметри. В крайния отговор можете да пренебрегнете  $a$  в сравнение с  $L$ , там където е възможно. [2.0 т]

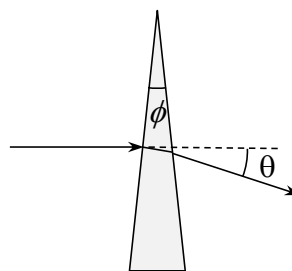
в) Сноп електрони, предварително ускорени от електрично напрежение  $V$ , е насочен перпендикулярно на равнината, образувана от двете жички, към точка на разстояние  $b$  ( $a < b < L$ ) от оста на положително заредената жичка (вж. фиг. 2а). Източникът на електрони се намира от жичките на разстояние, много по-голямо от  $L$ . Може да приемете, че  $V \gg U$ , така че електричното поле отклонява преминалите между жичките електрони на много малък ъгъл  $\theta$  спрямо началната им посока на движение, т.е.  $\theta \ll 1$  rad. Получете приблизителен израз за  $\theta$  чрез дадените параметри. [3.5 т]

*Упътване.* Задачата може да бъде решена по метода на *последователните приближения*, който се състои в следното. В най-грубо (т.нар. нулево) приближение напълно се пренебрегва електричната сила, действаща на електроните, и се приема, че те се движат практически равномерно по права линия, пресичаща равнината между двете жички на разстояние  $b$  от оста на положително заредената жичка. Електричната сила се отчита в следващото (т.нар. първо) приближение. За целта се разглежда равномерно и праволинейно движещ се електрон, за който се пресмята импулса на действащата му електростатичната сила, а оттам и малката промяна на скоростта, дължаща се на тази сила.

г) Електричното поле на жичките отклонява електронния сноп така, както призма с малък ъгъл при върха отклонява лъч светлина. Колко дъгови минути трябва да бъде ъгълът  $\phi$  при върха на стъклена призма с показател на пречупване  $n = 1.50$ , така че лъч светлина да се отклони на същия ъгъл  $\theta$ , както електронният сноп, минал между жичките (фиг. 2б). Параметрите на електростатичната призма са  $a = 0.100$  mm;  $L = 1.00$  cm;  $U = 100$  V;  $V = 10.0$  kV. Приемете, че светлинният лъч пада под малък ъгъл спрямо нормалата към страничната повърхност на призмата. [3.0 т]



Фиг. 2а



Фиг. 2б

### Задача 3. Раждане на електрон-позитронна двойка

Позитронът е античастицата на електрона – има същата маса като електрона, но противоположен заряд. При взаимодействие на електрон и позитрон е възможна т.нар.

анихилация, при която двете частици изчезват и се появяват два високоенергетични фотона ( $\gamma$ -кванти). Обратният процес теоретично е възможен, но на практика е малковероятен. Затова при облъчване на вещество с  $\gamma$ -кванти, електрон-позитронни двойки възникват при взаимодействие на фотоните със заредени частици – атомни ядра или електрони от електронната обвивка на атомите. Може да приемете, че преди взаимодействието с  $\gamma$ -кванта заредената частица е неподвижна.

а) Получете израз за минималната енергия  $E_\gamma$  на  $\gamma$ -квант, взаимодействащ с частица с маса  $M$  в покой, така че фотонът да изчезне и да се роди двойка електрон и позитрон. [7.0 т]

б) Пресметнете  $E_\gamma$  в мегаелектронволти при взаимодействие на фотона с: 1) тежко атомно ядро ( $M \gg m_e$ ) и 2) с електрон ( $M = m_e$ ), където  $m_e$  е масата на електрона в покой. [3.0 т]

**Физични константи, които можете да използвате във всички задачи:**

Земно ускорение	$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Гравитационна константа	$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Маси на частиците	
- електрон	$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
- протон	$m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- неутрон	$m_n = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Елементарен електричен заряд	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Константа на Кулон	$k_C = 9,00 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$
Електрична константа	$\epsilon_0 = 1/4\pi k_C \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
Магнитна константа	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$
Скорост на светлината	$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Константа на Планк	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
Редуцирана константа на Планк	$\hbar = h/(2\pi) = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

**Някои таблични интеграли:**

$$\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C \quad (n \neq -1); \quad \int \frac{dx}{x} = \ln x + C;$$

$$\int \sin x dx = -\cos x + C; \quad \int \cos x dx = \sin x + C;$$

$$\int \frac{dx}{1+x^2} = \text{arctg } x + C.$$