

МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА
Национално есенно състезание по физика
София, 7-9 ноември 2025 г.
Решения на темата за четвърта състезателна група (10. клас)

Задача 1. Бързо, по-бързо, най-бързо (две независими подусловия)

а) В първия случай силата на опън на въжето е равна на силата F , с която го дърпа работникът. Означаваме с a_1 ускорението на количката при първия начин на дърпане. От II принцип на механиката:

$$Ma_1 = F - f_1 \quad (0.5 \text{ т})$$

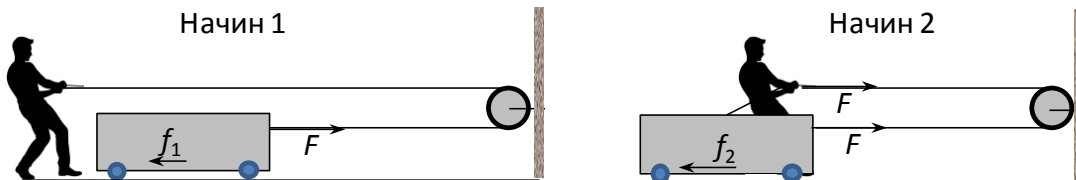
където:

$$f_1 = kMg \quad (0.5 \text{ т})$$

е силата на триене. Така получаваме:

$$a_1 = F/M - kg = 0,44 \text{ m/s}^2. \quad (1.0 \text{ т})$$

Във втория случай работникът и количката образуват общо тяло с маса $M + m$ и силата на триене между количката и пътя е $f_2 = k(M + m)g$. (0.5 т)



Според III принцип на механиката свободният край на въжето упражнява върху работника същата по големина сила F , но в посоката на движение на количката. Следователно върху системата количка+работник действа равнодействаща сила $2F$. От II принцип на механиката:

$$(M + m)a_2 = 2F - f_2 \quad (1.0 \text{ т})$$

намираме ускорението при втория начин на придвижване:

$$a_2 = 2F/(M + m) - kg \approx 0,71 \text{ m/s}^2 \quad (1.0 \text{ т})$$

Понеже $a_2 > a_1$ количката ще достигне стената по-бързо във втория случай. (0.5 т)

б) Нека означим с α ъгъла, който жичката сключва с вертикалата.

Разликата във височините между точките A и B е:

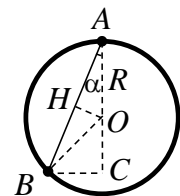
$$h = |AC| = |AB| \cos \alpha = \ell \cos \alpha.$$

От закона за запазване на енергията:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh \quad (0.5 \text{ т})$$

намираме скоростта, с която мънистото достига точка B :

$$v = \sqrt{2g\ell \cos \alpha}. \quad (0.5 \text{ т})$$



При равноускорително движение $v = at$ и $\ell = at^2/2$, откъдето намираме времето за спускане:

$$t = 2\ell/v = \sqrt{2\ell/(g \cos \alpha)} \quad (1.0 \text{ т})$$

От чертежа е ясно, че:

$$\ell = |AB| = 2|AH| = 2R \cos \alpha,$$

където $A = 10,0$ cm е амплитудата на трептенето. Понеже и $(A/l)^2 < 0,1$ отново можем да приложим приближената формула:

$$h_1 \approx \frac{A^2}{2l} \quad (0.5 \text{ т})$$

От закона за запазване на механичната енергия имаме:

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh_0 = mgh_1 \quad (0.5 \text{ т})$$

защото при максимално отклонение тялото е неподвижно. Оттук изразяваме:

$$v_0 = \sqrt{g(A^2 - x_0^2)/l} \quad (0.5 \text{ т})$$

Заместваме с числените данни и пресмятаме:

$$v_0 = \sqrt{\frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot ((0,10 \text{ m})^2 - (0,05 \text{ m})^2)}{0,56 \text{ m}}} = 0,36 \text{ m/s} \quad (0.5 \text{ т})$$

г) От графиката установяваме, че махалото се връща в положението, от което е пуснато след $0,5$ s. Следователно махалото достига крайното си дясно положение за време $0,25$ s след момента на пускане, т.е. една шеста от периода T . **(0.5 т)** От крайното дясно положение махалото се връща във вертикално положение за време, равно на четвърт период на трептене. Следователно първият удар настъпва в момента:

$$t_1 = \frac{T}{6} + \frac{T}{4} = \frac{5}{12}T \quad (0.5 \text{ т})$$

Независимо от скоростта, с която тялото отскача, времето между два удара е половината от периода на махалото.

$$\Delta t = \frac{T}{2} \quad (0.5 \text{ т})$$

От първия до петия удар минават общо четири полупериода, т.е. два пълни периода. Следователно:

$$t_5 = t_1 + 2T = \frac{29}{12}T \approx 3,6 \text{ s} \quad (0.5 \text{ т})$$

Задача 3. Парен локомотив

а) От фиг. 3 (а) определяме, че при температура $t = 230^\circ\text{C}$ плътността на наситените пари е:

$$\rho_{\text{п}} = 12 \text{ kg/m}^3. \quad (0.5 \text{ т})$$

Масата на изпарената за един цикъл вода е равна на масата на парата, която изпълва цилиндъра, докато буталото се движи от крайно ляво до крайно дясно положение:

$$m = \rho_{\text{п}}V = 12 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,01 \text{ m}^3 = 0,12 \text{ kg} \text{ (120 g)}. \quad (1.0 \text{ т})$$

б) За един пълен цикъл, колелата на локомотива правят едно пълно завъртане и изминават път, равен на тяхната обиколка:

$$s = 2\pi R = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,3 \text{ m} \approx 1,88 \text{ m}. \quad (0.5 \text{ т})$$

Докато локомотивът измине разстоянието от София до Бургас, машината извършва:

$$N = \frac{L}{s} \approx 175 \text{ 000} \quad (0.5 \text{ т})$$

цикъла. Следователно масата вода в котела трябва да бъде поне:

$$M_1 = Nm \approx 21 \text{ 000 kg} \text{ (21 t)}. \quad (0.5 \text{ т})$$

в) За изпаряването на тази маса вода е нужно количество топлина:

$$Q = rM_1. \quad (0.5 \text{ т})$$

Ако приемем, че цялата топлина, отделена при изгарянето на въглищата, се изразходва за изпарение на водата, следва:

$$Q = qM_2. \quad (0.5 \text{ т})$$

Следователно минималното количество въглища, нужно за пътуването, е:

$$M_2 = \frac{rM_1}{q} \approx 1800 \text{ kg (1,8 t)}. \quad (0.5 \text{ т})$$

г) Докато клапанът К1 е отворен, налягането в цилиндъра е равно на налягането $p_{\text{п}}$ на наситената водна пара при температура 230°C. От графиката на фиг. 3 (б) намираме:

$$p_{\text{п}} = 2,8 \text{ MPa} = 2,8 \cdot 10^6 \text{ Pa}. \quad (0.5 \text{ т})$$

Затова при движение на буталото надясно, парата извършва работа:

$$A_1 = p_{\text{п}}V.$$

В същото време атмосферният въздух упражнява върху буталото сила, противоположна на посоката му на движение, и извършва работа:

$$A_2 = -p_aV.$$

Когато е отворен клапанът К2, налягането в цилиндъра става равно на външното атмосферно налягане и равнодействащата сила върху буталото е нула. Затова при движение на буталото наляво, общата механична работа е нула. Следователно пълната механична работа за един цикъл е:

$$A = A_1 + A_2 = (p_{\text{п}} - p_a)V. \quad (1.0 \text{ т})$$

Количеството топлина, получено от машината за един цикъл, съответства на топлината, нужна за изпаряване на вода с маса m :

$$Q_1 = rm = r\rho_{\text{п}}V. \quad (0.5 \text{ т})$$

Следователно коефициентът на полезно действие на машината се дава с израза:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{p_{\text{п}} - p_a}{r\rho_{\text{п}}}. \quad (0.5 \text{ т})$$

След заместване с числените стойности:

$$\eta = \frac{2,8 \cdot 10^6 \text{ Pa} - 0,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{2,6 \cdot 10^6 \text{ J/kg} \cdot 12 \text{ kg/m}^3} \approx 0,087 = 8,7\%. \quad (0.5 \text{ т})$$

д) Един работен цикъл на машината се извършва за времето, което е нужно на локомотива да измине разстояние, равно на една обиколка на колелата:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{2\pi R}{v}. \quad (0.5 \text{ т})$$

От определението за мощност:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{(p_{\text{п}} - p_a)Vv}{2\pi R}. \quad (1.0 \text{ т})$$

След като заместим с числените данни:

$$P = \frac{(2,8 \cdot 10^6 \text{ Pa} - 0,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}) \cdot 0,01 \text{ m}^3 \cdot 14 \text{ m/s}}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,3 \text{ m}} \approx 200 \text{ kW}. \quad (1.0 \text{ т})$$

Коментар. Най-мощните парни локомотиви достигат мощност 8 MW!