Домашнее задание по курсу общей физики.
1-й курс (2-й семестр)

Группа ИУ7-23Б Фамилия, инициалы Маслова М.Д

Вариант № 11 Задача № 1-2

Гладкая частица сферической формы массой $m = 10^{-3}$ кг, которую можно рассматривать как материальную точку, ударяется со скоростью $V_0 = 6 \frac{м}{с}$ о гладкую массивную преграду, которая движется со скоростью $U = 2 \frac{м}{с}$. Угол, образованный векторами $\vec{V_0}$ и $\vec{U}$, равен $\beta = 120°$. Массу преграды считать бесконечной (рис. 1). Время удара $\Delta t = 10^{-5}$ с. Вид взаимодействия: абсолютно упругий удар (АУУ).

Определить: скорость частицы после удара $V_к$;
угол $\alpha_к$, образованный векторами $\vec{V_к}$ и $\vec{U}$;
изменение скорости частицы за время удара ΔV;
изменение кинетической энергии частицы за время удара ΔE;
изменение модуля импульса частицы за время удара $|\Delta \vec{p}|$;
модуль средней силы, с которой частица действует на стенку во время удара, F

Дано:
$m = 10^{-3}$ кг
$V_0 = 6 \frac{м}{с}$
$U = 2 \frac{м}{с}$
$\beta = 120°$
$\Delta t = 10^{-5}$ с
АУУ

$V_к$ - ?
$\alpha_к$ - ?
ΔV - ?
ΔE - ?
$|\Delta \vec{p}|$ - ?
F - ?

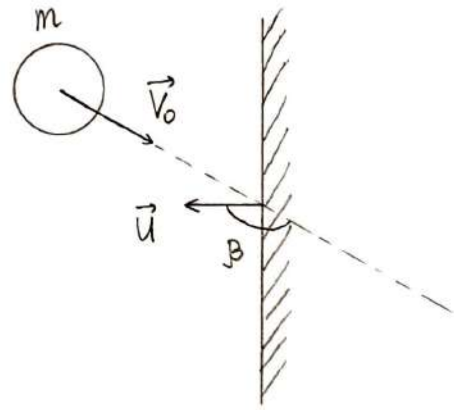


рис. 1

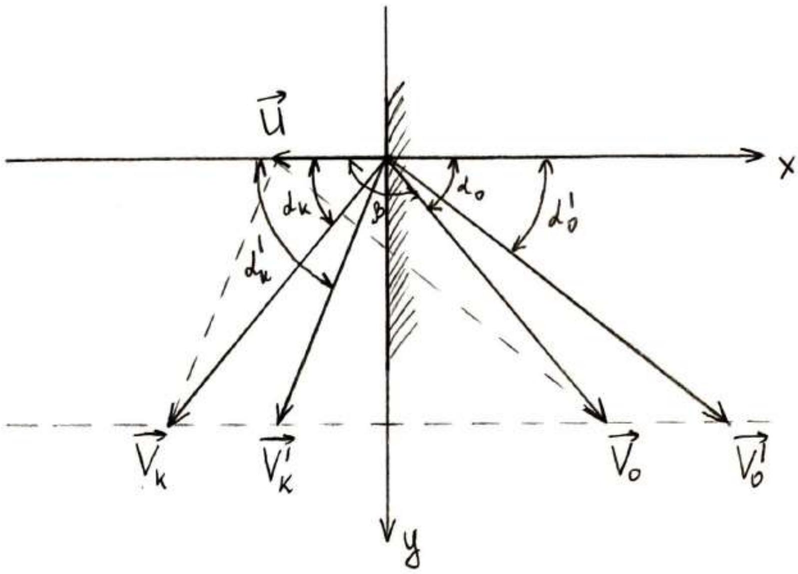


рис. 2

Скорости связаны соотношениями:

$$\vec{V}_0 = \vec{U} + \vec{V}_0' \qquad (1)$$

$$\vec{V}_K = \vec{U} + \vec{V}_K' \qquad (2)$$

Закон изменения импульса при ударе о стенку:

$$m\vec{V}_K - m\vec{V}_0 = \vec{F}\Delta t \qquad (3)$$

После подстановки (1) и (2) в (3) получаем:

$$m\vec{V}_K' - m\vec{V}_0' = \vec{F}\Delta t \qquad (4)$$

Проецируем (1), (2), (3) и (4) на оси Ox и Oy:

(1) Ox: $V_0 \cos\alpha_0 = -U + V_0' \cos\alpha_0'$ (5)

Oy: $V_0 \sin\alpha_0 = V_0' \sin\alpha_0'$ (6)

(2) Ox: $V_K \cos\alpha_K = U + V_K' \cos\alpha_K'$ (7)

Oy: $V_K \sin\alpha_K = V_K' \sin\alpha_K'$ (8)

(3) Ox: $mV_K \cos\alpha_K + mV_0 \cos\alpha_0 = F\Delta t$ (9)

Oy: $mV_K \sin\alpha_K = mV_0 \sin\alpha_0 \Rightarrow V_K \sin\alpha_K = V_0 \sin\alpha_0$ (10)

(4) Ox: $mV_K' \cos\alpha_K' + mV_0' \cos\alpha_0' = F\Delta t$ (11)

Oy: $mV_K' \sin\alpha_K' = mV_0' \sin\alpha_0' \Rightarrow V_K' \sin\alpha_K' = V_0' \sin\alpha_0'$ (12)

Закон сохранения энергии при АУУ:

$$\frac{mV_0'^2}{2} = \frac{mV_к'^2}{2} \qquad (13)$$

Отсюда: $V_0' = V_к'$ (14)

Из (12) и (14) получаем $\sin \alpha_к' = \sin \alpha_0'$

$$\alpha_к' = \alpha_0' \qquad (15)$$

По (5) и (6) $\div \left\{ \begin{array}{l} V_0' \sin \alpha_0' = V_0 \sin \alpha_0 \\ V_0' \cos \alpha_0' = V_0 \cos \alpha_0 + u \end{array} \right.$

$$tg\, \alpha_0' = \frac{V_0 \sin \alpha_0}{V_0 \cos \alpha_0 + u} \qquad (16)$$

По рис. 2: $\alpha_0 = 180° - \beta = 180° - 120° = 60°$ (17)

Из (16) и (17): $\alpha_0' = arctg \frac{V_0 \sin \alpha_0}{V_0 \cos \alpha_0 + u}$

$$\alpha_0' = arctg \frac{6 \cdot \sin 60°}{6 \cos 60° + 2} = 46°6'$$

Тогда, согласно (15): $\alpha_к' = 46°6'$

Из (6): $V_0' = V_0 \frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_0'}$

$$V_0' = 6 \frac{\sin 60°}{\sin 46°6'} = 7{,}21 \frac{м}{с}$$

Согласно (14): $V_к' = 7{,}21 \frac{м}{с}$

По (7) и (8): $\div \left\{ \begin{array}{l} V_к \sin \alpha_к = V_к' \sin \alpha_к' \\ V_к \cos \alpha_к = u + V_к' \cos \alpha_к' \end{array} \right.$

$$tg\, \alpha_к = \frac{V_к' \sin \alpha_к'}{u + V_к' \cos \alpha_к'} \qquad (18)$$

Преобразовываем (13) и подставляем в нее найденные значения $V_к'$, $\alpha_н'$:

$$\alpha_к = \operatorname{arctg} \frac{V_к' \sin\alpha_н'}{u + V_к' \cos\alpha_к'}$$

$$\alpha_к = \operatorname{arctg} \frac{7{,}21 \cdot \sin 46^\circ 6'}{2 + 7{,}21 \cos 46^\circ 6'} = 36^\circ 35'$$

Тогда из (8): $V_к = \dfrac{V_к' \sin\alpha_к'}{\sin\alpha_к}$

$$V_к = \frac{7{,}21 \sin 46^\circ 6'}{\sin 36^\circ 35'} = 8{,}72 \frac{м}{с}$$

<u>Проверка.</u> Из (10): $V_к = V_0 \dfrac{\sin\alpha_0}{\sin\alpha_к}$

$$V_к = 6 \frac{\sin 60^\circ}{\sin 36^\circ 35'} = 8{,}72 \frac{м}{с}$$

Изменение скорости частицы за время удара:

$$\Delta V = V_к - V_0$$

$$\Delta V = 8{,}72 - 6 = 2{,}72 \frac{м}{с}$$

Изменение кинетической энергии за время удара:

$$\Delta E = E_к - E_0$$

$$\Delta E = \frac{m V_к^2}{2} - \frac{m V_0^2}{2}$$

$$\Delta E = \frac{m (V_к^2 - V_0^2)}{2}$$

$$\Delta E = \frac{10^{-3} \ (8{,}72^2 - 6^2)}{2} = 0{,}02 \, Дж$$

Согласно (11):

$$|\Delta \vec{p}| = F \Delta t = m V_к' \cos\alpha_к' + m V_0' \cos\alpha_0'$$

Тогда по (14) и (15): $|\Delta \vec{p}| = 2 m V_к' \cos\alpha_н'$

$$|\Delta \vec{p}| = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 7{,}21 \cdot \cos(46^\circ 6') = 0{,}01 \frac{кг \cdot м}{с}$$

Проверка. Согласно (9):

$$|\Delta\vec{p}| = mV_к \cos\alpha_к + mV_0 \cos\alpha_0$$

$$|\Delta\vec{p}| = 10^{-3}\left(8{,}72 \cos 36°35' + 6 \cos 60°\right) = 0{,}01 \ \frac{кг \cdot м}{с}$$

Модуль средней силы:

$$F = \frac{|\Delta\vec{p}|}{\Delta t}$$

$$F = \frac{0{,}01}{10^{-5}} = 10^3 Н$$

Ответ:

$$V_к = 8{,}72 \ \frac{м}{с}$$

$$\alpha_к = 36°35'$$

$$\Delta V = 2{,}72 \ \frac{м}{с}$$

$$\Delta E = 0{,}02 \ Дж$$

$$|\Delta\vec{p}| = 0{,}01 \ \frac{кг \cdot м}{с}$$

$$F = 10^3 Н$$

Домашнее задание по курсу общей физики.
1-й курс (2-й семестр)

Группа ИУ7-23Б Фамилия, инициалы Маслова М.Д.

Вариант № 11 Задача № 2-2

Однородный жёсткий вертикальный стержень длиной $l = 1$ м и $M = 1$ кг, движущийся поступательно в плоскости рисунка с постоянной горизонтальной скоростью $V_0 = 1,2 V_{om}$, налетает на край массивной преграды (рис. 3). После удара стержень вращается вокруг оси O, перпендикулярной плоскости рисунка. Ось вращения стержня совпадает с ребром преграды и проходит через точку контакта стержня с преградой так, что точка контакта лежит выше центра тяжести стержня. Потерями механической энергии при вращении стержня после удара пренебречь. Расстояние от верхнего конца стержня до точки контакта $l_1 = 0,4$ м
V_{om} - минимальная горизонтальная скорость стержня.
Определить: угловую скорость стержня сразу после удара ω_0;
угловую скорость в момент удара стержня о горизонтальную поверхность преграды ω_k;
минимальную горизонтальную скорость стержня V_{om}.

Дано:
$l = 1$ м
$M = 1$ кг
$V_0 = 1,2 V_{om}$
$l_1 = 0,4$ м
$g = 10 \frac{м}{с}$

ω_0 - ?
ω_k - ?
V_{om} - ?

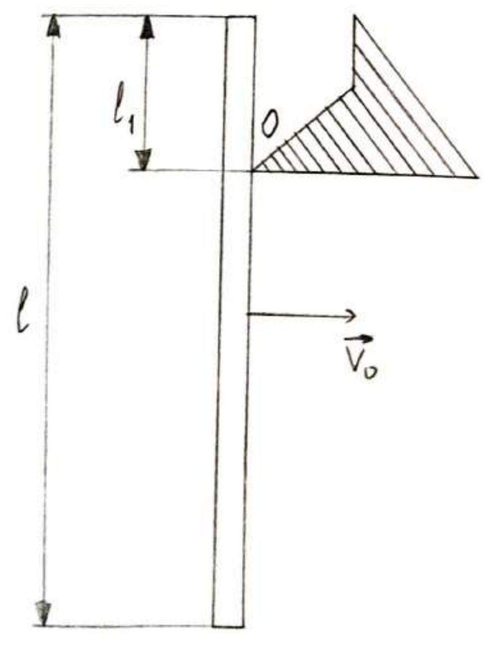


рис. 3

Рассчитаем минимальную горизонтальную скорость стержня $V_{от}$.

Момент импульса стержня, движущегося поступательно с минимальной горизонтальной скоростью, перпендикулярно неподвижной оси Oz относительно этой оси (до удара)

$$L_z = MV_{от}h, \qquad (1)$$

где $h = \frac{l}{2} - l_1$

$$h = \frac{1}{2} - 0{,}4 = 0{,}1 м$$

Момент импульса стержня, вращающегося относительно неподвижной оси Oz с минимальной угловой скоростью $\omega_{от}$ (после удара):

$$L_z = I_{Oz}\,\omega_{от}, \qquad (2)$$

где I_{Oz} – момент инерции стержня относительно оси Oz.

Закон сохранения момента импульса:

$$MV_{от}h = I_{Oz}\,\omega_{от} \qquad (3)$$

Закон сохранения энергии после удара:

$$\frac{I_{Oz}\,\omega_{от}^2}{2} = Mgh \qquad (4)$$

Из (4):

$$\omega_{от} = \sqrt{\frac{2Mgh}{I_{Oz}}} \qquad (5)$$

Подставляем (5) в (3) и упрощаем:

$$MV_{от}h = \sqrt{2MghI_{Oz}} \qquad (6)$$

По теореме Штейнера:

$$I_{Oz} = I_{Cz} + Mh^2, \qquad (7)$$

где I_{Cz} – момент инерции стержня, относительно оси, проходящей через его центр масс.

$$I_{Cz} = \frac{Ml^2}{12} \qquad (8)$$

Тогда (7) примет вид:

$$I_{Oz} = M\left(\frac{l^2}{12} + h^2\right) \qquad (9)$$

Подставляем (9) в (6):

$$M V_{0m} h = \sqrt{2 M^2 g h \left(\frac{l^2}{12} + h^2\right)}$$

$$V_{0m} h = \sqrt{2 g h \left(\frac{l^2}{12} + h^2\right)}$$

$$V_{0m} = \sqrt{\frac{2g\left(\frac{l^2}{12} + h^2\right)}{h}} \qquad (10)$$

$$V_{0m} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10\left(\frac{1^2}{12} + 0{,}1^2\right)}{0{,}1}} = 4{,}3 \,\frac{м}{с}$$

Тогда $V_0 = 1{,}2 V_{0m}$

$$V_0 = 1{,}2 \cdot 4{,}3 = 5{,}16 \,\frac{м}{с}$$

Закон сохранения момента импульса справедлив и при начальной скорости V_0:

$$M V_0 h = I_{Oz} \omega_0$$

$$\omega_0 = \frac{M V_0 h}{I_{Oz}} \qquad (11)$$

Подставляем (9) в (11):

$$\omega_0 = \frac{\cancel{M} V_0 h}{\cancel{M}\left(\frac{l^2}{12} + h^2\right)}$$

$$\omega_0 = \frac{V_0 h}{\frac{l^2}{12} + h^2}$$

$$\omega_0 = \frac{5{,}16 \cdot 0{,}1}{\frac{1}{12} + 0{,}1^2} = 5{,}5\ c^{-1}$$

Закон сохранения энергии после удара:

$$\frac{I_{oz}\omega_0^2}{2} = Mgh + \frac{I_{oz}\omega_\kappa^2}{2}$$

$$\omega_\kappa = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{2Mgh}{I_{oz}}}$$

$$\omega_\kappa = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{2gh}{\frac{l^2}{12} + h^2}}$$

$$\omega_\kappa = \sqrt{5{,}5^2 - \frac{2 \cdot 10 \cdot 0{,}1}{\frac{1}{12} + 0{,}1^2}} = 3{,}0\ c^{-1}$$

Ответ: $V_{om} = 4{,}3\ \frac{м}{c}$

$\omega_0 = 5{,}5\ c^{-1}$

$\omega_\kappa = 3{,}0\ c^{-1}$

Домашнее задание по курсу общей физики.
1-й курс (2-й семестр)

Группа ИУ7-23Б Фамилия, инициалы Маслова М.Д.

Вариант № 11 Задача № 3-3

Колебательная система (КС), представленная на рис. 4, состоит из шайбы массой $m = 0{,}1$кг и двух упругих пружин, имеющих жесткости $k_1 = 16\,\frac{Н}{м}$ и $k_2 = 14\,\frac{Н}{м}$. Движение КС происходит в окружающей среде с малыми вязкими свойствами (малым коэффициентом сопротивления $r = 0{,}8\,\frac{кг}{с}$. Шайба колеблется под действием пружин, соединенных параллельно. Массой пружин можно пренебречь. КС имеет горизонтальное положение. Длины 1-ой и 2-ой пружин в недеформированных состояниях равны $l_{10} = 0{,}12$м и $l_{20} = 0{,}12$м. $L = 0{,}11$м — длина каждой пружины в деформированном состоянии при $t = 0$. Шайбу, находящуюся в положении равновесия, смещают до расстояния L, а затем импульсом придают ей в начальный момент времени $t = 0$ скорость $V_2 = 0{,}03\,\frac{м}{с}$. В результате КС приходит в колебательное движение. Необходимо:

1. Вывести дифференциальное ур-е малых колебаний, если сила сопротивления движению тела КС пропорциональна скорости, т.е $\vec{F} = -r\vec{V}$, где r — коэффициент сопротивления.
2. Определить круговую частоту ω_0 и период T_0 свободных незатухающих колебаний.
3. Найти круговую частоту ω и период T свободных зату~~хаю~~хающих колебаний.
4. Вычислить логарифмический декремент затухания.
5. Определить, используя начальные условия задачи и

исходные данные, начальные амплитуду A_0 и фазу φ_0 колебаний.
6. Написать с учетом найденных значений ур-е колебаний.

Дано:
$m = 0{,}1$ кг
$k_1 = 16\ \frac{Н}{м}$
$k_2 = 14\ \frac{Н}{м}$
$r = 0{,}8\ \frac{кг}{с}$
$l_{10} = 0{,}12$ м
$l_{20} = 0{,}12$ м
$L = 0{,}11$ м
$V_2 = 0{,}03\ \frac{м}{с}$
Найти:
ω_0 -?
T_0 -?
ω -?
T -?
δ -?
A_0 -?
φ_0 -?

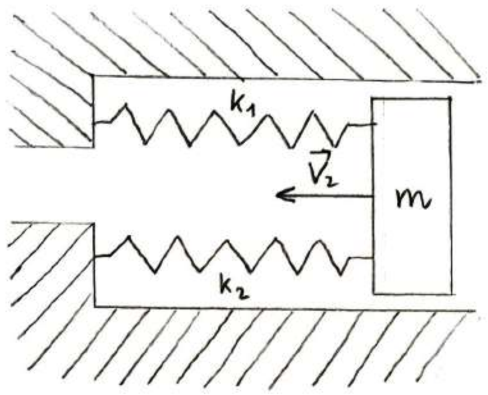


рис. 4.

Решение:

1. По 2-ому закону Ньютона

$$ma_x = \sum_i F_{ix}$$

В данном случае:

$$m a_x = -kx - rV_x \quad (k \text{ - общая жесткость двух пружин})$$

$$m\ddot{x} = -kx - r\dot{x}$$

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = 0 \quad |:m$$

$$\ddot{x} + \frac{r}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (1)$$

$\beta = \frac{r}{2m}$ - коэффициент затухания (2)

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \quad (3)$$

Тогда, подставляя (2) и (3) в (1), получаем:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

2. $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Найдем общую жесткость k:

$$\vec{F}_{общ} = \vec{F}_{упр1} + \vec{F}_{упр2}$$

$Ox: \quad kx = k_1 x + k_2 x$

$$k = k_1 + k_2$$

$$k = 14 + 16 = 30 \frac{Н}{м}$$

Тогда:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{30}{0,1}} = 17,3 \ с^{-1}$$

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \ ; \quad T_0 = \frac{2 \cdot 3,14}{17,3} = 0,36 \ с$$

3. $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$

$$\beta = \frac{r}{2m} \ ; \quad \beta = \frac{0,8 \frac{кг}{с}}{2 \cdot 0,1 кг} = 4 \frac{1}{с}$$

$$\omega = \sqrt{17,3^2 - 4^2} = 16,8 \ с^{-1}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \ ; \quad T = \frac{2 \cdot 3,14}{16,8} = 0,37 с$$

4. Логарифмический декремент затухания:

$$\delta = \beta T$$

$$\delta = 4 \cdot 0,37 = 1,48$$

5. Т.к $\omega_0 > \beta$, общее решение ур-я (1) имеет вид:

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Тогда:

$$V = \dot{x} = A_0 \left((e^{-\beta t})' \cos(\omega t + \varphi_0) + (\cos(\omega t + \varphi_0))' e^{-\beta t} \right) =$$

$$= A_0 e^{-\beta t} \left(-\beta \cos(\omega t + \varphi_0) - \omega \sin(\omega t + \varphi_0) \right) =$$

$$= - A_0 e^{\beta t} \left(\beta \cos(\omega t + \varphi_0) + \omega \sin(\omega t + \varphi_0) \right)$$

$$x(0) = \ell_{10} - L = A_0 \cos\varphi_0 \qquad (4)$$

$$V(0) = V_2 = -A\left(\beta \cos\varphi_0 + \omega \sin\varphi_0\right) \qquad (5)$$

Поделим (4) на (5):

$$\frac{\ell_{10} - L}{V_2} = \frac{A_0 \cos\varphi_0}{-A_0\left(\beta\cos\varphi_0 + \omega\sin\varphi_0\right)}$$

$$V_2 \cos\varphi_0 = (L - \ell_{10})(\beta\cos\varphi_0 + \omega \sin\varphi_0) \quad \Big| : \cos\varphi_0$$

$$V_2 = (L - \ell_{10})(\beta + \omega\, tg\,\varphi_0)$$

$$tg\,\varphi_0 = \frac{1}{\omega}\left(\frac{V_2}{L - \ell_{10}} - \beta\right)$$

$$\varphi_0 = arctg\left(\frac{1}{\omega}\left(\frac{V_2}{L - \ell_{10}} - \beta\right)\right)$$

$$\varphi_0 = arctg\left(\frac{1}{16{,}8}\left(\frac{0{,}03\,\frac{м}{с}}{0{,}11 - 0{,}12} - 4\right)\right) = -0{,}39 \text{ рад}$$

Из (4):

$$A_0 = \frac{\ell_{10} - L}{\cos\varphi_0}$$

$$A_0 = \frac{0{,}12 - 0{,}11}{\cos(-0{,}39)} = 0{,}01 \text{ м}$$

6. Ур-е с учетом найденных значений:

$$\ddot{x} + 8\dot{x} + 282{,}24\,x = 0$$

или

$$x = 0{,}01\, e^{-4t} \cos(16{,}8\,t - 0{,}39)$$

Ответ: $\omega_0 = 17{,}3\,с^{-1}$; $\omega = 16{,}8\,с^{-1}$; $\delta = 1{,}48$; $A_0 = 0{,}01 м$

$T_0 = 0{,}36 с$; $T = 0{,}37 с$; $\varphi_0 = -0{,}39 рад$;

$\ddot{x} + 8\dot{x} + 282{,}24\,x = 0$

$x = 0{,}01\, e^{-4t} \cos(16{,}8\,t - 0{,}39)$

Домашнее задание по курсу общей физики

1-й курс (2-й семестр)

Группа ИУ7-23Б Фамилия, инициалы Маслова М.Д

Вариант № 11 Задача № 4-2

Для стержня, закрепленного, как указано на рис. 5, необходимо:

1. вывести формулу для возможных частот продольных волн, возбуждаемых в стержне, при которых в нем образуется стоячая волна.
2. указать, какая частота колебаний является основной, а какие частоты относятся к обертонам (к высшим гармоникам)
3. определить частоту и длину волны i-ой гармоники
4. для этой гармоники нарисовать вдоль стержня качественную картину:
   а) стоячей волны амплитуд смещений
   б) стоячей волны амплитуд деформаций.

Дано:

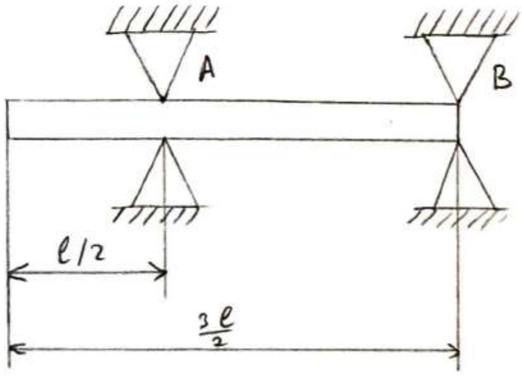
материал – титан

$\rho = 4{,}5 \cdot 10^3 \frac{кг}{м^3}$

$E = 11 \cdot 10^{10}$ Па

$l = 0{,}8$ м

$i = 1$



Решение:

1 Пусть на левом конце стержня действует источник гармонических колебаний:

$$\xi = A \cos \omega t$$

Тогда уравнение прямой волны:

$$\xi_1(x,t) = A\cos(\omega t - kx)$$

Т.к. в точке B будет наблюдаться узел стоячей волны ($l_0 = \frac{3l}{2}$)

$$\xi_2(x,t) = A\cos(\omega t + kx - 2kl_0 - \pi)$$

Уравнение стоячей волны:

$$\xi(x,t) = \xi_1 + \xi_2 = A\cos(\omega t - kx) + A\cos(\omega t + kx - 2kl_0 - \pi) =$$

$$= 2A\sin(kl_0 - kx)\sin(kl_0 - \omega t)$$

Тогда: $A_{ст} = |2A\sin(kl_0 - kx)|$

В точке B должен наблюдаться узел:

$x = l_0 \Rightarrow A_{ст} = 0$

В точке A — узел: $l_0 = \frac{3l}{2}$; $x = \frac{l}{2}$

$$\sin\left(\frac{3kl}{2} - \frac{kl}{2}\right) = 0$$

$$\sin(kl) = 0$$

$$kl = \pi n; \quad n = 1, 2, 3, \ldots$$

На левом краю пучность: $l_0 = \frac{3l}{2}$; $x = 0$

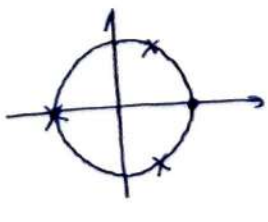
$$\sin\frac{3kl}{2} = \pm 1$$

$$\frac{3kl}{2} = \pi n - \frac{\pi}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$kl = \frac{2\pi n}{3} - \frac{\pi}{3}$$

Условия выполняются одновременно:

$$\begin{cases} kl = \pi n \\ kl = \frac{2\pi n}{3} - \frac{\pi}{3} \end{cases}$$



$$kl = 2\pi n - \pi, \quad n = 1, 2, 3 \ldots$$

Т.к $k = \frac{2\pi}{\lambda}$:

$$\frac{2\pi}{\lambda} l = 2\pi n - \pi \quad , n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$\frac{2l}{\lambda} = 2n - 1$$

$$\frac{l}{\lambda} = n - \frac{1}{2}$$

$l = \frac{\lambda}{2}(2n-1)$ – в длине l укладывается нечетное число полуволн

Для $l_0 = \frac{3l}{2}$:

$$\frac{3l}{2} = \frac{3\lambda}{4}(2n-1)$$

$$l_0 = \frac{3\lambda}{4}(2n-1)$$

Т.к $\lambda = \frac{c}{\nu}$; где c – скорость волн в стержне.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Тогда $l = \frac{c}{2\nu}(2n-1)$

$$\nu = \frac{c}{2l}(2n-1)$$

$\nu = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{E}{\rho}}(2n-1)$ – возможные частоты, при которых в стержне может образоваться стоячая волна

$(n = 1, 2, 3, \ldots)$

2. При $n = 1$; $\nu_1 = \frac{c}{2l}$ – основной тон

При $n = 2, 3, 4 \ldots$ – обертоны

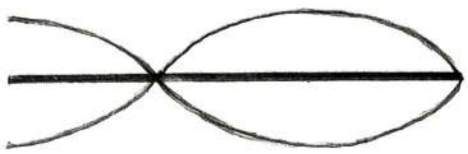
3. Для 1-ой гармоники ($i = 1$, т.е $n = 1$)

$\nu_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \frac{1}{2l}$; $\nu_1 = \sqrt{\frac{11 \cdot 10^{10}}{4{,}5 \cdot 10^3}} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0{,}8} = 3{,}1 \cdot 10^3$ Гц

$\lambda_1 = \frac{2l}{2n-1}$ $\quad \lambda_1 = 2 \cdot 0{,}8 = 1{,}6$ м

4. Качественная картина:

а) стоячей волны амплитуд смещений:



б) стоячей волны амплитуд деформаций: