

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Мозырский государственный педагогический университет  
имени И. П. Шамякина»

## ОБЩАЯ ФИЗИКА. МЕХАНИКА

Справочные материалы

МГПУ им. И. П. Шамякина

Мозырь  
МГПУ им. И. П. Шамякина  
2016

УДК 531/534(076)  
ББК 22.2я73  
О-28

Составитель  
кандидат педагогических наук, доцент,  
доцент кафедры общей физики и методики преподавания физики  
учреждения образования «Мозырский государственный педагогический  
университет имени И. П. Шамякина»  
**Ж. И. Равуцкая**

Рецензенты:  
член-корреспондент НАН Беларуси,  
доктор физико-математических наук, профессор  
*А. Н. Сердюков*,  
кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры общей физики  
УО «Могилевский государственный университет им. А. А. Кулешова»  
*В. М. Кротов*

**Общая физика. Механика** : справочные материалы / сост.  
О-28 Ж. И. Равуцкая. – Мозырь : МГПУ им. И. П. Шамякина, 2016. – 47 с.

ISBN 978-985-477-586-9.

Справочные материалы содержат основные теоретические сведения по разделу «Механика». Выводы всех законов и закономерностей проиллюстрированы соответствующими рисунками. Для эффективной организации самостоятельной работы студентов предложен список рекомендуемой литературы.

Справочные материалы целесообразно использовать в учебном процессе по подготовке студентов по специальности 1-31 04 08 03 Компьютерная физика. Компьютерное моделирование физических процессов.

УДК 531/534(076)  
ББК 22.2я73

ISBN 978-985-477-586-9

© УО МГПУ им. И. П. Шамякина, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
Кинематика материальной точки.....	5
Динамика материальной точки.....	10
Динамика механических систем.....	11
Работа и энергия. Закон сохранения механической энергии.....	12
Механика твердого тела.....	15
Тяготение тел.....	19
Движение тел при наличии трения.....	21
Механика деформируемых твердых тел.....	23
Движение в неинерциальных системах отсчета.....	25
Принцип относительности в механике.....	27
Механика жидкостей и газов.....	29
Колебательное движение.....	33
Волновое движение.....	39
Акустика.....	42
Предметный указатель.....	44
Рекомендуемая литература.....	46

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Общая физика» имеет функциональное значение для подготовки студентов к их будущей специальности учителя физики средней школы. Содержание раздела «Механика» дисциплины «Общая физика» рассчитано на приобретение студентами знаний о физических процессах, происходящих в природе, при их органичном сочетании с современными данными других наук.

Целью раздела «Механика» дисциплины «Общая физика» является развитие у студентов навыков физического мышления и умения самостоятельно ставить и решать принципиальные физические вопросы и конкретные физические задачи. В результате изучения учебной дисциплины студент должен *знать*:

- основные понятия и законы механики;
- законы сохранения;
- основы механики сплошной среды;
- общие методы измерений физических величин.

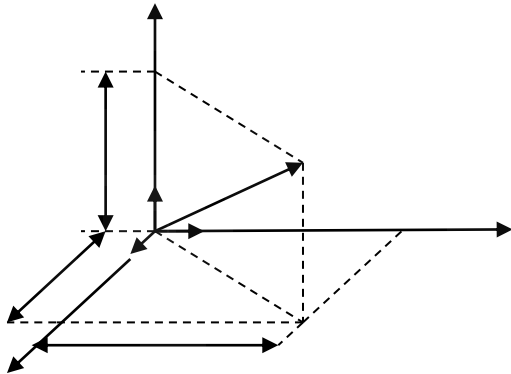
Реализации поставленной цели могут служить разработанные справочные материалы «Общая физика. Механика». Пособие содержит основные теоретические сведения по разделу «Механика», включающие определения физических величин, единицы их измерения, основные законы механики, физические формулы, являющиеся математическим выражением физических законов. Для лучшего восприятия и запоминания материала выводы всех законов и закономерностей проиллюстрированы соответствующими рисунками. Для эффективной реализации самостоятельной работы студентов по подготовке к занятиям по разделу «Механика» представлен список рекомендуемой литературы. Для быстрого нахождения необходимых сведений в конце пособия представлен предметный указатель.

## КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Система отсчета включает в себя:

- тело отсчета,
- систему координат,
- способ измерения времени.

*Положение материальной точки в выбранной системе отсчета*



$$M(r), M(x, y, z),$$

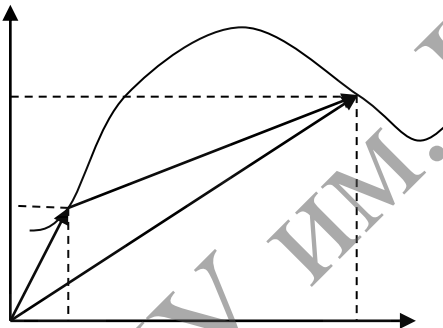
$$r = xi + yj + zk,$$

$i, j, k$  – единичные векторы осей декартовой системы;

$xi, yj, zk$  – составляющие радиус-вектора  $r$  вдоль соответствующих осей координат;

$x, y, z$  – проекции радиус-вектора  $r$  на оси координат.

*Плоское движение материальной точки*



- $\Delta s$  – путь,
- $\Delta r$  – перемещение.

$$\Delta r = r(t + \Delta t) - r(t) =$$

$$= x_2 - x_1 i + y_2 - y_1 j,$$

$$\Delta r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

*Средняя скорость*

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t}, \quad v \uparrow \Delta r, \quad v = \frac{M}{C}$$

*Мгновенная скорость*

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt} = r.$$

$$v = v_x i + v_y j + v_z k, \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2},$$

$v$  – по касательной к траектории в направлении движения.

Среднее ускорение

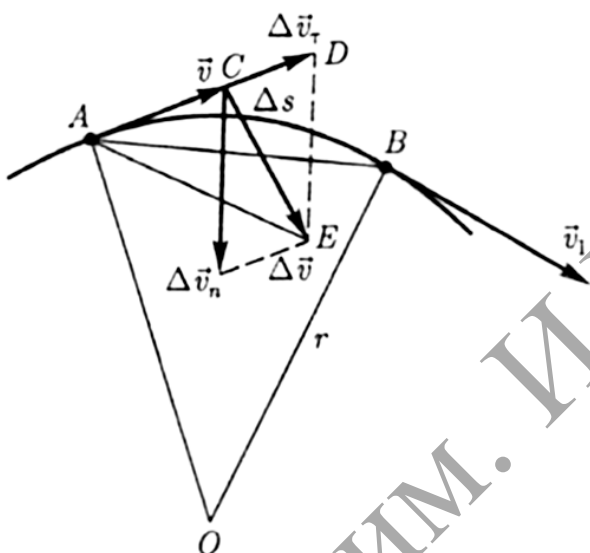
$$a = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t}, \quad a \uparrow \Delta\vartheta, \quad a = \frac{M}{c^2}.$$

Мгновенное ускорение

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} = \frac{d\vartheta}{dt} = \vartheta,$$

$$a = a_x i + a_y j + a_z k, \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

Плоское движение материальной точки по криволинейной траектории

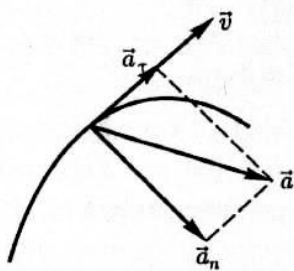


$a_\tau$  – тангенциальное (касательное) ускорение, характеризует быстроту изменения скорости по величине; направлено по касательной к траектории:

$$a_\tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vartheta_\tau}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t} = \frac{d\vartheta}{dt};$$

$a_n$  – нормальное (центростремительное) ускорение, характеризует быстроту изменения скорости по направлению; направлено к центру кривизны траектории:

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vartheta_n}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vartheta \Delta r}{r \Delta t} = \frac{\vartheta^2}{r}.$$



Полное ускорение

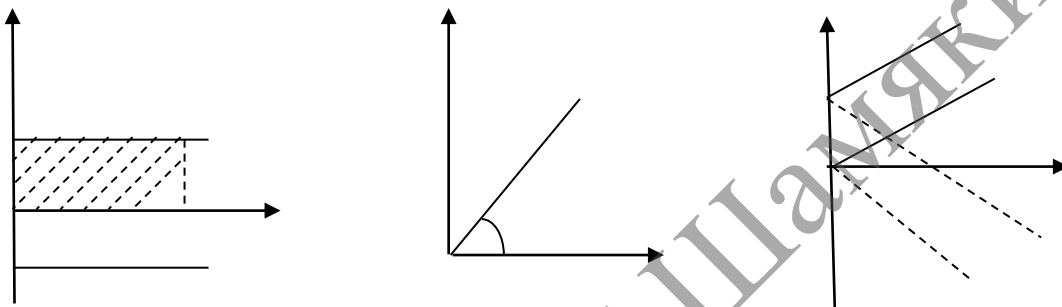
$$a = a_\tau + a_n,$$

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2 + \frac{\vartheta^2}{r^2}}.$$

## Виды движения в кинематике

1)  $a_\tau = 0, a_n = 0$  – прямолинейное равномерное движение

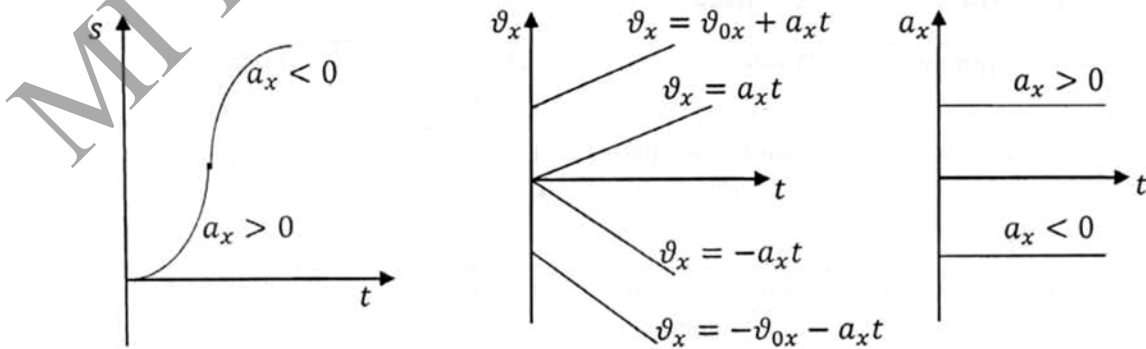
$$v = \frac{dr}{dt} = \text{const}, r = r_0 + vt, x = x_0 + v_x t, s = vt.$$



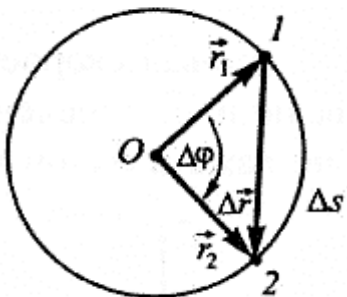
2)  $a_\tau = a = \text{const}, a_n = 0$  – прямолинейное равнопеременное (равноускоренное) движение

$$v = v_0 + at, v_x = v_{0x} + a_x t;$$

$$r = r_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}, x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}, s = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$



3)  $a_\tau = 0$ ,  $a_n = const$  – криволинейное равномерное движение (равномерное движение по окружности)



$r$  – радиус-вектор,  
 $\Delta\varphi$  – угол поворота радиуса за время  $\Delta t$ .

Угловая скорость

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\varphi - \varphi_0}{\Delta t}, \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu, \omega = \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Период вращения

$$T = \frac{\Delta t}{N}, T = c.$$

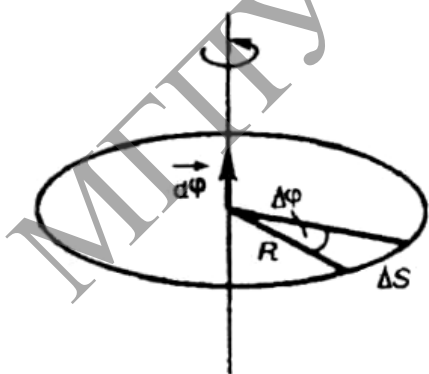
Частота вращения

$$\nu = \frac{N}{\Delta t} = \frac{1}{T}, \nu = c^{-1}.$$

Кинематическое уравнение движения

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t.$$

4)  $a_\tau \neq 0$ ,  $a_n \neq 0$  – криволинейное равнопеременное движение



$R$  – радиус окружности,  
 $\Delta\varphi$  или  $d\varphi$  – угловое перемещение,  
 направление  $d\varphi$  – по правилу правого винта,  
 $d\varphi$  – псевдовектор.

*Правило правого винта:* если вращать правый винт в направлении вращательного движения точки, то его поступательное движение укажет направление вектора углового перемещения.



Средняя угловая скорость

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t},$$

направление  $\omega$  – по правилу правого винта,  $\omega$  – псевдовектор.

Мгновенная угловая скорость

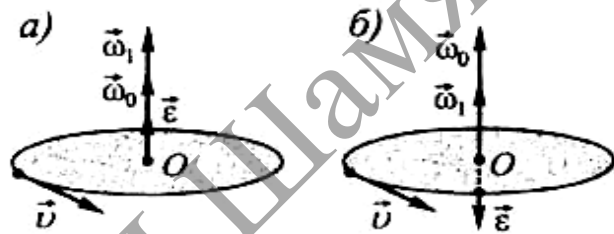
$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} = \dot{\varphi}.$$

Среднее угловое ускорение

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \quad \varepsilon = \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Мгновенное угловое ускорение

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \dot{\omega} = \dot{\varphi}, \quad \varepsilon \uparrow \Delta\omega.$$



Закон равнопеременного вращательного движения

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad \omega = \omega_0 \pm \varepsilon t.$$

Связь линейных и угловых величин

Линейные величины	Угловые величины	Связь
$\Delta s$	$\Delta\varphi$	$\Delta s = \Delta\varphi R$
$v = \frac{dr}{dt}$	$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$	$v = \omega r$
$a_\tau = \frac{dv}{dt}$ $a_n = \frac{v^2}{R}$ $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$	$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$	$a_\tau = \varepsilon r$ $a_n = -\omega^2 r$
$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ $v_x = v_{0x} + a_x t$	$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$ $\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$	

## ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Равнодействующая  
сила

$$F = \sum_{i=1}^n F_i.$$

Первый закон  
Ньютона (закон  
инерции)

всякое тело, не подверженное внешним воздействиям, либо находится в состоянии покоя, либо движется прямолинейно и равномерно. Такое тело называется свободным, а его движение – свободным движением, или движением по инерции.

Инерциальные  
системы отсчета

- *гелиоцентрическая*: центр совмещен с Солнцем, а оси направлены на соответствующим образом выбранные звезды;
- *геоцентрическая*: центр совпадает с центром Земли, одна из координатных осей совмещена с земной осью, а две другие расположены взаимно перпендикулярно в экваториальной плоскости.

Импульс  
материальной точки

$$p = m\vartheta, \quad p = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

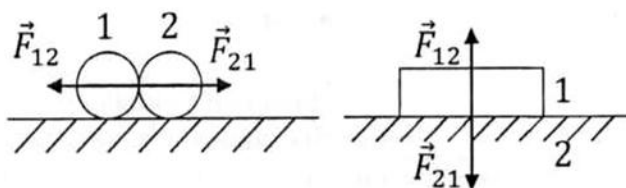
Второй закон Ньютона



$$a = \frac{F}{m}, \quad F = \sum_{i=1}^n F_i = ma, \quad a = \frac{d\vartheta}{dt} \Rightarrow F = m \frac{d\vartheta}{dt} = \frac{dp}{dt} = p \text{ или } dp = F dt.$$

Третий закон Ньютона

$$F_{12} = -F_{21}.$$



Силы приложены к *разным* телам, поэтому *не* компенсируют друг друга.

## ДИНАМИКА МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

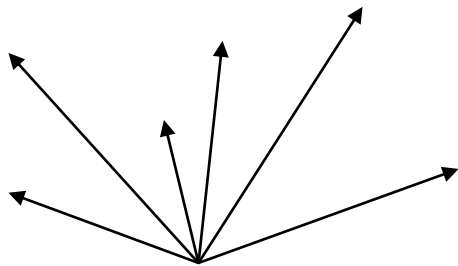
Закон изменения полного импульса системы тел

$$\frac{dp}{dt} = \sum_{i=1}^n F_i.$$

Закон сохранения импульса

$$\frac{dp}{dt} = 0 \Rightarrow p = \text{const.}$$

Центр масс системы



$$R_C = \frac{m_1 r_1 + m_2 r_2 + \dots + m_n r_n}{m},$$

$$m R_C = \sum_{i=1}^n m_i r_i,$$

$$m \frac{d\vartheta_C}{dt} = \sum_{i=1}^n F_i,$$

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0 \text{ и } \frac{d\vartheta_C}{dt} = 0 \Rightarrow \vartheta_C = \text{const.}$$

Уравнение И.В. Мещерского

$$m \frac{d\vartheta}{dt} = F + u \frac{dm}{dt},$$

$$ma = F + F_p.$$

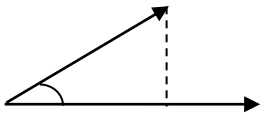
Формула Циолковского

$$\vartheta = u \ln \left( 1 + \frac{dm}{m} \right),$$

$$\frac{dm}{m} = z - \text{число Циолковского.}$$

## РАБОТА И ЭНЕРГИЯ ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Элементарная работа  
постоянной силы



$$\delta A = F dr = F dr \cos \alpha,$$

$$dr = ds \quad \delta A = F ds \cos \alpha = F_s ds,$$

$$A_{12} = \int_1^2 F_s ds = \int_1^2 F dr, \quad A = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Дж}.$$

Средняя мощность

$$P = \frac{A}{\Delta t} = \frac{F s \cos \alpha}{\Delta t}, \quad P = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ Вт}.$$

Мгновенная мощность

$$P = \frac{\delta A}{dt} = \frac{F dr}{dt} = F v.$$

Кинетическая энергия

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}.$$

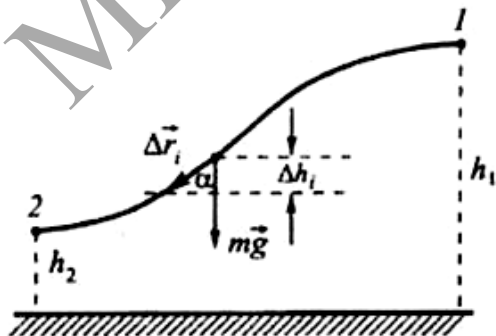
Теорема об изменении  
кинетической энергии

$$A_{12} = E_{k2} - E_{k1}.$$

Потенциальная энергия

$$E_{\text{п}} = A_{10}.$$

Работа силы тяжести

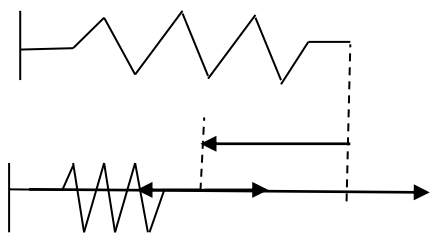


$$A_{12} = mgh_1 - mgh_2.$$

$$A_{12} = E_{\text{п}1} - E_{\text{п}2} = -\Delta E_{\text{п}}, \quad E_{\text{п}} = mgh.$$

Сила тяжести – консервативная сила.

*Работа сил упругости*



$$A_{12} = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}.$$

$$A_{12} = E_{п1} - E_{п2} = -\Delta E_{п}, E_{п} = \frac{kx^2}{2}.$$

Сила упругости – консервативная сила.

*Закон сохранения полной механической энергии*

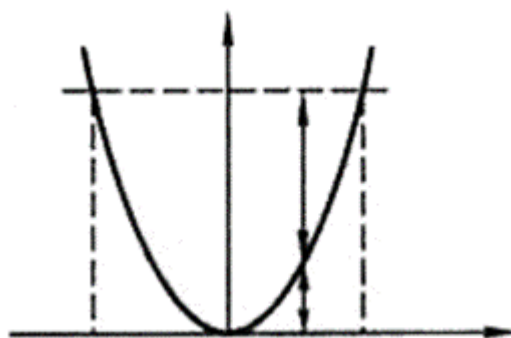
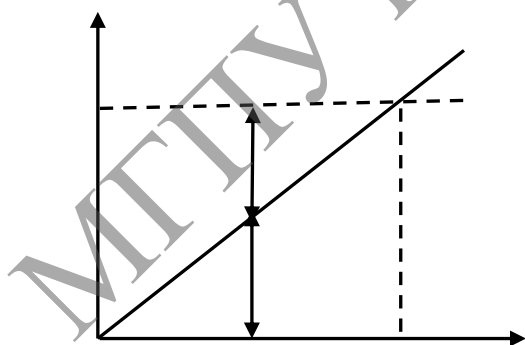
Для замкнутой системы тел, в которой действуют лишь консервативные силы

$$d E_{к} + E_{п} = 0 \text{ и } E = E_{к} + E_{п} = const.$$

Для замкнутой системы тел, в которой действуют также неконсервативные силы

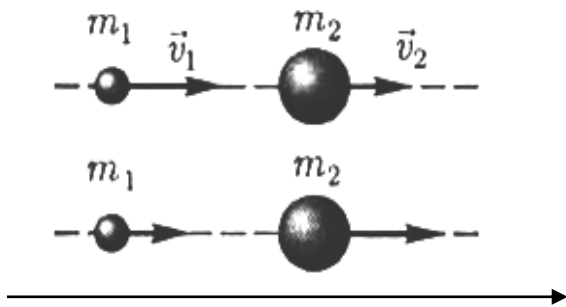
$$d E_{к} + E_{п} = \delta A_{неконс}, E_2 - E_1 = A_{12неконс}.$$

*Графическое представление энергии*



*Применение законов сохранения импульса и энергии  
при анализе абсолютно упругого и неупругого ударов*

*Абсолютно упругий удар*



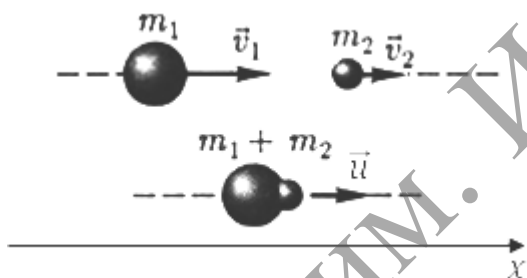
$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2},$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2,$$

$$u_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_2,$$

$$u_2 = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_2 + \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1.$$

*Абсолютно неупругий удар*



$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u,$$

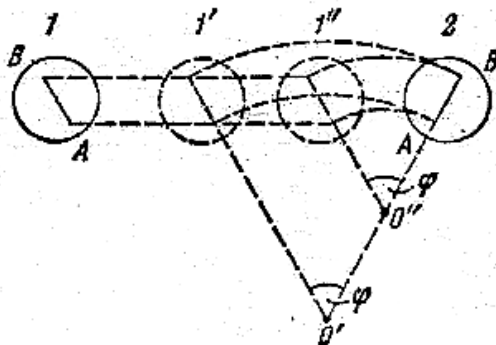
$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

$$E_{к1} - E_{к2} = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2.$$

## МЕХАНИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

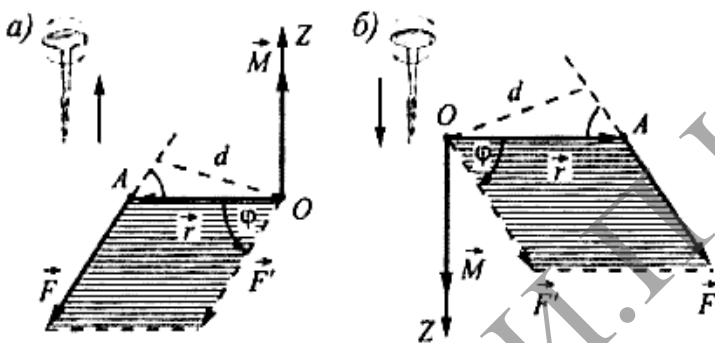
Движение абсолютно твердого тела



$$dr = dr_{II} + dr_B,$$

$$\vartheta = \vartheta_0 + \omega r.$$

Момент силы относительно неподвижной точки O

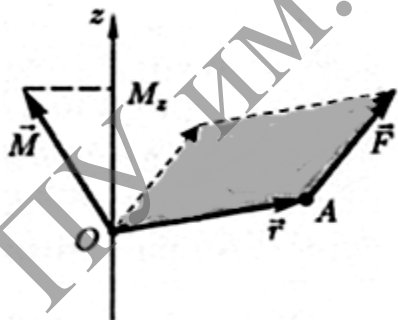


$$M = r F,$$

$$M = Fr \sin \varphi = Fd,$$

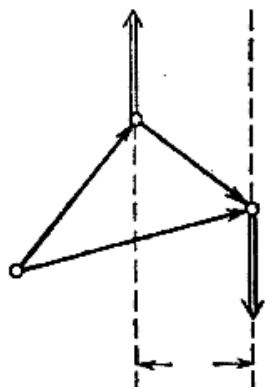
$$M = H \cdot m.$$

Момент силы относительно неподвижной оси



$$M_z = r, F_z.$$

Пара сил

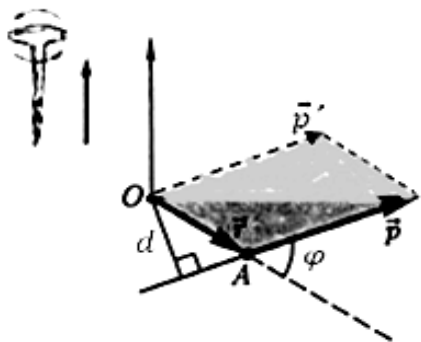


$$F_1 = -F_2,$$

$$M = r_1 F_1 + r_2 F_2,$$

$$M = r_{12} F_2, r_{12} = r_2 - r_1.$$

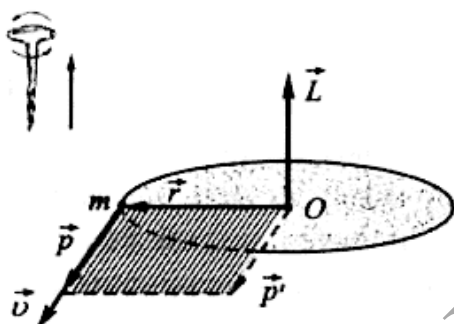
Момент импульса относительно неподвижной точки  $O$



$$L = r p = r m v ,$$

$$L = m v r \sin \varphi = m v d = p d ,$$

$$L = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}} .$$



$$L = m v r, v = \omega r ,$$

$$L = m r^2 \omega = I \omega .$$

Уравнение моментов

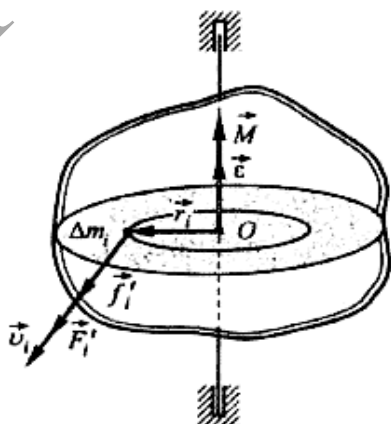
$$\frac{dL}{dt} = M_{\text{внешн}} .$$

Закон сохранения момента импульса

$$\frac{dL}{dt} = 0 \Rightarrow L = \sum_i L_i = \text{const} .$$

$$\frac{dL_z}{dt} = 0 \Rightarrow L_z = I_z \omega = \text{const} .$$

Уравнение динамики вращательного движения твердого тела



$$M = I \epsilon .$$



Момент инерции тела

$$I = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2 = \rho \sum_{i=1}^n r_i^2 \Delta V_i,$$

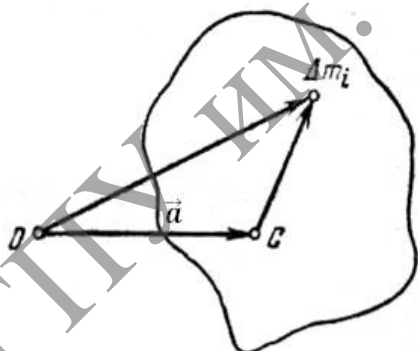
$$I = \int_0^m r^2 dm = \int_0^V \rho r^2 dV,$$

$$I = \text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

Значения моментов инерции для некоторых тел

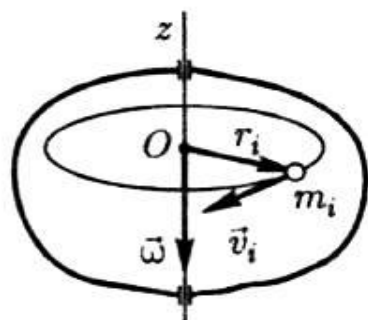
Тело	Положение оси	Момент инерции
Полый тонкостенный цилиндр радиуса $R$	Ось симметрии	$I = mR^2$
Сплошной цилиндр или диск радиуса $R$	Ось симметрии	$I = \frac{1}{2} mR^2$
Прямой тонкий стержень длиной $l$	Ось перпендикулярна стержню и проходит через его середину	$I = \frac{1}{12} ml^2$
Шар радиуса $R$	Ось проходит через центр шара	$I = \frac{2}{5} mR^2$

Теорема Штейнера



$$I_O = I_C + ma^2.$$

Кинетическая энергия вращающегося тела



$$E_{\text{к вр}} = \frac{I_z \omega^2}{2},$$

$$dA = dE_{\text{к вр}},$$

$$dA = M_z d\varphi.$$

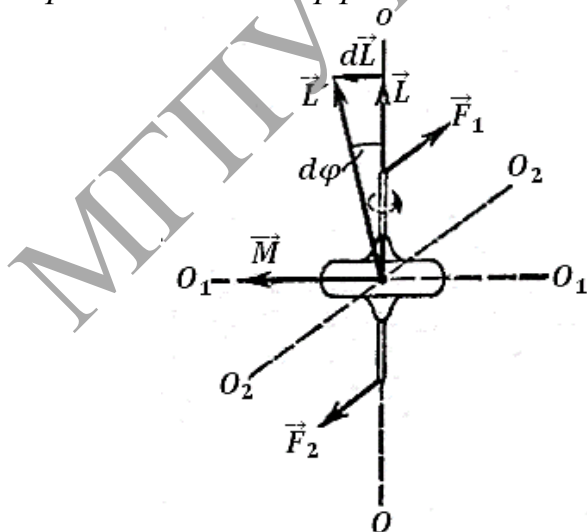
Сопоставление основных величин и соотношений  
для поступательного и вращательного движения тела

Поступательное движение	Вращательное движение
Перемещение $dr$	Угловое перемещение $d\varphi$
Линейная скорость $v = \frac{dr}{dt}$	Угловая скорость $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$
Линейное ускорение $a = \frac{dv}{dt}$	Угловое ускорение $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$
Масса $m$	Момент инерции $I$
Сила $F$	Момент силы $M$
Импульс $p = mv$	Момент импульса $L = I\omega$
Основное уравнение динамики $F = ma, F = \frac{dp}{dt}$	Основное уравнение динамики $M = I\varepsilon, M = \frac{dL}{dt}$
Кинетическая энергия $E_k = \frac{mv^2}{2}$	Кинетическая энергия $E_{k\text{вр}} = \frac{I\omega^2}{2}$
Работа $dA = F_s ds$	Работа $dA = M_z d\varphi$

Кинетическая энергия тела при плоском движении

$$E_k = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{I_c \omega^2}{2}.$$

Гирокоспический эффект



$$\omega_{\text{пр}} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{M}{L} = \frac{M}{I\omega},$$

$$M = \omega_{\text{пр}} L.$$

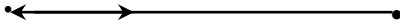
Условия равновесия твердого тела

$$F_i = 0, \quad M_i = 0.$$

$i$   $i$

## ТЯГОТЕНИЕ ТЕЛ

*Закон всемирного тяготения*

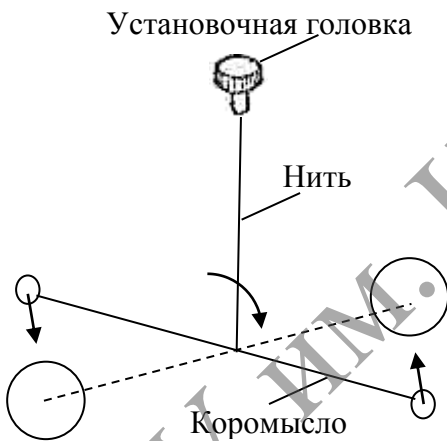


$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{R^2},$$

$$F_{21} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{R_{12}^3} R_{12}.$$



$$F_{21} = -\gamma \frac{\Delta m_i \Delta m_k}{R_{ik}^3} R_{ik}.$$



$$m = 0,729 \text{ кг}, M = 159 \text{ кг};$$

$$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

*Напряженность гравитационного поля*

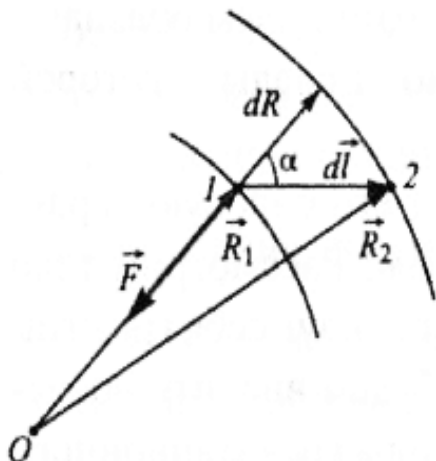


$$G_M = \frac{F}{m} = -\gamma \frac{M}{R^3} R, F = G_M m.$$

$$G_m = \frac{F}{M} = -\gamma \frac{m}{R^3} R, F = G_m M.$$

$$G = \sum_i G_i.$$

Потенциал гравитационного поля



$$E_n = -\gamma \frac{mM}{R},$$

$$\varphi = \frac{A_{1\infty}}{m} = \frac{E_n}{m} = -\gamma \frac{M}{R},$$

$$A_{12} = E_{n1} - E_{n2} = m \varphi_1 - \varphi_2,$$

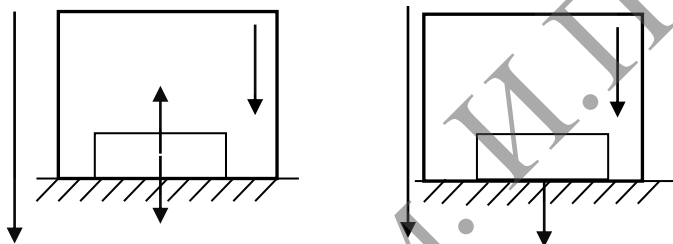
$$G = -\frac{d\varphi}{dx}.$$

Космические скорости

$$v_1 = \sqrt{gR_3},$$

$$v_2 = \sqrt{2gR_3} = v_1 \sqrt{2}.$$

Невесомость

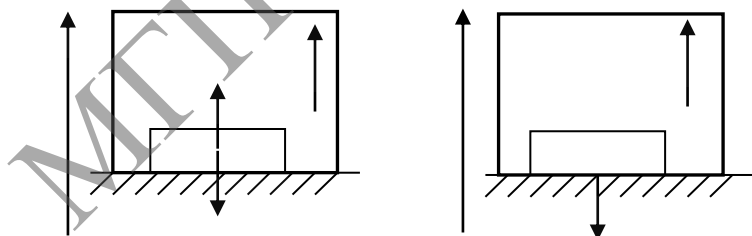


$$P = m g - a ,$$

$$P = m g - a ,$$

$$a = g \Rightarrow P = 0.$$

Перегрузка



$$P = m g - a ,$$

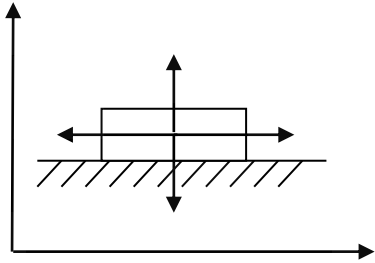
$$P = m g + a ,$$

$$n = \frac{P}{mg} = \frac{m g + a}{m g} =$$

$$= 1 + \frac{a}{g}.$$

## ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ ПРИ НАЛИЧИИ ТРЕНИЯ

Трение покоя

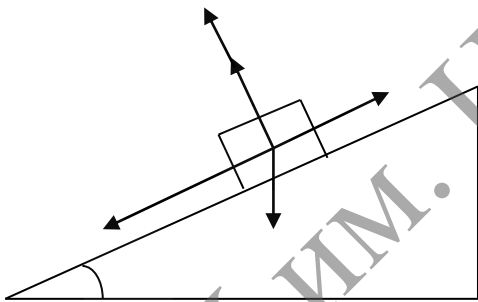


$$0 \leq F_{\text{тр.п.}} \leq F_{\text{тр. max}}$$

Закон Амонтона-Кулона

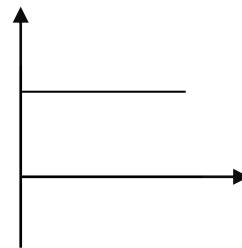
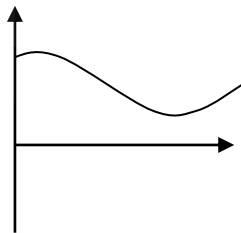
$$F_{\text{тр. max}} = \mu N.$$

Определение значения коэффициента трения покоя

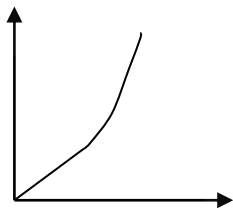


$$\mu = \text{tg} \alpha_{\text{п.}}$$

Сила трения скольжения  $F_{\text{вн}} > F_{\text{тр. max}}$

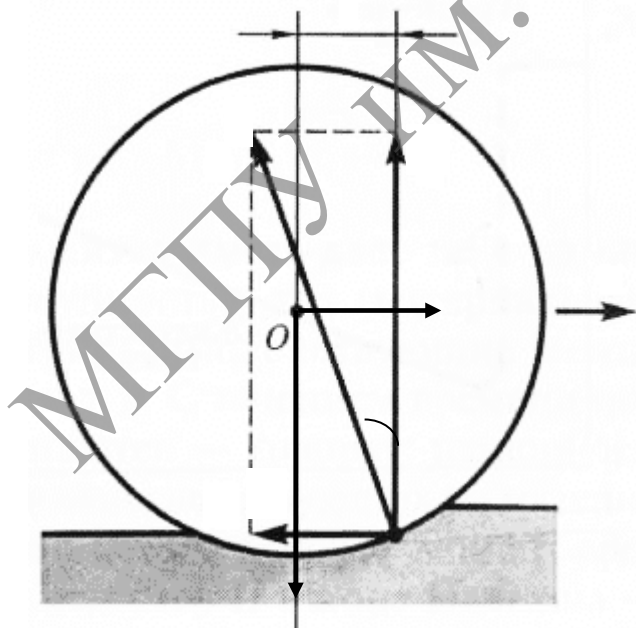
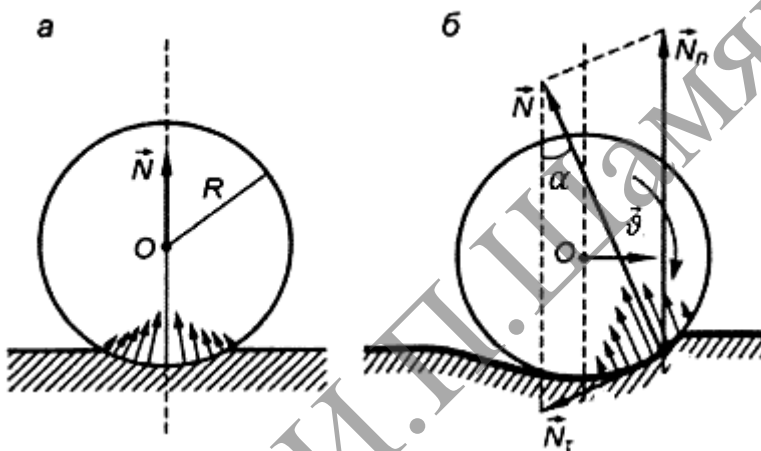


Вязкое трение



При возникновении относительной скорости величина вязкого трения с увеличением скорости сначала растет линейно  $F = \mu_1 v$ , а затем пропорционально квадрату скорости  $F = \mu_2 v^2$ .

Трение качения



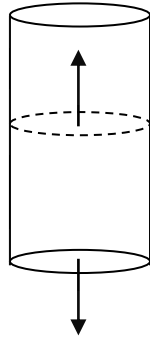
$$N_\tau = F_{\text{трк}}, N_n \approx N,$$

$$F_{\text{трк}} = \lambda \frac{N}{R}, \lambda = m.$$

$\lambda$  показывает, насколько смещается точка приложения силы  $N$ , по отношению к центру тяжести перекатываемого тела.

## МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

### Деформация растяжения



$$F = kx, F_{\text{упр}} = -kx,$$

$$F_{\text{упр}} = kx = k\Delta l.$$

#### Характеристики деформации:

- абсолютная деформация
- относительная деформация
- относительная поперечная деформация
- напряжение

$$x = \Delta l = l - l_0;$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0};$$

$$\varepsilon_d = \frac{\Delta d}{d},$$

$$\varepsilon_d = -\mu\varepsilon, \mu \leq 0,5;$$

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

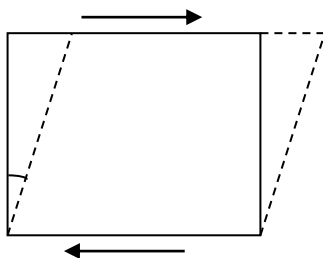
$$\sigma = E\varepsilon.$$

#### Закон Гука для деформации растяжения

#### Характеристики упругих свойств изотропного материала

$E$  – модуль Юнга,  
 $\mu$  – коэффициент Пуассона.

### Деформация сдвига

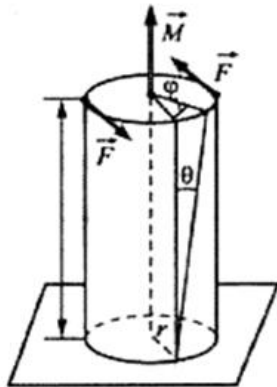


$$\sigma_\tau = \frac{F}{S},$$

$$\gamma = \frac{a}{b} = \operatorname{tg}\varphi, \gamma = \frac{1}{G}\sigma_\tau.$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}.$$

Деформация кручения



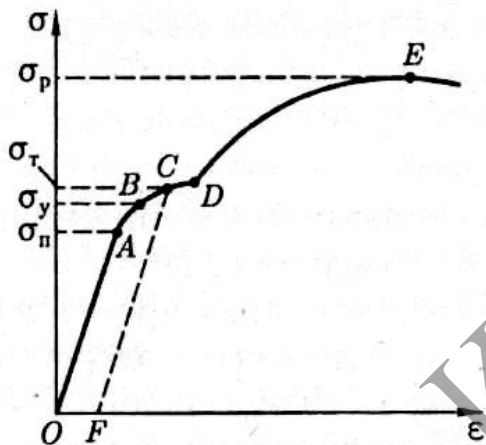
$M$  – крутящий момент,

$\varphi$  – угол закручивания.

$$M = D\varphi,$$

$$D = \frac{\pi Gr^4}{2l}.$$

Диаграмма растяжения



$\sigma_{п}$  – предел пропорциональности,

$\sigma_y$  – предел упругости,

$\sigma_T$  – предел текучести,

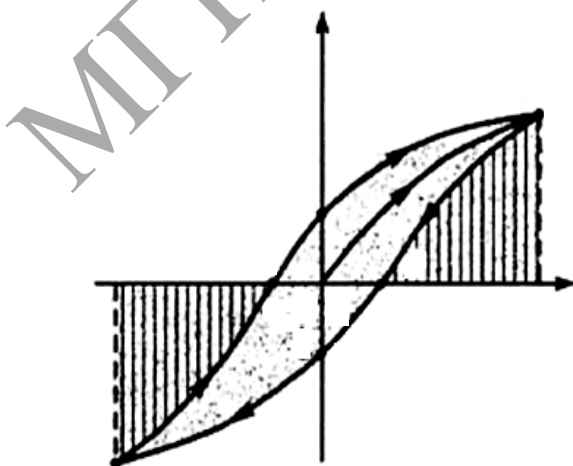
$\sigma_p$  – предел прочности.

Энергия упругой деформации

$$E_{п} = A = \frac{EV}{2} \frac{\sigma^2}{E} = \frac{\sigma^2 V}{2E},$$

$$w_{п} = \frac{E_{п}}{V} = \frac{\sigma^2}{2E}, w_{п} = \frac{\sigma_T^2}{2G}.$$

Упругий гистерезис



Упругий гистерезис – явление отставания деформации упругого тела от напряжения, обусловленного упругими силами.

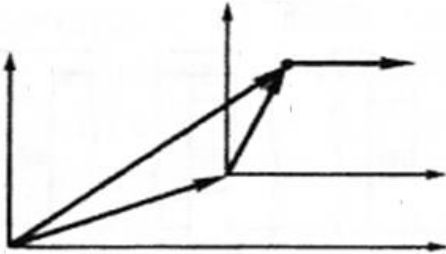
Площадь петли упругого гистерезиса пропорциональна энергии, которая переходит во внутреннюю энергию (идет на нагревание тела).



## ДВИЖЕНИЕ В НЕИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА

Основной закон динамики в НИСО

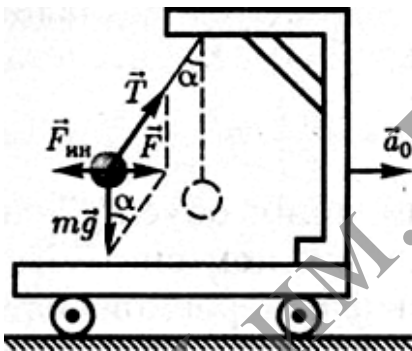
$$ma' = F + F_{\text{ин}},$$



$$F = ma, F_{\text{ин}} = -ma_0,$$

$a$  – абсолютное ускорение (ускорение точки в ИСО),  
 $a_0$  – переносное ускорение системы отсчета  $S'$ ,  
 $a'$  – относительное ускорение (ускорение точки в НИСО).

Сила инерции при ускоренном поступательном движении системы отсчета

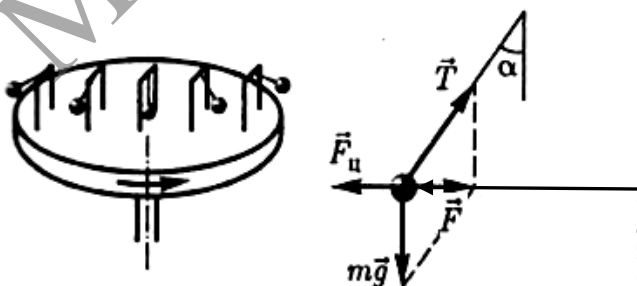


$$\text{tg} \alpha = \frac{a_0}{g},$$

$$F_{\text{ин}} = -ma_0.$$

Пример – внезапное торможение, резкое начало движения.

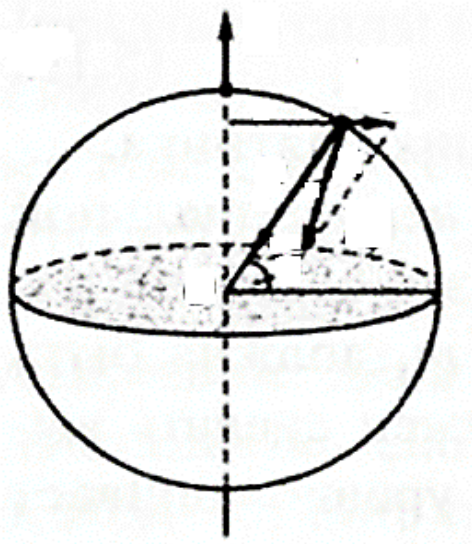
Центробежная сила инерции



$$\text{tg} \alpha = \frac{\omega^2 r}{g},$$

$$F_{\text{цб}} = -ma_n, F_{\text{цб}} = m\omega^2 r.$$

Пример – движение на повороте, на карусели.



Сила Кориолиса

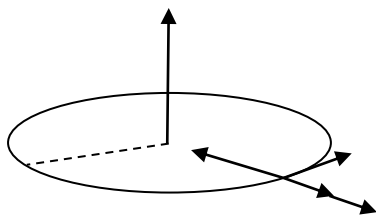
$$P_\varphi = F_g + F_{цб} = mg,$$

$$P_\varphi = \sqrt{F_g^2 + F_{цб}^2} - 2F_g F_{цб} \cos\varphi,$$

$$P_\Pi = F_g = \gamma \frac{mM}{R_3^2}, P_\Sigma = F_g - F_{цб},$$

$$g_\varphi = \frac{P_\varphi}{m},$$

$$\sin\alpha \approx \alpha \approx 0,018 \sin 2\varphi.$$

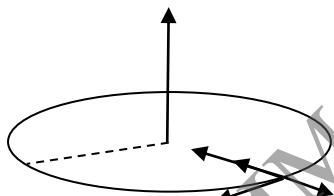


$$\vartheta = \vartheta' + \vartheta_0,$$

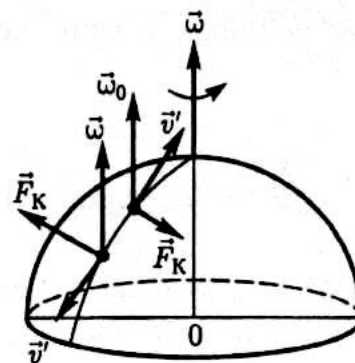
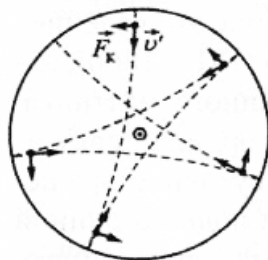
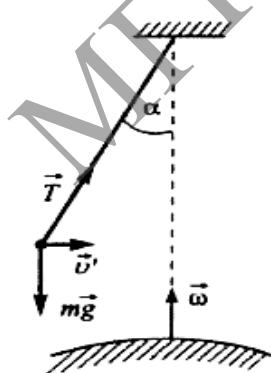
$$F_K = 2m \vartheta' \omega = -ma_K,$$

$$a_K = 2 \omega \vartheta'.$$

Направление силы  $F_K$  — по правилу буравчика.

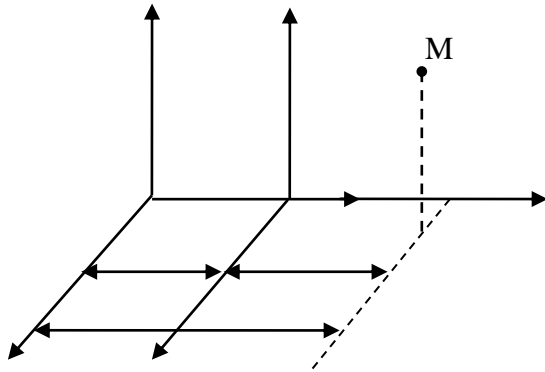


Влияние вращения Земли на движение тел



## ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В МЕХАНИКЕ

Преобразования Галилея



$$x = x' + v_0 t', y = y', z = z', t = t',$$

$$x = x' + v_0, \quad v_x = v_x' + v_0,$$

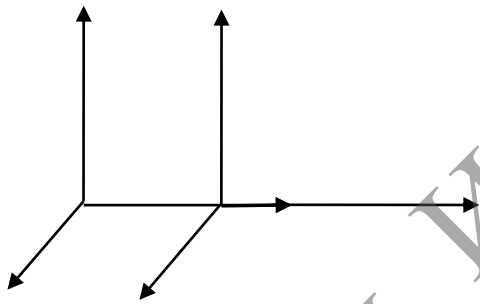
$$y = y', \quad v_y = v_y',$$

$$z = z', \quad v_z = v_z',$$

$$v = v' + v_0,$$

$$a = a', F = F'.$$

Преобразования Лоренца



$$K' \rightarrow K$$

$$K \rightarrow K'$$

$$x = \frac{x' + v_0 t'}{1 - \beta^2},$$

$$x' = \frac{x - v_0 t}{1 - \beta^2},$$

$$y = y',$$

$$y' = y,$$

$$z = z',$$

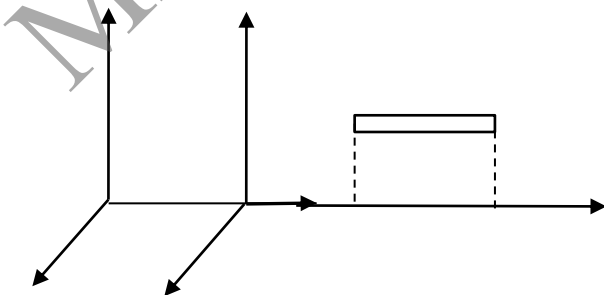
$$z' = z,$$

$$t = \frac{t' + \frac{v_0}{c^2} x'}{1 - \beta^2},$$

$$t' = \frac{t - \frac{v_0}{c^2} x}{1 - \beta^2},$$

$$\beta = \frac{v_0}{c}.$$

Длина тел в разных системах



$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

Промежуток времени между событиями

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Преобразование и сложение скоростей

$$v = \frac{v' + v_0}{1 + \frac{v_0}{c^2} v'}$$

Релятивистский импульс

$$p = m \frac{dr}{d\tau}$$

$$p = \frac{m v}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Релятивистская масса

$$m_r = \frac{m_0}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Основной закон релятивистской динамики

$$F = \frac{d}{dt} \frac{m_0 v}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Кинетическая энергия в релятивистской динамике

$$E_k = m_0 c^2 \left( \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - 1 \right)$$

Энергия покоя

$$E_0 = m_0 c^2$$

Полная энергия релятивистской частицы

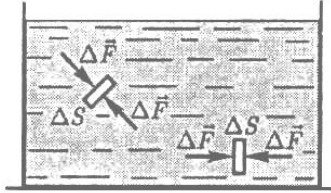
$$E = E_k + E_0 = \frac{m_0 c^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Закон взаимосвязи релятивистской массы и энергии

$$\Delta E = \Delta m_r c^2$$

## МЕХАНИКА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Давление жидкости или газа



$$p = \frac{\Delta F_n}{\Delta S},$$

$$p = \frac{1\text{Н}}{1\text{ м}^2} = 1\text{ Па}.$$

Закон Паскаля

Давление, создаваемое внешними силами, которые действуют на поверхность жидкости, передается без изменения во все точки жидкости.

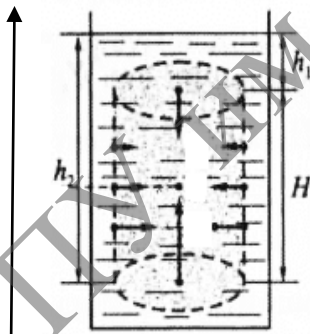
Гидростатическое давление

$$p = \rho g h.$$

Условия равновесия однородных и неоднородных жидкостей в сообщающихся сосудах

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$

Закон Архимеда

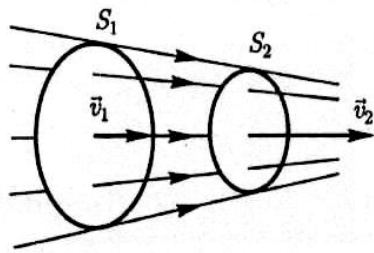


$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V.$$

Условия плавания тел

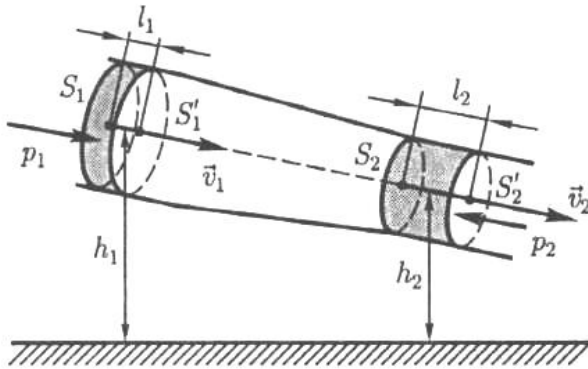
- $mg > F_A$   $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{ж}}$  – тело тонет,
- $mg = F_A$   $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}}$  – тело находится внутри жидкости в состоянии безразличного равновесия,
- $mg < F_A$   $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{ж}}$  – тело плавает на поверхности жидкости, частично погрузившись в нее.

Уравнение неразрывности  
для несжимаемой жидкости



$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \text{ или } S v = \text{const.}$$

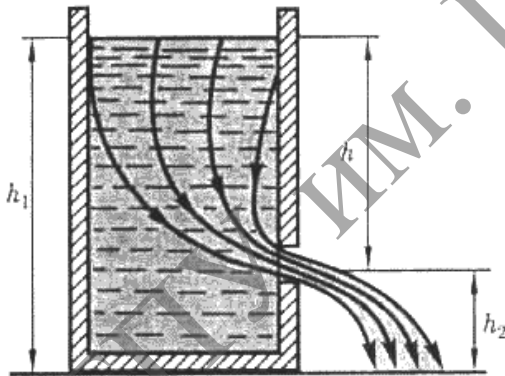
Уравнение Бернулли



$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho g h + p = \text{const.},$$

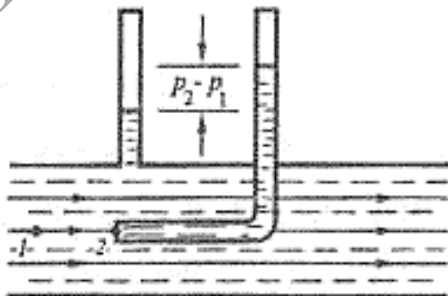
$\frac{\rho v^2}{2}$  – динамическое давление,  
 $\rho g h + p$  – статическое давление.

Формула Торричелли



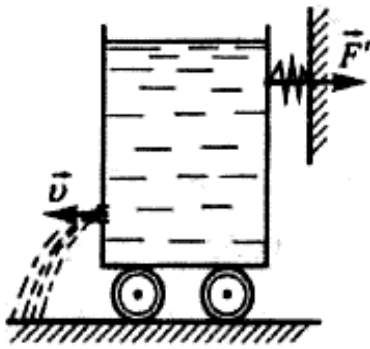
$$v_2 = \sqrt{2gh}.$$

Трубка Пито

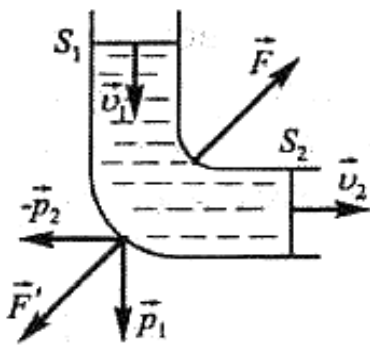


$$p_2 = p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2}.$$

Сила реакции со стороны вытекающей жидкости

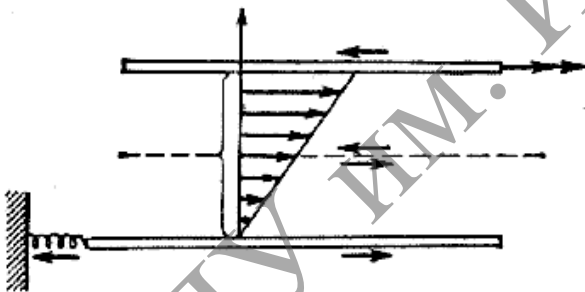


$$F' = \rho S v^2.$$



$$F' = 2 \bar{\rho} S v^2.$$

Силы внутреннего трения



$$F_{\text{тр}} = \eta \frac{dv}{dz} S.$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho v d}{\eta} = \frac{v d}{\nu},$$

$\nu = \frac{\eta}{\rho}$  – кинематическая

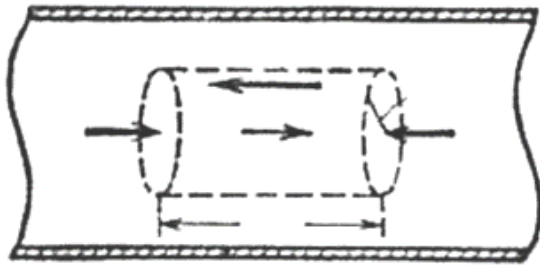
вязкость,

$\rho$  – плотность жидкости,

$v$  – средняя по сечению трубы скорость жидкости,

$d$  – характерный линейный размер.

Движение вязкой жидкости

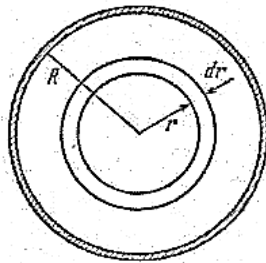


$$v_r = \frac{p_1 - p_2}{4\eta l} R^2 \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right),$$

$$v_r = v_0 \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right),$$

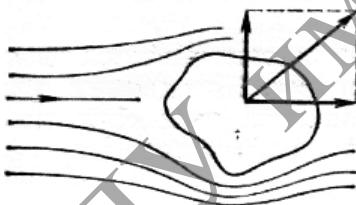
$v_0$  – скорость на оси трубы.

Формула Пуазейля



$$V = \frac{\pi R^4}{8\eta l} (p_1 - p_2) t.$$

Движение тел в жидкостях и газах



$F_L$  – сила лобового сопротивления,

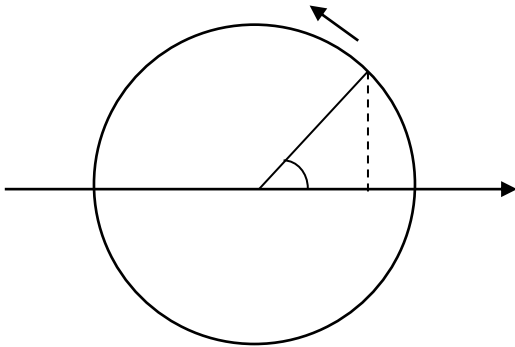
$F_П$  – подъемная сила.

Формула Стокса

$$F_c = 6\pi\eta r v.$$



## КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ



$$x = A \cos \omega_0 t + \varphi_0 ,$$

$A$  – амплитуда колебания,  
 $\omega_0$  – циклическая (круговая) частота колебания,

$\omega_0 t + \varphi_0$  – фаза колебания,  
 $\varphi_0$  – начальная фаза.

*Период колебаний*

$$T = \frac{t}{N} = \frac{2\pi}{\omega_0}, \quad T = \text{с.}$$

*Частота колебаний*

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}, \quad \nu = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}.$$

$$\omega_0 = 2\pi\nu, \quad \omega = \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

*Скорость колеблющейся точки*

$$\begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \sin \omega_0 t + \varphi_0 = \\ &= A\omega_0 \cos \omega_0 t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}, \end{aligned}$$

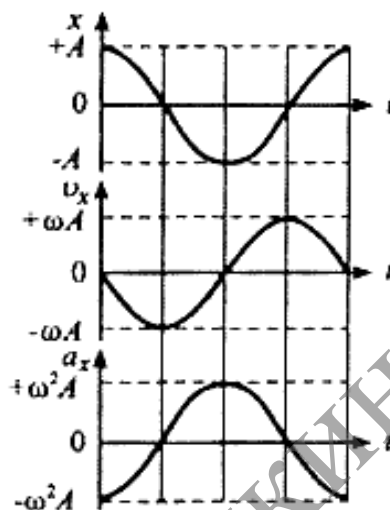
$v_0 = A\omega_0$  – амплитуда скорости.

*Ускорение колеблющейся точки*

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = -A\omega_0^2 \cos \omega_0 t + \varphi_0 = \\ &= A\omega_0^2 \cos \omega_0 t + \varphi_0 + \pi, \end{aligned}$$

$a_0 = A\omega_0^2$  – амплитуда ускорения.

Графики зависимостей  $x(t)$ ,  $v_x(t)$ ,  $a_x(t)$  для случая  $\varphi_0 = 0$

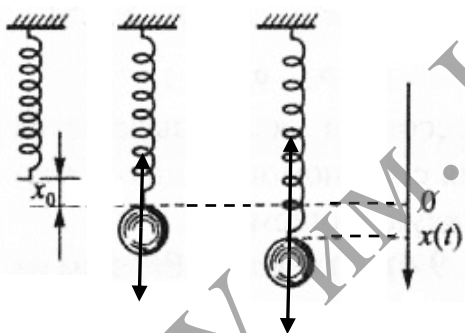


Дифференциальное уравнение гармонического колебания

$$a_x + \omega_0^2 x = 0,$$

$$x + \omega_0^2 x = 0 \text{ или } \frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0.$$

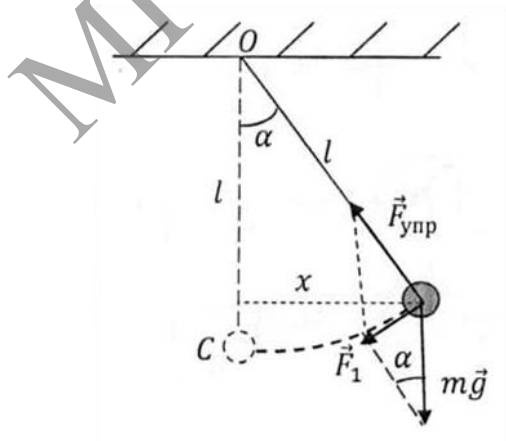
Пружинный маятник



$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0,$$

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2, T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

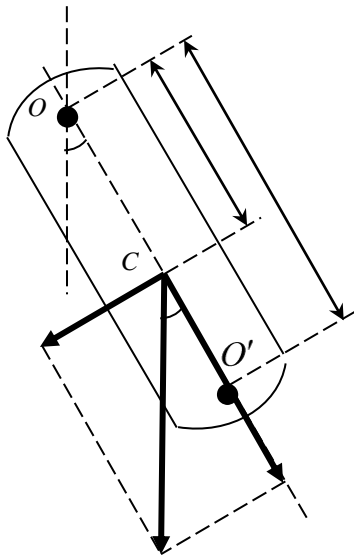
Математический маятник



$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{g}{l} x = 0,$$

$$\frac{g}{l} = \omega_0^2, T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Физический маятник



$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{mgl}{I}\varphi = 0,$$

$$\frac{mgl}{I} = \omega_0^2,$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}},$$

$L = \frac{I}{ml}$  — приведенная длина физического маятника.

Кинетическая энергия системы, совершающей гармонические колебания

$$E_K = \frac{m\dot{\vartheta}^2}{2} = \frac{1}{2} mA^2 \omega_0^2 \sin^2 \omega_0 t + \varphi_0 .$$

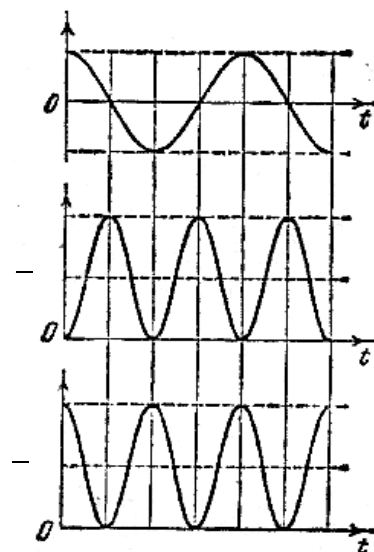
Потенциальная энергия системы, совершающей гармонические колебания

$$E_{II} = \frac{1}{2} mA^2 \omega_0^2 \cos^2 \omega_0 t + \varphi_0 .$$

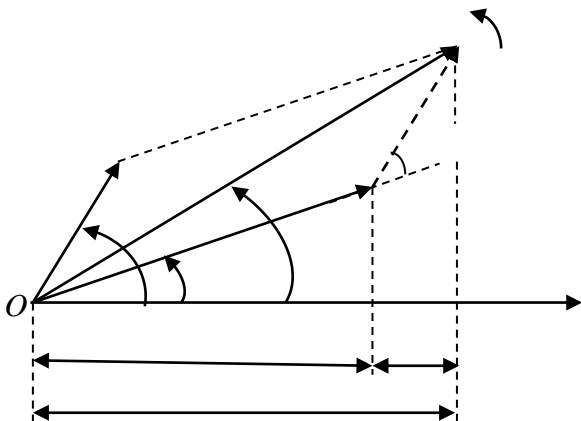
Полная энергия системы

$$E = E_K + E_{II} = \frac{mA^2 \omega_0^2}{2}.$$

Графики зависимостей  $x(t)$ ,  $E_K(t)$ ,  $E_{II}(t)$



Сложение гармонических колебаний  
одного направления и одинаковой  
частоты



$$x_1 = A_1 \cos \omega_0 t + \varphi_1 ,$$

$$x_2 = A_2 \cos \omega_0 t + \varphi_2 ,$$

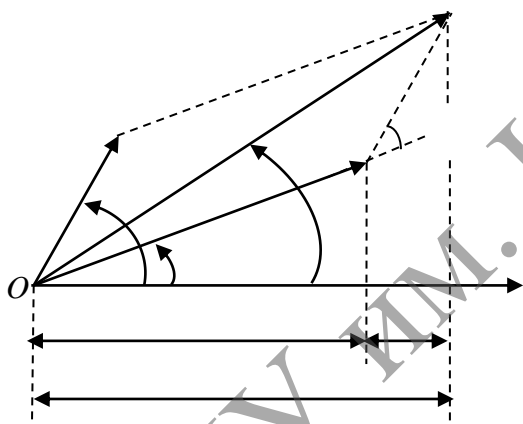
$$x = x_1 + x_2 ,$$

$$x = A \cos \omega_0 t + \varphi ,$$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \varphi_2 - \varphi_1 ,$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2} .$$

Сложение гармонических колебаний  
одного направления и разной  
частоты



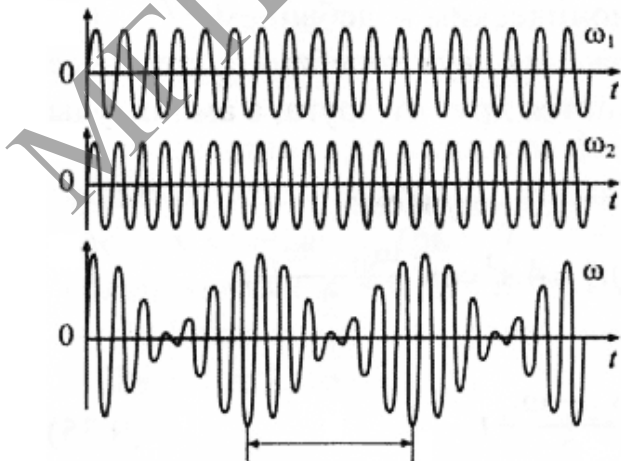
$$\omega_{02} > \omega_{01} ,$$

$$x_1 = A_1 \cos \omega_{01} t + \varphi_0 ,$$

$$x_2 = A_2 \cos \omega_{02} t + \varphi_0 ,$$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \omega_{02} - \omega_{01} t ,$$

$$A_{\text{рез}} = 2A \cos \frac{\Delta \omega}{2} t .$$



$$x = 2A \cos \frac{\Delta \omega}{2} t \cos \omega t = A_6 \cos \omega t ,$$

$$T_6 = \frac{2\pi}{\Delta \omega} = \frac{2\pi}{\omega_{02} - \omega_{01}} ,$$

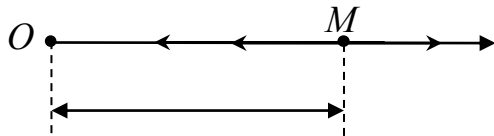
$$\nu_6 = \frac{1}{T_6} = \frac{\omega_{02} - \omega_{01}}{2\pi} = \nu_2 - \nu_1 .$$

Сложение взаимно перпендикулярных колебаний

$$x = A \cos \omega t, y = B \cos \omega t + \varphi ;$$

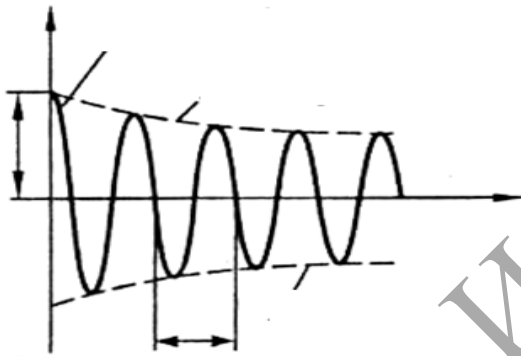
$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - 2 \frac{xy}{AB} \cos \varphi = \sin^2 \varphi.$$

Затухающие колебания



$$F_{\text{упр}x} = -kx, F_{\text{сопр}x} = -r\dot{x}.$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0.$$



$$x = A_0 e^{-\delta t} \cos \omega t + \varphi_0, A_t = A_0 e^{-\delta t},$$

$A_0$  – начальная амплитуда,

$\delta = \frac{r}{2m}$  – коэффициент затухания,

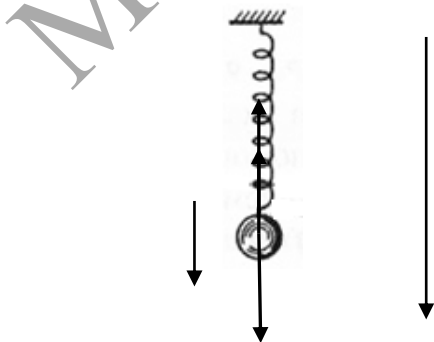
$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$  – частота затухающих колебаний.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}}.$$

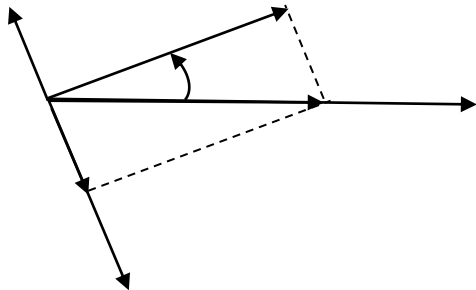
Логарифмический декремент затухания

$$\theta = \ln \frac{A t}{A(t+T)} = \ln e^{\delta T} = \delta T = \frac{r}{2m} T.$$

Вынужденные колебания



$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega t.$$



$$A_4 = A_1 + A_2 + A_3,$$

$$A = \frac{f_0}{\omega_0^2 - \omega^2 + 4\delta^2\omega^2} =$$

$$= \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2 + 4\delta^2\omega^2)},$$

$$\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{A_3 - A_1}{A_2} = \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{2\delta\omega}.$$

Резонанс

$$\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\delta^2},$$

$$A_{\text{рез}} = \frac{F_0}{2\delta m \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}.$$

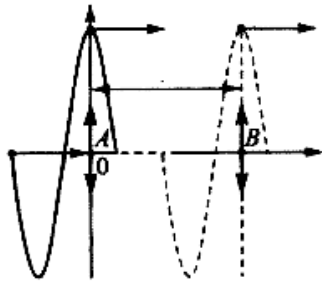
МГТУ им. И.П.Шамякина

## ВОЛНОВОЕ ДВИЖЕНИЕ



$$\xi = \xi(x, t).$$

$$\lambda = vT, v = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu.$$



$$\xi(0, t) = A \cos \omega t + \varphi_0,$$

$$\xi(x, t) = A \cos \left( \omega t - \frac{x}{v} + \varphi_0 \right),$$

$$\xi = A \cos \left( \omega t - kx + \varphi_0 \right),$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} \text{ — волновое число,}$$

$v$  — фазовая скорость.

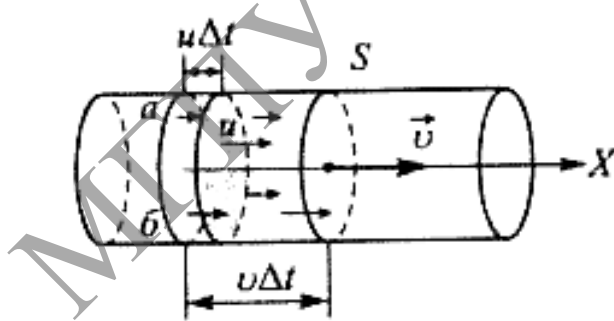
Волновое уравнение

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}.$$

Групповая скорость

$$u = \frac{d\omega}{dk} = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}.$$

Скорость распространения волн в упругой среде



$$v_{\parallel} = \frac{E}{\rho},$$

$$v_{\perp} = \frac{G}{\rho}.$$

Кинетическая энергия волнового движения

$$\Delta W_k = \frac{\Delta m v^2}{2} = \frac{\rho \Delta V}{2} \frac{\partial \xi}{\partial t}^2,$$

$$\Delta W_k = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \sin^2 \left( \omega t - kx + \varphi_0 \right) \Delta V.$$

Потенциальная энергия волнового движения

$$\Delta W_{\text{п}} = \frac{E \varepsilon^2}{2} \Delta V = \frac{E}{2} \frac{\partial \xi^2}{\partial x} \Delta V,$$

$$\Delta W_{\text{п}} = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \sin^2 \omega t - kx + \varphi_0 \Delta V.$$

Полная энергия волнового движения

$$\Delta W = \Delta W_{\text{к}} + \Delta W_{\text{п}},$$

$$\Delta W = \rho A^2 \omega^2 \sin^2 \omega t - kx + \varphi_0 \Delta V.$$

Плотность энергии

$$w = \frac{\Delta W}{\Delta V},$$

$$w = \rho A^2 \omega^2 \sin^2 \omega t - kx + \varphi_0,$$

$$w = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2.$$

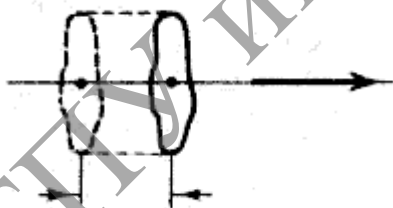
Поток энергии

$$\Phi = \frac{dW}{dt}, \quad \Phi = \text{Вт.}$$

Плотность потока энергии

$$j = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S_1} = \frac{\Delta W}{\Delta S_1 \Delta t}, \quad j = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

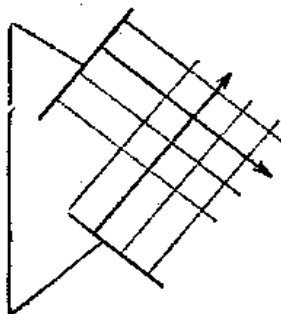
Вектор Умова



$$J = w \vartheta,$$

$$J = w \vartheta = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \vartheta.$$

Интерференция волн



$$\xi_1 = A_1 \cos \omega t - kr_1,$$

$$\xi_2 = A_2 \cos \omega t - kr_2,$$

$$A_{\text{рез}} = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 A_2 \cos \frac{2\pi r_2 - r_1}{\lambda},$$

$\Delta = r_2 - r_1$  — разность хода волн.



Условие максимума интерференции

$$\frac{2\pi\Delta}{\lambda} = 2m\pi \quad m = 0, 1, 2, \dots,$$

$$\Delta = m\lambda = 2m\frac{\lambda}{2}$$

Условие минимума интерференции

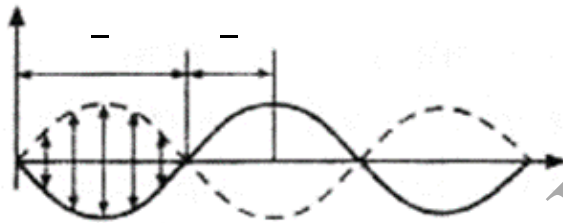
$$\frac{2\pi\Delta}{\lambda} = 2m + 1 \pi \quad m = 0, 1, 2, \dots,$$

$$\Delta = 2m + 1 \frac{\lambda}{2}$$

Уравнение стоячей волны

$$\xi = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \cos \omega t,$$

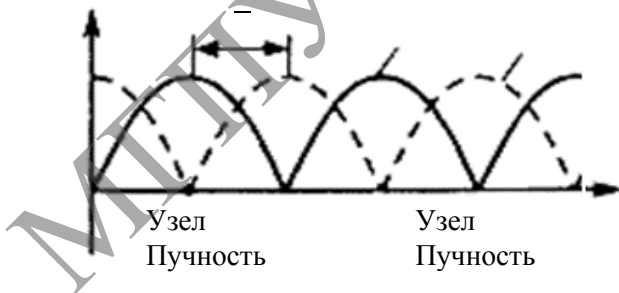
$$A_{\text{ст}} = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda}.$$



$$x_{\text{пучн}} = \pm m \frac{\lambda}{2} \quad m = 0, 1, 2, \dots,$$

$$x_{\text{узл}} = \pm m + \frac{1}{2} \frac{\lambda}{2} \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

Кинетическая и потенциальная энергия стоячей волны



$$\Delta W_{\text{к}} = 2\rho A^2 \omega^2 \cos^2 \frac{2\pi x}{\lambda} \sin^2 \omega t \Delta V,$$

$$\Delta W_{\text{п}} = 2\rho A^2 \omega^2 \sin^2 \frac{2\pi x}{\lambda} \cos^2 \omega t \Delta V.$$

## АКУСТИКА

Скорость звука в газах

$$\vartheta = \sqrt{\frac{p}{\rho}}, \quad \vartheta = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}, \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$p$  и  $\rho$  – давление и плотность невозмущенного волной газа,

$R$  – газовая постоянная,  
 $T$  – абсолютная температура,  
 $\mu$  – молярная масса газа.

Интенсивность (сила) звука

$$I = w \vartheta = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 \vartheta, \quad I = \frac{Вт}{м^2}$$

Закон изменения давления звукового излучения в пространстве и времени

$$\Delta p = -\Delta p_0 \sin \omega t - kx + \varphi_0,$$

$$\Delta p_0 = \vartheta \rho A \omega \quad \text{– амплитуда звукового давления.}$$

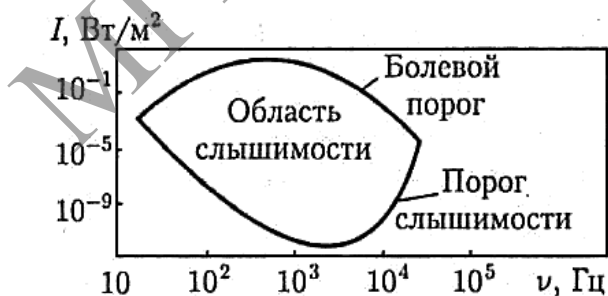
Акустическое сопротивление среды

$$R_a = \rho \vartheta.$$

Акустическая скорость частиц

$$u = \frac{\partial \xi}{\partial t} = -A \omega \sin \omega t - kx + \varphi_0.$$

Уровень громкости

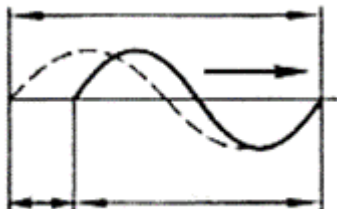


$$L = \lg \frac{I}{I_0}, \quad L = \text{Б.}$$

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \quad L = \text{дБ.}$$

$I_0 = 10^{-12} \frac{Вт}{м^2}$  – интенсивность звука на пороге слышимости.

Эффект Доплера для звуковых волн



$$v_{\text{ист}} = v_{\text{пр}} = 0 \Rightarrow \nu = \nu_0.$$

$$v_{\text{пр}} > 0, v_{\text{ист}} = 0 \Rightarrow$$

$$\nu = \frac{v + v_{\text{пр}}}{v} \nu_0.$$

$$v_{\text{ист}} > 0, v_{\text{пр}} = 0 \Rightarrow$$

$$\nu = \frac{v}{v - v_{\text{ист}}} \nu_0.$$

$$v_{\text{ист}} \neq 0, v_{\text{пр}} \neq 0 \Rightarrow$$

$$\nu = \frac{v \pm v_{\text{пр}}}{v \mp v_{\text{ист}}} \nu_0,$$

верхний знак – в случае взаимного сближения, нижний знак – в случае взаимного удаления.

МГТУ им. И.П.Шоemakerкина

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- А**  
Акустическая скорость частиц 42  
Акустическое сопротивление среды 42
- В**  
Вектор Умова 40  
Волновое число 39
- Г**  
Гистерезис упругий 24
- Д**  
Давление гидростатическое 29  
Давление жидкости или газа 29  
Движение абсолютно твердого тела 15  
Движение волновое 39  
Движение вязкой жидкости 32  
Движение криволинейное равномерное 8  
Движение криволинейное равнопеременное 8  
Движение прямолинейное равномерное 7  
Движение прямолинейное равнопеременное (равноускоренное) 7  
Движение тел в жидкостях и газах 32  
Декремент затухания логарифмический 37  
Деформация абсолютная 23  
Деформация кручения 24  
Деформация относительная 23  
Деформация относительная поперечная 23  
Деформация растяжения 23  
Деформация сдвига 23  
Диаграмма растяжения 24
- З**  
Закон Амонтона-Кулона 21  
Закон Архимеда 29  
Закон взаимосвязи релятивистской массы и энергии 28  
Закон всемирного тяготения 19  
Закон Гука для деформации растяжения 23  
Закон динамики в НИСО 25  
Закон изменения давления звукового излучения 42  
Закон изменения полного импульса системы тел 11  
Законы Ньютона 10  
Закон Паскаля 29  
Закон равномерного вращательного движения 8  
Закон равнопеременного вращательного движения 9  
Закон релятивистской динамики 28  
Закон сохранения импульса 11  
Закон сохранения полной механической энергии 13
- И**  
Импульс материальной точки 10  
Импульс релятивистский 28  
Инерциальная система отсчета 10  
Интенсивность (сила) звука 42
- Интерференция волн 40
- К**  
Колебания вынужденные 37, 38  
Колебания гармонические 33  
Колебания затухающие 37  
Координата колеблющейся точки 33  
Коэффициент трения покоя 21
- М**  
Масса релятивистская 28  
Маятник математический 34  
Маятник пружинный 34  
Маятник физический 35  
Момент импульса относительно неподвижной точки 16  
Момент инерции тела 17  
Момент силы относительно неподвижной оси 15  
Момент силы относительно неподвижной точки 15  
Мощность мгновенная 12  
Мощность средняя 12
- Н**  
Напряжение механическое 23  
Напряженность гравитационного поля 19  
Невесомость 20
- П**  
Пара сил 15  
Перегрузка 20  
Перемещение 5  
Период 8, 33  
Плотность потока энергии 40  
Плотность энергии 40  
Постоянная гравитационная 19  
Потенциал гравитационного поля 20  
Поток энергии 40  
Правило правого винта 8  
Преобразования Галилея 27  
Преобразования Лоренца и следствия из них 27, 28  
Приведенная длина физического маятника 35  
Путь 5
- Р**  
Работа постоянной силы 12  
Работа силы тяжести 12  
Работа силы упругости 13  
Резонанс 38
- С**  
Сила внутреннего трения 31  
Сила инерции 25  
Сила инерции центробежная 25  
Сила Кориолиса 26  
Сила равнодействующая 10

- Сила реакции со стороны вытекающей жидкости 31  
 Система отсчета 5  
 Скорости космические 20  
 Скорость групповая 39  
 Скорость звука в газах 42  
 Скорость колеблющейся точки 33  
 Скорость мгновенная 5  
 Скорость распространения волн в упругой среде 39  
 Скорость средняя 5  
 Скорость угловая 8  
 Скорость угловая мгновенная 9  
 Скорость угловая средняя 9  
 Скорость фазовая 39  
 Сложение взаимно перпендикулярных колебаний 37  
 Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты 36  
 Сложение гармонических колебаний одного направления и разной частоты 36
- Т**
- Теорема об изменении кинетической энергии 12  
 Теорема Штейнера 17  
 Трение вязкое 22  
 Трение качения 22  
 Трение покоя 21  
 Трение скольжения 21  
 Трубка Пито 30
- У**
- Удар абсолютно неупругий 14  
 Удар абсолютно упругий 14  
 Уравнение Бернулли 30  
 Уравнение волновое 39  
 Уравнение динамики вращательного движения твердого тела 16  
 Уравнение дифференциальное гармонического колебания 34  
 Уравнение И.В. Мещерского 11  
 Уравнение моментов 16  
 Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости 30  
 Уравнение стоячей волны 41  
 Уровень громкости 42  
 Ускорение колеблющейся точки 33  
 Ускорение мгновенное 6  
 Ускорение нормальное 6  
 Ускорение полное 6  
 Ускорение среднее 6  
 Ускорение тангенциальное 6  
 Ускорение угловое мгновенное 9  
 Ускорение угловое среднее 9  
 Условие максимума интерференции 41  
 Условие минимума интерференции 41  
 Условия плавания тел 29
- Условия равновесия жидкостей в сообщающихся сосудах 29  
 Условия равновесия твердого тела 18
- Ф**
- Формула Пуазейля 32  
 Формула Стокса 32  
 Формула Торричелли 30  
 Формула Циолковского 11
- Ц**
- Центр масс системы 11
- Ч**
- Частота 8, 33  
 Число Рейнольдса 31
- Э**
- Энергия кинетическая 12  
 Энергия кинетическая в релятивистской динамике 28  
 Энергия кинетическая волнового движения 39  
 Энергия кинетическая вращающегося тела 17  
 Энергия кинетическая при колебательном движении 35  
 Энергия кинетическая при плоском движении 18  
 Энергия покоя 28  
 Энергия полная волнового движения 40  
 Энергия полная при колебательном движении 35  
 Энергия полная релятивистской частицы 28  
 Энергия потенциальная 12  
 Энергия потенциальная волнового движения 40  
 Энергия потенциальная при колебательном движении 35  
 Энергия стоячей волны 41  
 Энергия упругой деформации 24  
 Эффект гироскопический 18  
 Эффект Доплера для звуковых волн 43

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев, А. Н. Механика и теория относительности / А. Н. Матвеев. – М. : Высшая школа, 1976. – 432 с.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики : в 3 т. / И. В. Савельев. – М. : Наука, 1986. – Т. 1 : Механика. Молекулярная физика. – 432 с.
3. Сивухин, Д. В. Курс общей физики : в 5 т. / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 2002. – Т. 1 : Механика. – 520 с.
4. Стрелков, С. П. Механика / С. П. Стрелков. – М. : Наука, 1975. – 560 с.
5. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М. : Высшая школа, 2003. – 560 с.
6. Яковенко, В. А. Общая физика. Механика / В. А. Яковенко, Г. А. Заборовский, С. В. Яковенко ; под общ. ред. В. А. Яковенко. – Минск : РИВШ, 2008. – 320 с.

МГТУ ИМ. И.П.Шамякина

МГТУ ИМ. И.П. ШАМЯКИНА

*Справочное издание*

## **ОБЩАЯ ФИЗИКА. МЕХАНИКА**

Справочные материалы

Корректор *Л. В. Журавская*  
Оригинал-макет *Е. В. Юницкая*

Подписано в печать 16.08.2016. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 2,73. Уч.-изд. л. 3,07. Тираж 57 экз. Заказ 27.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования «Мозырский государственный  
педагогический университет имени И. П. Шамякина».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий N 1/306 от 22 апреля 2014 г.  
Ул. Студенческая, 28, 247760, Мозырь, Гомельская обл. Тел. (8-0236) 32-46-29