

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет доуниверситетской подготовки
и профессиональной ориентации

Г. Ф. Смирнова

МЕХАНИКА

Методическое пособие по физике
для абитуриентов

Минск БГУИР 2009

УДК 531(076)
ББК 22.2я73
С50

Рецензент
доцент кафедры физики БГУИР,
кандидат физико-математических наук
Т. И. Стрелкова

Смирнова, Г.Ф.

С50 Механика : метод. пособие по физике для абитуриентов / Г. Ф. Смирнова. – Минск : БГУИР, 2009. – 39. : ил.
ISBN 978-985-488-456-1

В методическом пособии рассмотрены основные понятия и законы механики. Даны методические указания к решению задач. Предлагаются задачи для самостоятельного решения.

Для абитуриентов БГУИР.

УДК 531(076)
ББК 22.2я73

ISBN 978-985-488-456-1

© Смирнова Г. Ф., 2009
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2009

ВВЕДЕНИЕ

Механика – раздел физики, в котором изучается простейшая форма движения материи – механическая.

Механическое движение – это изменение положения тел или частей тела относительно друг друга с течением времени.

Простейшим механическим движением является движение материальной точки – тела, размерами которого можно пренебречь в условиях данной задачи.

Рассмотрим основные разделы механики: кинематику, динамику, законы сохранения.

1. КИНЕМАТИКА

Основная задача кинематики – определение положения тела (материальной точки) в любой момент времени по начальным условиям в выбранной системе отсчета, с которой связывают систему координат (в частности декартову).

1.1. Основные понятия кинематики

Положение материальной точки в пространстве задается радиусом-вектором \vec{r} или координатами x, y, z . При движении в плоскости – координатами x, y (рис. 1.1).

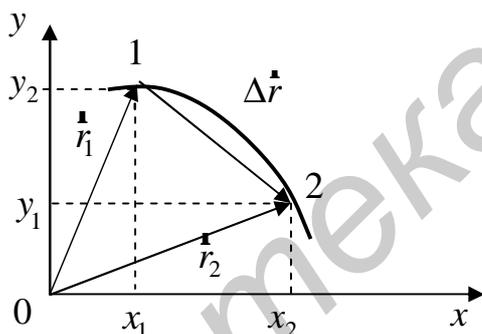


Рис. 1.1

Движение материальной точки характеризуется:

– траекторией (траектория – это линия, которую описывает материальная точка при своем движении);

– перемещением $\Delta \vec{r}$ (перемещение – это вектор, соединяющий начальное положение точки с последующим);

– длиной пути S (путь – это величина, равная длине траектории, пройденной точкой за некоторый промежуток времени);

– скоростью \vec{v} (скорость – это быстрота изменения положения точки в пространстве);

– ускорением \vec{a} (ускорение – это быстрота изменения скорости).

Различают:

– среднюю скорость перемещения $v_{\text{ср.перем.}}$ (определяется отношением перемещения $\Delta \vec{r}$ к промежутку времени Δt , за который это перемещение произошло):

$$\vec{v}_{\text{ср.перем.}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}; \quad (1.1)$$

– среднюю скорость прохождения пути (определяется отношением всего пройденного пути ΔS ко всему времени движения Δt):

$$v_{\text{ср.}} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_1 + S_2 + \dots}{t_1 + t_2 + \dots}; \quad (1.2)$$

– мгновенную скорость $\dot{\mathbf{r}}$ (определяется производной по времени от радиуса-вектора частицы):

$$\dot{\mathbf{r}} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}; \quad (1.3)$$

– касательное (тангенциальное) ускорение a_τ , характеризующее изменение скорости по величине (определяется производной по времени от модуля скорости частицы):

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}; \quad (1.4)$$

– центростремительное (нормальное) ускорение a_n , характеризующее изменение скорости по направлению:

$$a_n = \frac{v^2}{R}, \text{ где } R \text{ – радиус кривизны траектории}; \quad (1.5)$$

– полное (мгновенное) ускорение a :

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}. \quad (1.6)$$

1.2. Прямолинейное равномерное движение ($\dot{\mathbf{v}} = \text{const}$).

Кинематический закон прямолинейного равномерного движения выражается зависимостью радиуса-вектора частицы $\dot{\mathbf{r}}$ от времени t :

$$\dot{\mathbf{r}} = \dot{\mathbf{r}}_0 + \dot{\mathbf{v}}_0 t, \quad (1.7)$$

где $\dot{\mathbf{r}}_0$ и $\dot{\mathbf{v}}_0$ – значения радиуса-вектора $\dot{\mathbf{r}}$ и скорости $\dot{\mathbf{v}}$ в момент времени $t = 0$.

В координатной форме при движении вдоль одной оси кинематический закон имеет вид

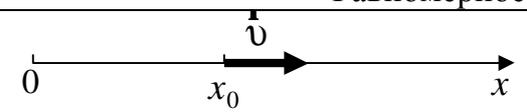
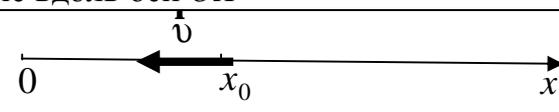
$$x = x_0 + v_{0x} t, \quad (1.8)$$

где x , x_0 , v_{0x} – проекции соответствующих векторов на направление движения.

Закон изменения скорости можно задать в виде: $\dot{\mathbf{v}} = \dot{\mathbf{v}}_0$ или в проекциях $v_x = v_0$.

Иллюстрация равномерного движения вдоль одной оси дана в табл.1.1.

Таблица 1.1

Равномерное движение вдоль оси Ox	
 <p>$x = x_0 + vt$ $\Delta x = x - x_0 = S = vt$</p>	 <p>$x = x_0 - vt$ $\Delta x = S = vt$</p>

На рисунках ниже представлены графики зависимости координаты x от времени t и модуля скорости v частицы.

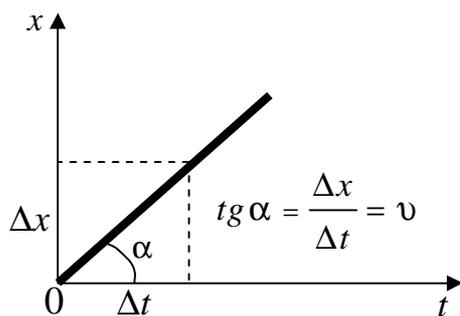


Рис. 1.2

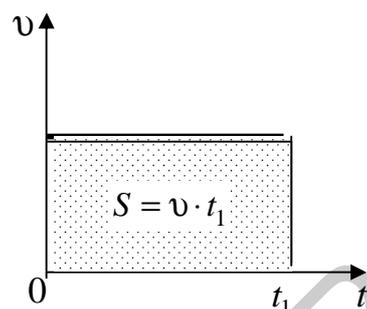


Рис. 1.3

Графики дают возможность определить: скорость движения частицы v (рис.1.2) и пройденный частицей путь S (рис 1.3).

1.3. Прямолинейное равнопеременное движение ($\dot{a} = const$)

Кинематический закон прямолинейного равнопеременного движения задается в виде

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0 t + \frac{\mathbf{a} t^2}{2}. \quad (1.9)$$

В координатной форме при движении вдоль одной оси кинематический закон движения имеет вид

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \quad (1.10)$$

либо

$$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2}, \quad (1.11)$$

где x, x_0, v_{0x}, a_x – проекции соответствующих векторов уравнения (1.9) на ось OX , а y, y_0, v_{0y}, a_y – проекции на ось OY .

Закон изменения скорости задается уравнением

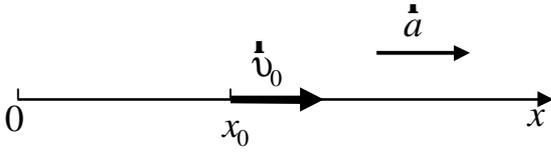
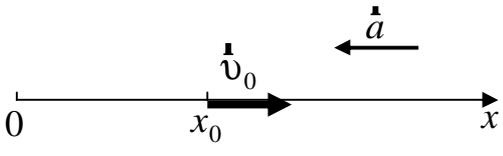
$$\dot{\mathbf{v}} = \dot{\mathbf{v}}_0 + \dot{\mathbf{a}} t \quad (1.12)$$

или в проекциях на соответствующие оси:

$$v_x = v_{0x} + a_x t, \quad (1.13)$$

$$v_y = v_{0y} + a_y t. \quad (1.14)$$

Иллюстрация равнопеременного движения вдоль одной оси дана в табл. 1.2.

Равнопеременное движение вдоль оси Ox	
Равноускоренное	Равнозамедленное
	
$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad v_x = v_0 + at$	$x = x_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}, \quad v_x = v_0 - at$
$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad S = \frac{v_k^2 - v_0^2}{2a}$	$S = v_0 t - \frac{at^2}{2}, \quad S = \frac{v_0^2 - v_k^2}{2a}$

Ниже на рисунках представлены графики зависимости от времени (в случае равноускоренного движения) координаты частицы x (рис.1.4), проекции скорости частицы v_x (рис. 1.5), проекции ускорения частицы a_x (рис. 1.6), а также проекции скорости частицы v_x для равнозамедленного движения (рис. 1.7).

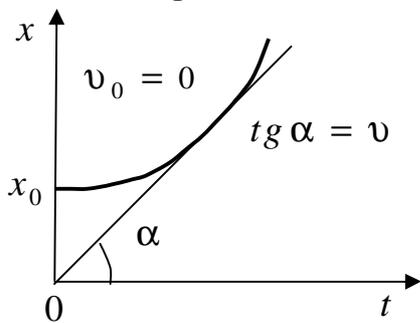


Рис. 1.4

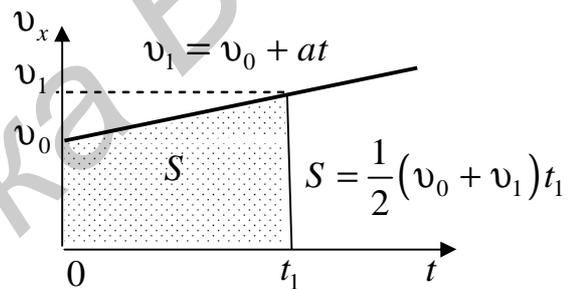


Рис. 1.5

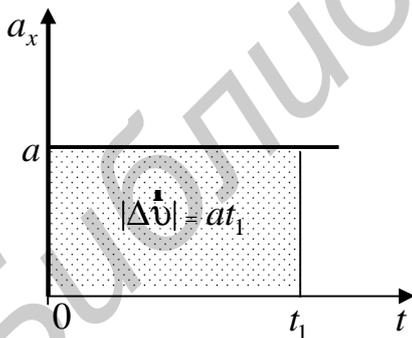


Рис. 1.6

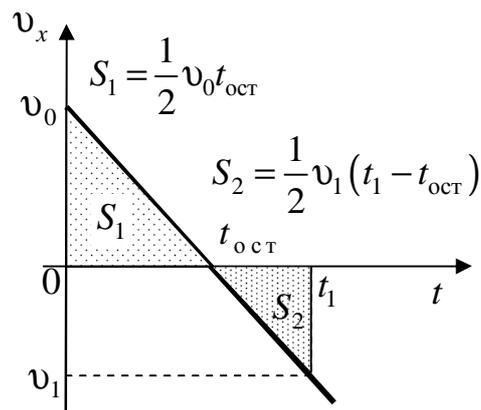


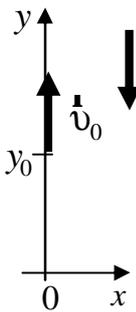
Рис. 1.7

Графики дают возможность определить: мгновенную скорость v частицы (см. рис.1.4), пройденный частицей путь и перемещение при равноускоренном движении $S = |\Delta r|$ (см. рис. 1.5), приращение модуля скорости частицы $|\Delta v|$ (см. рис. 1.6), пройденный частицей путь $S_1 + S_2 = S$ и модуль перемещения $|S_1 - S_2| = \Delta r$ при равнозамедленном движении (см. рис. 1.7).

1.4. Свободное падение тел – это движение под действием силы тяжести

Рассмотрим следующие случаи.

Тело брошено вертикально вверх (вниз) (рис. 1.8). Уравнения (1.11) и (1.14) приобретают вид:



$$y = y_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \quad (1.15)$$

$$v_y = v_0 - gt, \quad (1.16)$$

где g – ускорение свободного падения.

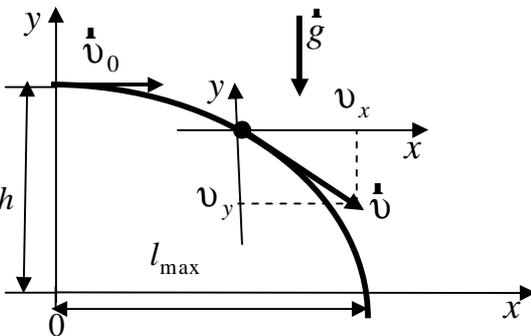
При подъеме на максимальную высоту: $v_y = 0$.

Время подъема на максимальную высоту: $t_{\text{под}} = \frac{v_0}{g}$.

Рис. 1.8.

1.4.1. Тело брошено горизонтально (рис. 1.9).

Движение происходит как вдоль оси OX , так и вдоль оси OY . Кинематические законы движения имеют вид



$$x = v_0 t, \quad v_x = v_0 \quad (1.17)$$

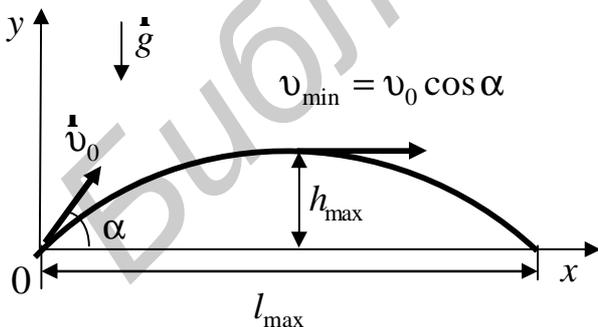
$$y = h - \frac{gt^2}{2}, \quad v_y = -gt \quad (1.18)$$

В момент падения на землю $y = 0$.

Рис. 1.9

Время падения $t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$. Дальность полета $l_{\text{max}} = v_0 t$.

1.4.2. Тело брошено под углом к горизонту (рис. 1.10).



$$x = v_0 t \cos \alpha, \quad (1.19)$$

$$y = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}, \quad (1.20)$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad (1.21)$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt. \quad (1.22)$$

Рис. 1.10

Время подъема $t_{\text{под}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$ ($v_y = 0$).

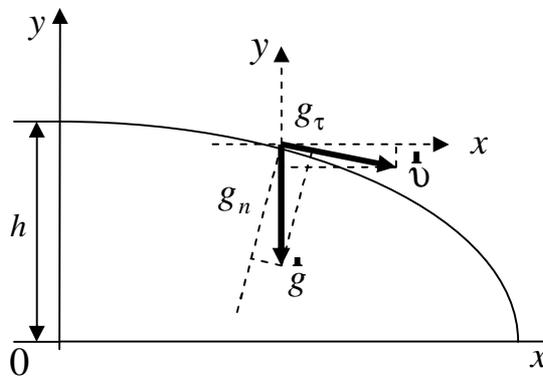
Время всего движения $t_{\text{дв}} = 2 \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$ ($t_{\text{дв}} = 2t_{\text{под}}; y = 0$).

Дальность полета $l_{\text{мах}} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ ($t_{\text{дв}} = 2t_{\text{под}}; x = l$).

Максимальная высота подъема $h_{\text{мах}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ ($t = t_{\text{под}}; y = h$).

1.4.3. *Нормальное (центростремительное) g_n и касательное g_τ (тангенциальное) ускорения* при криволинейном движении определяются из подобия соответствующих треугольников (рис. 1.11):

$$\frac{g_n}{g} = \frac{v_x}{v}, \quad \frac{g_\tau}{g} = \frac{v_y}{v}. \quad (1.23)$$



Полное ускорение g :

$$g = \sqrt{g_n^2 + g_\tau^2}. \quad (1.24)$$

Рис. 1.11

1.5. Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью (рис. 1.12) характеризуется:

- угловой скоростью ω ,
- углом поворота относительно центра окружности $\Phi = \omega t$,
- периодом $T = \frac{2\pi}{\omega}$ (период – это время одного полного оборота),
- частотой $\nu = 1/T$ (частота – это количество оборотов за единицу времени),
- линейной скоростью движения по окружности v ,
- центростремительным ускорением a_n .

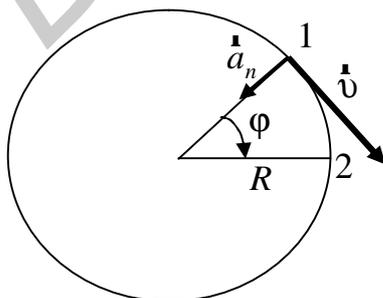


Рис. 1.12

Линейные характеристики v и a_n связаны с угловыми соотношениями:

$$v = \omega R, \quad (1.25)$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = 4\pi^2 \nu^2 R. \quad (1.26)$$

1.6. Относительность движения. Закон сложения скоростей (рис. 1.13):

$$\dot{\mathbf{v}} = \dot{\mathbf{v}}' + \dot{\mathbf{u}}, \quad (1.27)$$

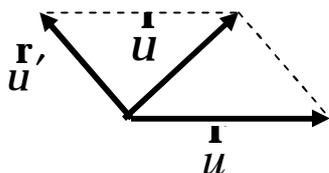


Рис. 1.13

где $\dot{\mathbf{v}}$ – скорость тела относительно неподвижной системы отсчета;

$\dot{\mathbf{v}}'$ – скорость тела относительно подвижной системы отсчета;

$\dot{\mathbf{u}}$ – скорость движущейся системы отсчета относительно неподвижной.

Методические указания к решению задач

1. Сделать схематический рисунок, на котором изобразить систему отсчета и указать траекторию движения частицы (материальной точки).
2. На рисунок нанести все кинематические характеристики, указать направления векторов скорости и ускорения. Если характер движения во времени меняется, то путь следует разбить на участки и рассматривать их по отдельности.
3. Выяснив характер движения, записать необходимые для решения кинематические уравнения. Обратит особое внимание на знаки проекций скоростей и ускорений.
4. Составить систему уравнений. Убедиться, что число уравнений совпадает с числом неизвестных. В случае необходимости использовать дополнительные условия задачи.
5. Решить полную систему уравнений относительно искомой величины.
6. При решении задач на относительность движения необходимо прежде всего выбрать неподвижную систему отсчета. Затем, проанализировав условие задачи, с одним из рассматриваемых тел связать подвижную систему отсчета.
7. Сделать рисунок, на котором изобразить векторы $\dot{\mathbf{v}}, \dot{\mathbf{v}}'$ и $\dot{\mathbf{u}}$, связав их законом сложения скоростей. Все векторы строятся из одной точки.

Примеры решения задач

Задача 1. Половину всего пути турист проехал на велосипеде по шоссе со скоростью 6 м/с, затем половину оставшегося времени движения он ехал по проселочной дороге со скоростью 3 м/с, а конец пути прошел со скоростью 1 м/с. Определите среднюю путевую скорость этого движения.

Дано:

$$S_1 = \frac{1}{2} S,$$

$$t_1, \quad v_1 = 6 \text{ м/с}$$

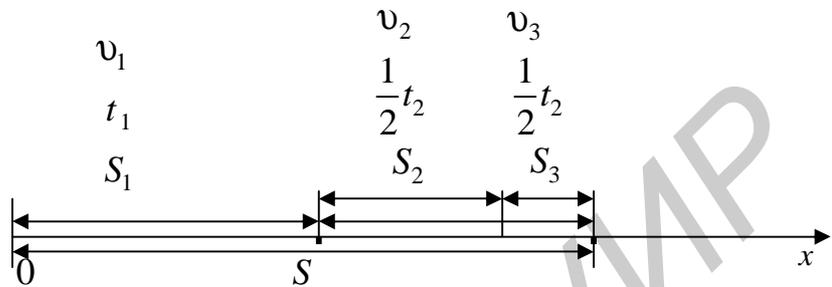
$$\frac{1}{2} t_2, \quad v_2 = 3 \text{ м/с}$$

$$\frac{1}{2} t_2, \quad v_3 = 1 \text{ м/с}$$

Найти: v_{cp}

Решение:

1. Сделаем рисунок. Ось Ox выберем по направлению движения.
2. Весь путь S разобьем на три участка S_1, S_2, S_3 .
3. Для каждого участка на рисунке укажем кинематические характеристики.



4. Движение на каждом участке равномерное. Выбираем соответствующие кинематические соотношения:

$$x = x_0 + vt; \quad \Delta x = S = vt.$$

5. Для первого участка: $S_1 = \frac{1}{2} S = v_1 t_1$, для второго $S_2 = v_2 \frac{1}{2} t_2$, для третьего $S_3 = v_3 \frac{1}{2} t_2$.

6. По определению $v_{\text{cp}} = \frac{S_1 + S_2 + S_3}{t_1 + t_2 + t_3}$. Полный путь $S_1 + S_2 + S_3 = S$.

Из условия $S_1 = \frac{1}{2} S = v_1 t_1$ находим: $t_1 = \frac{S}{2v_1}$.

Из условия $S_2 + S_3 = \frac{1}{2} S$ находим: $t_2 = \frac{S}{v_2 + v_3}$.

Окончательно

$$v_{\text{cp}} = \frac{S}{\frac{S}{2v_1} + \frac{S}{v_2 + v_3}} = \frac{2v_1(v_2 + v_3)}{2v_1 + v_2 + v_3} = 3 \text{ (м/с)}.$$

Задача 2. Два тела одновременно брошены с поверхности земли: первое – вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с, второе под углом 30° к горизонту со скоростью 10 м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить расстояние между телами спустя 0,3 с движения.

Дано:

$$v_{01} = 20 \text{ м/с}$$

$$v_{02} = 10 \text{ м/с}$$

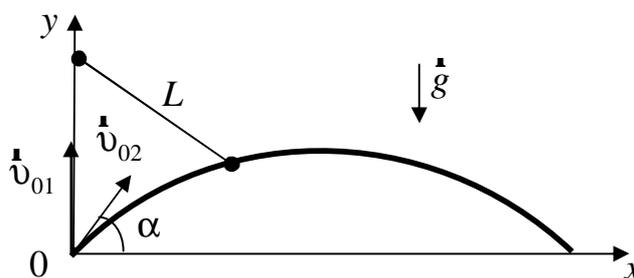
$$\alpha = 30^\circ$$

$$t = 0,3 \text{ с}$$

Найти: L

Решение:

1. Выполним рисунок, на котором изобразим систему координат, траекторию движения каждого тела, начальные скорости $\vec{v}_{01}, \vec{v}_{02}$ и ускорение \vec{g} .



2. Запишем кинематические соотношения для каждого тела:

$$x_1 = 0, \quad y_1 = v_{01}t - \frac{gt^2}{2},$$

$$x_2 = v_{02}t \cos \alpha, \quad y_2 = v_{02}t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}.$$

3. Находим искомую величину:

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} =$$
$$\sqrt{v_{02}^2 t^2 \cos^2 \alpha + (v_{02} - v_{01})^2 t^2 \sin^2 \alpha} = 2 \text{ (м)}.$$

Задача 3. Катер пересекает реку. Скорость течения равна 3 м/с, скорость катера в стоячей воде равна 6 м/с. Определить в градусах угол между векторами скорости катера относительно воды и скорости течения, если катер пересекает реку по кратчайшему пути.

Дано:

$$v' = 6 \text{ м/с}$$

$$u = 3 \text{ м/с}$$

Найти: α

Решение:

1. Неподвижную систему отсчета связываем с берегом, подвижную – с водой.

2. Так как катер пересекает реку по кратчайшему расстоянию, то скорость катера относительно берега (неподвижной системы отсчета) направлена по перпендикуляру к берегу.

3. По закону сложения скоростей $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$.

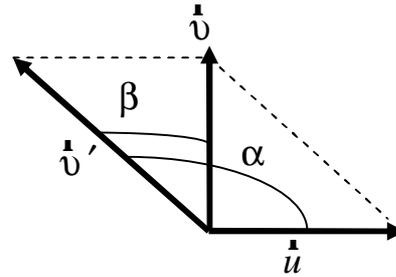
4. Следовательно, $\vec{v}' = \vec{v} - \vec{u}$.

5. Выполняем рисунок, на котором изображаем векторы \vec{v} , \vec{v}' , \vec{u} .

6. Находим угол:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \beta, \quad \sin \beta = \frac{u}{v'} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2},$$

$$\beta = 30^\circ, \quad \alpha = 120^\circ.$$



Задачи для самостоятельного решения

- 1.1. Катер пересекает реку. Скорость течения равна 3 м/с, скорость катера в стоячей воде равна 6 м/с. Определить в градусах угол между векторами скорости катера относительно воды и скорости течения, если катер пересекает реку по кратчайшему пути.
- 1.2. Расстояние между двумя пунктами катер проходит, двигаясь вниз по течению, за 3 ч, обратно – за 6 ч. За сколько часов пройдет катер это расстояние при выключенном моторе?
- 1.3. Скорость пловца относительно воды в 2 раза больше скорости течения реки, скорость катера относительно воды в 7 раз больше скорости течения. Во сколько раз больше времени затратит пловец на переплывание реки строго перпендикулярно берегам, чем катер?
- 1.4. Пловец переплывает реку, двигаясь относительно воды со скоростью 0,4 м/с прямо по направлению к берегу. Определить модуль скорости пловца относительно берега, если скорость течения реки равна 0,3 м/с.
- 1.5. Пловец переплывает реку по прямой, перпендикулярно берегу. Определить скорость течения, если модуль скорости пловца относительно воды в $\sqrt{2}$ раз больше скорости течения. Модуль скорости пловца относительно берега равен 0,5 м/с.
- 1.6. Пловец переплывает реку по прямой, перпендикулярно берегу. Во сколько раз числовое значение скорости пловца относительно воды больше скорости течения, если угол между векторами скоростей пловца относительно воды и относительно берега равен 30° ?
- 1.7. Теплоход движется со скоростью 10 м/с вдоль берега озера, а моторная лодка движется перпендикулярно берегу. Определить скорость моторной лодки относительно воды, если скорость лодки относительно теплохода равна 20 м/с.
- 1.8. Моторная лодка движется относительно воды в реке со скоростью 5 м/с под углом 60° к течению, скорость которого равна 3 м/с. Определить модуль скорости лодки относительно берега реки.
- 1.9. В безветренную погоду капли дождя оставляют на окне равномерно движущегося автобуса след, направленный под углом 30° к вертикали. С какой скоростью падают капли дождя, если скорость автобуса 36 км/ч?
- 1.10. При скорости ветра 20 м/с скорость капель дождя 40 м/с. Какой будет скорость капель при скорости ветра 5 м/с?

- 1.11. В безветренную погоду самолет затрачивает на перелет между городами 6 часов. На сколько минут увеличится время перелета, если будет дуть боковой ветер со скоростью 20 м/с перпендикулярно линии полета? Скорость самолета относительно воздуха равна 328 км/ч.
- 1.12. Два велосипедиста едут со скоростями 10,8 км/ч и 14,4 км/ч по взаимно перпендикулярным дорогам. Чему равна их относительная скорость в км/ч?
- 1.13. Тонкий обруч катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности. Скорость центра обруча относительно поверхности земли равна 3 м/с. Определить относительно земли модуль скорости точки обруча, для которой радиус составляет с горизонтом угол 30° .
- 1.14. Первые 2 с после начала отсчета времени тело движется со скоростью 5 м/с, а затем – в течение 3 с со скоростью 7 м/с. Определить среднюю скорость тела.
- 1.15. Одну треть своего времени автомобиль движется со скоростью 60 км/ч, вторую треть – со скоростью 30 км/ч, а остальное время стоит. Определить в км/ч среднюю скорость автомобиля.
- 1.16. Половину всего пути тело двигалось со скоростью 12 м/с, а оставшийся путь – со скоростью 8 м/с. Определить среднюю скорость тела.
- 1.17. В течение 2 с тело движется со скоростью 3 м/с под углом 30° к некоторому направлению, а затем в течение 8 с со скоростью 1 м/с под углом 120° к тому же направлению. Определить модуль средней скорости перемещения тела за все время движения.
- 1.18. Один бегун пробегает первую половину дистанции со скоростью 4 м/с, а вторую – со скоростью 6 м/с. Другой бегун первую половину времени, затраченного на всю дистанцию, пробегает со скоростью 4 м/с, а вторую – со скоростью 6 м/с. На сколько средняя скорость второго бегуна больше средней скорости первого?
- 1.19. Трогаясь с места, автомобиль движется равноускоренно и достигает скорости 5 м/с. Определить среднюю скорость автомобиля за время набора скорости.
- 1.20. Трогаясь с места, автомобиль движется равноускоренно и достигает скорости 8 м/с, а затем движется равномерно с этой скоростью в течение времени, равного времени разгона. Определить среднюю скорость автомобиля за все время движения.
- 1.21. Два велосипедиста стартуют одновременно на дистанцию 2,2 км. Средняя путевая скорость первого велосипедиста равна 10 м/с, второго – 11 м/с. На сколько секунд второй велосипедист опередит первого?
- 1.22. К концу первой секунды равнозамедленного движения модуль скорости тела равен 2 м/с, а к концу второй – 1 м/с. Определить модуль ускорения тела.
- 1.23. В момент начала отсчета времени тело движется со скоростью 5 м/с и ускорением 2 м/с^2 . Считая движение равнозамедленным, определить, за какой промежуток времени тело пройдет путь, равный 4 м.

- 1.24. Тело движется равноускоренно из состояния покоя. Во сколько раз путь, пройденный телом за вторую секунду движения, больше пути, пройденного за первую секунду?
- 1.25. Тело движется равноускоренно из состояния покоя. Во сколько раз путь, пройденный телом за одиннадцатую секунду, больше пути, пройденного за третью секунду?
- 1.26. К началу четвертой секунды равнозамедленного движения тело прошло путь 15 м и обладает скоростью 2 м/с. Определить модуль ускорения тела.
- 1.27. Модуль скорости тела за одну секунду увеличился в 2 раза. Во сколько раз увеличится модуль скорости тела за следующую секунду, если ускорение тела постоянно?
- 1.28. За первые две секунды равноускоренного движения тело проходит путь в 4 раза больший, чем за первую секунду движения. Определить модуль начальной скорости тела.
- 1.29. За первую секунду равноускоренного движения тело проходит путь 1 м, а за вторую – 2 м. Определить модуль скорости тела к концу четвертой секунды движения.
- 1.30. Скорость тела к концу второй секунды после начала отсчета времени равна 6 м/с, а к концу пятой секунды становится равной 12 м/с. Считая движение равноускоренным, определить начальную скорость тела.
- 1.31. Материальная точка движется по прямой, совпадающей с осью X . Проекция вектора скорости на ось X меняется по закону: $v = (14 - 3t)$ м/с, где t – время в секундах. Определить модуль перемещения точки за промежуток времени от $t = 1$ с до $t = 3$ с.
- 1.32. Материальная точка движется прямолинейно вдоль оси X по закону $x = (9 - 0,5t^2)$ м, где t – время в секундах. Определить модуль скорости точки в момент времени $t = 1$ с.
- 1.33. При движении материальной точки вдоль прямой проекция вектора скорости на направление движения меняется по закону: $v = (4 - 2t)$ м/с, где t – время в секундах. Определить путь, пройденный точкой в интервале времени от $t = 1$ с до $t = 3$ с.
- 1.34. Точка движется в плоскости в соответствии с уравнениями $x = (1 + 3t)$ м, $y = (6 + 4t)$ м, где t – время в секундах. Определить модуль скорости точки.
- 1.35. Из аэростата, поднимающегося вертикально вверх с постоянной скоростью 5 м/с, выпал предмет. Найти в системе отсчета, связанной с землей, путь, пройденный предметом за 2 с движения. Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.36. С некоторой высоты тело свободно падает до удара о землю в течение 2 с. Определить модуль минимальной скорости, которую необходимо сообщить телу на поверхности земли для подъема на высоту, в 2 раза превышающую первоначальную. Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.37. С какой высоты падает тело из состояния покоя, если в момент удара о землю его скорость равна 20 м/с? Сопротивление воздуха не учитывать.

- 1.38. С высокой башни одновременно бросают два тела. Начальная скорость первого тела равна 20 м/с и направлена вертикально вверх. Второе тело бросают вертикально вниз. Определить модуль начальной скорости второго тела, если спустя 2 с расстояние между телами равно 50 м.
- 1.39. Тело брошено с поверхности земли вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с. Когда тело достигло наибольшей высоты, из той же точки бросили второе тело с той же начальной скоростью. На какой высоте тела встретятся? Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.40. Тело, брошенное с поверхности земли вертикально вверх с начальной скоростью 30 м/с, дважды побывало на высоте 40 м. Какой промежуток времени разделяет эти два события? Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.41. Тело брошено с обрыва в горизонтальном направлении со скоростью 10 м/с. Высота обрыва равна 20 м. Определить модуль вектора перемещения тела за время падения. Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.42. Камень брошен с башни со скоростью 8 м/с в горизонтальном направлении. Спустя какое время после начала движения его скорость станет равной 10 м/с? Сопротивление воздуха не учитывать.
- 1.43. Камень брошен горизонтально. Через 2 с после броска вектор его скорости составил угол 45° с горизонтом. Найдите начальную скорость камня.
- 1.44. Тело брошено горизонтально. Через 2 с после броска угол между направлением полной скорости и полного ускорения стал равным 60° . Определите величину полной скорости в этот момент.
- 1.45. Камень на высоте 5,5 м бросают горизонтально так, что он подлетает к поверхности земли под углом 45° . Сколько метров пролетел камень по горизонтали?
- 1.46. С самолета, летящего на высоте 500 м со скоростью 180 км/ч, выпал груз. На какой высоте скорость груза будет направлена под углом 60° к горизонту?
- 1.47. Баскетболист бросает в прыжке мяч в кольцо. Скорость мяча сразу после броска равна 10 м/с и направлена под углом 30° к горизонту. С какой по модулю скоростью мяч попал в кольцо, если он долетел до него за 1 с? Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.48. Снаряд, вылетевший из пушки с начальной скоростью 300 м/с, взорвался в верхней точке траектории. Определить время полета снаряда, если пушка стреляет под углом 30° к горизонту. Сопротивление воздуха не учитывать.
- 1.49. Минимальная скорость в процессе движения тела, брошенного под некоторым углом к горизонту, равна 5 м/с, а максимальная – 10 м/с. Определить в градусах угол, под которым брошено тело. Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.50. Самолет летит горизонтально со скоростью 200 м/с на высоте 5,5 км. За какое минимальное время снаряд может поразить самолет, если выстрел производится в момент полета самолета над зениткой, а скорость снаряда в $\sqrt{10}$ раз больше скорости самолета? Сопротивлением воздуха пренебречь.

- 1.51. Тело брошено с начальной скоростью 40 м/с под углом 30° к горизонту. Через какое время от начала движения тело поднялось на половину максимальной высоты? Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.52. Камень брошен с поверхности земли со скоростью 20 м/с под углом 60° к горизонту. Через какое наименьшее время после начала движения вектор скорости камня составляет с горизонтом угол 45° ? Сопротивление воздуха не учитывать.
- 1.53. С какой минимальной скоростью следует бросить под углом 45° к горизонту камень, чтобы он достиг высоты 2,5 м? Сопротивление воздуха не учитывать.
- 1.54. Камень, брошенный с поверхности земли со скоростью 20 м/с под некоторым углом к горизонту, за 1 с смещается по горизонтали на 10 м. Определить в градусах угол бросания камня. Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.55. С башни высотой 15 м брошен камень со скоростью 20 м/с под углом 30° к горизонту. За какое время камень достигнет поверхности земли? Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 1.56. Винт авиамодели вращается с постоянной угловой скоростью 20 рад/с. Сколько оборотов сделает винт за 3,14 с?
- 1.57. Автомобиль движется без проскальзывания со скоростью 30 м/с. Внешний диаметр покрышек колес равен 60 см. Сколько оборотов делает колесо за 6,28 с?
- 1.58. Определить радиус вращающегося колеса, если известно, что линейная скорость точки, лежащей на ободе, в 2,5 раза больше линейной скорости точки, лежащей на 6 см ближе к оси колеса.
- 1.59. Два тела одновременно начинают равномерное движение по окружности из одной точки в одном направлении. На сколько герц больше частота вращения первого тела, если оно догнало второе тело спустя 0,1 с после начала движения?
- 1.60. Два тела одновременно начинают движение по окружности из одной точки в одном направлении. Период обращения первого тела – 2 с, второго – 6 с. Через какой промежуток времени первое тело догонит второе тело?
- 1.61. Путь, пройденный материальной точкой, движущейся равномерно по окружности, составил 15 м за 10 с. Определить модуль центростремительного ускорения точки, если радиус окружности равен 15 см.
- 1.62. Диск вращается относительно оси, проходящей через центр, с угловой скоростью 5 рад/с. Определить радиус диска, если наибольшая скорость точек диска равна 2,5 м/с.
- 1.63. Тонкостенный шар радиусом 1 м вращается с угловой скоростью 628 рад/с относительно оси, проходящей через его центр. С какой максимальной по модулю скоростью должна лететь пробивающая шар пуля, чтобы в оболочке шара было только одно отверстие?
- 1.64. Период вращения первого колеса вдвое меньше периода вращения второго колеса, а радиус первого колеса в 6 раз больше радиуса второго колеса. Во сколько раз центростремительное ускорение точек, лежащих на ободе

первого колеса, больше центростремительного ускорения аналогичных точек второго колеса?

1.65. Диск радиусом 1 м равномерно вращается с угловой скоростью 10 рад/с относительно оси, проходящей перпендикулярно к плоскости диска через его центр. Определить модуль линейной скорости точек диска, лежащих на расстоянии 0,5 м от оси вращения.

2. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

Динамика – раздел механики, в котором движение тел рассматривается в связи с причинами, обуславливающими характер данного движения.

2.1. Основные понятия динамики материальной точки:

– масса m является мерой инертности и гравитационных свойств тела (инертность – это свойство тел сопротивляться изменению скорости своего движения);

– плотность $\rho = \frac{m}{V}$ (плотность – это масса единицы объема);

– сила \dot{F} (сила – это мера взаимодействия тел, в результате которого изменяются скорости тел или тела деформируются);

– импульс тела (количество движения) $\dot{p} = m\dot{v}$;

– импульс системы тел $\dot{p} = \sum_{i=1}^n \dot{p}_i$.

2.2. Основные законы динамики

Первый закон Ньютона. Тело сохраняет состояние покоя или прямолинейного равномерного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не выведет его из этого состояния. Системы отсчета, в которых выполняется первый закон Ньютона, называются инерциальными.

Второй закон Ньютона. Ускорение \dot{a} , приобретаемое телом относительно любой инерциальной системы отсчета, прямо пропорционально равнодействующей всех сил \dot{F} , действующих на тело, и обратно пропорционально его массе m :

$$\dot{a} = \frac{\dot{F}}{m}; \quad \dot{F} = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 + \mathbf{L} + \dot{F}_n. \quad (2.1)$$

Основное уравнение динамики:

$$m\dot{a} = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 + \mathbf{L} + \dot{F}_n. \quad (2.2)$$

Третий закон Ньютона. При взаимодействии тел действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению. Силы взаимодействия имеют одну и ту же природу, направлены вдоль одной прямой, приложены к разным телам:

$$\dot{F}_{12} = -\dot{F}_{21}. \quad (2.3)$$

2.3. Силы

2.3.1. *Сила гравитационного притяжения.* Для материальных точек и тел сферической формы сила гравитационного притяжения определяется законом

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (2.4)$$

где G – гравитационная постоянная, m_1 и m_2 – массы тел, r – расстояние между материальными точками или центрами сферических тел (рис. 2.1).

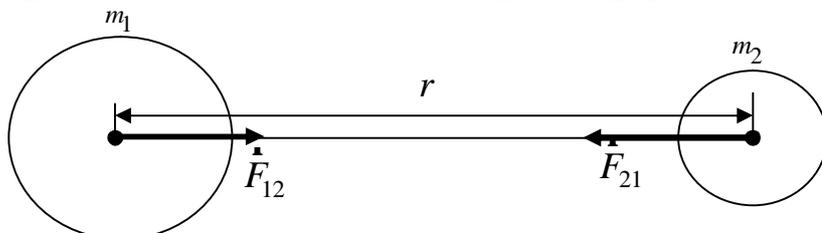


Рис. 2.1

Для системы «тело – планета» (рис 2.2) закон гравитационного притяжения имеет вид

$$F = G \frac{m M_{\text{пл}}}{(R_{\text{пл}} + h)^2}, \quad (2.5)$$

где $R_{\text{пл}} + h = R_{\text{ор}}$.

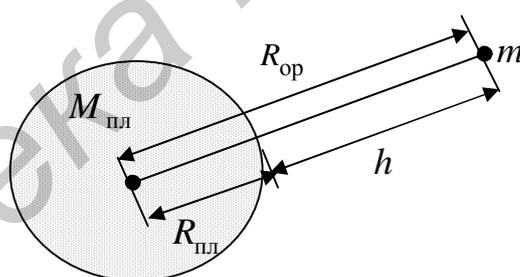


Рис. 2.2

Зависимость ускорения свободного падения от высоты имеет вид

$$g_h = G \frac{M_{\text{пл}}}{(R_{\text{пл}} + h)^2}. \quad (2.6)$$

При

$$h = 0, \quad g_0 = G \frac{M_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}^2}. \quad (2.7)$$

2.3.2. *Сила тяжести* (силу тяжести можно рассматривать как отвесную составляющую силы гравитационного притяжения):

$$\vec{F}_{\text{тяж}} = m \vec{g}. \quad (2.8)$$

2.3.3. *Сила упругости.* Сила упругости при деформации сжатия или растяжения имеет вид

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k \Delta \vec{l}, \quad (2.9)$$

где k – коэффициент жесткости,

$\Delta l = |l - l_0|$ – абсолютное удлинение тела (на рис. 2.3 представлено растяжение пружины).

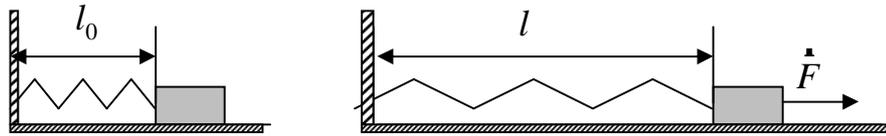


Рис. 2.3

При параллельном соединении пружин (рис. 2.4) справедливы соотношения:

$$\Delta l = \Delta l_1 = \Delta l_2 = \mathbf{K}; \quad \dot{F} = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 + \mathbf{K}; \quad k_{\text{общ}} = k_1 + k_2 + \mathbf{K},$$

где $\Delta l_1, \Delta l_2, \mathbf{K}$ – удлинения пружин, $\dot{F}_1, \dot{F}_2, \mathbf{K}$ – силы, действующие на пружины, k_1, k_2, \mathbf{K} – коэффициенты жесткости пружин.

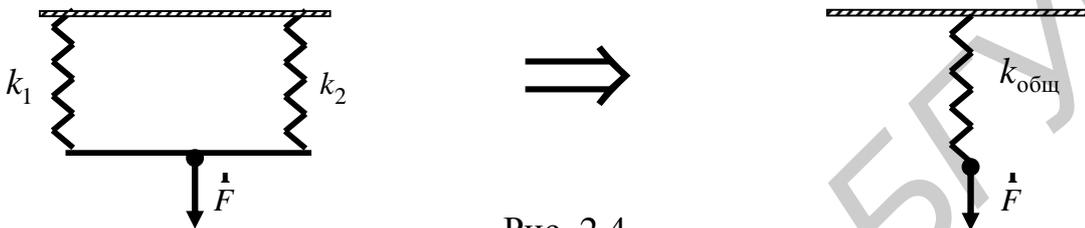


Рис. 2.4

При последовательном соединении пружин (рис. 2.5) справедливы соотношения:

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \mathbf{K}; \quad 1/k_{\text{общ}} = 1/k_1 + 1/k_2 + \mathbf{K}; \quad \dot{F} = \dot{F}_1 = \dot{F}_2 = \mathbf{K}.$$

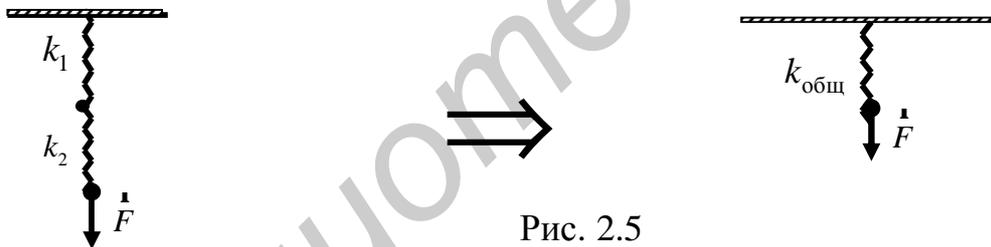


Рис. 2.5

2.3.4. Закон Гука выражается формулой

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \tag{2.10}$$

где $\sigma = \frac{F}{S}$ – механическое напряжение (величина, равная отношению модуля силы упругости F к площади поперечного сечения S деформируемого тела, перпендикулярного направлению действия силы);

$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ – относительное удлинение (отношение абсолютного удлинения тела Δl

к его длине l_0 в недеформированном состоянии);

E – модуль Юнга. Связь между модулем Юнга и коэффициентом жесткости определяется формулами:

$$E = \frac{kl_0}{S}, \quad k = \frac{ES}{l_0}.$$

2.3.5. Сила трения

Сила трения покоя равна по модулю и противоположна по направлению тангенциальной (касательной) составляющей F_τ силы F , приложенной к телу и стремящейся сдвинуть тело с места (рис. 2.6).

$$F_{\text{трения покоя}} = F_\tau.$$

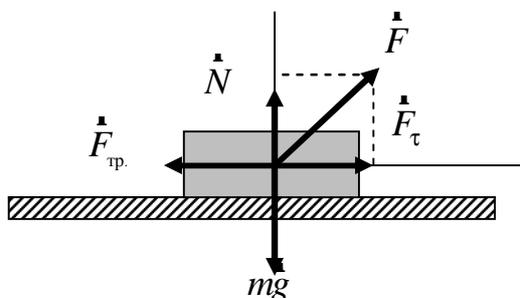


Рис. 2.6

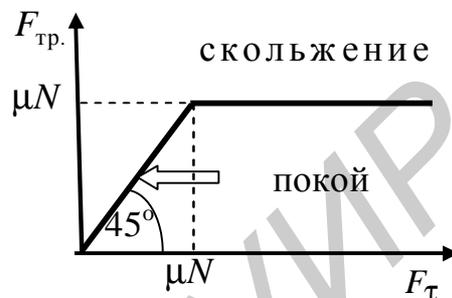


Рис. 2.7

Сила трения скольжения равна максимальной силе трения покоя (рис. 2.7)

$$F_{\text{трения}} = \mu \cdot N, \quad (2.11)$$

где μ – коэффициент трения скольжения,

N – сила нормальной реакции опоры (всегда направлена перпендикулярно к поверхности опоры).

2.3.6. Сила взаимодействия с опорой (рис. 2.8)

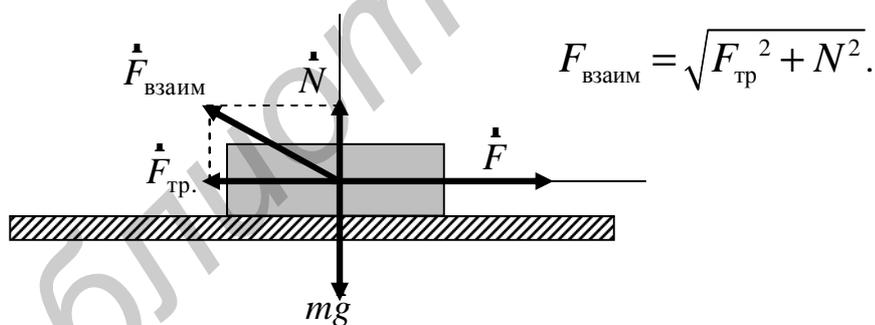


Рис. 2.8

2.4. Изменение импульса

Изменение импульса $\Delta \vec{p}$ определяется разностью импульсов \vec{p}_2 и \vec{p}_1 , определенных в конечный и начальный моменты времени соответственно (рис. 2.9).

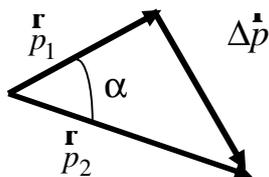


Рис. 2.9

$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1.$$

Согласно теореме косинусов,

$$\Delta p^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2p_1 p_2 \cos \alpha.$$

2.5. Закон изменения импульса

Изменение импульса тела за некоторое время равно импульсу равнодействующей силы, вызвавшей это изменение.

Изменение импульса системы тел за некоторый промежуток времени равно импульсу равнодействующей внешних сил, вызвавших это изменение:

$$\mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1 = \mathbf{F} \cdot \Delta t . \quad (2.12)$$

Величину $\mathbf{F} \cdot \Delta t$ называют импульсом силы.

2.6. Закон сохранения импульса

Импульс замкнутой системы или системы, на которую не действуют внешние силы, сохраняется во времени.

Методические указания к решению задач

1. Сделать схематический чертеж, на котором изобразить тело (тела) и все, действующие на тело (тела) силы.
2. Записать для каждого тела динамическое уравнение движения
$$m\mathbf{a} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{L} + \mathbf{F}_n . \quad (2.13)$$
3. Выбрать координатные оси, на которые будут проецироваться все векторные величины уравнения (2.13). Одна из осей выбирается, как правило, по направлению движения тела, вторая – перпендикулярно к ней. Спроецировать уравнение (2.13) на выбранные оси.
4. Подставить в полученные уравнения аналитические выражения для сил.
5. Решить систему относительно неизвестной величины. Если уравнений не достаточно, использовать знания других разделов физики.

Примеры решения задач

Задача 1. Радиус некоторой планеты в 2 раза больше радиуса Земли, а плотность в 2 раза меньше плотности Земли. Определить ускорение свободного падения на поверхности планеты.

Дано:

$$R_{\text{пл}} = 2R_3 ,$$

$$\rho_{\text{пл}} = \frac{1}{2}\rho_3$$

Найти: $g_{0\text{пл}}$

Решение:

На поверхности планеты ускорение свободного падения $g_{0\text{пл}}$ равно

$$g_{0\text{пл}} = G \frac{M_{\text{пл}}}{R_{\text{пл}}^2} .$$

1. Выразим массу планеты $M_{\text{пл}}$ через плотность $\rho_{\text{пл}}$, рассматривая планету как шар радиусом $R_{\text{пл}}$:

$$M_{\text{пл}} = \rho_{\text{пл}} \cdot \frac{4}{3} \pi R_{\text{пл}}^3.$$

Тогда $g_{0\text{пл}} = G \frac{4\rho_{\text{пл}} \pi R_{\text{пл}}}{3}.$

2. Найдем отношение

$$\frac{g_{0\text{пл}}}{g_{03}} = \frac{\rho_{\text{пл}} R_{\text{пл}}}{\rho_3 R_3} = 1. \quad \text{Следовательно, } g_{0\text{пл}} = g_3 = 10 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Задача 2. На наклонной плоскости длиной 13,0 м и высотой 5,0 м лежит груз массой 26,0 кг. Коэффициент трения груза о плоскость равен 0,5. Какую минимальную силу надо приложить к грузу вдоль наклонной плоскости, чтобы втащить груз на наклонную плоскость?

Дано:

$$l = 13,0 \text{ м}$$

$$h = 5,0 \text{ м}$$

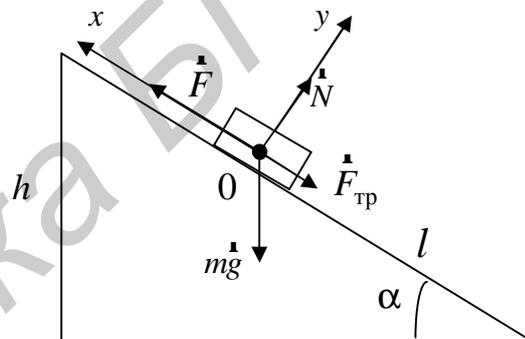
$$m = 26,0 \text{ кг}$$

$$\mu = 0,5$$

Найти: F_{min}

Решение:

1. Выполним рисунок, на котором изобразим все силы, действующие на тело.



2. Запишем динамическое уравнение движения:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} + m\vec{g}.$$

3. Так как речь идет о минимальной силе, то движение равномерное, т. е. $a = 0$.

Спроецируем векторы на выбранные оси:

на ось OX : $0 = F - F_{\text{тр}} - mg \cdot \sin \alpha,$

на ось OY : $0 = N - mg \cdot \cos \alpha.$

Выразим: $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha,$

$$\sin \alpha = \frac{h}{l}, \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}.$$

4. Окончательно получим:

$$F_{\text{min}} = F_{\text{тр}} + mg \cdot \sin \alpha = \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha + mg \cdot \sin \alpha = 220 \text{ (Н)}.$$

Задача 3. Найти модуль средней силы, действующей на плечо охотника в процессе выстрела, если время движения дроби в стволе составляет 0,05 с, ее масса 40 г, а скорость при выстреле из ружья равна 300 м/с.

Дано:

$$t = 0,05 \text{ с}$$

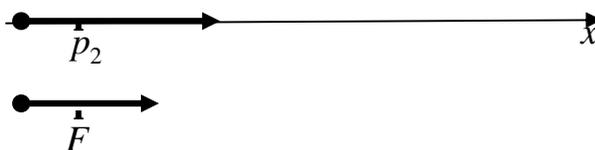
$$m = 40 \text{ г}$$

$$v = 300 \text{ м/с}$$

Найти: $F_{\text{отд}}$

Решение:

1. Выполним рисунок, указав направление импульса пули и направление силы, действующей на пулю ($p_1 = 0$).



2. Запишем закон изменения импульса пули: $\vec{p}_2 = \vec{F} \cdot \Delta t$.

3. Спроецируем векторное уравнение на выбранную ось:
 $p_2 = F \cdot \Delta t$, $m v_2 = F \cdot \Delta t$.

4. Определим силу, действующую на пулю,

$$F = \frac{m v_2}{\Delta t} = 240 \text{ (Н)}.$$

5. В соответствии с третьим законом Ньютона, сила, действующая на плечо охотника $F_{\text{отд}}$, равна силе F , действующей на пулю,

$$F_{\text{отд}} = F = 240 \text{ (Н)}.$$

Задачи для самостоятельного решения

- 2.1. Половина тела по объему состоит из вещества плотностью 2000 кг/м^3 , а оставшаяся часть – из вещества плотностью 3000 кг/м^3 . Определить среднюю плотность тела.
- 2.2. В столярной мастерской изготовлен платяной шкаф массой 80 кг из дерева плотностью 1000 кг/м^3 . Сколько кубических дециметров дерева содержится в изделии столяров?
- 2.3. В детали объемом 1200 см^3 , изготовленной из алюминия, имеется внутренняя полость объемом 200 см^3 . Определите плотность алюминия, если масса детали равна $2,6 \text{ кг}$.
- 2.4. В сосуде находится жидкость плотностью 1200 кг/м^3 . После добавления жидкости плотностью в 3 раза большей, конечный объем оказался в 2 раза больше начального объема. Определить плотность смеси.
- 2.5. Масса планеты в 8 раз больше массы Земли, а ее радиус в 2 раза больше радиуса Земли. Определить, во сколько раз ускорение свободного падения на поверхности планеты больше, чем на поверхности Земли.
- 2.6. Радиус некоторой планеты в 2 раза больше радиуса Земли, а плотность в 2 раза меньше плотности Земли. Определить ускорение свободного падения на поверхности планеты.

- 2.7. Чему равно ускорение свободного падения на высоте, равной радиусу Земли?
- 2.8. Вокруг неизвестной планеты радиусом 10 000 км по круговой орбите радиусом 20 000 км со скоростью 12 км/с вращается спутник. Определить ускорение свободного падения на поверхности планеты.
- 2.9. Три упругих пружины одинаковой длины соединены последовательно. Коэффициенты жесткости пружин равны 100 Н/м, 200 Н/м и 400 Н/м. Определить модуль силы, способной растянуть составную пружину на 3,5 см.
- 2.10. Определить коэффициент жесткости пружины, составленной из трех пружин с одинаковым коэффициентом жесткости 100 Н/м и одинаковой длины, соединенных параллельно.
- 2.11. Коэффициент жесткости пружинки равен 300 Н/м. Определить коэффициент жесткости пружинки, сделанной из того же материала, с длиной, в 3 раза большей, чем у первой. Поперечное сечение пружинок одинаково.
- 2.12. Две невесомые пружины соединили последовательно и растянули. При этом удлинение пружины жесткостью 1000 Н/м составило 2 см. Найти в сантиметрах деформацию другой пружины, жесткость которой равна 500 Н/м.
- 2.13. Коэффициент жесткости упругого стержня равен 3000 Н/м. Определить коэффициент жесткости стержня, сделанного из того же материала и той же длины, но с вдвое большей площадью поперечного сечения.
- 2.14. Один конец пружинки с коэффициентом жесткости 10 Н/м привязан к потолку лифта, а к другому концу привязана гирька массой 100 г. Лифт опускается с ускорением 2 м/с^2 , направленным вниз. Определить абсолютную деформацию пружинки.
- 2.15. Коэффициент жесткости пружинки игрушечного пистолета равен 10 Н/м. Пружину сжали на 5 см. Определить модуль начального ускорения шарика массой 10 г, если выстрел производится вертикально вверх с поверхности земли. Трением пренебречь.
- 2.16. К горизонтально расположенной невесомой пружине с коэффициентом жесткости 10 Н/м прицепили гирьку массой 50 г. Затем оттянули гирьку из положения равновесия на 10 см и отпустили. Определить модуль ускорения гирьки в начальный момент времени. Трением пренебречь.
- 2.17. Тело массой 0,01 кг, прикрепленное к пружине длиной 0,3 м, вращается в горизонтальной плоскости равномерно. При каком числе оборотов в секунду пружина удлинится на 0,05 м, если жесткость пружины равна 400 Н/м. Ответ округлить до целого числа.
- 2.18. Два одинаковых тела, связанных невесомой нитью, движутся по горизонтальной поверхности под действием силы, численно равной $\sqrt{5000}$ Н и приложенной к первому телу под углом 45° к горизонту. Определить модуль силы натяжения нити, если коэффициент трения равен 1.
- 2.19. К вертикальной стене силой 30 Н, направленной горизонтально, прижимается брусок массой 3 кг. Определить модуль вертикально направленной силы, под действием которой брусок будет двигаться вверх с ускорением 1 м/с^2 при коэффициенте трения 0,1.

- 2.20. Однородная цепочка длиной 1,5 м лежит на столе так, что ее конец свешивается с края стола. При какой длине свешивающейся части цепочка начинает скользить по столу, если коэффициент трения цепочки о стол равен 0,5 ?
- 2.21. Коэффициент трения между бруском массой 3 кг и горизонтальной плоскостью равен 0,2. Определить модуль силы трения, если на брусок действует горизонтальная сила тяги 5 Н.
- 2.22. На тело массой 100 г, покоящееся на горизонтальной поверхности, в течение 2 с действует горизонтальная сила, равная по модулю 1Н. Какое расстояние пройдет тело за время движения, если коэффициент трения скольжения равен 0,2.
- 2.23. Тело массой 673 г начинает двигаться с ускорением 1 м/с^2 по горизонтальной поверхности под действием силы, образующей с горизонтом угол 60° . Определить модуль этой силы, если коэффициент трения равен 0,2.
- 2.24. Веревка выдерживает груз массой 80 кг при вертикальном подъеме с некоторым ускорением и груз 120 кг при движении вниз с таким же по модулю ускорением. Груз какой максимальной массы можно поднимать с помощью этой веревки с постоянной скоростью.
- 2.25. С каким по модулю ускорением следует перемещать в горизонтальном направлении наклонную плоскость с углом при основании 45° , чтобы находящееся на ней тело соскальзывало вниз с постоянной скоростью? Коэффициент трения скольжения равен 0,25.
- 2.26. На наклонной плоскости длиной 13 м и высотой 5 м лежит груз массой 26 кг. Коэффициент трения груза о плоскость равен 0,5. Какую минимальную силу надо приложить к грузу вдоль наклонной плоскости, чтобы втащить груз на наклонную плоскость?
- 2.27. Угол наклона плоскости к горизонту равен 45° . Какой массы груз может удержать на наклонной плоскости горизонтально направленная сила, равная 100Н, если коэффициент трения груза о плоскость равен 0,5?
- 2.28. Тело соскальзывает с нулевой начальной скоростью с вершины наклонной плоскости высотой 8 м и углом при основании 45° . Определить время соскальзывания тела с наклонной плоскости, если коэффициент трения скольжения равен 0,2.
- 2.29. Два груза массами 0,9 кг и 0,1 кг висят на нити, перекинутой через невесомый блок. Груз меньшей массы находится на 2 м ниже. Грузы приходят в движение без начальной скорости. Через какое время они окажутся на одной высоте?
- 2.30. К грузу массой 7 кг подвешен на веревке груз массой 5 кг. Определить модуль силы натяжения середины веревки, если всю систему поднимать вертикально вверх силой 240 Н, приложенной к большему грузу. Веревка однородна и имеет массу 4 кг.
- 2.31. Самолет описывает «мертвую петлю» в вертикальной плоскости. При какой наименьшей скорости самолета незакрепленное тело не вывалится из кабины в верхней точке петли? Радиус петли равен 160 м.

- 2.32. С какой скоростью проходит положение равновесия тело массой 15 кг, подвешенное на легком тросике длиной 20 м, если в момент прохождения положения равновесия сила натяжения тросика равна 450 Н?
- 2.33. Автомобиль массой 5 т движется с постоянной по модулю скоростью 10 м/с по выпуклому мосту радиусом 100 м. Определить в килоньютонах максимальное значение силы давления автомобиля на мост.
- 2.34. С какой максимальной скоростью может двигаться автомобиль на повороте радиусом закругления 500 м, чтобы его не «занесло», если коэффициент трения скольжения шин о дорогу равен 0,5?
- 2.35. Тело массой 0,2 кг движется по окружности с постоянной линейной скоростью 1,5 м/с. Определить модуль изменения импульса тела за время, равное половине периода вращения.
- 2.36. Найти модуль изменения импульса шарика массой 20 г за 3 с свободного падения. Сопротивление воздуха не учитывать.
- 2.37. Найти модуль средней силы, действующей на плечо охотника в процессе выстрела, если время движения дроби в стволе составляет 0,05 с, ее масса 40 г, а скорость при вылете из ружья равна 300 м/с.
- 2.38. Тело падает под углом 60° к вертикали на горизонтальную поверхность. Определить модуль изменения импульса тела за время удара, если к моменту касания с поверхностью модуль импульса тела равен 8 Н·с. Удар считать абсолютно упругим.
- 2.39. Мяч массой 0,1 кг свободно падает с высоты 20 м и упруго отскакивает от горизонтальной поверхности. Найти модуль изменения импульса мяча за время удара. Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 2.40. Через 0,15 с после выстрела в горизонтальном направлении пуля массой 9 г движется со скоростью 545 м/с. Определить модуль средней силы сопротивления воздуха, если начальная скорость пули равна 550 м/с. Действием на пулю силы тяжести пренебречь.
- 2.41. Лыжник бросает снежки массой 100 г со скоростью 10 м/с вдоль лыжни. С какой минимальной частотой ему надо бы это делать, чтобы двигаться при силе трения лыж о снег, равной 15 Н?
- 2.42. На какую максимальную высоту подпрыгнет мяч, падающий без начальной скорости с высоты 20 м, если за время удара о горизонтальную поверхность модуль импульса равнодействующей силы равен 40 Н·с? Масса мяча равна 1 кг. Сопротивлением воздуха пренебречь.

3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

3.1. Основные понятия:

- механическая энергия E – это мера механического движения и сопровождающего его взаимодействия;
- кинетическая энергия E_k – энергия движущегося тела;
- потенциальная энергия $E_{п}$ – это энергия взаимодействия, зависящая от взаимного расположения тел или частей тела.
- механическая работа A – это мера изменения механической энергии;

– средняя мощность P определяется работой за единицу времени:

$$P = \frac{A}{t}; \quad (3.1)$$

– коэффициент полезного действия η определяется отношением полезной работы $A_{\text{п}}$ (полезной мощности $P_{\text{п}}$) ко всей затраченной работе A_3 (затраченной мощности P_3):

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_3} \cdot 100 \% = \frac{P_{\text{п}}}{P_3} \cdot 100 \% ; \quad (3.2)$$

– потенциальные силы – это силы, работа которых не зависит от пройденного пути, а определяется только начальным и конечным положениями тела в пространстве. В механике – это сила тяжести $m\dot{g}$ и сила упругости $k\Delta\dot{l}$.

3.2. Основные формулы

Работа постоянной силы \dot{F} равна произведению модуля силы на модуль перемещения $|\Delta\dot{r}|$ и на косинус угла между направлением силы и перемещения:

$$A = |\dot{F}| \cdot |\Delta\dot{r}| \cdot \cos \alpha. \quad (3.3)$$

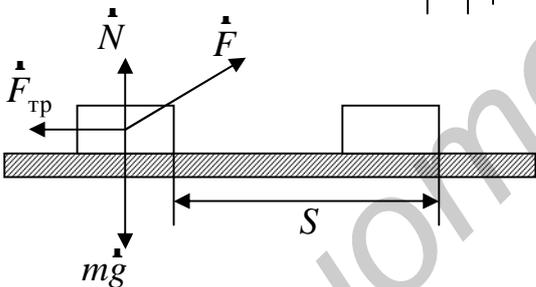


Рис. 3.1

Работы сил, изображенных на рис. 3.1, определяются:

$$A_F = F \cdot S \cdot \cos \alpha,$$

$$A_{mg} = mg \cdot S \cdot \cos 90^\circ = 0,$$

$$A_N = N \cdot S \cdot \cos 90^\circ = 0,$$

$$A_{F_{\text{тр}}} = F_{\text{тр}} \cdot S \cdot \cos 180^\circ = -F_{\text{тр}} \cdot S.$$

Работа переменной силы, меняющейся по линейному закону, может быть найдена как площадь фигуры, ограниченной графиком зависимости $F(S)$, осью S и соответствующими ординатами F_1 и F_2 (рис. 3.2).

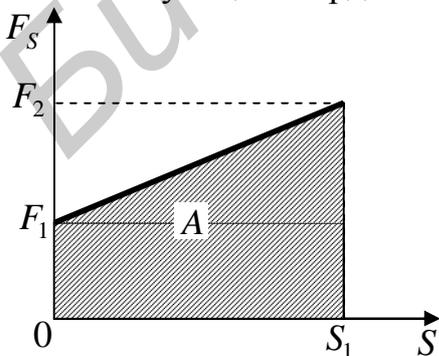


Рис. 3.2

$$A = S_{\text{трапеции}} = \frac{1}{2} (F_1 + F_2) \cdot S_1.$$

Кинетическая энергия частицы E_k :

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}. \quad (3.4)$$

Изменение кинетической энергии тела (системы тел) равно работе всех сил, действующих на тело (систему):

$$E_{k2} - E_{k1} = A_{\text{всех сил}}. \quad (3.5)$$

Кинетическая энергия системы тел равна сумме кинетических энергий каждого тела:

$$E_k = \sum_{i=1}^n E_{ki}. \quad (3.6)$$

Убыль потенциальной энергии тела равна работе потенциальных сил:

$$E_{п1} - E_{п2} = A_{\text{потенц. сил.}}; \quad (3.7)$$

mgh – потенциальная энергия тела, поднятого над землей. (Численное значение зависит от выбора нулевого уровня энергии).

$\frac{k\Delta l^2}{2}$ – потенциальная энергия упругой деформации.

Полная механическая энергия E равна сумме кинетической и потенциальной энергий:

$$E = E_k + E_{п}. \quad (3.8)$$

3.3. Закон изменения механической энергии

Изменение механической энергии тела равно работе всех сил (кроме mg и $k\Delta l$), действующих на тело. Работа сил mg и $k\Delta l$ определяет значение потенциальной энергии.

Изменение механической энергии системы тел равно сумме работ сил сопротивления и других внешних сил (кроме mg и $k\Delta l$):

$$E_2 - E_1 = A_{\text{сопр.}} + A_{\text{внеш}} \text{ (кроме } mg \text{ и } k\Delta l). \quad (3.9)$$

3.4. Закон сохранения механической энергии

Механическая энергия системы сохраняется, если на систему действуют только потенциальные силы.

3.5. Упругий центральный удар сферических тел (шаров, рис. 3.3)

При упругом ударе выполняются законы сохранения импульса и механической энергии.

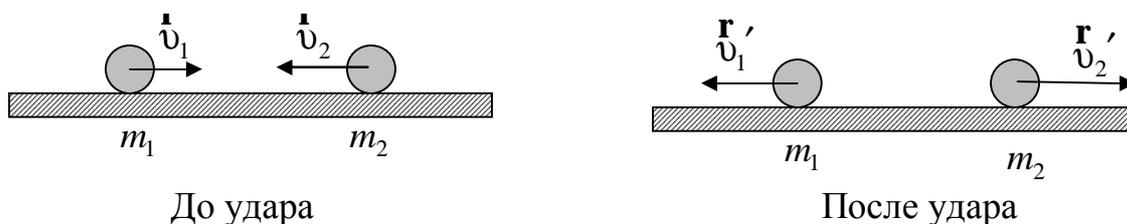


Рис. 3.3

$$m_1 \dot{v}_1 + m_2 \dot{v}_2 = m_1 \dot{v}_1' + m_2 \dot{v}_2' \text{ – закон сохранения импульса;}$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2} \text{ – закон сохранения механической энергии.}$$

3.6. Неупругий центральный удар сферических тел (шаров, рис. 3.4)

После удара тела останавливаются или движутся как одно целое.

При неупругом ударе выполняется закон сохранения импульса.

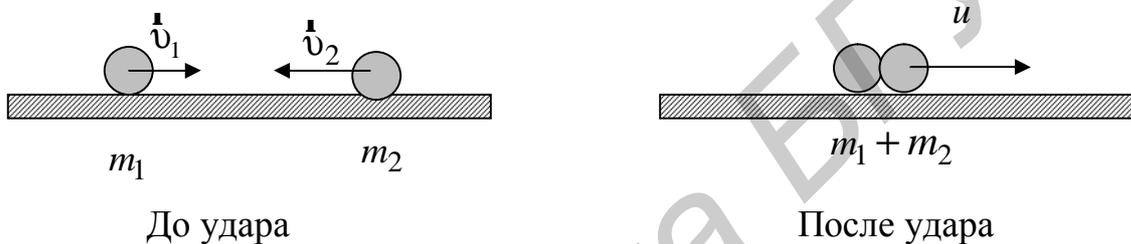


Рис. 3.4

$$m_1 \dot{v}_1 + m_2 \dot{v}_2 = (m_1 + m_2) \dot{u} \text{ – закон сохранения импульса.}$$

Количество теплоты, выделяемой при неупругом ударе:

$$Q = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) u^2}{2}.$$

3.7. Нецентральный удар – удар, после которого тела разлетаются под некоторым углом α (рис. 3.5):

$\dot{p}_1 = \dot{p}_1' + \dot{p}_2'$ – закон сохранения импульса.

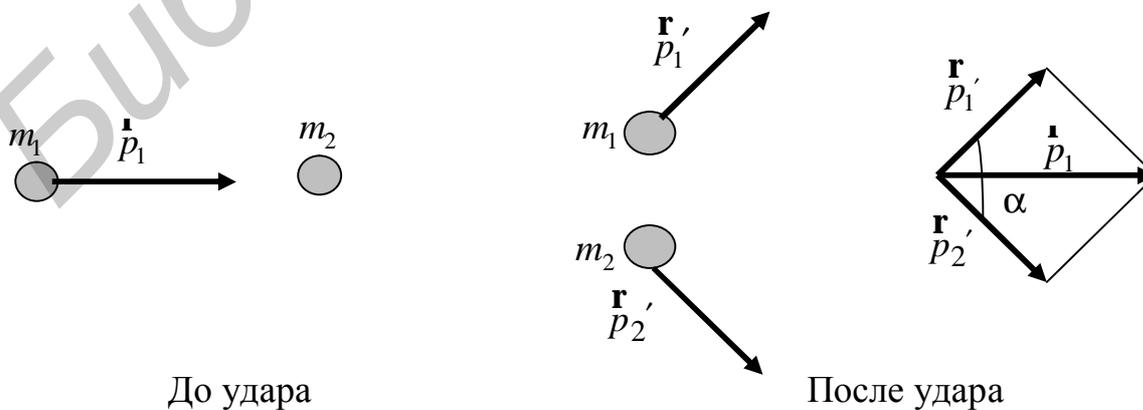


Рис. 3.5

Методические указания к решению задач

1. Определить, какие тела входят в систему.
2. Сделать рисунок, на котором изобразить начальное и конечное положение тела (тел).
3. Выбрать нулевой уровень потенциальной энергии.
4. Определить механическую энергию тела (системы тел) в начальном и конечном положении.
5. Выяснить, действуют ли на систему силы сопротивления (трения) и внешние силы (кроме mg и $k\Delta l$).
6. Если действуют, то записать работу этих сил. Следует помнить, что силы, действующие перпендикулярно направлению движения, работы не совершают.
7. Записать закон изменения механической энергии в общем виде.
8. Подставить конкретные выражения для энергий и работ.
9. Решить полученное уравнение относительно искомой величины. Если данных не достаточно, использовать знания из других разделов физики.

Примеры решения задач

Задача 1. Небольшое тело массой 1,0 кг начинает соскальзывать по гладкому наклонному желобу с высоты 2,5 м, переходящему в «мертвую петлю» радиусом 1,0 м. Определить кинетическую энергию тела в момент прохождения верхней точки «мертвой петли». Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:

$$h = 2,5 \text{ м}$$

$$m = 1,0 \text{ кг}$$

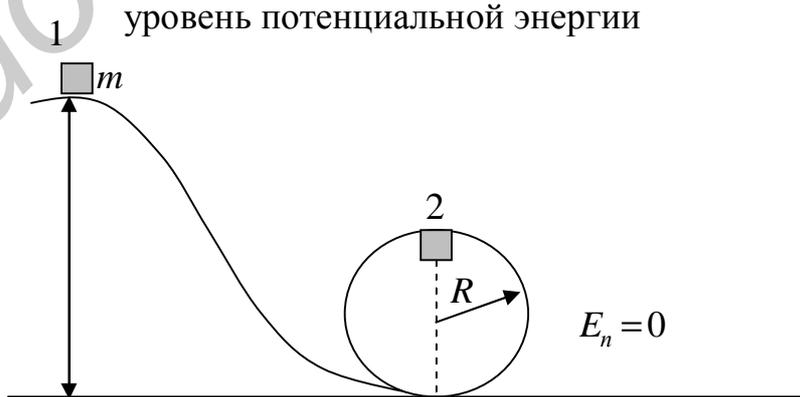
$$R = 1,0 \text{ м}$$

Найти: E_k

Решение:

1. В систему включим одно тело.

2. Сделаем рисунок, на котором обозначим начальное положение тела (положение 1), конечное положение тела (положение 2) и нулевой уровень потенциальной энергии



3. Запишем механическую энергию для положения 1 и положения 2:

$$E_1 = mgh, \quad E_2 = E_k + 2mgR.$$

4. Силой сопротивления можно пренебречь, внешняя сила нормальной реакции опоры работы не совершает, следовательно, $E_2 - E_1 = 0$.

5. Подставим конкретные выражения для энергии и решим уравнение относительно искомой величины:

$$E_k + 2mgR - mgh = 0, \quad E_k = mgh - 2mgR = 5 \text{ (Дж)}.$$

Задачи для самостоятельного решения

- 3.1. В тележку с песком, движущуюся по горизонтальной поверхности со скоростью 2,2 м/с, попадает вертикально падающее тело, масса которого в 10 раз меньше массы тележки, и застревает в песке. Определить скорость тележки после удара.
- 3.2. Граната, летящая со скоростью 10 м/с, разорвалась на два осколка. Большой осколок, масса которого составляет 60% массы гранаты, продолжает двигаться в том же направлении со скоростью 25 м/с. Найти модуль скорости меньшего осколка.
- 3.3. Тело массой 2 кг движется по горизонтальной поверхности со скоростью 4 м/с и догоняет второе тело, скорость которого 2 м/с, а масса равна 4 кг. Определить модуль скорости второго тела после центрального упругого удара, если первое тело после удара останавливается.
- 3.4. Шары массой 5 кг и 1 кг движутся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями, равными 5 м/с. После центрального упругого удара шары движутся в одном направлении, причем скорость первого шара равна 2 м/с. Найти модуль скорости второго шара после удара.
- 3.5. С носа и кормы неподвижной баржи одновременно с одинаковой скоростью начали двигаться навстречу друг другу два мальчика с массами 40 кг и 60 кг. На какое расстояние сместится баржа к моменту встречи мальчиков, если масса баржи 400 кг, а ее длина 10 м?
- 3.6. Два тела движутся по взаимно перпендикулярным направлениям. Масса первого тела равна 2 кг, а скорость – 3 м/с. Масса второго – 4 кг, а скорость – 2 м/с. Определить модуль полного импульса системы тел.
- 3.7. Тело массой 2 кг, обладающее импульсом, равным по модулю 3 Н·с, упруго сталкивается с таким же неподвижным телом. Определить суммарную кинетическую энергию тел после удара.
- 3.8. Два одинаковых шарика движутся навстречу друг другу со скоростями 5 м/с и 7 м/с. На сколько изменится модуль скорости первого шарика после абсолютно упругого лобового удара?
- 3.9. Шары массой 1 кг и 0,5 кг движутся навстречу друг другу со скоростями 20 м/с и 10 м/с соответственно. Определить модуль скорости совместного движения шаров после абсолютно неупругого удара.
- 3.10. При абсолютно неупругом столкновении двух одинаковых шаров их скорость после столкновения составила 20 м/с. Считая, что один из шаров до столкновения покоился, найти модуль скорости другого шара.

- 3.11. С покоящимся на гладкой горизонтальной поверхности шаром неупруго сталкивается шар втрое большей массы, движущийся до удара со скоростью 6 м/с. Определить модуль скорости шара большей массы после удара.
- 3.12. Тело массой 1 кг движется по горизонтальной поверхности со скоростью 5 м/с и догоняет второе тело, скорость которого 1 м/с, а масса равна 5 кг. После удара первое тело останавливается. Какое количество тепла выделится в процессе удара?
- 3.13. Два тела скользят навстречу друг другу по прямой, проходящей через их центры. Массы тел одинаковы и равны 1 кг. Скорость первого тела равна по модулю 1 м/с, второго – 2 м/с. Определить суммарную кинетическую энергию тел после абсолютно неупругого удара.
- 3.14. Два тела массой по 1/18 кг движутся по прямой навстречу друг другу. Скорость первого тела равна 4 м/с, второго – 8 м/с. Какое количество теплоты выделится в результате абсолютно неупругого удара этих тел?
- 3.15. Движущийся шарик сталкивается с покоящимся шариком. Под каким углом в градусах разлетаются шары, если модуль импульса каждого из шаров после удара равен модулю полного импульса системы до удара?
- 3.16. Модуль импульса первого тела до столкновения с покоящимся равен 9 Н·с, а после столкновения – 3 Н·с. Определить в градусах угол между векторами импульсов тел после удара, если модуль импульса второго тела после удара равен 12 Н·с.
- 3.17. Два одинаковых тела, обладающих одинаковыми по модулю скоростями, сталкиваются абсолютно неупруго. Определить в градусах угол между векторами скоростей тел до удара, если при ударе теряется 25 % суммарной кинетической энергии.
- 3.18. Какая доля кинетической энергии перейдет в теплоту при неупругом столкновении двух одинаковых тел, движущихся до удара с равными по модулю скоростями под прямым углом друг к другу?
- 3.19. Два одинаковых гладких шарика, один из которых неподвижен, а другой движется с постоянной скоростью, сталкиваются абсолютно упруго и разлетаются в разных направлениях. Найти в градусах угол между векторами скоростей шариков после удара.
- 3.20. Определить работу силы трения при соскальзывании тела массой 5 кг по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол 60° . Длина наклонной плоскости равна 1 м. Коэффициент трения равен 0,2.
- 3.21. На какую максимальную высоту относительно поверхности земли можно поднять с помощью лебедки тело массой 50 кг, если средняя мощность лебедки равна 1 кВт, а время подъема 2 с? Скорость подъема постоянна.
- 3.22. Определить в киловаттах мощность силы тяги двигателя автомобиля, который движется по горизонтальной дороге с постоянной скоростью 54 км/ч. Масса автомобиля равна 2 т, а коэффициент трения равен 0,1.
- 3.23. Человек поднимается по лестнице за одинаковое время один раз на 50 ступенек, а другой – на 20 ступенек. Во сколько раз средняя мощность, развиваемая человеком в первом случае, больше, чем во втором?

- 3.24. На гладком столе лежит однородная цепочка длиной 1 м и массой 0,2 кг. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы оторвать цепочку от стола, приложив силу к одному из концов цепочки?
- 3.25. График зависимости проекции силы на направление перемещения от пройденного пути имеет вид трапеции с вершинами в точках (0, 0), (2 Н, 2 м), (2 Н, 4 м) и (0 Н, 6 м). Определить работу этой силы за время прохождения 6 м пути.
- 3.26. Тело массой 1 кг соскальзывает без начальной скорости с вершины наклонной плоскости высотой 1 м и останавливается. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы по тому же пути втащить тело на вершину наклонной плоскости, прикладывая силу вдоль направления перемещения?
- 3.27. Тело массой 10 кг равномерно движется по горизонтальной поверхности с коэффициентом трения, равным 0,1. Горизонтальная сила приложена к телу через невесомую пружину с коэффициентом жесткости 100 Н/м. Найти потенциальную энергию пружины.
- 3.28. Мяч в верхней точке траектории ударяется о щит и отскакивает обратно, теряя 0,36 своей кинетической энергии. Во сколько раз горизонтальное смещение мяча до удара больше горизонтального смещения мяча после удара? Удар мяча о землю абсолютно неупругий.
- 3.29. Тело массой 1 кг падает из состояния покоя с высоты 10 м в отсутствие сопротивления воздуха. На сколько уменьшится потенциальная энергия тела за первую секунду движения?
- 3.30. Во сколько раз кинетическая энергия тела, движущегося со скоростью 20 м/с, больше потенциальной энергии того же тела, поднятого на высоту 10 м? Уровень отсчета потенциальной энергии связать с поверхностью земли.
- 3.31. В ходе ускоренного движения тела постоянной массы модуль импульса тела увеличился в 1,3 раза. Во сколько раз возросла за это время кинетическая энергия тела?
- 3.32. Груз массой 50 кг поднимают от основания наклонной плоскости до ее вершины. На сколько возрастет потенциальная энергия груза, если длина наклонной плоскости равна 3 м, а угол при основании равен 30° ?
- 3.33. Определить массу груза, висящего вертикально на невесомой пружине, если коэффициент жесткости пружины равен 500 Н/м, а потенциальная энергия, запасенная в пружине, равна 0,1 Дж.
- 3.34. Пружина жесткостью 200 Н/м, предварительно сжатая на 1 см, под действием внешней силы сжимается еще на 1 см. Определить работу силы упругости при дополнительном сжатии.
- 3.35. К телу массой 0,1 кг, лежащему на горизонтальной поверхности, приложена вертикально направленная сила, равная по модулю 2 Н. Определить кинетическую энергию груза в момент подъема на высоту 3 м относительно поверхности.
- 3.36. Шарик массой 0,1 кг подвешен на нерастяжимой и невесомой нити. Нить с шариком отклонили на угол 60° и отпустили. Определить натяжение нити при прохождении шариком положения равновесия.

- 3.37. Невесомая пружина удерживается в сжатом состоянии между двумя одинаковыми телами с массами по 1 кг каждое. Определить модуль скорости одного из тел после распрямления пружины, если ее энергия в сжатом состоянии равна 25 Дж.
- 3.38. С какой начальной скоростью необходимо бросить мяч вертикально вниз с высоты 1 м, чтобы он подпрыгнул после абсолютно упругого удара о землю на высоту 1,45 м? Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 3.39. Максимальная высота подъема тела массой 2 кг, брошенного с поверхности земли с начальной скоростью 10 м/с, составляет 3 м. Определить кинетическую энергию тела в момент достижения максимальной высоты. Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 3.40. Саночник в конце трассы имеет скорость 108 км/ч. Определить перепад высот спуска, если скорость саночника в начале спуска равна нулю, а общая масса спортсмена и санок равна 80 кг. Трением пренебречь.
- 3.41. Тело массой 2,5 кг свободно падает с высоты 10 м относительно поверхности земли. Определить кинетическую энергию тела на высоте 3 м. Сопротивлением воздуха пренебречь. Начальная скорость тела равна нулю.
- 3.42. Шар массой 0,5 кг падает на невесомую вертикально расположенную пружину с коэффициентом жесткости 1000 Н/м. Определить максимальное сжатие пружины, если шар падает с высоты 0,3 м. Отсчет высоты ведется от верхнего края недеформированной пружины.
- 3.43. Груз массой 100 г свободно вращается на нити в вертикальной плоскости. На сколько отличаются силы натяжения при переходе груза из самого нижнего положения в верхнее?
- 3.44. С крыши дома высотой 20 м брошен камень со скоростью 18 м/с. Определить работу по преодолению сопротивления воздуха, если известно, что к моменту удара о землю камень имеет скорость 24 м/с. Масса камня 50 г.
- 3.45. Санки, движущиеся по горизонтальному льду со скоростью 6 м/с, выезжают на асфальт. Длина полозьев санок 2 м, коэффициент трения об асфальт равен 1. Какой путь пройдут санки до полной остановки?
- 3.46. Летящая с некоторой скоростью пуля попадает в мешок с песком и входит в него на глубину 15 см. На какую глубину войдет в песок пуля той же массы, если скорость ее движения будет вдвое больше? Считать силу сопротивления движению пули в песке постоянной.
- 3.47. При зарядке пружинного пистолета деформация невесомой пружины с коэффициентом жесткости 1000 Н/м равна 0,04 м. При выстреле вертикально вверх шарик массой 0,01 кг поднимается на наибольшую высоту 4 м. Какое количество механической энергии переходит за счет трения в теплоту?
- 3.48. Тело свободно падает с высоты 2 м на горизонтальную поверхность. При ударе о поверхность 30 % механической энергии тела переходит в теплоту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить максимальную высоту, на которую поднимется тело после удара.
- 3.49. Покоящееся на некоторой высоте тело обладает потенциальной энергией 44 Дж. К моменту удара о землю после свободного падения с этой вы-

соты кинетическая энергия тела равна 37 Дж. Определить работу силы сопротивления воздуха.

- 3.50. Тело скользит сначала вниз по наклонной плоскости с углом наклона 60° , а затем по горизонтальной поверхности. Определить коэффициент трения, если известно, что тело проходит по горизонтальной поверхности расстояние в 1,23 раза большее, чем по наклонной плоскости.
- 3.51. При ударе мяча о горизонтальную поверхность теряется половина его механической энергии. Какую минимальную скорость в вертикальном направлении нужно сообщить мячу, находящемуся на высоте 5 м, чтобы после удара он снова смог подняться на эту высоту? Сопротивлением воздуха пренебречь.
- 3.52. Тело массой 10 кг падает без начальной скорости с высоты 10 м относительно поверхности земли. Определить кинетическую энергию тела в момент падения на землю, если к этому моменту 20 % полной механической энергии тела перешло в теплоту?
- 3.53. Дельтапланерист на высоте 10 м над поверхностью земли имеет скорость 10 м/с. Сколько килоджоулей механической энергии перейдет в тепловую при посадке и полной остановке спортсмена, если его масса вместе со снаряжением равна 100 кг?
- 3.54. Невесомая пружина жесткостью 1000 Н/м, сжатая на 0,04 м, толкает в горизонтальном направлении тело массой 0,01 кг. Какое количество механической энергии перейдет в теплоту за время действия пружины на тело, если модуль скорости возрос от 0 до 12 м/с?
- 3.55. Пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, попадает в середину шара массой 1 кг, висящего на невесомой и нерастяжимой нити, и пробивает его. Определить кинетическую энергию пули после пробивания шара, если шар поднялся на высоту 0,2 м.
- 3.56. Шар массой 1 кг закреплен на конце невесомого стержня длиной 1 м и может вращаться в горизонтальной плоскости относительно оси, проходящей через другой конец стержня. Какую работу нужно совершить, чтобы сообщить шару угловую скорость 5 рад/с? Растяжением стержня, трением и сопротивлением воздуха пренебречь.
- 3.57. При переводе системы тел из начального состояния в конечное ее потенциальная энергия возросла на 17 Дж. Определить модуль изменения кинетической энергии, если при этом переходе внешние силы совершили над системой работу 11 Дж. Трение отсутствует.
- 3.58. Тело движется по инерции вверх от основания наклонной плоскости с углом наклона 45° с начальной скоростью 6 м/с. На какой высоте скорость тела уменьшится в 2 раза, если коэффициент трения равен 0,5?
- 3.59. Камень, брошенный вертикально вверх с поверхности земли со скоростью 10 м/с, при падении на Землю углубился в песок на 10 см вертикально вниз. Определить количество выделившегося тепла, если масса камня равна 100 г.
- 3.60. Пуля, летящая с начальной скоростью, пробивает несколько одинаковых досок, расположенных на некотором расстоянии друг от друга. В какой

доске застрянет пуля, если ее скорость после первой доски в 1,2 раза меньше начальной скорости.

- 3.61. Хоккейная шайба, имеющая начальную скорость 5 м/с, проходит по льду до удара о бортик расстояние 10 м и после удара отскакивает от него. Определить, на какое расстояние отлетит шайба, если коэффициент трения о лед в обоих случаях равен 0,05.

Ответы задач для самостоятельного решения

1. Основы кинематики

1.1. 120° . 1.2. 12 ч. 1.3. 4. 1.4. 0,5 м. 1.5. 0,5 м/с. 1.6. 2. 1.7. 17,3 м/с. 1.8. 7 м/с. 1.9. 17,3 м/с. 1.10. 35 м/с. 1.11. 9 мин. 1.12. 18 км/ч. 1.13. 5,19 м/с. 1.14. 6,2 м/с. 1.15. 30 км/ч. 1.16. 9,6 м/с. 1.17. 1 м/с. 1.18. 0,2 м/с. 1.19. 2,5 м/с. 1.20. 6 м/с. 1.21. 20 с. 1.22. 1 м/с^2 . 1.23. 1 с. 1.24. 3. 1.25. 4,2. 1.26. 2 м/с^2 . 1.27. 1,5. 1.28. 0. 1.29. 4,5 м/с. 1.30. 2 м/с. 1.31. 16 м. 1.32. 1 м/с. 1.33. 2 м. 1.34. 5 м/с. 1.35. 12,5 м. 1.36. 28,2 м/с. 1.37. 20 м. 1.38. 5 м/с. 1.39. 15 м. 1.40. 2 с. 1.41. 28,2 м. 1.42. 0,6 с. 1.43. 20 м/с. 1.44. 40 м/с. 1.45. 11 м. 1.46. 125 м. 1.47. 10 м/с. 1.48. 15 с. 1.49. 60° . 1.50. 10 с. 1.51. 0,59 с. 1.52. 0,73 с. 1.53. 10 м/с. 1.54. 60° . 1.55. 3 с. 1.56. 10 об. 1.57. 100 об. 1.58. 0,1 м. 1.59. 10 Гц. 1.60. 3. 1.61. 15 м/с^2 . 1.62. 0,5 м. 1.63. 400 м/с. 1.64. 24. 1.65. 5 м/с.

2. Основы динамики

2.1. 2500 кг/м^3 . 2.2. 80 дм^3 . 2.3. 2600 кг/м^3 . 2.4. 2400 кг/м^3 . 2.5. 2. 2.6. 10 м/с^2 . 2.7. $2,5 \text{ м/с}^2$. 2.8. $28,8 \text{ м/с}^2$. 2.9. 2 Н. 2.10. 300 Н/м. 2.11. 100 Н/м. 2.12. 4 см. 2.13. 6000 Н/м. 2.14. 0,08 м. 2.15. 40 м/с^2 . 2.16. 20 м/с^2 . 2.17. 12 об/с. 2.18. 50 Н. 2.19. 36 Н. 2.20. 0,5 м. 2.21. 5 Н. 2.22. 80 м. 2.23. 3 Н. 2.24. 96 кг. 2.25. 6 м/с^2 . 2.26. 220 Н. 2.27. 30 кг. 2.28. 0,5 с. 2.29. 0,5 с. 2.30. 105 Н. 2.31. 40 м/с. 2.32. 20 м/с. 2.33. 45 кН. 2.34. 50 м/с. 2.35. 0,6 Н с. 2.36. 0,6 Н с. 2.37. 240 Н. 2.38. 8 Н с. 2.39. 4 Н с. 2.40. 0,3 Н. 2.41. 15 Гц. 2.42. 20 м.

3. Законы сохранения в механике

3.1. 2 м/с. 3.2. 12,5 м/с. 3.3. 4 м/с. 3.4. 10 м/с. 3.5. 0,2 м. 3.6. 10 Н с. 3.7. 2,25 Дж. 3.8. 2 м/с. 3.9. 10 м/с. 3.10. 40 м/с. 3.11. 4,5 м/с. 3.12. 5 Дж. 3.13. 0,25 Дж. 3.14. 2 Дж. 3.15. 120° . 3.16. 180° . 3.17. 60° . 3.18. 0,5 Дж. 3.19. 90° . 3.20. -5 Дж. 3.21. 4 м. 3.22. 30 кВт. 3.23. 2,5. 3.24. 1 Дж. 3.25. 8 Дж. 3.26. 20 Дж. 3.27. 0,5 Дж. 3.28. 1,25. 3.29. 50 Дж. 3.30. 2. 3.31. 1,69. 3.32. 750 Дж. 3.33. 1 кг. 3.34. -0,03 Дж. 3.35. 3 Дж. 3.36. 2 Н. 3.37. 5 м/с. 3.38. 3 м/с. 3.39. 40 Дж. 3.40. 45 м. 3.41. 175 Дж. 3.42. 0,06 м. 3.43. 6 Н. 3.44. 3,7 Дж. 3.45. 2,8 м. 3.46. 0,6 м. 3.47. 0,4 Дж. 3.48. 1,4 м. 3.49. -7 Дж. 3.50. 0,5. 3.51. 10 м/с. 3.52. 800 Дж. 3.53. 15 кДж. 3.54. 0,08 Дж. 3.55. 200 Дж. 3.56. 12,5 Дж. 3.57. 6 Дж. 3.58. 0,9 м. 3.59. 5,1 Дж. 3.60. 4. 3.61. 15 м.

Содержание

Введение	3
1. КИНЕМАТИКА	
1.1. Основные понятия кинематики	3
1.2. Прямолинейное равномерное движение	4
1.3. Прямолинейное равнопеременное движение.....	5
1.4. Свободное падение тел.....	7
1.4.1. Тело брошено горизонтально.....	7
1.4.2. Тело брошено под углом к горизонту	7
1.4.3. Нормальное (центростремительное) g_n и касательное g_τ (тангенциальное) ускорения	8
1.5. Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью.....	8
1.6. Относительность движения. Закон сложения скоростей	9
<i>Методические указания к решению задач</i>	<i>9</i>
<i>Примеры решения задач.....</i>	<i>10</i>
<i>Задачи для самостоятельного решения.....</i>	<i>12</i>
2. ОСНОВЫ ДИНАМИКИ	
2.1. Основные понятия динамики материальной точки	17
2.2. Основные законы динамики	17
2.3. Силы	18
2.3.1. Сила гравитационного притяжения	18
2.3.2. Сила тяжести.....	18
2.3.3. Сила упругости	18
2.3.4. Закон Гука	19
2.3.5. Сила трения	20
2.3.6. Сила взаимодействия с опорой	20
2.4. Изменение импульса	20
2.5. Закон изменения импульса.....	21
2.6. Закон сохранения импульса	21
<i>Методические указания к решению задач</i>	<i>21</i>
<i>Примеры решения задач</i>	<i>21</i>
<i>Задачи для самостоятельного решения</i>	<i>23</i>

3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

3.1. Основные понятия	26
3.2. Основные формулы	27
3.3. Закон изменения механической энергии	28
3.4. Закон сохранения механической энергии.....	28
3.5. Упругий центральный удар сферических тел	28
3.6. Неупругий центральный удар сферических тел	29
3.7. Нецентральный удар.....	29
<i>Методические указания к решению задач</i>	<i>30</i>
<i>Примеры решения задач.....</i>	<i>30</i>
<i>Задачи для самостоятельного решения.....</i>	<i>31</i>
Ответы задач для самостоятельного решения	36

Библиотека БГУИР

Учебное издание

Смирнова Галина Федоровна

МЕХАНИКА

Методическое пособие по физике
для абитуриентов

Редактор Т. Н. Крюкова
Компьютерная верстка Е. С. Чайковская

Подписано в печать 24.09.2009.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 2,44.
Уч.-изд. л. 2,3.	Тираж 100 экз.	Заказ 157.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6