

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Н.Б. ОРЛОВА, И.Б. ФОРМУСАТИК

# СБОРНИК ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО МЕХАНИКЕ

Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2017

УДК 531(075.8)  
О-664

Рецензенты:

канд. физ.-мат. наук, доцент *Г.В. Харламов*,  
канд. физ.-мат. наук, доцент *А.В. Баранов*

Работа подготовлена на кафедре прикладной и теоретической физики

**Орлова Н.Б.**

О-664      Сборник тестовых заданий по механике: учебное пособие /  
Н.Б. Орлова, И.Б. Формусатик. – Новосибирск: Изд-во НГТУ,  
2017. – 63 с.

ISBN 978-5-7782-3334-8

Учебное пособие может быть полезно студентам очной и заочной форм обучения, а также преподавателям, поскольку содержит набор тестовых заданий, которые можно использовать для контроля успеваемости студентов, изучающих курс «Физика».

УДК 531(075.8)

ISBN 978-5-7782-3334-8

© Орлова Н.Б., Формусатик И.Б., 2017  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое пособие содержит тестовые задания, предназначенные для подготовки к рубежной и итоговой аттестации студентов по разделу «Механика» курса «Физика».

Пособие разделено на пять глав.

1. *Кинематика материальной точки.* В главе представлены задания на поступательное и вращательное движение, связь линейных и угловых кинематических величин, одномерное и двумерное движение.

2. *Динамика поступательного движения.* В главе представлены задания на применение законов Ньютона и описание работы простых механизмов (клин, блок, машина Атвуда).

3. *Работа и энергия. Законы сохранения. Механический удар.* В главе представлены задания на взаимосвязь работы, энергии и силы и на границы применимости законов сохранения энергии и импульса.

4. *Вращательное движение твердого тела.* В главе представлены задания на момент инерции, момент силы, момент импульса и взаимосвязь между ними.

5. *Релятивистская механика.* В главе представлены задания по специальной теории относительности.

Задания в главах в основном закрытого типа с множественным выбором, это значит, что тестируемому надо выбрать один или несколько правильных ответов из представленных. Также в пособии есть задания закрытого типа на установление соответствия и задания открытого типа. Задания повышенной сложности приведены в конце каждой главы и отмечены звездочкой.

Для успешного выполнения тестовых заданий студент должен знать основные законы механики и основные математические методы, применяемые в различных разделах физики, уметь применять основные законы и принципы физики в стандартных и сходных ситуациях и строить теоретические модели физических явлений, делая при этом необходимые допущения и оценивая область применимости различных моделей.

# 1. КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

## 1.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Положение материальной точки описывает радиус-вектор, который в декартовой системе координат с осями  $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  может быть представлен в виде

$$\vec{r} = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}.$$

Модуль радиус-вектора

$$|\vec{r}| \equiv r = \sqrt{(x(t))^2 + (y(t))^2 + (z(t))^2}.$$

Скорость материальной точки по определению

$$\begin{aligned}\vec{v}(t) &\equiv \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \equiv x'_t(t)\vec{i} + y'_t(t)\vec{j} + z'_t(t)\vec{k} \equiv \dot{x}(t)\vec{i} + \dot{y}(t)\vec{j} + \dot{z}(t)\vec{k} = \\ &= \frac{dx(t)}{dt}\vec{i} + \frac{dy(t)}{dt}\vec{j} + \frac{dz(t)}{dt}\vec{k}.\end{aligned}$$

Вектор скорости всегда направлен по касательной к траектории

$$\vec{v}(t) \uparrow \uparrow \vec{\tau},$$

где вектор  $\vec{\tau}$  – единичный вектор касательной к траектории. Формула для средней скорости материальной точки при перемещении  $\Delta\vec{r}(t)$

$$\vec{v}_{\text{cp}}(t) = \frac{\Delta\vec{r}(t)}{\Delta t}.$$

Ускорение материальной точки по определению

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} = \frac{d^2\vec{r}(t)}{dt^2}.$$

При криволинейном движении вектор скорости может изменяться как по величине (модулю), так и по направлению. Если обозначить единичный вектор касательной к траектории движения  $\vec{\tau}$ , то вектор скорости можно представить в виде

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}(t)}{dt} = |\vec{v}(t)|\vec{\tau}.$$

Тогда

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} = \frac{d|\vec{v}(t)|}{dt}\vec{\tau} + |\vec{v}(t)|\frac{d\vec{\tau}}{dt}.$$

В полученной сумме первый вектор направлен по касательной к траектории и называется тангенциальным ускорением материальной точки  $\vec{a}_\tau$ .

Рассмотрим вектор  $\frac{d\vec{\tau}}{dt}$ . Поскольку  $\vec{\tau}$  – вектор постоянной длины (единичный вектор), изменяться он может только по направлению, а именно: вектор  $\vec{\tau}$  совершает поворот с угловой скоростью, равной мгновенной угловой скорости движения материальной точки  $\vec{\omega}$ . Поэтому приращение  $d\vec{\tau}$  вектора  $\vec{\tau}$  направлено по нормали к самому вектору  $\vec{\tau}$  (к центру окружности, вписанной в траекторию) и равно по модулю  $d|\vec{\tau}| = |\vec{\tau}|d\varphi$ . Здесь  $d\varphi$  – угол поворота вектора  $\vec{\tau}$  за время  $dt$ .

Отсюда  $\frac{d|\vec{\tau}|}{dt} = \frac{|\vec{\tau}|d\varphi}{dt} = \omega$ . С учетом направлений векторов  $|\vec{v}(t)|\frac{d\vec{\tau}}{dt} = \vec{\omega} \times \vec{v}$ . Этот вектор называется нормальным ускорением  $\vec{a}_n$ , поскольку направлен по нормали к траектории к центру вписанной окружности.

Таким образом, имеем разложение вектора  $\vec{a}$  по двум направлениям: по касательной к траектории движения (вектор  $\vec{a}_\tau$ ) и по нормали к ней (вектор  $\vec{a}_n$ ):

$$\vec{a}(t) = \vec{a}_n(t) + \vec{a}_\tau(t) = a_n(t)\vec{n} + a_\tau(t)\vec{\tau}.$$

Здесь  $\vec{\tau}$  и  $\vec{n}$  – орты, направленные, соответственно, по касательной к траектории и по нормали к ней к центру вписанной окружности (рис. 1);  $\vec{a}_\tau$  – тангенциальное ускорение;  $\vec{a}_n$  – нормальное ускорение.

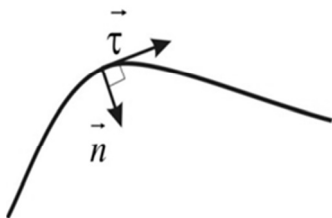


Рис. 1

Таким образом, тангенциальное ускорение

$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \vec{\tau},$$

а нормальное ускорение

$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \vec{n} = \omega^2 R \vec{n} = \omega v \vec{n},$$

где  $v$  – модуль скорости в данный момент времени;  $\omega$  – модуль мгновенной угловой скорости в данный момент времени;  $R$  – радиус кривизны траектории в данной точке (радиус вписанной окружности).

### Частные случаи

1. *Равномерное прямолинейное движение.* При прямолинейном движении достаточно одной оси (например,  $OX$ ) для описания движения материальной точки. При равномерном движении  $|\vec{v}| = \text{const}$ . Зависимость радиус-вектора от времени описывается выражением

$$\vec{r}(t) = \vec{r}(t_0) + \vec{v}(t)(t - t_0),$$

где  $\vec{r}(t_0)$  – начальный радиус-вектор (при  $t = t_0$ ), ускорение равно  $\vec{0}$ .

2. *Равнопеременное прямолинейное движение.* Ускорение постоянно  $\vec{a} = \text{const}$ . Тогда скорость зависит от времени следующим образом:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}(t_0) + \vec{a}(t - t_0),$$

где  $\vec{v}(t_0)$  – начальная скорость (скорость при  $t = t_0$ ). Зависимость радиус-вектора от времени имеет вид

$$\vec{r}(t) = \vec{r}(t_0) + \vec{v}(t_0)(t - t_0) + \frac{\vec{a}(t - t_0)^2}{2}.$$

3. *Равномерное движение по окружности.* Нормальное ускорение постоянно по модулю  $|\vec{a}_n| = \text{const}$ , тангенциальное ускорение равно нулю:  $\vec{a}_\tau = \vec{0}$ . Скорость и угловая скорость по модулю постоянны ( $|\vec{v}| = v = \text{const}$  и  $|\vec{\omega}| = \omega = \text{const}$ ), радиус-вектор по модулю постоянен

( $|\vec{r}| = r = \text{const}$ ), если начало координат выбрано в центре траектории.

Модуль ускорения

$$a = a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = v\omega.$$

### ***Кинематика вращательного движения с фиксированной осью вращения***

Для описания вращательного движения материальной точки указывают угол поворота  $\varphi$  и направление поворота вокруг фиксированной оси. При этом вводится понятие вектора угла поворота:

$$\vec{\varphi} = \varphi \vec{i},$$

где  $\vec{i}$  – единичный вектор вдоль оси вращения, направление которого определяется по правилу буравчика (правого винта).

Угловая скорость  $\vec{\omega}$  – производная угла поворота по времени:

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}.$$

Угловое ускорение – производная угловой скорости по времени:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}.$$

Период вращения  $T$  по определению равен  $T = \frac{2\pi}{|\vec{\omega}|}$ . При равно-

мерном вращении период  $T$  – это время, за которое точка делает полный оборот. Частота вращения  $\nu$  – величина, обратная периоду, и характеризующая быстроту вращения (в «оборотах в секунду»):

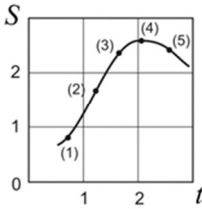
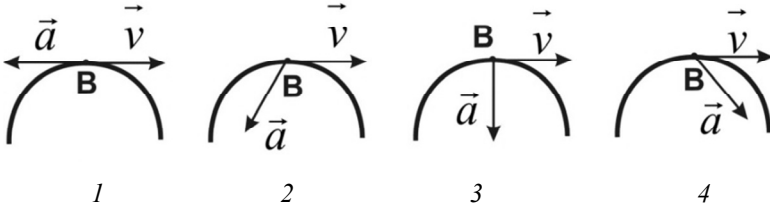
$$\nu = \frac{1}{T} (\text{с}^{-1}).$$

Циклическая частота вращения – это та же угловая скорость (по модулю):

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \left( \frac{\text{рад}}{\text{с}} \right),$$

## 1.2. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

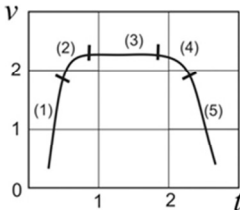
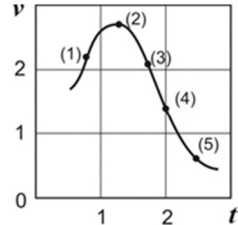
1.1. На рисунках изображена траектория криволинейного движения материальной точки. Численное значение скорости со временем уменьшается. Направление скорости показано на рисунках. Укажите рисунок, на котором правильно изображен вектор полного ускорения в точке  $B$ .



1.2. На графике зависимости перемещения от времени укажите номера точек, в которых скорость по абсолютной величине:

- а) максимальна;
- б) равна нулю.

1.3. На графике зависимости скорости от времени укажите номера точек, в которых ускорение по абсолютной величине равно нулю.

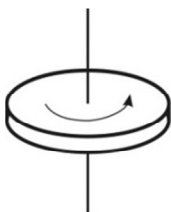


1.4. На графике зависимости скорости от времени укажите номера участков графика, которым соответствуют следующие типы движения:

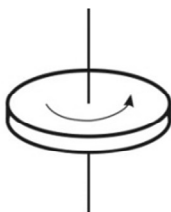
- а) равномерное;
- б) равноускоренное;
- в) равнозамедленное.



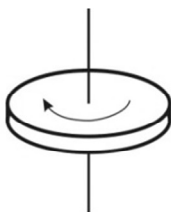
1.5. Под каждым рисунком указано, замедленным или ускоренным является вращение гироскопа; стрелками показаны направления вращения его обода.



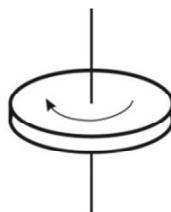
а) ускоренное вращение



б) замедленное вращение



в) ускоренное вращение



г) замедленное вращение

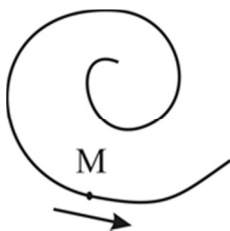
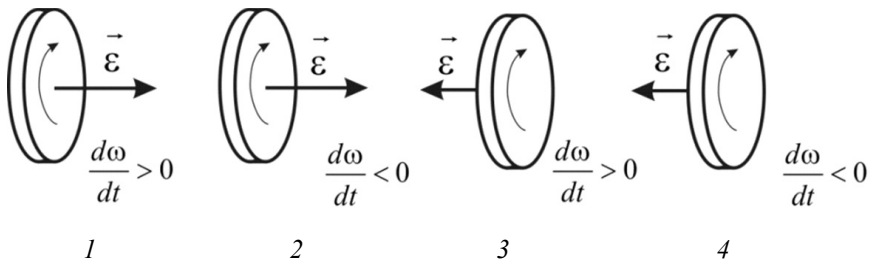
Для каждого рисунка выберите номер ответа, в котором правильно указаны направления угловой скорости и углового ускорения.

1. Вектор угловой скорости направлен по оси вращения вниз, а вектор углового ускорения – вверх.
2. Оба вектора направлены вверх по оси вращения.
3. Оба вектора направлены вниз по оси вращения.
4. Вектор угловой скорости направлен по оси вращения вверх, а углового ускорения – вниз.

1.6. Материальная точка движется по круговой орбите, замедляясь. Это значит, что:

- а) нормальная компонента ускорения возрастает по величине;
- б) радиальная компонента ускорения не меняется по величине;
- в) радиальная компонента ускорения уменьшается по величине;
- г) тангенциальная компонента ускорения уменьшается по величине;
- д) тангенциальная компонента ускорения не меняется по величине;
- е) тангенциальная компонента ускорения отрицательна.

1.7. На рисунках стрелками на дисках показано направление вращения и указано, увеличивается или уменьшается модуль угловой скорости со временем. Укажите номера рисунков, на которых правильно дано направление углового ускорения  $\vec{\epsilon}$ .



1.8. Точка  $M$  движется по спирали с постоянной по величине скоростью в направлении, указанном стрелкой. При этом величина нормального ускорения:

- а) не изменяется;
- б) увеличивается;
- в) уменьшается.

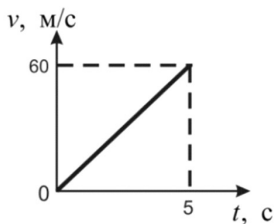
1.9. Тело движется с постоянной по величине скоростью по дуге окружности, переходящей в прямую, как показано на рисунке. Величина нормального ускорения тела до точки  $A$ :



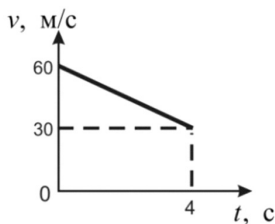
- а) постоянна, потом уменьшается до нуля;
- б) увеличивается, потом уменьшается до нуля;
- в) увеличивается, потом остается постоянной;
- г) уменьшается, потом увеличивается.

1.10. На графиках приведены различные зависимости скорости от времени. Укажите номера графиков, которым соответствуют следующие пройденные пути:

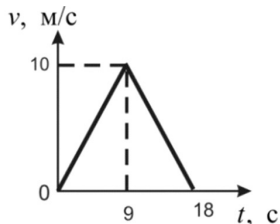
- а) 150 м;
- б) 200 м;
- в) 100 м;
- г) 90 м;
- д) 180 м;
- е) 210 м.



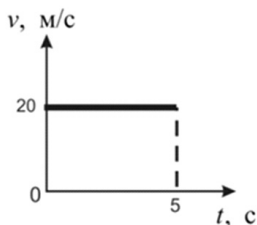
1



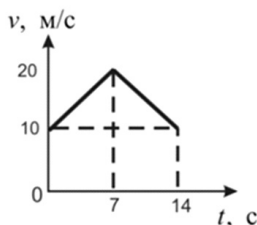
2



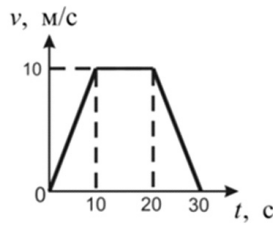
3



4



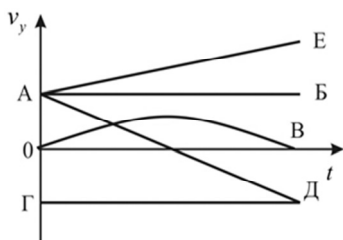
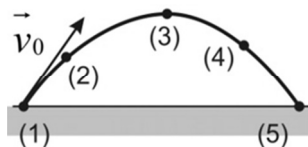
5



6

1.11. Камень бросили под углом к горизонту со скоростью  $v_0$ . Его траектория в однородном поле силы тяжести изображена на рисунке. Сопротивления воздуха нет. Нормальное ускорение  $a_n$  на участке 3–4–5:

- а) не изменяется;
- б) увеличивается;
- в) уменьшается.



1.12. Какая кривая из графиков соответствует зависимости от времени вертикальной компоненты скорости  $v_y$  камня, брошенного под углом к горизонту:

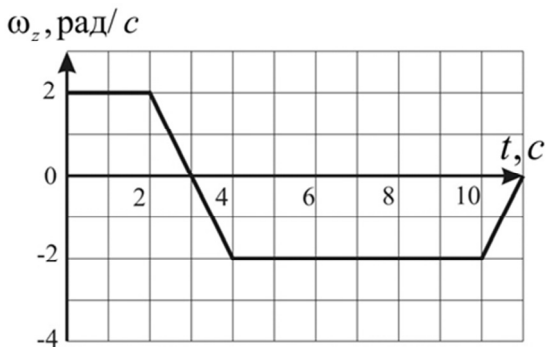
- а) ОВ;
- б) ГД;
- в) АВ;
- г) АД;
- д) АЕ.

1.13. Тело брошено с поверхности Земли со скоростью 20 м/с под углом  $60^\circ$  к горизонту. Определите радиус кривизны его траектории в верхней точке. Сопротивлением воздуха пренебречь,  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

- а) 20 м;
- б) 30 м;
- в) 80 м;
- г) 10 м.

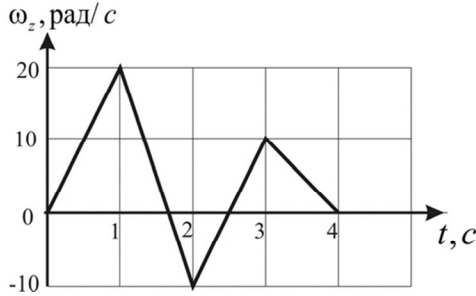
1.14. Твердое тело начинает вращаться вокруг оси  $Z$  с угловой скоростью, проекция которой на ось  $Z$  изменяется во времени, как показано на графике. Максимальный положительный угол поворота, которого достигает тело за все время вращения, равен:

- а) 9 рад;
- б) 4 рад;
- в) 5 рад;
- г) 21 рад.



1.15. На рисунке представлен график зависимости от времени проекции  $\omega_z(t)$  угловой скорости вращающегося тела на фиксированную ось вращения. Модуль углового ускорения максимален в течение интервала времени:

- а) (0 с, 1 с);
- б) (1 с, 2 с);
- в) (2 с, 3 с);
- г) (4 с, 5 с).



1.16. Самолет делает поворот в горизонтальной плоскости на  $90^\circ$  по дуге окружности с постоянной скоростью  $200 \text{ м/с}$ . Процесс занимает  $20,0 \text{ с}$ . Величина среднего ускорения равна:

- а)  $0 \text{ м/с}^2$  ;
- б)  $40 \text{ м/с}^2$  ;
- в)  $20 \text{ м/с}^2$  ;
- г)  $14 \text{ м/с}^2$  ;
- д)  $10 \text{ м/с}^2$  .

1.17. Биологический образец находится в центрифуге радиусом  $1 \text{ м}$ , раскрученной до центростремительного ускорения  $10g$ . Какова скорость образца, если  $g = 10 / \text{с}^2$  ?

- а)  $11 \text{ м/с}$  ;
- б)  $16 \text{ м/с}$  ;
- в)  $50 \text{ м/с}$  ;
- г)  $122 \text{ м/с}$  ;
- д)  $245 \text{ м/с}$  .

1.18. Девочка мирно прогуливается вдоль круглой клумбы с постоянной скоростью. Она прошла одну четверть окружности ( $25 \text{ м}$ ) за  $5 \text{ с}$ . Найдите величину ускорения:

- а)  $1,6 \text{ м/с}^2$  ;
- б)  $2,1 \text{ м/с}^2$  ;
- в)  $6,3 \text{ м/с}^2$  ;
- г)  $12,6 \text{ м/с}^2$  ;
- д)  $25 \text{ м/с}^2$  .

1.19. Камень движется равномерно по горизонтальной круговой орбите радиуса 1,5 м, причем за каждую секунду камень делает два оборота. Ускорение камня равно:

- а)  $39,0 \text{ м/с}^2$ ;
- б)  $18,9 \text{ м/с}^2$ ;
- в)  $59,1 \text{ м/с}^2$ ;
- г)  $236,9 \text{ м/с}^2$ ;
- д)  $355,3 \text{ м/с}^2$ .

1.20. Материальная точка движется по окружности радиусом 6 м, ее скорость по модулю возрастает со скоростью  $8 \text{ м/с}^2$ . Спустя 0,75 с после начала движения материальной точки ее полное ускорение равно:

- а)  $6 \text{ м/с}^2$ ;
- б)  $8 \text{ м/с}^2$ ;
- в)  $10 \text{ м/с}^2$ ;
- г)  $12 \text{ м/с}^2$ ;
- д)  $14 \text{ м/с}^2$ .

1.21. Материальная точка движется по окружности радиусом 12 м. В определенный момент времени модуль ее скорости равен  $6 \text{ м/с}$ ; и увеличивается со скоростью  $4 \text{ м/с}^2$ . В это же мгновение полное ускорение равно:

- а)  $0 \text{ м/с}^2$ ;
- б)  $2 \text{ м/с}^2$ ;
- в)  $3 \text{ м/с}^2$ ;
- г)  $4 \text{ м/с}^2$ ;
- д)  $5 \text{ м/с}^2$ .

1.22. Колесо диаметром 4 м вращается с постоянным угловым ускорением  $4 \text{ рад/с}^2$ . Одна из точек колеса, обозначенная на рисунке буквой  $P$ , в начальный момент движения (при  $t = 0$ ) имела радиус-вектор, составляющий  $45^\circ$  с осью  $OX$ . Найдите зависимость угловой координаты этой точки от времени. В начальный момент времени колесо покоилось.

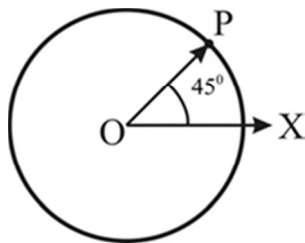
а)  $\frac{\pi}{4}$ ;

б)  $\frac{\pi}{4} + 4t^2$ ;

в)  $\frac{\pi}{4} + 2t$ ;

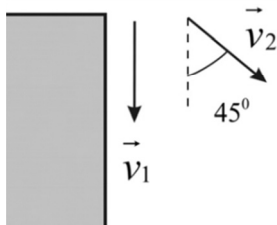
г)  $\frac{\pi}{4} + 2t^2$ ;

д)  $\frac{\pi}{4} - 2t^2$ .



### Задания повышенной сложности

1.23\*. Юля, студентка-физик, стоя над 50-метровой пропастью, бросила камень вертикально вниз со скоростью  $v_1 = 1 \text{ м/с}$ . Через полсекунды она бросила вниз еще один камень под углом  $45^\circ$  с вертикалью (см. рисунок). С какой скоростью  $v_2$  был брошен второй камень, если оба камня приземлились одновременно и  $g = 10 \text{ м/с}^2$ ?



а) 3,3 м/с ;

б) 2,1 м/с ;

в) 1,6 м/с ;

г) 8,5 м/с ;

д) 9,5 м/с .

1.24\*. Мяч отскакивает от наклонной поверхности под углом  $14^\circ$  к горизонту со скоростью  $v_0 = 1 \text{ м/с}$  (см. рисунок). Угол наклона поверхности составляет  $45^\circ$ . Найдите расстояние  $l$  от точки отскока мяча до точки следующего касания поверхности, если ( $g = 10 \text{ м/с}^2$ ,  $\cos 14^\circ = 0,97$ ,  $\sin 14^\circ = 0,24$ ):

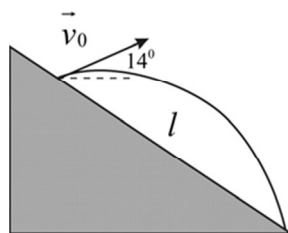
а) 20,5 м;

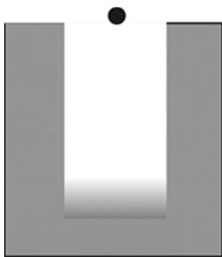
б) 41,05 м;

в) 82, 0 м;

г) 61,5 м;

д) 10,2 м.





1.25\*. Металлический шар брошен в колодец с нулевой начальной скоростью. Время между отпусканием шара и звуком удара о дно колодца  $\tau = 7,7$  с. Вычислите глубину колодца. Скорость звука  $v = 340$  м/с .

- а) 245 м;
- б) 200 м;
- в) 190 м;
- г) 125 м;
- д) 100 м.



## 2. ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

### 2.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

#### *Первый закон Ньютона*

Существуют системы отсчета, относительно которых материальная точка сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на нее не действуют силы или действие сил скомпенсировано (результатирующая сила равна нулю). Такие системы отсчета называются инерциальными.

#### *Второй закон Ньютона*

Производная импульса материальной точки по времени равна результирующей силе, действующей на материальную точку:

$$\dot{\vec{p}} \equiv \frac{d}{dt} \vec{p} = \vec{F}.$$

В частности, ускорение, которое получает материальная точка с постоянной массой, прямо пропорционально результирующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально ее массе:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m},$$

где  $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$  – результирующая (равнодействующая) всех сил, действующих на материальную точку.

#### *Третий закон Ньютона*

Материальные точки взаимодействуют друг с другом силами, имеющими одинаковую природу, направленными по одной прямой, соединяющей эти точки, равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1}.$$

### *Примеры сил, рассматриваемых в механике*

1. Сила тяжести вблизи поверхности Земли:

$$\vec{F} = m\vec{g},$$

где  $\vec{g}$  – ускорение свободного падения на поверхности Земли.

2. Сила упругости (в простейшем одномерном случае):

$$F = -k\Delta x,$$

где  $\Delta x$  – изменение линейного размера тела при его упругой деформации;  $k$  – коэффициент упругости. Знак минус указывает на то, что направление силы упругости в простейшем одномерном случае противоположно перемещению точки приложения силы при упругой деформации.

3. Сила трения скольжения:

$$F_{\text{ТР}} = \mu N,$$

где  $\vec{N}$  – сила реакции опоры, возникающая вследствие третьего закона Ньютона;  $\mu$  – коэффициент трения скольжения. При этом сила реакции направлена по нормали к поверхности опоры, а направление силы трения противоположно направлению вектора скорости.

## **2.2. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ**

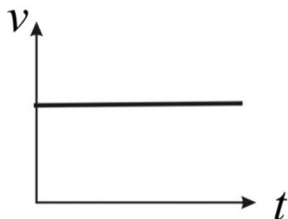
2.1. Укажите, какие из перечисленных ниже утверждений, связанных с инерциальными системами отсчета, являются неверными. Инерциальной является система отсчета:

- а) связанная со свободно движущимся телом;
- б) в которой все тела движутся равномерно и прямолинейно;
- в) в которой выполняется закон инерции;
- г) движущаяся равномерно и прямолинейно относительно любой другой инерциальной системы.

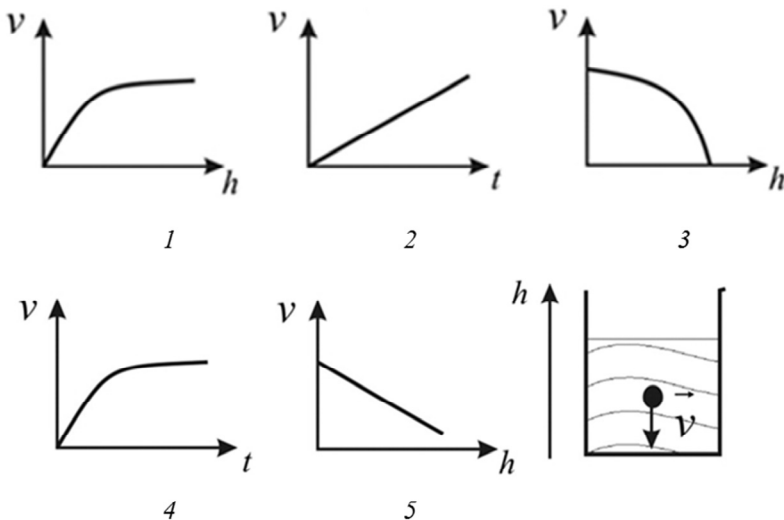
2.2. На графике изображена зависимость модуля скорости движения тела от времени. Выберите утверждения, которые соответствуют этой зависимости:

- а) на тело действует по направлению движения постоянная по величине сила;

- б) на тело действует сила, перпендикулярная направлению скорости;
- в) на тело не действуют никакие силы;
- г) равнодействующая всех сил, действующих на тело, равна нулю;
- д) равнодействующая всех сил постоянна по модулю и направлена по скорости.

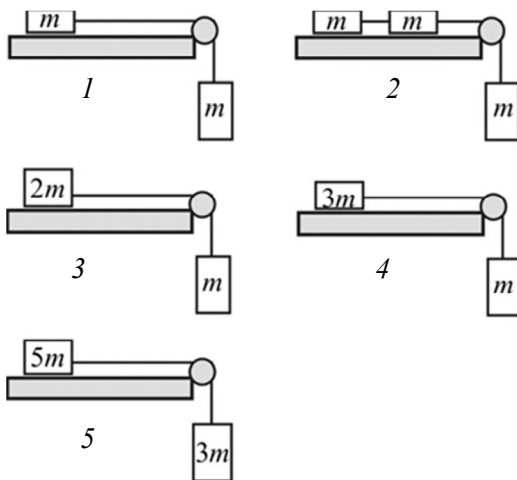


2.3. На рисунке даны примерные графики зависимости скорости движения тяжелого шарика, который положили на поверхность вязкой жидкости и отпустили, от высоты  $h$  и времени  $t$ . Оцените соотношение сил, действующих на шарик в начале движения и спустя некоторое время, и укажите номера графиков, правильно отображающих зависимости скорости от высоты  $h$  и времени  $t$ .



2.4. Парашютист массой 54 кг падает вниз, в какой-то момент времени его ускорение равно  $7,6 \text{ м/с}^2$ . Определите силу сопротивления воздуха в этот момент времени.

2.5. Система приводится в движение вертикально расположенным грузом. Укажите номер рисунка для случая, когда ускорение имеет наименьшее значение. Трения нет, нить невесомая и нерастяжимая.



2.6. Какое из приведенных ниже утверждений справедливо?

- а) если результирующая сила равна нулю, то тело всегда покоится;
- б) направление движения тела всегда совпадает с направлением результирующей силы;
- в) если результирующая сила возрастает, то движение тела будет с возрастающим ускорением;
- г) вес тела, покоящегося на неподвижной наклонной плоскости, больше, чем сила тяжести этого тела;
- д) при прекращении действия на тело силы оно мгновенно останавливается.

2.7. Вследствие третьего закона Ньютона векторная сумма всех внутренних сил в любой механической системе:

- а) постоянна;
- б) больше нуля;
- в) меньше нуля;
- г) равна нулю.

2.8. Мяч, лежащий в покое на полу движущегося вагона, покати́лся вперед по ходу поезда и по дуге вправо. Какой из приведенных ответов объясняет это явление?

- а) поезд увеличил свою скорость при повороте;
- б) ни один из приведенных ответов не объясняет это явление;
- в) поезд уменьшил скорость движения;

- г) поезд уменьшил свою скорость при повороте;
- д) поезд увеличил скорость движения.

2.9. Какое из приведенных ниже утверждений справедливо? Тело движется равномерно по окружности, при этом:

- а) равнодействующая сила постоянна по модулю и перпендикулярна скорости;
- б) результирующая сила не равна нулю, но имеет одинаковое направление и численное значение;
- в) величина равнодействующей силы равна нулю;
- г) равнодействующая сила не равна нулю, постоянна по направлению, но не по модулю;
- д) равнодействующая сила равна нулю.

2.10. Вычислите центростремительную силу, необходимую для перемещения тела, имеющего массу 2 кг, по горизонтальной окружности радиуса 0,8 м со скоростью 6 м/с :

- а) 39,2 Н, направлена по касательной к окружности;
- б) 30 Н, направлена по касательной к окружности;
- в) 144 Н, направлена по радиусу от центра окружности;
- г) 90 Н, направлена по радиусу к центру окружности;
- д) 90 Н, направлена по радиусу от центра окружности.

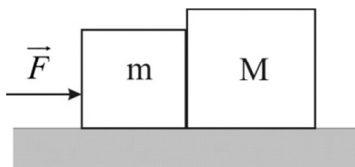
2.11. Два тела ( $X$  и  $Y$ ), движущиеся по горизонтальной поверхности без трения, привели в контакт и жестко соединили. На тело  $X$  действует внешняя горизонтальная сила 36 Н. Массы тел:  $m_X = 2$  кг и  $m_Y = 10$  кг . Какая сила действует на тело  $X$  со стороны тела  $Y$ ?

- а) 1,5 Н.
- б) 6,0 Н.
- в) 18 Н.
- г) 30 Н.
- д) 36 Н.

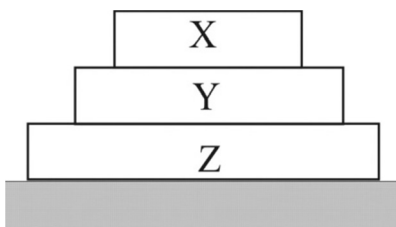
2.12. Два тела массами  $m$  и  $M$  толкают с силой, направленной горизонтально, как показано на рисунке. Найдите величину силы, действующей со стороны одного тела на другое:

- а)  $mF / (m + M)$  ;
- б)  $mF / M$  ;
- в)  $mF / (M - m)$  ;

- г)  $MF / (m + M)$  ;
- д)  $MF / m$  .

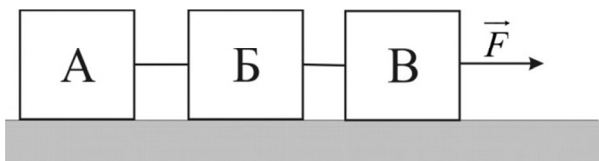


2.13. Три книги X, Y и Z лежат друг на друге, как показано на рисунке. Вес книг  $P_X = 4H$  ,  $P_Y = 5H$  и  $P_Z = 15H$  . Найдите силу, действующую на книгу Y со стороны книги Z:



- а) 5 Н;
- б) 15 Н;
- в) 9 Н;
- г) 14 Н;
- д) 19 Н.

2.14. Три блока (А, Б, В) с одинаковыми массами  $M$  связаны невесомыми и нерастяжимыми тросами, как показано на рисунке. Блок В тянут вправо с горизонтально приложенной силой  $\vec{F}$  , приводящей всю систему в движение. Найдите результирующую горизонтальных сил, действующих на блок Б. Трения нет.



- а) 0;
- б)  $\vec{F} / 3$  ;

- в)  $\vec{F} / 2$  ;
- г)  $2\vec{F} / 3$  ;
- д)  $\vec{F}$  .

2.15. 5-килограммовый груз опускают, удерживая от свободного падения с помощью веревки. При этом он движется с ускорением  $3 \text{ м/с}^2$  . Величина и направление силы, с которой груз действует на веревку ( $g = 10 \text{ м/с}^2$ ):

- а)  $14 \text{ Н}, \uparrow$  ;
- б)  $14 \text{ Н}, \downarrow$  ;
- в)  $35 \text{ Н}, \uparrow$  ;
- г)  $35 \text{ Н}, \downarrow$  ;
- д)  $49 \text{ Н}, \uparrow$  .

2.16. 90-килограммовый мужчина едет в лифте вверх с постоянной скоростью  $5,0 \text{ м/с}$  . Сила, действующая на него со стороны пола, равна:

- а).  $0 \text{ Н}$ ;
- б)  $90 \text{ Н}$ ;
- в)  $1350 \text{ Н}$ ;
- г)  $450 \text{ Н}$ ;
- д)  $45 \text{ Н}$ .

2.17. 90-килограммовый мужчина едет в лифте вниз с постоянным ускорением  $2 \text{ м/с}^2$  . Сила, действующая на него со стороны пола, равна:

- а)  $0 \text{ Н}$ ;
- б)  $90 \text{ Н}$ ;
- в)  $720 \text{ Н}$ ;
- г)  $880 \text{ Н}$ ;
- д)  $1080 \text{ Н}$ .

2.18. Автомобиль весом  $9000 \text{ Н}$  толкают по горизонтальной дороге четверо студентов с силой  $500 \text{ Н}$ . Пренебрегая трением, найдите ускорение автомобиля.

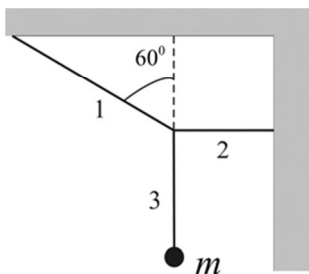
- а)  $0,056 \text{ м/с}^2$  ;
- б)  $0,56 \text{ м/с}^2$  ;
- в)  $1,8 \text{ м/с}^2$  ;

- г)  $10 \text{ м/с}^2$ ;
- д)  $20 \text{ м/с}^2$ .

2.19. С помощью короткой веревки весом  $10 \text{ г}$  тянут игрушку весом  $50 \text{ г}$  по горизонтальной гладкой поверхности. Сила  $3,0 \text{ Н}$  приложена горизонтально к свободному концу веревки. Какая сила действует на игрушку со стороны веревки? Трения нет.

- а)  $1,5 \text{ Н}$ ;
- б)  $6,0 \text{ Н}$ ;
- в)  $2,5 \text{ Н}$ ;
- г)  $3,0 \text{ Н}$ ;
- д)  $3,5 \text{ Н}$ .

### Задания повышенной сложности



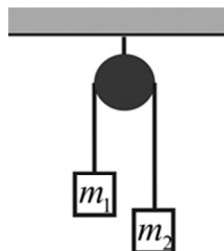
2.20\*. Найдите силу натяжения нити 2 в системе, состоящей из шарика с массой  $m$  и трех нитей, показанной на рисунке. Система находится в равновесии. Масса шарика  $2 \text{ кг}$ .

Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

- а)  $20 \text{ Н}$ ;
- б)  $40 \text{ Н}$ ;
- в)  $0 \text{ Н}$ ;
- г)  $10 \text{ Н}$ ;
- д)  $17,3 \text{ Н}$ .

2.21\*. В машине Атвуда (см. рисунок) масса  $m_1$  в четыре раза больше, чем  $m_2$ . Найдите ускорение.

- а)  $g/2$ ;
- б)  $2g/3$ ;
- в)  $3g/5$ ;
- г)  $3g/4$ ;
- д)  $4g/5$ .

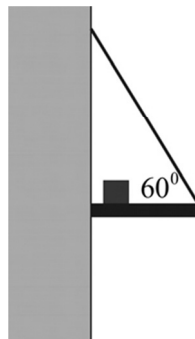




2.22\*. Пилот самолета, делающего мертвую петлю с постоянной по величине скоростью  $v$ , испытывает перегрузку, равную 2. Перегрузкой называется отношение «линейного» ускорения, вызванного негравитационными силами, к ускорению свободного падения. Найдите радиус кривизны петли.

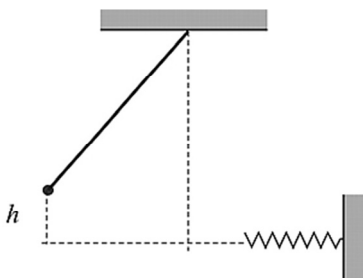
- а)  $v^2 / g$ ;            б)  $2v^2 / g$ ;  
 в)  $3v^2 / g$ ;            г)  $4v^2 / g$ ;  
 д)  $5v^2 / g$ .

2.23\*. Горизонтальная балка длиной 10 м и весом 200 Н шарнирно закреплена на стене, как показано на рисунке. Конец балки закреплен тросом, составляющим угол  $60^\circ$  с балкой. На балку на расстоянии 2 м от стены положили груз весом 500 Н. Определите силу натяжения троса.



- а) 0 Н;  
 б) 700 Н;  
 в) 300 Н;  
 г) 231 Н;  
 д) 808 Н.

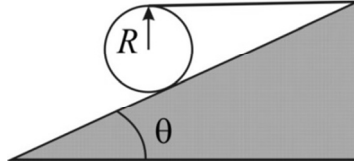
2.24\*. Шарик массой  $m$ , привязанный невесомой нерастяжимой верёвкой к потолку, отпустили с высоты  $h$  (см. рисунок). В нижней точке траектории шарик, двигаясь горизонтально, начал сжимать пружину, которая действует на него с нелинейной силой упругости вида  $F = -kx - bx^3$ , где  $x$  – малое смещение конца пружины. Найдите максимальное сжатие пружины  $a$ .



- а)  $a = \sqrt{2mgh / k}$ ;  
 б)  $a = (4mgh / b)^{1/4}$ ;  
 в)  $a = \left[ \sqrt{4mgh / b + k^2 / b^2} - k / b \right]^{1/2}$ ;  
 г)  $a = \left[ \sqrt{4mgh / b + k^2 / b^2} + k / b \right]^{1/2}$ ;  
 д)  $a = \sqrt{4k / b}$ .

2.25\*. Диск радиуса  $R$  и массой  $m$  находится в равновесии, как показано на рисунке. Нить натянута горизонтально. Коэффициент трения достаточен для уравнивания диска. Найдите натяжение нити.

- а)  $T = mg \sin \theta$  ;
- б)  $T = mg \cos \theta$  ;
- в)  $T = mg \sin \theta / (1 + \cos \theta)$  ;
- г)  $T = mg \cos \theta / (1 + \sin \theta)$  ;
- д)  $T = mg(1 + \cos \theta) / \sin \theta$  .



### 3. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ. МЕХАНИЧЕСКИЙ УДАР

#### 3.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Импульсом материальной точки (*количеством движения*) называют вектор, равный произведению массы  $m$  точки на вектор  $\vec{v}$  ее скорости. Вектор количества движения всегда совпадает по направлению с вектором скорости:

$$\vec{p} = m\vec{v} .$$

*Импульсом системы* называют векторную величину, равную векторной сумме импульсов всех точек системы:

$$\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i .$$

*Центр инерции системы (центр масс системы)* – геометрическая точка, характеризующая поступательное движение тела или системы частиц как целого. Радиус-вектор центра инерции

$$\vec{r}_C = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i} .$$

#### *Закон сохранения импульса*

Если векторная сумма всех внешних сил, действующих на систему, равна нулю, то импульс системы сохраняется.

Закон сохранения импульса является следствием второго закона Ньютона.

*Второй закон Ньютона для системы частиц*

Производная импульса системы по времени равна сумме всех внешних сил, действующих на систему:

$$\dot{\vec{P}} = \frac{d}{dt} \vec{P} = \sum_i \vec{F}_i .$$

Произведение  $\vec{F} dt$ , которое по второму закону Ньютона равно  $d\vec{P}$  (т. е.  $d\vec{P} = \vec{F} dt$ ), иногда называют импульсом силы.

*Работа силы.* Пусть на материальную точку (тело) действует сила  $\vec{F}$ , под действием которой материальная точка (центр инерции тела) перемещается. Элементарной работой  $dA$  этой силы на бесконечно малом перемещении материальной точки  $d\vec{r}$  называется скалярное произведение силы  $\vec{F}$  на  $d\vec{r}$ :

$$dA = (\vec{F}, d\vec{r}) \equiv \vec{F} \cdot d\vec{r} \equiv \vec{F} d\vec{r} .$$

Работа силы  $\vec{F}$  при перемещении материальной точки из положения  $M_1$  в положение  $M_2$  вдоль некоторой траектории

$$A = \int_{M_1}^{M_2} \vec{F} \cdot d\vec{r} .$$

В случае когда сила  $\vec{F}$  постоянна (одинакова во всех точках траектории), а траектория прямолинейна, работа силы на перемещении  $\Delta\vec{r}$  равна

$$A = \vec{F} \cdot \Delta\vec{r} = F \Delta r \cos(\vec{F}, \Delta\vec{r}) .$$

Работа равнодействующей системы сил при перемещении материальной точки из положения  $M_1$  в положение  $M_2$  равна алгебраической сумме работ составляющих сил на том же перемещении.

*Мощность* (по определению)

$$N = \frac{dA}{dt} .$$

Иногда говорят, что мощность – это работа, совершаемая за единицу времени.

Кинетическая энергия тела массой  $m$ , движущегося со скоростью  $\vec{v}$

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

Если на тело (материальную точку) действует сила, то изменение кинетической энергии тела при его перемещении по некоторой траектории равно работе силы на этой траектории:

$$\begin{aligned} T_2 - T_1 = A_{1 \rightarrow 2} &= \int_{(1)}^{(2)} \vec{F} d\vec{r} = \int_{(1)}^{(2)} m \frac{d\vec{v}}{dt} d\vec{r} = \int_{(1)}^{(2)} m d\vec{v} \frac{d\vec{r}}{dt} = \\ &= \int_{(1)}^{(2)} m \vec{v} d\vec{v} = \int_{(1)}^{(2)} d \left( \frac{m(\vec{v})^2}{2} \right) = T_2 - T_1. \end{aligned}$$

Если работа не зависит от вида траектории, а зависит только от конечного и начального положения материальной точки, то говорят, что точка (тело) находится в поле *потенциальных* (или *консервативных*) сил. В таком случае можно ввести понятие *потенциальной энергии* тела в этом силовом поле  $W(\vec{r})$ :

$$A = \int_{M_1}^{M_2} \vec{F} d\vec{r} = -(W(M_2) - W(M_1)) = -(W_2 - W_1).$$

Отсюда видно, что физический смысл имеет лишь разность потенциальных энергий в начальной и конечной точках траектории (именно эта разность равна работе сил поля). Поэтому точку, в которой потенциальная энергия равна нулю, можно выбрать произвольно из соображений удобства при решении конкретной задачи.

Потенциальная энергия в поле силы тяжести Земли (вблизи поверхности):

$$W_g = mg(h - h_0),$$

где  $h_0$  – высота, на которой потенциальная энергия равна нулю.

Потенциальная энергия сжатой (растянутой) на малую длину  $\Delta x$  пружины:

$$W_k = \frac{k\Delta x^2}{2}.$$

Полная механическая энергия – это сумма потенциальной и кинетической энергии тела:  $E = W + T$ .

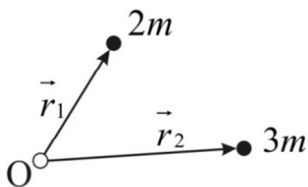
### *Закон сохранения энергии*

Полная механическая энергия замкнутой системы не меняется со временем, если внутренние силы системы потенциальны.

Заметим, что сила трения не является потенциальной. Если в системе действуют силы трения, то полная механическая энергия не сохраняется, поскольку часть ее, равная работе сил трения, переходит в тепловую энергию.

## 3.2. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

3.1. Положение центра масс системы двух частиц с радиус-векторами  $\vec{r}_1$  и  $\vec{r}_2$ , изображенных на рисунке, определяется радиус-вектором:



а)  $\vec{r}_C = \frac{2\vec{r}_1 - 3\vec{r}_2}{5}$ ;

б)  $\vec{r}_C = 2\vec{r}_1 + 3\vec{r}_2$ ;

в)  $\vec{r}_C = \frac{2\vec{r}_1 + 3\vec{r}_2}{5}$ ;

г)  $\vec{r}_C = \frac{3\vec{r}_1 + 2\vec{r}_2}{5}$ .

3.2. Какое из приведенных ниже утверждений не справедливо?

а) в системе отсчета, связанной с ускоренно движущимся лифтом, закон сохранения импульса не выполняется;

б) при переходе из одной инерциальной системы в другую изменение импульса тела остается прежним;

в) единицей измерения импульса силы в СИ является  $\text{Н} \cdot \text{с}$ ;

г) скорость тела в данный момент времени всегда сонаправлена с импульсом силы;

д) направление импульса силы и направление изменения импульса тела всегда совпадают.

3.3. Если на систему не действуют внешние силы, то скорость центра инерции:

- а) больше нуля;
- б) постоянна;
- в) меньше нуля;
- г) равна нулю.

3.4. Какое или какие из приведенных ниже утверждений являются верными?

а) изменение кинетической энергии тела возможно только при действии на тело отличной от нуля равнодействующей силы;

б) если потенциальная энергия системы увеличивается, то кинетическая энергия уменьшается;

в) при равномерном движении тела по вертикальной окружности, полная механическая энергия тела остается постоянной;

г) при равномерном движении материальной точки по окружности её кинетическая энергия может быть определена по формуле  $E_k = FR / 2$ , где  $F$  – величина равнодействующей силы;  $R$  – радиус окружности, по которой движется материальная точка.

3.5. В каком случае система называется замкнутой?

- а) когда на систему действуют внешние силы;
- б) когда на систему не действуют внутренние силы;
- в) когда на систему действуют внутренние силы;
- г) когда на систему не действуют внешние силы.

3.6. В каком из приведенных ниже случаев указанная сила совершает положительную работу?

а) сила тяжести при подъеме тела на некоторую высоту;

б) внешняя сила, составляющая угол  $120^\circ$  со скоростью движения тела;

в) сила, растягивающая упругую пружину;

г) внешняя сила, удерживающая тело в состоянии покоя на наклонной плоскости.

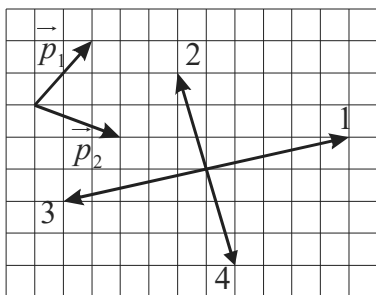
3.7. Работа сил в потенциальных полях зависит от:

а) траектории движения тела;

б) скорости тела;

в) координат тела;

г) времени.



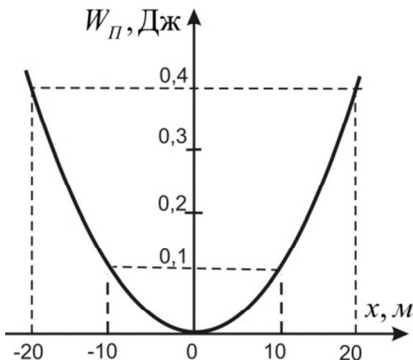
3.8. Импульс тела  $\vec{p}_1$  изменился под действием кратковременного удара и стал равным  $\vec{p}_2$ , как показано на рисунке. В момент удара сила действовала в направлении:

- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.

3.9. При ускоренном подъеме тела вертикально вверх была совершена работа величиной 25 Дж. Какое или какие из приведенных ниже утверждений справедливы?

- а) изменение кинетической энергии составляет 25 Дж;
- б) изменение кинетической энергии составляет  $-25$  Дж;
- в) изменение потенциальной энергии составляет 25 Дж;
- г) изменение полной механической энергии составляет 25 Дж;
- д) изменение потенциальной энергии составляет  $-25$  Дж.

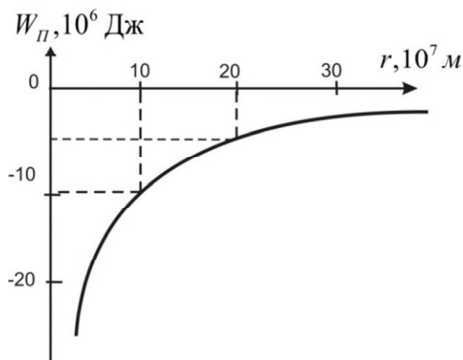
3.10. Пользуясь приведенным графиком зависимости потенциальной энергии деформированной пружины  $W_{\text{п}}$  от величины удлинения  $x$ , определите коэффициент жесткости пружины в СИ.



3.11. Используя приведенный график зависимости потенциальной энергии тела от расстояния между его центром инерции и центром Земли и зная, что масса Земли равна  $M = 6 \cdot 10^{24}$  кг, рассчитайте массу



рассматриваемого тела в кг (округляя до одной-двух значащих цифр).  
 Гравитационная постоянная  $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ кг} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-2}$ .



3.12. Отметьте пункт, в котором перечислены условия, достаточные для того, чтобы механическая энергия системы была постоянна:

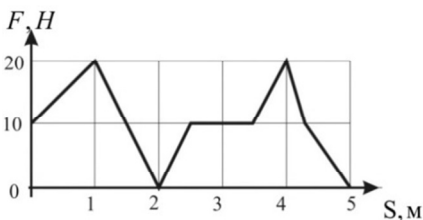
- а) сумма внешних сил равна нулю;
- б) система замкнута, а внутренние силы системы консервативны;
- в) внешние и внутренние силы консервативны;
- г) нет внешних сил.

3.13. Укажите условия, достаточные для того, чтобы импульс системы тел в ИСО был постоянен:

- а) сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю;
- б) суммарный импульс внешних сил равен нулю;
- в) внешние силы потенциальны, а работа внутренних сил, не являющихся потенциальными, равна нулю;
- г) суммарный вектор внутренних сил системы равен и противоположен суммарному вектору внешних сил;
- д) система замкнута, среди внутренних сил есть не потенциальные силы.

3.14. Изменение силы тяги на различных участках пути представлено на графике. Работа максимальна на участке:

- а) 0 м, 1 м;
- б) 1 м, 2 м;
- в) 2 м, 3 м;
- г) 3 м, 4 м;
- д) 4 м, 5 м.



3.15. Автомобиль двигался с постоянной скоростью по горизонтальной дороге. После выключения двигателя, пройдя некоторое расстояние, автомобиль остановился. Коэффициент трения можно определить, зная:

а) ускорение автомобиля при торможении и ускорение свободного падения;

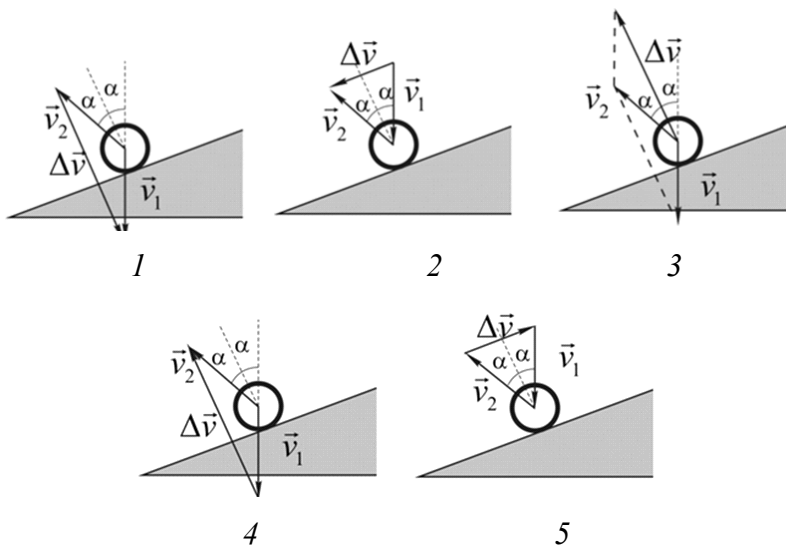
б) кинетическую энергию автомобиля и путь, пройденный автомобилем после выключения двигателя;

в) скорость автомобиля в момент выключения двигателя, ускорение свободного падения и путь, пройденный после выключения двигателя;

г) путь, пройденный после выключения двигателя и время равнозамедленного движения;

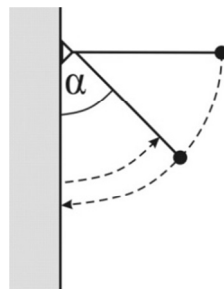
д) кинетическую энергию автомобиля, его массу и работу против сил трения.

3.16. Падая вертикально, шарик ударяется о наклонную плоскость и отскакивает. Удар абсолютно упругий. Укажите номера рисунков, на которых направление вектора изменения скорости указано правильно.

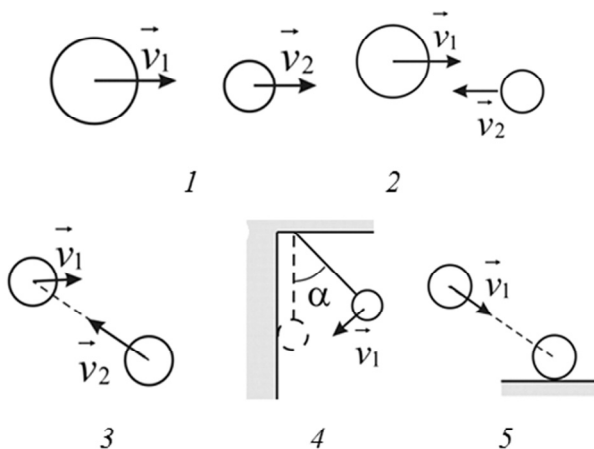


3.17. Шарик, висящий на нити, отклонили от вертикали на  $90^\circ$  и отпустили без начальной скорости. На какой угол отклонится нить с шаром после удара о вертикальную стенку, если во время удара шарик потерял половину своей энергии?

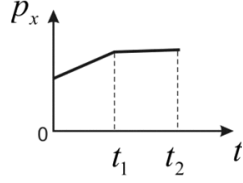
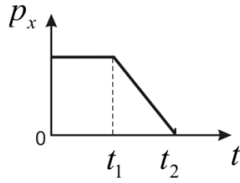
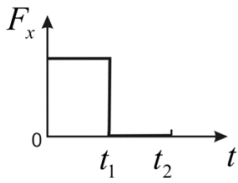
- а)  $45^\circ$  ;
- б)  $60^\circ$  ;
- в)  $30^\circ$  ;
- г)  $15^\circ$  .



3.18. Из приведенных ниже рисунков выберите те, которые соответствуют прямому центральному удару.

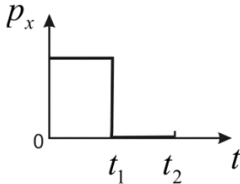
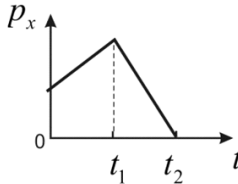


3.19. Материальная точка двигалась вдоль оси  $X$  равномерно с некоторой скоростью  $v_x$ . Начиная с момента времени  $t = 0$ , на нее стала действовать сила  $F_x$ , график временной зависимости проекции которой представлен на рисунке. Какой график правильно отражает зависимость величины проекции импульса материальной точки  $p_x$  от времени?



1

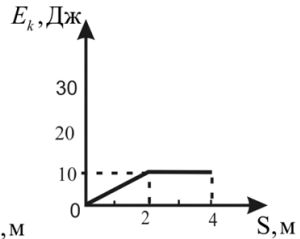
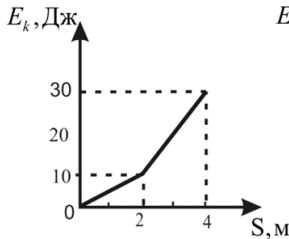
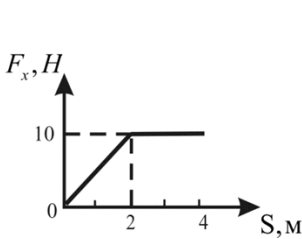
2



3

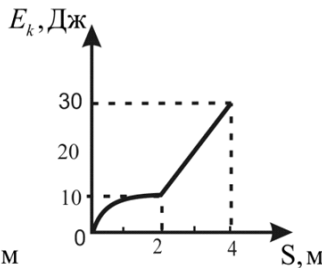
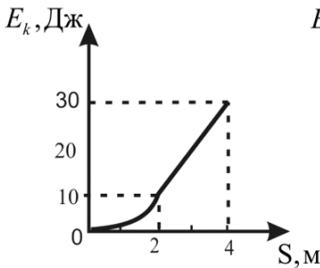
4

3.20. На покоящееся тело начинает действовать сила, график зависимости проекции которой от пройденного пути показан на рисунке. Какой из нижеприведенных графиков наиболее точно отражает зависимость кинетической энергии этого тела от пройденного пути?



1

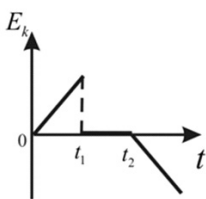
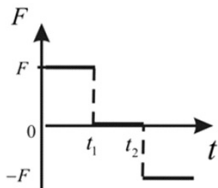
2



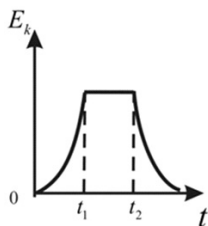
3

4

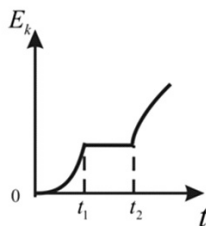
3.21. На покоящееся тело начинает действовать сила, проекция которой изменяется с течением времени так, как показано на рисунке. Какой из приведенных ниже графиков наиболее точно отражает зависимость кинетической энергии этого тела от времени?



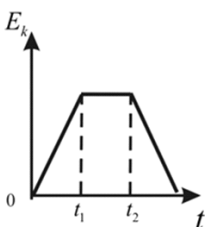
1



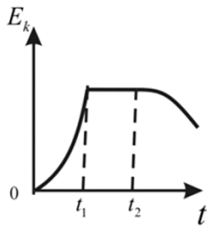
2



3



4



5

3.22. Потенциальная энергия частицы, движущейся вдоль оси  $Ox$ , задается формулой  $U(x) = 1/2kx^2 + 1/4bx^4$ . Найдите зависимость  $x$ -компоненты силы от координаты  $x$ .

а)  $-kx - bx^3$ ;

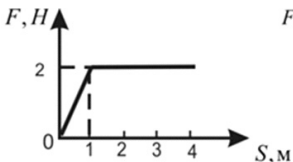
б)  $kx + bx^3$ ;

в)  $\frac{3}{2}kx^3 + \frac{5}{4}bx^5$ ;

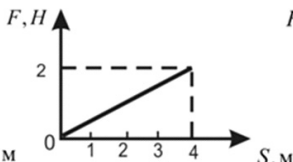
г)  $\frac{1}{6}kx^3 + \frac{1}{20}bx^5$ ;

д)  $-kx - bx^2$ .

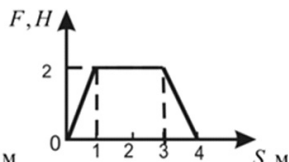
3.23. На рисунке изображены графики зависимости величины силы от пройденного расстояния при перемещении тела вдоль направления действия силы. Рассчитайте работы, совершенные силой над телом, если во всех случаях пройден одинаковый путь. Укажите номера графиков, для которых работа имеет одинаковое значение.



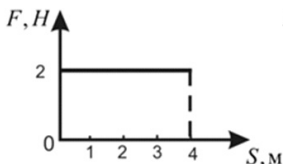
1



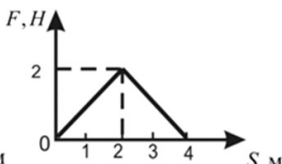
2



3



4



5

3.24. Груз массой 4 кг подвесили на невесомой пружине, которая растянулась на 2 см. Какую работу надо совершить, чтобы сжать пружину обратно?

- а) 2 Дж;
- б) 0,4 Дж;
- в) 0,2 Дж;
- г) 4 Дж;
- д) 3,14 Дж.

3.25. Материальная точка массой 2 кг движется вдоль оси  $Ox$  по закону  $x(t) = 3t + 5t^3$  (м). Вычислите работу силы тяжести, совершаемую над этой частицей за время от 0 до 1 с ( $Ox$  направлена вертикально вверх).

- а) 7 Дж;
- б) 14 Дж;
- в) 28 Дж;
- г) 140 Дж;
- д) 0 Дж.

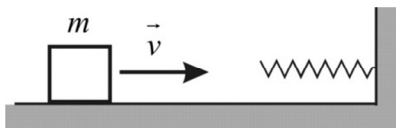
3.26. Движущийся со скоростью  $\vec{v}_1$  шар ударяется о неподвижный и после удара начинает двигаться в противоположную сторону со скоростью  $-0,5\vec{v}_1$ . Считая удар абсолютно упругим, определите, при каком соотношении масс это возможно. В ответе должно быть отношение большей массы к меньшей.

### Задания повышенной сложности

3.27\*. Снаряд массой 5 кг попадает в баллистический маятник массой 1000 кг и застревает в нем. Начальная скорость снаряда 200 м/с. Определите высоту подъема маятника.

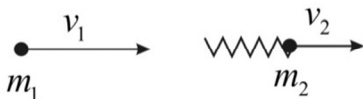
- а) 5 см;
- б) 10 см;
- в) 15 см;
- г) 20 см;
- д) 25 см.

3.28\*. Тело массой  $m$  налетает со скоростью  $v$  на пружину, как показано на рисунке. Сила упругости пружины зависит от смещения свободного конца по закону  $F = -k_1x - k_2x^3$ . Найдите максимальное сжатие пружины. Трением пренебречь.



- а)  $\sqrt{k_1 / k_2}$ ;
- б)  $k_1 / k_2 \left( \sqrt{1 + mv^2 k_2 / k_1^2} + 1 \right)$ ;
- в)  $\sqrt{k_1 / k_2} \left( \sqrt{1 + mv^2 k_2 / k_1^2} - 1 \right)^{1/2}$ ;
- г)  $k_1 / k_2 \left( \sqrt{1 + 2mv^2 k_2 / k_1^2} - 1 \right)$ ;
- д)  $\sqrt{k_1 / k_2} \left( \sqrt{1 + 2mv^2 k_2 / k_1^2} - 1 \right)^{1/2}$ .

3.29\*. На рисунке изображены две материальные точки с массами  $m_1$  и  $m_2$ . Точки движутся по одной прямой. Скорость второй точки меньше, чем скорость первой  $v_1 > v_2$ . Точка 2 жестко связана с пружиной, как показано на рисунке, коэффициент жесткости пружины равен  $k$ . Найдите максимальное сжатие пружины в процессе упругого взаимодействия материальных точек и пружины, все время находящейся строго между ними.



- а)  $(v_1 - v_2) \sqrt{\frac{m_2}{k}}$  ;
- б)  $(v_1 - v_2) \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{2k}}$  ;
- в)  $\sqrt{(m_1 + m_2) / k} (v_1 - v_2)$  ;
- г)  $\sqrt{(m_1 + m_2) / k} (v_1 + v_2)$  ;
- д)  $\sqrt{m_1 m_2 / ((m_1 + m_2) k)} (v_1 - v_2)$  .



## 4. ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА

### 4.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Момент импульса материальной точки относительно начала координат равен векторному произведению радиус-вектора материальной точки на вектор ее импульса:

$$\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}] \equiv [\vec{r} \times \vec{p}] \equiv \vec{r} \times \vec{p}.$$

Момент силы относительно начала координат равен векторному произведению радиус-вектора точки приложения силы на вектор силы:

$$\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}].$$

Если же момент импульса или силы требуется определить относительно заданной точки, не совпадающей с началом координат, то в соответствующих приведенных выше определениях под вектором  $\vec{r}$  следует понимать вектор, построенный не из начала координат, а из заданной точки в точку, где находится тело (для момента импульса) или в точку приложения силы (для момента силы).

Основное уравнение динамики вращательного движения (закон изменения момента импульса):

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}.$$

Для системы материальных точек

$$\vec{M} \equiv \sum_i \vec{M}_i = \frac{d \sum_i \vec{L}_i}{dt} \equiv \vec{L}.$$

### *Закон сохранения момента импульса*

Суммарный момент импульса системы материальных точек относительно заданной точки (оси) есть величина постоянная, если векторная сумма моментов всех внешних сил (относительно той же точки или оси), действующих на систему, равна нулю.

Момент инерции материальной точки относительно заданной оси – это величина, равная произведению массы материальной точки на квадрат расстояния до этой оси:

$$I_z = mr^2.$$

Момент инерции величина аддитивная. Момент инерции системы материальных точек равен сумме моментов инерции материальных точек, составляющих систему:

$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$$

Иногда момент инерции обозначают буквой  $J$ .

Для достаточно твердого тела (расстояния между любыми двумя точками которого неизменны) относительно фиксированной оси вращения момент инерции – величина постоянная. В этом случае

$$\vec{L} = I \vec{\omega},$$

а основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела с фиксированной осью вращения может быть записано в виде

$$I \vec{\varepsilon} = \vec{M}.$$

### *Теорема Штейнера*

Момент инерции тела  $I$  относительно произвольной оси  $Z$  равен сумме момента инерции этого тела  $I_0$  относительно оси, параллельной данной и проходящей через центр масс этого тела, и произведения массы тела на квадрат расстояния  $d$  между осями:

$$I = I_0 + md^2.$$

Работа момента силы

$$A = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \vec{M} d\vec{\varphi}.$$

Кинетическая энергия вращательного движения

$$T = \frac{I\omega^2}{2} = \frac{L^2}{2I}.$$

## 4.2. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

4.1. Из перечисленных ниже векторных равенств укажите те, которые необходимо использовать для определения направления вектора углового ускорения тела, если считать заданными внешнюю силу и точку ее приложения:

а)  $d\vec{L} = I d\vec{\omega}$ ;

б)  $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$ ;

в)  $\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$ ;

г)  $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ ;

д)  $\vec{L} = I\vec{\omega}$ .

4.2. Из приведенных ниже векторных равенств выберите те, которые придется использовать для определения  $\Delta\vec{L}$  (изменения момента импульса тела), если считать заданным направление вектора момента внешней силы действующей на тело:

а)  $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$ ;

б)  $\vec{L} = I\vec{\omega}$ ;

в)  $\Delta\vec{L} = I\Delta\vec{\omega}$ ;

г)  $\vec{M} = I\vec{\varepsilon}$ ;

д)  $\vec{\varepsilon} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t}$ .

4.3. Выберите все закономерности, имеющие место при произвольном вращении твердого тела относительно неподвижной оси:

а)  $\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$ ;

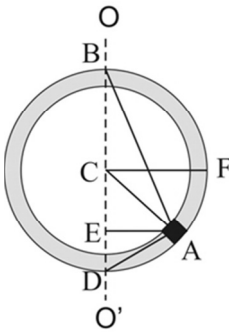
б)  $dA = \vec{M} \cdot d\vec{\varphi}$ ;

в)  $d\vec{L} = Id\vec{\omega}$  ;

г)  $\vec{\varphi} = \frac{\vec{\varepsilon}t^2}{2}$  ;

д)  $\vec{\varphi} = \vec{\varphi}_0 + \vec{\omega}_0 t + \frac{\vec{\varepsilon}t^2}{2}$  .

4.4. Тонкое кольцо вращается вокруг оси  $OO'$ , лежащей в плоскости чертежа и проходящей через центр кольца  $C$  (см. рисунок). Момент инерции может быть вычислен по формуле  $I = \sum_i \Delta m_i r_i^2$ ,



где сумма берется по всем элементарным объемам тела, масса элементарного объема  $\Delta m_i$  (на рисунке – выделенная черным окрестность произвольно выбранной точки кольца  $A$ ). Что такое  $r_i$  для элемента  $\Delta m_i$ , изображенного на рисунке?

- а)  $AB$  ;
- б)  $AC$  ;
- в)  $AE$  ;
- г)  $AD$  ;
- д)  $CF$  .

4.5. Отметьте верные утверждения о моменте инерции:

а) момент инерции материальной точки относительно некоторой оси равен произведению массы материальной точки на квадрат расстояния от точки до этой оси;

б) момент инерции тела любой формы равен произведению массы этого тела на квадрат среднего расстояния от этого тела до оси вращения;

в) момент инерции тела (относительно фиксированной оси вращения) равен сумме моментов инерции всех частей этого тела (относительно этой оси);

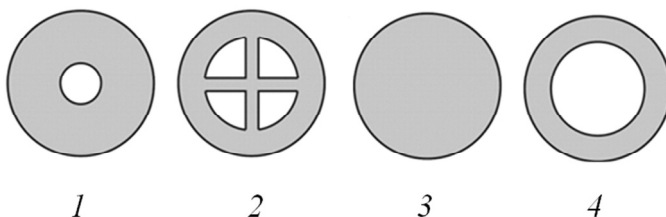
г) момент инерции тела зависит только от его массы, формы и размеров;

д) моменты инерции данного тела относительно разных осей вращения различны.

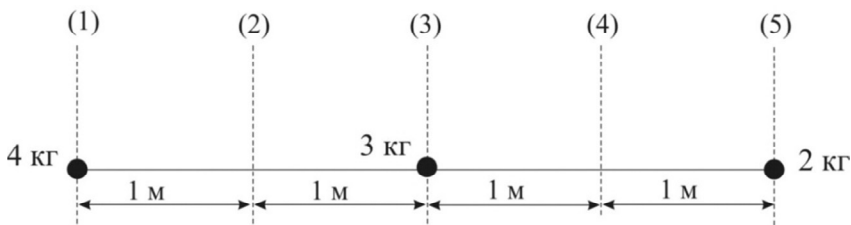
4.6. На рисунке изображены сечения нескольких цилиндров с равными плотностями, внешними радиусами и высотой. Укажите номер цилиндра:

а) с наибольшим моментом инерции относительно оси, совпадающей с осью цилиндра;

б) с наименьшим моментом инерции относительно оси, совпадающей с осью цилиндра.



4.7. На тонком невесомом стержне закреплены три шарика. Массы шариков и соответствующие расстояния изображены на рисунке. Массой стержня и размерами шариков можно пренебречь. Рассчитайте моменты инерции этой системы относительно пяти осей вращения, изображенных на рисунке пунктиром. Укажите номер оси, относительно которой момент инерции наибольший.



4.8. Диск массой  $1 \text{ кг}$  и радиусом  $R$  может вращаться относительно оси, перпендикулярной к плоскости диска и проходящей через его центр. Какой массы (в  $\text{кг}$ ) шар надо положить на расстоянии  $0,5R$  от центра диска, чтобы момент инерции всей системы стал равен двум моментам инерции диска? Шар рассматривать как материальную точку.

4.9. Масса тонкого кольца (тело 1) в два раза меньше массы диска (тело 2), а радиус кольца – в два раза больше радиуса диска. Оси вращения обоих тел перпендикулярны их плоскостям и проходят через их центры. Если на оба тела действуют одинаковые вращающие моменты,

большее ускорение приобретает тело 1 или тело 2? Во сколько раз большее?

4.10. Какие из перечисленных ниже величин являются скалярными?

- а) угловое ускорение;
- б) момент импульса;
- в) момент инерции тела относительно заданной оси;
- г) угловая скорость.

4.11. Какие из перечисленных ниже величин являются векторными?

- а) угловая скорость;
- б) момент инерции тела относительно заданной оси;
- в) кинетическая энергия вращающегося тела;
- г) работа, совершаемая вращающим моментом (моментом силы).

4.12. На тело действует постоянный вращающий момент (момент силы). Какие из перечисленных характеристик вращательного движения тела с фиксированной осью вращения при этом не изменяются с течением времени?

- а) угловая скорость;
- б) угловое ускорение;
- в) кинетическая энергия;
- г) момент импульса.

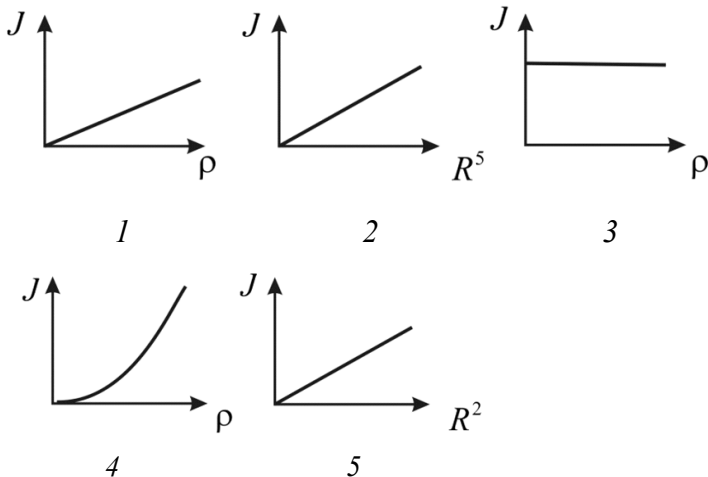
4.13. На тело действует постоянный вращающий момент (момент силы). Какие из перечисленных ниже величин при этом изменяются со временем по линейному закону?

- а) момент инерции;
- б) угловое ускорение;
- в) кинетическая энергия;
- г) момент импульса тела.

4.14. Однородный диск вращается равноускоренно относительно фиксированной оси, совпадающей с его осью. От каких из перечисленных ниже факторов зависит его угловое ускорение?

- а) от времени вращения диска;
- б) от суммы моментов приложенных сил;
- в) от начальной скорости вращения дисков;
- г) от массы диска;
- д) от радиуса диска.

4.15. На рисунках приведены различные зависимости момента инерции ( $J$ ) тела вращения от радиуса  $R$  (при постоянной плотности материала  $\rho$ ) и от плотности  $\rho$  (при постоянном радиусе тела  $R$ ). Выберите графики, верные для момента инерции однородного шара относительно оси, проходящей через его центр.



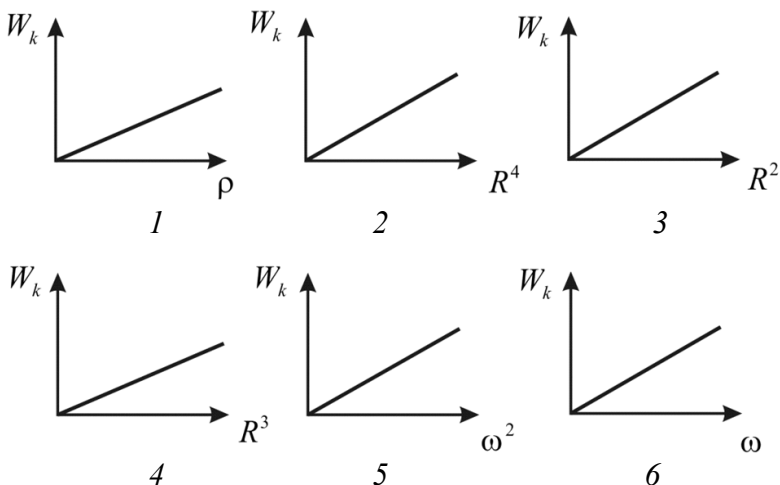
4.16. С наклонной плоскости скатываются без скольжения тела различной формы, но одинаковой массы и одинакового радиуса. Трением качения можно пренебречь. Расставьте тела в порядке убывания по времени скатывания.

- однородный шар;
- однородный цилиндр;
- тонкий обруч;
- диск;
- толстостенный цилиндр.

4.17. Среди приведенных ниже графиков выберите те, на которых представлена зависимость кинетической энергии диска, катящегося по горизонтальной поверхности:

- от плотности материала диска  $\rho$  (при постоянных радиусе  $R$  и угловой скорости вращения  $\omega$ );
- от радиуса  $R$  (при постоянной плотности материала диска  $\rho$  и угловой скорости вращения  $\omega$ );

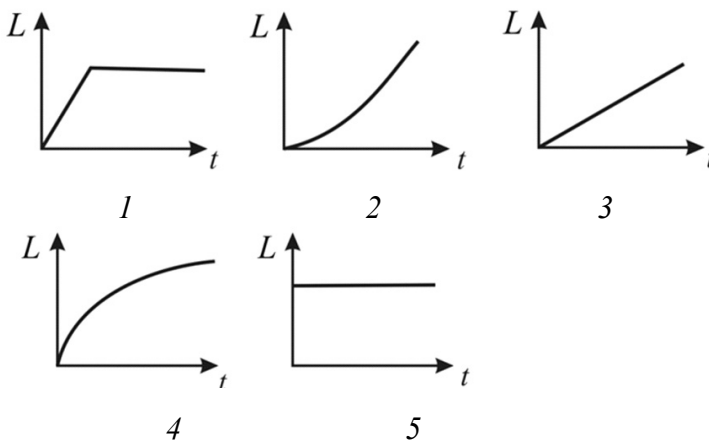
в) от угловой скорости вращения  $\omega$  (при постоянных радиусе  $R$  и плотности материала диска  $\rho$ ).



4.18. На каждом рисунке представлен график зависимости момента количества движения (момента импульса) тела от времени. Проанализируйте эти зависимости и укажите номера графиков, для которых:

а) момент внешних сил равен нулю;

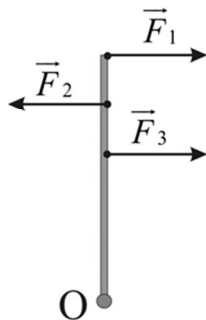
б) момент внешних сил сохраняет постоянное, не равное нулю значение.





4.19. К стержню приложены три одинаковые по модулю силы, как показано на рисунке. Ось вращения перпендикулярна плоскости рисунка и проходит через точку  $O$ . Вектор углового ускорения направлен:

- а) вдоль оси вращения «к нам»;
- б) вдоль оси вращения «от нас»;
- в) влево;
- г) вправо.

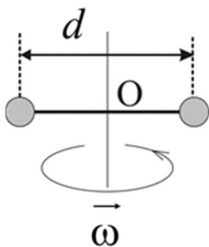


4.20. Для того, чтобы раскрутить диск радиуса  $R_1$  вокруг своей оси до угловой скорости  $\omega$ , необходимо совершить работу  $A_1$ . Под прессом диск становится тоньше, но радиус его возрастает до  $R_2 = 2R_1$ . Для того, чтобы раскрутить его до той же угловой скорости, необходимо совершить работу:

- а)  $A_2 = 1/4 A_1$ ;
- б)  $A_2 = 2 A_1$ ;
- в)  $A_2 = 1/2 A_1$ ;
- г)  $A_2 = 4 A_1$ .

4.21. Два маленьких массивных шарика закреплены на концах невесомого стержня длины  $d$ . Стержень может вращаться в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину стержня. Стержень раскрутили до угловой скорости  $\omega_1$ . Под действием трения стержень остановился, при этом выделилось тепло  $Q_1$ . Если стержень

раскручен до угловой скорости  $\omega_2 = 3\omega_1$ , то при остановке стержня выделится тепло:

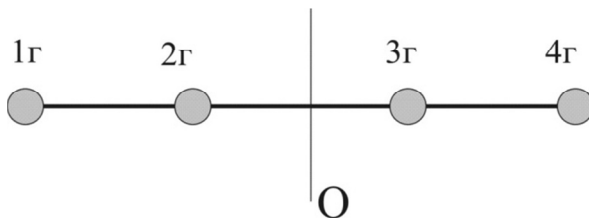


- а)  $Q_2 = \frac{1}{3} Q_1$ ;
- б)  $Q_2 = 9 Q_1$ ;
- в)  $Q_2 = 3 Q_1$ ;
- г)  $Q_2 = \frac{1}{9} Q_1$ .

4.22. Момент инерции тонкого обруча массой  $m$ , радиусом  $R$  относительно оси, проходящей через центр обруча перпендикулярно плоскости, в которой лежит обруч, равен  $I = mR^2$ . Если ось вращения перенести параллельно в точку на обруче, то момент инерции обруча:

- а) не изменится;
- б) уменьшится в 2 раза;
- в) увеличится в 2 раза;
- г) уменьшится в 1,5 раза;
- д) увеличится в 1,5 раза.

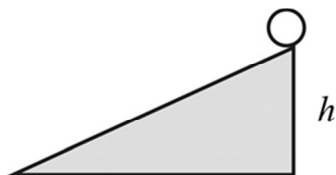
4.23. Четыре шарика расположены на одной прямой. Расстояния между соседними шариками одинаковы. Массы шариков слева направо: 1 г, 2 г, 3 г, 4 г. Если поменять местами шарик 1 и 4, то момент инерции этой системы относительно оси  $O$ , перпендикулярной прямой  $a$  и проходящей через середину системы:



- а) уменьшится;
- б) увеличится;
- в) не изменится.

### Задания повышенной сложности

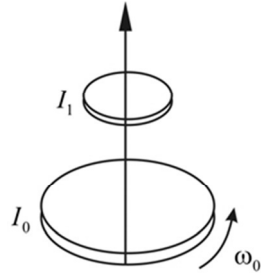
4.24\* Цилиндр с радиусом  $r$  и брусок такой же массы скатываются по наклонной плоскости с горки высотой  $h$ . Определите отношение скоростей цилиндра и бруска у подножия горки (цилиндр скатывается без проскальзывания и трения качения, а брусок – без трения скольжения).



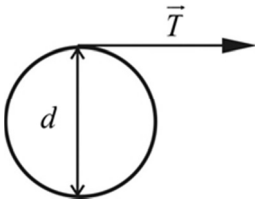
- а) 1;
- б)  $\sqrt{2}$ ;
- в)  $\sqrt{3}$ ;
- г)  $\sqrt{2/3}$ ;
- д) 2.

4.25\*. Цилиндр с моментом инерции  $I_0$  вращается с угловой скоростью  $\omega_0$ . Второй цилиндр с моментом инерции  $I_1$  без начальной угловой скорости кладут на первый (см. рисунок). Какова конечная угловая скорость  $\omega_f$  получившейся системы после уравнивания угловых скоростей отдельных дисков?

- а)  $\omega_f = \omega_0$ ;
- б)  $\omega_f = \omega_0 I_0 / I_1$ ;
- в)  $\omega_f = \omega_0 I_0 / (I_1 + I_0)$ ;
- г)  $\omega_f = \omega_0 I_1 / I_0$ ;
- д)  $\omega_f = \omega_0 (I_1 + I_0) / I_0$ .



4.26\*. Шкив диаметром 2 м с моментом инерции  $5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  может вращаться без сопротивления на неподвижной горизонтальной оси. На шкив намотана тонкая нерастяжимая нить. За эту нить начинают тянуть с силой 40 Н. Сколько метров нити вытянется за 3 секунды, если шкив первоначально покоился?



- а) 36 м;
- б) 72 м;
- в) 18 м;
- г) 720 м;
- д) 180 м.

## 5. РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА

### 5.1. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Релятивистская механика изучает законы движения при скоростях, близких к скорости света. В этой главе рассматриваются задачи по специальной теории относительности (СТО), созданной Эйнштейном на основе двух постулатов.

*I постулат: любое физическое явление протекает одинаково во всех инерциальных системах отсчета.*

*II постулат: скорость света в вакууме  $c$  одинакова во всех инерциальных системах отсчета по всем направлениям.*

Первый постулат совпадает с первым законом Ньютона, т. е. с одним из постулатов классической механики. Второй постулат о постоянстве скорости света в вакууме противоречит классической механике и накладывает ограничения на ее применимость. Классическая механика применима только при скоростях движения частиц, много меньших скорости света в вакууме  $v \ll c$ .

#### *Преобразования Лоренца*

Преобразования Лоренца описывают изменения координат  $(x, y, z, t)$  материальной точки при переходе из неподвижной (лабораторной) системы  $K$  в систему  $K'$ , движущуюся со скоростью  $\vec{u}$  относительно первой.

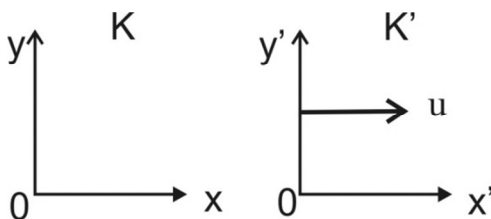


Рис. 2

В случае, если скорость  $\vec{u}$  направлена вдоль оси  $OX$  (рис. 2), т. е. система  $K'$  движется равномерно и прямолинейно вдоль  $OX$ , оси обеих систем координат сонаправлены и при  $t = t' = 0$  начала координат совпадают, то преобразования Лоренца имеют вид

$$t' = \frac{t - \frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}, \quad x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}, \quad y' = y, \quad z' = z.$$

Как видно из преобразований Лоренца, время в подвижной системе  $K'$  течет иначе относительно лабораторной системы  $K$ . Это приводит к такому эффекту, как замедление времени:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}},$$

где  $\Delta t$  – время, проходящее между двумя событиями движущегося объекта с точки зрения неподвижного наблюдателя,  $\Delta t_0$  – время, проходящее между двумя событиями движущегося объекта с точки зрения наблюдателя, связанного с движущимся объектом.

Из релятивистского преобразования координат следует Лоренцево сокращение длины стержня, расположенного вдоль  $OX$  и движущегося со скоростью  $u$  вдоль оси ( $OX$ ):

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

где  $l$  – длина стержня, измеренная в лабораторной системе,  $l_0$  – собственная длина стержня или длина стержня в той системе, где он покоится.

### *Элементы релятивистской динамики*

Релятивистский импульс частицы массы  $m$ , движущейся со скоростью  $\vec{v}$ :

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

Полная энергия частицы

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

состоит из энергии покоя  $E_0 = mc^2$  и кинетической энергии

$$T = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2.$$

Связь энергии и импульса:

$$E = \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}.$$

## 5.2. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

5.1. Базовый постулат теории относительности Эйнштейна гласит:

- а) движущиеся часы идут медленнее, чем неподвижные;
- б) движущийся стержень короче, чем неподвижный;
- в) свет имеет свойства и волны и частицы;
- г) всё относительно;
- д) любое физическое явление протекает одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

5.2. Выберите пункт, соответствующий следствию из специальной теории относительности Эйнштейна:

- а) движущиеся часы идут медленнее, чем неподвижные;
- б) движущийся стержень длиннее, чем неподвижный;
- в) свет имеет свойства и волны и частицы;
- г) все относительно;
- д) любое физическое явление протекает одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

5.3. В соответствии со специальной теорией относительности:

- а) движущиеся часы идут быстрее;

- в) энергия не сохраняется при столкновениях со скоростями близкими к скорости света;
- с) скорость света зависит от системы отчета;
- д) импульс не сохраняется при столкновениях со скоростями близкими к скорости света;
- е) среди перечисленного нет правильного ответа.

5.4. Два события случились одновременно в разных точках, лежащих на оси  $Ox$  на расстоянии  $S$  друг от друга. Для наблюдателя, движущегося в положительном направлении оси  $Ox$ :

- а) событие с большей  $x$  координатой случится первым;
- б) событие с меньшей  $x$  координатой случится первым;
- в) какое событие случится первым, зависит от модуля скорости наблюдателя;
- г) события произойдут одновременно;
- е) среди перечисленного нет правильного ответа.

5.5. Два события произошли в двух различных точках на оси  $Ox$  на расстоянии  $\Delta x$  друг от друга. Время между двумя событиями  $\Delta t$ . Может ли путешественник, движущийся со скоростью, меньшей скорости света, наблюдать одновременность этих двух событий?

- а) да, при любых значениях  $\Delta x$  и  $\Delta t$ ;
- б) да, только при  $\Delta x / \Delta t < c$ ;
- в) да, только при  $\Delta x / \Delta t > c$ ;
- г) да, только при  $\Delta x \Delta t = c$ ;
- д) не может ни при каких условиях.

5.6. Два события произошли в двух различных точках на оси  $Ox$  на расстоянии  $\Delta x$  друг от друга. Время между двумя событиями  $\Delta t$ . Может ли путешественник, движущийся со скоростью, меньшей скорости света, наблюдать эти два события в одной и той же точке пространства?

- а) да, при любых значениях  $\Delta x$  и  $\Delta t$ ;
- б) да, только при  $\Delta x / \Delta t < c$ ;
- в) да, только при  $\Delta x / \Delta t > c$ ;
- г) да, только при  $\Delta x \Delta t = c$ ;
- д) не может ни при каких условиях.

5.7. Наблюдатель отметил, что движущиеся часы идут в десять раз медленнее неподвижных. Какова скорость часов?

- а)  $0,1c$ ;
- б)  $0,09c$ ;
- в)  $0,990c$ ;
- г)  $0,900c$ ;
- д)  $0,995c$ .

5.8. Метровая палка движется со скоростью, равной  $0,95c$  и направленной вдоль палки. Какую длину палки измерит неподвижный наблюдатель?

- а)  $0$  м;
- б)  $0,098$  м;
- в)  $0,31$  м;
- г)  $2,2$  м;
- д)  $1$  м.

5.9. Метровый стержень движется со скоростью равной  $0,95c$  и направленной перпендикулярно стержню. Какую длину стержня измерит неподвижный наблюдатель?

- а)  $0$  м;
- б)  $0,98$  м;
- в)  $1,01$  м;
- г)  $3,2$  м;
- д)  $1$  м.

5.10. Длина шестиметрового автомобиля в движущейся системе отчета  $4,8$  м. Какова скорость системы?

- а)  $0,1c$ ;
- б)  $0,5c$ ;
- в)  $0,6c$ ;
- г)  $0,8c$ ;
- д) больше  $0,95c$ .

5.11. Часы движутся вдоль оси  $OX$  со скоростью  $0,6c$ . Когда часы были в точке  $x = 0$ , они показывали ноль. Какое будет показание часов при прохождении точки  $x = 180$  м ?

- а)  $0,6$  мкс.
- б)  $0,75$  мкс.
- в)  $0,48$  мкс.



- г) 1,5 мкс;
- д) 1,67 мкс.

5.12. Частица с массой покоя  $m$  движется со скоростью  $0,6c$ . Ее кинетическая энергия равна:

- а)  $0,18mc^2$ ;
- б)  $0,22mc^2$ ;
- в)  $0,25mc^2$ ;
- г)  $mc^2$ ;
- д)  $1,25mc^2$ .

5.13. Электрон меняет свою скорость с  $c/2$  (вдоль оси  $x$ ) на  $-c/2$  (противоположно оси  $x$ ). На какую величину изменится его кинетическая энергия?

- а)  $mc^2$ ;
- б)  $0,5mc^2$ ;
- в)  $\sqrt{2}mc^2$ ;
- г)  $2mc^2$ ;
- д) не изменится.

5.14. В преобразованиях Лоренца размеры тела в направлении, перпендикулярном относительной скорости движения:

- а) уменьшаются;
- б) увеличиваются;
- в) не изменяются.

5.15. Какую работу нужно совершить для увеличения скорости электрона (масса  $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг) от  $0,90c$  до  $0,95c$ ?

- а)  $3 \cdot 10^{-13}$  Дж;
- б)  $8 \cdot 10^{-13}$  Дж;
- в)  $4 \cdot 10^{-13}$  Дж;
- г)  $7 \cdot 10^{-13}$  Дж;
- д)  $2 \cdot 10^{-13}$  Дж.

5.16 Какая кинетическая энергия электрона, движущегося со скоростью  $0,95c$ ? Масса электрона  $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг.

- а)  $8,2 \cdot 10^{-14}$  Дж;
- б)  $1,8 \cdot 10^{-13}$  Дж;
- в)  $2,0 \cdot 10^{-13}$  Дж;
- г)  $2,2 \cdot 10^{-13}$  Дж;
- д)  $2,6 \cdot 10^{-13}$  Дж.

5.17. В соответствии со специальной теории относительности:

- а) все формы энергии имеют свойства массы;
- б) движущаяся частица теряет массу;
- в) импульс не сохраняется при столкновениях на больших скоростях;
- г) тонкий стержень, движущийся в направлении, перпендикулярном своей оси, короче, чем неподвижный;
- д) тонкий стержень, движущийся в направлении, перпендикулярном своей оси, длиннее, чем неподвижный.

5.18. Если масса частицы нулевая, то ее скорость должна быть равной:

- а)  $c$ ;
- б) бесконечности;
- в) может быть любой;
- г)  $0$ ;
- д) неизвестной величине, так как масса не дана.

5.19. Частица нулевой массы и энергии  $E$  имеет импульс:

- А)  $Ec$ ;
- б)  $Ec^2$ ;
- в)  $\sqrt{Ec}$ ;
- г)  $E/c$ ;
- д)  $E/c^2$ ;

5.20. При какой скорости кинетическая энергия частицы равна ее энергии покоя?

- а)  $0,25c$ ;
- б)  $0,50c$ ;

- в)  $0,87c$ ;
- г)  $0,9c$ ;
- д) неизвестной величине, так как масса не дана.

5.21. Какая скорость у частицы массы  $m$  и импульсом  $2mc$  ?

- а)  $2c$  ;
- б)  $4c$  ;
- в)  $c$  ;
- г)  $c/2$  ;
- д)  $0,89c$  .

5.22. Импульс релятивистской частицы не может быть больше:

- а)  $mc$  , где  $m$  его масса;
- б)  $E/c$ , где  $E$  его полная энергия;
- в)  $K/c$ , где  $K$  его кинетическая энергия;
- г) ни один из вариантов, но у импульса есть ограничение сверху;
- д) ни один из вариантов, у импульса нет ограничения сверху;

5.23. Фотон имеет импульс  $4 \cdot 10^{22}$  кг · м/с.

Чему равна его кинетическая энергия?

- а)  $6 \cdot 10^{-14}$  Дж;
- б)  $12 \cdot 10^{-14}$  Дж;
- в)  $12 \cdot 10^{-30}$  Дж;
- г)  $6 \cdot 10^{-30}$  Дж;

### Задание повышенной сложности

5.24\*. Релятивистская ракета начальной массы  $m_1$  груз массы  $m$  со скоростью  $v$  и продолжила движение со скоростью  $u$  (см. рис.). Выберите правильное уравнение, описывающее движение релятивистской ракеты, если оставшаяся масса ракеты равна  $m_2$  .

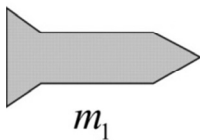
$$а) m_1 c^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} + \frac{m_2 c^2}{\sqrt{1 + \frac{u^2}{c^2}}} ;$$

$$\text{б) } m_1 c^2 = \frac{m c^2}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}};$$

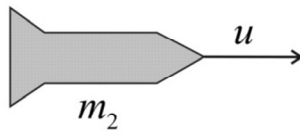
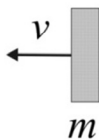
$$\text{в) } \frac{m_1 c^2}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_2 c^2}{\sqrt{1 + \frac{u^2}{c^2}}};$$

$$\text{г) } m_1 c^2 = \frac{m_2 c^2}{\sqrt{1 + \frac{u^2}{c^2}}};$$

$$\text{д) } \frac{m v}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_2 u}{\sqrt{1 + \frac{u^2}{c^2}}}.$$



1



2

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики. – Москва: Наука, 1998. – Кн. 1–5.
2. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – Москва: Высшая школа, 1997.
3. *Halliday D., Resnik R., Krane K.* Text bank physics. – New York: John Wiley&Sons Inc., 2002.
4. *Molitoris J.* GRE Physics – The Best Test Prep for the GRE-REA. – New Jersey: Research&Education Assoc., 1991.
5. *Заринг К.Л., Кочеткова В.Н., Грозина И.С., Юровская С.М.* Вопросы для программированного контроля знаний по физике: учебное пособие для студентов всех факультетов и всех форм обучения. – Новосибирск: Изд-во НЭТИ, 1973.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Кинематика материальной точки .....	4
1.1. Основные формулы .....	4
1.2. Тестовые задания .....	8
2. Динамика поступательного движения .....	17
2.1. Основные формулы .....	17
2.2. Тестовые задания .....	18
3. Работа и энергия. Законы сохранения. Механический удар .....	27
3.1. Основные формулы .....	27
3.2. Тестовые задания .....	30
4. Вращательное движение твердого тела .....	41
4.1. Основные формулы .....	41
4.2. Тестовые задания .....	43
5. Релятивистская механика .....	52
5.1. Основные формулы .....	52
5.2. Тестовые задания .....	54
Список литературы .....	61

**Орлова Наталья Борисовна  
Формусатик Игорь Борисович**

**СБОРНИК  
ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ  
ПО МЕХАНИКЕ**

**Учебное пособие**

Редактор *М.О. Мокшанова*  
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*  
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*  
Компьютерная верстка *Л.А. Веселовская*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции  
Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

---

Подписано в печать 25.09.2017. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 100 экз.  
Уч.-изд. л. 3,72. Печ. л. 4,0. Изд. № 396/16. Заказ № 1182. Цена договорная

---

Отпечатано в типографии  
Новосибирского государственного технического университета  
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20