



Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО  
«Уральский государственный горный  
университет»

# **ФИЗИКА**

**Часть 1**

**Механика, СТО, молекулярная физика и термодинамика**

*Сборник тестов*

**для подготовки к интернет-тестированию  
студентов всех направлений специалитета и бакалав-  
риата**

Екатеринбург

2013

Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО  
«Уральский государственный горный университет»

ОДОБРЕНО  
Методической комиссией ФГиГ  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.  
Председатель комиссии  
\_\_\_\_\_ проф. В. И. Бондарев

# **ФИЗИКА**

Часть 1

Механика, СТО, молекулярная физика и термодинамика

*Сборник тестов*  
**для подготовки к интернет-тестированию  
студентов всех направлений специалитета и бакалав-  
риата**

Рецензент: Виноградов В. Б., доц. каф. геофизики УГГУ,  
канд. геолого-минералогич. наук.

Сборник тестов рассмотрен на заседании кафедры физики 19 февраля 2013 г. (протокол № 63) и рекомендован для издания в УГГУ.

ФИЗИКА. Часть 1. Механика, СТО, молекулярная физика и  
Ф 48 термодинамика: сборник тестов для подготовки к интернет-  
тестированию студентов всех направлений специалитета и ба-  
калавриата / Л. П. Житова, С. А. Смольников, С. Н. Шитова, М.  
В. Калачева; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во  
УГГУ, 2013. — 83 с.

Сборник тестов содержит краткие теоретические сведения по разделам физики: механика, СТО, молекулярная физика и термодинамика. Тематическая структура определяется дидактическими единицами государственных образовательных стандартов.

Сборник тестов предназначен для студентов всех специальностей УГГУ для самостоятельной работы при подготовке к экзаменам по физике и интернет-тестированию. Рекомендуется для проверки знаний студентов на зачетах и экзаменах по физике в УГГУ.

© Житова Л. П., Смольников С. А.,  
Шитова С. Н., Калачева М. В., 2013  
© Уральский государственный гор-  
ный университет, 2013

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Все образовательные учреждения России каждые 5 лет проходят комплексную оценку своей деятельности, включающую в себя процедуры аттестации, аккредитации и лицензирования.

В связи с этим каждую сессию у студентов проводятся интернет-экзамены по нескольким предметам, в том числе и по физике, которые проходят в режиме «on line».

В связи с тем, что обучение студентов в вузах и ссузах реализуется по двум стандартам (второго и третьего поколений), НИИ мониторинга качества образования в 2012 году разработал проект «Федеральный Интернет-экзамен в сфере профессионального образования (ФЭПО): компетентностный (ФГОС) и традиционный (ГОС-II) подходы». Этот проект ориентирован на проведение внешней независимой оценки результатов обучения студентов в рамках требований ФГОС и ГОС-II. В настоящее время преимущество отдается компетентностному подходу.

### **Модели ПИМ (педагогических измерительных материалов) и оценка результатов**

В рамках *компетентностного подхода* используется **уровневая модель ПИМ**, представленная в трех взаимосвязанных блоках.

*Первый блок* – задания **на уровне «знать»** (с выбором правильного ответа из предложенных вариантов), в которых очевиден способ решения, усвоенный студентом при изучении дисциплины.

*Второй блок* – задания **на уровне «знать» и «уметь»** (с выбором одного или нескольких правильных ответов из предложенных вариантов или ввод ответа в поле), в которых нет явного указания на способ выполнения, и студент для их решения самостоятельно выбирает один из изученных способов.

*Третий блок* – задания **на уровне «знать», «уметь», «владеть»**. Он представлен *кейс-заданиями*, содержание которых предполагает использование комплекса умений и навыков для того, чтобы студент мог самостоятельно сконструировать способ решения. Кейс-задание представляет собой учебное задание, состоящее из описания реальной практической ситуации и совокупности сформулированных к ней вопросов.

В рамках *компетентностного подхода* используется **модель оценки результатов обучения**, в основу которой положена методология В. П. Беспалько.

Показатель результатов обучения студента	Уровни обученности
Менее 70 % баллов за задания блока 1	Первый
Не менее 70 % баллов за задания блока 1 и меньше 70 % баллов за задания каждого из блоков 2 и 3	Второй
Не менее 70 % баллов за задания каждого из блоков 1 и 2 и меньше 70 % баллов за задания блока 3 Или Не менее 70 % баллов за задания каждого из блоков 1 и 3 и меньше 70 % баллов за задания блока 2	Третий
Не менее 70 % за задания каждого из блоков 1, 2 и 3	Четвертый

В рамках *традиционного подхода* используется **инвариантная модель ПИМ**, основным структурным элементом которой является дидактическая единица (ДЕ) дисциплины, которая раскрывается заданиями одинаковой трудности по нескольким темам, что позволяет обеспечить полный охват содержания дисциплины.

В рамках *традиционного подхода* используется **модель оценки освоения дисциплины**, в основу которой положена оценка освоения всех дидактических единиц (ДЕ) дисциплины на уровне требований ГОС- II.

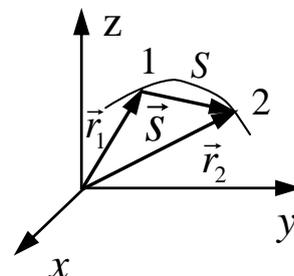
Более подробную информацию вы можете получить на сайте по адресу <http://www.i-fgos.ru/> или <http://фэпо.рф/>.

# I. МЕХАНИКА

## 1. Кинематика поступательного и вращательного движений

### Поступательное (прямолинейное) движение

Положение материальной точки в пространстве определяется *радиус-вектором*  $\vec{r}$ . Путь ( $S$ ) – длина траектории. Перемещение ( $\vec{S} = \Delta\vec{r}$ ) – кратчайшее расстояние между начальным и конечным положениями материальной точки. Для поступательного движения  $|\vec{S}| = S$ .



- **Средняя скорость:**

$$\vec{v}_{cp} = \frac{\vec{S}}{t}.$$

- **Мгновенная скорость** – первая производная перемещения по времени:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{S}'.$$

- **Среднее ускорение:**

$$\vec{a}_{cp} = \frac{\Delta\vec{v}}{t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}.$$

- **Мгновенное ускорение** – первая производная скорости по времени:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v}'.$$

- **Равномерное движение:**  $\vec{a} = 0$ ;  $\vec{v} = \text{const}$

координата

путь

скорость

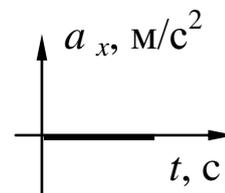
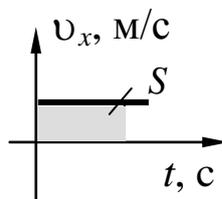
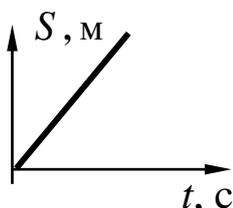
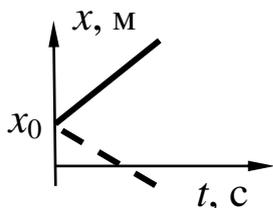
ускорение

$$x = x_0 \pm vt$$

$$S = vt$$

$$\vec{v} = \text{const}$$

$$\vec{a} = 0$$

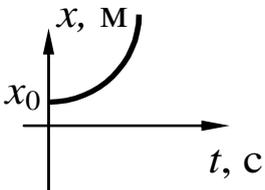
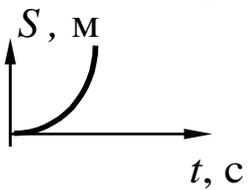
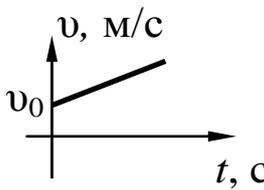
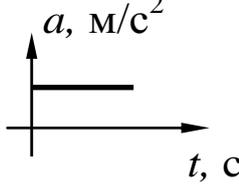
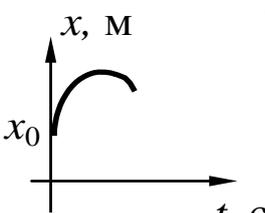
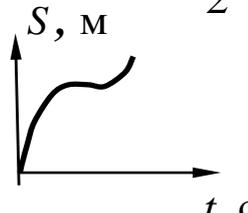
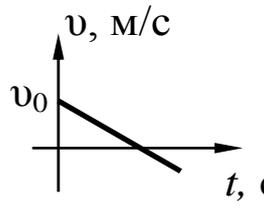
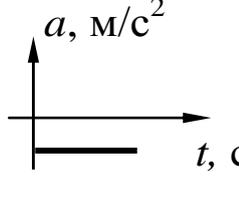


$x_0$  – начальная координата;

$v_x$  – проекция вектора скорости на ось OX.

Знак скорости определяет её направление.

- **Равнопеременное движение:**  $\vec{a} = \text{const}$ ;  $\vec{v} \neq \text{const}$ .

координата	путь	скорость	ускорение
$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$ 	$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ 	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ 	$a > 0$ 
$x = x_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}$ 	$S = v_0 t - \frac{at^2}{2}$ 	$\vec{v} = \vec{v}_0 - \vec{a}t$ 	$\vec{a} < 0$ 

Перемещение  $S$  можно найти, как площадь фигуры под графиком  $v = f(t)$ .

- **Свободное падение** – движение тела под действием одной только силы тяжести с ускорением  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  в отсутствии сопротивления воздуха. Уравнения движения:

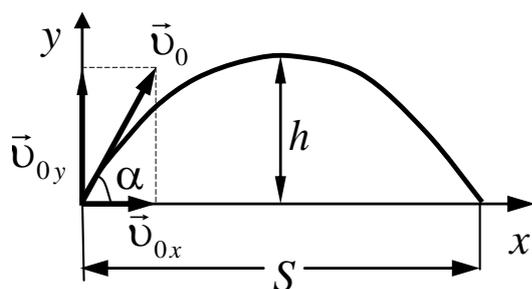
$$y = y_0 + v_{0y}t \pm \frac{g t^2}{2} - \text{координата};$$

$$h = v_{0y}t \pm \frac{g t^2}{2} - \text{высота подъёма (или падения)};$$

$$v_y = v_{0y} \pm g t - \text{скорость}.$$

Если тело движется *вниз*, то  $g > 0$ . Если тело движется *вверх*, то  $g < 0$ ; всегда есть начальная скорость  $v_{0y}$ , а в верхней точке  $v_y = 0$ .

- **Тело, брошенное под углом к горизонту**, участвует одновременно в двух движениях:



а) равномерное прямолинейное по горизонтали со скоростью

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha;$$

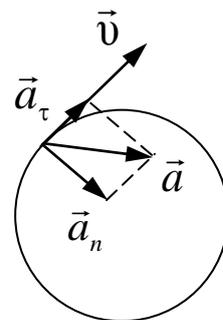
б) равнопеременное – по вертикали (вверх – замедленное, вниз – ускоренное) с начальной скоростью

$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha.$$

## Вращательное движение

- **Тангенциальное (касательное) ускорение** характеризует быстроту изменения *модуля* скорости, направлено по касательной к траектории:

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} = v'.$$



- **Нормальное (центростремительное) ускорение**, характеризует быстроту изменения *направления* скорости, направлено к центру вращения:

$$a_n = \frac{v^2}{R}.$$

- **Полное ускорение:**

$$\vec{a} = \vec{a}_{\tau} + \vec{a}_n;$$

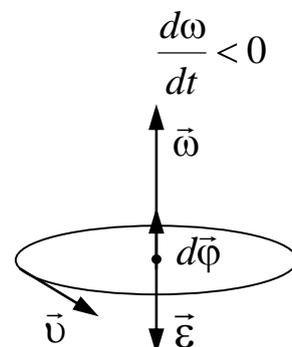
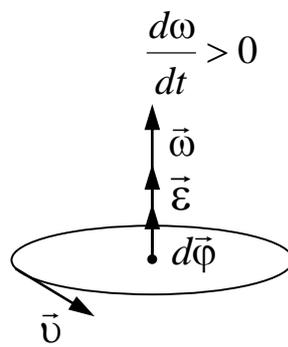
$$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2}.$$

- **Угловая скорость**  $\vec{\omega}$  – первая производная углового перемещения по времени:

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

- **Угловое ускорение**  $\vec{\varepsilon}$  – первая производная угловой скорости по времени (или вторая производная углового перемещения по времени):

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



Если движение *ускоренное*, то скорость и ускорение *совпадают* по направлению, а если *замедленное*, то направлены в *противоположные* стороны.

- **Кинематические уравнения вращательного движения:**

а) равномерное,  $\varepsilon = 0$ ;  $\omega = \text{const}$ ;

$$\varphi = \varphi_0 \pm \omega t;$$

б) равнопеременное,  $\varepsilon = \text{const}$ ;  $\omega \neq \text{const}$ ;

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2};$$

$$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t.$$

- **Период вращения  $T$**  – время одного оборота:

$$T = \frac{t}{N} = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega}.$$

- **Частота вращения  $f$**  - число оборотов за единицу времени:

$$f = \frac{N}{t} = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}.$$

**Формулы связи линейных и угловых величин:**

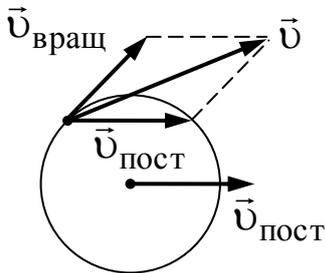
$$\varphi = \frac{S}{R};$$

$$\omega = \frac{v}{R};$$

$$a_n = \omega^2 R = \frac{v^2}{R};$$

$$a_\tau = \varepsilon \cdot R.$$

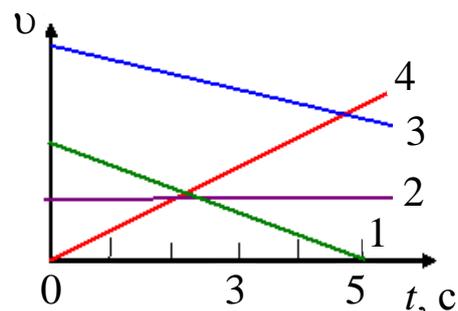
Если тело катится без скольжения, то все его точки (кроме центра масс) участвуют и в поступательном, и во вращательном движениях. Линейная скорость точек, участвующих во вращательном движении, зависит от радиуса вращения. Вектор линейной скорости точек  $\vec{v}_{\text{вращ}}$  направлен по касательной к траектории, а модуль на краю (ободе) равен модулю вектора поступательного движения центра масс. Полная скорость



$$\vec{v} = \vec{v}_{\text{пост}} + \vec{v}_{\text{вращ}}$$

## Тестовые задания

1.1. На рисунке изображены графики зависимости скорости тел от времени. Какое тело пройдет больший путь в интервале времени от 0 до 5 секунд?

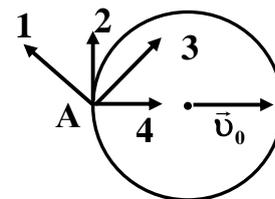


- 1) 1;                      2) 2;  
 3) 3;                      4) 4.  
 5) пути одинаковые.

1.2. Если человек поднимается по *равномерно* поднимающемуся со скоростью  $v$  эскалатору с ускорением  $a$  относительно эскалатора, то ускорение человека относительно Земли равно...

- 1)  $a + v$ ;              2)  $a - v$ ;              3)  $a$ ;                      4) 0.

1.3. Диск катится равномерно по горизонтальной поверхности со скоростью  $\vec{v}_0$  без проскальзывания. Вектор скорости в точке  $A$ , лежащей на ободе диска, ориентирован в направлении...



- 1) 3;                      2) 1;                      3) 2;                      4) 4.

1.4. Если  $a_\tau$  и  $a_n$  – тангенциальная и нормальная составляющие ускорения, то соотношения  $a_\tau = 0$ ,  $a_n = 0$  справедливы:

- 1) для прямолинейного равноускоренного движения;
- 2) прямолинейного равномерного движения;
- 3) равномерного криволинейного движения;
- 4) равномерного движения по окружности.

1.5. Если  $a_\tau$  и  $a_n$  – тангенциальная и нормальная составляющие ускорения, то соотношения  $a_\tau \neq 0$ ,  $a_n \neq 0$  справедливы:

- 1) для прямолинейного равноускоренного движения;
- 2) прямолинейного равномерного движения;
- 3) равнопеременного криволинейного движения;
- 4) равномерного движения по окружности.

1.6. Два тела брошены под одним и тем же углом к горизонту с начальными скоростями  $v_0$  и  $2v_0$ . Если сопротивлением воздуха пренебречь, то соотношение дальностей полета  $S_2/S_1$  равно...

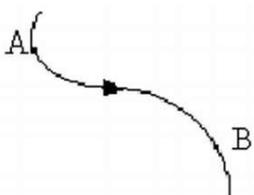
- 1) 4;                      2)  $\sqrt{2}$ ;                      3)  $2\sqrt{2}$ ;                      4) 2.

1.7. Для того, чтобы время полета было максимальным при данном модуле начальной скорости, тело следует бросить под углом к горизонту, равным...

- 1)  $30^\circ$ ;                      2)  $90^\circ$ ;                      3)  $45^\circ$ ;                      4)  $60^\circ$ .

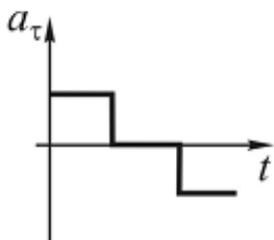
1.8. Первый камень массой  $m = 0,1$  кг брошен под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту с начальной скоростью  $v_0 = 10$  м/с. Второй такой же камень брошен вертикально вверх с начальной скоростью 5 м/с из того же начального положения. Максимальная высота подъема второго камня...

- 1) больше высоты подъема первого камня;  
 2) равна высоте подъема первого камня;  
 3) меньше высоты подъема первого камня.

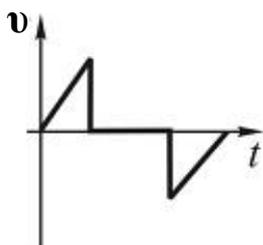


1.9. Тело движется с постоянной по величине скоростью по траектории, изображенной на рисунке. Для величины полного ускорения тела в точках  $A$  и  $B$  справедливо соотношение...

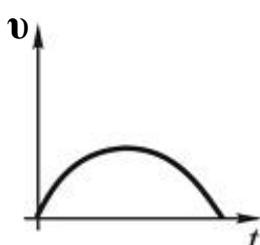
- 1)  $a_A = a_B \neq 0$ ;                      2)  $a_A = a_B = 0$ ;  
 3)  $a_A > a_B$ ;                      4)  $a_A < a_B$ .



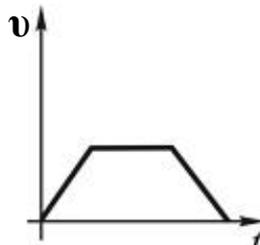
1.10. Тангенциальное ускорение точки меняется согласно графику. Такому движению соответствует зависимость скорости от времени...



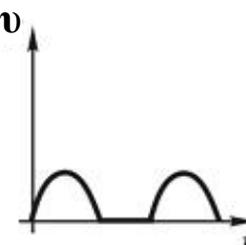
1)



2)

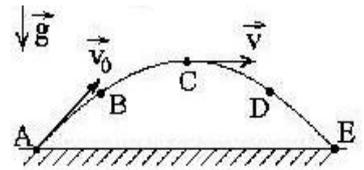


3)



4)

1.11. Камень бросили под углом к горизонту со скоростью  $v_0$ . Его траектория в однородном поле силы тяжести Земли изображена на рисунке. Сопротивления воздуха нет. Модуль тангенциального ускорения  $a_\tau$  на участке А-В-С ...

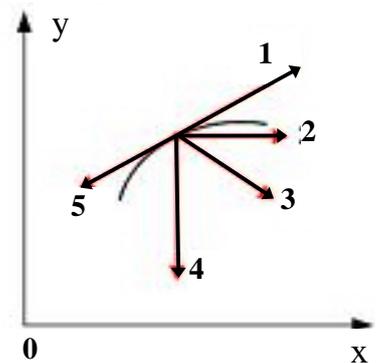


- 1) не изменяется;
- 2) уменьшается;
- 3) увеличивается.

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

- 1) 30 м;
- 2) 20 м;
- 3) 10 м;
- 4) 80 м.

1.13. Тело брошено под углом к горизонту и движется в поле силы тяжести Земли. На рисунке изображен восходящий участок траектории тела. Полное ускорение изображает вектор ...

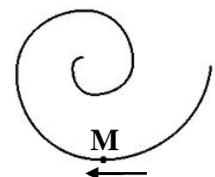


- 1) 5;
- 2) 2;
- 3) 3;
- 4) 4;
- 5) 1.

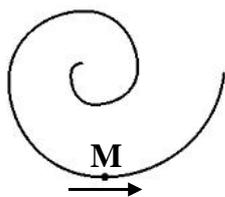
1.14. Частица из состояния покоя начала двигаться по дуге окружности радиуса  $R = 2 \text{ м}$  с угловой скоростью, изменяющейся по закону  $\omega = 2t^2$ . Отношение  $a_n/a_\tau$  через 2 секунды равно...

- 1) 1;
- 2) 4;
- 3) 2;
- 4) 8.

1.15. Точка  $M$  движется по спирали с постоянной по величине скоростью в направлении, указанном стрелкой на рисунке. При этом величина полного ускорения....



- 1) уменьшается;
- 2) не изменяется;
- 3) увеличивается;
- 4) равна нулю.



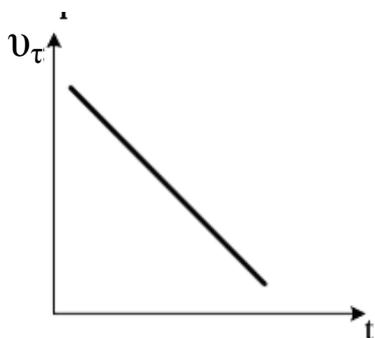
1.16. Точка  $M$  движется по спирали с *равномерно возрастающей* скоростью в направлении, указанном стрелкой на рисунке. При этом величина полного ускорения точки...

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1) увеличивается; | 2) не изменяется; |
| 3) равна нулю;    | 4) уменьшается.   |

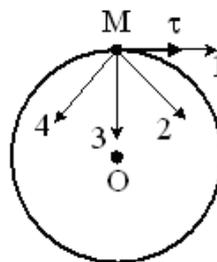
1.17. Точка  $M$  движется по спирали с *равномерно убывающей* скоростью в направлении, указанном стрелкой на рисунке предыдущего теста. При этом величина полного ускорения точки...

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1) увеличивается; | 2) не изменяется; |
| 3) равна нулю;    | 4) уменьшается.   |

1.18. Точка  $M$  движется по окружности со скоростью  $\vec{v}$ . На рис. *а* показан график зависимости проекции скорости  $v_\tau$  от времени ( $\vec{\tau}$  – единичный вектор положительного направления,  $v_\tau$  – проекция скорости на это направление). При этом вектор *полного ускорения* на рис. *б* имеет направление...

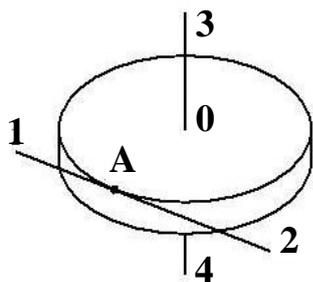


*а*



*б*

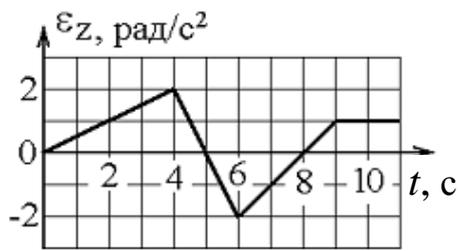
- |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|
| 1) 3; | 2) 2; | 3) 4; | 4) 1. |
|-------|-------|-------|-------|



1.19. Диск радиуса  $R$  вращается вокруг вертикальной оси равноускоренно по часовой стрелке. Укажите правильное направление вектора углового ускорения.

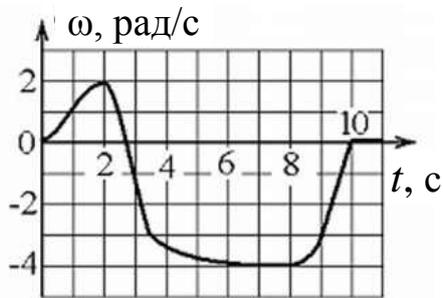
- |       |       |
|-------|-------|
| 1) 1; | 2) 2; |
| 3) 3; | 4) 4. |





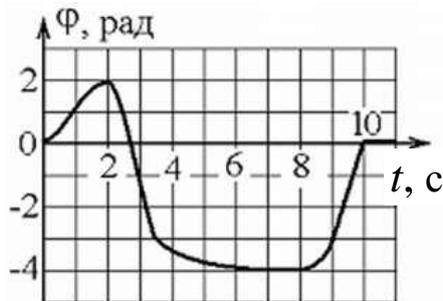
1.24. Диск радиуса  $R$  начинает вращаться из состояния покоя в горизонтальной плоскости вокруг оси  $Z$ , проходящей перпендикулярно его плоскости через его центр. Зависимость проекции углового ускорения от времени показана на графике. Тангенциальные ускорения точки на краю диска в моменты времени  $t_1 = 2$  с и  $t_2 = 10$  с ...

- 1) отличаются в 4 раза;                      2) отличаются в 16 раз;  
 3) равны друг другу;                      4) отличаются в 2,5 раза.



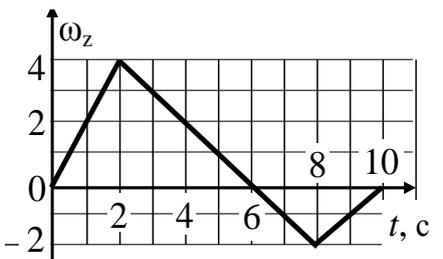
1.25. Твердое тело начинает вращаться вокруг оси  $Z$  с угловой скоростью, проекция которой изменяется во времени, как показано на графике. Угол поворота тела относительно начального положения будет наибольшим в момент времени, равный...

- 1) 2 с;                      2) 2,7 с;                      3) 10 с;                      4) 0 с.



1.26. Диск радиуса  $R$  начинает вращаться из состояния покоя вокруг перпендикулярной оси  $Z$ , проходящей через его центр. Зависимость угла поворота от времени показана на графике. Величины нормальных ускорений точки на краю диска в моменты времени  $t_1 = 2$  с и  $t_2 = 7$  с ...

- 1) равны нулю;  
 2) равны друг другу, но не равны нулю;  
 3) отличаются в 2 раза.



1.27. Твердое тело начинает вращаться вокруг оси  $Z$  с угловой скоростью, проекция которой изменяется, как показано на графике. Угловое перемещение (в радианах) в промежутке времени от 4 с до 8 с равно...

- 1) 0;                      2) 2;                      3) 4;                      4) 8.



## 2. Динамика точки и поступательного движения твердого тела

- **Импульс тела:**

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

- **Импульс силы:**

$$\vec{F} \cdot \Delta t.$$

- **Связь импульса силы с импульсом тела:**

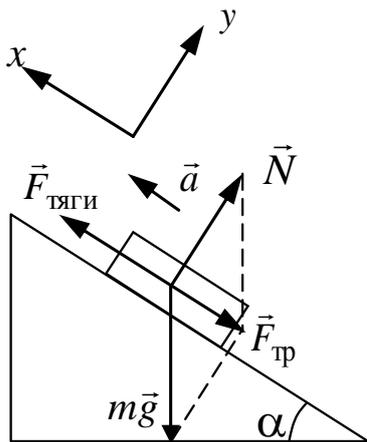
$$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p} = m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1),$$

$\Delta t$  – время действия силы.

- **Первый закон Ньютона** (закон инерции): существуют такие системы отсчета, относительно которых тело покоится или движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела или действие этих тел скомпенсировано. Такие системы отсчета называются *инерциальными*:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_i = 0.$$

- **Второй закон Ньютона** (основной закон динамики поступательного движения): ускорение, с которым движется тело относительно ИСО, прямо пропорционально равнодействующей силе  $\vec{F}_\Sigma$ , действующей на тело, и обратно пропорционально массе тела ( $m = \text{const}$ ). Направлено так же, как и равнодействующая сила:



$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_\Sigma}{m}, \text{ или } \vec{F}_\Sigma = \frac{d\vec{p}}{dt}, \text{ или } \vec{F}_\Sigma = m\vec{a},$$

$$\vec{F}_\Sigma = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n.$$

Например, для тела, движущегося вверх по наклонной плоскости с ускорением  $\vec{a}$  (см. рис.):

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

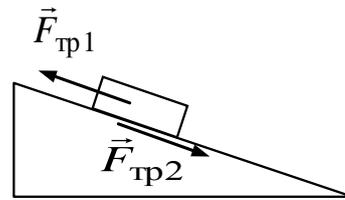
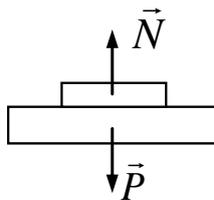
$$ox: F_{\text{тяги}} - F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha = ma$$

$$oy: N - mg \cos \alpha = 0.$$

- **Третий закон Ньютона:** силы, с которыми взаимодействуют две материальные точки (тела), равны по модулю и противоположны по направлению.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Например: вес тела  $\vec{P}$  (или сила давления тела на опору) приложен к *опоре*, а  $\vec{N}$  – сила реакции опоры, приложена к *телу*.



$$\vec{P} = -\vec{N}$$

$$\vec{F}_{\text{тр1}} = -\vec{F}_{\text{тр2}}$$

- **Центром масс** (или центром инерции) системы материальных точек называется воображаемая точка  $C$ , положение которой характеризует распределение массы системы. Положение центра масс определяется координатами:

$$x_C = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots + m_i x_i}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_i};$$

$$y_C = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + \dots + m_i y_i}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_i};$$

$$z_C = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2 + m_3 z_3 + \dots + m_i z_i}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_i}.$$

- **Скорость центра масс:**

$$\vec{v}_C = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 + \dots + m_i \vec{v}_i}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_i}.$$

### Силы в механике

**Сила гравитационного взаимодействия**  $\vec{F}_{\text{гр}}$  (сила притяжения) определяется законом всемирного тяготения:

$$\vec{F}_{\text{гр}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \frac{\vec{r}}{r},$$

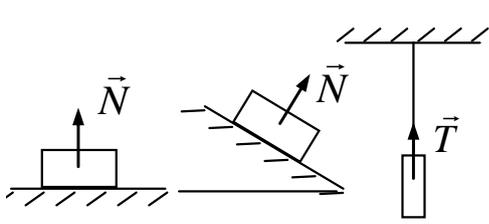
где  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$  – гравитационная постоянная;  
 $r$  – расстояние между центрами тел.

- **Сила тяжести**  $\vec{F}_{\text{тяж}}$  – сила, под действием которой все тела падают с одинаковым относительно поверхности Земли ускорением  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ :

$$\vec{F}_{\text{тяж}} = m \vec{g}.$$

- **Вес тела**  $\vec{P}$  – сила, с которой *тело* действует на *опору* или натягивает подвес, (приложена к опоре или подвесу):

$$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}).$$



- **Сила реакции опоры  $\vec{N}$  (или подвеса  $\vec{T}$ )** – сила, с которой опора или подвес действуют на тело. Направлена перпендикулярно опоре (или вдоль подвеса).

- **Сила трения  $\vec{F}_{\text{тр}}$**  – сила взаимодействия между соприкасающимися телами. Сила трения скольжения направлена против движения:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения, зависит от свойств поверхности.

Сила трения покоя направлена против предполагаемого движения и может принимать значения  $0 < F_{\text{тр покоя}} < F_{\text{max}}$ .

- **Сила упругости  $\vec{F}_{\text{упр}}$**  – сила, возникающая в теле при его упругой деформации. Определяется по закону Гука:

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\Delta\vec{x},$$

где  $k = \left| \frac{F_{\text{упр}}}{\Delta x} \right|$  – коэффициент упругости (жесткость);

$\Delta\vec{x}$  – абсолютное удлинение тела (пружины).

## Тестовые задания

### 2.1. Первый закон Ньютона...

- 1) справедлив только в инерциальных системах отсчета;
- 2) справедлив в любой системе отсчета;
- 3) утверждает невозможность ускоренного движения тела в инерциальных системах отсчета;
- 4) утверждает, что в инерциальных системах отсчета тело обязательно покоится или движется равномерно и прямолинейно.

### 2.2. Известно, что некоторая система отсчета $K$ инерциальна. Инерциальной является любая другая система отсчета,...

- 1) равномерно вращающаяся относительно системы  $K$ ;
- 2) движущаяся относительно системы  $K$  равномерно и прямолинейно;
- 3) движущаяся относительно системы  $K$  ускоренно и прямолинейно;
- 4) совершающая относительно системы  $K$  гармонические колебания.

### 2.3. Второй закон Ньютона в форме $m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$ , где $\vec{F}_i$ – силы, действующие на тело со стороны других тел, справедлив...

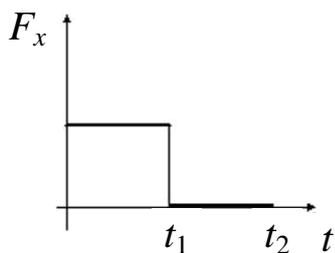
- 1) при скоростях движения тел как малых, так и сопоставимых со скоростью света в вакууме;
- 2) только для тел с постоянной массой;
- 3) для тел, как с постоянной, так и с переменной массой;
- 4) в любой системе отсчета.

### 2.4. Из второго закона Ньютона в форме $m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$ следует, что ...

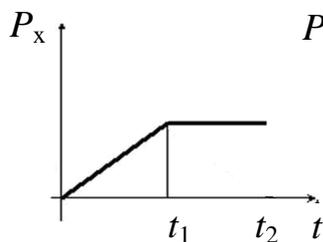
- 1) равнодействующая приложенных к телу сил зависит от его массы и ускорения;
- 2) произведение массы тела на его ускорение является определением силы в инерциальной системе отсчета;
- 3) масса тела зависит от равнодействующей приложенных к телу сил и сообщенного ему ускорения;
- 4) ускорение тела зависит от его массы и равнодействующей приложенных к нему сил.

2.5. Если импульс системы материальных точек в отсутствии внешних сил остается постоянным, то центр масс этой системы может двигаться...

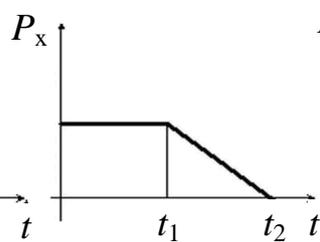
- 1) с переменным ускорением;
- 2) равномерно и прямолинейно;
- 3) с постоянным ускорением;
- 4) по окружности с постоянной скоростью.



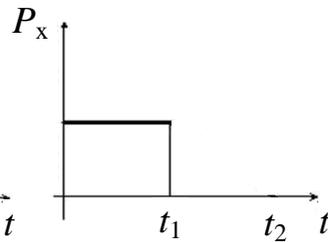
2.6. Материальная точка начинает двигаться под действием силы  $F_x$ , график которой представлен на рисунке. Правильно отражает зависимость величины проекции импульса  $P_x$  от времени график...



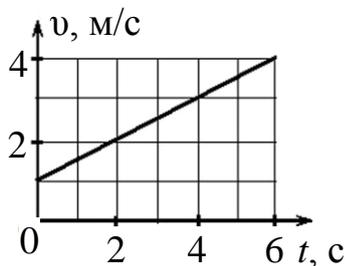
1)



2)



3)

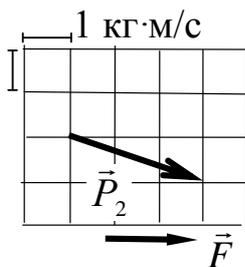


2.7. На рисунке приведен график зависимости скорости  $v$  тела от времени  $t$ . Если масса тела 2 кг, то изменение импульса – за 2 с равно...

- 1) 1 кг·м/с;
- 2) 2 кг·м/с;
- 3) 4 кг·м/с;
- 4) 0,5 кг·м/с.

2.8. На рисунке предыдущего теста приведен график зависимости скорости  $v$  тела от времени  $t$ . Если масса тела 1,5 кг, то изменение импульса тела за первые 4 с движения тела равно...

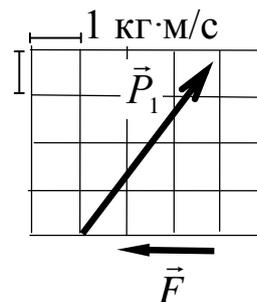
- 1) 4 кг·м/с;
- 2) 3 кг·м/с;
- 3) 6 кг·м/с;
- 4) 2 кг·м/с.



2.9. На теннисный мяч, летевший с импульсом  $\vec{P}_1$ , на короткое время  $\Delta t = 0,01$  с подействовал порыв ветра с постоянной силой  $F = 300$  Н, при этом импульс мяча стал равным  $\vec{P}_2$  (масштаб и направление указаны на рисунке). Величина импульса  $\vec{P}_1$  была равна...

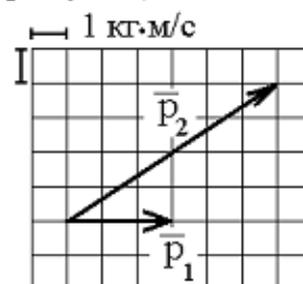
- 1) 1 кг·м/с;
- 2) 6,1 кг·м/с;
- 3) 33,2 кг·м/с;
- 4) 5 кг·м/с;
- 5) 6,2 кг·м/с.

2.10. Теннисный мяч летел с импульсом  $\vec{P}_1$  (масштаб и направление указаны на рис.). В горизонтальном направлении на короткое время  $\Delta t = 0,1$  с на мяч подействовал порыв ветра с постоянной силой  $F = 30$  Н. В результате действия силы величина импульса  $P_2$  стала равна...



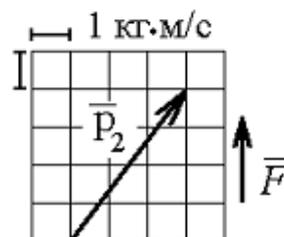
- 1) 5 кг·м/с;                      2) 8 кг·м/с;  
3) 4 кг·м/с;                      4) 25 кг·м/с.

2.11. Теннисный мяч летел с импульсом  $\vec{P}_1$  в горизонтальном направлении, когда теннисист произвел по мячу резкий удар со средней силой 50 Н. Изменившийся импульс мяча стал равным  $\vec{P}_2$  (масштаб и направление указаны на рисунке). Сила действовала на мяч в течение...



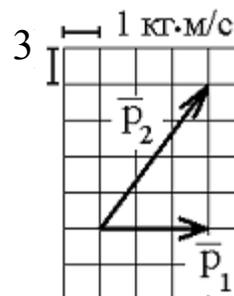
- 1) 0,5 с;                      2) 0,1 с;                      3) 0,05 с;                      4) 0,01 с.

2.12. На теннисный мяч, который летел с импульсом  $\vec{P}_1$ , на короткое время  $\Delta t = 0,1$  с подействовал порыв ветра с постоянной силой  $F = 40$  Н и импульс мяча стал равным  $\vec{P}_2$  (масштаб и направление указаны на рисунке). Величина импульса  $\vec{P}_1$  была равна...

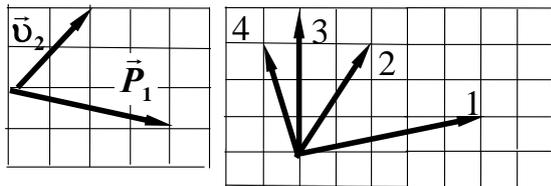


- 1) 5 кг·м/с;                      2) 3 кг·м/с;  
4) 0,5 кг·м/с;                      5) 43 кг·м/с.

2.13. Теннисный мяч летел с импульсом  $\vec{P}_1$  (масштаб и направления указаны на рисунке). Теннисист произвел по мячу резкий удар со средней силой 80 Н. Изменившийся импульс мяча стал равным  $\vec{P}_2$ . Сила действовала на мяч в течение...



- 1) 2 с;                              2) 0,5 с;                              3) 0,05 с;  
4) 0,3 с;                              5) 0,2 с.



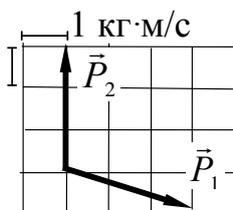
2.14. Импульс тела  $\vec{P}_1$  изменился под действием кратковременного удара, и скорость тела стала равной  $\vec{v}_2$ , как показано на рисунке. В момент удара сила *не могла* действовать в направлении...

в направлении...

- 1) 1, 2, 3;      2) 1, 2;      3) 1;      4) 2, 3, 4.

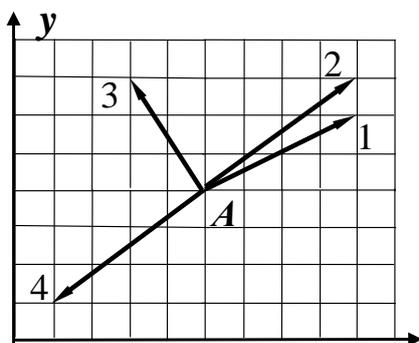
2.15. Для условия теста 2.14 сила *могла* действовать в направлении...

- 1) только 4;      2) только 1;      3) 1, 2;      4) 2, 3, 4.



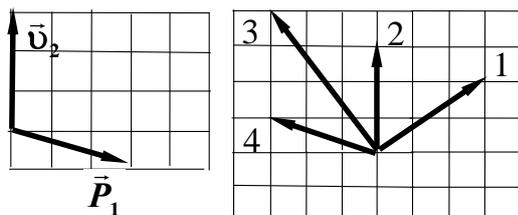
2.16. Теннисный мяч летел с импульсом  $\vec{P}_1$ , когда теннисист произвел по мячу резкий удар длительностью  $\Delta t = 0,1$  с. Изменившийся импульс мяча стал равным  $\vec{P}_2$  (масштаб и направления указаны на рисунке). Средняя сила удара равна...

- 1) 30 Н;      2) 5 Н;      3) 50 Н;      4) 23 Н.



2.17. Радиус-вектор частицы изменяется по закону  $\vec{r} = 2t^2\vec{i} + t^3\vec{j}$ . В момент времени  $t = 1$  с частица оказалась в некоторой точке  $A$ . Скорость частицы в этот момент времени имеет направление...

- 1) 1;      2) 2;  
3) 3;      4) 4.

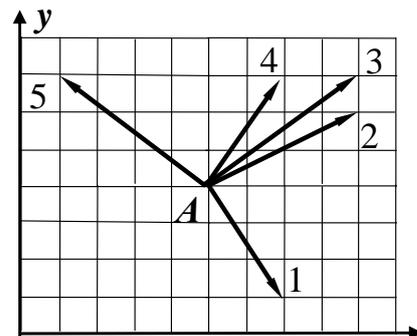


2.18. Импульс тела  $\vec{P}_1$  изменился под действием кратковременного удара и скорость стала равной  $\vec{v}_2$  (см. рис.). В момент удара сила *могла* действовать в направлении...

- 1) 3;      2) 3, 4;      3) 1;      4) 2, 3, 4.

2.19. Радиус-вектор частицы изменяется по закону  $\vec{r} = 2t^2\vec{i} + t^3\vec{j}$ . В момент времени  $t = 1$  с частица оказалась в некоторой точке  $A$ . Ускорение частицы в этот момент времени имеет направление...

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;  
4) 4;                      5) 5.



2.20. На неподвижный бильярдный шар налетел другой такой же. После удара шары разлетелись под углом  $90^\circ$  так, что импульс одного стал равен  $p_1 = 0,3$  кг·м/с, а другого –  $p_2 = 0,4$  кг·м/с. Налетающий шар имел импульс, равный...

- 1) 0,7 кг·м/с;      2) 0,25 кг·м/с;      3) 0,1 кг·м/с;      4) 0,5 кг·м/с.

2.21. На неподвижный бильярдный шар налетел другой такой же с импульсом  $p = 0,5$  кг·м/с. После удара шары разлетелись под углом  $90^\circ$  так, что импульс первого шара стал  $p_1 = 0,3$  кг·м/с. Импульс второго шара после удара стал равен...

- 1) 0,4 кг·м/с;      2) 0,3 кг·м/с;      3) 0,2 кг·м/с;      4) 0,5 кг·м/с.

2.22. Импульс материальной точки изменяется по закону  $\vec{P} = 10t\vec{i} + 3t^2\vec{j}$  (кг·м/с). Модуль силы, действующей на точку в момент времени  $t = 4$  с, равен...

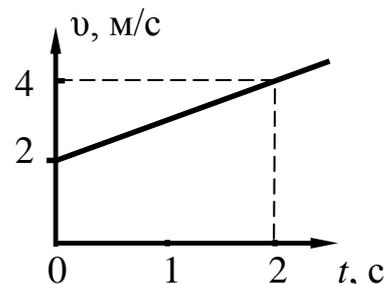
- 1) 34 Н;              2) 26 Н;              3) 58 Н;              4) 42 Н.

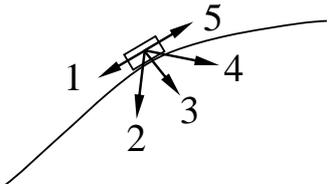
2.23. Импульс материальной точки изменяется по закону  $\vec{P} = 3t\vec{i} + 2t^2\vec{j}$  (кг·м/с). Модуль силы, действующей на точку в момент времени  $t = 1$  с, равен...

- 1) 7 Н;              2) 5 Н;              3) 3,14 Н;              4) 12 Н.

2.24. На рисунке приведён график зависимости скорости тела  $v$  от времени  $t$ . Масса тела 10 кг. Сила, действующая на тело, равна...

- 1) 0;                      2) 5 Н;                      3) 30 Н;  
4) 10 Н;                      5) 20 Н.





2.25. Автомобиль поднимается в гору по участку дуги с постоянной по величине *скоростью*. Равнодействующая всех сил, действующих на автомобиль, ориентирована в направлении...

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) 4;                      5) 5.

2.26. Автомобиль поднимается в гору по участку дуги с постоянным по величине *ускорением* (см. рис. предыдущего теста). Равнодействующая всех сил, действующих на автомобиль, ориентирована в направлении...

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) 4;                      5) 5.

2.27. Мальчик тянет санки массой  $m$  по горизонтальной поверхности с ускорением  $a$ , при этом веревка натягивается силой  $F$  под углом к горизонту  $\alpha$ . Коэффициент трения полозьев равен  $\mu$ . Уравнение движения санок по горизонтальной поверхности правильно записывается в виде...

- 1)  $F \cos \alpha - \mu mg + \mu F \sin \alpha = ma$ ;  
 2)  $F - \mu mg = ma$ ;  
 3)  $F \cos \alpha - \mu mg + F \sin \alpha = ma$ ;  
 4)  $F \sin \alpha - \mu mg + \mu F \cos \alpha = ma$ .

2.28. Человек входит в лифт, который затем начинает двигаться *равномерно* вверх, при этом вес человека...

- 1) не изменится;                      2) уменьшится;                      3) увеличится;  
 4) будет зависеть от скорости движения лифта.

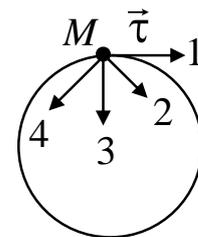
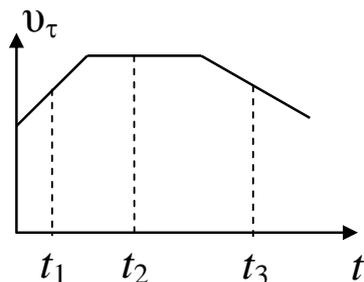
2.29. К потолку лифта, поднимающегося вверх с *замедлением*, на нити подвешено тело массой 10 кг. Модуль вектора скорости изменения импульса тела равен  $50 \text{ (кг}\cdot\text{м)/с}^2$ . Сила натяжения нити равна...

- 1) 150 Н;                      2) 50 Н;                      3) 100 Н;                      4) 0 Н.

2.30. Тело переместилось с экватора на широту  $60^\circ$ . Приложенная к телу центробежная сила инерции, связанная с вращением Земли,...

- 1) уменьшилась в 4 раза;                      2) увеличилась в 2 раза;  
 3) увеличилась в 4 раза;                      4) уменьшилась в 2 раза.

2.31. Точка  $M$  движется по окружности со скоростью  $\vec{v}$ . На рис.  $a$  показан график скорости  $v_\tau$  от времени ( $\vec{\tau}$  – единичный вектор положительного направления;  $v_\tau$  – проекция  $\vec{v}$  на это направление). На рис.  $b$  укажите направление силы, действующей на точку  $M$  в момент времени  $t_3$ .



$a$

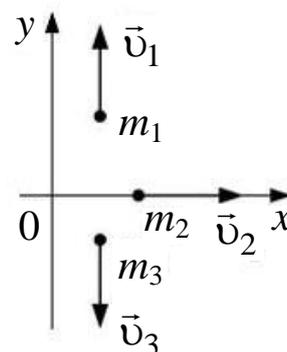
$b$

- 1) 4;                      2) 1;                      3) 3;                      4) 2.

2.32. Тело массой  $5 \text{ кг}$  движется равномерно по вогнутому мосту со скоростью  $10 \text{ м/с}$ . В нижней точке сила давления тела на мост вдвое превосходит силу тяжести. Радиус кривизны моста равен ...

- 1)  $5 \text{ м}$ ;                      2)  $10 \text{ м}$ ;                      3)  $3 \text{ м}$ ;                      4)  $1 \text{ м}$ .

2.33. Система состоит из трех шаров с массами  $m_1 = 1 \text{ кг}$ ,  $m_2 = 2 \text{ кг}$ ,  $m_3 = 3 \text{ кг}$ , которые движутся так, как показано на рисунке. Если скорости шаров  $v_1 = 3 \text{ м/с}$ ,  $v_2 = 2 \text{ м/с}$ ,  $v_3 = 1 \text{ м/с}$ , то величина скорости центра масс этой системы равна...



- 1)  $10 \text{ м/с}$ ;                      2)  $5/3 \text{ м/с}$ ;  
3)  $4 \text{ м/с}$ ;                      4)  $2/3 \text{ м/с}$ .

2.34. Механическая система состоит из трех частиц, массы которых  $m_1 = 0,1 \text{ г}$ ,  $m_2 = 0,2 \text{ г}$ ,  $m_3 = 0,3 \text{ г}$ . Первая частица находится в точке с координатами  $(1, 2, 0)$ , вторая – в точке с координатами  $(0, 2, 1)$ , третья – в точке с координатами  $(1, 0, 1)$  (координаты даны в сантиметрах). Тогда  $y_C$  – координата центра масс – равна...

- 1)  $1 \text{ см}$ ;                      2)  $2 \text{ см}$ ;                      3)  $3 \text{ см}$ ;                      4)  $5 \text{ см}$ .

2.35. Механическая система состоит из трех частиц, массы которых  $m_1 = 0,1 \text{ г}$ ,  $m_2 = 0,2 \text{ г}$ ,  $m_3 = 0,3 \text{ г}$ . Первая частица находится в точке с координатами  $(2, 3, 0)$ , вторая – в точке с координатами  $(2, 0, 1)$ , третья – в точке с координатами  $(1, 1, 0)$  (координаты даны в сантиметрах). Тогда  $y_C$  – координата центра масс – равна...

- 1)  $1 \text{ см}$ ;                      2)  $2 \text{ см}$ ;                      3)  $3 \text{ см}$ ;                      4)  $5 \text{ см}$ .

### 3. Динамика вращательного движения твердого тела

- **Момент инерции материальной точки  $J$**  характеризует инерционные свойства вращающейся точки:

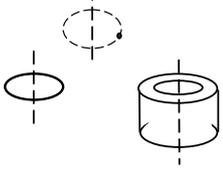
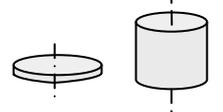
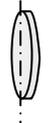
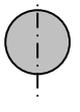
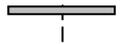
$$J = m \cdot r^2,$$

где  $m$  – масса точки;  $r$  – расстояние от оси вращения до точки.

**Момент инерции тела** (зависит от формы тела, распределения массы по объему и положения оси вращения):

$$J = \int_0^{\infty} r_i^2 dm_i .$$

#### Моменты инерции некоторых тел:

$J = m R^2$	Материальной точки, обруча, тонкостенного цилиндра, относительно оси, проходящей через центр симметрии тела ( $R$ – радиус).	
$J = \frac{1}{2} m R^2$	Круглого однородного диска, сплошного цилиндра, относительно оси, проходящей через центр симметрии тела.	
$J = \frac{mR^2}{4}$	Круглого однородного диска, относительно оси совпадающей с его диаметром.	
$J = \frac{2}{5} m \cdot R^2$	Однородного шара относительно оси, проходящей через его центр масс.	
$J = \frac{1}{12} m \ell^2$	Тонкого стержня относительно оси, проходящей через его центр тяжести ( $\ell$ длина стержня).	
$J = \frac{1}{3} m \ell^2$	Тонкого стержня относительно оси, проходящей через его конец.	

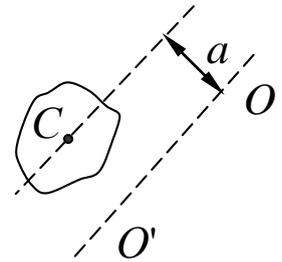
### Теорема Штейнера:

$$J_0 = J_C + ma^2,$$

где  $J_0$  – момент инерции тела относительно произвольной оси  $OO'$ ;

$J_C$  – момент инерции тела относительно оси, параллельной данной и проходящей через центр масс  $C$ ;

$a$  – расстояния между осями.

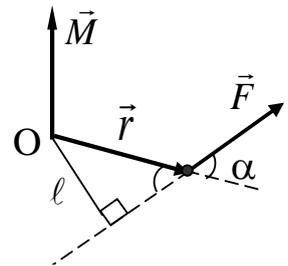


### Момент силы:

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

$$M = rF \sin \alpha;$$

$\ell = r \sin \alpha$  – плечо силы, кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения (линию действия силы можно продолжить в любую сторону). Направление определяется по правилу векторного произведения.



### Момент импульса материальной точки:

$$\vec{L} = [\vec{r} \times \vec{P}];$$

$$L = rP \sin 90^\circ = rP = rmv;$$

$\vec{r}$  – радиус-вектор, проведенный от оси вращения до заданной точки.

### Момент импульса тела:

$$\vec{L} = J \cdot \vec{\omega}.$$

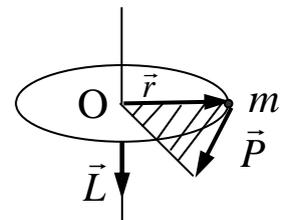
Направление совпадает с направлением угловой скорости.

**Основное уравнение динамики вращательного движения** (второй закон Ньютона для вращательного движения):

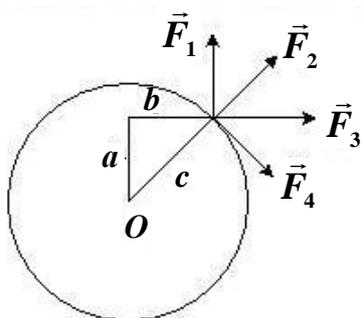
$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} \text{ или } \vec{M} = J\vec{\epsilon}.$$

**Связь момента силы с изменением момента импульса** (второй закон Ньютона в интегральной форме):

$$\vec{M} \cdot \Delta t = \Delta \vec{L}.$$



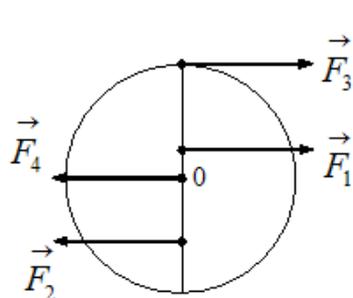
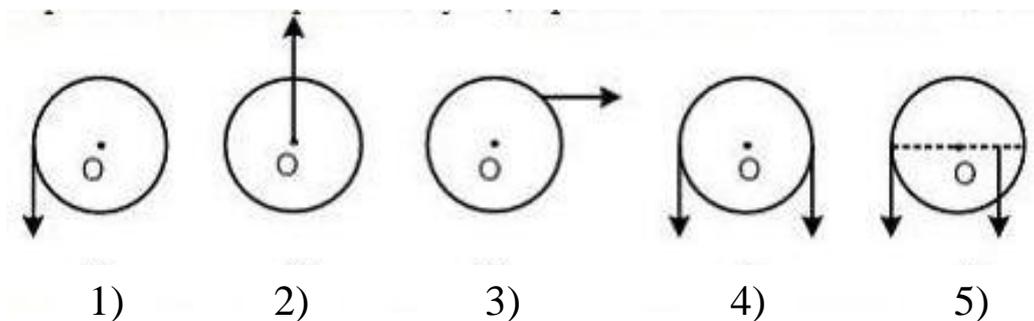
## Тестовые задания



3.1. К точке, лежащей на внешней поверхности диска, приложены 4 силы. Если ось вращения проходит через центр  $O$  диска перпендикулярно плоскости рисунка, то плечо силы  $\vec{F}_1$  равно....

- |          |          |
|----------|----------|
| 1) $b$ ; | 2) $a$ ; |
| 3) $0$ ; | 4) $c$ . |

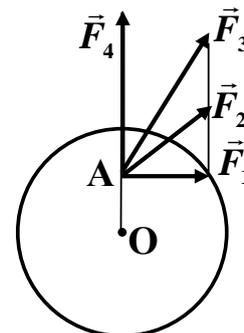
3.2. К диску, который может свободно вращаться вокруг оси, проходящей через точку  $O$ , прикладывают одинаковые по величине силы (см. рис.). Момент сил будет максимальным в положении...



3.3. Диск может вращаться вокруг оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. К нему прикладывают одну из сил ( $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$  или  $\vec{F}_4$ ), лежащих в плоскости диска и равных по модулю. Верным для угловых ускорений диска является соотношение...

- |  |   |
|--|---|
| 1) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4$ ; | 2) $\varepsilon_3 > \varepsilon_2 > \varepsilon_1, \varepsilon_4 = 0$ ; |
| 3) $\varepsilon_3 > \varepsilon_1, \varepsilon_2 > \varepsilon_4$ ;  | 4) $\varepsilon_3 < \varepsilon_2 < \varepsilon_1 < \varepsilon_4$ .    |

3.4. Диск может вращаться вокруг оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. В точке  $A$  прикладывают одну из сил ( $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$  или  $\vec{F}_4$ ), лежащих в плоскости диска. Не создает вращающего момента относительно рассматриваемой оси сила...

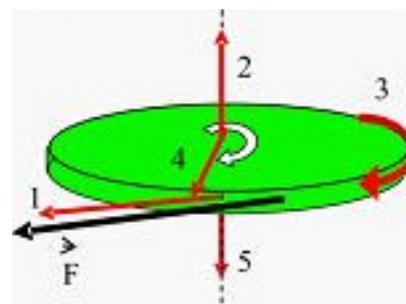


- 1)  $\vec{F}_1$ ;                      2)  $\vec{F}_2$ ;  
 3)  $\vec{F}_3$ ;                      4)  $\vec{F}_4$ .

3.5. Для условия предыдущего теста верным для моментов этих сил относительно рассматриваемой оси является соотношение...

- 1)  $M_1 = M_2 = M_3; M_4 = 0$ ;                      2)  $M_1 < M_2 < M_3 < M_4$ ;  
 3)  $M_1 > M_2 > M_3; M_4 = 0$ ;                      4)  $M_1 < M_2 < M_3; M_4 = 0$ .

3.6. Колесо вращается так, как показано на рисунке белой стрелкой. К ободу колеса приложена сила, направленная по касательной. Правильно изображает тангенциальное ускорение вектор ...

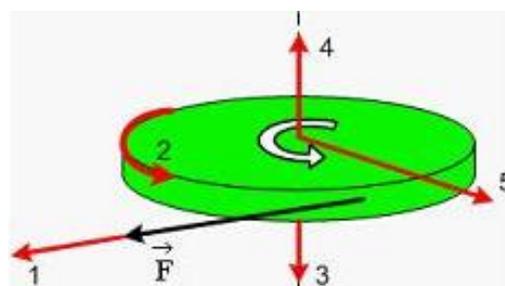


- 1) 2;                      2) 3;                      3) 5;  
 4) 1;                      5) 4.

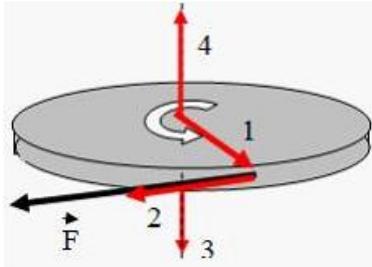
3.7. Для условия предыдущего теста правильно изображает угловое ускорение колеса вектор...

- 1) 2;                      2) 3;                      3) 5;                      4) 1;                      5) 4.

3.8. Колесо вращается так, как показано на рисунке белой стрелкой. К ободу колеса приложена сила, направленная по касательной. Правильно изображает угловое перемещение колеса вектор ...



- 1) 5;                      2) 2;                      3) 3;  
 4) 4;                      5) 1.



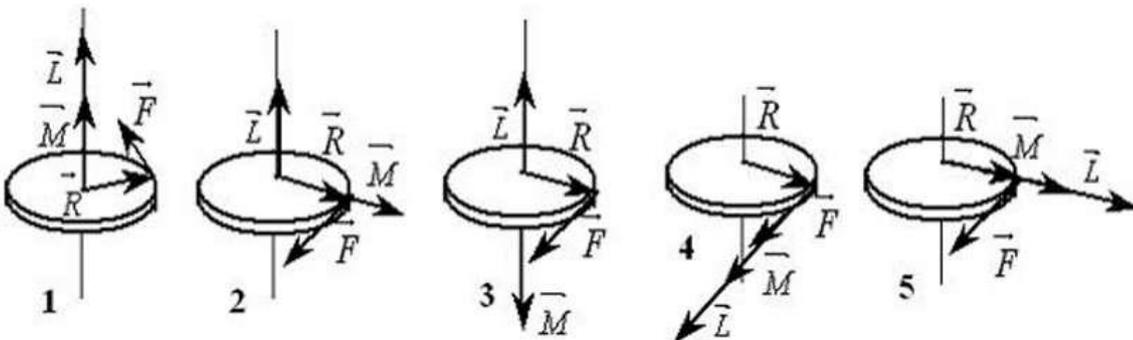
3.9. Диск равномерно вращается вокруг вертикальной оси в направлении, указанном на рисунке белой стрелкой. В некоторый момент времени к ободу диска была приложена сила, направленная по касательной. Правильно изображает направление момента силы  $\vec{F}$  вектор...

- 1) 3;                      2) 2;                      3) 4;                      4) 1.

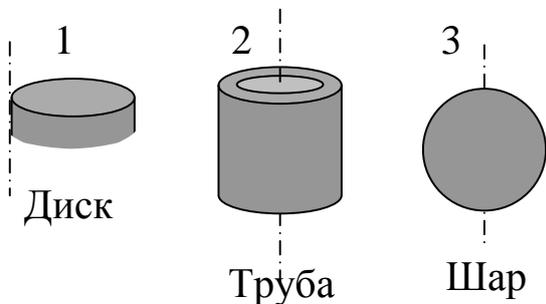
3.10. Для условия предыдущего теста правильно изображает направление углового ускорения диска вектор...

- 1) 1;                      2) 4;                      3) 3;                      4) 2.

3.11. Направления векторов момента импульса  $\vec{L}$  и момента силы  $\vec{M}$  для равнозамедленного вращения твердого тела правильно показаны на рисунке...



- 1) 4;                      2) 1;                      3) 3;                      4) 2;                      5) 5.

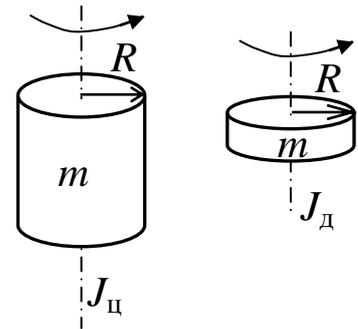


3.12. Рассматриваются три тела одинаковой массы: диск, тонкостенная труба и сплошной шар. Радиусы шара и оснований диска и трубы одинаковы. Верным для моментов инерции рассматриваемых тел относительно указанных осей является соотношение...

- 1)  $J_3 < J_2 < J_1$ ;                      2)  $J_3 < J_1 < J_2$ ;  
 3)  $J_1 < J_2 < J_3$ ;                      4)  $J_3 < J_1 = J_2$ .

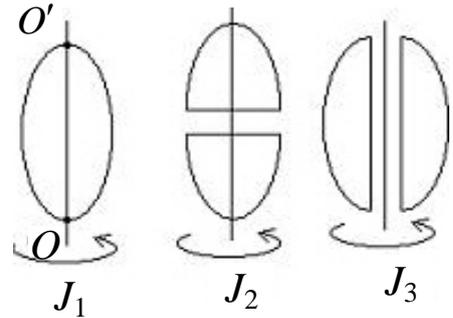
3.13. Диск и цилиндр имеют одинаковые массы и радиусы. Для их моментов инерции справедливо соотношение...

- 1)  $J_{\text{ц}} = J_{\text{д}}$ ;      2)  $J_{\text{ц}} > J_{\text{д}}$ ;      3)  $J_{\text{ц}} < J_{\text{д}}$ .



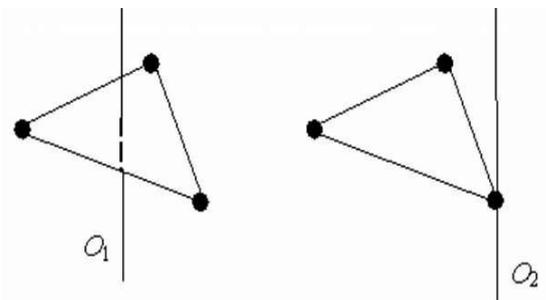
3.14. Из жести вырезали три одинаковые детали в виде эллипса. Две детали разрезали пополам вдоль разных осей симметрии. Затем все части отодвинули друг от друга на одинаковое расстояние и расставили симметрично относительно оси  $OO'$  (см. рис.). Для моментов инерции относительно оси  $OO'$  справедливо соотношение...

- 1)  $J_1 > J_2 > J_3$ ;      2)  $J_1 = J_2 < J_3$ ;  
3)  $J_1 < J_2 = J_3$ ;      4)  $J_1 < J_2 < J_3$ .



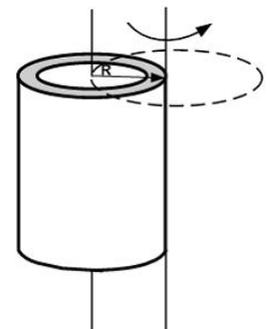
3.15. Три маленьких шарика расположены в вершинах правильного треугольника. Момент инерции этой системы относительно оси  $O_1$ , перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через его центр, —  $J_1$ . Момент инерции этой же системы относительно оси  $O_2$ , перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через один из шариков, —  $J_2$ . Справедливо утверждение...

- 1)  $J_1 = J_2$ ;      2)  $J_1 > J_2$ ;      3)  $J_1 < J_2$ .



3.16. При расчете моментов инерции тела относительно осей, не проходящих через центр масс, используют теорему Штейнера. Если ось вращения тонкостенной трубки перенести из центра масс на образующую (см. рис.), то момент инерции относительно новой оси увеличится в...

- 1) 4 раза;      2) 1,5 раза;      3) 2 раза;      4) 3 раза.



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

- 1) увеличится в 1,5 раза;                      2) увеличится в 2 раза;  
3) не изменится;                                4) уменьшится в 2 раза.

3.18. Если момент инерции тела увеличить в 2 раза и скорость его вращения увеличить в 2 раза, то момент импульса тела...

- 1) увеличится в 8 раз;                        2) увеличится в 4 раза;  
3) не изменится;                                4) увеличится в 2 раза.

3.19. Две материальные точки одинаковой массы движутся с одинаковой угловой скоростью по окружностям радиусами  $R_1 = 2R_2$ . При этом отношение моментов импульса точек  $L_1/L_2$  равно...

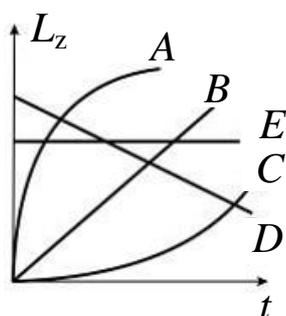
- 1) 1/2;    2) 2;    3) 4;    4) 1/4.

3.20. Момент импульса тела относительно неподвижной оси изменяется по закону  $L = A\sqrt{t}$ . Зависимость момента сил от времени имеет вид...

- 1)  $M = \frac{2A}{\sqrt{t}}$ ;                                      2)  $M = \frac{A}{2\sqrt{t}}$ ;                                      3)  $M = \frac{A}{\sqrt{t}}$ ;                                      4)  $M = \frac{2}{3}A\sqrt{t^3}$ .

3.21. Момент импульса тела изменяется по закону  $L(t) = t^2 - 6t + 8$ . Момент сил, действующих на тело, станет равен нулю через...

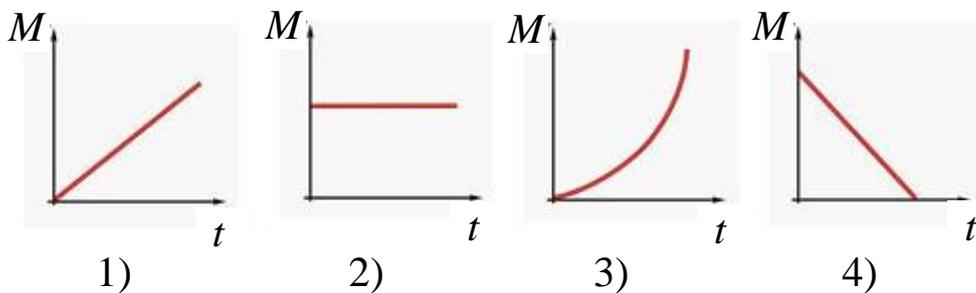
- 1) 1 с;    2) 2 с;    3) 4 с;    4) 3 с.



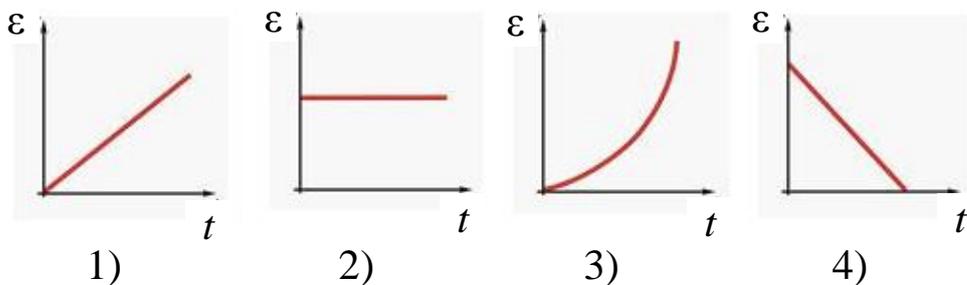
3.22. Диск вращается вокруг неподвижной оси с постоянной угловой скоростью. В некоторый момент времени на диск начинает действовать не изменяющийся со временем тормозящий момент. Зависимость момента импульса диска от времени, начиная с этого момента, представлена на рисунке линией...

- 1) B;    2) E;    3) C;  
4) A;    5) D.

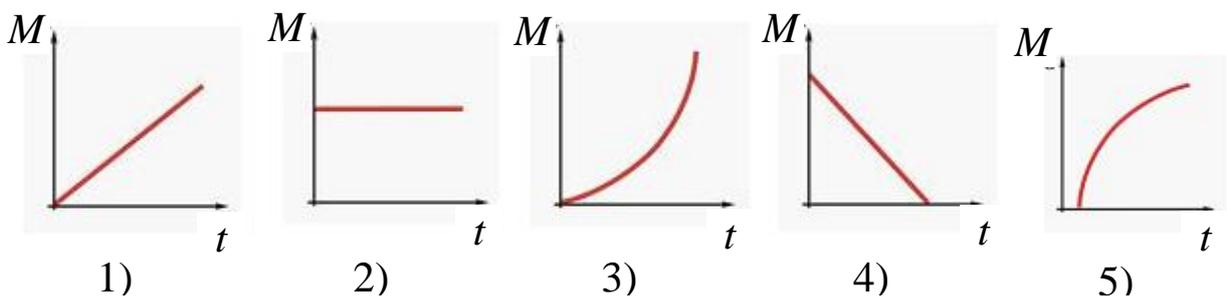
3.23. Момент импульса вращающегося тела изменяется по закону  $L = at^3$ , где  $a$  – некоторая положительная константа. Зависимость от времени момента сил, действующих на тело, определяется графиком...



3.24. Для условия предыдущего теста зависимость от времени углового ускорения определяется графиком...



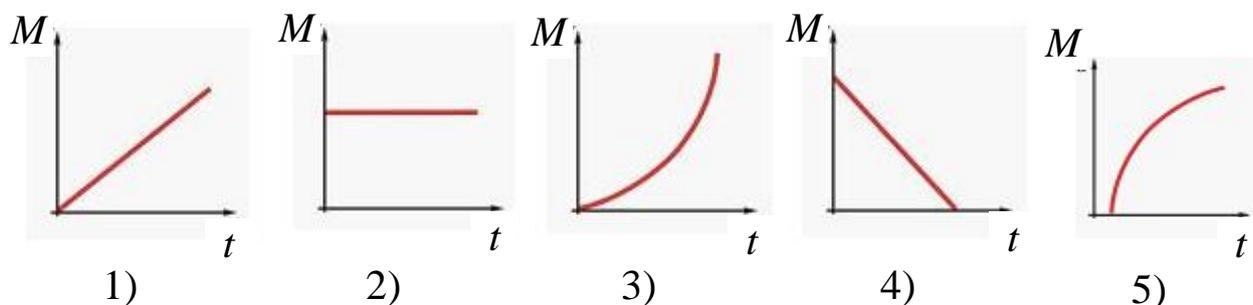
3.25. Момент импульса вращающегося тела изменяется по закону  $L = at^2$ , где  $a$  – некоторая положительная константа. Зависимость от времени момента сил, действующих на тело, определяется графиком...



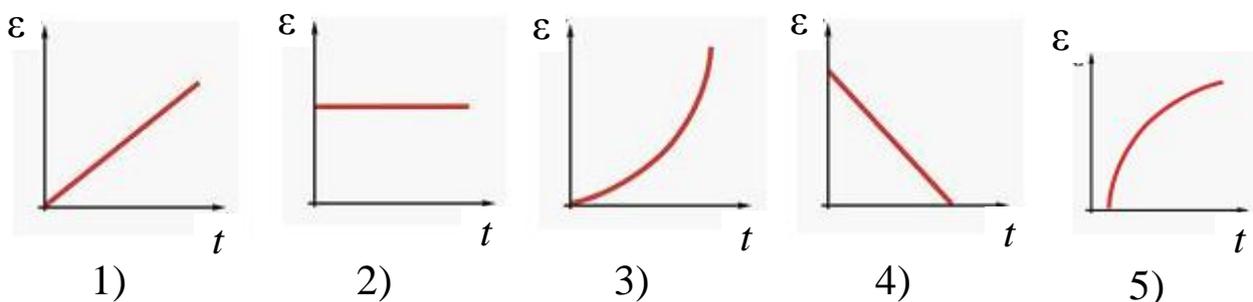
3.26. Абсолютно твердое тело вращается с угловым ускорением, изменяющимся по закону  $\beta = \beta_0 - \alpha t$ , где  $\alpha$  – некоторая положительная константа. Момент инерции тела остается постоянным в течение всего времени вращения. Зависимость от времени момента сил, действующих на тело, определяется графиком (рис. предыдущего теста)...

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) 4;                      5) 5.

3.27. Абсолютно твердое тело вращается с угловым ускорением, изменяющимся по закону  $\beta = \alpha t$ , где  $\alpha$  – некоторая положительная константа. Момент инерции тела остается постоянным в течение всего времени. Зависимость от времени момента сил, действующих на тело, определяется графиком...



3.28. Момент импульса вращающегося тела изменяется по закону  $L = \lambda t - at^2$ , где  $\lambda$  и  $a$  – некоторые положительные константы. Момент инерции тела остается постоянным в течение всего времени вращения. При этом угловое ускорение тела зависит от времени согласно графику...



3.29. Момент силы, приложенный к вращающемуся телу, изменяется по закону  $M = M_0 - \alpha t$ , где  $\alpha$  – некоторая положительная константа. Момент инерции тела остается постоянным в течение всего времени вращения. Зависимость углового ускорения от времени представлена на графике (см. рис. предыдущего теста)...

- 1) 1;      2) 2;      3) 3;      4) 4;      5) 5.

## 4. Работа и энергия

**Работа  $A$  постоянной силы:**

$$A = (\vec{F} \cdot \vec{S}) = F \cdot S \cos \alpha,$$

$\alpha$  – угол между силой  $\vec{F}$  и перемещением  $\vec{S}$ .

**Работа момента сил:**

$$A = (\vec{M} \cdot \vec{\varphi}) = M \cdot \varphi.$$

**Средняя мощность  $N$**  (при равномерном движении)

а) поступательного движения:

$$N = \frac{dA}{dt} = \frac{F \cdot dS \cos \alpha}{dt} = Fv \cos \alpha;$$

б) вращательного движения:

$$N = M \omega.$$

**Кинетическая энергия**

а) поступательного движения:

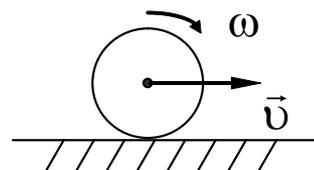
$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m};$$

б) вращательного движения:

$$W_k = \frac{J\omega^2}{2} = \frac{L^2}{2J};$$

в) тела, катящегося без скольжения:

$$W_k = W_{\text{пост}} + W_{\text{вр}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}.$$



**Потенциальная энергия**

а) упруго деформированного тела:

$$W_{p \text{ упр}} = \frac{kx^2}{2};$$

б) тела в гравитационном поле:

$$W_{p \text{ гр}} = -G \frac{m_1 m_2}{r};$$

в) тела, поднятого над землей:

$$W_p = mgh.$$

**Полная механическая энергия системы тел** – сумма потенциальной и кинетической энергий:

$$W = W_K + W_P.$$

**Силы бывают:**

а) *консервативными*, работа которых *не зависит* от формы траектории, а зависит от начального и конечного положений тела (силы тяготения, тяжести, упругости и т. д.). Работа консервативной силы по замкнутой траектории равна нулю;

б) *неконсервативными*, работа которых *зависит* от формы траектории (сила тяги, трения, сопротивления и т. д.).

**Фундаментальная связь между потенциальной энергией и консервативной силой:**

$$\vec{F} = -\text{grad}W_p = -\vec{\nabla}W_p,$$

где  $\vec{\nabla} = \left( \frac{\partial}{\partial x} \cdot \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \vec{k} \right)$  – оператор Гамильтона (набла – оператор);

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – единичные векторы (орты) вдоль координатных осей.

Если потенциальная энергия зависит только от одной переменной (координаты), то связь упрощается:

$$\vec{F}_x = - \frac{\partial W_p}{\partial x} \cdot \vec{i}.$$

Если система *замкнута* и *консервативна*, то в ней выполняются *законы сохранения полной механической энергии и импульса*:

$$W = W_k + W_p = \text{const};$$

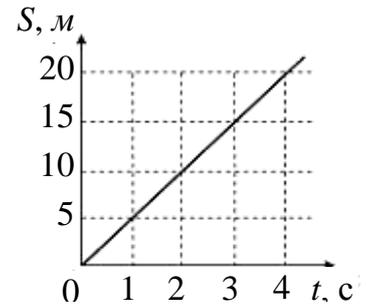
$$\vec{P}_{\Sigma} = \text{const}.$$

Если в системе действуют *внешние* или *консервативные* силы, то их работа совершается за счет *убыли* полной механической энергии:

$$A = -\Delta W = -(W_2 - W_1) = W_1 - W_2.$$

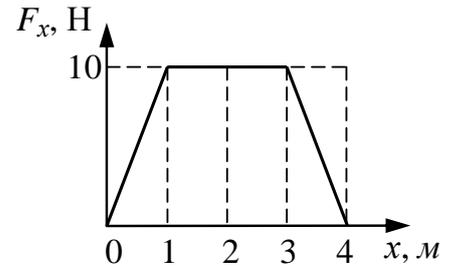
## Тестовые задания

4.1. Зависимость перемещения тела массой 4 кг от времени представлена на рисунке. Кинетическая энергия тела в момент времени  $t = 3$  с равна...



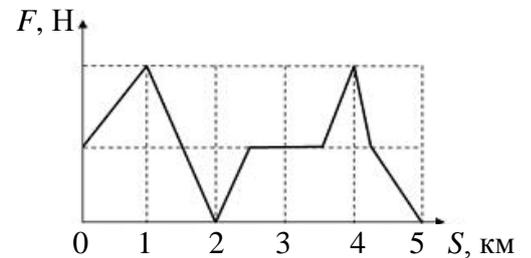
- 1) 50 Дж;            2) 25 Дж;  
3) 20 Дж;            4) 40 Дж;            5) 15 Дж.

4.2. Тело движется под действием силы, зависимость проекции которой от координаты представлена на графике. Работа силы на пути 4 м равна...



- 1) 10 Дж;            2) 20 Дж;  
3) 30 Дж;            4) 40 Дж.

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

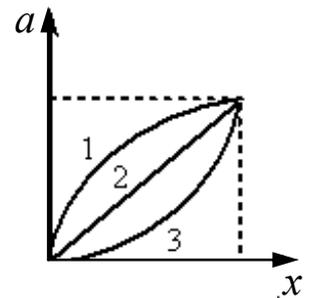


- 1) (0 – 1) км;        2) (4 – 5) км;  
3) (1 – 2) км;        4) (3 – 4) км;        5) (2 – 3) км.

4.4. Тело массой 1 кг разгоняется под действием постоянной силы из состояния покоя до скорости 4 м/с. При этом работа силы равна...

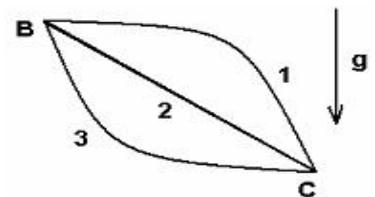
- 1) 16 Дж;            2) 8 Дж;            3) 4 Дж;            4) 2 Дж.

4.5. На рисунке изображены зависимости ускорений трех прямолинейно движущихся материальных точек одинаковой массы от координаты  $x$ . Для работ сил, действующих на точки, справедливо следующее соотношение:



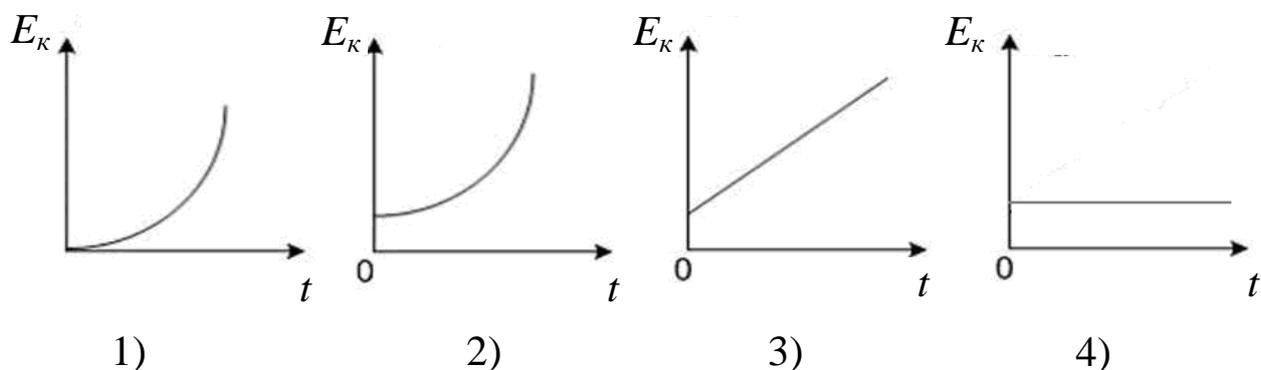
- 1)  $A_1 > A_2 > A_3$ ;            2)  $A_1 < A_2 < A_3$ ;  
3)  $A_1 < A_2 > A_3$ ;            4)  $A_1 > A_2 < A_3$ .

4.6. Соотношение работ силы тяжести при движении тела из точки  $B$  в точку  $C$  по разным траекториям имеет вид...

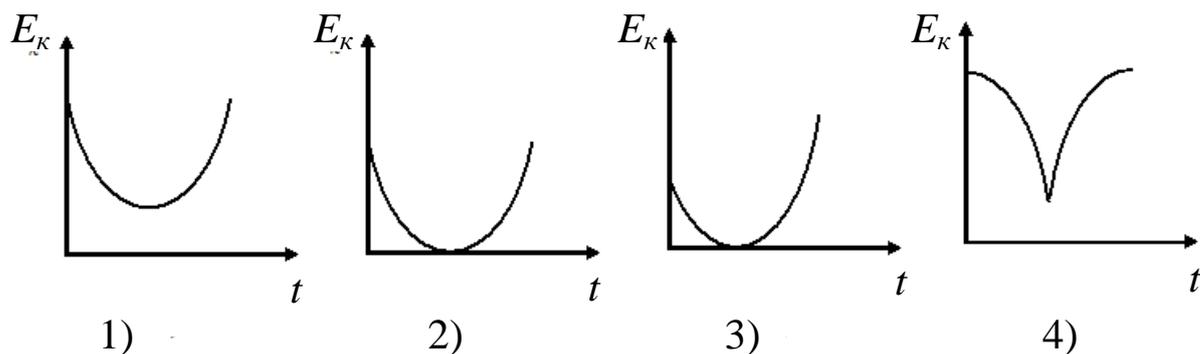


- 1)  $A_1 > A_2 > A_3$ ;            2)  $A_1 = A_2 = A_3 = 0$ ;  
3)  $A_1 < A_2 < A_3$ ;            4)  $A_1 = A_2 = A_3 \neq 0$ .

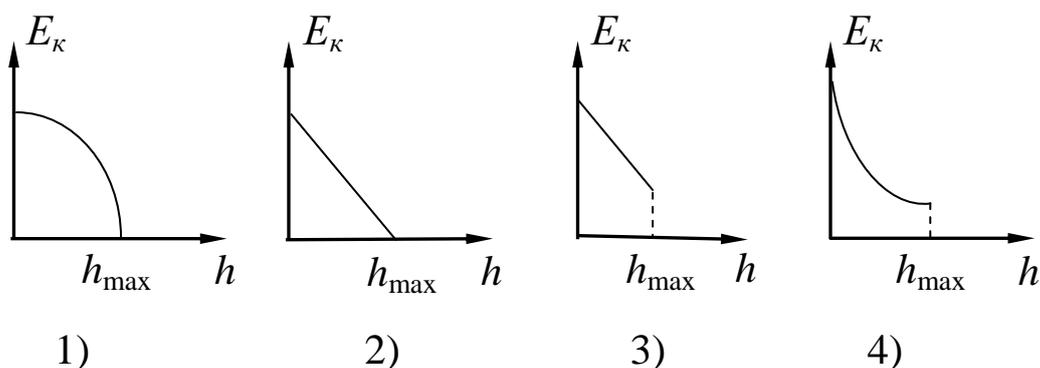
4.7. Тело брошено горизонтально с некоторой высоты с начальной скоростью. Если сопротивлением воздуха пренебречь, то график зависимости кинетической энергии от времени имеет вид...



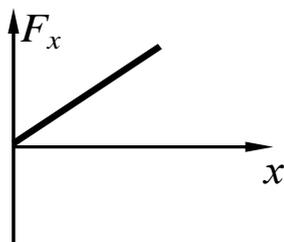
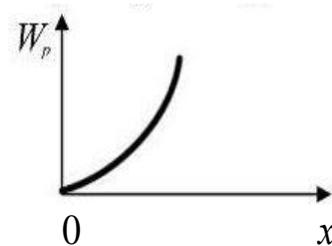
4.8. График зависимости кинетической энергии от времени для тела, брошенного с поверхности земли под некоторым углом к горизонту, имеет вид, показанный на рисунке...



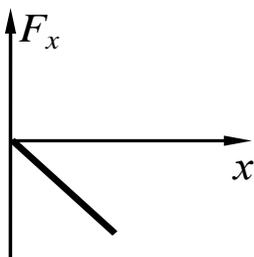
4.9. График зависимости кинетической энергии тела, брошенного с поверхности земли под некоторым углом к горизонту, от высоты подъема имеет вид, показанный на рисунке...



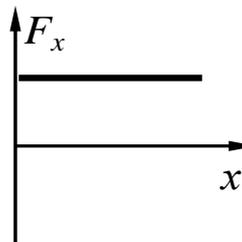
4.10. В потенциальном поле сила  $\vec{F}$  пропорциональна градиенту потенциальной энергии  $W_p$ . Если график зависимости потенциальной энергии  $W_p$  от координаты  $x$  имеет вид, представленный на рисунке, то зависимость проекции силы  $F_x$  на ось  $x$  будет...



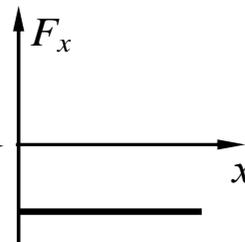
1)



2)

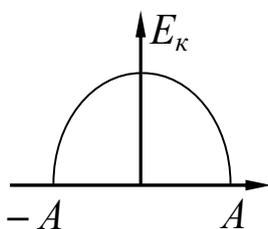
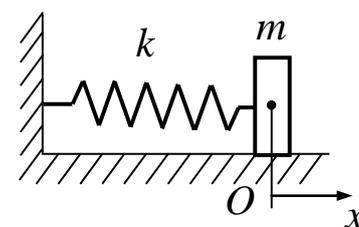


3)

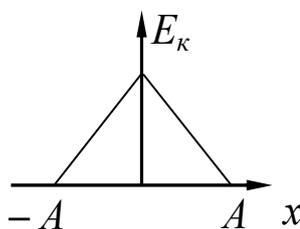


4)

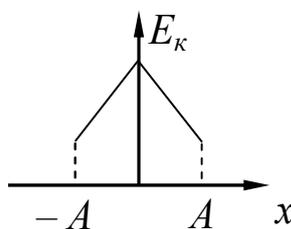
4.11. Тело массы  $m$ , прикрепленное к пружине с жесткостью  $k$ , может без трения двигаться по горизонтальной поверхности (пружинный маятник). График зависимости кинетической энергии тела от величины его смещения из положения равновесия имеет вид, показанный на рисунке...



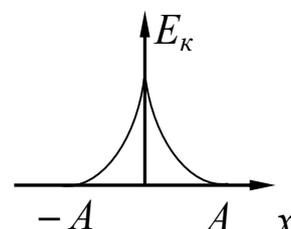
1)



2)



3)



4)

4.12. Тело массой  $m = 100$  г бросили с поверхности Земли с начальной скоростью  $10$  м/с под углом  $30^\circ$  к горизонту. Если пренебречь сопротивлением воздуха, средняя мощность, развиваемая силой тяжести за время падения тела, равна...

- 1) 1,25 Дж/с;    2) 0 Дж/с;    3) 5 Дж/с;    4) 10 Дж/с.

4.13. Потенциальная энергия частицы задается функцией  $U = -3xy^2z$ .  $F_y$  – компонента вектора силы, действующей на частицу в точке  $A(3, 1, 2)$ , равна...

- 1) 36 Н;    2) 6 Н;    3) 4 Н;    4) 18 Н.

4.14. Потенциальная энергия частицы задается функцией  $U = -xyz$ .  $F_x$  – компонента вектора силы, действующей на частицу в точке  $A$  (1, 2, 3), равна...

- 1) 3 Н;                    2) 6 Н                    3) 4 Н;                    4) 5 Н.

4.15. Потенциальная энергия частицы в некотором силовом поле задается функцией  $U = -x^2 - y^2 + z^2$ . Работа потенциальной силы по перемещению частицы из точки  $B$  (1, 1, 1) в точку  $C$  (2, 2, 2) равна...

- 1) 3 Дж;                    2) 6 Дж;                    3) 4 Дж;                    4) 0 Дж.

4.16. Потенциальная энергия частицы в некотором силовом поле задается функцией  $U = x^2 + y^2 - z^2$ .  $F_z$  – компонента вектора силы, действующей на частицу в точке  $A$  (1, 2, 3), равна...

- 1) 12 Н;                    2) 6 Н;                    3) 4 Н;                    4) 3 Н.

4.17. Частица движется в двумерном поле, причем ее потенциальная энергия задается функцией  $U = -2xy$ . Работа сил поля по перемещению частицы из точки  $C$  (1, 1, 1) в точку  $B$  (2, 2, 2) равна...

- 1) 6 Дж;                    2) 3 Дж;                    3) 12 Дж;                    4) 0 Дж.

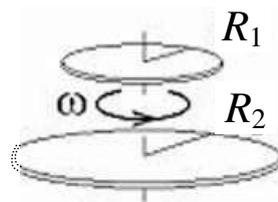
4.18. Частица совершила перемещение по некоторой траектории из точки  $M$  (3, 2) в точку  $N$  (2, -3). При этом на нее действовала сила  $\vec{F} = 4\vec{i} - 5\vec{j}$ . Работа, совершенная этой силой, равна...

- 1) 7 Дж;                    2) 25 Дж;                    3) 21 Дж;                    4) 19 Дж.

4.19. Частица совершила перемещение по некоторой траектории из точки 1 с радиус – вектором  $\vec{r}_1 = \vec{i} - 3\vec{j}$  в точку 2 с радиус – вектором  $\vec{r}_2 = 3\vec{i} + 2\vec{j}$ . При этом на нее действовала сила  $\vec{F} = 3\vec{i} + 4\vec{j}$ . Работа, совершенная этой силой, равна...

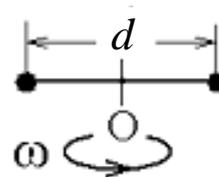
- 1) 17 Дж;                    2) 20 Дж;                    3) 26 Дж;                    4) 29 Дж.

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, его радиус возрастает до  $R_2 = 2R_1$ . Для того чтобы раскрутить его до той же угловой скорости, необходимо совершить работу...



- 1)  $A_2 = 0,5A_1$ ;    2)  $A_2 = 4A_1$ ;    3)  $A_2 = 2A_1$ ;    4)  $A_2 = 0,25A_1$ .

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 (см. рис). 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...

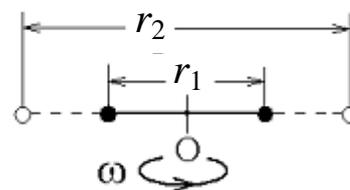


- 1)  $Q_1/3$ ;    2)  $Q_1/9$ ;    3)  $9Q_1$ ;    4)  $3Q_1$ .

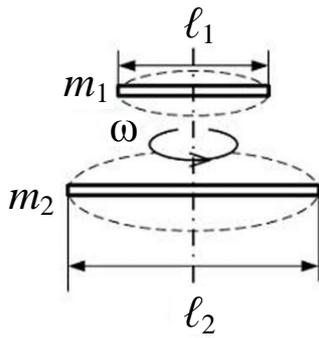
4.22. Для условия предыдущего теста при остановке стержня выделилось 4 Дж теплоты. Если стержень раскручен до угловой скорости  $\omega_2 = 0,5 \omega_1$ , то при остановке стержня выделится количество теплоты равное...

- 1) 1 Дж;    2) 4 Дж;    3) 8 Дж;    4) 16 Дж.

4.23. Два маленьких массивных шарика закреплены на невесомом стержне на расстоянии  $r_1$  друг от друга (см. рис.). Стержень может вращаться без трения в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей посередине. Стержень раскрутили из состояния покоя до угловой скорости  $\omega$ , при этом была совершена работа  $A_1$ . Шарика раздвинули на расстояние  $r_2 = 2r_1$  и раскрутили до той же угловой скорости. При этом была совершена работа...



- 1)  $A_2 = 4A_1$ ;    2)  $A_2 = A_1/2$ ;    3)  $A_2 = A_1/4$ ;    4)  $A_2 = 2A_1$ .

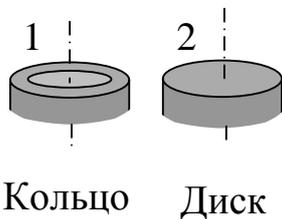


4.24. Для того чтобы раскрутить стержень массой  $m_1$  и длиной  $l_1$  (см. рис.) вокруг вертикальной оси, проходящей через его середину (см. рис.), до угловой скорости  $\omega$ , необходимо совершить работу  $A_1$ . Чтобы раскрутить до той же угловой скорости стержень массой  $m_2 = 2m_1$  и длиной  $l_2 = 2l_1$  необходимо совершить работу большую, чем  $A_1$  в...

- 1) 2 раза;      2) 4 раза;      3) 8 раз;      4) 6 раз.

4.25. Обруч массой  $m = 0,3$  кг и радиусом  $R = 0,5$  м привели во вращение, сообщив ему энергию вращательного движения 1200 Дж и опустили на пол так, что его ось вращения оказалась параллельной плоскости пола. Если обруч начал двигаться без проскальзывания, имея кинетическую энергию поступательного движения 200 Дж, то сила трения совершила работу, равную...

- 1) 1400 Дж;      2) 1000 Дж;      3) 600 Дж;      4) 800 Дж.



4.26. На рисунке показаны тела одинаковой массы и размеров, вращающиеся вокруг вертикальной оси с одинаковой частотой. Момент импульса первого тела  $L_1 = 0,1$  Дж·с. Если  $m = 1$  кг,  $R = 10$  см, то кинетическая энергия второго тела равна...

- 1) 750 мДж;      2) 125 мДж;      3) 500 мДж;      4) 250 мДж.

## 5. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии

**Закон сохранения импульса:** полный импульс замкнутой системы есть величина постоянная

$$\vec{P}_{\Sigma} = \sum m_i \vec{v}_i = \text{const.}$$

Если система замкнута хотя бы вдоль одного направления, то закон сохранения импульса может быть применен не для полного импульса, а для его проекции на это направление.

**Закон сохранения момента импульса:** полный момент импульса замкнутой системы есть величина постоянная

$$\vec{L}_{\Sigma} = \sum J_i \vec{\omega}_i = \text{const.}$$

Законы сохранения импульса и момента импульса справедливы и в случае, если система не замкнута, но равнодействующая всех внешних сил равна нулю.

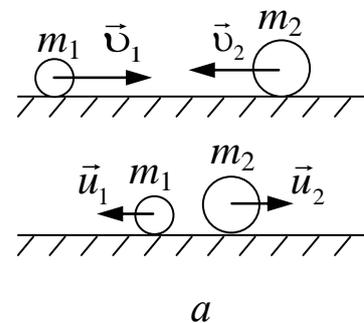
**Закон сохранения полной механической энергии:** полная механическая энергия замкнутой консервативной системы есть величина постоянная

$$W = W_k + W_p = \text{const.}$$

- **Абсолютно упругий удар** – это такой удар, после которого тела движутся с разными скоростями (рис. а).

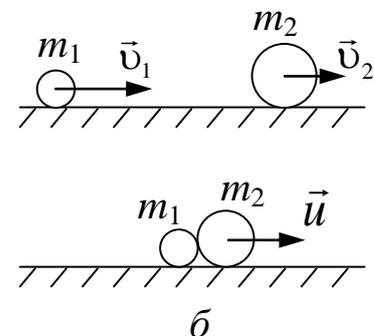
При абсолютно упругом ударе импульс и энергия сохраняются:

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2; \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}. \end{cases}$$



- **Абсолютно неупругий удар** – это такой удар, после которого тела движутся с одной и той же общей скоростью (рис. б).

При абсолютно неупругом ударе импульс сохраняется, а полная механическая энергия не сохраняется, часть кинетической энергии переходит в тепловую ( $Q$ ):



$$\begin{aligned} m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 &= (m_1 + m_2) \vec{u}; \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} &= \frac{(m_1 + m_2) u^2}{2} + Q. \end{aligned}$$

## Аналогия между характеристиками поступательного и вращательного движения

ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ		ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ	
Перемещение	$d\vec{S}$	Угловое перемещение	$d\vec{\phi}$
Скорость	$\vec{v} = \frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{S}'$	Угловая скорость	$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\phi}}{dt} = \vec{\phi}'$
Ускорение	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v}' = \vec{S}''$	Угловое ускорение	$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{\omega}' = \vec{\phi}''$
Равномерное $a = 0; v = \text{const}$	$x = x_0 + vt$	Равномерное $\varepsilon = 0;$ $\omega = \text{const}$	$\varphi = \varphi_0 + \omega t$
Равнопеременное $a = \text{const};$ $v \neq \text{const}$	$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$ $v = v_0 + at$	Равнопеременное $\varepsilon = \text{const};$ $\omega \neq \text{const}$	$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$ $\omega = \omega_0 + \varepsilon t$
Масса	$m$	Момент инерции	$J$
Импульс	$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$	Момент импульса	$\vec{L} = J \cdot \vec{\omega}$
Сила	$\vec{F}$	Момент силы	$\vec{M}$
Второй закон Ньютона	$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$	Второй закон Ньютона	$\vec{M} = J \cdot \vec{\varepsilon}$
	$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$		$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$
	$\vec{F}_\Sigma \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}$		$\vec{M} \cdot \Delta t = \Delta \vec{L}$
Кинетическая энергия	$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$	Кинетическая энергия	$W_k = \frac{J\omega^2}{2} = \frac{L^2}{2J}$
Работа	$dA = (\vec{F} \cdot d\vec{x})$	Работа	$dA = (\vec{M} \cdot d\vec{\phi})$
Мощность	$N = (\vec{F} \cdot \vec{v})$	Мощность	$N = (\vec{M} \cdot \vec{\omega})$

## Тестовые задания

5.1. Навстречу друг другу летят шарики из пластилина. Модули их импульсов равны соответственно  $4 \cdot 10^{-2}$  кг м/с и  $3 \cdot 10^{-2}$  кг м/с. Столкнувшись, шарики слипаются. Импульс слипшихся шариков равен....

- |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| 1) $2 \cdot 10^{-2}$ кг·м/с; | 2) $10^{-2}$ кг·м/с;         |
| 3) $5 \cdot 10^{-2}$ кг·м/с; | 4) $7 \cdot 10^{-2}$ кг·м/с. |

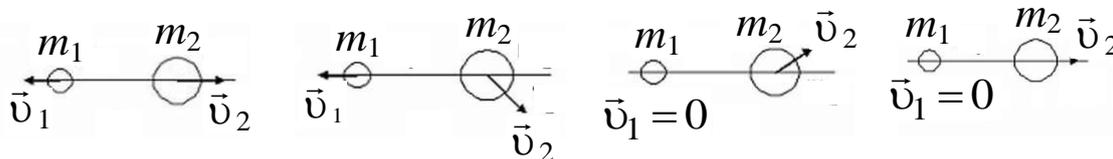
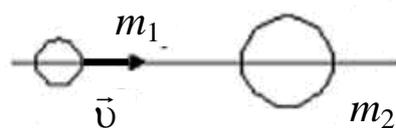
5.2. Вдоль оси ОХ навстречу друг другу движутся 2 частицы с массами  $m_1 = 2$  г и  $m_2 = 6$  г и скоростями  $v_1 = 9$  м/с и  $v_2 = 3$  м/с соответственно. Проекция скорости центра масс на ось ОХ (в системе СИ) равна...

- |         |          |          |          |
|---------|----------|----------|----------|
| 1) 0 м; | 2) 18 м; | 3) 36 м; | 4) 25 м. |
|---------|----------|----------|----------|

5.3. Горизонтально летящая пуля пробивает брусок, лежащий на гладкой горизонтальной поверхности. В системе «пуля – брусок»...

- 1) импульс сохраняется, механическая энергия не сохраняется;
- 2) импульс и механическая энергия сохраняются;
- 3) импульс не сохраняется, механическая энергия сохраняется;
- 4) импульс и механическая энергия не сохраняются.

5.4. Шар массой  $m_1$ , со скоростью  $v$ , налетает на неподвижный шар массой  $m_2$ . Правильный вариант направления скоростей  $v_1$  и  $v_2$  после упругого столкновения показан на рисунке...



1)

2)

3)

4)



Рис. 1

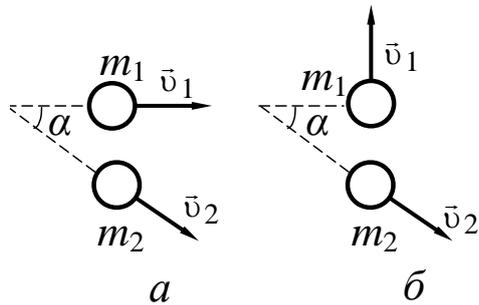


Рис. 2

5.5. Шар массой  $m_1$ , движущийся со скоростью  $\vec{v}$ , налетает на покоящийся шар массой  $m_2$  (рис. 1). Могут ли после соударения скорости шаров  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  иметь направления, показанные на рис. 2 (а и б)?

- 1) могут в случае б;
- 2) могут в случае а;
- 3) могут в обоих случаях;
- 4) не могут ни в одном из указанных случаев.

5.6. Фигурист вращается вокруг вертикальной оси с определенной частотой. Если он прижмет руки к груди, уменьшив тем самым свой момент инерции относительно оси вращения в 1,5 раза, то ...

- 1) частота вращения фигуриста и его кинетическая энергия вращения возрастут в 1,5 раза;
- 2) частота вращения фигуриста и его кинетическая энергия вращения уменьшатся в 1,5 раза;
- 3) частота вращения фигуриста уменьшится в 1,5 раза, а его кинетическая энергия вращения - в 2,25 раза;
- 4) частота вращения фигуриста возрастет в 1,5 раза, а его кинетическая энергия вращения - в 2,25 раза.

5.7. Фигурист вращается вокруг вертикальной оси с определенной частотой. Если он разведет руки в стороны, увеличив тем самым свой момент инерции относительно оси вращения в 2 раза, то ...

- 1) частота вращения фигуриста и его кинетическая энергия вращения возрастут в 2 раза;
- 2) частота вращения фигуриста и его кинетическая энергия вращения уменьшатся в 2 раза;
- 3) частота вращения фигуриста уменьшится в 2 раза, а его кинетическая энергия вращения - в 4 раза;
- 4) частота вращения фигуриста возрастет в 2 раза, а его кинетическая энергия вращения - в 4 раза.

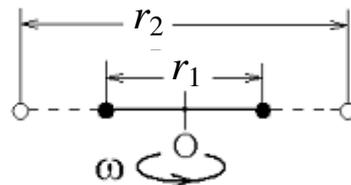
5.8. Человек сидит в центре вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси карусели и держит в руках длинный шест за его середину. Если он повернет шест из вертикального положения в горизонтальное, то частота вращения в конечном состоянии ...

- 1) уменьшится;
- 2) увеличится;
- 3) не изменится.

5.9. Человек сидит в центре вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси карусели и держит в руках вертикально тяжелый шест за его середину. Если он сместит шест, оставляя его в вертикальном положении, в направлении от центра карусели, то частота вращения в конечном состоянии...

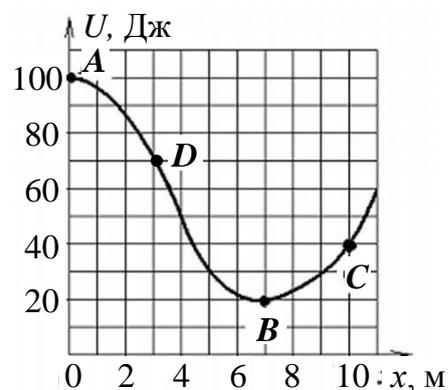
- 1) уменьшится;                      2) не изменится;                      3) увеличится.

5.10. Два маленьких массивных шарика закреплены на невесомом длинном стержне на расстоянии  $r_1$  друг от друга, как показано на рисунке. Стержень вращается без трения в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину, с угловой скоростью  $\omega_1$ . Если шарики раздвинуть симметрично на расстояние  $r_2 = 2r_1$ , то угловая скорость  $\omega_2$  будет равна ...



- 1)  $\omega_2 = 4\omega_1$ ;                      2)  $\omega_2 = \frac{1}{2}\omega_1$ ;                      3)  $\omega_2 = \frac{1}{4}\omega_1$ ;                      4)  $\omega_2 = 2\omega_1$ .

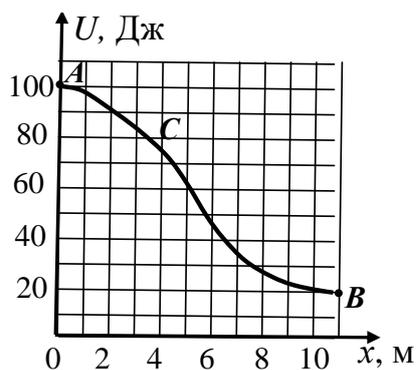
5.11. Небольшая шайба начинает движение без начальной скорости по гладкой горке из точки  $A$ . Сопротивление воздуха мало. Зависимость потенциальной энергии шайбы от координаты изображена на графике  $U(x)$ . Кинетическая энергия шайбы в точке  $C$



- 1) в 2 раза меньше, чем в точке  $B$ ;  
 2) в 1,33 раза меньше, чем в точке  $B$ ;  
 3) в 2 раза больше, чем в точке  $B$ ;  
 4) в 1,33 раза больше, чем в точке  $B$ .

5.12. Для условия предыдущего теста скорость шайбы в точке  $C$ :

- 1) в 2 раза больше, чем в точке  $D$ ;  
 2) в  $\sqrt{2}$  раза больше, чем в точке  $D$ ;  
 3) в  $\frac{\sqrt{7}}{2}$  раза больше, чем в точке  $D$ ;  
 4) в 4 раза больше, чем в точке  $D$ .



5.13. С ледяной горки с шероховатым участком  $AC$  из точки  $A$  без начальной скорости скатывается тело. Зависимость потенциальной энергии от координаты изображена на графике  $U(x)$ . При движении тела сила трения совершила работу 20 Дж. После неупругого удара со стеной в точке  $B$  выделилось количество теплоты, равное...

- 1) 120 Дж;      2) 60 Дж;      3) 80 Дж;      4) 100 Дж.

5.14. Тело массой 2 кг поднято над Землей. Его потенциальная энергия 400 Дж. Если силами сопротивления воздуха можно пренебречь, скорость, с которой тело упадет на Землю, составит...

- 1) 14 м/с;      2) 10 м/с;      3) 20 м/с;      4) 40 м/с.

5.15. Обруч скатывается без проскальзывания с горки высотой 2,5 м. Если трением пренебречь, то скорость обруча у основания горки равна...

- 1) 5 м/с;      2)  $5\sqrt{2}$  м/с;      3)  $\frac{10}{\sqrt{2}}$  м/с;      4)  $\frac{5}{\sqrt{2}}$  м/с.

5.16. Диск и обруч, с одинаковыми массами и радиусами, вкатываются без проскальзывания с одинаковыми скоростями на горку. Если трением и сопротивлением воздуха можно пренебречь, то отношение высот  $h_1/h_2$ , на которые они смогут подняться, равно...

- 1)  $\frac{7}{10}$ ;      2)  $\frac{14}{15}$ ;      3) 1;      4)  $\frac{3}{4}$ .

5.17. Сплошной и полый цилиндры, с одинаковыми массами и радиусами, вкатываются без проскальзывания на горку. Если начальные скорости тел одинаковы, то...

- 1) выше поднимется сплошной цилиндр;  
2) выше поднимется полый цилиндр;  
3) оба тела поднимутся на одну и ту же высоту.

5.18. Сплошной и полый цилиндры, с одинаковыми массами и радиусами, скатываются без проскальзывания с одной и той же горки. Если трением пренебречь, то отношение скоростей  $v_1/v_2$ , которые будут иметь эти тела у основания горки, равно...

- 1) 1;      2)  $\sqrt{\frac{4}{3}}$ ;      3)  $\sqrt{\frac{15}{14}}$ ;      4)  $\sqrt{\frac{10}{7}}$ ;

## 6. Элементы специальной теории относительности

Формулы СТО используются в том случае, когда скорость тела  $v$  соизмерима со скоростью света в вакууме  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

- **Релятивистский закон сложения скоростей:**

$$v = \frac{v' + u}{1 + uv' / c^2},$$

где  $v$  – скорость относительно неподвижной СО (абсолютная);

$v'$  – скорость относительно движущейся СО (относительная);

$u$  – скорость движущейся СО (переносная).

- **Релятивистское сокращение длины:**

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2},$$

где  $l_0$  – собственная длина (в неподвижной системе);

$l$  – длина в движущейся системе;  $\beta = \frac{v}{c}$ .

- **Релятивистское замедление времени:**

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где  $\tau_0$  – собственное время (в неподвижной системе);

$\tau$  – время в движущейся системе.

- **Релятивистская масса:**

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где  $m_0$  – масса покоя.

- **Релятивистский импульс:**

$$p = mc = \frac{m_0 c}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

- **Полная энергия:**

$$W = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

• **Кинетическая энергия:**

$$W_K = W - W_0 = m_0 c^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right),$$

где  $W_0 = m_0 c^2$  энергия покоя.

**Связь полной энергии и импульса:**

$$W = \sqrt{m_0^2 c^4 + (pc)^2}.$$

### Тестовые задания

6.1. Относительной величиной является...

- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| 1) длительность события; | 2) скорость света в вакууме; |
| 3) барионный заряд;      | 4) электрический заряд.      |

6.2. Инвариантной величиной является...

- |                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| 1) скорость света в вакууме; | 2) импульс частицы; |
| 3) длительность события;     | 4) длина предмета.  |

6.3. Измеряется длина движущегося метрового стержня с точностью до 0,5 мкм. Если стержень движется параллельно своей длине, то ее изменение можно заметить при скорости ...

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1) при любой скорости; | 2) $3 \cdot 10^3$ м/с; |
| 3) $3 \cdot 10^7$ м/с; | 4) $3 \cdot 10^5$ м/с. |



6.4. На борту космического корабля нанесена эмблема в виде геометрической фигуры. Если корабль движется в направлении, указанном на рисунке стрелкой, со скоростью, близкой к скорости света, то в неподвижной системе отсчета эмблема примет форму...



1)

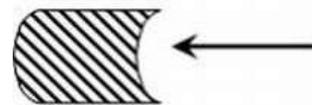


2)



3)

6.5. На борту космического корабля нанесена эмблема в виде геометрической фигуры. Если корабль движется в направлении, указанном на рисунке стрелкой, со скоростью, близкой к скорости света, то в неподвижной системе отсчета эмблема примет форму...



1)



2)



3)

6.6. Космический корабль с двумя космонавтами летит со скоростью  $v = 0,8c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Один из космонавтов медленно поворачивает метровый стержень из положения 1, параллельного направлению движения, в положение 2, перпендикулярное этому направлению. Тогда длина стержня с точки зрения второго космонавта...

- 1) изменится от 1,0 м в положении 1 до 1,67 м в положении 2;
- 2) изменится от 0,6 м в положении 1 до 1,0 м в положении 2;
- 3) изменится от 1,0 м в положении 1 до 0,6 м в положении 2;
- 4) равна 1,0 м при любой его ориентации.

6.7. Космический корабль с двумя космонавтами летит со скоростью  $v = 0,8c$  в системе отсчета, связанной с некоторой планетой. Один из космонавтов медленно поворачивает метровый стержень из положения 1, перпендикулярного направлению движения, в положение 2, параллельное этому направлению. Длина стержня с точки зрения наблюдателя, находящегося на планете,...

- 1) изменится от 1,0 м в положении 1 до 1,67 м в положении 2;
- 2) изменится от 0,6 м в положении 1 до 1,0 м в положении 2;
- 3) изменится от 1,0 м в положении 1 до 0,6 м в положении 2;
- 4) равна 1,0 м при любой его ориентации.

6.8. Нестабильная частица движется со скоростью  $0,6c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Тогда время ее жизни в системе отсчета, относительно которой частица движется...

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1) уменьшится на 20 %; | 2) уменьшится на 25 %; |
| 3) увеличится на 20 %; | 4) увеличится на 25 %. |

6.9. Самая близкая к Земле звезда Проксима Центавра – одна из звезд созвездия Альфа Центавра. Расстояние до нее составляет приблизительно 4,3 световых года. Если бы космический корабль летел от Земли к этой звезде со скоростью  $v = 0,95c$  ( $c$  – скорость света в вакууме), то путешествие по земным часам и по часам космонавта продлилось бы соответственно...

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1) 1,3 года и 4,1 года; | 2) 4,5 года и 1,4 года; |
| 3) 1,4 года и 4,5 года; | 4) 4,1 года и 1,3 года. |

6.10. Частица движется со скоростью  $0,8c$  ( $c$  – скорость света в вакууме). Тогда ее масса по сравнению с массой покоя ...

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| 1) увеличится на 67 %; | 2) увеличится на 40 %; |
| 3) уменьшится на 20 %; | 4) уменьшится на 67 %. |

6.11. Движущееся со скоростью  $0,6c$  радиоактивное ядро испустило частицу в направлении своего движения. Скорость частицы относительно ядра равна  $0,3c$ . Тогда ее скорость относительно неподвижной системы отсчета равна...

- |              |             |              |              |
|--------------|-------------|--------------|--------------|
| 1) $0,36c$ ; | 2) $0,9c$ ; | 3) $0,25c$ ; | 4) $0,76c$ . |
|--------------|-------------|--------------|--------------|

6.12. Космический корабль с двумя космонавтами на борту, один из которых находится в носовой части, а другой – в хвостовой, летит со скоростью  $0,8c$ . Космонавт, находящийся в хвостовой части, производит вспышку света и измеряет промежуток времени  $t_1$ , за который свет проходит расстояние до зеркала, укрепленного у него над головой, и обратно к излучателю. Этот промежуток времени с точки зрения другого космонавта...

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1) больше, чем $t_1$ в 1,5 раза;  | 2) равен $t_1$ ;                  |
| 3) больше, чем $t_1$ в 1,67 раза; | 4) меньше, чем $t_1$ в 1,67 раза; |
| 5) меньше, чем $t_1$ в 1,25 раза. |                                   |

6.13. Тело начало двигаться со скоростью, при которой его масса возросла на 30 %. При этом длина тела в направлении движения...

- 1) уменьшится в 1,3 раза;                      2) увеличится в 1,3 раза;  
3) уменьшится на 30 %;                      4) увеличится на 30 %.

6.14. Объем воды в Мировом океане равен  $1,37 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup>. Если температура воды повысится на 1°C, увеличение массы воды составит ( $\rho = 1,03$  г/см<sup>3</sup>,  $c = 4,19$  кДж/(кг·К))...

- 1)  $6,57 \cdot 10^7$  кг;    2) 65,7 т;                      3) 65,7 кг;                      4)  $6,57 \cdot 10^{-2}$  кг.

6.15.  $\pi^0$ - мезон, двигавшийся со скоростью  $0,8c$  в лабораторной системе отсчета, распадается на два фотона  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . В системе отсчета мезона фотон  $\gamma_1$  был испущен вперед, а фотон  $\gamma_2$  – назад относительно направления полета мезона. Скорость фотона  $\gamma_2$  в лабораторной системе отсчета равна...

- 1)  $+1c$ ;                      2)  $+0,8c$ ;                      3)  $-0,2c$ ;                      4)  $-1c$ .

6.16. Скорость релятивистской частицы  $v = \frac{\sqrt{3}}{2}c$  ( $c$  - скорость света в вакууме). Отношение кинетической энергии частицы к её энергии покоя...

- 1) 1;                      2) 2;                      3) 3;                      4) 4.

6.17. Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость  $V = 0,4c$ . В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения  $\beta$  - частицу, скорость которой  $v = 0,75c$  относительно ускорителя. Скорость  $\beta$  - частицы относительно ядра равна...

- 1)  $0,5c$ ;                      2)  $0,27c$ ;                      3)  $0,88c$ ;                      4)  $1,64c$ .

## II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ (СТАТИСТИЧЕСКАЯ) ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

### 7. Молекулярная физика. Распределение Максвелла и Больцмана

- *Количество вещества  $\nu$ :*

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A},$$

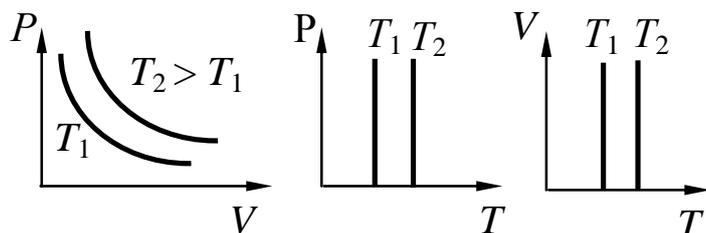
где  $m$  – масса;  $\mu$  – молярная масса;  $N$  – число молекул;  
 $N_A$  – число Авогадро.

- *Концентрация молекул (число молекул в единице объема):*

$$n = \frac{N}{V}.$$

- *Масса одной молекулы:*

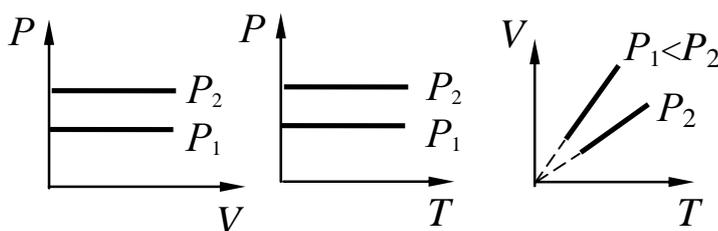
$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{\mu}{N_A}.$$



- *Основные газовые законы:*

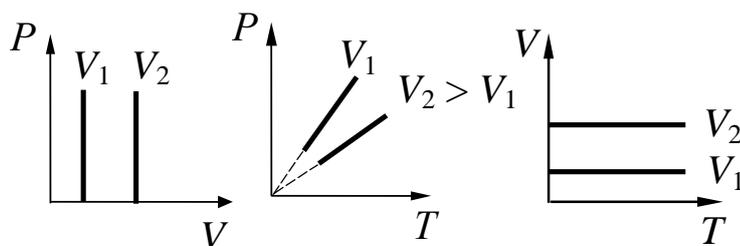
а) *Изотермический процесс*  
(закон Бойля – Мариотта):

$$\begin{aligned} m &= \text{const}; \\ T &= \text{const}; \\ PV &= \text{const}. \end{aligned}$$



б) *Изобарический процесс*  
(закон Гей-Люссака):

$$\begin{aligned} m &= \text{const}; \\ P &= \text{const}; \\ \frac{V}{T} &= \text{const}. \end{aligned}$$



в) *Изохорический процесс*  
(закон Шарля):

$$\begin{aligned} m &= \text{const}; \\ V &= \text{const}; \\ \frac{P}{T} &= \text{const}. \end{aligned}$$

г) *Объединенный газовый закон:*  $m = \text{const}; \frac{PV}{T} = \text{const}.$

- **Уравнение Менделеева – Клапейрона** (уравнение состояния идеального газа):

$$PV = \frac{m}{\mu} RT = \nu RT,$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура.

- **Давление газа, выраженное через концентрацию:**

$$P = nkT,$$

где  $k$  – постоянная Больцмана.

- **Связь между константами:**

$$R = kN_A.$$

$$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

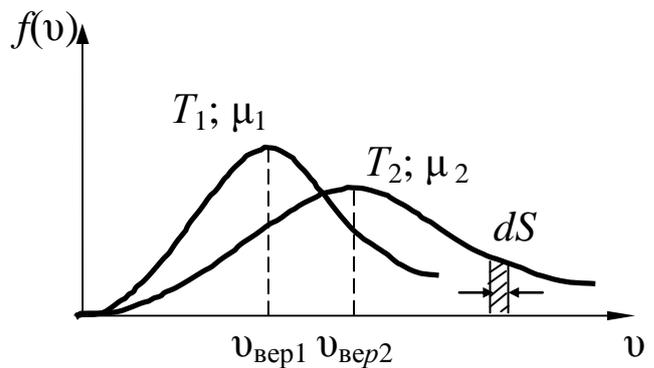
$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К};$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

- **Основное уравнение МКТ:**

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{кв}}^2 \rangle.$$

- **Закон Максвелла о распределении молекул идеального газа по модулям скоростей**, определяет относительное число молекул, скорости которых лежат в интервале от  $v$  до  $(v + dv)$ . (на графике площадь заштрихованной полоски):



$$f(v) = 4\pi v^2 \left( \frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}$$

На графике показаны 2 кривые, которые можно трактовать либо как соответствующие разным газам ( $\mu_2 < \mu_1$ ) при одинаковой температуре ( $T_2 = T_1$ ), либо как для одного газа ( $\mu_2 = \mu_1$ ) при разной температуре ( $T_2 > T_1$ ).

Площадь под кривой соответствует числу молекул в конкретном случае и не зависит от температуры. Из условия нормировки следует, что площадь, ограниченная кривой распределения и осью абсцисс, всегда одинакова.

- **Скорости, характеризующие состояние газа:**

а) наиболее вероятная

$$v_{\text{вер}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}};$$

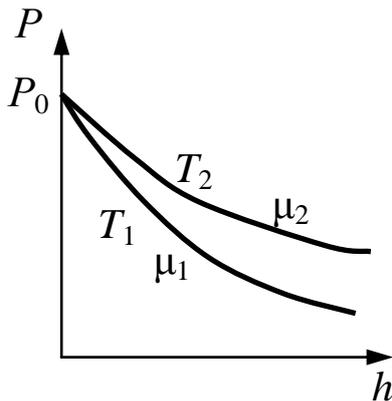
б) средняя квадратичная

$$\langle v_{\text{КВ}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 1,22v_{\text{вер}};$$

в) средняя арифметическая

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi \cdot m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \cdot \mu}} = 1,13v_{\text{вер}}.$$

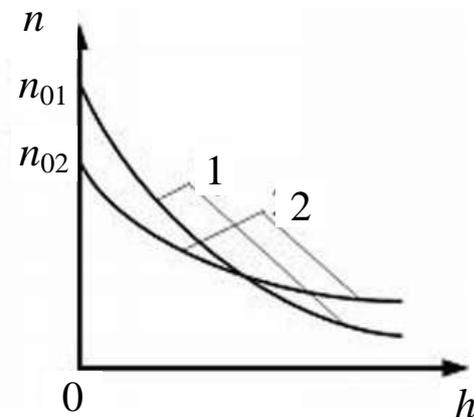
- **Барометрическая формула**, определяет зависимость давления идеального газа от высоты:



$$P = P_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}}.$$

На графике показаны две кривые, которые можно трактовать либо как соответствующие разным газам ( $\mu_2 < \mu_1$ ) при одинаковой температуре ( $T_2 = T_1$ ), либо как для одного газа ( $\mu_2 = \mu_1$ ) при разной температуре ( $T_2 > T_1$ ).

- **Распределение Больцмана:**



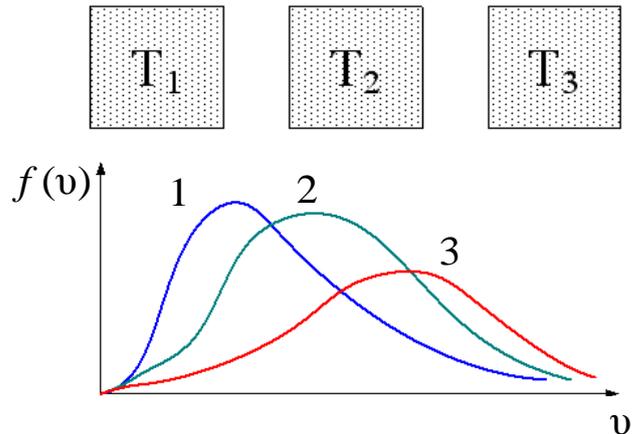
$$n = n_0 e^{-\frac{m_0 gh}{kT}} = n_0 e^{-\frac{W_p}{kT}}.$$

На графике показаны две кривые, которые можно трактовать либо как соответствующие разным газам ( $\mu_2 < \mu_1$ ) при одинаковой температуре ( $T_2 = T_1$ ), либо как для одного газа ( $\mu_2 = \mu_1$ ) при разной температуре ( $T_2 > T_1$ ).

## Тестовые задания

7.1. В трех одинаковых сосудах находится одинаковое количество газа, причем  $T_1 > T_2 > T_3$ . Распределение скоростей молекул в сосуде с температурой  $T_3$  будет описывать кривая...

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3.

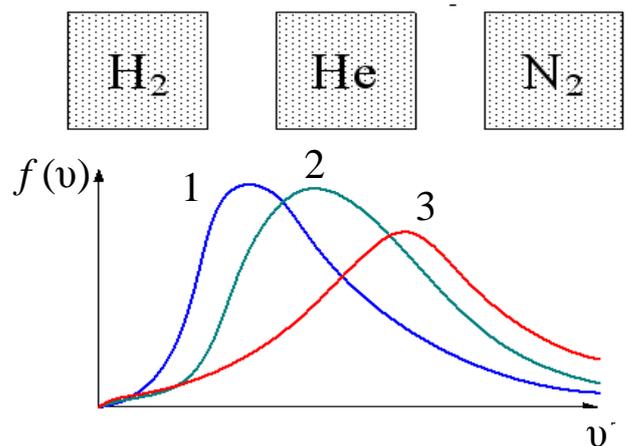


7.2. Для условия предыдущего теста *верными* являются утверждения (укажите не менее двух ответов), что...

- 1) кривая 1 соответствует распределению по скоростям молекул газа при температуре  $T_3$ ;
- 2) кривая 3 соответствует распределению по скоростям молекул газа при температуре  $T_1$ ;
- 3) кривая 2 соответствует распределению по скоростям молекул газа при температуре  $T_1$ ;
- 4) кривая 3 соответствует распределению по скоростям молекул газа при температуре  $T_3$ .

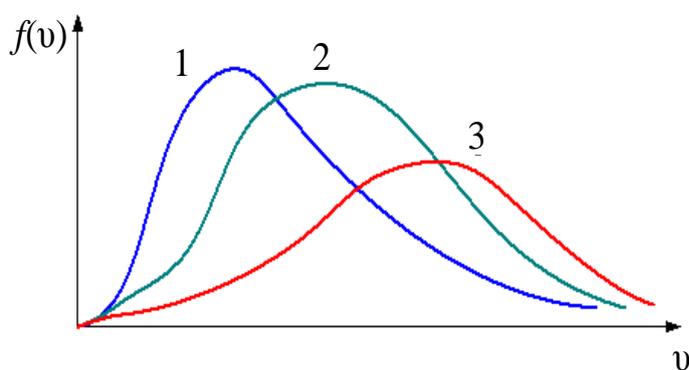
7.3. В трех одинаковых сосудах при равных условиях находится одинаковое количество водорода, гелия и азота. Распределение скоростей молекул *гелия* будет описывать кривая...

- 1) 1;
- 2) 2;
- 3) 3.



7.4. Для условия предыдущего теста *верными* являются утверждения (укажите не менее двух ответов), что ...

- 1) кривая 1 соответствует распределению по скоростям молекул азота;
- 2) кривая 3 соответствует распределению по скоростям молекул водорода;
- 3) кривая 1 соответствует распределению по скоростям молекул гелия;
- 4) кривая 2 соответствует распределению по скоростям молекул азота.



7.5. На рисунке представлены графики функций распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где

$$f(v) = \frac{dN}{N dv} \quad - \quad \text{доля}$$

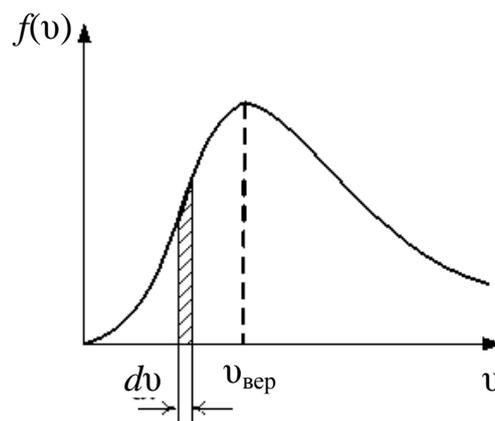
молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчете на единицу этого интервала. Для этих функций верными являются утверждения (укажите не менее двух ответов), что...

- 1) распределение 1 соответствует газу, имеющему наименьшую массу молекул (при одинаковой температуре);
- 2) распределение 1 соответствует газу, имеющему наибольшую массу молекул (при одинаковой температуре);
- 3) распределение 3 соответствует газу, имеющему наибольшую температуру (при одинаковой массе);
- 4) распределение 3 соответствует газу, имеющему наименьшую температуру (при одинаковой массе).

7.6. На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где

$$f(v) = \frac{dN}{N dv} - \text{доля молекул, скорости}$$

которых заключены в интервале скоростей от  $v$  до  $v + dv$  в расчете на единицу этого интервала.



Если, не меняя температуры, взять другой газ с большей молярной массой и таким же числом молекул, то...

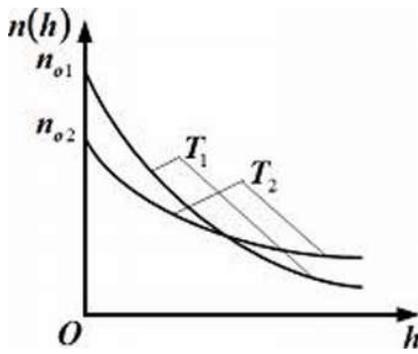
- 1) максимум кривой сместится влево в сторону меньших скоростей;
- 2) величина максимума уменьшится;
- 3) площадь под кривой увеличится;
- 4) положение максимума не изменяется.

7.7. Для графика предыдущего теста *верным* утверждением является...

- 1) при понижении температуры величина максимума уменьшается;
- 2) при понижении температуры максимум кривой смещается влево;
- 3) при понижении температуры площадь под кривой уменьшается;
- 4) при изменении температуры положение максимума не изменяется.

7.8. Для графика предыдущего теста *неверными* утверждениями (укажите не менее двух ответов) являются...

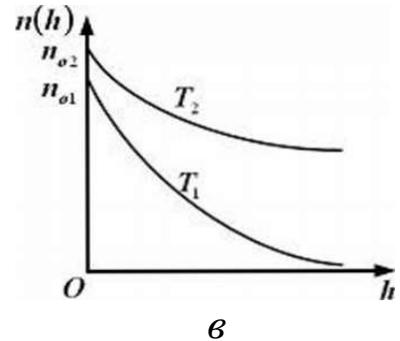
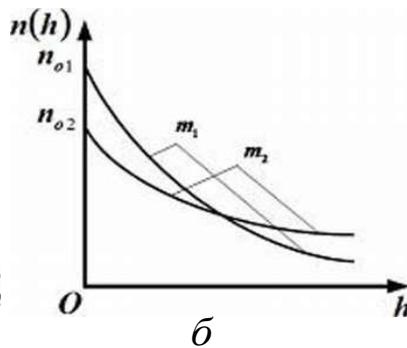
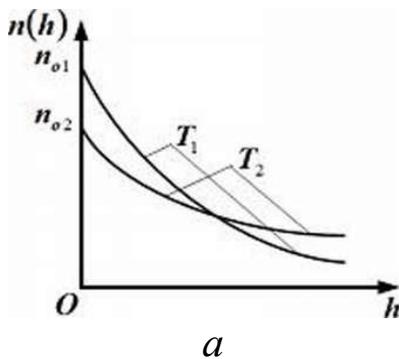
- 1) при понижении температуры величина максимума уменьшается;
- 2) с ростом температуры наиболее вероятная скорость молекул увеличивается;
- 3) при понижении температуры площадь под кривой уменьшается;
- 4) положение максимума кривой зависит не только от температуры, но и от природы газа.



7.9. На рисунке представлены графики зависимости концентрации молекул идеального газа от высоты над уровнем моря для двух разных температур  $T_1$  и  $T_2$  (распределение Больцмана). Для графиков этих функций верными являются утверждения (укажите не менее двух ответов), что...

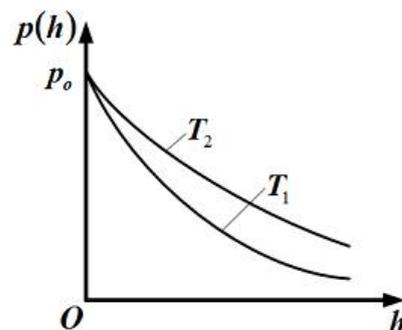
- 1) температура  $T_2$  выше температуры  $T_1$ ;
- 2) концентрация молекул на «нулевом уровне» ( $h = 0$ ), с повышением температуры уменьшается;
- 3) температура  $T_2$  ниже температуры  $T_1$ ;
- 4) с понижением температуры молекулы более равномерно распределяются по высоте.)

7.10. Формула  $n(h) = n_0 \exp\left(-\frac{m_0 gh}{kT}\right)$  описывает распределение молекул массой  $m_0$  по высоте в изотермической атмосфере; здесь  $n_0$  – концентрация молекул при  $h = 0$ ,  $n$  – их концентрация на высоте  $h$ . Для этой зависимости справедливы следующие утверждения... (укажите не менее двух ответов)



- 1) приведенные на рисунке а кривые соответствуют распределениям для одного и того же газа при разных температурах, причем  $T_2 > T_1$ ;
- 2) приведенные на рисунке б кривые соответствуют распределениям для двух разных газов при одинаковой температуре, причем  $m_1 < m_2$ ;
- 3) приведенные на рисунке б кривые соответствуют распределениям для двух разных газов при одинаковой температуре, причем  $m_1 > m_2$ ;
- 4) приведенные на рисунке в кривые соответствуют распределениям для одного и того же газа при разных температурах, причем  $T_2 < T_1$ .

7.11. Зависимости давления  $P$  идеального газа во внешнем однородном поле силы тяжести от высоты  $h$  для двух разных температур представлены на рисунке. Для этих функций *верными* являются утверждения (укажите не менее двух ответов), что...

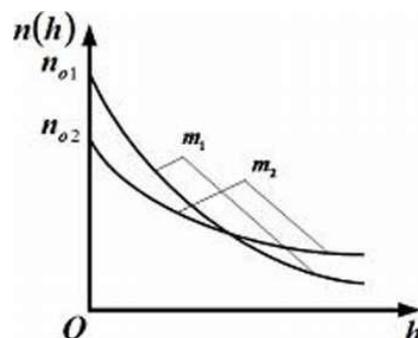


- 1) зависимость давления идеального газа от высоты определяется не только температурой газа, но и массой молекул;
- 2) температура  $T_1$  ниже температуры  $T_2$ ;
- 3) давление газа на высоте  $h$  равно давлению на «нулевом уровне» ( $h = 0$ ), если температура газа стремится к абсолютному нулю;
- 4) температура  $T_1$  выше температуры  $T_2$ .

7.12. Зависимости давления  $P$  идеального газа во внешнем однородном поле силы тяжести от высоты  $h$  для двух разных температур представлены на рисунке предыдущего теста. Для этих функций *неверными* являются утверждения (укажите не менее двух ответов), что...

- 1) зависимость давления идеального газа от высоты определяется не только температурой, но и массой молекул;
- 2) температура  $T_1$  ниже температуры  $T_2$ ;
- 3) давление газа на высоте  $h$  равно давлению на «нулевом уровне» ( $h = 0$ ), если температура газа стремится к абсолютному нулю;
- 4) температура  $T_1$  выше температуры  $T_2$ .

7.13. На рисунке представлены графики зависимости концентрации молекул идеального газа от высоты над уровнем моря для двух разных газов. Для графиков этих функций *верными* являются утверждения (укажите не менее двух ответов), что...



- 1) масса  $m_1$  больше массы  $m_2$ ;
- 2) концентрация молекул газа с меньшей массой на «нулевом уровне» ( $h = 0$ ) меньше;
- 3) масса  $m_1$  меньше массы  $m_2$ ;
- 4) концентрация молекул газа с меньшей массой на «нулевом уровне» ( $h = 0$ ) больше.

## 8. Внутренняя энергия и теплоемкость газов

- **Число степеней свободы** – число независимых величин, полностью определяющих положение системы в пространстве.

Число степеней свободы, $i$	Одноатомный газ	Двухатомный газ	Многоатомный газ
<i>Поступательные</i>	3	3	3
<i>Вращательные</i>	0	2	3
<i>Всего</i>	3	5	6

В реальных молекулах жёсткой связи между атомами не существует, поэтому необходимо учитывать также степени свободы колебательного движения.

- **Среднее значение кинетической энергии поступательного движения одной молекулы:**

$$\langle \varepsilon_0 \rangle = \frac{3}{2} kT.$$

- **Средняя энергия одной многоатомной молекулы:**

$$\langle U_0 \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вращ}} + 2i_{\text{колеб}}$  – сумма числа поступательных, вращательных и удвоенного числа колебательных степеней свободы молекулы.

- **Внутренняя энергия произвольной массы газа:**

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT = \frac{i}{2} \nu RT.$$

- **Теплоёмкость газов:**

$$C = \frac{\delta Q}{dT}.$$

- **Удельная теплоёмкость:**

$$c^{\text{уд}} = \frac{\delta Q}{dT \cdot m}.$$

- **Молярная теплоёмкость:**

$$C^{\mu} = \frac{\delta Q}{dT \cdot \nu}.$$

- **Связь удельной и молярной теплоёмкостей:**

$$C^{\mu} = c^{\text{уд}} \cdot \mu.$$

- **Теплоемкости при изопроцессах**

	<i>Изохорический</i> $V = \text{const}$	<i>Изобарический</i> $P = \text{const}$	<i>Адиабатический</i> $Q = 0$	<i>Изотермический</i> $T = \text{const}$
<i>Молярная</i>	$C_V^{\mu} = \frac{i}{2} R$	$C_P^{\mu} = \frac{i+2}{2} R$	0	$C_T = \infty$
<i>Удельная</i>	$c_V^{\text{уд}} = \frac{i R}{2 \mu}$	$c_V^{\text{уд}} = \frac{(i+2) \cdot R}{2 \mu}$	0	$c_T = \infty$

- **Уравнение Майера:**

$$C_p^{\mu} - C_v^{\mu} = R.$$

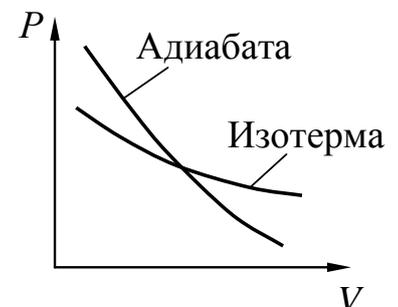
- **Показатель адиабаты** (коэффициент Пуассона):

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i}.$$

- **Адиабатический процесс** – процесс, протекающий без теплообмена с окружающей средой,  $\delta Q = 0$ .

- **Уравнения адиабаты** (уравнения Пуассона):

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \text{const}$$



## Тестовые задания

8.1. Для атомарного водорода (H) число степеней свободы  $i$  равно...

- 1) 7;                      2) 1;                      3) 5;                      4) 3.

8.2. Максимальное число вращательных степеней свободы молекулы азота  $N_2$  равно...

- 1) 5;                      2) 4;                      3) 3;                      4) 2.

8.3. Для водяного пара ( $H_2O$ ) число степеней свободы  $i$  равно...

- 1) 6;                      2) 1;                      3) 5;                      4) 3.

8.4. Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре  $T$  равна  $\varepsilon = \frac{i}{2}kT$ . Здесь  $i = n_{\text{пост}} + n_{\text{вр}} + 2n_{\text{коль}}$ , где  $n_{\text{пост}}$ ,  $n_{\text{вр}}$ ,  $n_{\text{коль}}$  – число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы. Для гелия (He) число  $i$  равно...

- 1) 7;                      2) 1;                      3) 5;                      4) 3.

8.5. На каждую степень свободы движения молекулы приходится одинаковая энергия, равная  $\frac{1}{2}kT$ . При условии, что имеют место все виды движения, средняя кинетическая энергия молекулы азота ( $N_2$ ) равна...

- 1)  $\frac{5}{2}kT$ ;                      2)  $\frac{7}{2}kT$ ;                      3)  $\frac{3}{2}kT$ ;                      4)  $3kT$ .

8.6. Средняя кинетическая энергия молекул газа при температуре  $T$  зависит от их структуры, что связано с возможностью различных видов движения атомов в молекуле. Средняя кинетическая энергия молекул кислорода ( $O_2$ ) (без учета колебательного движения) равна...

- 1)  $\frac{5}{2}kT$ ;                      2)  $\frac{7}{2}kT$ ;                      3)  $\frac{1}{2}kT$ ;                      4)  $\frac{3}{2}kT$ .

8.7. При условии, что имеет место поступательное и вращательное движение молекулы как целого, средняя кинетическая энергия молекулы водяного пара ( $\text{H}_2\text{O}$ ) равна ...

- 1)  $\frac{3}{2}kT$ ;      2)  $\frac{5}{2}kT$ ;      3)  $\frac{7}{2}kT$ ;      4)  $3kT$ .

8.8. На каждую степень свободы движения молекулы приходится одинаковая энергия, равная  $\frac{1}{2}kT$ . При условии, что имеют место поступательное, вращательное и колебательное движения, средняя кинетическая энергия молекулы водорода ( $\text{H}_2$ ) равна...

- 1)  $\frac{5}{2}kT$ ;      2)  $\frac{1}{2}kT$ ;      3)  $\frac{3}{2}kT$ ;      4)  $\frac{7}{2}kT$ .

8.9. Отношение энергии поступательного движения молекулы кислорода  $\text{O}_2$  к ее полной внутренней энергии равно...

- 1)  $2/5$ ;      2)  $3/5$ ;      3)  $1$ ;      4)  $1/2$ .

8.10. Отношение средней кинетической энергии колебательного движения молекулы азота  $\text{N}_2$  к ее полной внутренней энергии равно...

- 1)  $2/5$ ;      2)  $2/7$ ;      3)  $1$ ;      4)  $2/6$ .

8.11. Если не учитывать колебательные движения водяного пара, то отношение кинетической энергии вращательного движения к полной кинетической энергии молекулы равно...

- 1)  $1/2$ ;      2)  $2/5$ ;      3)  $2/7$ ;      4)  $1/3$ .

8.12. Если не учитывать колебательные движения углекислого газа, то средняя кинетическая энергия молекулы равна...

- 1)  $\frac{6}{2}kT$ ;      2)  $\frac{3}{2}kT$ ;      3)  $\frac{7}{2}kT$ ;      4)  $\frac{5}{2}kT$ .

8.13. Газ занимает объем 5 л под давлением 2 МПа. При этом кинетическая энергия поступательного движения всех молекул равна...

- 1) 15 Дж;      2) 15 кДж;      3) 15 МДж;      4) 15 мкДж..

8.14. Средний импульс молекулы идеального газа при уменьшении абсолютной температуры газа в 4 раза...

- 1) уменьшится в 2 раза;
- 2) увеличится в 2 раза;
- 3) увеличится в 4 раза;
- 4) уменьшится в 4 раза.

8.15. В баллоне емкостью  $V$  находится некоторый газ массы  $m$  под давлением  $p$ . Средняя квадратичная скорость молекул газа  $v$  равна...

- 1)  $v = \sqrt{\frac{pV}{3m}}$ ;
- 2)  $v = \sqrt{\frac{8pV}{\pi m}}$ ;
- 3)  $v = \sqrt{\frac{2pV}{m}}$ ;
- 4)  $v = \sqrt{\frac{3pV}{m}}$ .

8.16. В цилиндре при сжатии постоянной массы воздуха давление возрастает в 3 раза. Если температура газа увеличилась в 2 раза, то отношение объемов до и после сжатия  $V_1/V_2$  равно...

- 1) 1/6;
- 2) 3/2;
- 3) 2/3;
- 4) 6.

8.17. Состояние идеального газа определяется значениями параметров:  $T_0, p_0, V_0$ , где  $T$  – термодинамическая температура,  $p$  – давление,  $V$  – объем газа. Определенное количество газа перевели из состояния  $(p_0, V_0)$  в состояние  $(2p_0, V_0)$ . При этом его внутренняя энергия...

- 1) уменьшится;
- 2) увеличится;
- 3) не изменится.

8.18. Состояние идеального газа определяется значениями параметров:  $T_0, p_0, V_0$ , где  $T$  – термодинамическая температура,  $p$  – давление,  $V$  – объем газа. Определенное количество газа перевели из состояния  $(3p_0, V_0)$  в состояние  $(p_0, 2V_0)$ . При этом его внутренняя энергия...

- 1) не изменилась;
- 2) уменьшилась;
- 3) увеличилась.

8.19. При увеличении давления в 3 раза и уменьшении объема в 2 раза абсолютная температура идеального газа ...

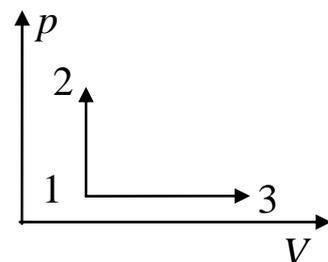
- 1) увеличится в 1,5 раза;                      2) уменьшится в 1,5 раза;  
3) уменьшится в 6 раз;                        4) увеличится в 6 раз.

8.20. Кинетическая энергия всех молекул в 2 г неона ( $\mu = 20$  г/моль) при температуре 300 К равна...

- 1) 374 Дж;            2) 831 Дж;            3) 249 Дж;            4) 748 Дж.

8.21. Молярные теплоемкости гелия в процессах 1–2 и 1–3 равны  $C_1$  и  $C_2$ , соответственно (см. рис.). Тогда отношение  $C_1/C_2$  составляет...

- 1)  $\frac{7}{5}$ ;                      2)  $\frac{5}{3}$ ;  
3)  $\frac{5}{7}$ ;                      4)  $\frac{3}{5}$ .



8.22. Теплоемкость идеального газа при адиабатическом процессе равна...

- 1)  $\frac{5}{2}R$ ;                      2) 0;                      3)  $\infty$ ;                      4)  $\frac{3}{2}R$ .

8.23. При комнатной температуре коэффициент Пуассона  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ , где  $C_p$  и  $C_v$  – молярные теплоемкости при постоянном давлении и постоянном объеме соответственно, равен  $\frac{5}{3}$  для ...

- 1) кислорода;                      2) гелия;  
3) воздуха;                        4) водяного пара.

8.24. При комнатной температуре отношение  $\frac{C_p}{C_v}$ , молярных теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме соответственно, равно  $\frac{7}{5}$  ...

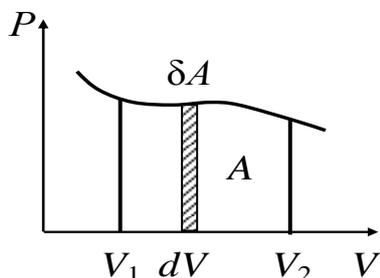
- 1) для водорода;                      2) для гелия;  
3) для неона;                        4) для водяного пара.

## 9. Первое начало термодинамики.

### Работа при изопроцессах

- **Полная работа при изменении объема ИГ от  $V_1$  до  $V_2$ :**

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV.$$



Графически полная работа определяется площадью фигуры, ограниченной осью абсцисс, кривой  $P = f(V)$  и прямыми  $V_1$  и  $V_2$ .

Работа расширения – положительна, работа сжатия – отрицательна.

- **Первое начало термодинамики:** количество теплоты  $Q$ , сообщенное газу, расходуется на изменение его внутренней энергии  $\Delta U$  и на совершение газом работы  $A$  против внешних сил,

$$Q = \Delta U + A.$$

- **Применение первого начала термодинамики к изопроцессам:**

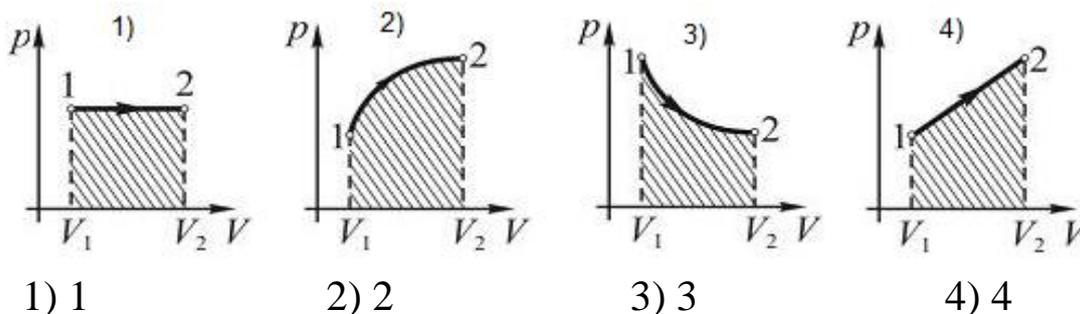
	Изобарный $P = \text{const}$	Изохорный $V = \text{const}$	Изотермический $T = \text{const}$	Адиабатный $Q = 0$
$\Delta U$	$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$	$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$	0	$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$
$A$	$A = p \Delta V =$ $= \nu R \Delta T$	0	$A = \nu R T \ln \frac{V_2}{V_1} =$ $= \nu R T \ln \frac{P_1}{P_2}$	$A = -\Delta U$
$Q$	$Q = \frac{i+2}{2} \nu R \Delta T$	$Q = \Delta U$	$Q = A$	0
График процесса				

- **Работа при адиабатическом процессе:**

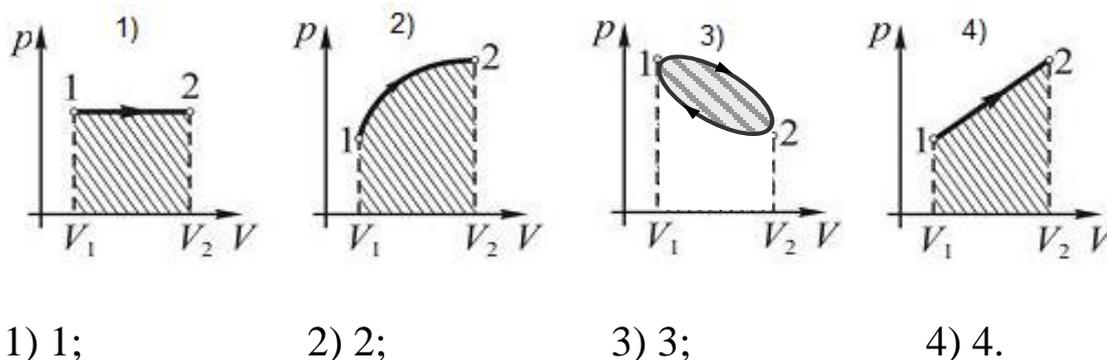
$$A = \frac{PV_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \frac{T_2}{T_1} \right] = \frac{PV_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma - 1} \right] = \frac{PV_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right].$$

## Тестовые задания

9.1. Работа, совершаемая идеальным газом при его изотермическом расширении, численно равна заштрихованной площади, показанной на рисунке...

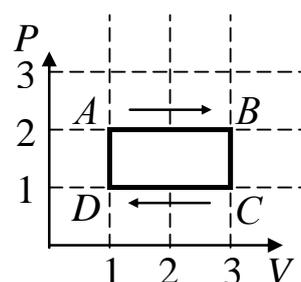


9.2. Работа, совершаемая идеальным газом при его изобарном расширении, численно равна заштрихованной площади, показанной на рисунке...



9.3. На  $(p, V)$  – диаграмме изображен циклический процесс. На участках  $DA$  и  $AB$  температура...

- 1) повышается;
- 2) понижается;
- 3) не изменяется;
- 4) на  $DA$  повышается, на  $AB$  не изменяется.



9.4. На  $(p, V)$  – диаграмме теста 9.3 изображен циклический процесс. На участках  $BC$  и  $CD$  температура...

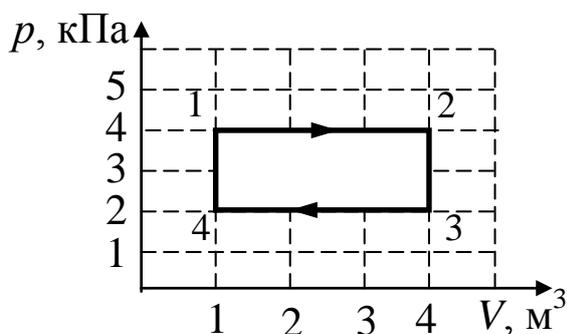
- 1) повышается;
- 2) понижается;
- 3) не изменяется;
- 4) на  $BC$  повышается, на  $CD$  понижается.

9.5. На  $(p, V)$  – диаграмме теста 9.3 изображен циклический процесс. На участках  $CD$  и  $DA$  температура...

- 1) повышается;
- 2) понижается;
- 3) не изменяется;
- 4) на  $CD$  понижается, на  $DA$  повышается.

9.6. На  $(p, V)$  – диаграмме теста 9.3 изображен циклический процесс. На участках  $AB$  и  $BC$  температура...

- 1) повышается;
- 2) понижается;
- 3) не изменяется;
- 4) на  $AB$  повышается, на  $BC$  понижается.



9.7. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Отношение работы при нагревании к работе газа за весь цикл по модулю равно ...

- 1) 6;
- 2) 3;
- 3) 12;
- 4) 2.

9.8. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке предыдущего теста. Отношение работы при нагревании газа к работе при охлаждении по модулю равно..

- 1) 4;
- 2) 3;
- 3) 2;
- 4) 6.

9.9. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке теста 9.7. Отношение работы газа за цикл к работе при охлаждении по модулю равно...

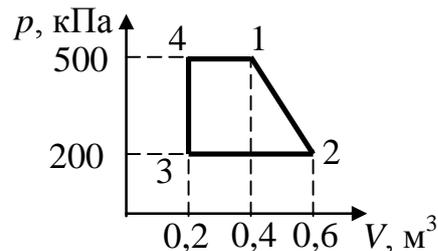
- 1) 4;
- 2) 3;
- 3) 2;
- 4) 1.

9.10. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке теста 9.7. За цикл газ получает количество теплоты...

- 1) 6 кДж;
- 2) 33 кДж;
- 3) 12 кДж;
- 4) 4 кДж.

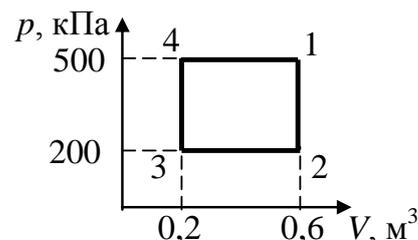
9.11. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Работа циклического процесса равна ...

- 1) 20 кДж;            2) 30 кДж;  
3) 15 кДж;            4) 90 кДж.



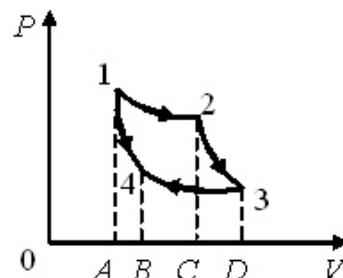
9.12. Диаграмма циклического процесса идеального газа представлена на рисунке. Отношение работы при нагревании газа к работе при охлаждении равно...

- 1) 2,5;                2) 1,5;  
3) 3;                 4) 5.



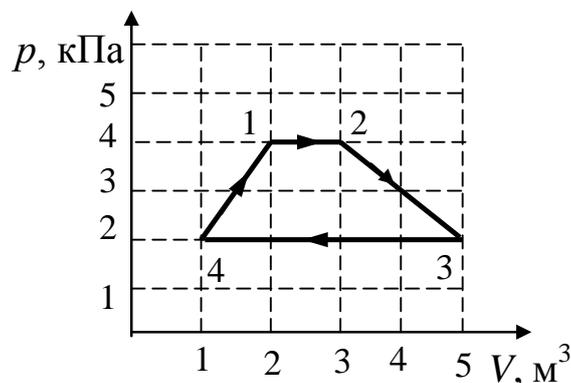
9.13. На  $p$ - $V$  – диаграмме представлен цикл Карно. Графически работа при адиабатическом расширении изображена площадью фигуры...

- 1)  $A12C$ ;            2)  $C23D$ ;  
3)  $A14B$ ;            4)  $B43D$ .



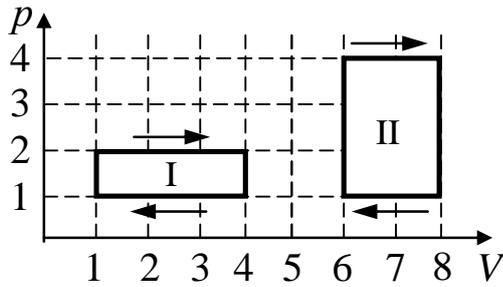
9.14. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Работа газа за цикл равна...

- 1) 4 кДж;            2) 5 кДж;  
3) 20 кДж;         4) 6 кДж.



9.15. Одноатомному идеальному газу в результате изобарического процесса подведено количество теплоты  $\Delta Q$ . На увеличение внутренней энергии газа расходуется часть теплоты  $\frac{\Delta U}{\Delta Q}$ , равная...

- 1) 0,4;                2) 0,75;            3) 0,25;            4) 0,6.



9.16. На  $(p, V)$  – диаграмме изображены два циклических процесса. Отношение работ  $A_I/A_{II}$ , совершенных в этих циклах, равно...

- 1) 2;
- 2) 1/2;
- 3) – 1/2;
- 4) – 2.

9.17. Изменение внутренней энергии газа произошло только за счет работы сжатия газа:

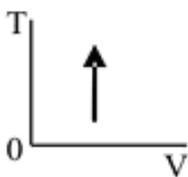
- 1) в изобарном процессе;
- 2) изотермическом процессе;
- 3) изохорном процессе;
- 4) адиабатическом процессе.

9.18. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа при адиабатном процессе увеличилась на 200 Дж. Это означает, что...

- 1) газ совершил работу 200 Дж;
- 2) над газом совершили работу 200 Дж;
- 3) газ совершил работу 400 Дж;
- 4) работа газа в этом процессе равна нулю;
- 5) над газом совершили работу 400 Дж.

9.19. Энергия изолированной термодинамической системы в ходе обратимого процесса...

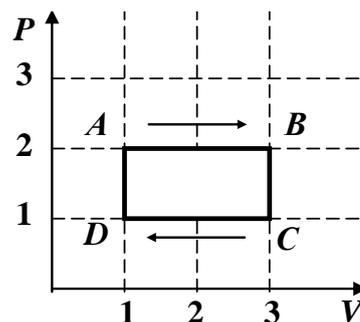
- 1) только увеличивается;
- 2) только убывает;
- 3) остается постоянной.



9.20. В соответствии с первым началом термодинамики для процесса в идеальном газе, график которого представлен на рисунке, справедливо соотношение...

- 1)  $Q < 0, \Delta U > 0, A = 0$ ;
- 2)  $Q > 0, \Delta U < 0, A = 0$ ;
- 3)  $Q > 0, \Delta U > 0, A = 0$ ;
- 4)  $Q < 0, \Delta U < 0, A = 0$ .

9.21. На  $(p, V)$ -диаграмме изображен циклический процесс. Если  $\Delta U$  - изменение внутренней энергии идеального газа.  $A$  – работа газа.  $Q$  - теплота, сообщаемая газу, то для процесса  $AB$  справедливы соотношения...



- 1)  $Q > 0; A = 0; \Delta U > 0;$
- 2)  $Q = 0; A < 0; \Delta U > 0;$
- 3)  $Q > 0; A > 0; \Delta U > 0;$
- 4)  $Q > 0; A > 0; \Delta U = 0.$

9.22. Если  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии идеального газа,  $A$  – работа газа,  $Q$  – теплота, сообщаемая газу, то для адиабатического расширения газа справедливы соотношения...

- 1)  $Q > 0, A > 0, \Delta U = 0;$
- 2)  $Q = 0, A > 0, \Delta U < 0;$
- 3)  $Q < 0, A < 0, \Delta U = 0;$
- 4)  $Q = 0, A < 0, \Delta U > 0.$

9.23. При изотермическом расширении 0,5 моля газа при  $T = 200$  К объём увеличился в  $e = 2,7$  раза. Работа газа равна...

- 1) 8310 Дж;
- 2) 8,31 Дж;
- 3) 83,1 Дж;
- 4) 831 Дж.

9.24. Одному молю двухатомного газа было передано 5155 Дж теплоты, при этом газ совершил работу, равную 1000 Дж, а его температура повысилась на ...

- 1) 100 К;
- 2) 73 К;
- 3) 473 К;
- 4) 200 К.

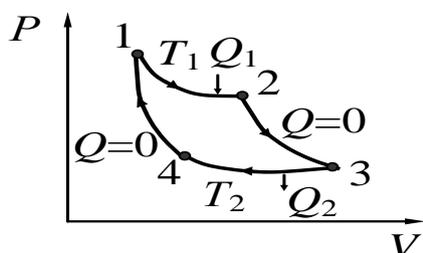
## 10. Второе начало термодинамики. Энтропия. Циклы

- **Круговым процессом (циклом)** называется процесс, при котором система, пройдя через ряд состояний, возвращается в исходное. Если за цикл совершается *положительная* работа, то он называется *прямым*, а если *отрицательная*, то *обратным*. Изменение внутренней энергии за цикл равно нулю.
- **КПД теплового двигателя:**

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = \frac{A}{Q_H} = 1 - \frac{Q_X}{Q_H},$$

$Q_H$  – количество теплоты, полученное газом от нагревателя;

$Q_X$  – количество теплоты, переданное газом холодильнику.



- **Цикл Карно** – цикл, имеющий *максимальный КПД* и состоящий из *двух изотерм* и *двух адиабат*.
- **Последовательность термодинамических процессов в цикле Карно**

1 – 2: изотермическое расширение, $T_1 = \text{const}; V_2 > V_1; \Delta S > 0; Q_1 > 0$
2 – 3: адиабатическое расширение, $Q = 0; T_2 < T_1; \Delta S = 0; V_3 > V_2.$
3 – 4: изотермическое сжатие, $T_2 = \text{const}; V_4 < V_3; \Delta S < 0; Q_2 < 0.$
4 – 1: адиабатическое сжатие, $Q = 0; T_1 > T_2; \Delta S = 0; V_1 < V_4.$

- **КПД цикла Карно:**

$$\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H} = 1 - \frac{T_X}{T_H},$$

$T_H$  – температура нагревателя;

$T_X$  – температура холодильника.

- **Обратимый процесс** – такой процесс, который может происходить как в прямом, так и в обратном направлении. Причем, если система возвращается в исходной состояние, то в окружающей среде и в самой системе не происходит никаких изменений.
- **Необратимый процесс** – это такой процесс, обратный которому маловероятен.
- **Энтропия** – мера неупорядоченности термодинамической системы, определяющая направление развития процессов в системе.
- **Теорема Больцмана для энтропии:**

$$S = k \cdot \ln W,$$

где  $k$  – постоянная Больцмана;  $W$  – статистический вес или термодинамическая вероятность (число способов (микросостояний), которыми может быть реализовано данное макросостояние).

- **Второе начало термодинамики (закон возрастания энтропии):** энтропия изолированной системы при протекании необратимого процесса возрастает,

$$dS > 0.$$

- **Приведенное количество теплоты:**

$$\frac{\delta Q}{T}.$$

- **Изменение энтропии:**

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{dU + \delta A}{T}.$$

- **Изменение энтропии при изопроцессах:**

	<i>Изобарный</i> $P = \text{const}$	<i>Изохорный</i> $V = \text{const}$	<i>Изотермический</i> $T = \text{const}$	<i>Адиабатный</i> $Q = 0$
$\Delta S$	$\Delta S = \nu C_p^\mu \ln \frac{T_2}{T_1}$ $\Delta S = \nu C_p^\mu \ln \frac{V_2}{V_1}$	$\Delta S = \nu C_v^\mu \ln \frac{T_2}{T_1}$ $\Delta S = \nu C_v^\mu \ln \frac{P_2}{P_1}$	$\Delta S = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$ $\Delta S = \nu R \ln \frac{P_1}{P_2}$	$\Delta S = 0$ $S = \text{const}$

Для обратимого процесса  $\Delta S = 0$  (энтропия не изменяется). При нагревании, плавлении, кипении, расширении газа  $\Delta S > 0$  (энтропия увеличивается). При охлаждении, конденсации, кристаллизации, сжатии газа  $\Delta S < 0$  (энтропия уменьшается).

## Тестовые задания

10.1. Энтропия изолированной термодинамической системы в ходе необратимого процесса...

- 1) только увеличивается;
- 2) только уменьшается;
- 3) остается постоянной.

10.2. В ходе необратимого процесса при поступлении тепла в неизолированную термодинамическую систему для приращения энтропии верным будет соотношение...

$$1) dS > \frac{dQ}{T}; \quad 2) dS = \frac{dQ}{T}; \quad 3) dS < \frac{dQ}{T}; \quad 4) dS \leq \frac{dQ}{T}.$$

10.3. Энтропия неизолированной термодинамической системы в процессе плавления вещества в ней...

- 1) убывает;
- 2) увеличивается;
- 3) остается постоянной;
- 4) может как убывать, так и оставаться постоянной.

10.4. В процессе кристаллизации вещества энтропия неизолированной термодинамической системы...

- 1) остается постоянной;
- 2) убывает;
- 3) увеличивается;
- 4) может как убывать, так и оставаться постоянной.

10.5. При изотермическом сжатии идеального газа энтропия...

- 1) не изменяется;
- 2) сначала увеличивается, потом уменьшается;
- 3) увеличивается;
- 4) уменьшается.

10.6. При адиабатическом расширении идеального газа...

- 1) температура понижается, энтропия возрастает;
- 2) температура и энтропия возрастают;
- 3) температура и энтропия не изменяются;
- 4) температура понижается, энтропия не изменяется.

10.7. При адиабатическом сжатии идеального газа...

- 1) температура не изменяется, энтропия возрастает;
- 2) температура возрастает, энтропия убывает;
- 3) температура возрастает, энтропия не изменяется;
- 4) температура и энтропия возрастают.

10.8. В процессе изотермического сообщения тепла постоянной массе идеального газа его энтропия...

- 1) уменьшается;
- 2) увеличивается;
- 3) не меняется.

10.9. В процессе обратимого адиабатического охлаждения постоянной массы идеального газа его энтропия...

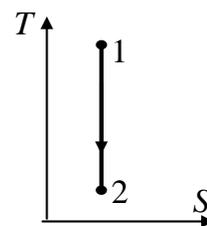
- 1) не меняется;
- 2) уменьшается;
- 3) увеличивается.

10.10. В процессе изохорического охлаждения постоянной массы идеального газа его энтропия...

- 1) уменьшается;
- 2) не меняется;
- 3) увеличивается.

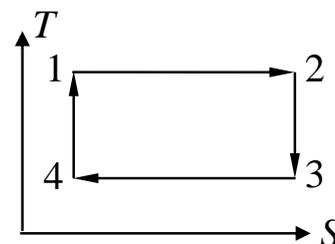
10.11. Процесс, изображенный на рисунке в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия, является...

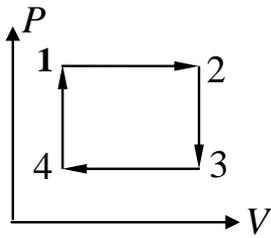
- 1) изобарным сжатием;
- 2) адиабатным расширением;
- 3) изохорным охлаждением;
- 4) изотермическим сжатием.



10.12. На каком участке в изотермическом процессе наблюдается сжатие газа?  $T$  – термодинамическая температура,  $S$  – энтропия.

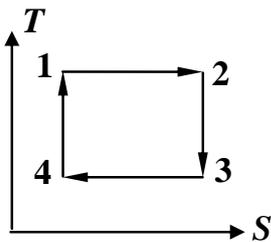
- |           |           |
|-----------|-----------|
| 1) 1 – 2; | 2) 2 – 3; |
| 3) 3 – 4; | 4) 4 – 1. |





10.13. Тепловая машина работает по циклу: две изобары 1–2 и 3–4 и две изохоры 2–3 и 4–1. За один цикл работы тепловой машины энтропия рабочего тела...

- 1) уменьшится;
- 2) увеличится;
- 3) не изменится.



10.14. На рисунке изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ . Теплота подводится к системе на участке...

- 1) 4 – 1;
- 2) 3 – 4;
- 3) 1 – 2;
- 4) 2 – 3.

10.15. На рисунке предыдущего теста изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Адиабатное расширение происходит на этапе...

- 1) 1 – 2;
- 2) 3 – 4;
- 3) 4 – 1;
- 4) 2 – 3.

10.16. На рисунке предыдущего теста изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Адиабатное сжатие происходит на этапе...

- 1) 4 – 1;
- 2) 2 – 3;
- 3) 1 – 2;
- 4) 3 – 4.

10.17. На рисунке предыдущего теста изображен цикл Карно в координатах  $(T, S)$ , где  $S$  – энтропия. Изотермическое расширение происходит на этапе...

- 1) 1 – 2;
- 2) 3 – 4;
- 3) 4 – 1;
- 4) 2 – 3.

10.18. Тепловая машина работает по циклу Карно. Если температуру холодильника уменьшить, то КПД цикла...

- 1) не изменится;
- 2) увеличится;
- 3) уменьшится.

10.19. Тепловая машина работает по циклу Карно. Если температуру нагревателя увеличить, то КПД цикла...

- 1) уменьшится;
- 2) увеличится;
- 3) не изменится.

10.20. Если КПД цикла Карно равен 60 %, то температура нагревателя больше температуры холодильника в...

- 1) 2,5 раза;
- 2) 1,7 раза;
- 3) 3 раза;
- 4) 2 раза.

10.21. Если количество теплоты, получаемое рабочим телом от нагревателя, увеличится в 2 раза, то КПД тепловой машины...

- 1) увеличится на  $Q_2/Q_1$ ;
- 2) уменьшится на  $Q_2/Q_1$ ;
- 3) уменьшится на  $Q_2/2Q_1$ ;
- 4) увеличится на  $Q_2/2Q_1$ .

10.22. Если количество теплоты, получаемое рабочим телом от нагревателя, уменьшится в 2 раза, то КПД тепловой машины...

- 1) увеличится на  $Q_2/Q_1$ ;
- 2) уменьшится на  $Q_2/Q_1$ ;
- 3) уменьшится на  $Q_2/2Q_1$ ;
- 4) увеличится на  $Q_2/2Q_1$ .

10.23. КПД тепловой машины равен 80 %, рабочее тело отдает холодильнику 200 Дж тепла. Сколько тепла рабочее тело получает от нагревателя?

- 1) 500 Дж;
- 2) 1600 Дж;
- 3) 1000 Дж;
- 4) 300 Дж.

10.24. КПД цикла Карно равен 60 %. Если на 20 % уменьшить температуру нагревателя и на 20 % увеличить температуру холодильника, КПД достигнет значения...

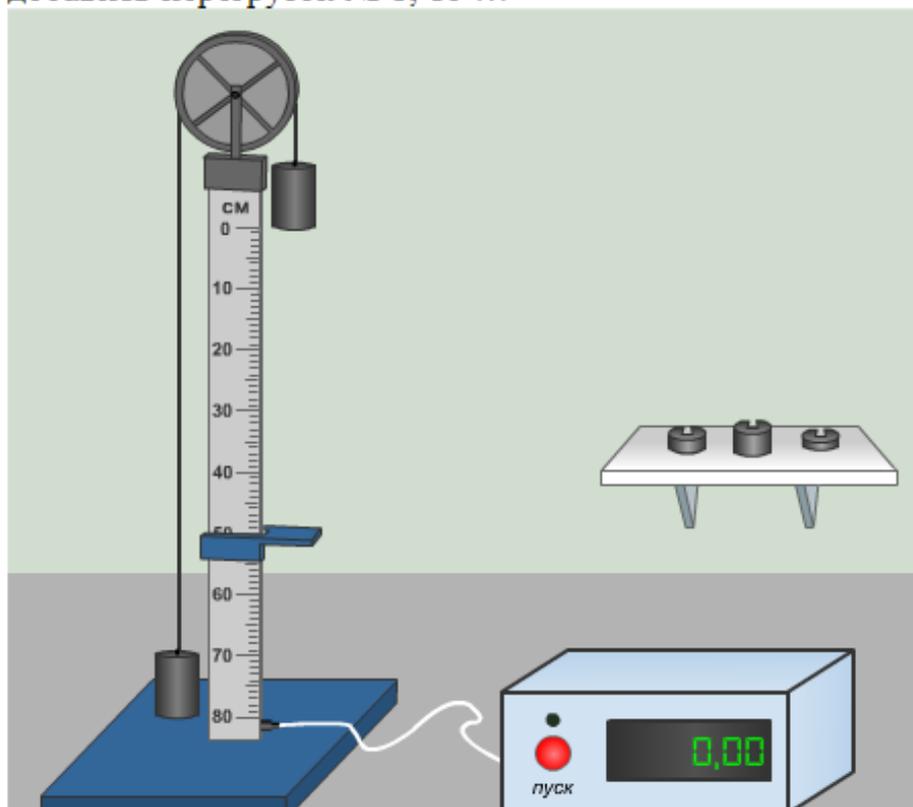
- 1) 40 %;
- 2) 60 %;
- 3) 20 %;
- 4) 80 %.

## Пример кейс - задания

Кейс-задания / Кейс 1 подзадача 1

Задание N 33.

Через блок в форме диска радиусом  $15\text{ см}$  и массой  $20\text{ г}$  перекинута невесомая нерастяжимая нить, к концам которой подвешены грузы одинаковой массы (машина Атвуда). Если установить платформу на расстоянии  $60\text{ см}$ , а к правому грузу добавить перегрузок № 1, то ...



Для того чтобы выполнить задание, студент должен с *помощью мышки*:

- установить заданную высоту,
- добавить перегрузок (тоже с помощью мышки);
- на секундомере нажать красную кнопку «Пуск».

Груз начнет падать, а секундомер покажет время падения.

Затем нужно рассчитать по известным формулам различные параметры движения: линейную и угловую скорости, линейное и угловое ускорения, силу натяжения нити, момент сил, и т. д.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

*Богатин А. С.* Пособие для подготовки к ЕГЭ и централизованному тестированию по физике. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. 480 с.

*Зисман Г. А., Тодес О. М.* Курс общей физики. Т. 1. М.: Наука, 1972. 496 с.

*Интернет – сайты:* <http://www.fepo.ru>, <http://www.i-fgos.ru>.

*Калашников Н. П., Кожевников Н. М.* Физика. Интернет–тестирование базовых знаний: учебное пособие. СПб.:Изд-во «Лань», 2009. 160 с.

*Савельев И. В.* Курс общей физики. Т. 1. М.: Наука, 1982. 304 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	0
I. МЕХАНИКА.....	5
1. Кинематика поступательного и вращательного движений .....	5
Тестовые задания .....	9
2. Динамика точки и поступательного движения твердого тела .....	16
Тестовые задания .....	19
3. Динамика вращательного движения твердого тела.....	26
Тестовые задания .....	28
4. Работа и энергия.....	35
Тестовые задания .....	37
5. Законы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии.....	43
Аналогия между характеристиками поступательного и вращательного движения .....	44
Тестовые задания .....	45
6. Элементы специальной теории относительности.....	49
Тестовые задания .....	50
II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ (СТАТИСТИЧЕСКАЯ) ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА .....	54
7. Молекулярная физика. Распределение Максвелла и Больцмана.....	54
Тестовые задания .....	57
8. Внутренняя энергия и теплоемкость газов.....	62
Тестовые задания .....	64
9. Первое начало термодинамики. Работа при изопроцессах.....	68
Тестовые задания .....	69
10. Второе начало термодинамики. Энтропия. Циклы .....	74
Тестовые задания .....	76
Пример кейс – задания .....	80
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	81

Учебное издание

Лидия Павловна Житова  
Сергей Авенирович Смольников  
Светлана Николаевна Шитова  
Марина Владиславовна Калачева

# ФИЗИКА

Часть 1

Механика, СТО, молекулярная физика и термодинамика

*Сборник тестов*  
для подготовки к интернет-тестированию  
студентов всех направлений специалитета и бакалавриата

Редактор *Ж. И. Пионтик*  
Корректурa кафедры физики  
Компьютерная верстка авторов

Подписано в печать 25.03. 2013 г. Бумага писчая. Формат 60 x 84 1/16.  
Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.  
Печ. л. 5,125. Уч.-изд. л. 3,75. Тираж 300 экз. Заказ №

Издательство УГГУ  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
Уральский государственный горный университет  
Отпечатано с оригинал-макета  
в лаборатории множительной техники УГГУ