1. Кинематика поступательного и вращательного движения. Тангенциальное и нормальное ускорение, радиус кривизны.

Положение частицы в пространстве определяется радиус-вектором $\vec{r}(t)$, который начинается в начале системы координат и заканчивается на частице.

Скорость частицы $\vec{\text{v}}(t)=\dfrac{d\vec{r}}{dt}$ (перемещение за единицу времени). Кроме понятия скорости часто используют понятие *средней скорости* $\langle\vec{\text{v}}\rangle=\dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$.

Ускорение частицы $\vec{a}(t)=\dfrac{d\vec{\text{v}}}{dt}$ (изменение скорости за единицу времени)

Для решения кинематических задач поступательного движения удобно пользоваться **декартовой системой координат,** в которой любой вектор можно разложить на три проекции вдоль осей *x, y* и *z*:

Радиус-вектор $\vec{r}(t)=\vec{i}\cdot x(t)+\vec{j}\cdot y(t)+\vec{k}\cdot z(t)$. (1.1,а)

Скорость частицы $\vec{\text{v}}(t)=\vec{i}\cdot\text{v}_x(t)+\vec{j}\cdot\text{v}_y(t)+\vec{k}\cdot\text{v}_z(t)$. (1.1,б)

Ускорение частицы $\vec{a}(t)=\vec{i}\cdot a_x(t)+\vec{j}\cdot a_y(t)+\vec{k}\cdot a_z(t)$. (1.1,в)

Здесь $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ – единичные векторы (орты), направленные по осям x, y, z соответственно.

Прямая задача кинематики

Если известны зависимости $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$, то можно определить проекции скорости и ускорения на оси x, y, z ,:

$$\text{v}_x(t)=\frac{dx}{dt},\ \text{v}_y(t)=\frac{dy}{dt},\ \text{v}_z(t)=\frac{dz}{dt} \qquad (1.2,а)$$

$$a_x(t)=\frac{d\text{v}_x}{dt},\ a_y(t)=\frac{d\text{v}_y}{dt},\ a_z(t)=\frac{d\text{v}_z}{dt} \qquad (1.2,б)$$

Величины (модули) векторов можно найти, используя теорему Пифагора:

$$r=\sqrt{x^2+y^2+z^2}\ ;\quad \text{v}=\sqrt{\text{v}_x^2+\text{v}_y^2+\text{v}_z^2}\ ;\quad a=\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2}\ . \qquad (1.3)$$

Обратная задача кинематики

Если известны зависимости $a_x(t)$, $a_y(t)$, $a_z(t)$ и начальные условия x_0, y_0, z_0, v_{0x}, v_{0y}, v_{0z}, то можно определить проекции скорости, а затем и координаты частицы в любой момент времени, т.е. определить закон ее движения:

$$v_x = v_{0x} + \int_0^t a_x(t)\,dt;\; v_y = v_{0y} + \int_0^t a_y(t)\,dt;\; v_z = v_{0z} + \int_0^t a_z(t)\,dt \qquad (1.4,\text{а})$$

$$x = x_0 + \int_0^t v_x(t)\,dt;\; y = y_0 + \int_0^t v_y(t)\,dt;\; z = z_0 + \int_0^t v_z(t)\,dt \qquad (1.4,\text{б})$$

Величина перемещения частицы

$$\left|\Delta\vec{r}\right| = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2} \qquad (1.4,\text{в})$$

есть кратчайшее расстояние между начальным и конечным положением частицы в пространстве. Если движение частицы происходит не по прямой линии, то длина траектории, называемая путем, больше перемещения $\left|\Delta\vec{r}\right|$. Путь, пройденный частицей за время t:

$$S = \int_0^t v(t)\,dt \qquad (1.5)$$

Кинематика вращательного движения.

Если твердое тело вращается вокруг закрепленной оси z и известна зависимость угла поворота $\varphi(t)$, то можно рассчитать проекции на ось вращения его угловой скорости $\vec{\omega}$ и углового ускорения $\vec{\varepsilon}$:

$$\omega_z = d\varphi/dt \qquad \varepsilon_z = d\omega_z/dt\,. \qquad (1.6)$$

Если известна зависимость $\varepsilon_z(t)$ и начальные условия ω_{0z} и φ_0, то можно найти проекцию $\vec{\omega}$ и угол поворота в зависимости от времени:

$$\omega_z = \omega_{0z} + \int_0^t \varepsilon_z dt \quad \text{и} \quad \varphi - \varphi_0 = \int_0^t \omega_z dt \qquad (1.7)$$

Связь линейных и угловых величин в кинематике.

При криволинейном движении ускорение частицы имеет тангенциальную a_τ и нормальную a_n составляющие, причем

$$a_\tau = dv/dt\,, \qquad a_n = v^2/R\,, \qquad (1.8)$$

где R – радиус кривизны траектории. Полное ускорение

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}\,. \qquad (1.9)$$

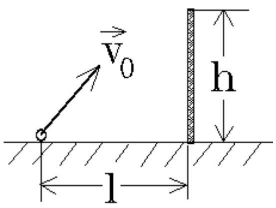
Линейные и угловые величины связаны следующим образом:

$$v = \omega R\,; \quad a_\tau = \varepsilon R\,; \quad a_n = \omega^2 R \qquad (1.10)$$

1.1. Радиус-вектор частицы зависит от времени по закону: $\vec{r}(t) = 3t \cdot \vec{i} + 4t^2 \cdot \vec{j} + 5\vec{k}$. Найдите тангенс угла между вектором скорости $\vec{v}$ и осью x в момент времени $t = 2$ с.

1.2. Частица начала свое движение из начала координат с начальной скоростью $\vec{v}_0 = 5(\vec{i} - \vec{j})$ м/с, и с ускорением, которое зависит от времени по закону $\vec{a}(t) = 4t \cdot \vec{j}$ м/с^2. Каков модуль скорости частицы в момент времени $t = 3$ с.

1.3. Маленькая лягушка находится на расстоянии $l = 1$ м от стенки и прыгает с начальной скоростью $v_0 = 4$ м/с. Стенку какой наибольшей высоты может перепрыгнуть лягушка? Принять $g = 10$ м/с^2.



Ответ: $h_{\max} = \dfrac{v_0^2}{2g} - \dfrac{gl^2}{2v_0^2} = 48{,}75$ см.

1.4. Колесо начинает вращаться вокруг своей оси с угловым ускорением $\varepsilon = 4$ рад / с ^{2} . Через какой промежуток времени угол между вектором скорости и вектором ускорения точки на ободе колеса станет равным $\alpha = 45^0$?

Ответ: $t = \sqrt{(\mathrm{tg}\,\alpha)/\varepsilon} = 0{,}5$ с.

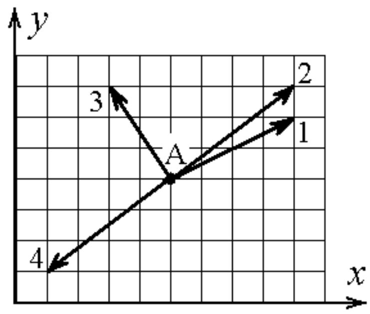
1.5. Кузнечик прыгает с некоторой начальной скоростью под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Определить радиус кривизны его траектории сразу после прыжка, если в верхней точке траектория имеет радиус кривизны R = 40 см.

Ответ: $R(t = 0) = R / \cos^3 \alpha = 3{,}2$ м.

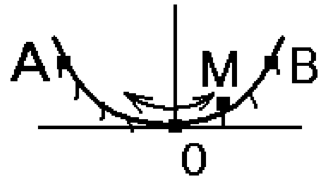
Качественные задачи.

1.6к. Радиус-вектор частицы изменяется во времени по закону $\overline{r} = 2t^2 \cdot \overline{i} + t^3 \cdot \overline{j}$.

В момент времени $t = 1$ с частица оказалась в некоторой точке А. Выберите правильное направление скорости частицы в этот момент времени. а) 1; б) 2; в) 3; г) 4; д) на рисунке нет правильного направления

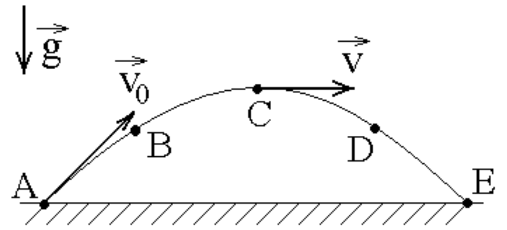


1.7к. Материальная точка М свободно без трения скользит в поле силы тяжести по гладким стенкам симметричной ямы (А и В – наивысшие точки подъема). При этом величина тангенциальной (касательной к траектории) проекции ускорения точки М:



а) отлична от нуля в точке В;
б) максимальна в нижней точке траектории О;
в) равна нулю в точке А; г) одинакова во всех точках траектории;

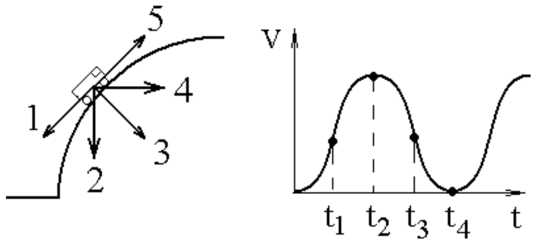
1.8к. Камень бросили под углом к горизонту со скоростью V_0. Его траектория в однородном поле тяжести изображена на рисунке. Сопротивления воздуха нет. Модуль тангенциального ускорения a_τ на участке А-В-С:



1) уменьшается 2) увеличивается 3) не изменяется

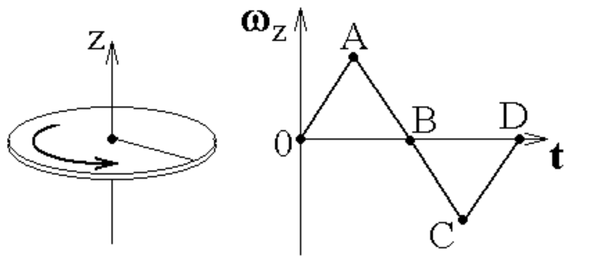
1.9к. Тело брошено с поверхности Земли со скоростью 10 м/с под углом 45° к горизонту. Если сопротивлением воздуха пренебречь и принять g = 10 м/с^2, то радиус кривизны траектории в верхней точке (в метрах) равен .....

1.10к. Из-за неисправности мотора величина скорости автомобиля синусоидально изменялась во времени, как показано на графике зависимости V(t). В момент времени t_1 автомобиль поднимался по участку дуги. Куда может быть направлена результирующая всех сил, действующих на автомобиль в этот момент времени?

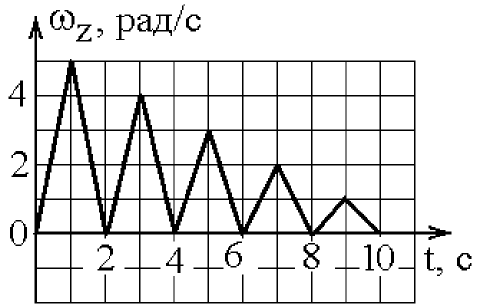


1) 1 2) 2 3) 3 4) 4 5) 5

1.11к. Диск вращается вокруг своей оси, изменяя проекцию своей угловой скорости так, как показано на рисунке. На каких участках графика зависимости $\omega_z(t)$ вектор угловой скорости $\vec{\omega}$ и вектор углового ускорения $\vec{\varepsilon}$ направлены в одну сторону?



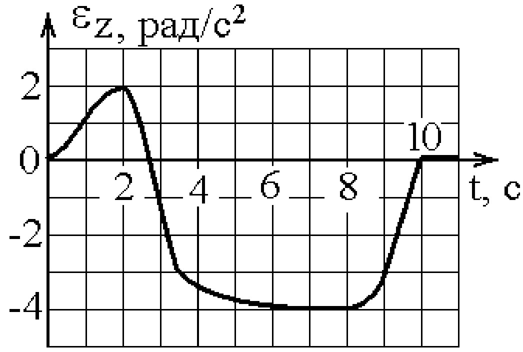
1) 0 - А и А-В 2) 0 -А и В - С 3) В - С и С - D
4) всегда направлены в одну сторону



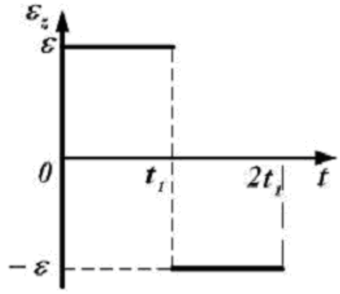
1.12к. Твердое тело начинает вращаться вокруг оси Z с угловой скоростью, проекция которой изменяется во времени, как показано на графике. В какой момент времени угол поворота тела относительно начального положения будет максимальным?

а) 10 с б) 1 с в) 2 сг) 9 с

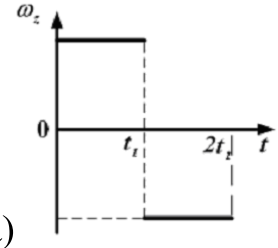
1.13к. Диск радиуса R начинает вращаться из состояния покоя в горизонтальной плоскости вокруг оси Z, проходящей перпендикулярно его плоскости через его центр. Зависимость проекции углового ускорения от времени показана на графике. Во сколько раз отличаются величины тангенциальных ускорений точки на краю диска в моменты времени t_1 = 2 с и t_2 = 7 с?

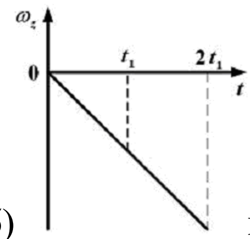


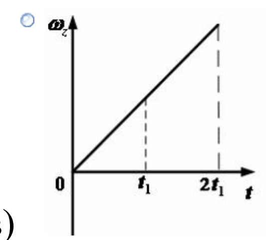
а) в 2 раза б) в 4 раза в) оба равны нулю г) трудно определить точно

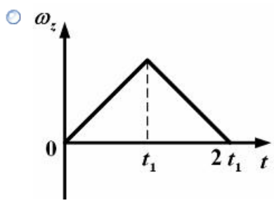


1.14к. Твердое тело начинает вращаться вокруг оси Z. Зависимость углового ускорения ε_Z от времени представлена на графике. Соответствующая зависимость угловой скорости ω_Z от времени представлена графиком ...

а) 

б) 

в) 

г) 

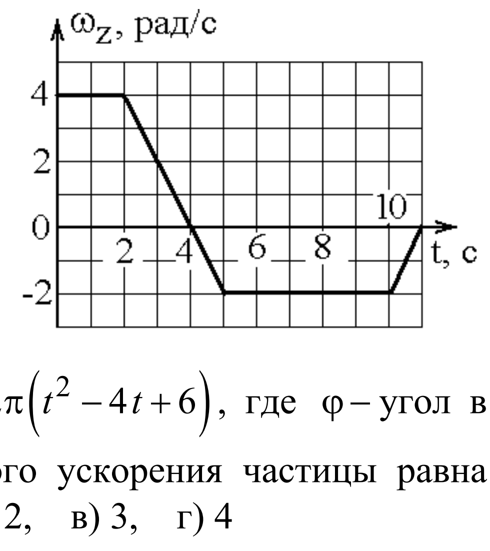
1.15к. Прямолинейное движение точки описывается уравнением $x = -1 + 3t^2 - 2t^3$ (в единицах СИ). Средняя скорость точки за время движения до остановки в м/с равна ....

Задачи для самостоятельной работы.

1.1с. Радиус-вектор частицы зависит от времени по закону $\vec{r}(t) = \vec{i}\cdot\left(5t^3 - 3t^4\right) + \vec{j}\cdot 4\cos(\omega t) + \vec{k}\cdot 2t^3$. Через сколько секунд перпендикулярной оси x окажется а) скорость частицы; б) ускорение частицы

1.2с. Частица начала свое движение из точки с радиусом-вектором $\vec{r}_0 = 4\left(\vec{j} + \vec{i}\right)$ (м), со скоростью, которая зависит от времени по закону $\vec{v}(t) = \vec{i}\cdot 5t + \vec{j}\cdot 6t^2$ (м/с). На какое расстояние от начала координат удалится частица в момент времени $t = 4$ с.

1.3с. Равнозамедленно вращающийся шкив повернулся на угол $\varphi = 4$ рад к тому моменту, когда его угловая скорость уменьшилась в три раза. Найти величину углового ускорения шкива. Его начальная скорость $\omega_0 = 6$ рад/с.



1.4с. Твердое тело начинает вращаться вокруг оси Z с угловой скоростью, проекция которой изменяется во времени, как показано на графике. На какой угол относительно начального положения окажется повернутым тело через 11 секунд?
а) 8 рад б) 12 рад в) 24 рад г) 0 рад

1.5с.. Частица движется вдоль окружности с радиусом 1 м в соответствии с уравнением $\varphi(t) = 2\pi\left(t^2 - 4t + 6\right)$, где $\varphi -$ угол в радианах, $t -$ время в секундах. Величина нормального ускорения частицы равна нулю в момент времени (в секундах), равный: а) 1, б) 2, в) 3, г) 4

1.6с. Материальная точка М движется по окружности со скоростью $\vec{v}$. На рис.1 показан график зависимости проекции скорости v_τ на орт $\vec{\tau}$, направленный вдоль скорости $\vec{v}$. На рис.2 укажите направление силы, действующей на точку М в момент времени t_1:

а) 1
б) 2
в) 3
г) 4

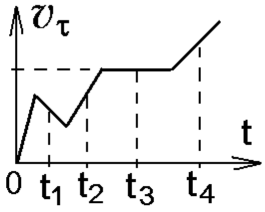
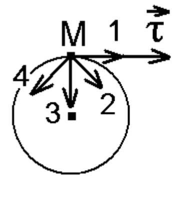
Рис.1


Рис.2


2. Динамика поступательного и вращательного движения.

Основной закон динамики поступательного движения это **второй закон Ньютона –** закон изменения импульса системы тел под действием результирующей внешних сил:

$$\sum \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}_{сист}}{dt} = m_{сист}\frac{d\vec{v}_C}{dt} = m_{сист}\vec{a}_C\,, \tag{2.1}$$

где $\vec{v}_C$ и $\vec{a}_C$ – скорость и ускорение центра масс системы тел, а $m_{сист}$ – суммарная масса всех тел в системе. Часто в физической задаче рассматривается движение только одного тела, тогда необходимо исследовать скорость и ускорение центра масс именно этого тела.

Из (2.1) можно расчитать *импульс силы***,** т.е. изменение импульса системы (или одного тела) при действии результирующей силы в течение некоторого времени Δt:

$$\Delta\vec{p} = \int_0^{\Delta t} \vec{F}_{рез}dt \qquad \text{или} \qquad \Delta\vec{p} = \left\langle \vec{F}_{рез} \right\rangle \Delta t\,, \tag{2.2}$$

где $\left\langle \vec{F}_{рез} \right\rangle$ – средняя сила, а изменение импульса $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$.

Основным уравнением динамики вращательного движения является **закон изменения момента импульса** ситемы под действием результирующего внешнего момента сил:

$$\sum \vec{M}_i = \frac{d\vec{L}_{сист}}{dt}\,, \tag{2.3}$$

где $\vec{M}_i = \left[\vec{r}\times\vec{F}_i\right]$ – момент силы $\vec{F}_i$, приложенной к частице, характеризуемой радиус-вектором $\vec{r}$ относительно заданной точки отсчета;
$\vec{L}_{сист} = \sum \vec{L}_i$ – момент импульса системы частиц, где $\vec{L}_i = \left[\vec{r}\times\vec{p}_i\right]$ – момент импульса одной частицы.

Из (2.3) можно расчитать изменение момента импульса системы (или одного тела) при действии результирующего момента силы в течение некоторого времени Δt:

$$\Delta\vec{L} = \int_0^{\Delta t} \vec{M}_{рез}dt \qquad \text{или} \qquad \Delta\vec{L} = \left\langle \vec{M}_{рез} \right\rangle \Delta t\,, \tag{2.4}$$

Часто в физической задаче рассматривается случай вращения твердого тела вокруг неподвижной оси. В этом случае выражение для момента импульса системы можно упростить:

$$\vec{L}_{сист} = I \cdot \vec{\omega}, \qquad (2.5)$$

где $I = \sum m_i r_i^2$ – момент инерции твердого тела относительно оси вращения, r_i – расстояние от частицы с массой m_i до оси вращения, $\vec{\omega}$ – угловая скорость вращения этого тела вокруг этой оси.

Подставляя (2.5) в (2.3), получим уравнение динамики тела, вращающегося вокруг некоторой оси Z:

$$\sum M_{iZ} = I_Z \varepsilon_Z, \qquad (2.6)$$

где $\varepsilon_Z = d\omega_Z / dt$ – угловое ускорение тела.

Рассчет моментов инерции твердых тел это отдельная математическая задача, иногда достаточно сложная. Но в некоторых случаях можно воспользоваться готовым решением для тел с простой геометрической формой. В таблице указаны формулы для рассчета моментов инерци некоторых тел относительно оси, проходящей через центр масс тел:

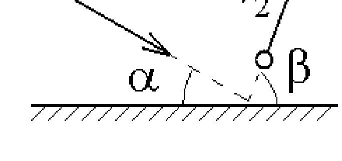
$I_C = mR^2$ – кольца относительно оси, проходящей через центр кольца перпендикулярно его плоскости.	$I_C = (2/5)mR^2$ – однородного шара относительно оси, проходящей через центр шара.
$I_C = mR^2/2$ – диска относительно оси, проходящей через центр диска перпендикулярно его плоскости.	$I_C = ml^2/12$ – стержня относительно оси, проходящей через середину стержня перпендикулярно к нему.

Для нахождения моментов инерции этих тел относительно других осей необходимо применить **теорему Штейнера**:

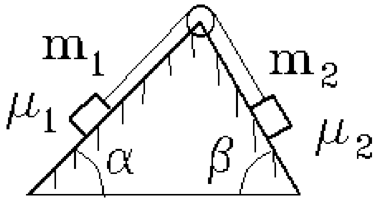
Момент инерции I_O твердго тела относительно произвольной оси *O* равен сумме момента инерции этого тела I_C относительно оси *C*, **парал-лельной оси *O* и проходящей через центр масс тела**, и произведения массы этого тела m и квадрата расстояния d между осями *O* и *C*.

$$\boxed{I_O = I_C + md^2} \qquad (2.7)$$

2.1. Небольшой шарик массы m = 1 кг летит со скоростью $V_1 = 5$ м/с под углом α =30° к горизонтальной плоскости. После неупругого удара он отскакивает со скоростью $V_2 = 3$ м/с под углом β =60° к плоскости. Время соударения τ = 0,001 с. Найти модуль средней силы трения шарика о плоскость, действовавшей во время удара. Ответ: 2830 Н



2.2. На вершине неподвижной призмы с углами $\alpha=30^0$ и $\beta=60^0$ установлен невесомый шкив, который может вращаться без трения. Через него перекинута нить, к концам которой прикреплены грузы с массами $m_1 = m_2 = m = 1$ кг. Коэффициенты трения грузов о плоскости призмы $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0{,}2.$ Найти ускорение грузов и силу натяжения нити.

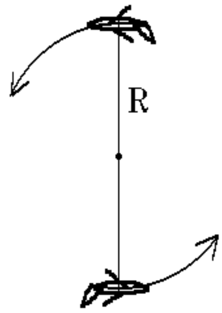


Ответ :

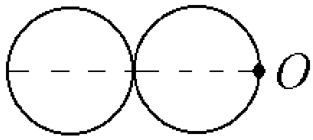
$$a = \frac{g}{2}\left[\sin\beta - \sin\alpha - \mu(\cos\beta + \cos\alpha)\right] = 0{,}455\,\text{м/с}^2;$$

$$T = \frac{mg}{2}\left[\sin\beta + \sin\alpha + \mu(\cos\alpha - \cos\beta)\right] = 7{,}06\,\text{Н}.$$

2.3. Модель самолёта в аттракционе вращается с частотой $\nu = 30$ оборотов в минуту в вертикальной плоскости, совершая “мёртвую петлю“ с радиусом R = 5 м. Во сколько раз сила, прижимающая человека к сиденью самолёта в нижней точке, больше такой же силы в верхней точке? Принять $\pi^2 = g$.

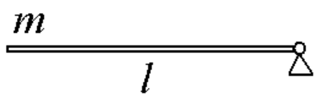


Ответ: в $\left(g + 4\pi^2\nu^2 R\right) / \left(4\pi^2\nu^2 R - g\right)$=1,5 раз.



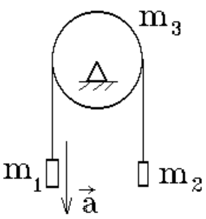
2.4. Два одинаковых диска массой m = 1 кг и радиусом R = 1 м каждый положили на плоскость и приварили друг к другу. Найти момент инерции получившейся детали относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости дисков через точку O (см. рис.).

Ответ: 11 кг·м^2



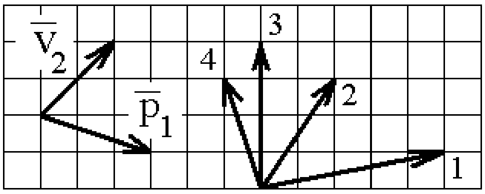
2.5. Тонкий однородный стержень массы m = 1 кг и длины l= 1 м может вращаться в вертикальной плоскости вокруг горизонтальной оси, проходящей через его конец. В оси действует момент сил трения $M_{тр.}$ = 1 Н·м. Стержень приводят в горизонтальное положение и отпускают без толчка. Найдите угловое ускорение в начальный момент времени. g = 10 м/с^2.

Ответ: 12 рад/с^2



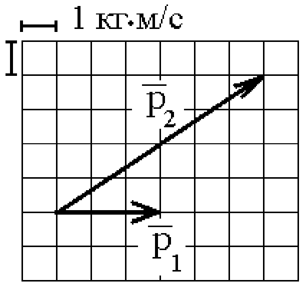
2.6. Невесомая нить перекинута через сплошной цилиндрический блок, способный вращаться вокруг горизонтальной закреплённой оси симметрии. К концам нити привязаны грузы m_1 = 2m и m_2 = m; масса блока m_3 = m, а его радиус равен R. Найти величину момента сил трения в оси блока, если нить движется с ускорением a = g / 7 Ответ: $M_{тр}$ = mgR / 2.

Качественные задачи.



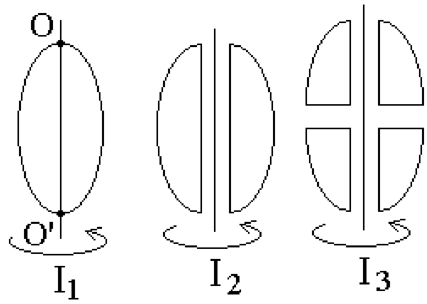
2.7к. Импульс тела $\overline{p}_1$ изменился под действием короткого удара и скорость тела стала равной $\overline{v}_2$, как показано на рисунке. В каком направлении могла действовать сила?

а) 2, 3, 4 б) 1 в) только 4 г) 1, 2



2.8к. Теннисный мяч летел с импульсом $\overline{p}_1$ в горизонтальном направлении, когда теннисист произвел по мячу резкий удар длительностью $\Delta t = 0{,}1$ с. Изменившийся импульс мяча стал равным $\overline{p}_2$ (масштаб указан на рисунке). Найти среднюю силу удара. а)30 Н б) 5 Н в) 50 Н

г) 0,5 Н д) 0,1 Н

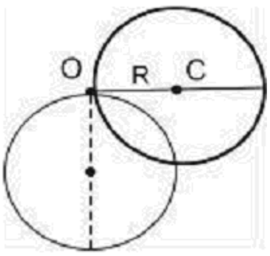


2.9к. Из жести вырезали три одинаковые детали в виде эллипса. Две детали разрезали: одну - пополам вдоль оси симметрии, а вторую - на четыре одинаковые части. Затем все части отодвинули друг от друга на одинаковое расстояние и расставили симметрично относительно оси OO' (см. рис.). Выберите правильное соотношение между моментами инерции этих деталей относительно оси OO'.

а) $I_1 < I_2 = I_3$ б) $I_1 < I_2 < I_3$ в) $I_1 = I_2 < I_3$ г) $I_1 > I_2 > I_3$

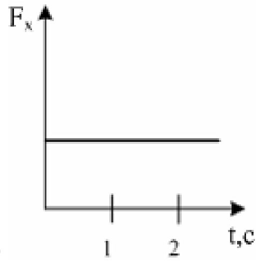
2.10к. На барабан радиусом R = 0,5 м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой m = 10 кг. Груз опускается с ускорением a = 2 м/с^2. Момент инерции барабана равен ...

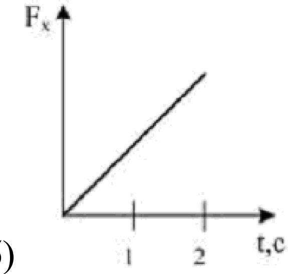
2.11к. Обруч, раскрученный в вертикальной плоскости и посланный по полу рукой гимнастки, через несколько секунд сам возвращается к ней. Начальная скорость центра обруча равна v = 10 м/с, коэффициент трения между обручем и полом равен μ = 0,5. Максимальное расстояние, на которое откатывается обруч от гимнастки, равно ...

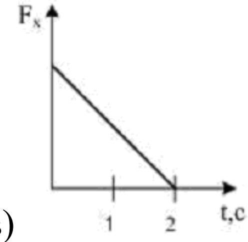


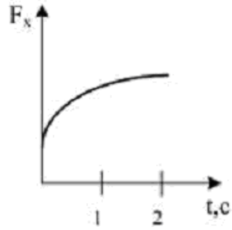
2.12к. Тонкий обруч радиусом 1 м, способный свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O перпендикулярно плоскости рисунка, отклонили от вертикали на угол 90° и отпустили. В начальный момент времени угловое ускорение обруча равно ... а) 20 с$^{-2}$ б) 7 с$^{-2}$ в) 5 с$^{-2}$ г) 10 с$^{-2}$

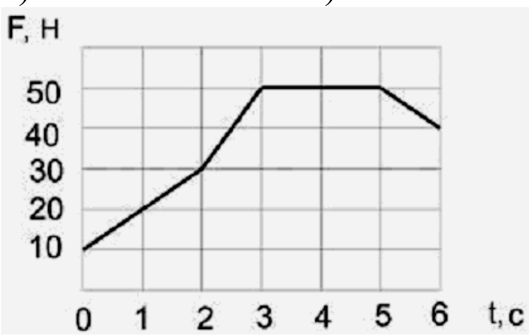
2.13к. Зависимость импульса частицы от времени описывается законом $\vec{p} = 2t\vec{i} + 3t^2\vec{j}$, где $\vec{i}$ и $\vec{j}$ – единичные векторы координатных осей X, Y соответственно. Зависимость горизонтальной проекции силы F_x, действующей на частицу, от времени представлена на графике ...

а) 

б) 

в) 

г) 

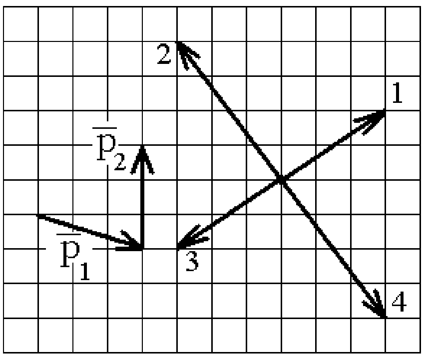


2.14к. На графике показана зависимость силы, действующей на тело, от времени. За первые три секунды импульс тела изменился на ...

а) 80 Н·с
б) 300 Н·с
в) 150 Н·с
г) 50 Н·с

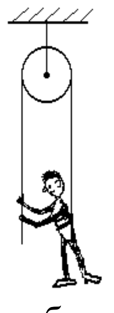
2.15к. При выстреле орудия снаряд вылетел из ствола с угловой скоростью ω = 200 с$^{-1}$ под углом α =60° к горизонту. Момент инерции снаряда относительно его продольной оси I = 15 кг·м^2, растояние между колесами орудия l = 1,5 м, время движения снаряда в стволе $t = 2 \cdot 10^{-2}$ с. Силы давления (в килоньютонах) земли, действующие на колеса во время выстрела, отличаются на ...

Задачи для самостоятельной работы.

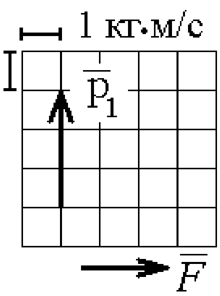


2.1с. Импульс тела $\overline{p}_1$ изменился под действием короткого удара и стал равным $\overline{p}_2$, как показано на рисунке. В каком направлении действовала сила?

а) 1
б) 2
в) 3
г) 4



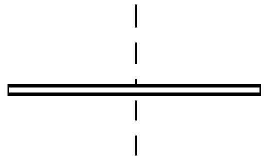
2.2с. Через невесомый блок перекинут невесомый шнур, к концу которого привязан человек массы m = 60 кг. С какой силой человек должен тянуть за другой конец шнура, чтобы подниматься вверх?

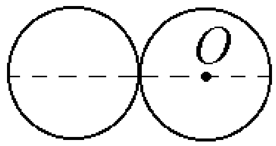


2.3с. Теннисный мяч летел с импульсом $\vec{p}_1$ (масштаб и направление указаны на рисунке). В перпендикулярном направлении на короткое время Δt = 0,1 с на мяч подействовал порыв ветра с постоянной силой F = 40 Н. Какова стала величина импульса p_2 после того, как ветер утих?

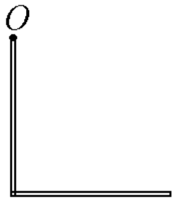
а) 5 кг·м/с; б) 0,5 кг·м/с; в) 43 кг·м/с; г) 50 кг·м/с; д) 7 кг·м/с

2.4с. Найти угловую скорость, с которой начал вращаться вокруг вертикальной закреплённой оси тонкий стержень массы m = 200 г и длины l = 80 см, лежащий на горизонтальной плоскости. Ось проходит через середину стержня, и в оси вращения возникает постоянный момент сил трения $M_{тр}$= 0,15 Н . Повернувшись на угол $\varphi = 8$ рад, стержень останавливается.



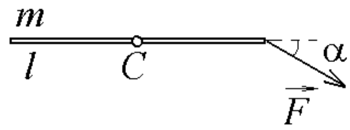


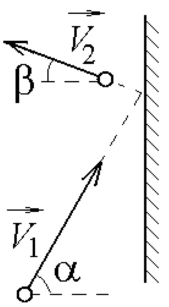
2.5с.. Два одинаковых диска массой m = 1 кг и радиусом R = 1 м каждый положили на плоскость и приварили друг к другу. Найти момент инерции получившейся детали относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости дисков через центр масс одного из дисков O.



2.6с. Два одинаковых однородных тонких стержня массой m = 1 кг и длиной l = 1 м каждый приварили концами перпендикулярно друг к другу. Через конец одного из стержней проходит ось O, перпендикулярная плоскости стержней. Найти момент инерции получившейся детали относительно оси O.

2.7с. Тонкий однородный стержень массы m= 1 кг и длины l = 1 м может вращаться в горизонтальной плоскости без трения вокруг вертикальной оси C, проходящей через середину стержня. К концу стержня в плоскости вращения под углом α = 30° к стержню прикладывают силу F =1 Н. Найдите угловое ускорение стержня в начальный момент времени.





2.8с. Небольшой шарик массы m = 1 кг летит со скоростью $V_1 = 5$ м/с под углом α = 60° к горизонту и падает на вертикальную стену. После неупругого удара он отскакивает со скоростью $V_2 = 3$ м/с под углом β =30° к горизонту. Время соударения τ = 0,001 с. Найти модуль средней силы нормальной реакции со стороны стены.