

# Динамика

раздел механики, где изучают движение тел  
с учетом причин их вызывающих

Взаимодействие тел в природе.

**принцип причинности в механике**

изменение скорости тела (а значит ускорение)  
всегда вызывается воздействием на него  
каких-либо других тел

**Если действий со стороны других тел на данное тело нет, то согласно основному утверждению механики ускорение тела равно нулю, т. е. тело будет покоиться или двигаться с постоянной скоростью.**

# Первый закон Ньютона.

*Существуют системы отсчета, называемые инерциальными, относительно которых тело движется прямолинейно и равномерно, если на него не действуют другие тела или действие этих тел скомпенсировано.*

*Инерция — это свойство тела сохранять скорость при отсутствии внешнего воздействия.*

Только равномерное и прямолинейное движение является движением по инерции. Согласно первому закону Ньютона, когда силы, действующие на движущееся тело, уравновесят друг друга, оно станет двигаться равномерно и прямолинейно. Или, если оно ранее покоилось, то и останется в покое.

# Понятие силы как меры взаимодействия

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МЕРА ДЕЙСТВИЯ ТЕЛ ДРУГ НА ДРУГА

Силы в механике: гравитационные, силы упругости, силы трения

$$\vec{a} \propto \vec{F} \quad \vec{F} \propto \vec{a}$$

Векторы  $\vec{a}$  и  $\vec{F}$  направлены по одной прямой в одну и ту же сторону.

**Если на тело одновременно действуют несколько сил, то ускорение тела будет пропорционально геометрической сумме всех этих сил. Иначе говоря, если:**

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n,$$

то  $\vec{a} \sim \vec{F}$ .

# Масса

Масса — основная динамическая характеристика тела, количественная мера его инертности, т. е. способности тела приобретать определенное ускорение под действием силы. Чем больше масса тела, тем больше его инертность, тем сложнее вывести тело из первоначального состояния, т. е. заставить его двигаться, или, наоборот, остановить его движение.

Величину  $F/a$ , равную отношению модуля силы к модулю ускорения, называют массой (точнее, инертной массой) тела.

# Частные случаи применения первого закона Ньютона

*Рассмотрим пример.* На автомобиль, движущийся по горизонтальному шоссе, действуют сила тяжести  $m\vec{g}$ , сила тяги  $\vec{F}_{\text{тяги}}$ , сила трения  $\vec{F}_{\text{тр}}$  и сила реакции опоры со стороны шоссе  $\vec{F}_N$  (рис. 31). Автомобиль станет двигаться равномерно и прямолинейно, если все силы окажутся уравновешенными другими силами, т. е. если модули противоположно направленных сил равны между собой:

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{тр}}$$

и

$$mg = F_N.$$

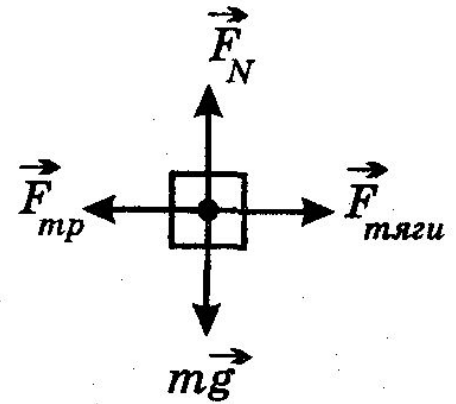


Рис. 31

# Частные случаи применения первого закона Ньютона

*Другой пример.* Тело соскальзывает с наклонной плоскости с углом при основании  $\alpha$  (рис. 32). Оно будет двигаться равномерно и прямолинейно, если станут выполняться равенства

$$mg \sin \alpha = F_{\text{тр}}$$

и

$$mg \cos \alpha = F_N.$$

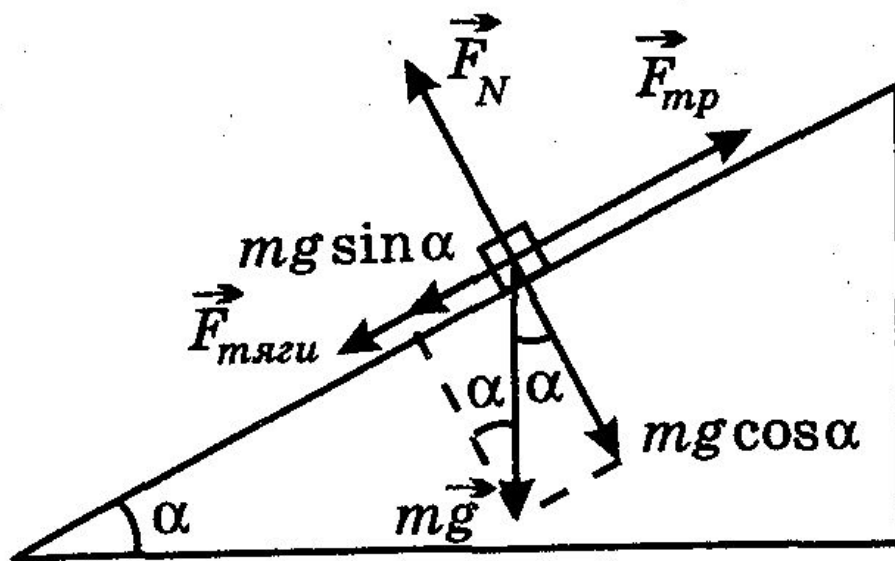


Рис. 32

# Частные случаи применения первого закона Ньютона

*Еще пример.* Тело перемещается к вершине наклонной плоскости под действием силы тяги (рис. 33). В этом случае сила трения будет направлена к основанию наклонной плоскости. Движение тела будет равномерным и прямолинейным, если будут выполняться равенства:

$$F_{\text{тяги}} = mg \sin \alpha + F_{\text{тр}}$$

и

$$mg \cos \alpha = F_N .$$

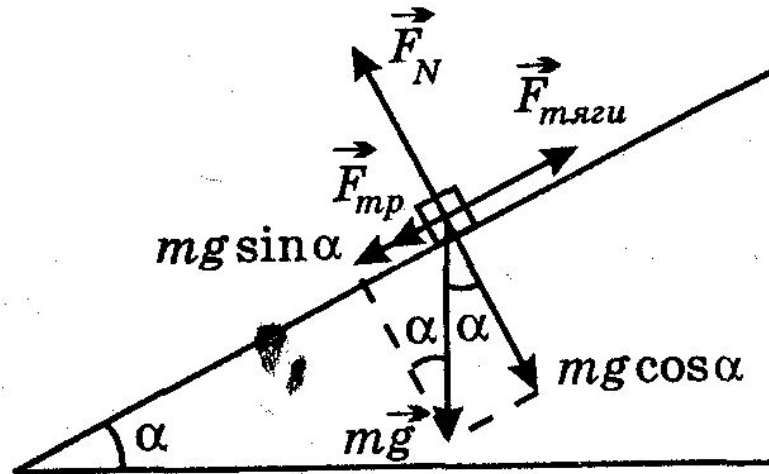


Рис. 33

# Частные случаи применения первого закона Ньютона

Если тело движется равномерно и прямолинейно по вертикали — вверх или вниз — и на него действуют, например, сила тяжести  $mg$  и сила натяжения каната или веревки  $F_{\text{нат}}$  (рис. 34), то должно выполняться равенство:

$$mg = F_{\text{нат}} .$$

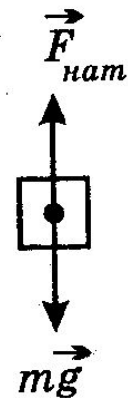


Рис. 34



# Частные случаи применения первого закона Ньютона

Если силы, действующие на тело, направлены под углом друг к другу, как на рис. 35, то надо их спроецировать на две взаимно перпендикулярные оси координат  $OX$  и  $OY$ , причем одну из осей лучше сонаправить с одной из сил или двумя, если они действуют вдоль одной прямой. А затем приравнять модули их проекций:

$$F_1 \cos \alpha + F_2 = F_4$$

и

$$F_1 \sin \alpha + F_5 = F_3$$

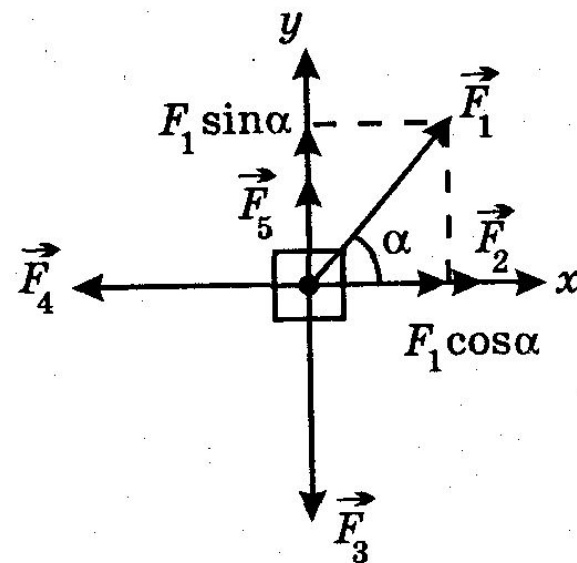


Рис. 35

Если силы не уравновешивают друг друга, то тело будет двигаться с ускорением в соответствии со вторым законом Ньютона.

# Второй закон Ньютона.

*Ускорение тела прямо пропорционально силе, действующей на него, и обратно пропорционально его массе:  $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ .*

другая формулировка (для решения задач):

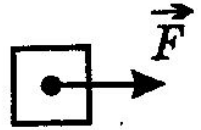
*Произведение массы тела на ускорение равно сумме действующих на тело сил:*

$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

# Частные случаи применения второго закона Ньютона

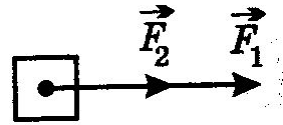
Если на тело действует только одна сила, то оно всегда движется с ускорением. Произведение массы этого тела на его ускорение равно этой силе:

$$ma = F.$$



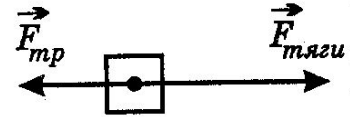
Если силы действуют на тело в одном направлении, то произведение массы тела на его ускорение равно сумме их модулей:

$$ma = F_1 + F_2.$$



Если силы направлены в противоположные стороны, то произведение массы тела на его ускорение равно разности между модулями большей и меньшей сил:

$$ma = F_{\text{тяги}} - F_{\text{тр}}.$$



# Частные случаи применения второго закона Ньютона

Если силы направлены под углом друг к другу, то их надо спроецировать на оси координат ОХ и ОУ и если проекции с противоположными знаками окажутся разными по модулю, то произведение массы тела на его ускорение будет равно разности этих проекций:

Если тело движется вверх с ускорением

$$ma = F \cos \alpha - F_{mp}$$

или вниз с замедлением, как на рис. 40, то

произведение его массы на ускорение

равно разности между модулем силы,

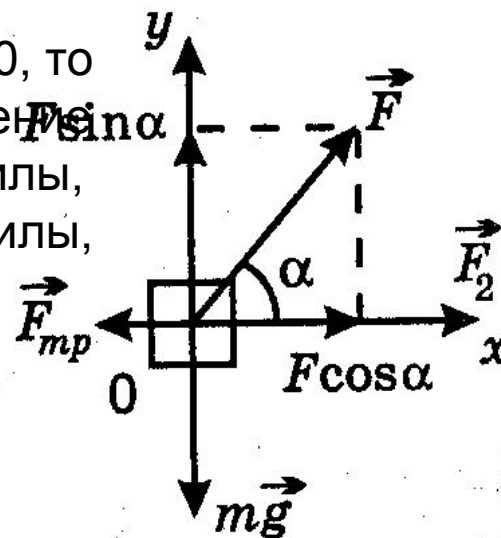
направленной вверх, и модулем силы,

направленной вниз:


Примечание:

На рис. проекции сил на ось ОУ  $F \sin \alpha$  и  $mg$  по модулю равны друг другу в соответствии с первым законом Ньютона, поэтому проекция ускорения на эту ось равна нулю:

$$F \sin \alpha = mg$$



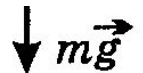
# Частные случаи применения второго закона Ньютона

Если тело движется вверх с ускорением или вниз с   $\vec{F}_{нат}$

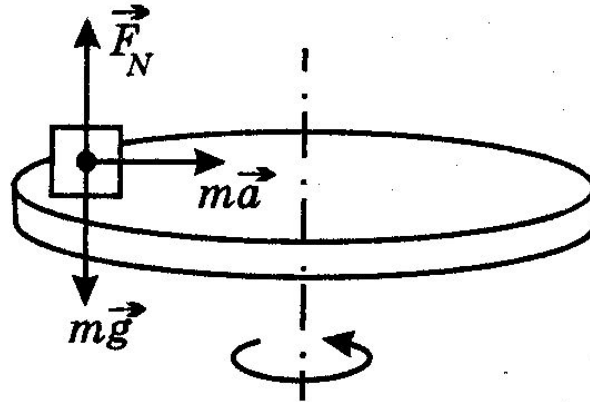
Если тело удерживается на горизонтальном вращающемся круге силой трения, как на рис. 44, то произведение его массы и центростремительного ускорения равно этой силе, потому что силы тяжести и реакции опоры уравновешены:

$$ma = F_{тр}$$

$$ma = mg - F_{нат}$$



# Частные случаи применения второго закона Ньютона



Если тело удерживается на горизонтальном вращающемся круге силой трения, как на рис. 44, то произведение его массы и центростремительного ускорения равно этой силе, потому что силы тяжести и реакции опоры уравновешены:

$$ma = F_{\text{тр}}$$

# Частные случаи применения второго закона Ньютона

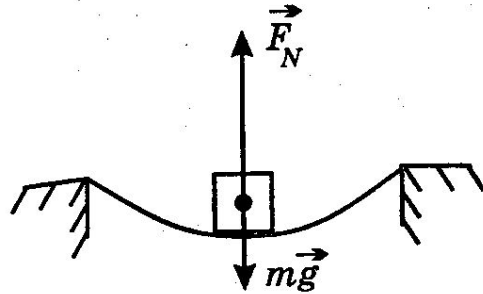


Рис. 45

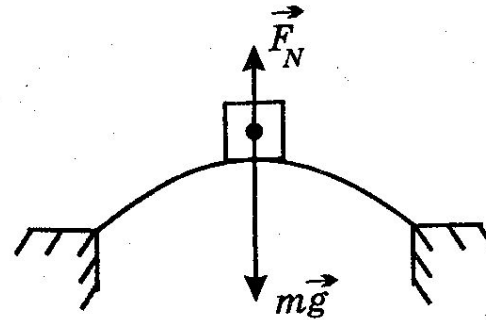


Рис. 46

Если автомобиль едет по вогнутому мосту, который является частью дуги окружности, как на рис. 45, то в нижней точке моста сила реакции опоры больше силы тяжести, поэтому вогнутый мост быстрее изнашивается, чем горизонтальный или выпуклый. В этом случае произведение массы автомобиля и его центростремительного ускорения равно разности между силой реакции моста, которая по модулю равна силе давления автомобиля на мост  $F_{\text{давл}}$ , и силой тяжести:

$$ma = F_{\text{давл}} - mg.$$

А если мост выпуклый, как на рис. 47, то сила тяжести больше силы давления, и тогда

$$ma = mg - F_{\text{давл}}.$$



# Частные случаи применения второго закона Ньютона

Когда летчик в самолете делает мертвую петлю, то в высшей точке петли (рис. 47) сила тяжести и сила давления на него кресла сверху направлены вниз, поэтому произведение массы летчика и его центростремительного ускорения равно их сумме:

$$ma = F_{\text{давл}} + mg.$$



В этом случае, чтобы летчик не провисал

В нижней точке мертвой петли (рис. 47) сила давления кресла на летчика снизу больше силы тяжести. В этом случае произведение массы летчика и его центростремительного ускорения равно разности между силой давления и силой тяжести:

$$ma = F_{\text{давл}} - mg.$$

$$F_{\text{давл}} = 0.$$

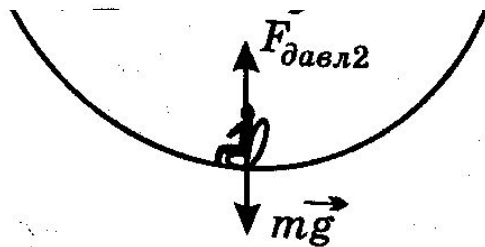


Рис. 47

Это же условие должно выполняться, чтобы мотоциклист не свалился в высшей точке траектории с вертикального трека или чтобы вода не выливалась при вращении ведерка с водой в вертикальной плоскости и т. п.

# Частные случаи применения второго закона Ньютона

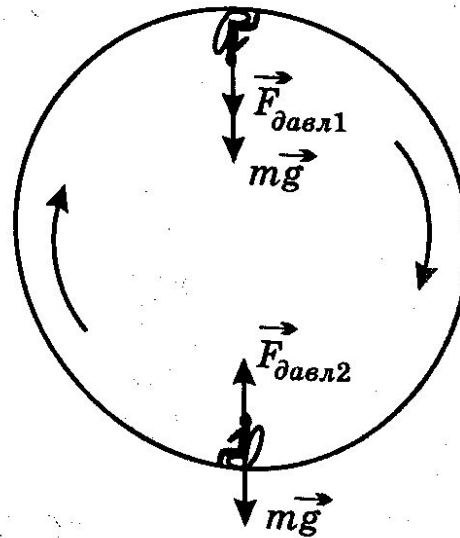


Рис. 47

В нижней точке мертвой петли (рис. 47) сила давления кресла на летчика снизу больше силы тяжести. В этом случае произведение массы летчика и его центростремительного ускорения равно разности между силой давления и силой тяжести:

$$ma = F_{\text{давл}} - mg.$$

# Частные случаи применения второго закона Ньютона

Если тело на канате движется по образующей конуса (конический маятник), как на рис. 48, то произведение его массы на центростремительное ускорение равно векторной сумме силы тяжести и силы натяжения каната, а по модулю соотношение между этими силами можно определить из прямоугольных треугольников:

$$m\vec{a}_ц = m\vec{g} + \vec{F}_{нат},$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{ma_ц}{mg}$$

ИЛИ

$$\sin\alpha = \frac{ma_ц}{F_{нат}},$$

ИЛИ

$$(F_{нат})^2 = (ma_ц)^2 + (mg)^2$$

И Т. П.

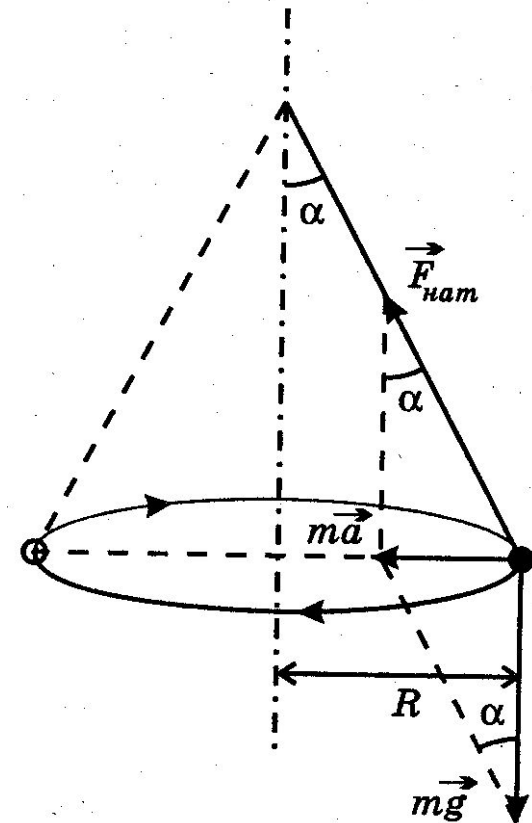


Рис. 48

# Третий закон Ньютона

*Силы, с которыми тела действуют друг на друга, равны по модулям и направлены по одной прямой в противоположные стороны.*

Если на тело  $A$  со стороны тела  $B$  действует сила  $\vec{F}_A$  (рис. 3.13), то одновременно на тело  $B$  со стороны тела  $A$  будет действовать сила  $\vec{F}_B$ , причем



Рис. 3.13

$$\vec{F}_A = -\vec{F}_B. \quad (3.9)$$

Используя второй закон Ньютона, равенство (3.6) можно записать так:

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2. \quad (3.10)$$

Отсюда следует, что

$$\frac{a_1}{a_2} = -\frac{m_2}{m_1} = \text{const}, \quad (3.11)$$

т. е. отношение модулей ускорений  $\vec{a}_1$  и  $\vec{a}_2$  взаимодействующих друг с другом тел обратно пропорционально их массам.

# ЕДИНИЦЫ МАССЫ И СИЛЫ.

В Международной системе единиц (СИ) за единицу массы — один килограмм (1 кг) — принята масса эталонной гири из сплава платины и иридия, которая хранится в Международном бюро мер и весов в Севре, близ Парижа.

За единицу силы в Международной системе единиц принимается сила, которая сообщает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с<sup>2</sup>.

Эта единица называется *ньютоном* (сокращенное обозначение — Н). Наименование ньютона:

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2.$$

# Алгоритм решения задач по динамике

## ИЗОБРАЗИТЕ

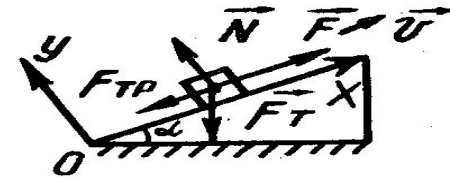
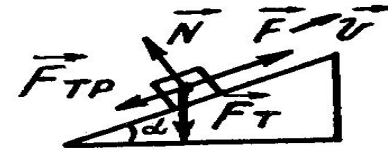
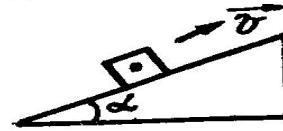
1. тела (материальные точки, о которых идет речь в задаче)
2. направление вектора скорости
3. силы, действующие на них

## ВЫБЕРИТЕ

1. инерциальную систему отсчета
2. удобные направления координатных осей

## ЗАПИШИТЕ

1. основное уравнение динамики в векторной форме
2. формулы для определения сил
3. основные уравнения кинематики (если они нужны)
4. все векторные равенства запишите в проекции на выбранные оси



$$\vec{F}_T + \vec{F} + \vec{N} + \vec{F}_{TP} = m\vec{a}$$

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

$$\vec{F}_{TP} = \mu N$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$X = X_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$-F_T \sin \alpha + F - F_{TP} = m a_x$$

$$-F_T \cos \alpha + N = 0$$

$$F_T = m g$$

$$F_{TP} = \mu N$$

## Решение задач

**А5.** Куда будет направлено ускорение тела, если на него будут действовать силы, изображенные на рис. 55?

1) влево

2) вправо

3) вверх

4) вниз

**А6.** На рис. 56 изображен график скорости равноускоренного движения тела массой 100 г. На тело действует сила

1) 0,05 Н

2) 0,1 Н

3) 0,15 Н

4) 0,2 Н

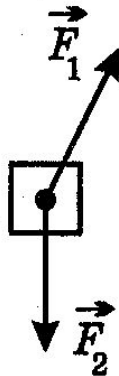


Рис. 55

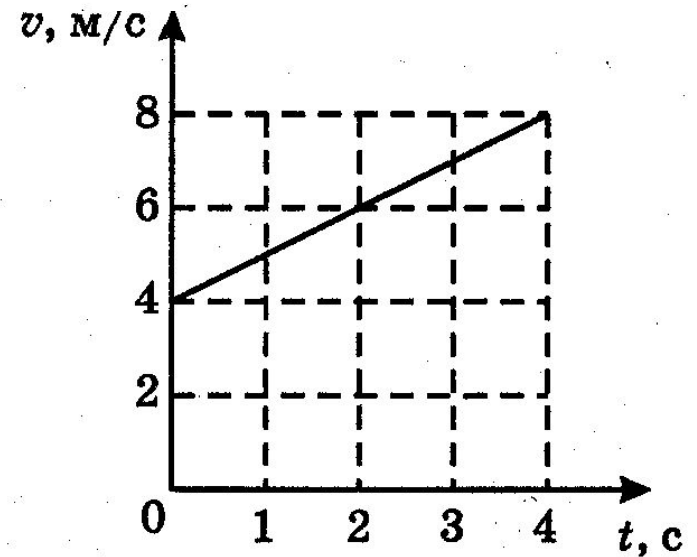


Рис. 56

**A7.** Под действием силы тело массой 600 г приобрело ускорение  $2 \text{ м/с}^2$  (рис. 57). Какое ускорение приобретет тело массой 3 кг под действием такой же силы?

- 1)  $0,2 \text{ м/с}^2$
- 2)  $0,4 \text{ м/с}^2$
- 3)  $0,8 \text{ м/с}^2$
- 4)  $1,2 \text{ м/с}^2$

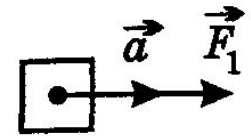


Рис. 57

**A9.** На рис. 58 изображен график скорости тела массой 500 г, движущегося вниз. Вес этого тела равен

- 1) 5,5 Н
- 2) 7,5 Н
- 3) 8,4 Н
- 4) 10,5 Н

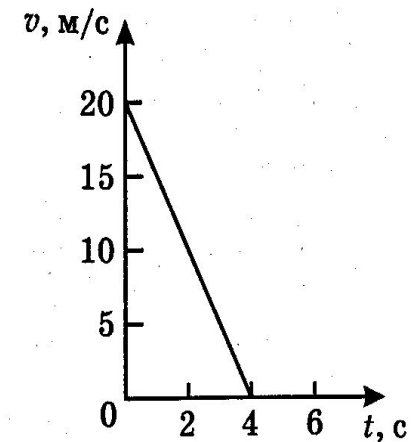


Рис. 58

**A11.** В процессе движения автомашины по шоссе сила сопротивления движению стала равна силе тяги двигателя. При этом автомобиль

- 1) стал двигаться с ускорением
- 2) стал двигаться равномерно
- 3) стал двигаться с замедлением
- 4) остановился



**A18.** На рис. 60 изображены графики зависимости равнодействующей сил, действующих на тело, от времени его движения. Графиком, соответствующим равномерному и прямолинейному движению тела, является график

1) *a*

2) *b*

3) *c*

4) *d*

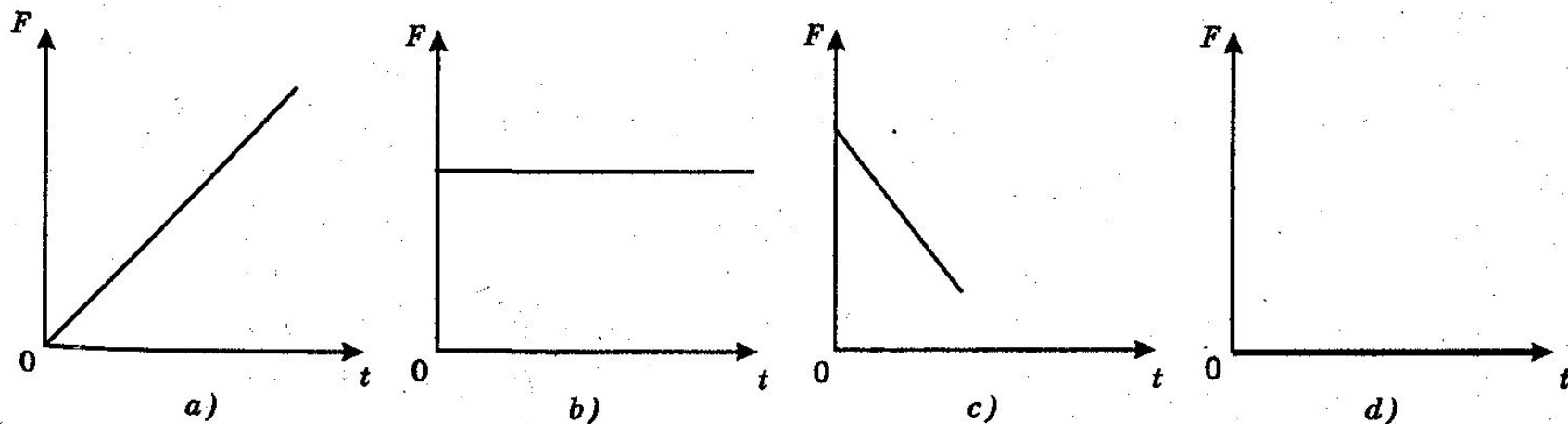


Рис. 60

118. Сила 50 Н сообщает телу ускорение  $0,1 \text{ м/с}^2$ . Какая сила сообщает этому телу ускорение  $0,01 \text{ м/с}^2$ ?

119. Тело массой 2 кг приобретает под действием некоторой силы ускорение  $2 \text{ м/с}^2$ . Какое ускорение приобретет под действием этой силы тело массой 5 кг?

120. Сила 15 Н действует на тело массой 0,5 кг. Какая сила сообщит такое же ускорение телу массой 2 кг?

121. Тело, движущееся под действием постоянной силы, прошло в первую секунду путь 25 см. Определите силу, если масса тела 25 г.

122. Снаряд массой 2 кг вылетает из ствола орудия горизонтально со скоростью  $1000 \text{ м/с}$ . Определите силу давления пороховых газов, считая ее постоянной, если длина ствола равна 3,5 м.

123. Скорость автомобиля изменяется по закону  $v_x = 10 + 0,5t$ . Найдите результирующую силу, действующую на него, если масса автомобиля равна 1,5 т.

124. Скорость материальной точки изменяется по закону  $v_x = 5 - 3t$  под действием силы 6 Н. Какова масса точки?

125. Напишите уравнение скорости движения реактивного самолета, начинающего разбег по взлетной полосе аэродрома, если результирующая сила тяги двигателя равна 90 кН, а масса его равна 60 т.

126. Найдите проекцию силы  $F_x$ , действующей на тело массой 500 кг, если его координата изменяется по закону  $x = 20 - 10t + t^2$ .

127. Под действием силы 150 Н тело движется так, что его координата в направлении действия силы изменяется по закону  $x = 100 + 5t + 0,5t^2$ . Какова масса тела?

128. На рисунке 30 изображены графики скорости движения двух тел I и II с одинаковой массой, 5 кг каждое, и тела III массой 10 кг. Найдите проекцию силы, действующей на каждое тело.

129. На рисунке 31 дан график зависимости проекции скорости от времени тела массой 2 кг. Найдите проекцию силы, действующей на тело на каждом этапе движения.

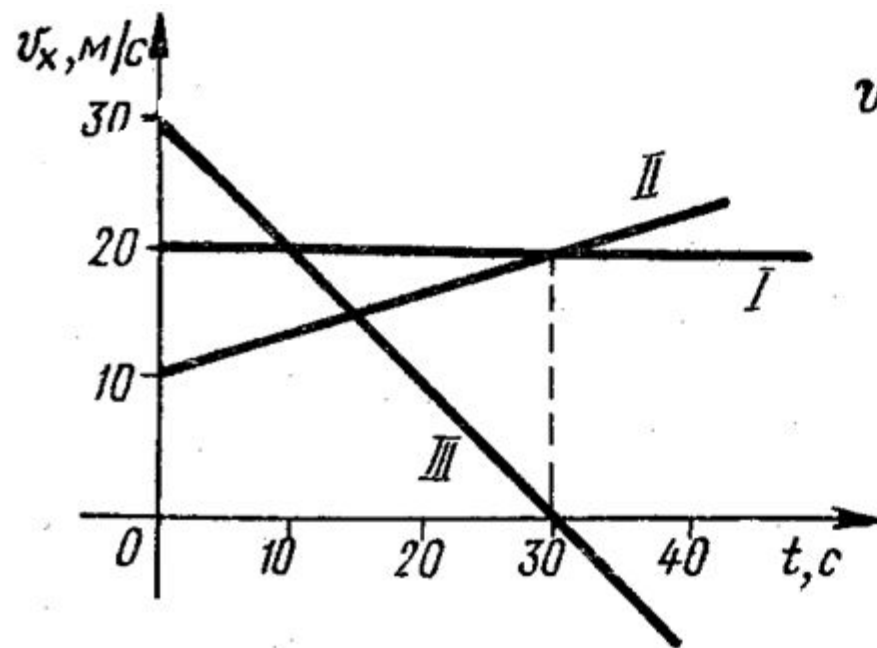


Рис. 30

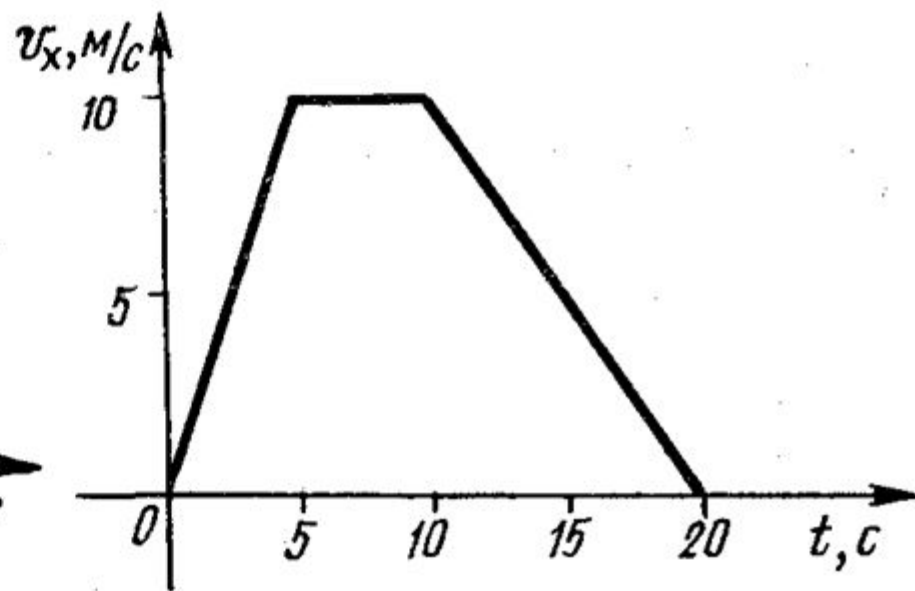


Рис. 31

133. Два мальчика тянут веревку в разные стороны, прилагая силы  $100\text{ Н}$  каждый. Веревка может выдержать, не разрываясь, груз весом  $150\text{ Н}$ . Разорвется ли веревка?

134. К крючку и корпусу динамометра Бакушинского привязаны две нити, которые перекинута через два неподвижных блока. К другим концам нитей привязаны грузы весом  $1\text{ Н}$  каждый (рис. 32). Система находится в покое. Что показывает динамометр?

1. Тело движется по инерции, если...

- 1) на него действует постоянная сила
- 2) все силы, кроме силы трения, скомпенсированы
- 3) все силы, кроме силы трения, отсутствуют
- 4) равнодействующая всех сил постоянна по направлению

2. Определите равнодействующую всех сил, действующих на катер, если он плывет против течения. Сила тяги двигателя 200 Н, сопротивление воды 50 Н, а сопротивление воздуха 5 Н.

- 1) 145 Н                      2) 40 Н                      3) 55 Н                      4) 165 Н

3. Автомобиль массой 500 кг движется под действием силы 125 Н. Определите его ускорение.

- 1)  $0,25 \text{ м/с}^2$                       2)  $0,5 \text{ м/с}^2$                       3)  $0,75 \text{ м/с}^2$                       4)  $1 \text{ м/с}^2$

1. Система отсчета связана с железнодорожным составом. В каком случае она будет инерциальной?

- 1) поезд стоит на станции
- 2) поезд движется равномерно относительно станции
- 3) поезд движется ускоренно относительно станции
- 4) в первом и во втором случаях

2. Определите равнодействующую сил, действующих на трактор, если он тянет плуг с силой 5 кН, а сила сопротивления движению равна 3 кН.

- 1) 8 кН                      2) 2 кН                      3)  $\sqrt{24}$  кН                      4) 3 кН

3. Какова скорость тела массой 0,5 кг через 4 с после начала движения, если оно движется под действием силы 35 Н?

- 1) 200 м/с                      2) 240 м/с                      3) 260 м/с                      4) 280 м/с

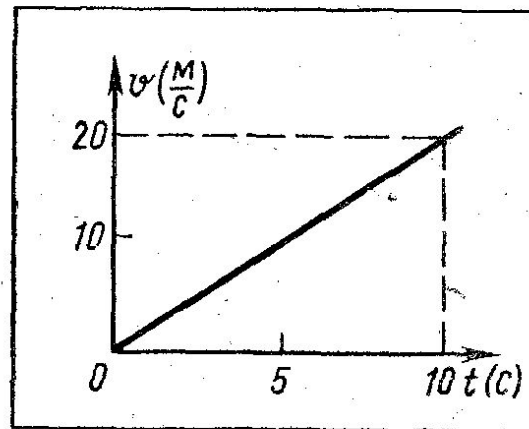




818Т1. Паровоз толкнул вагон массой 30 т, стоящий на горизонтальном пути. Вагон начал двигаться со скоростью 0,5 м/с. Определите силу удара, если его длительность 1 с.

818Т2. Велосипедист, прилагая силу 5 Н, до полного разгона проезжает путь 45 м. Какую скорость он имеет в конце пути, если его масса вместе с велосипедом 90 кг?

818Т3. Определите силу, приводящую в движение автомобиль массой 1500 кг. График изменения скорости автомобиля представлен на чертеже. Сила трения при движении автомобиля составляет 200 Н.



818Т4. На расстоянии 1 км от станции поезд имел скорость 10 м/с. Дальше он двигался равноускоренно. На каком расстоянии он будет от станции через 2 мин, если сила, сообщающая ему ускорение, равна 25 кН, а масса поезда 500 т?

**820Т2.** Две тележки массами 2 и 4 кг, движущиеся равномерно навстречу друг другу, столкнулись с силой 8 Н. Определите ускорения тележек, полученные при столкновении.

**820Т3.** На земле лежит камень массой 1 т. С какой силой он притягивает к себе Землю? Покажите на чертеже эту силу.

**820Т4.** На гладком столе лежат два бруска массами 5 и 3 кг, связанные между собой нитью. С какой силой нить действует на второй брусок, если на брусок массой 5 кг действует сила 40 Н в направлении движения?

**820Т5.** Движущаяся вагонетка массой 200 кг ударилась о препятствие и отскочила. Определите ускорение, полученное вагонеткой при ударе, если средняя сила удара 400 Н.