

# ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

Тема лекции: Законы механики Ньютона. Силы в природе.  
Сила тяжести и сила всемирного тяготения. Вес. Невесомость.

# Основы динамики:

- **Динамика** – раздел механики, в котором изучают закономерности механического движения материальных тел под действием приложенных к ним сил и причины возникновения у тел ускорений.
- **Основная задача динамики** состоит в том, чтобы по известным законам движения определить силы, действующие на тело.

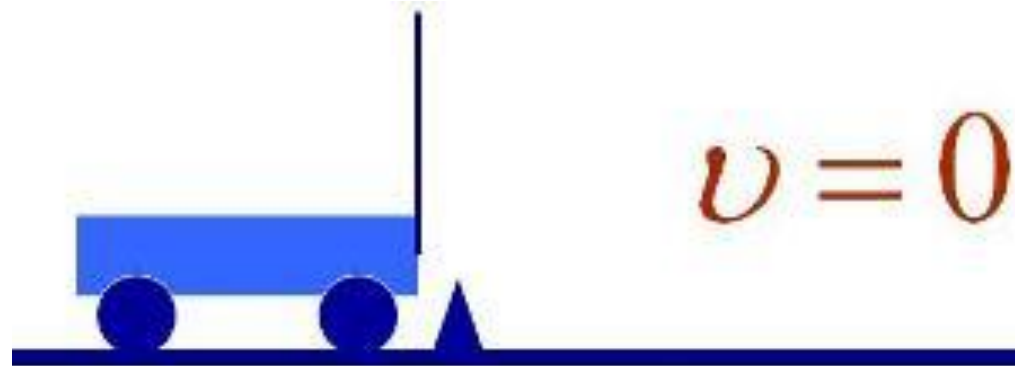
Изменение скорости тела происходит под действием другого тела. Рассмотрим это

## Опыт с тележками.

К тележке прикрепим упругую пластинку. Затем изогнем ее и свяжем нитью. Тележка относительно стола находится в г



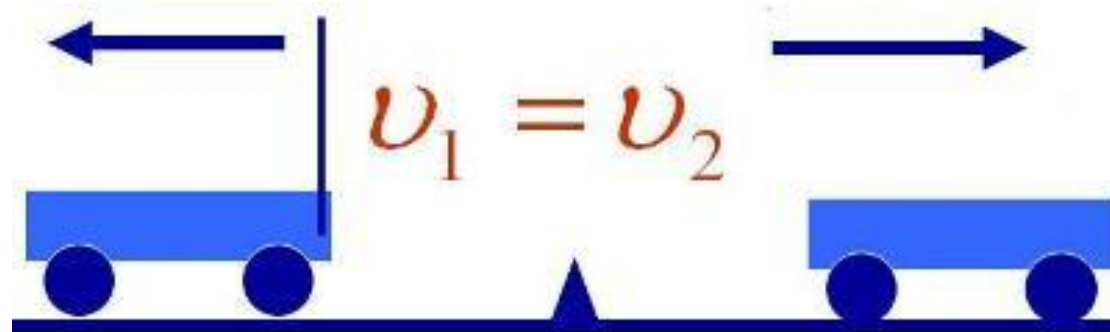
Станет ли двигаться тележка, если упругая пластинка выпрямится? Для этого перережем нить. Пластинка выпрямится. Тележка же останется на прежнем месте.



Затем вплотную к согнутой пластинке поставим еще одну такую же тележку.



Вновь пережжем нить. После этого обе тележки придут в движение относительно стола. Они разъедутся в разные стороны.

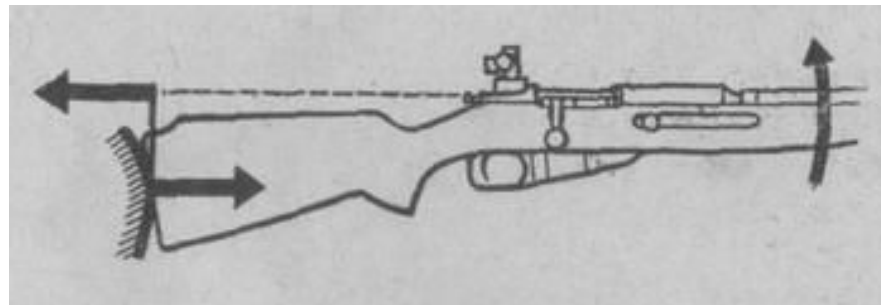
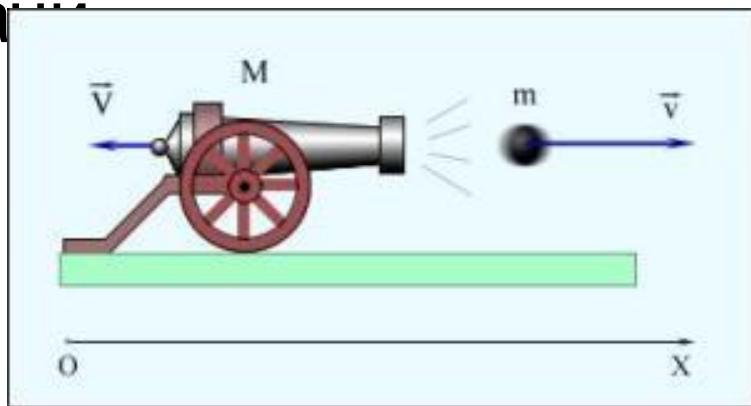


Чтобы изменить скорость тележки, понадобилось второе тело. Опыт показал, что **скорость тела меняется только в результате действия на него другого тела** (второй тележки). В опыте мы наблюдали, что в движение пришла и вторая тележка. Обе стали двигаться относительно стола.

Тележки действуют друг на друга, т.е. они **взаимодействуют**. Значит, действие одного тела на другое не может быть односторонним, оба тела действуют друг на друга, т. е. взаимодействуют.

*Действие тел друг на друга называют **взаимодействием**.*

Пуля также находится в покое относительно ружья перед выстрелом. При взаимодействии (во время выстрела) пуля и ружье движутся в разные стороны. Получается явление - отдача.



Если человек, сидящий в лодке, отталкивает от себя другую лодку, то происходит взаимодействие. Обе лодки приходят в движение.



Если человек прыгает с лодки на берег, то лодка отходит в сторону, противоположную прыжку. Человек подействовал на лодку. В свою очередь, и лодка действует на человека. Он приобретает скорость, которая направлена к берегу.



**Итак, в результате взаимодействия оба тела могут изменить свою скорость.**

В повседневной жизни мы постоянно встречаемся с различными видами воздействий одних тел на другие. Чтобы открыть дверь, нужно «подействовать» на нее рукой, от воздействия ноги мяч летит в ворота, даже присаживаясь на стул, вы действуете на него. В то же время, открывая дверь, мы ощущаем ее воздействие на нашу руку, действие мяча на ногу особенно ощутимо, если вы играете в футбол босиком, а действие стула не позволяет нам упасть на пол. То есть действие всегда является взаимодействием: если одно тело действует на другое, то и другое тело действует на первое.

Эти примеры подтверждают вывод ученых о том, что в природе мы всегда имеем дело с взаимодействием, а не с односторонним действием.

Величину, характеризующую взаимодействие тел, называют сила.

**Сила** — физическая величина, которая количественно характеризует действие одного тела на другое.

F - обозначение силы

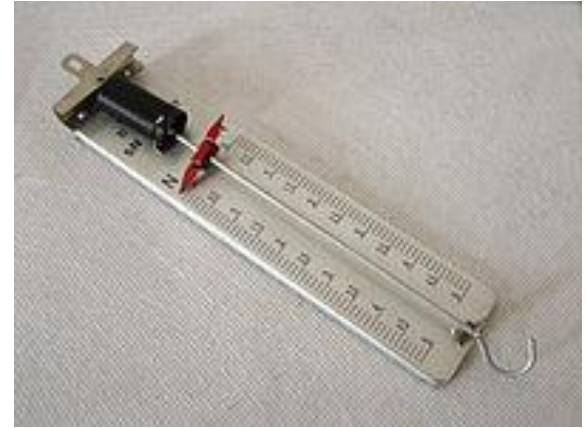
Сила – векторная величина; она характеризуется:

- модулем (абсолютной величиной);
- направлением;
- точкой приложения.





Измеряется при помощи прибора «динамометр». Простейший динамометр состоит из пружины с двумя крючками, закрепленной на дощечке. На дощечку нанесена шкала.



Единица измерения силы в Международной системе единиц (СИ) - *Ньютон*, обозначение [Н].

Если на тело одновременно действуют несколько сил (например,  $F_1, F_2$  и  $F_3$ ) то под силой, действующей на тело, нужно понимать **равнодействующую всех сил**:  $F = F_1 + F_2 + F_3$

**Равнодействующая сил** – это сила, действие которой заменяет действие всех сил, приложенных к телу. Это векторная сумма этих сил, приложенных к телу.

# Первый закон Ньютона:

- *Существуют такие системы отсчета, называемые инерциальными, относительно которых свободные тела движутся равномерно и прямолинейно.*

\*Проще говоря, суть первого закона Ньютона можно сформулировать так: если мы на абсолютно ровной дороге толкнем тележку и представим, что можно пренебречь силами трения колес и сопротивления воздуха, то она будет катиться с одинаковой скоростью бесконечно долго.

- **Инерция** – это способность тела сохранять скорость как по направлению, так и по величине, при отсутствии воздействий на тело.

Первый закон механики, или закон инерции, как его часто называют, был, по существу, установлен еще Галилеем, но общую формулировку ему дал Ньютон.

- **Свободным телом** – называют тело, на которое не действуют какие – либо другие тела или поля. При решении некоторых задач тело можно считать свободным, если внешние воздействия уравновешены.
- Системы отсчета, в которых свободная материальная точка покоится или движется прямолинейно и равномерно, называются **инерциальными системами отсчета**. Прямолинейное и равномерное движение свободной материальной точки в инерциальной системе отсчета называется движением по инерции. При таком движении вектор скорости материальной точки остается постоянным ( $v = \text{const}$ ). Покой точки является частным случаем движения по инерции ( $v = 0$ ).  $v$ -скорость

- Системы отсчета, в которых свободное тело не сохраняет скорость движения неизменной, называются **неинерциальными**. Неинерциальной является система отсчета, движущаяся с ускорением относительно любой инерциальной системы отсчета. В неинерциальной системе отсчета даже свободное тело может двигаться с ускорением.

Пример:

- Инерциальные системы отсчёта - это те, которые покоятся или движутся равномерно и прямолинейно, например - дерево, стоящее у дороги, автомобиль, равномерно движущийся по прямой дороге.
- Неинерциальные системы отсчёты - те, которые движутся с ускорением, например - камень, свободно падающий с высоты, шайба, скользящая по льду

# Второй закон Ньютона:

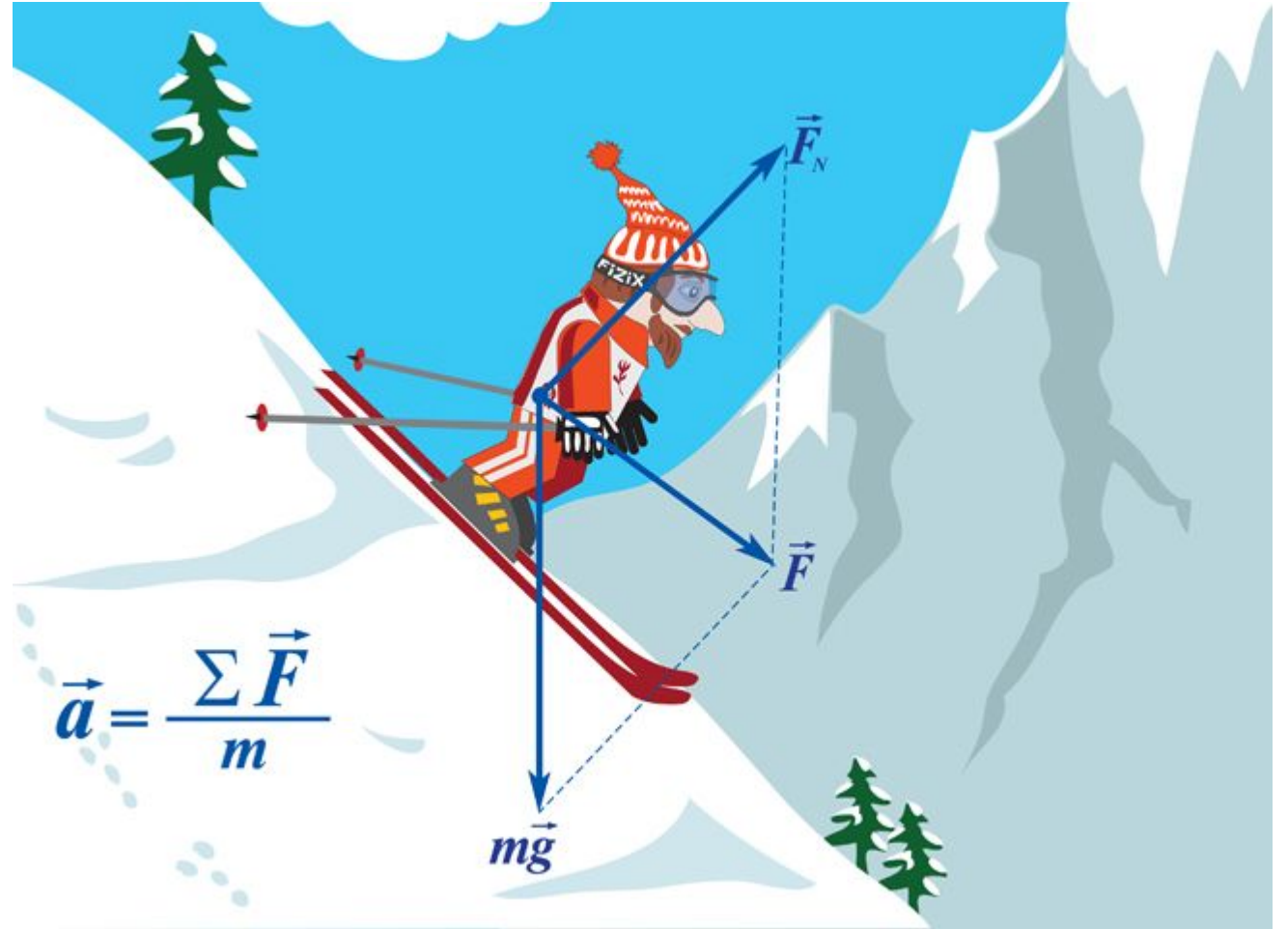
В реальном мире скорость тела чаще всего изменяется, а не остается постоянной. Другими словами, тело движется с ускорением. Если скорость нарастает или убывает равномерно, то говорят, что движение равноускоренное. Если рояль падает с крыши дома вниз, то он движется равноускоренно под действием постоянного ускорения свободного падения  $g$ . Причем любой дугой предмет, выброшенный из окна на нашей планете, будет двигаться с тем же ускорением свободного падения. Второй закон Ньютона устанавливает связь между массой, ускорением и силой, действующей на тело.

- Формулировка второго закона Ньютона:  
Ускорение тела (материальной точки) в инерциальной системе отсчета прямо пропорционально приложенной к нему силе и обратно пропорционально массе.

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

- Если на тело действует сразу несколько сил, то в данную формулу подставляется равнодействующая всех сил, то есть их векторная сумма.

\* В такой формулировке второй закон Ньютона применим только для движения со скоростью, много меньшей, чем скорость света



Существует более универсальная формулировка данного закона, так называемый дифференциальный вид.

В любой бесконечно малый промежуток времени  $dt$  сила, действующая на тело, равна производной импульса тела по времени.

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

# Третий закон Ньютона:

В чем состоит третий закон Ньютона? Этот закон описывает взаимодействие тел. 3 закон Ньютона говорит нам о том, что на любое действие найдется противодействие. Причем, в прямом смысле:

Два тела воздействуют друг на друга с силами, противоположными по направлению, но равными по модулю.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$





В природе существуют различные силы.

**Гравитационные силы** действуют между всеми телами – все тела притягиваются друг к другу. Но это притяжение существенно лишь тогда, когда хотя бы одно из взаимодействующих сил так же велико, как Земля или луна.

**Электромагнитные силы** действуют между заряженными частицами. В атомах, молекулах, живых организмах именно они являются главными.

Область **ядерных сил** очень ограничена. Они заметны только внутри атомных ядер (т.е. на расстоянии  $10^{-12}$  см.)

**Слабые взаимодействия** проявляются на ещё меньших расстояниях. Они вызывают превращение элементарных частиц друг в друга.

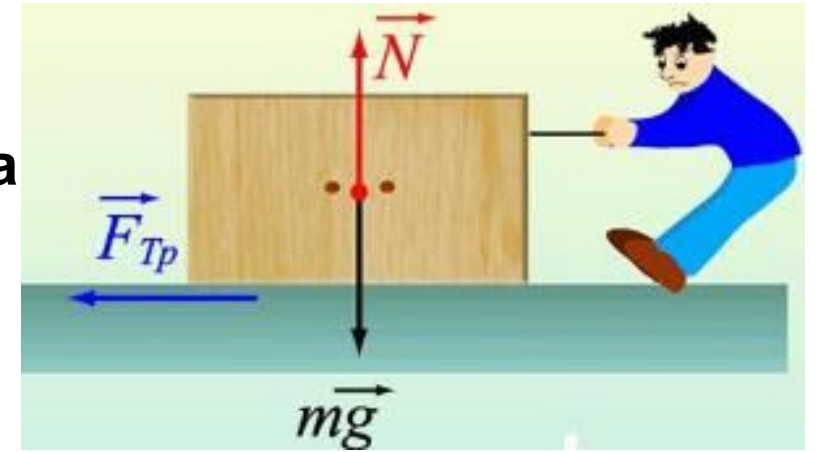
**Основные виды сил:** сила тяжести, сила трения, сила упругости.

# Основные виды сил:

При соприкосновении двух движущихся тел возникает сила, направленная против движения и препятствующая движению - сила трения.

**Сила трения** - это сила, возникающая при движении одного тела по поверхности другого, приложенная к движущемуся телу и направлена против движения.

- Сила трения - это сила **электромагнитной природы**.
- Возникновение силы трения объясняется **двумя причинами**
  - 1) Шероховатостью поверхностей
  - 2) Проявлением сил молекулярного взаимодействия.



- Силы трения всегда направлены по касательной к соприкасающимся поверхностям и **подразделяются** на *силы трения покоя, силы трения скольжения, силы трения качения*.
- **$F_{тр} = m \cdot N$** , где  $m$  – коэффициент трения,  $N$  – сила реакции опоры.

**Сила упругости** – сила, которая возникает при любом виде деформации тел и стремится вернуть тело в первоначальное состояние.

$F_{упр} = -k \cdot x$ , где  $k$  – жесткость тела [Н/м],  $x$  - абсолютное удлинение тела.

Сила упругости перпендикулярна поверхности взаимодействующих тел и направлена всегда против деформации.

**Сила тяжести** – сила, с которой тела притягиваются к Земле, сила притяжения тел к Земле.

$$F_{тяж} = m \cdot g$$

Сила тяжести всегда направлена вертикально вниз к поверхности Земли. Сила тяжести направлена к центру Земли. *Сила тяжести это гравитационная сила, приложенная к центру тела.*

Сила тяжести – одно из проявлений силы всемирного тяготения.

# Закон всемирного тяготения.

- Все тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению их масс и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad \text{закон всемирного тяготения.}$$

G – постоянная всемирного тяготения или гравитационная постоянная.

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$$

Многие явления в природе объясняются действием сил всемирного тяготения. Движение планет в Солнечной системе, движение искусственных спутников Земли, траектории полета баллистических ракет, движение тел вблизи поверхности Земли – все эти явления находят объяснение на основе закона всемирного тяготения и законов динамики.

Одним из проявлений силы всемирного тяготения является **сила тяжести**. Так принято называть *силу притяжения тел к Земле вблизи ее поверхности*.

Обозначим  $M$  – масса Земли;  $m$  – масса тела;  $R$  – радиус Земли, тогда сила тяготения

$$F = G \frac{M \cdot m}{R^2} = mg$$

- сила тяжести.  $m$  - масса тела

$g$  – ускорение свободного падения.

Сила тяжести направлена к центру Земли. *Сила тяжести это гравитационная сила, приложенная к центру тела.*

Из закона Всемирного тяготения:  $g = \frac{F}{m} = \frac{GMm}{R^2 m} = \frac{GM}{R^2}$ , где  $M$  - масса планеты,  $m$  - масса тела,  $R$  - расстояние до центра планеты;  $g$  - ускорение силы тяжести. Значит  $g$  не зависит от массы тела. В отсутствии других сил тело свободно падает на Землю с ускорением свободного падения.

**$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – среднее значение ускорения свободного падения для различных точек поверхности Земли.**

На высоте  $h$  ускорение свободного падения равно  $g = \frac{GM}{(R+h)^2}$

При удалении от поверхности Земли сила земного тяготения и ускорение свободного падения изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния  $r$  до центра Земли.

**Силу тяжести** с которой тела притягиваются к Земле, нужно отличать от веса тела. В отличие от силы тяжести, являющейся гравитационной силой, приложенной к телу, **вес** – это упругая сила, приложенная к опоре или подвесу (т.е. к связи).

**Вес тела** – это сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или подвес.

При этом предполагается, что тело **неподвижно относительно опоры или подвеса.**

Пусть тело лежит на неподвижном относительно Земли горизонтальном столе. Систему отсчета, связанную с Землей, будем считать **инерциальной**. На тело действуют сила тяжести  $F_T = mg$ , направленная вертикально вниз, и сила упругости  $F_{упр} = N$ , с которой опора действует на тело. Силу  $N$  называют **силой нормального давления** или **силой реакции опоры**.

# Невесомость

Правильный термин для невесомости — микрогравитация. Вы не невесомы, поскольку земная гравитация удерживает вас и летательный аппарат на орбите. Вы находитесь в состоянии свободного падения, словно только что прыгнули с самолета, за исключением того, что падаете горизонтально и никогда не упадете. Допустим, вы стоите на весах, и они показывают ваш вес, поскольку гравитация тянет вниз и вас, и весы. Поскольку весы находятся на земле, они отталкиваются вверх с равнозначной силой — и эта сила и есть ваш вес. Но если вы прыгнете со скалы, стоя на весах, и вы, и весы будете притягиваться гравитацией. Вы не будете давить на весы, и они не будут давить на вас. Ваш вес будет нулевым.

Поскольку космический аппарат и все объекты в нем падают с одной скоростью — все, что не закреплено, плавает. Если у вас длинные волосы — они будут плавать вокруг лица. Если вы выльете воду из стакана — она соберется в большую сферическую каплю, которую можно будет разбить на меньшие капли. Галушки и конфеты сами будут заплывать вам в рот, если вы подтолкнете их по нужной траектории. Сидя в кресле, вы не будете знать, что сидите, поскольку ваше тело не будет давить на кресло. Если вы не будете держаться — вы уплывете. Более того, если вы не будете держаться за стену или пол рукой или ногой — вы не сможете сдвинуться с места — не от чего оттолкнуться. По этой причине в любом космическом аппарате всегда много поручней для рук и ног.

По сути невесомость – это отсутствие опоры







# Задачи:

1. Десантник раскрыл парашют и опускается вниз с постоянной скоростью. Какова сила сопротивления воздуха? Масса десантника – 100 килограмм.
2. Комар ударяется о лобовое стекло автомобиля. Сравните силы, действующие на автомобиль и комара.

# Решение: Задача №1

1. Решение:

Движение парашютиста – равномерное и прямолинейное, поэтому, по первому закону Ньютона, действие сил на него скомпенсировано.

На десантника действуют сила тяжести и сила сопротивления воздуха.

Силы направлены в противоположные стороны.

По второму закону Ньютона, сила тяжести равна ускорению свободного падения, умноженному на массу десантника.

$$F_{\text{тяж.}} = mg$$

$$F_{\text{тяж.}} = 100 \text{ кг} \cdot 9.81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 981 \text{ Н}$$

$$F_{\text{тяж.}} = F_{\text{сопр.}}$$

Ответ: Сила сопротивления воздуха равна силе тяжести по модулю и противоположна направлена.

# Решение: Задача №2

- Решение:

По третьему закону Ньютона, силы, с которыми тела действуют друг на друга, равны по модулю и противоположны по направлению. Сила, с которой комар действует на автомобиль, равна силе, с которой автомобиль действует на комара.

Другое дело, что действие этих сил на тела сильно отличаются вследствие различия масс и ускорений.

# Исаак Ньютон: мифы и факты из жизни:

- Миф. Существует легенда, согласно которой Ньютона осенило, когда на него в саду упало яблоко. Это было время чумной эпидемии (1665-1667), и ученый был вынужден покинуть Кембридж, где постоянно трудился. Точно неизвестно, действительно ли падение яблока было таким роковым для науки событием, так как первые упоминания об этом появляются только в биографиях ученого уже после его смерти, а данные разных биографов расходятся.
- Факт. Неизвестно, как бы сложилась судьба ученого и всей современной науки, если бы он послушался матери и начал заниматься хозяйством на семейной ферме. Только благодаря уговорам учителей и своего дяди юный Исаак отправился учиться дальше вместо того, чтобы сажать свеклу, разбрасывать по полям навоз и по вечерам выпивать в местных пабах.

# Домашнее задание

1. Какое ускорение приобретет тело массой 500 г под действием силы 0,2 Н?
2. Сила 30 Н сообщает телу ускорение 0,4 м/с. Какая сила сообщит тому же телу ускорение 2 м/с<sup>2</sup> ?
3. Какую скорость приобретает тело массой 3 кг под действием силы, равной 9 Н, по истечении 5 с?
4. Сколько времени потребуется автомобилю массой 700 кг, чтобы разогнаться из состояния покоя до скорости 72 км/ч, если сила тяги двигателя 1,4 кН?
5. Поезд массой 500 т, трогаясь с места, через 25 с набрал скорость 18 км/ч. Определите силу тяги.
6. Под действием постоянной силы, равной 10 Н, тело движется прямолинейно так, что зависимость координаты тела от времени описывается уравнением  $x = 3 - 2t + t^2$ . Определите массу тела.