



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Естественные науки»

## Учебное пособие

по физике для иностранных слушателей  
дополнительных общеобразовательных  
программ

## «Физика. Динамика»

Автор  
Цветковская С. М.

Ростов-на-Дону, 2020

## Аннотация

Учебное пособие соответствует программе по физике для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ инженерно-технической и технологической, медико-биологической и естественнонаучной направленностям. Содержит краткую теорию, контрольные вопросы. Оборудовано таблицами, графиками, пояснительными рисунками

Рекомендуется для практических занятий и самостоятельной работы слушателей.

Учебное пособие «Физика. Динамика» предназначено для иностранных слушателей дополнительных общеобразовательных программ.

## Автор



доцент, кандидат физико-математических наук, доцент,  
кафедра «Естественные науки»  
Цветковская С.М.



|  |           |
|--|-----------|
| <b>Введение .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>Глава 1 Принцип относительности Галилея .....</b>                 | <b>4</b>  |
| 1.1 Принцип инерции.....   | 4         |
| 1.2 Преобразование Галилея .....                                     | 5         |
| 1.3 Вопросы .....  | 7         |
| <b>Глава 2 Сила .....</b>  | <b>7</b>  |
| 2.1 Определение силы .....   | 7         |
| 2.2 Сложение сил. Результирующая сила .....                          | 8         |
| 2.3 Вопросы .....  | 10        |
| <b>Глава 3. Законы Ньютона .....</b>                                 | <b>10</b> |
| 3.1 Первый закон Ньютона .....                                       | 10        |
| 3.2 Второй закон Ньютона .....                                       | 11        |
| 3.3 Третий закон Ньютона .....                                       | 12        |
| 3.4 Вопросы .....  | 13        |
| <b>Глава 4 Силы в механике.....</b>                                  | <b>14</b> |
| 4.1 Закон всемирного тяготения. Сила тяготения<br>(гравитации) ..... | 14        |
| 4.2 Сила тяжести. Ускорение свободного падения.....                  | 14        |
| 4.3 Вес тела. Сила реакции.....                                      | 16        |
| 4.4 Сила трения .....  | 17        |
| · 4.5 Сила упругости. Закон Гука; .....                              | 18        |
| 4.6 Вопросы .....  | 21        |
| <b>Список литературы .....</b>                                       | <b>22</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

Слово «динамика» происходит от греческого слова «dynamis» - сила

Динамика – раздел механики, в основе которой лежит количественное описание взаимодействия тел. Это взаимодействие определяет характер движения тел.

Динамика объясняет причины, определяющие характер механического движения. Динамика отвечает на вопрос, почему тело движется.

Состояние тела в данный момент времени определяется его координатами и скоростью.

Согласно классической динамике начальное состояние системы однозначно определяет её состояние в любой последующий момент времени.

В классической динамике любой момент времени может считаться начальным.

## ГЛАВА 1 ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ГАЛИЛЕЯ

### 1.1 Принцип инерции

Если на тело не действуют внешние силы, то тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Равномерное прямолинейное движение без действия внешней силы – это понятие идеального эксперимента. Реально это можно представить, если тело катится по абсолютно гладкой дороге без воздействия внешних сил. Это движение может быть продолжительным, но не бесконечным. Тело остановится, так как в реальных условиях всегда есть сила трения, препятствующая движению.

Инерция – это явление, которое наблюдается в сохранении состояния покоя или равномерного прямолинейного движения, когда на тело не действуют другие силы.

Движение по инерции – это движение тела, которое происходит без внешних воздействий.

Инерциальная система отсчёта – это такая систем отсчёта, в которой тело, не взаимодействующее с другими телами, сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Системы отсчёта, в которых принцип инерции не выполняется, называют неинерциальными. Например. При резком начале движения автобуса из состояния покоя пассажира отбрасывает назад, в сторону, противоположную направлению движения. Следовательно, скорость пассажира относительно автобуса изменяется без действия внешних сил. Поэтому система отсчёта, связанная с автобусом, является неинерциальной.

## 1.2 Преобразование Галилея

Найдём, как связаны между собой координаты и скорость тела в различных инерциальных системах.

Платформа движется равномерно относительно Земли со скоростью  $V_x$ . Автомобиль движется равномерно. относительно платформы со скоростью  $V_x^1$  в направлении движения платформы. Скорость автомобиля относительно Земли  $V$  будет равна:

$$V = V_x + V_x^1,$$

где

$V$  – скорость автомобиля относительно Земли

$V_x$  – скорость платформы относительно Земли;

$V_x^1$  - – скорость автомобиля относительно платформы

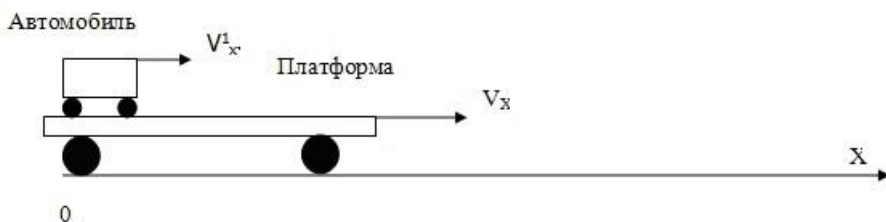


Рис.1. Автомобиль движется равномерно по платформе в направлении движения платформы

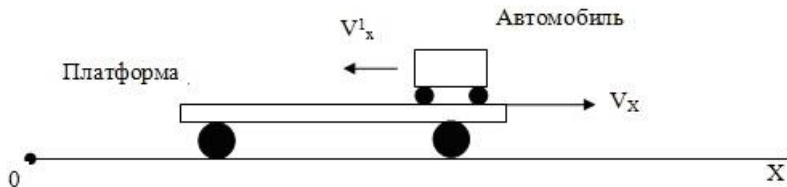


Рис.2. Автомобиль движется равномерно по платформе против направления движения платформы

$$V = V_x - V_x^1,$$

где

$V$  – скорость автомобиля относительно Земли

$V_x$  – скорость платформы относительно Земли;

$V_x^1$  – скорость автомобиля относительно платформы.

Пример. Платформа движется относительно Земли со скоростью 60 км/ч. Автомобиль движется относительно платформы со скоростью 10 км/ч. Найти скорость автомобиля относительно Земли, если

- автомобиль движется в направлении движения платформы;
- автомобиль движется против направления движения платформы;

| Дано:  | Решение:   |
|--|--|
| $V_x = 60$ км/ч<br>$V_x^1 = 10$ км/ч   | 1. $V = V_x + V_x^1$<br>$V = 60 + 10 = 70$ (км/ч)<br>2. $V = V_x - V_x^1$<br>$V = 60 - 10 = 50$ (км/ч) |
| Найти:<br>1. $V = ?$ если $V_x \uparrow \uparrow V_x^1$<br>2. $V = ?$ если $V_x \uparrow \downarrow V_x^1$ | Ответ: 1. $V = 70$ км/ч<br>2. $V = 50$ км/ч  |

Принцип относительности Галилея

Во всех инерциальных системах отсчёта законы классической динамики имеют один и тот же вид.

### 1.3 Вопросы

1. Что изучает динамика?
2. Какое движение называется движением по инерции?
3. Сформулируйте принцип инерции Галилея.
4. Какую систему называют инерциальной?
5. Приведите пример неинерциальной системы.
6. Назовите закон сложения скоростей.
7. Назовите принцип относительности Галилея.

## ГЛАВА 2 СИЛА

### 2.1 Определение силы

Сила – физическая векторная величина, которая является мерой механического воздействия на тело со стороны других тел. В результате этого воздействия тело приобретает ускорение или изменяет форму и размеры.

Существует четыре фундаментальных взаимодействия: гравитационное, слабое, электромагнитное, сильное.

Сила является количественной мерой любого взаимодействия.

Силы взаимодействия различной природы можно измерять в одних и тех же единицах и с помощью одних и тех же эталонов.

Сила характеризуется направлением, модулем, точкой приложения.

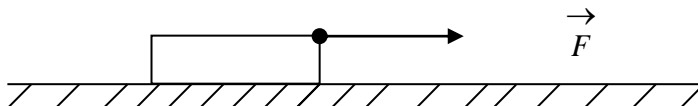


Рис.3. Сила приложена к телу в точке «о».

## 2.2 Сложение сил. Результирующая сила

Если на тело действует  $N$  сил, то результирующей или равнодействующей силой  $\vec{F}_R$  является векторная сумма этих.

$$\vec{F}_R = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$$

Пусть на тело действуют две силы, расположенные под углом друг к другу. Результирующая или равнодействующая этих сил в векторной форме имеет вид:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

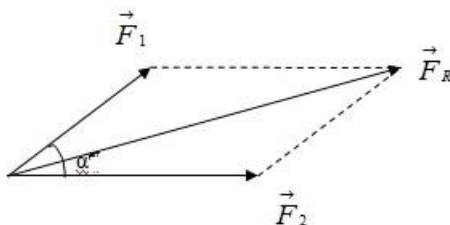


Рис.4 Правило параллелограмма

Формула для вычисления модуля силы

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$$



Таблица 1 Результирующая сила

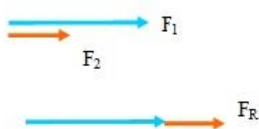
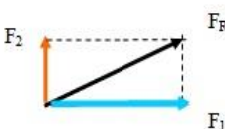
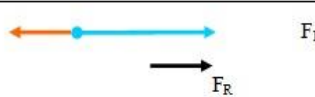
| Угол $\alpha$ | Рисунок   | Результирующая сила          |
|---------------|---|------------------------------|
| $0^\circ$     |  | $F_R = F_1 + F_2$            |
| $90^\circ$    |  | $F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ |
| $180^\circ$   |  | $F_R = F_1 - F_2$            |

Таблица 2 Таблица тригонометрических функций

| $\alpha$ , радиан | 0 | $\pi/6$              | $\pi/4$              | $\pi/3$              | $\pi/2$    | $\pi$       |
|-------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|------------|-------------|
| $\alpha$ , градус | 0 | $30^\circ$           | $45^\circ$           | $60^\circ$           | $90^\circ$ | $180^\circ$ |
| $\sin \alpha$     | 0 | $\frac{1}{2}$        | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | 1          | 0           |
| $\cos \alpha$     | 1 | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{1}{2}$        | 0          | -1          |

Принцип суперпозиции сил или принцип независимости действия различных сил.

Результирующая (равнодействующая) сила, действующая на тело со стороны других тел, равна векторной сумме сил, с которыми каждое из этих тел действует на это тело.

## 2.3 Вопросы

1. Что называется силой?
2. Назовите единицу измерения силы.
3. Выразите 1Н через основные единицы системы СИ.
4. Сколько известно фундаментальных взаимодействий? Назовите их.
5. Формула для вычисления результирующей силы.
6. Графическое нахождение результирующей силы.
7. Что такое принцип суперпозиции?

## ГЛАВА 3. ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

### 3.1 Первый закон Ньютона

В 1687 году принцип инерции Галилея был сформулирован Ньютоном в виде Первого закона динамики (закона инерции).

Материальная точка (тело) сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит её (его) изменить это состояние.

Первый закон в математической форме можно записать в виде:

Если  $\vec{F}_R = 0$ , то тело сохраняет состояние покоя  $\vec{V} = 0$  или равномерного прямолинейного движения  $\vec{V} = const$ .

### 3.2 Второй закон Ньютона

На тело массой  $m$  действует сила  $\vec{F}$

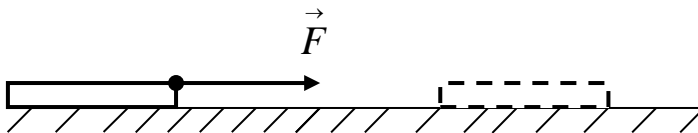


Рис. 5 Движение тела под действием силы

Каждое тело массой  $m$  обладает свойством инертности.

Инертность – это физическое свойство тела оказывать сопротивление изменению его скорости (как по модулю, так и по направлению)

Масса тела – физическая величина, характеризующая меру инертности тела.

Количественная величина массы измеряется в килограммах.  
Единица массы:

$$[m]_{\text{СИ}} = 1 \text{ кг (килограмм)}.$$

В результате действия силы тело движется с ускорением  $a$ .

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

где

$\vec{a}$  - ускорение, с которым движется тело,  $\text{м/с}^2$ ;

$\vec{F}$  - сила, которая действует на тело,  $\text{Н}$ ;

$m$  – масса тела,  $\text{кг}$ .

Ускорение, с которым движется тело массой  $m$ , прямо пропорционально силе, которая действует на тело, и обратно пропорционально его массе

Закон Ньютона можно записать в виде:

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

Размерность силы:

$$[F] = [m] \cdot [a] = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2 = 1 \text{ Н (ньютон)}$$

Если на тело действует несколько сил, то Второй закон Ньютона имеет вид:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m} \quad \text{или} \quad \vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

В инерциальной системе отсчёта ускорение тела прямо пропорционально векторной сумме всех действующих на тело сил и обратно пропорционально массе тела.

### 3.3 Третий закон Ньютона

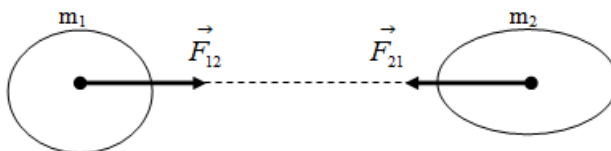


Рис. 6 Силы действия и противодействия.

Силы действия и противодействия возникают при взаимодействии между телами.  $\vec{F}_{12}$  - это сила, с которой второе тело действует на первое тело.

$\vec{F}_{21}$  - это сила, с которой первое тело действует на второе тело

Силы, с которыми два тела действуют друг на друга, равны по величине, противоположны по направлению, приложены к разным телам и действуют вдоль прямой, соединяющей эти тела.

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

Для каждого действия есть равное и противоположное противодействие.

По второму закону Ньютона

$$F_{12} = m_1 \cdot a_1; \quad F_{21} = m_2 \cdot a_2$$

Из Третьего закона Ньютона следует

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}.$$

Два, три или несколько тел называются системой тел.

**Внутренние силы** – это силы взаимодействия между телами системы. Эти силы действуют внутри системы.

**Внешние силы** – это силы, которые действуют на тела данной системы со стороны других тел. Другие тела находятся вне данной системы.

### 3.4 Вопросы

1. Что такое инерция?
2. Приведите примеры инерциальных и неинерциальных систем.
3. Сформулируйте Первый закон Ньютона.

4. Что такое масса тела?
5. Что такое инертность?
6. Назовите Второй закон Ньютона.
7. Что такое действие и противодействие? Пример.
8. Назовите Третий закон Ньютона.

## ГЛАВА 4 СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

### 4.1 Закон всемирного тяготения. Сила тяготения (гравитации)

Явление взаимного притяжения всех тел природы называется гравитацией или тяготением.

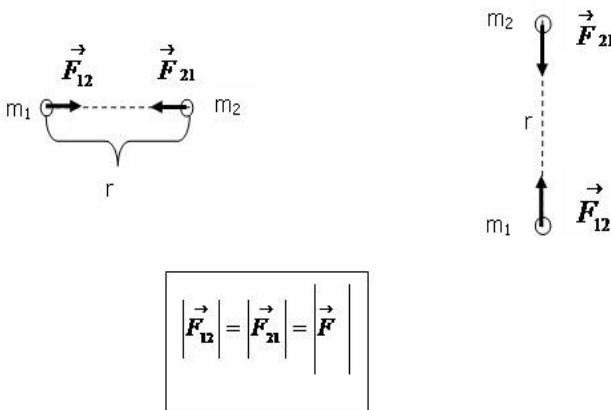


Рис.7 Силы гравитации

Все тела притягиваются друг к другу с силами, прямо пропорциональными произведению масс этих тел и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними.

$$F_{\text{гравитации}} \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}; \quad F_{\text{гравитации}} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$G$  – гравитационная постоянная,  $\text{Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ .

### 4.2 Сила тяжести. Ускорение свободного паде-

**НИЯ**

Сила тяжести – это сила, с которой Земля притягивает тело. Все тела падают на Землю с одинаковым ускорением  $g$ .

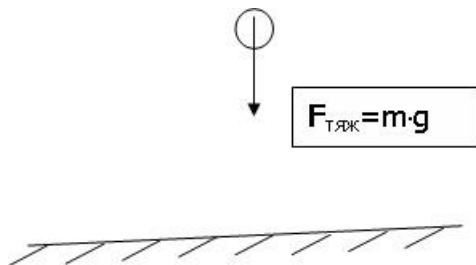


Рис. 8 Действие силы тяжести

Второй закон Ньютона:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ .

Сила тяжести:  $\vec{F}_{тяжести} = m \cdot \vec{g}$ ,

где  $F_{тяж}$  – сила тяжести, Н;

$m$  – масса тела, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Сила тяжести по своей природе – это сила гравитации, с которой Земля действует на тело

$$F_{тяжести} = F_{гравитации} = G \cdot \frac{M_{\oplus} \cdot m}{R_{\oplus}^2},$$

где  $G$  – гравитационная постоянная, Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>.

$M_{\oplus}$  – масса Земли, кг;

$R_{\oplus}$  – радиус Земли, м;

$m$  – масса тела, кг.

Формула для вычисления ускорения свободного падения на Земле.

$$g = G \cdot \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus}^2} = 9,8 \frac{м}{с^2}.$$

Формула для вычисления ускорения свободного падения на Луне.

$$g_{\text{луны}} = G \cdot \frac{M_{\text{Луны}}}{R_{\text{Луны}}^2}$$

Ускорение свободного падения (гравитационное ускорение) – ускорение, приобретаемое телом под действием гравитационной силы вблизи поверхности небесных тел (звезд, планет).

Сила тяжести тела, которое находится на расстоянии  $h$  от поверхности Земли.

$$F_{\text{тяжести}} = F_{\text{гравитации}} = G \cdot \frac{M_{\oplus} \cdot m}{(R_{\oplus} + h)^2},$$

Ускорение свободного падения на расстоянии  $h$  от поверхности Земли.

$$g = G \cdot \frac{M_{\oplus}}{(R_{\oplus} + h)^2},$$

$G$  – гравитационная постоянная,  $\text{Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ .

### 4.3 Вес тела. Сила реакции

Тело массой  $m$  находится на опоре.

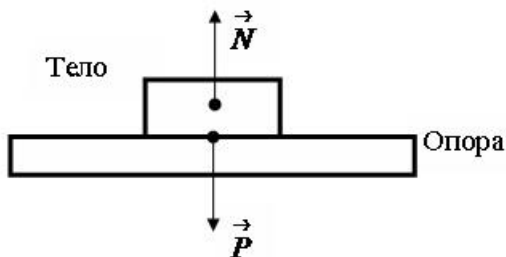


Рис. 9 Сила веса  $\vec{P}$  и сила реакции  $\vec{N}$



На тело массой  $m$ , которое находится на неподвижной горизонтальной опоре, действуют сила тяжести и сила реакции опоры, которые равны по модулю.

$$N = m \cdot g.$$

**Сила реакции**  $\vec{N}$  - это сила, с которой опора действует на тело. Сила реакции приложена к телу.

**Сила веса**  $\vec{P}$  - это сила, с которой тело действует на опору. Сила веса приложена к опоре.

## 4.4 Сила трения

**Сила трения** – сила, которая возникает при соприкосновении поверхностей тел. Она препятствует относительному перемещению этих тел и направлена вдоль поверхности соприкосновения.

При контакте твёрдых тел возможны три вида трения: 1)трение покоя; 2)трение скольжения; 3)трение качения.

*Трение покоя* – трение, возникающее при отсутствии относительного перемещения соприкасающихся тел.

**Сила трения покоя** – сила трения, которая препятствует возникновению движения одного тела по поверхности другого.

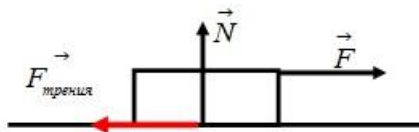


Рис.10 Сила трения покоя

$$(F_{\text{тр. п.}})_{\text{max}} = \mu_{\text{п}} \cdot N,$$

где

$(F_{\text{тр. п.}})_{\text{max}}$  - максимальная сила трения покоя;

$\mu_{\text{п}}$  - коэффициент трения покоя;

$N$  – сила реакции опоры.

*Трение скольжения* возникает при относительном перемещении соприкасающихся тел.

**Сила трения скольжения** – всегда направлена в сторону , противоположную относительной скорости соприкасающихся тел.

$$F_{\text{тр.}} = \mu \cdot N,$$

где

$\mu$  – коэффициент трения скольжения ( $\mu < \mu_{\text{покоя}}$ ).

*Трение качения* возникает при перемещении тела на колёсах.

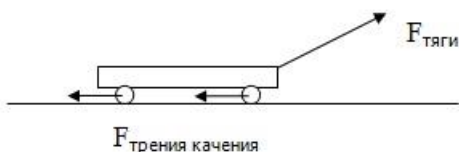


Рис. 11 Перемещение груза на колёсах

**Сила трения качения** – пропорциональна силе реакции опоры

$$F_{\text{тр. кач.}} = \mu_{\text{кач}} \cdot N,$$

ГДЕ  $\mu_{\text{кач}}$  – коэффициент трения качения.

$$\mu_{\text{кач}} \ll \mu.$$

### • 4.5 Сила упругости. Закон Гука;

**Сила упругости** – сила, которая возникает при деформации тела. Сила упругости направлена против направления смещения частиц тела при деформации.

Упругое воздействие на тело – воздействие, после которого тело восстанавливает форму и размеры.

Примеры силы упругости.

Сила реакции опоры – это сила упругости, которая действует на тело со стороны опоры. Приложена к телу и направлена перпендикулярно поверхности опоры.

Сила натяжения  $\vec{T}$  – сила упругости, которая действует на тело со стороны нити или пружины.

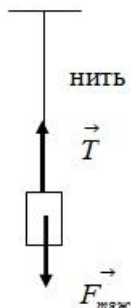


Рис. 12 Тело подвешено на нити

### Закон Гука

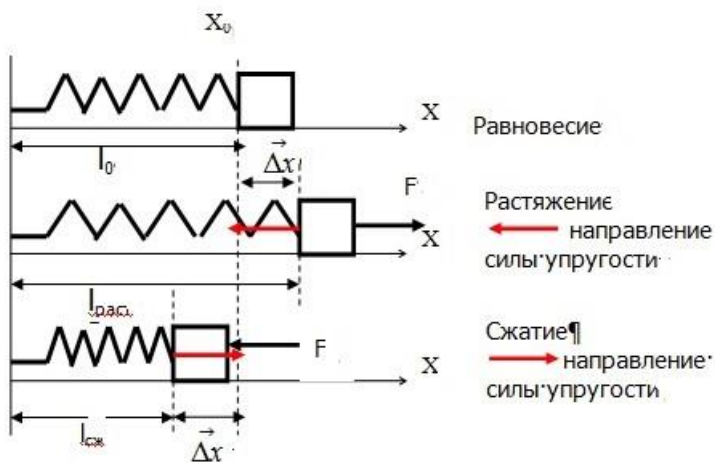


Рис. 13 Деформация пружины

Сила упругости  $\vec{F}_{упр}$  пропорциональна растяжению или сжатию пружины  $\vec{\Delta x}$ .

Чем больше растянута или сжата пружина, тем больше сила упругости.

$$\left| \vec{\Delta x} \right| = \Delta l = \left| l - l_0 \right|,$$

где  $\vec{\Delta x}$  - вектор смещения конца пружины от положения равновесия;

$\left| \vec{\Delta x} \right|$  - модуль вектора смещения;

$\Delta l$  - изменение длины пружины.

Изменение длины  $\Delta l$  называют удлинением.

Сила упругости направлена противоположно перемещению  $\vec{\Delta x}$ . Сила упругости действует противоположно силе, которая вызывает деформацию пружины.

Закон Гука в математической форме

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

где  $k$  – жёсткость.

Жёсткость зависит от упругих свойств материала и размеров пружины (или тела).

Размерность жёсткости:

$$[k] = \frac{[F]}{[\Delta l]} = \text{Н/м}$$

Единица жёсткости – *ньютон на метр* (Н/м).

Закон Гука связывает модуль силы упругости и удлинение.

Модуль силы упругости  $F_{\text{упр}}$ , которая возникает при деформации тела, пропорционален его удлинению.

$$F_{\text{упр}} = k \cdot \Delta l$$

Закон Гука справедлив для упругих деформаций.

Упругие деформации – это деформации, при которых тело восстанавливает свои прежние размеры и форму после прекращения действия деформирующей силы.

Условие выполнения закона Гука:  $l_0 \ll \Delta l$

## 4.6 Вопросы

1. Сформулируйте закон Всемирного тяготения.
2. Что такое сила тяжести?
3. Формула для вычисления ускорения свободного падения.
4. Что такое сила веса?
5. К чему приложена сила реакции к телу или к опоре?
6. Что такое трение?
7. Назовите виды трения.
8. Каким символом обозначают коэффициент трения?
9. Что такое упругие деформации?
10. Сформулируйте закон Гука.
11. От чего зависит коэффициент жёсткости?
12. Выразите жёсткость пружины через основные единицы системы СИ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физика: учеб. пособие для студ.-иностранцев. подгот. фак. вузов/Корочкина Л.Н.; Каурова Л.Д.; Шутенко Л.Д. – М.: Высш. Шк.. 1983. – 392 с.

2. Вердеревская Н.Н., Егорова С.П. Сборник задач и вопросов по физике: Учеб. пособие. – 2-е изд., доп. и перераб. – Высш. школа, 1980. – 216 с.

3. Касьянов В.А. Физика. 10 кл.: Учебн. Для общеобразовател. учеб. заведений. – 4-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2002. – 416 с.: ил.