




# Содержание

 <b>1. Механика</b> .....	12
1.1. Механическое движение и его виды .....	12
1.2. Относительность движения .....	16
1.3. Скорость.....	18
1.4. Ускорение.....	20
1.5. Равномерное движение.....	21
1.6. Равнопеременное движение .....	22
1.7. Свободное падение.....	24
1.8. Движение по окружности .....	27
1.9. Первый закон Ньютона .....	31
1.10. Принцип относительности.....	32
1.11. Масса. Плотность вещества .....	33
1.12. Сила.....	34
1.13. Принцип суперпозиции сил .....	34
1.14. Второй закон Ньютона.....	34
1.15. Третий закон Ньютона .....	35
1.16. Закон всемирного тяготения .....	36
1.17. Сила тяжести .....	36
1.18. Вес и невесомость.....	37

## Содержание

---

1.19. Сила упругости. Закон Гука.....	39
1.20. Сила трения.....	40
1.21. Давление.....	42
1.22. Момент силы.....	42
1.23. Равновесие твёрдого тела.....	43
1.24. Давление жидкости.....	44
1.25. Закон Паскаля.....	45
1.26. Закон Архимеда.....	45
1.27. Условия плавания тел.....	46
1.28. Импульс тела.....	47
1.29. Импульс системы тел.....	47
1.30. Закон сохранения импульса.....	47
1.31. Работа силы.....	48
1.32. Мощность.....	48
1.33. Работа для изменения энергии.....	49
1.34. Кинетическая энергия.....	49
1.35. Потенциальная энергия.....	50
1.36. Сохранение механической энергии.....	51
1.37. Гармонические колебания.....	52
1.38. Амплитуда и фаза колебаний.....	52
1.39. Период колебаний.....	53

1.40. Частота колебаний .....	53
1.41. Свободные колебания .....	54
1.42. Вынужденные колебания .....	57
1.43. Резонанс.....	57
1.44. Длина волны .....	58
1.45. Звук.....	59


## 2. Молекулярная физика.

<b>Термодинамика.....</b>	<b>60</b>
2.1. Модели строения тел.....	60
2.2. Тепловое движение.....	64
2.3. Броуновское движение.....	65
2.4. Диффузия.....	66
2.5. Доказательства атомистической теории .....	66
2.6. Модель идеального газа.....	67
2.7. Связь давления с кинетической энергией .....	67
2.8. Абсолютная температура .....	68
2.9. Связь температуры с кинетической энергией .....	68
2.10. Уравнение $p = nkT$ .....	68

## Содержание

---

2.11. Уравнение Менделеева – Клапейрона . . . . .	69
2.12. Изопроцессы. . . . .	69
2.13. Насыщенные и ненасыщенные пары. . . . .	72
2.14. Влажность воздуха. . . . .	72
2.15. Испарение, конденсация, кипение. . . . .	74
2.16. Плавление и кристаллизация . . . . .	77
2.17. Фазовые переходы . . . . .	78
2.18. Внутренняя энергия . . . . .	80
2.19. Тепловое равновесие . . . . .	81
2.20. Теплопередача . . . . .	81
2.21. Количество теплоты . . . . .	82
2.22. Работа в термодинамике . . . . .	84
2.23. Уравнение теплового баланса . . . . .	86
2.24. Первый закон термодинамики. . . . .	87
2.25. Второй закон термодинамики. . . . .	88
2.26. КПД тепловой машины . . . . .	89
2.27. Принципы действия тепловых машин . . . . .	90
2.28. Проблемы энергетики . . . . .	90

 <b>3. Электродинамика</b> .....	94
3.1. Электризация тел.....	94
3.2. Взаимодействие зарядов.....	94
3.3. Закон сохранения заряда.....	95
3.4. Закон Кулона.....	95
3.5. Электрическое поле.....	97
3.6. Напряжённость электрического поля.....	97
3.7. Принцип суперпозиции .....	98
3.8. Потенциальность электростатического поля.....	99
3.9. Потенциал электрического поля.....	99
3.10. Действие проводников.....	100
3.11. Диэлектрики в электрическом поле.....	101
3.12. Электрическая ёмкость.....	102
3.13. Энергия поля конденсатора ....	103
3.14. Постоянный ток. Сила тока.....	104
3.15. Напряжение.....	106
3.16. Закон Ома для участка цепи.....	106

## Содержание

---

3.17. Электрическое сопротивление .....	107
3.18. Электродвижущая сила.....	109
3.19. Закон Ома для полной электрической цепи.....	110
3.20. Соединения проводников.....	111
3.21. Смешанное соединение проводников .....	113
3.22. Закон Джоуля – Ленца .....	114
3.23. Мощность электрического тока .....	115
3.24. Носители свободных зарядов .....	116
3.25. Полупроводники .....	117
3.26. Взаимодействие магнитов .....	122
3.27. Магнитное поле проводника с током .....	123
3.28. Сила Ампера.....	125
3.29. Сила Лоренца.....	126
3.30. Электромагнитная индукция.....	127
3.31. Магнитный поток .....	127
3.32. Закон Фарадея.....	128
3.33. Правило Ленца.....	129

## Содержание

---

3.34. Самоиндукция .....	129
3.35. Индуктивность.....	130
3.36. Энергия магнитного поля.....	131
3.37. Свободные электромагнитные колебания.....	132
3.38. Вынужденные колебания.....	134
3.39. Гармонические колебания.....	135
3.40. Переменный ток .....	137
3.41. Электромагнитное поле .....	140
3.42. Свойства электромагнитных волн.....	141
3.43. Электромагнитные излучения .....	142
3.44. Прямолинейное распространение света.....	145
3.45. Закон отражения света .....	146
3.46. Изображения в плоском зеркале .....	147
3.47. Закон преломления света.....	149
3.48. Полное внутреннее отражение .....	151
3.49. Оптическая сила линзы.....	152



## Содержание

---

3.50. Формула тонкой линзы.....	153
3.51. Изображения в линзах.....	154
3.52. Оптические приборы. Глаз.....	156
3.53. Интерференция света.....	161
3.54. Дифракция света.....	163
3.55. Дифракционная решётка.....	164
3.56. Дисперсия света.....	166



### **4. Специальная теория**

#### **относительности..... 167**

4.1. Принцип относительности Эйнштейна.....	167
4.2. Полная энергия.....	168
4.3. Энергия покоя.....	169
4.4. Релятивистский импульс.....	170



### **5. Квантовая физика..... 171**

5.1. Гипотеза М. Планка о квантах.....	171
5.2. Фотоэффект.....	172
5.3. Опыты А. Г. Столетова.....	173
5.4. Уравнение для фотоэффекта.....	175
5.5. Фотоны.....	177
5.6. Энергия фотона.....	177

5.7. Импульс фотона.....	177
5.8. Гипотеза де Бройля.....	178
5.9. Дифракция электронов.....	180
5.10. Планетарная модель атома.....	182
5.11. Постулаты Бора.....	183
5.12. Линейчатые спектры.....	184
5.13. Лазер.....	185
5.14. Радиоактивность.....	187
5.15. Закон радиоактивного распада... ..	190
5.16. Характеристики ядра.....	191
5.17. Энергия связи нуклонов.....	193
5.18. Ядерные реакции.....	194
 <b>6. Формулы школьного курса</b>	<b>196</b>
6.1. Законы сохранения.....	196
6.2. Механика.....	198
6.3. Теория теплоты.....	219
6.4. Электричество.....	228
6.5. Оптика.....	244
6.6. Квантовая физика.....	247
6.7. Теория относительности.....	249
6.8. Атомная и ядерная физика.....	252

# 1. Механика

## 1.1. Механическое движение и его виды

**Механическое движение** — изменение положения тела относительно других тел, то есть изменение его координат, с течением времени.

**Материальная точка** — тело, размерами которого можно пренебречь в данной задаче.

Положение материальной точки в пространстве относительно тела отсчёта задаётся радиус-вектором:  $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ .

Модуль радиус-вектора:

$$r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}.$$

**Векторная величина** — величина, которая характеризуется абсолютным значением (модулем) и направлением в пространстве (например, скорость, ускорение, напряжённость поля). Обозначается:  $v$  или  $\vec{v}$ .

**Скалярная величина** — величина, которая не имеет направления и характери-

### 1.1. Механическое движение и его виды

зуется только числовым значением (например, масса, мощность, температура).

**Система отсчёта** — система координат, связанная с телом отсчёта, и совокупность синхронизированных часов, помещённых в разных точках системы координат.

**Тело отсчёта** — это тело, относительно которого определяется положение всех остальных тел. С телом отсчёта обычно связывают начало отсчёта и три взаимно перпендикулярные прямые — оси координат.

**Система координат** — величины, которые определяют положение материальной точки на плоскости и в пространстве.

**Пройденный путь ( $s$ )** — длина участка траектории материальной точки, пройденного ею за определённое время.

**Траектория** — линия, вдоль которой движется материальная точка. Траектория зависит от выбора системы отсчёта. В зависимости от формы траектории различают прямолинейное и криволинейное движения материальной точки.



**Перемещение материальной точки ( $\vec{S}$ )** — направленный отрезок прямой, соединяющий начальное и конечное положения материальной точки. Вектор перемещения направлен из начального положения материальной точки в её конечное положение. Модуль перемещения не может быть больше пути. Если материальная точка одновременно участвует в нескольких движениях, то результирующее перемещение равно векторной сумме перемещений, совершаемых ею в каждом из движений. В этом состоит принцип независимости движений.

**Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении:**

$$\vec{S} = \vec{S}_0 + \vec{v}_0 t + \vec{a} t^2 / 2,$$

где  $\vec{S}_0$  — начальное перемещение материальной точки,  $\vec{v}_0$  — начальная скорость точки,  $\vec{a}$  — ускорение точки,  $t$  — время движения.

**Переменное движение** — движение материальной точки (тела) с перемен-

## 1.1. Механическое движение и его виды

ной скоростью (по модулю или направлению).

**Переносное движение** — движение подвижной системы отсчёта по отношению к условно неподвижной системе отсчёта.

**Плоскопараллельное движение** — движение твёрдого тела, при котором все его точки перемещаются параллельно некоторой неподвижной плоскости.

**Поступательное движение** — движение тела, при котором отрезок прямой, соединяющий две любые точки, принадлежащие этому телу, перемещается, оставаясь параллельным самому себе. Движение поступательное абсолютно твёрдого тела характеризуется движением любой его точки. Обычно для описания поступательного движения твёрдого тела выбирают его центр масс.

**Прямолинейное неравномерное движение** — движение материальной точки вдоль прямой с изменяющейся по модулю скоростью.



### 1.2. Относительность движения

Поскольку механическое движение носит относительный характер, в разных системах отсчёта координаты и скорость тела будут определяться на основании преобразований Галилея.

**Преобразования Галилея** — соотношения, позволяющие переходить от пространственно-временных координат какого-либо события в одной инерциальной системе отсчёта к пространственно-временным координатам этого же события в другой инерциальной системе отсчёта в рамках классической физики. Например, если инерциальная система отсчёта  $K$  движется со скоростью  $v$  относительно  $K'$  вдоль их общей оси  $x$ , а оси  $y$  и  $z$  обеих систем параллельны друг другу, то:  $x' = x - vt$ ,  $y' = y$ ,  $z' = z$ ,  $t' = t$ . Особенностью преобразований Галилея является абсолютность времени во всех инерциальных системах отсчёта.

**Закон сложения перемещений:**

$$\vec{S} = \vec{S}_0 + \vec{S}',$$

## 1.2. Относительность движения

где  $\vec{S}$  — перемещение тела относительно неподвижной системы координат,  $\vec{S}_0$  — перемещение подвижной системы координат относительно неподвижной,  $\vec{S}'$  — перемещение тела относительно подвижной системы координат.

**Закон сложения скоростей.** Скорость тела в неподвижной системе отсчёта равна векторной сумме скорости тела в подвижной системе отсчёта и скорости подвижной системы отсчёта относительно неподвижной:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}',$$

где  $\vec{v}$  — скорость тела относительно неподвижной системы координат,  $\vec{v}_0$  — скорость подвижной системы координат относительно неподвижной,  $\vec{v}'$  — скорость тела относительно подвижной системы координат.





### 1.3. Скорость

**Средняя скорость** ( $\vec{v}_{\text{cp}}$ ) — физическая величина, модуль которой равен отношению перемещения  $s$  к промежутку времени  $t$ , за который совершено это перемещение:

$$\vec{v}_{\text{cp}} = \vec{s}/t.$$

Вектор средней скорости совпадает с направлением вектора перемещения. В ряде случаев средняя скорость  $v_{\text{cp}}$  определяется отношением пути  $s$  ко времени  $t$ :

$$v_{\text{cp}} = s/t.$$

Единица средней скорости — метр в секунду (м/с).

**Мгновенная скорость** ( $\vec{v}$ ) — предел, к которому стремится средняя скорость за бесконечно малый промежуток времени:

$$\vec{v} = \lim_{t \rightarrow 0} \vec{v}_{\text{cp}} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\vec{s}}{t} = \frac{d\vec{s}}{dt}.$$

Проекции мгновенной скорости на оси координат:

$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt}.$$

### 1.3. Скорость

---

Модуль мгновенной скорости равен:

$$v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}.$$

Мгновенная скорость направлена по касательной к траектории движения в данной точке. Мгновенная скорость — величина относительная. Одно и то же тело может одновременно двигаться и находиться в покое в разных системах отсчёта.

Единица мгновенной скорости — метр в секунду (м/с).



### 1.4. Ускорение

**Среднее ускорение** ( $\vec{a}_{\text{cp}}$ ) — физическая величина, численно равная отношению изменения скорости  $\Delta\vec{v}$  к промежутку времени  $t$ , за который это изменение произошло:

$$\vec{a}_{\text{cp}} = \Delta\vec{v}/t.$$

Вектор среднего ускорения совпадает с направлением вектора изменения скорости.

**Мгновенное ускорение** ( $\vec{a}$ ) — предел, к которому стремится среднее ускорение при бесконечном уменьшении промежутка времени:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{a}_{\text{cp}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}.$$

Мгновенное ускорение — первая производная скорости по времени и вторая производная от координаты по времени. Проекция ускорения на оси координат:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt}.$$

## 1.5. Равномерное движение

Абсолютное значение (модуль) ускорения:

$$a = |\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

Единица измерения ускорения в СИ — метр на секунду в квадрате ( $\text{м/с}^2$ ).

## 1.5. Равномерное движение

**Равномерное прямолинейное движение** — движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит равные расстояния. В этом случае путь равен модулю перемещения:

$$|\vec{s}| = s = vt.$$

При таком движении  $\vec{v} = \text{const}$ . Путь  $s$ , пройденный материальной точкой за промежуток времени  $t$ , равен  $s = vt$ .



### 1.6. Равнопеременное движение

**Равнопеременное движение** — движение, при котором за любые равные промежутки времени материальная точка изменяет свою скорость на одну и ту же величину. При таком движении ускорение материальной точки  $\vec{a} = \text{const}$ . Скорость и перемещение материальной точки при равнопеременном движении изменяется по законам:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{v}_0t + \vec{a}t^2/2,$$

где  $\vec{v}_0, \vec{s}_0$  — соответственно начальная скорость и начальное перемещение материальной точки.

**Равнопеременное прямолинейное движение** — движение тела с постоянным ускорением.

Существует два вида равнопеременного прямолинейного движения: *равноускоренное* (приращение модуля скорости положительное) и *равнозамедленное* (приращение модуля скорости отрицательное). Разница состоит лишь в направлении вектора ускорения, поэтому равнозамедленное движе-

## 1.6. Равнопеременное движение

ние отображается в формулах со знаком минус.

Модуль скорости рассчитывается по формуле:  $v = v_0 \pm at$ .

Модуль перемещения с учётом времени:

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}.$$

Модуль перемещения без учёта времени:

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$



### 1.7. Свободное падение

**Свободное падение** — движение, которое совершает тело под действием только силы тяжести, без учёта сил сопротивления. При свободном падении тело движется с постоянным ускорением  $\vec{g}$ . Перемещение  $\vec{s}$ , совершаемое телом при свободном падении за время  $t$ , равно:

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \vec{g} t^2 / 2.$$

Скорость тела  $v$  при свободном падении изменяется по закону:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g} t.$$

**Ускорение свободно падающего тела ( $\vec{g}$ )** — ускорение, с которым движутся тела под действием силы гравитационного взаимодействия (притяжения). Ускорение свободно падающего тела на Земле зависит от высоты над уровнем моря и от географической широты и направлено к центру Земли. Модуль ускорения свободно падающего тела на Земле определяется из закона всемирного тяготения:

$$g = Gm_3/R,$$

## 1.7. Свободное падение

где  $G$  — гравитационная постоянная,  $m_3$  — масса Земли,  $R_3$  — расстояние от центра Земли. На широте  $45^\circ$  и на уровне моря  $g \approx 9,80665 \text{ м/с}^2$ .

Таким образом, свободно падают и камень, брошенный вертикально вверх, и тело, брошенное под произвольным углом к горизонту, и даже искусственный спутник Земли.

**Движение тела, брошенного под углом к горизонту.** Проекция вектора начальной скорости на оси координат:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha, \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол, под которым брошено тело.

Уравнения движения тела в проекциях на оси  $x$  и  $y$ :

$$x = v_0 t \cos \alpha, \quad y = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}.$$

Скорость тела изменяется по закону:

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad v_y = v_0 \sin \alpha - gt.$$





## 1. Механика

---

Время подъёма тела на максимальную высоту:

$$t_{\text{под}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Время движения тела:

$$t_{\text{дв}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Высота подъёма тела:

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

Дальность полёта:

$$s = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Максимальная дальность полёта тела (при его падении под углом  $45^\circ$ ):

$$s_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{g}.$$

Максимальная высота подъёма тела (при его падении под углом  $90^\circ$ ):

$$h_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{2g}.$$

## 1.8. Движение по окружности

### 1.8. Движение по окружности

**Равномерное вращательное движение** — движение, при котором углы поворота материальной точки за любые равные промежутки времени одинаковы. Угол  $\varphi$ , на который поворачивается материальная точка при равномерном вращательном движении за время  $t$ , равен

$$\varphi = \omega t,$$

где  $\omega$  — угловая скорость. Скорость  $v$ , с которой движется материальная точка по окружности, связана с угловой скоростью  $\omega$  соотношением:  $v = \omega r$ , где  $r$  — радиус окружности.

**Криволинейное движение** — движение тела по кривой траектории, которое можно представить в виде движения по дугам окружностей различных радиусов  $R$ . Если движение материальной точки происходит в плоскости, то вектор ускорения можно разложить на две составляющие:

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

где  $\vec{a}_n$  — нормальное (центростремительное) ускорение равномерно движущегося



## 1. Механика

---

по окружности тела,  $\vec{a}_\tau$  — тангенциальное ускорение, характеризующее быстроту изменения модуля вектора скорости материальной точки. Вектор центростремительного ускорения всегда направлен к центру кривизны траектории, а тангенциального — по касательной к траектории. Связь полного ускорения с тангенциальным и нормальным ускорениями:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}, \quad a_n = \frac{v^2}{R}, \quad a_\tau = \frac{dv}{dt}.$$

**Угловая средняя скорость** ( $\omega_{\text{cp}}$ ) — величина, равная отношению угла поворота ( $\varphi$ ) радиус-вектора точки, движущейся вокруг заданного центра, к промежутку времени ( $t$ ), за который совершился этот поворот:  $\omega_{\text{cp}} = \varphi/t$ .

Единица средней угловой скорости — радиан в секунду (рад/с).

**Угловая мгновенная скорость** ( $\omega$ ) — предел, к которому стремится средняя угловая скорость при бесконечном уменьшении промежутка времени  $t$ :

## 1.8. Движение по окружности

$$\omega = \lim_{t \rightarrow 0} \omega_{\text{cp}} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\varphi}{t} = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Единица мгновенной угловой скорости — радиан в секунду (рад/с).

Движение тела по окружности характеризуется периодом  $T$  и частотой обращения  $\nu$ .

**Период обращения** — время одного полного оборота:

$$T = t/N,$$

где  $t$  — время движения,  $N$  — количество оборотов за это время.

Единица измерения периода обращения в СИ — секунда (с).

**Частота обращения ( $\nu$ )** — величина, равная количеству оборотов в секунду:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}.$$

Соотношение, связывающее угловую и линейную скорости:

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

**Угловое среднее ускорение ( $\epsilon_{\text{cp}}$ )** — физическая величина, численно



## 1. Механика

---

равная отношению изменения угловой скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло:

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \Delta\omega/t.$$

**Угловое мгновенное ускорение ( $\varepsilon$ )** — предел, к которому стремится среднее угловое ускорение за бесконечно малый промежуток времени:

$$\varepsilon = \lim_{t \rightarrow 0} \varepsilon_{\text{ср}} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{t} = \frac{d\omega}{dt}.$$

Связь нормального (центростремительного) ускорения с угловой скоростью:

$$a_n = \omega^2 R.$$

### 1.9. Первый закон Ньютона

**Инерциальные системы отсчёта** — системы отсчёта, в которых свободная материальная точка покоится или движется прямолинейно и равномерно.

**Первый закон Ньютона.** Любая материальная точка сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока внешние воздействия не изменят этого состояния. Первый закон Ньютона устанавливает факт существования инерциальных систем отсчёта и описывает характер движения свободной материальной точки в любой из таких систем.



### 1.10. Принцип относительности

**Принцип относительности Галилея** — основной принцип классической механики, утверждающий инвариантность законов механического движения относительно замены одних инерциальных систем другими. Математически принцип относительности Галилея описывается преобразованиями Галилея, которые предполагают существование абсолютного времени и абсолютного пространства безотносительно к материи и друг к другу, что допускает экспериментальную проверку. Такая проверка приводит к положительным результатам при малых по сравнению со скоростью света скоростях. Однако при скоростях, близких к скорости света, проверка приводит к отрицательным результатам.

Принцип относительности Галилея гласит, что законы механики во всех инерциальных системах отсчёта одинаковы. Отсюда следует, что никакими механическими опытами, проводящимися в какой-либо инерциальной системе отсчёта, нельзя

### 1.11. Масса. Плотность вещества

определить, покоится данная система или движется равномерно и прямолинейно. Это положение было впервые установлено итальянским учёным Г. Галилеем в 1636 г.

#### 1.11. Масса. Плотность вещества

**Масса ( $m$ )** — физическая величина, одна из основных характеристик материи. Каждое тело обладает *инертной* ( $m_{\text{и}}$ ) и *гравитационной* ( $m_{\text{г}}$ ) массами. Инертная масса является мерой инертности материальной точки, гравитационная — мерой гравитационного взаимодействия тел. В современной физике с высокой степенью точности установлена тождественность инертной и гравитационной масс данного тела  $m_{\text{и}} = m_{\text{г}}$ . Поэтому их не различают и говорят просто о массе тела.

**Плотность вещества ( $\rho$ )** — физическая величина, равная отношению массы  $m$  вещества к его объёму  $V$ :

$$\rho = m/V.$$

Измеряется в кг/м<sup>3</sup>.





## 1. Механика

---

### 1.12. Сила

**Сила** ( $\vec{F}$ ) — мера взаимодействия тел или частиц, из которых состоят тела. Сила — величина векторная. Она характеризуется точкой приложения, модулем и направлением действия. Измеряется в ньютонах (Н).

### 1.13. Принцип суперпозиции сил

**Принцип суперпозиции сил** — принцип, утверждающий независимость действия сил. Если на тело одновременно действуют несколько сил, то результирующая сила равна геометрической сумме сил, действующих на это тело:

$$\vec{F} = \sum \vec{F}_i.$$

### 1.14. Второй закон Ньютона

**Закон.** Ускорение, приобретаемое материальной точкой в инерциальной системе отсчёта, прямо пропорционально действующей на точку силе, обратно пропорционально массе точки и направлено в сторону действия силы:

### 1.15. Третий закон Ньютона

---

$$\vec{a} = \vec{F}/m.$$

Закон указывает, каким будет характер движения материальной точки при действии на неё силы. Уравнение закона в общей форме:

$$\Delta\vec{P} = \vec{F}\Delta t,$$

где  $\Delta\vec{P}$  — изменение импульса точки за время  $\Delta t$ .

### 1.15. Третий закон Ньютона

**Закон.** Силы взаимодействия двух материальных точек в инерциальной системе отсчёта равны по модулю и направлены в противоположные стороны:

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

где  $\vec{F}_{21}$  — сила, с которой вторая материальная точка действует на первую,  $\vec{F}_{12}$  — сила, с которой первая материальная точка действует на вторую. Закон определяет источник возникновения сил и отражает факт равноправия взаимодействующих материальных точек.



### 1.16. Закон всемирного тяготения

#### Закон всемирного тяготения.

Две материальные точки притягиваются друг к другу с силами, прямо пропорциональными произведению их масс  $m_1$  и  $m_2$  и обратно пропорциональными квадрату расстояния ( $r$ ) между ними:

$$F = Gm_1m_2/r^2,$$

где  $G$  — гравитационная постоянная. Силы тяготения направлены по прямой, соединяющей взаимодействующие точки. Закон был открыт И. Ньютоном в 1666 г.

### 1.17. Сила тяжести

**Сила тяжести** ( $\vec{P}$ ) — сила, которая действует на любую материальную точку, находящуюся вблизи земной поверхности, и определяется как геометрическая сумма силы тяготения Земли и центробежной силы инерции, учитывающей эффект суточного вращения Земли. Направление силы тяжести — вертикаль в данной точке земной поверхности. Аналогичным образом

## 1.18. Вес и невесомость

сила тяжести определяется на любом небесном теле.

### 1.18. Вес и невесомость

**Вес тела ( $\vec{P}$ )** — сила, с которой тело, находящееся в силовом поле (например, гравитационном), действует на опору или подвес. Если на тело, находящееся в гравитационном поле, действуют сила тяготения  $\vec{F}$  и сила реакции опоры  $\vec{T}$ , то сила  $\vec{P} = -\vec{T}$ , приложенная к опоре, — вес тела. Характер движения тела под действием сил тяготения и реакции опоры определяется уравнением:

$$\vec{F} + \vec{T} = m\vec{a}.$$

Из этого уравнения находят силу  $\vec{T}$ , а следовательно, и вес тела  $\vec{P}$ . Вес тела на горизонтальной поверхности при отсутствии ускорения равен силе тяжести. Вес тела, движущегося с ускорением  $\vec{a}$ :

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

**Невесомость** — состояние тела, при котором его вес равен нулю. В состоянии невесомости исчезает действие тел друг



## 1. Механика

---

на друга, вызванное внешним полем тяготения. Невесомость наблюдается при свободном падении тел. *Условия невесомости:* 1) действующие внешние силы пропорциональны массам частиц; 2) поле этих сил локально однородно, то есть оно сообщает всем частицам тела одинаковые ускорения; 3) скорости всех частиц тела одинаковы. В невесомости изменяется ряд основных функций живого организма: обмен веществ (особенно водно-солевой), кровообращение; наблюдаются расстройства вестибулярного аппарата и др.

## 1.19. Сила упругости. Закон Гука

### 1.19. Сила упругости. Закон Гука

**Сила упругости** ( $\vec{F}_{\text{упр}}$ ) — сила, возникающая в деформируемом теле и направленная в сторону, противоположную смещению частиц тела при деформации.

**Закон Гука** связывает величину упругой деформации с силой, действующей на тело:

1) величина абсолютной деформации пропорциональна модулю деформирующей силы:

$$F = k\Delta l,$$

где  $k$  — жёсткость деформируемого образца;

2) сила упругости, возникающая в деформированном теле, пропорциональна величине деформации:

$$F_{\text{упр}} = -k\Delta l.$$



### 1.20. Сила трения

**Сила трения ( $F_{\text{тр}}$ )** — сила, возникающая во всех видах трения. Она направлена вдоль поверхностей соприкасающихся тел и препятствует относительному смещению этих тел. При движении тел в жидкости или газе при малых скоростях можно считать, что сила трения пропорциональна скорости тела —  $F_1 = \alpha v$ , а при больших — квадрату скорости —  $F_2 = \beta v^2$ , где  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты, зависящие от свойств жидкости (газа) и от формы и размеров движущегося тела.

**Сила трения качения ( $F_{\text{кач}}$ )** — сила трения, возникающая при качении одного тела по поверхности другого. опыты показывают, что если колесо катится без проскальзывания, то сила трения качения пропорциональна силе нормального давления  $N$  и обратно пропорциональна радиусу колеса  $r$ :

$$F_{\text{кач}} = kN/r,$$