



# СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. МЕХАНИКА</b> .....	8
<b>1.1. КИНЕМАТИКА</b> .....	8
1.1.1. Механическое движение. Относительность механического движения. Система отсчёта .....	8
1.1.2. Материальная точка .....	9
1.1.3. Скорость материальной точки. Сложение скоростей .....	10
1.1.4. Ускорение материальной точки .....	11
1.1.5. Равномерное прямолинейное движение .....	11
1.1.6. Равноускоренное прямолинейное движение .....	13
1.1.7. Свободное падение. Ускорение свободного падения .....	14
1.1.8. Равномерное движение точки по окружности .....	16
1.1.9. Твёрдое тело. Поступательное и вращательное движение твёрдого тела .....	17
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.1</i> .....	18
<b>1.2. ДИНАМИКА</b> .....	20
1.2.1. Инерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона. Принцип относительности Галилея .....	20
1.2.2. Масса вещества. Плотность вещества .....	21
1.2.3. Сила. Принцип суперпозиции сил .....	21
1.2.4. Второй закон Ньютона .....	23
1.2.5. Третий закон Ньютона для материальных точек .....	23
1.2.6. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести. Зависимость силы от высоты $h$ над поверхностью планеты радиусом $R_0$ .....	23
1.2.7. Движение небесных тел и их искусственных спутников. Первая космическая скорость .....	25
1.2.8. Сила упругости. Закон Гука .....	25
1.2.9. Сила трения .....	27
1.2.10. Давление .....	27
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.2</i> .....	28
<b>1.3. СТАТИКА</b> .....	30
1.3.1. Момент силы относительно оси вращения .....	30
1.3.2. Условия равновесия твёрдого тела в ИСО .....	30
1.3.3. Закон Паскаля .....	31
1.3.4. Давление в жидкости, покоящейся в ИСО .....	31
1.3.5. Закон Архимеда. Условия плавания тел .....	32
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.3</i> .....	34
<b>1.4. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ</b> .....	36
1.4.1. Импульс материальной точки .....	36
1.4.2. Импульс системы тел .....	36
1.4.3. Закон изменения и сохранения импульса .....	36
1.4.4. Работа силы .....	36

1.4.5. Мощность силы .....	38
1.4.6. Кинетическая энергия. Закон изменения кинетической энергии .....	39
1.4.7. Потенциальная энергия.....	39
1.4.8. Закон изменения и сохранения механической энергии.....	40
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.4</i> .....	41
<b>1.5. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ</b> .....	43
1.5.1. Гармонические колебания .....	43
1.5.2. Период и частота колебаний.....	44
1.5.3. Вынужденные колебания. Резонанс. Резонансная кривая.....	45
1.5.4. Механические волны .....	45
1.5.5. Звук. Скорость звука .....	46
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 1.5</i> .....	47
<b>2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА</b> .....	50
<b>2.1. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА</b> .....	50
2.1.1. Модели строения газов, жидкостей и твёрдых тел .....	51
2.1.2. Тепловое движение атомов и молекул вещества .....	52
2.1.3. Взаимодействие частиц вещества.....	52
2.1.4. Диффузия. Броуновское движение.....	53
2.1.5. Модель идеального газа в МКТ.....	54
2.1.6. Основное уравнение МКТ.....	54
2.1.7. Абсолютная температура .....	54
2.1.8. Температура как мера кинетической энергии.....	55
2.1.9. Уравнение $p = nkT$ .....	55
2.1.10. Уравнение состояния идеального газа.....	56
2.1.11. Закон Дальтона для давления смеси разреженных газов .....	56
2.1.12. Изопроцессы в газах.....	57
2.1.13. Насыщенные и ненасыщенные пары.....	58
2.1.14. Влажность воздуха. Относительная влажность .....	59
2.1.15. Изменение агрегатных состояний вещества. Кипение жидкости .....	59
2.1.16. Изменение агрегатных состояний вещества: плавление и кристаллизация.....	59
2.1.17. Преобразование энергии в фазовых переходах .....	60
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 2.1</i> .....	63
<b>2.2. ТЕРМОДИНАМИКА</b> .....	65
2.2.1. Тепловое равновесие и температура.....	65
2.2.2. Внутренняя энергия.....	67
2.2.3. Теплопередача как способ изменения внутренней энергии без совершения работы. Конвекция, теплопроводность, излучение.....	67
2.2.4. Количество теплоты. Удельная теплоёмкость вещества .....	68
2.2.5. Удельная теплота парообразования. Удельная теплота плавления. Удельная теплота сгорания топлива .....	68

2.2.6. Работа в термодинамике .....	69
2.2.7. Первый закон термодинамики. Адиабата .....	69
2.2.8. Второй закон термодинамики, необратимость.....	69
2.2.9. Принципы действия тепловых машин. КПД .....	70
2.2.10. Максимальное значение КПД. Цикл Карно.....	71
2.2.11. Уравнение теплового баланса .....	74
<b>Примеры заданий ЕГЭ по теме 2.2</b> .....	<b>75</b>
<b>3. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА.....</b>	<b>77</b>
<b>3.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ.....</b>	<b>77</b>
3.1.1. Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда.....	77
3.1.2. Закон Кулона.....	79
3.1.3. Электрическое поле и заряды.....	79
3.1.4. Напряжённость электрического поля. Поле точечного заряда, однородное поле. Картины линий этих полей .....	80
3.1.5. Потенциальность электростатического поля .....	82
3.1.6. Принцип суперпозиции электрических полей .....	83
3.1.7. Проводники в электростатическом поле.....	83
3.1.8. Диэлектрики в электростатическом поле .....	84
3.1.9. Электроёмкость. Конденсатор .....	86
3.1.10. Соединение конденсаторов .....	87
3.1.11. Энергия заряженного конденсатора.....	88
<b>Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.1</b> .....	<b>88</b>
<b>3.2. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА .....</b>	<b>91</b>
3.2.1. Сила тока. Постоянный ток.....	91
3.2.2. Условия существования электрического тока. Напряжение и ЭДС.....	91
3.2.3. Закон Ома для участка цепи.....	92
3.2.4. Электрическое сопротивление .....	92
3.2.5. Источники постоянного тока.....	92
3.2.6. Закон Ома для полной (замкнутой) цепи .....	93
3.2.7. Параллельное и последовательное соединение проводников.....	93
3.2.8. Работа электрического поля. Закон Джоуля — Ленца .....	94
3.2.9. Мощность электрического тока.....	94
3.2.10. Носители электрических зарядов в различных средах.....	95
<b>Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.2</b> .....	<b>99</b>
<b>3.3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ .....</b>	<b>101</b>
3.3.1. Механическое взаимодействие магнитов.....	101
3.3.2. Опыт Эрстеда. Магнитное поле .....	102
3.3.3. Сила Ампера, её направление и величина .....	104
3.3.4. Сила Лоренца .....	106
<b>Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.3</b> .....	<b>107</b>

<b>3.4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ</b> .....	109
3.4.1. Поток вектора магнитной индукции .....	109
3.4.2. Явление электромагнитной индукции .....	109
3.4.3. Закон электромагнитной индукции Фарадея .....	109
3.4.4. ЭДС индукции в движущихся проводниках .....	110
3.4.5. Правило Ленца .....	110
3.4.6. Индуктивность. Самоиндукция. ЭДС самоиндукции .....	111
3.4.7. Энергия магнитного поля катушки с током .....	111
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.4</i> .....	111
<b>3.5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ</b> .....	114
3.5.1. Колебательный контур. Свободные электромагнитные колебания .....	114
3.5.2. Закон сохранения энергии в колебательном контуре .....	116
3.5.3. Вынужденные электромагнитные колебания. Резонанс .....	116
3.5.4. Переменный ток. Производство, передача и потребление электрической энергии .....	117
3.5.5. Электромагнитные волны .....	120
3.5.6. Шкала электромагнитных волн. Применение электромагнитных волн .....	121
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.5</i> .....	123
<b>3.6. ОПТИКА</b> .....	126
3.6.1. Прямолинейное распространение света в однородной среде. Луч света .....	126
3.6.2. Законы отражения света .....	127
3.6.3. Построение изображений в плоском зеркале .....	128
3.6.4. Закон преломления света .....	128
3.6.5. Полное внутреннее отражение .....	129
3.6.6. Собирающие и рассеивающие линзы .....	130
3.6.7. Формула тонкой линзы .....	132
3.6.8. Построение изображений в линзах .....	133
3.6.9. Фотоаппарат как оптический прибор. Глаз как оптическая система .....	135
3.6.10. Интерференция света .....	135
3.6.11. Дифракция света .....	137
3.6.12. Дисперсия света .....	138
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 3.6</i> .....	138
<b>4. ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ</b> .....	141
4.1. ПОСТУЛАТЫ СТО И ЕЁ СЛЕДСТВИЯ .....	141
4.2. ЭНЕРГИЯ И ИМПУЛЬС СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ .....	142
4.3. СВЯЗЬ МАССЫ И ЭНЕРГИИ СВОБОДНОЙ ЧАСТИЦЫ .....	142
<i>Примеры заданий ЕГЭ по темам 4.1–4.3</i> .....	143

<b>5. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА</b> .....	145
<b>5.1. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ</b> .....	145
5.1.1. Гипотеза М. Планка о квантах .....	145
5.1.2. Фотоны. Энергия фотона. Импульс фотона .....	145
5.1.3. Фотоэффект. опыты А. Г. Столетова. Законы фотоэффекта .....	145
5.1.4. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта .....	146
5.1.5. Волновые свойства частиц. Волны де Бройля .....	147
5.1.6. Давление света .....	147
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 5.1</i> .....	148
<b>5.2. ФИЗИКА АТОМА</b> .....	150
5.2.1. Планетарная модель атома .....	150
5.2.2. Постулаты Бора. Излучение и поглощение фотонов при переходе атома с одного уровня энергии на другой .....	150
5.2.3. Оптические спектры .....	151
5.2.4. Лазер .....	153
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 5.2</i> .....	154
<b>5.3. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА</b> .....	156
5.3.1. Нуклонная модель ядра Гейзенберга — Иваненко .....	156
5.3.2. Энергия связи нуклонов в ядре. Ядерные силы .....	157
5.3.3. Дефект массы ядра .....	157
5.3.4. Радиоактивность .....	158
5.3.5. Закон радиоактивного распада .....	158
5.3.6. Ядерные реакции. Деление и синтез ядер .....	160
<i>Примеры заданий ЕГЭ по теме 5.3</i> .....	161
<b>ОТВЕТЫ К ПРИМЕРАМ ЗАДАНИЙ ЕГЭ</b> .....	163
<b>СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b> .....	169
Таблица 1. Основные единицы Международной системы (СИ) .....	169
Таблица 2. Дополнительные единицы СИ .....	169
Таблица 3. Производные единицы СИ .....	170
Таблица 4. внесистемные единицы, допускаемые к применению в специальных областях .....	173
Таблица 5. Основные физические постоянные .....	174



# 1. МЕХАНИКА

**Механика** — наука о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между ними.

**Классическая механика** изучает движение со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света.

**Релятивистская механика** изучает движение тел при больших скоростях, сравнимых со скоростью света.

**Статика** — это учение о равновесии тел под действием сил (греч. слово *statos* означает «стоящий»).

**Кинематика** — это учение о геометрических свойствах движения тел.

**Динамика** — это учение о движении тел под действием сил.

## 1.1. КИНЕМАТИКА

**Кинематика** — раздел механики, в котором изучается движение тел без рассмотрения причин движения.

### 1.1.1. Механическое движение. Относительность механического движения. Система отсчёта

**Механическое движение** — изменение положения тела с течением времени.

#### Виды механического движения

Поступательное движение	Вращательное движение	Колебательное движение
-------------------------	-----------------------	------------------------

#### Система отсчёта и относительность движения

Для описания механического движения с помощью математических формул вводится понятие **системы отсчёта**.

**Система отсчёта** — совокупность **системы координат** для определения положения тела в пространстве и **часов** для определения времени.

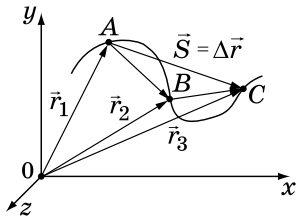
#### Декартовы системы координат

<p>Одномерная система координат</p>  <p>Точка <math>O</math> — начало отсчёта. Ось <math>Ox</math> — ось абсцисс. На осях отмечается отрезок единичной длины</p>	<p>Двумерная система координат</p>  <p>Ось <math>Oy</math> — ось ординат</p>	<p>Трёхмерная система координат</p>  <p>Ось <math>Oz</math> — ось аппликат</p>
---	---	--

Окончание таблицы

Система отсчёта, связанная с неподвижным наблюдателем, называется <b>лабораторной системой отсчёта</b> .		
Система отсчёта может быть связана с движущимся наблюдателем.	Движение в различных системах отсчёта выглядит неодинаково. Поэтому говорят, что <b>движение относительно</b> .	<b>Пример.</b> Пассажир, сидящий в летящем самолёте, неподвижен относительно самолёта, но он движется относительно поверхности Земли.
Часы в разных системах отсчёта идут одинаково. Поэтому говорят, что <b>время абсолютно</b> . На самом деле это не так. Время у движущихся относительно друг друга наблюдателей течёт по-разному. Это становится заметным при больших скоростях движения.		
Систему отсчёта можно выбрать произвольно. При кинематических исследованиях все системы отсчёта равноправны. В задачах динамики также можно использовать любые произвольно движущиеся системы отсчёта, но удобнее всего <i>инерциальные системы отсчёта</i> , так как в них характеристики движения имеют более простой вид.		

### 1.1.2. Материальная точка

<b>Материальная точка</b> — тело, размерами и формой которого в условиях данной задачи можно пренебречь.	Землю <i>можно</i> считать материальной точкой, если необходимо вычислить период обращения Земли вокруг Солнца. Землю <i>нельзя</i> считать материальной точкой, если необходимо вычислить расстояние от Москвы до Владивостока.
<b>Путь <math>l</math></b> — длина траектории, т. е. линии, которую описывает материальная точка в пространстве.	<p>Кривая <math>ABC</math> — траектория.</p>  <p><math>\vec{S} = \Delta \vec{r}</math></p> <p><math>\vec{S} = \Delta \vec{r} = \vec{r}_3 - \vec{r}_1 = \overline{AC}</math> — перемещение. Оно равно сумме перемещений: <math>\vec{S} = \overline{AB} + \overline{BC}</math></p>
<b>Траектория</b> — линия, которую описывает в пространстве материальная точка.	
<b>Перемещение <math>\vec{S}</math></b> — вектор, соединяющий начальное и конечное положения материальной точки в пространстве.	
<b>Поступательное движение</b> — движение, при котором скорости всех точек тела одинаковы по величине и направлению. В этом случае движение тела можно рассматривать как движение одной точки. Поступательное движение — это один из видов механического движения.	



### 1.1.3. Скорость материальной точки. Сложение скоростей

**Скоростью**  $\vec{v}$  точки называется предел отношения перемещения  $\Delta\vec{r}$  к промежутку времени  $\Delta t$ , в течение которого это перемещение произошло, при стремлении  $\Delta t$  к нулю (т. е. производной  $\Delta\vec{r}$  по  $t$ ):

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \vec{r}'_t.$$

Составляющие вектора скорости по осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  определяются аналогично:

$$\vec{v}_x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = x'; \quad v_y = y'; \quad v_z = z'.$$

Определённое таким образом понятие скорости называют также **мгновенной скоростью**.

**Средняя скорость** точки вводится для характеристики неравномерного движения (т.е. движения с переменной скоростью) и определяется двояко.

1. Средняя скорость точки  $v_{\text{cp}}$  равна отношению всего пройденного телом пути  $\Delta s$  ко всему времени движения  $\Delta t$ :

$$v_{\text{cp}} = \frac{\Delta l}{\Delta t}.$$

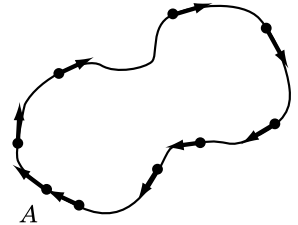
При таком определении средняя скорость — скаляр, т. к. пройденный путь (расстояние) и время — величины скалярные. Такой способ определения даёт представление о *средней скорости движения на участке траектории (средней путевой скорости)*.

2. Средняя скорость точки равна отношению перемещения точки к промежутку времени, в течение которого это перемещение произошло:

$$v_{\text{cp}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}.$$

Средняя скорость перемещения — величина *векторная*.

Для неравномерного криволинейного движения такое определение средней скорости не всегда позволяет определить даже приблизительно реальные скорости на пути движения точки. Например, если точка двигалась по замкнутой траектории в течение некоторого времени, то перемещение её равно нулю (но скорость явно отличалась от нуля). В этом случае лучше пользоваться первым определением средней скорости.



В любом случае следует различать эти два определения средней скорости и знать, о какой из них идёт речь.

**Закон сложения скоростей** устанавливает связь между значениями скорости материальной точки относительно различных систем отсчёта, движущихся друг относительно друга. В нерелятивистской (классической) физике, когда рассматриваемые скорости малы по сравнению со скоростью света, справедлив закон сложения скоростей Галилея, который выражается формулой:

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v},$$

где  $\vec{v}_2$  и  $\vec{v}_1$  — скорости тела (точки) относительно двух инерциальных систем отсчёта — неподвижной системы отсчёта  $K_2$  и системы отсчёта  $K_1$ , движущейся со скоростью  $\vec{v}$  относительно  $K_2$ .

### 1.1.4. Ускорение материальной точки

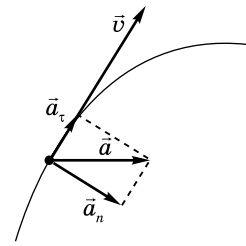
**Ускорение (или мгновенное ускорение)** — векторная физическая величина, равная пределу отношения изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло, при стремлении  $\Delta t$  к нулю, (т. е. производной  $\vec{v}$  по  $t$ ):

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{v}'_t.$$

Составляющие  $\vec{a}$  ( $a_x, a_y, a_z$ ) равны соответственно:

$$a_x = v'_x; \quad a_y = v'_y; \quad a_z = v'_z.$$

Ускорение, как и изменение скорости, направлено в сторону вогнутости траектории и может быть разложено на две составляющие — *тангенциальную*  $a_\tau$  — по касательной к траектории движения — и *нормальную*  $a_n$  — перпендикулярно траектории.



### 1.1.5. Равномерное прямолинейное движение

#### Прямолинейное движение

**Основное свойство прямолинейного движения:**  
траектория движения — прямая линия

#### Простейшие виды прямолинейного движения

Равномерное  
прямолинейное  
движение

Неравномерное  
прямолинейное  
движение

Равноускоренное  
(равнозамедленное)  
прямолинейное  
движение

#### Перемещение при прямолинейном движении тела

Перемещение равно разности координат:  $S = x - x_0$ .  
Здесь  $x_0$  — координата в начальный момент времени,  $x$  — координата в конечный момент времени. Ось  $Ox$  направлена вдоль направления движения.

Единица измерения координаты и перемещения — это единица измерения длины (*метр*):  
 $[x] = [S] = \text{м}$ .

**Равномерное прямолинейное движение** — прямолинейное движение, при котором тело за равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

**Скорость при равномерном движении тела**

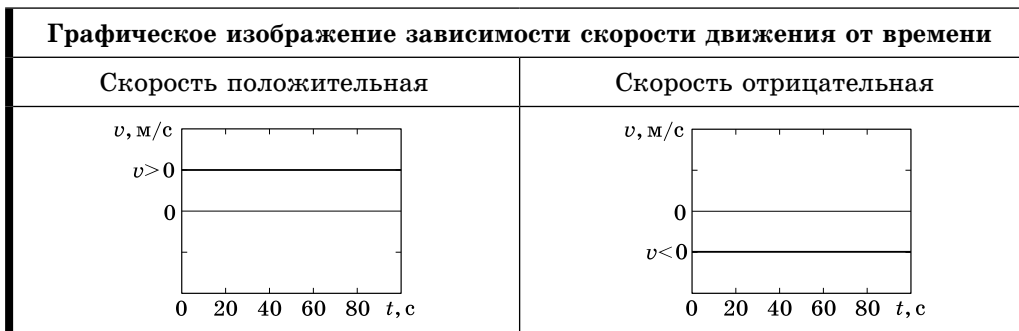
Скорость равна перемещению в единицу времени. Единица измерения времени — секунда:  
 $[t] = \text{с}$ .

Скорость  $v$  вычисляется как отношение перемещения  $S$  тела к промежутку времени  $t$ , за который было совершено это перемещение. Промежуток времени может быть выбран любым.

$$v = \frac{S}{t}.$$

Единица измерения скорости:  
 $[v] = \text{м/с}$ .

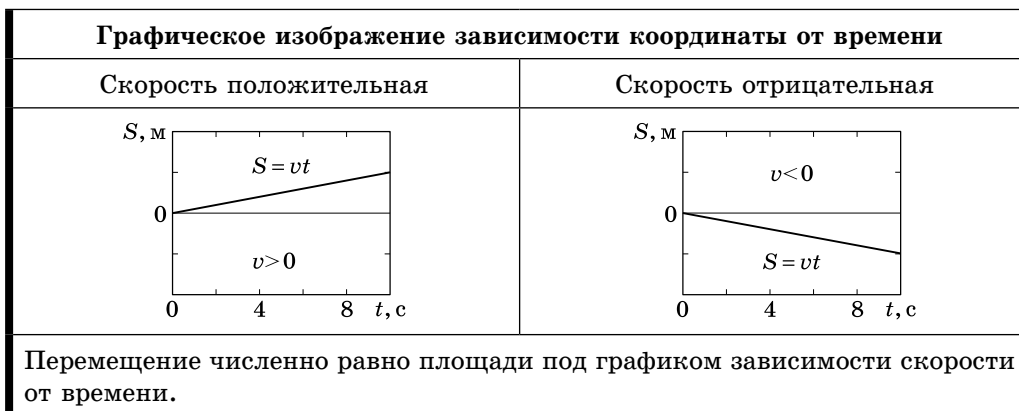
Перемещение равно произведению скорости на время:  
 $S = vt$ .



**Координата при равномерном движении тела**

Перемещение тела равно произведению скорости на время, затраченное на это перемещение:  $S = vt$ . Путь равен модулю перемещения!

Координата в конечный момент времени равна:  
 $x = x_0 + S,$   
 $x = x_0 + vt.$



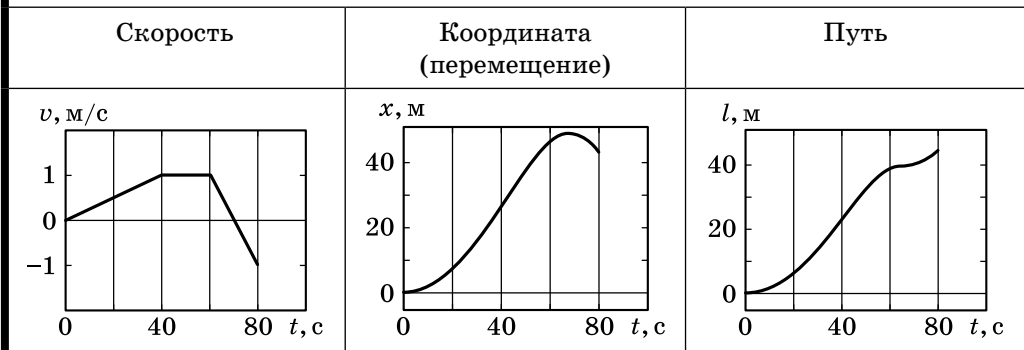
**Неравномерное прямолинейное движение** — прямолинейное движение, при котором скорость тела меняется со временем.

**Скорость при неравномерном движении тела**

**Мгновенная скорость (скорость в данный момент времени)**  $v$  равна отношению *малого* перемещения  $S = x_2 - x_1 = \Delta x$  тела к *малому* промежутку времени  $t_2 - t_1 = \Delta t$ , за который было совершено это перемещение. При этом величина промежутка времени  $\Delta t$  стремится к нулю:

$$v_{\text{МГНОВ}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

**Графическое изображение зависимости скорости и координаты от времени**



Средняя величина (модуль) скорости: отношение пройденного пути к времени, затраченному на этот путь.

**1.1.6. Равноускоренное прямолинейное движение**

**Равноускоренное прямолинейное движение** — прямолинейное движение, при котором скорость тела линейно зависит от времени.

**Равноускоренное прямолинейное движение**

Скорость линейно зависит от времени:  $v = at + v_0$ .  
 $v_0$  — начальная скорость тела.

При равноускоренном движении скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину.

**Ускорение тела** — изменение скорости в единицу времени. Ускорение  $a$  вычисляется как отношение изменения скорости тела к промежутку времени, за который это изменение произошло:  $a = \frac{v - v_0}{t - t_0}$ .

Единица измерения ускорения  $[a] = \text{м/с}^2$ .

Графическое изображение зависимости ускорения, скорости и координаты от времени		
Равноускоренное движение		
Ускорение	Скорость	Координата
$a = \text{const} > 0$	$v = v_0 + at$	$x = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}$
Равнозамедленное движение		
Ускорение	Скорость	Координата
$a = \text{const} < 0$	$v = v_0 -  a t$	$x = x_0 + v_0t - \frac{ a t^2}{2}$

### 1.1.7. Свободное падение. Ускорение свободного падения

Свободным падением называется движение тела, обусловленное притяжением Земли, при отсутствии начальной скорости и сопротивления среды.

Вблизи поверхности Земли все тела, если на них действует только сила притяжения Земли, движутся с **одинаковым** ускорением, направленным по вертикали **вниз**. Это ускорение называется **ускорением свободного падения**, оно обозначается буквой  $g$  и равно:  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

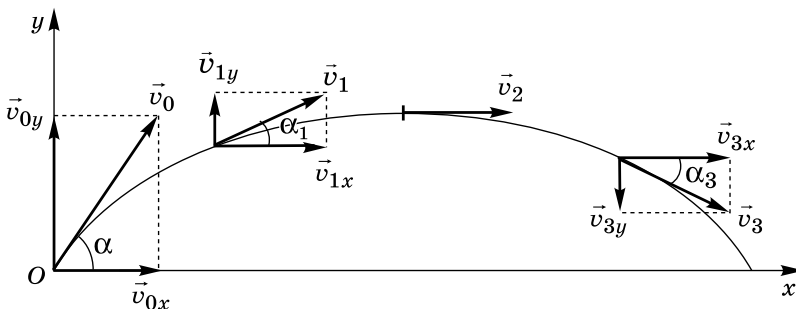
Окончание таблицы

Высота, с которой падает тело	Скорость тела
$h = \frac{gt^2}{2}$	$v = \sqrt{2gh}$

Движение тела, брошенного вертикально вверх	
Высота подъёма тела	Скорость тела
$h = h_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$	$v = v_0 - gt$
Здесь $h_0$ — начальная высота, $v_0$ — начальная скорость	

Движение тела, брошенного под углом к горизонту	
Тело одновременно участвует в двух движениях	
По горизонтали (вдоль оси $Ox$ )	По вертикали (вдоль оси $Oy$ )
Движение — равномерное	Движение — равноускоренное
Скорость $v_x = v_{0x};$ $v_x = v_0 \cos \alpha$	Скорость $v_h = v_{0h} - gt;$ $v_{0h} = v_0 \sin \alpha$
Координата $x = x_0 + v_{0x} t;$ $x = x_0 + v_0 \cos \alpha \cdot t$	Координата $y = h = h_0 + v_{0h} t - \frac{gt^2}{2};$ $h = h_0 + v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$

Траектория движения — парабола



В вершине параболы вертикальная составляющая скорости  $v_{2h}$  равна нулю. В точке падения скорость тела равна по абсолютной величине скорости тела в точке бросания, а направление её составляет тот же угол, что и в точке бросания (взятый с обратным знаком). Это следует из симметрии параболы и имеет место в отсутствие сопротивления воздуха.

## 1.1.8. Равномерное движение точки по окружности

Основные параметры:

$R$  — радиус окружности;

$L$  — длина окружности;

$\Delta l$  — путь, пройденный из положения  $A$   
в положение  $B$  за время  $\Delta t$ ;

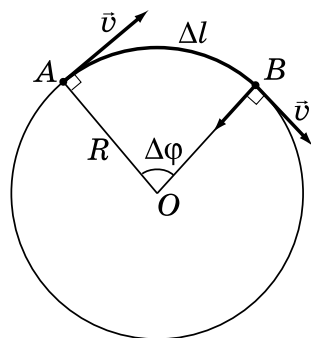
$T$  — период вращения (время одного оборота);

$v$  — линейная скорость;

$\Delta\varphi$  — угловое перемещение, т. е. угол поворота  
радиуса за малое время  $\Delta t$ ;

$\omega$  — угловая скорость (угол поворота в единицу  
времени);

$\nu$  — частота вращения (количество оборотов  
в единицу времени).



$$T = \frac{1}{\nu};$$

$$[T] = \text{с};$$

$$[v] = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}$$

**Радян** — единица измерения угла. Определяется как отношение длины соответствующей дуги окружности к радиусу этой окружности:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta l}{R} \text{ рад.}$$

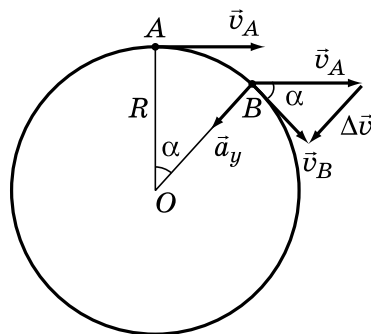
Связь с градусами:  $360^\circ = 2\pi \text{ рад.}$

Линейная скорость	Угловая скорость
$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{L}{T} = \frac{2\pi R}{T} = \omega \cdot R = \text{const}$	$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu = \frac{v}{R} = \text{const}$
$[v] = \text{м/с}$	$[\omega] = \text{рад/с}$

### Центростремительное ускорение

При равномерном вращении модуль скорости с течением времени не изменяется, однако направление скорости зависит от времени. Поскольку скорость точки изменяется по направлению, то тело имеет ускорение, которое называется центростремительным ускорением:

$$\vec{a}_{\text{мгнов}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}_B - \vec{v}_A}{\Delta t}$$



Окончание таблицы

<p>Величина этого ускорения равна <math> \vec{a}_ц  = \frac{v^2}{R}</math>, а направлено ускорение к центру окружности перпендикулярно к вектору скорости. Поэтому такое ускорение называется <b>центростремительным ускорением</b>.</p>		
Линейная скорость	Угловая скорость	Центростремительное ускорение
$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R \cdot \nu$	$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$	$a_ц = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R^2}{T^2 R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$

### 1.1.9. Твёрдое тело. Поступательное и вращательное движение твёрдого тела

Поступательное движение	Вращательное движение
движение, при котором любая прямая, жёстко связанная с движущимся телом, остаётся параллельной своему первоначальному положению	движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на оси вращения

Связь между линейной  $v$  и угловой  $\omega$  скоростями и центростремительным ускорением  $a$  определяется соотношениями:

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu;$$

$$v = \omega R;$$

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$

#### Закон равномерного вращательного движения

При ненулевом значении угла поворота  $\varphi_0$  в начальный момент времени ( $t=0$ ) закон вращательного движения описывается уравнением:

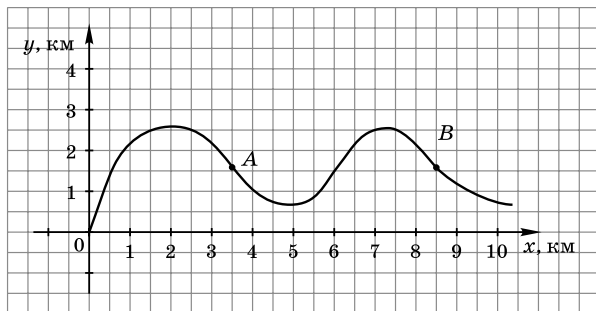
$$\varphi = \varphi_0 + \omega t.$$



## ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ЕГЭ ПО ТЕМЕ 1.1. КИНЕМАТИКА

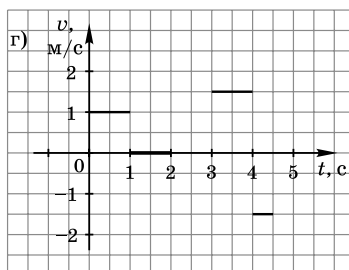
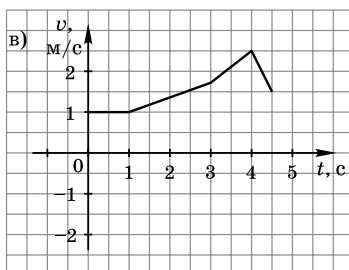
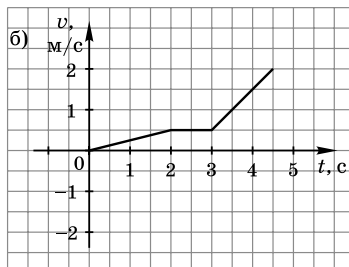
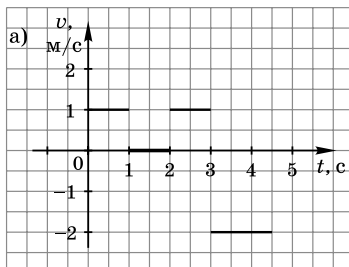
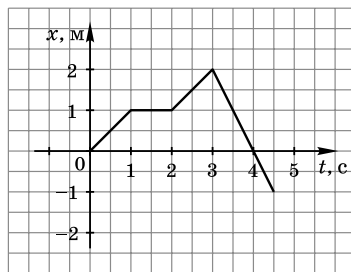
Ответами к заданиям 1–7 являются слово, число или последовательность цифр или чисел. Запишите ответ в поле ответа в тексте работы.

- 1** На рисунке изображена траектория движения автомобиля. Определите модуль вектора перемещения из точки *A* в точку *B*.



Ответ: \_\_\_\_\_ км.

- 2** На рисунке приведён график движения тела  $x(t)$ . Под ним приведены четыре графика зависимости его скорости от времени  $v(t)$ . Какой из них соответствует графику движения тела  $x(t)$ ?



Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 3 Первую половину своего пути автомобиль двигался со скоростью  $v_1 = 18$  км/с, а вторую половину пути — со скоростью  $v_2 = 40$  км/ч. Какова его средняя скорость  $v_{\text{ср}}$  на всём пути?

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с.

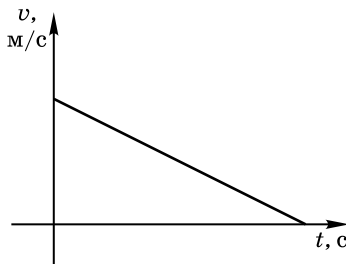
- 4 Точка движется по окружности радиуса  $R = 5$  м со скоростью 3 м/с. Определите центростремительное ускорение точки.

Ответ: \_\_\_\_\_ м/с<sup>2</sup>.

- 5 Чему равна угловая скорость минутной стрелки часов?

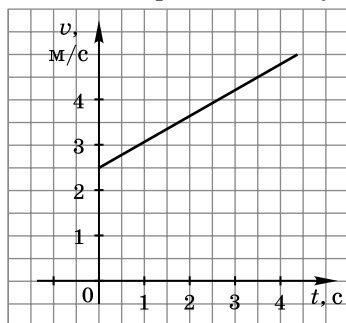
Ответ: \_\_\_\_\_ мрад/с.

- 6 Какой из видов движения изображён на графике зависимости скорости от времени (*равномерное*, *равноускоренное* или *равнозамедленное*)? Ответ запишите словами.



Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 7 Пользуясь графиком зависимости скорости от времени определите путь, пройденный телом за первые 3,5 секунды.



Ответ: \_\_\_\_\_ м.

## 1.2. ДИНАМИКА

**Динамика** — раздел механики, в котором изучается движение тел под действием сил.

### 1.2.1. Инерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона. Принцип относительности Галилея

**Инерциальная система отсчёта (ИСО)** — система отсчёта, относительно которой тело, на которое не действуют другие тела и внешние силы, движется равномерно и прямолинейно или находится в покое.

#### I закон Ньютона

В инерциальных системах отсчёта тела, покоящиеся или движущиеся равномерно и прямолинейно, не изменяют своего состояния, если на них не действуют силы.

$$\sum \vec{F}_i = 0 \Rightarrow \vec{v} = \text{const.}$$

Единица измерения силы — Ньютон:  $[F] = \text{H} = \text{кг} \cdot (\text{м}/\text{с}^2)$ .

#### Принцип относительности Галилея (пространство и время в классической механике)

В неподвижной системе отсчёта и в системе отсчёта, которая движется с постоянной скоростью, все физические явления протекают одинаково. Другими словами, в инерциальных системах отсчёта законы физики одинаковы. В этом состоит **принцип относительности Галилея**. Из этого принципа, в частности, следует, что с помощью физического эксперимента в заданной системе отсчёта невозможно определить, движется или покоится эта инерциальная система. Принцип относительности Галилея непосредственно связан со свойствами пространства и времени в классической механике. Время является **абсолютной** физической величиной и во всех системах отсчёта течёт одинаково. Следовательно, всем наблюдателям, движущимся с любыми скоростями (или даже с ускорениями), можно пользоваться одними часами. Пространственные координаты являются относительными величинами и зависят от системы отсчёта.

Преобразования Галилея заключаются в преобразовании координат  $\vec{r}(x, y, z)$  и времени  $t$  движущейся материальной точки при переходе от одной инерциальной системы отсчёта (ИСО) к другой:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v} t, \quad t = t'.$$

Для координаты  $x$  это означает:

$$x = x' + v_x t, \quad t = t',$$

где  $v$  — относительная скорость (постоянная) движения двух ИСО,  $\vec{r}$  и  $\vec{r}'$  — радиус-векторы, а  $x$  и  $x'$  — координаты точки в этих двух ИСО.

$$\vec{r} = \vec{r}' + \Delta\vec{r}_{O'O}, \quad \vec{r} = \vec{r}' + \vec{v} t,$$

Закон сложения скоростей:

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

где  $u$  и  $u'$  — скорости точки относительно систем  $K$  и  $K'$  соответственно.

