

**Жилхайдаров Ербол Калелович**

**Карагандинский высший  
политехнический колледж**

**Кафедра «Общеобразовательных  
дисциплин»**

**Преподаватель физики**

**8 – 700 – 08 – 98 - 001**

1. Ссылка к электронному учебнику:

<https://www.okulyk.kz/fizika/5>

<https://www.okulyk.kz/fizika/529>

<https://www.okulyk.kz/fizika/529/>

2. Физика и естественно-научный метод познания природы:

<https://resh.edu.ru/subject/lesson/5894/main/90075/>

3. Равномерное прямолинейное движение  
материальной точки:

<https://resh.edu.ru/subject/lesson/6287/main/46891/>

4. Равноускоренное движение материальной точки:

<https://resh.edu.ru/subject/lesson/3721/main/160137/>

5. Равномерное движение точки по окружности:

<https://resh.edu.ru/subject/lesson/3711/main/47126/>

# Физика и естественно-научный метод познания природы

## Роль физики в современном мире

Говоря о роли физики, выделим три основных момента. Во-первых, физика является для человека важнейшим источником знаний об окружающем мире. Во-вторых, физика, непрерывно расширяя и многократно умножая возможности человека, обеспечивает его уверенное продвижение по пути технического прогресса. В-третьих, физика вносит существенный вклад в развитие духовного облика человека, формирует его мировоззрение, учит ориентироваться в шкале культурных ценностей. Поэтому будем говорить соответственно о *научном, техническом и гуманитарном* потенциалах физики.

# Физика – фундаментальная наука



**Физика** – фундаментальная наука, занимающаяся изучением основополагающих и вместе с тем наиболее общих свойств окружающего нас материального мира.





Гравитационное  
взаимодействие

Электромагнитное  
взаимодействие

Фундаментальные  
взаимодействия

Сильное  
взаимодействие

Слабое  
взаимодействие



## Особенности научного наблюдения

- Целенаправленно
- Сознательно организовано
- Методически обдумано
- Результаты можно записать, измерить, оценить
- Наблюдатель не вмешивается в ход наблюдаемого процесса

**Научная гипотеза** – высказанное суждение, недоказанное утверждение, предположение, объясняющие наблюдаемые явления или результаты лабораторных экспериментов. В ходе эксперимента гипотезу **доказывают**, превращая её в установленный факт (теорию, теорему, закон), ИЛИ же **опровергают**.

**Эксперимент** – это исследование каких-либо явлений путём создания новых условий, соответствующих целям исследования.

## Схема научного познания



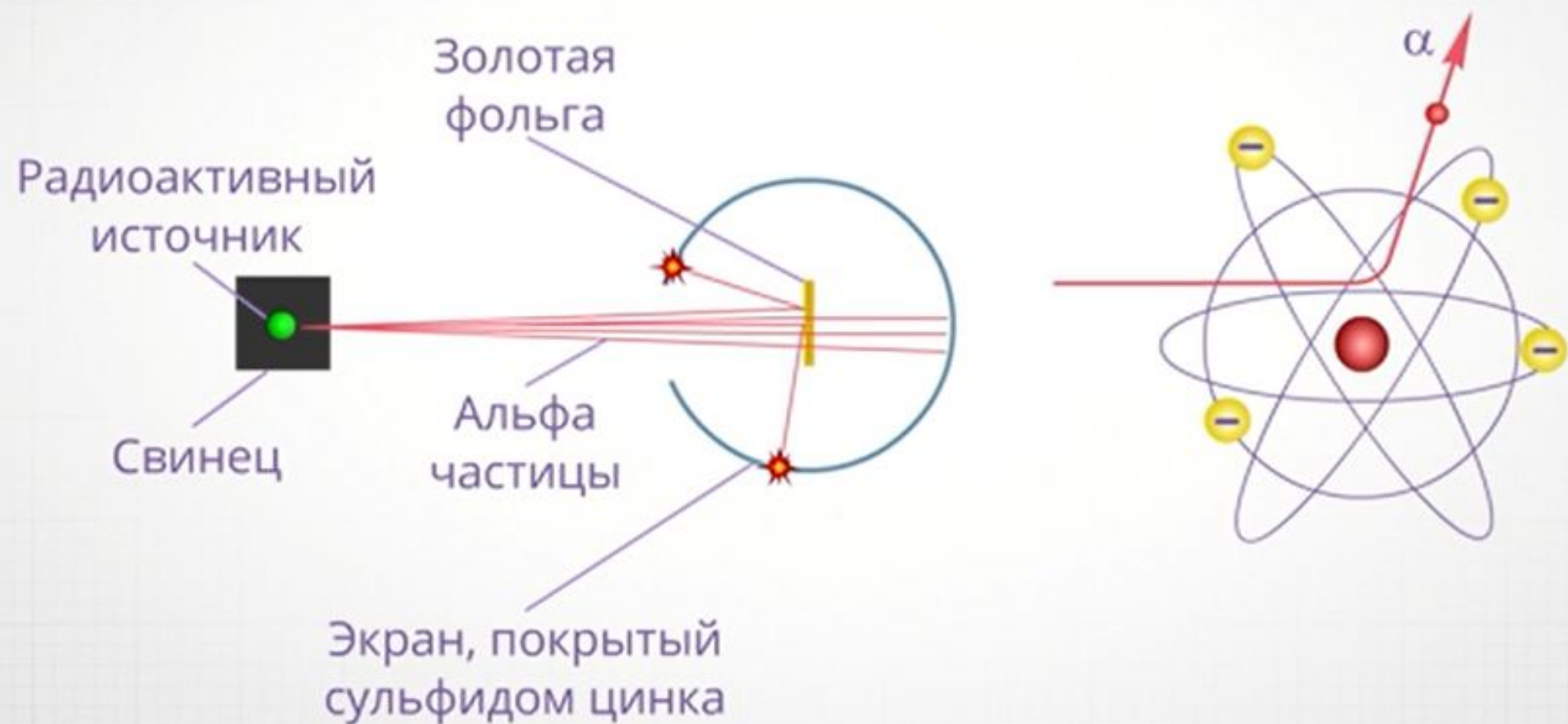
Реальный

**Эксперимент**

Мысленный

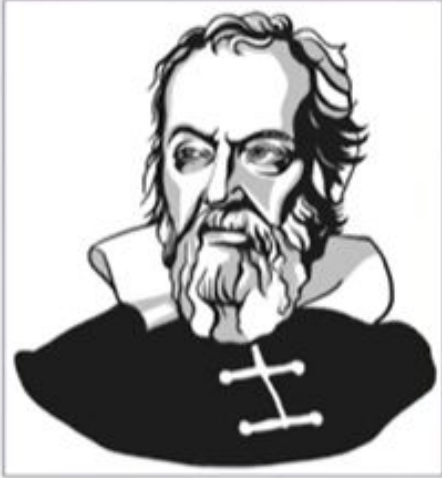


# Эксперимент Резерфорда «Бомбардировка альфа-частицами тонкой золотой фольги с целью установления строения атома»



# Эксперимент Эрстеда по доказательству воздействия электрического тока на магнит

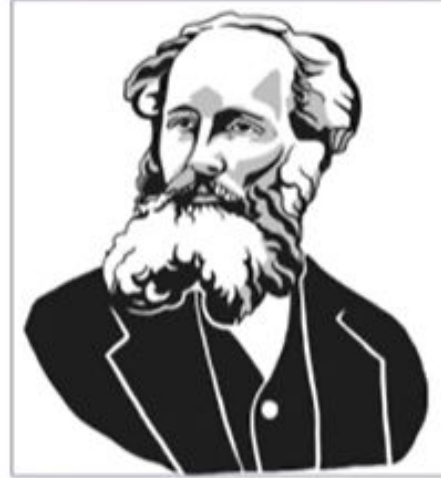




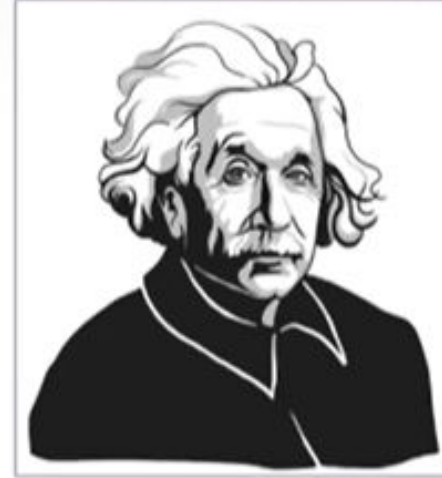
Галилео  
Галилей  
(1564–1642)



Исаак  
Ньютон  
(1643–1727)



Джеймс Клерк  
Максвелл  
(1831–1879)



Альберт  
Эйнштейн  
(1879–1955)

Модель – это идеализация реального объекта или явления при сохранении основных свойств, определяющих данный объект или явление.





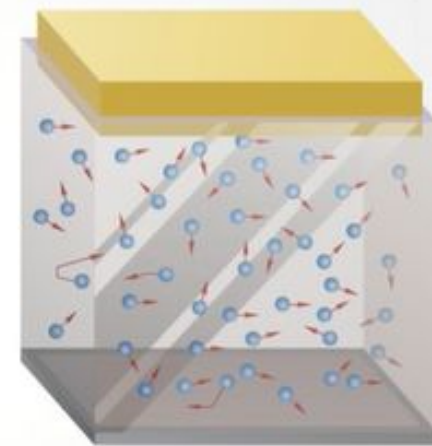
## Примеры физических моделей



Материальная точка



Абсолютно твёрдое тело



Идеальный газ

**Физическая величина** – свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для класса объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

### Основные единицы Международной системы единиц

| Физическая величина           | Наименование основной единицы СИ | Обозначение единицы |
|-------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Длина                         | Метр                             | м                   |
| Масса                         | Килограмм                        | кг                  |
| Время                         | Секунда                          | с                   |
| Сила электрического тока      | Ампер                            | А                   |
| Термодинамическая температура | Кельвин                          | К                   |
| Сила света                    | Кандела                          | кд                  |
| Количество вещества           | моль                             | моль                |

Измерить физическую величину – это значит сравнить её с эталоном, с единицей измерения.

Прямое

Определение значения физической величины **непосредственно** средствами измерения

**Измерение**

Определение значения физической величины **по формуле**, связывающей её с другими физическими величинами

Косвенное



При обработке результатов измерений нужно оценивать:

- с какой точностью проводится измерение, какую ошибку допускает ваш прибор, то есть определить **погрешность измерений**
- как влияет сам процесс измерения на объект, который вы измеряете



# Глава 1. ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

## § 1. Основные понятия и уравнения кинематики равноускоренного движения тела



**Ключевые понятия:** кинематика, радиус-вектор, вектор перемещения, скорость мгновенная и средняя, ускорение.

На этом уроке вы: познакомитесь с основными понятиями кинематики; научитесь описывать поступательное движение тел.

*Кинематика* — это раздел механики, который изучает механическое движение без учета причин, вызвавших его. В этом разделе мы получим ответ на вопрос, как движется тело, но мы не узнаем, почему тело движется именно так.

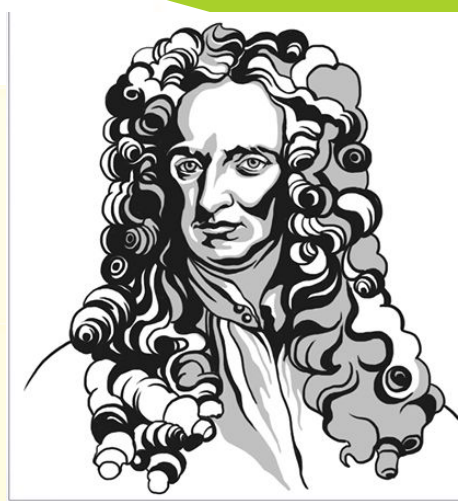


Под *механическим движением* понимают любое изменение положения тела или отдельных его частей с течением времени в пространстве относительно других тел, которые называются *телами отсчета*.

**Механика** – это наука о причинах и общих законах механического движения







Исаак Ньютон  
(1643-1727)

**Основная задача механики – определить положение тела в пространстве в любой момент времени.**

Классическая механика Ньютона

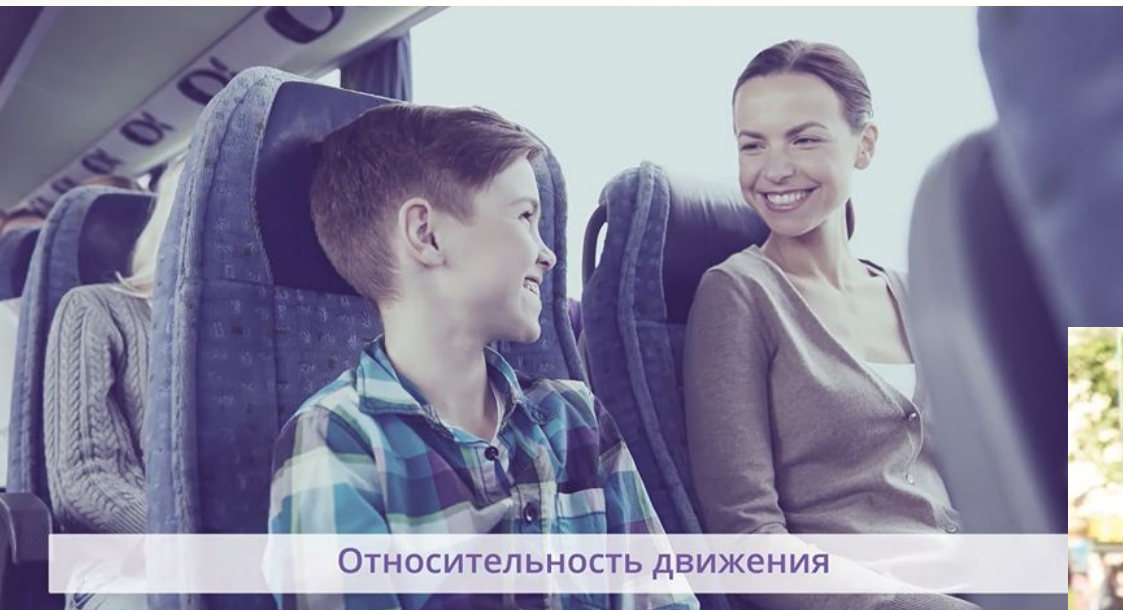
Кинематика

Изучает движение тел и характеристики движения

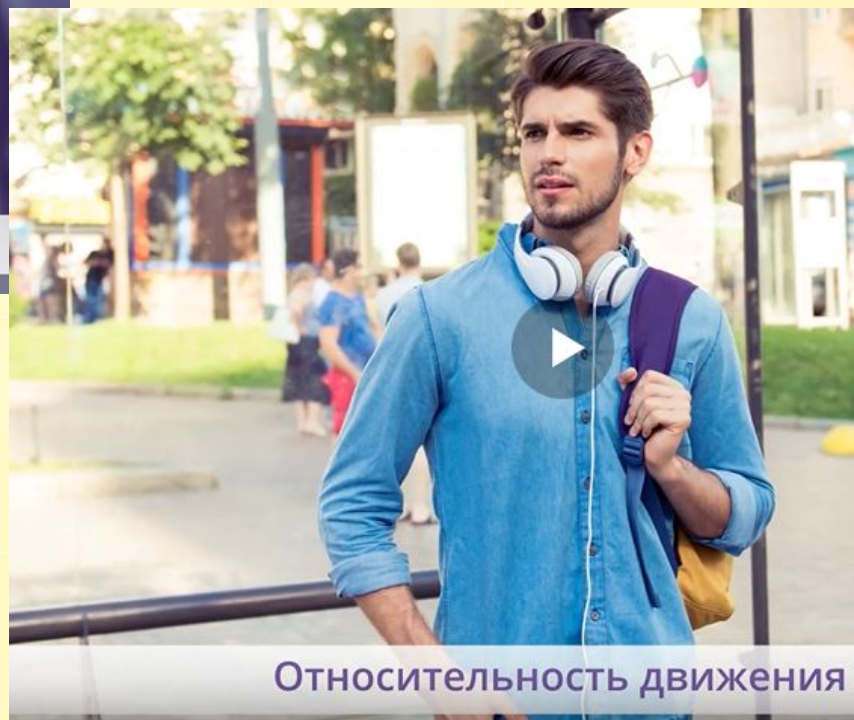
Динамика

Изучает взаимодействия тел и причины движения

**Механическим** движением называется изменение положения тела или частей тела в пространстве относительно других тел с течением времени.



Относительность движения



Относительность движения



**Закон относительности движения:** характер движения тела зависит от того, относительно каких тел мы рассматриваем движение.

## Прямолинейное равномерное движение



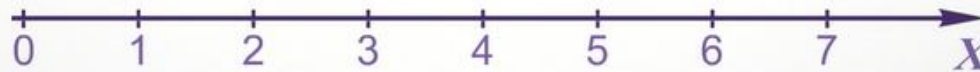
Тело, относительно которого рассматривается движение, называется **телом отсчёта**

# Система отсчёта



Часы

Тело  
отсчёта



Система координат

## Система отсчёта

Тело отсчёта

Система координат

Часы

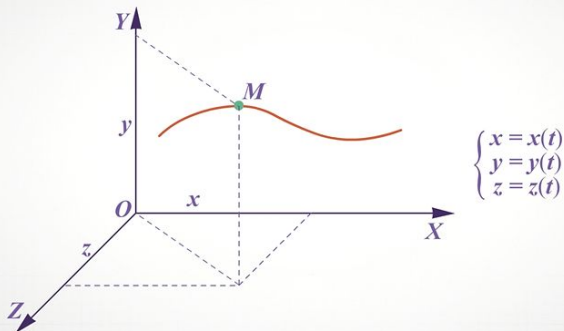
## Способы описания движения

Координатный

Векторный

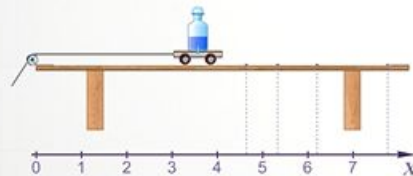
**Координатный способ** – в выбранной системе отсчёта рассматривается зависимость изменения координат тела от времени.

### Координатный способ



## Системы координат

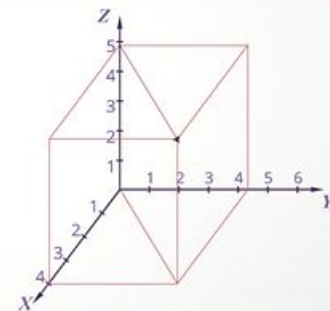
Одномерная



Двумерная



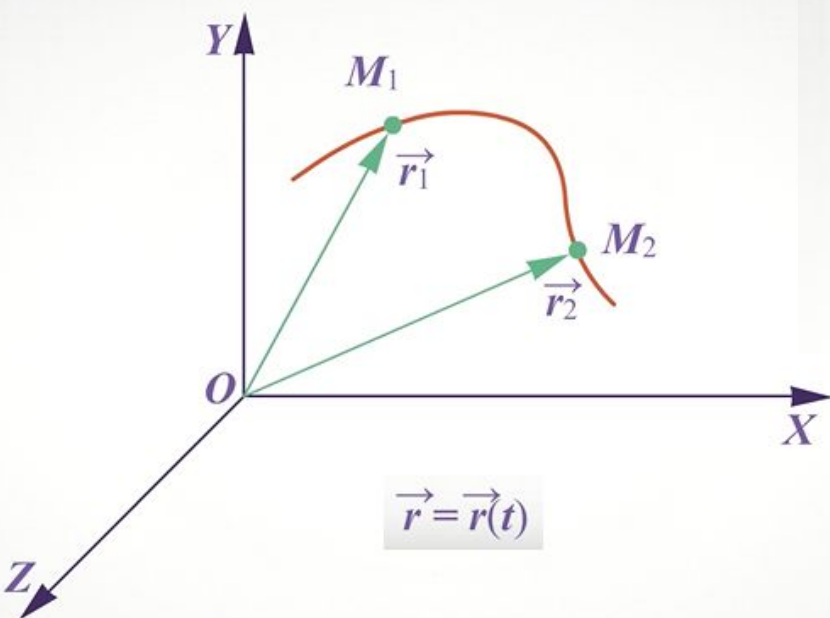
Трёхмерная





**Радиус-вектор** – это направленный отрезок, проведенный из начала координат в данную точку.

Векторный способ



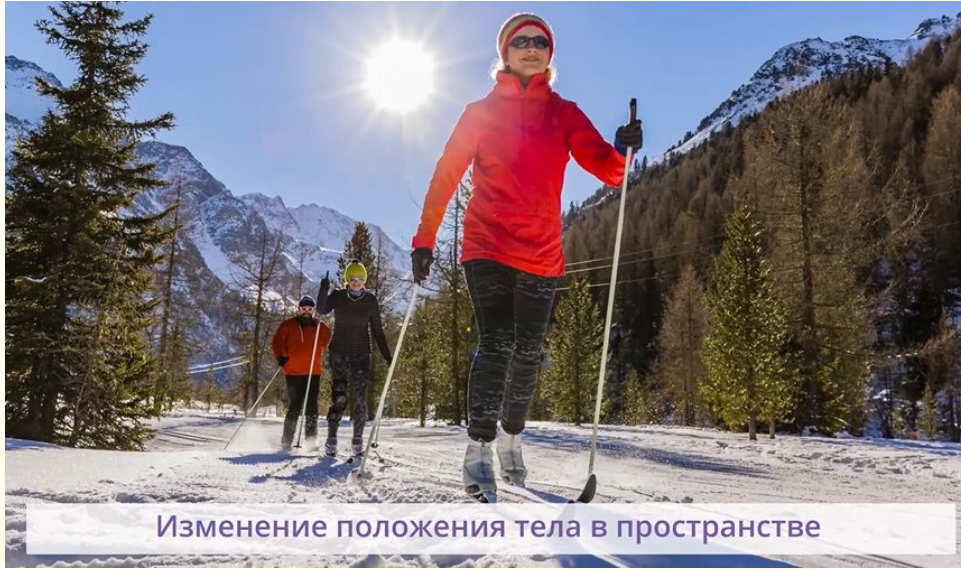
Кинематические уравнения движения материальной точки

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad \vec{r} = \vec{r}(t)$$

Линия, по которой движется точка в пространстве, называется **траекторией**.



Длину траектории, по которой двигалось тело в течение какого-то промежутка времени, называют **путём**.

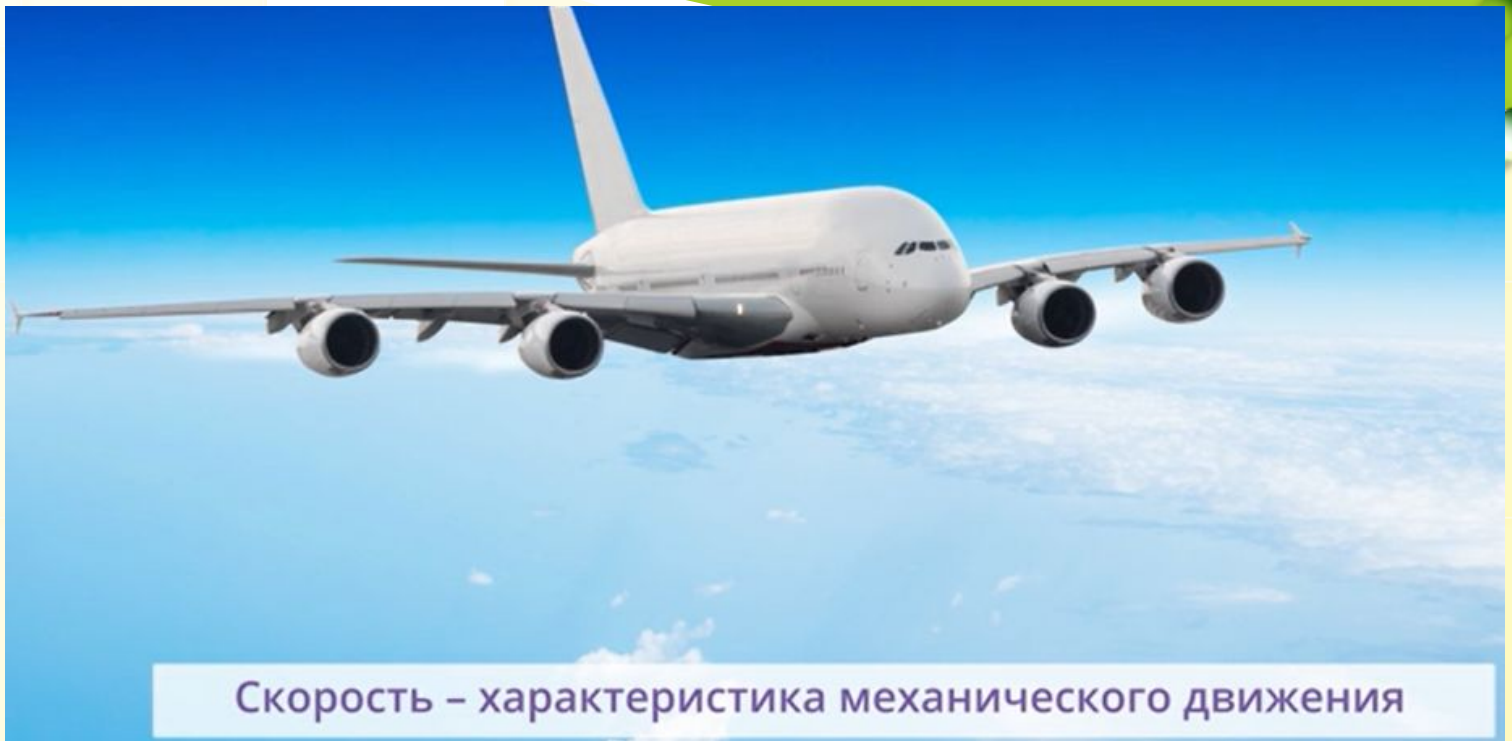


Изменение положения тела в пространстве



**Перемещением** тела (материальной точки) называют вектор, соединяющий начальное и конечное положение тела.



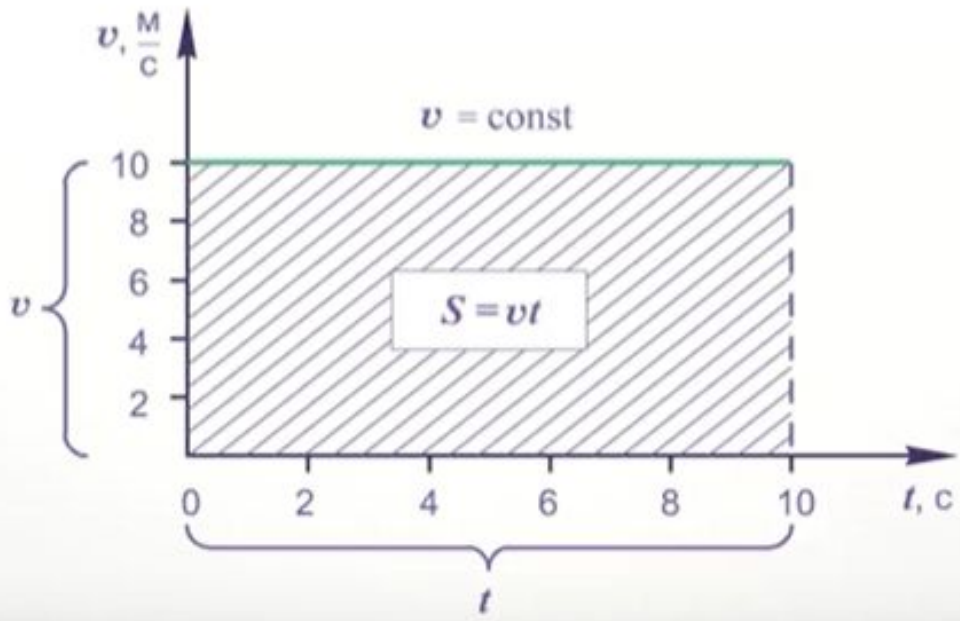
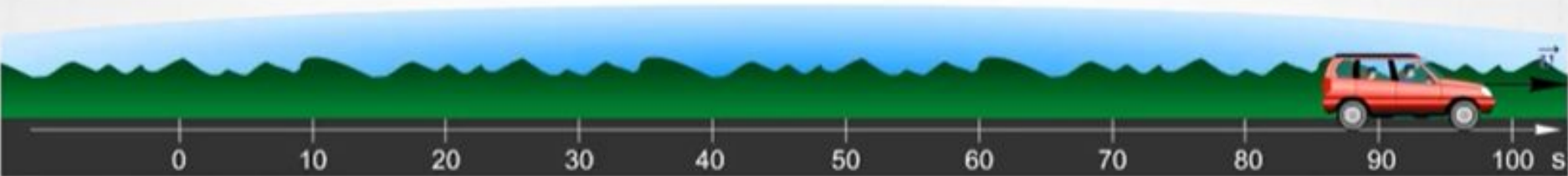


Скорость – характеристика механического движения

**Скорость равномерного прямолинейного движения точки** – векторная величина, равная отношению перемещения к промежутку времени, в течение которого это перемещение произошло:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

# График зависимости скорости от времени



# График зависимости координаты тела от времени

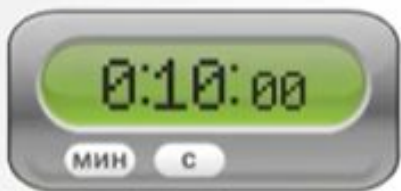
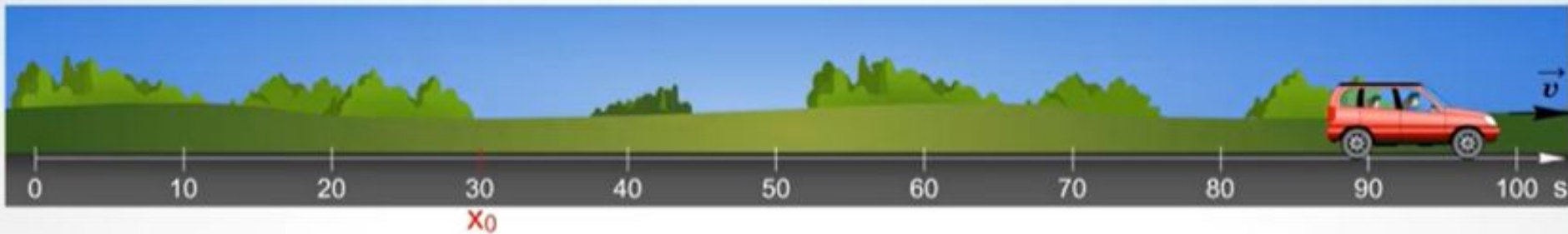
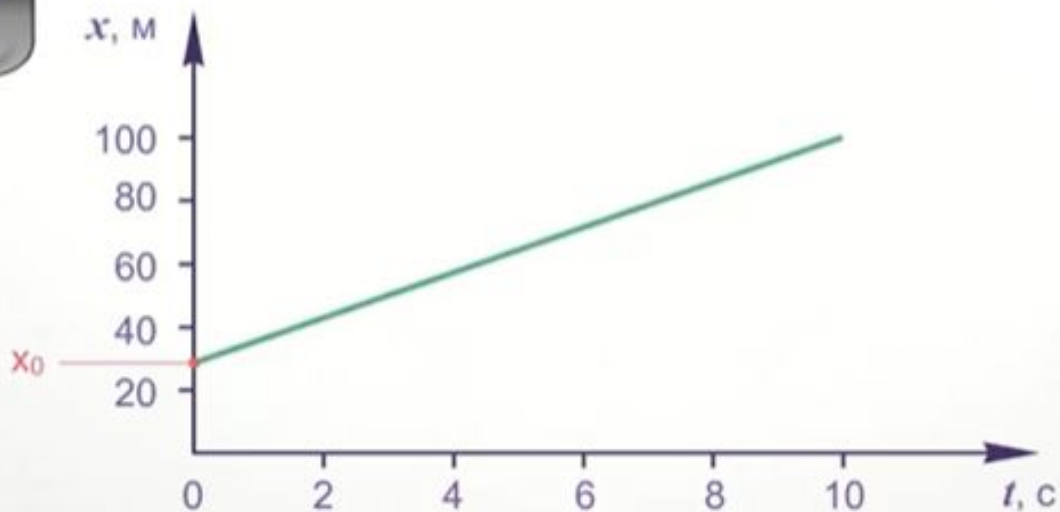
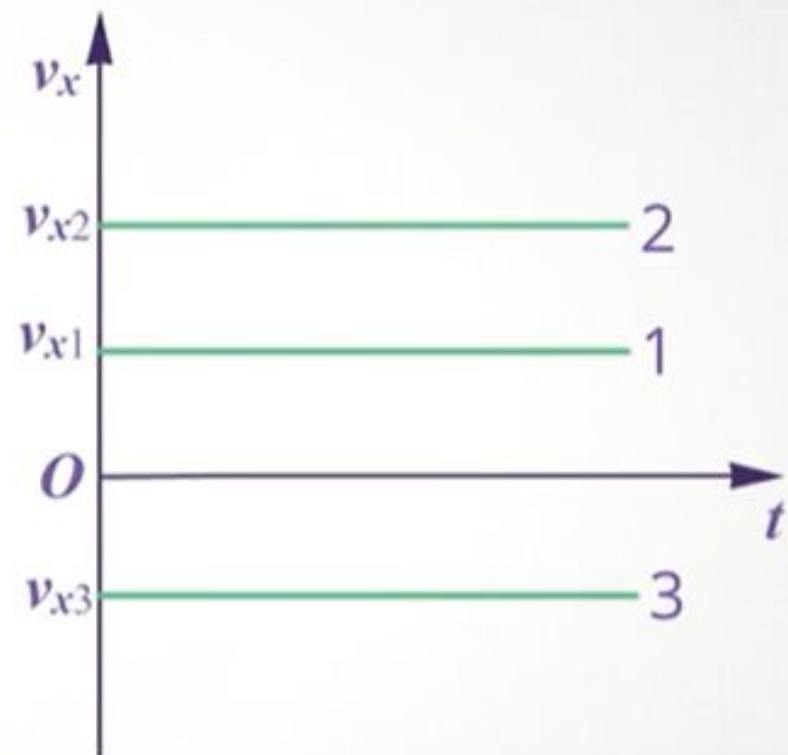
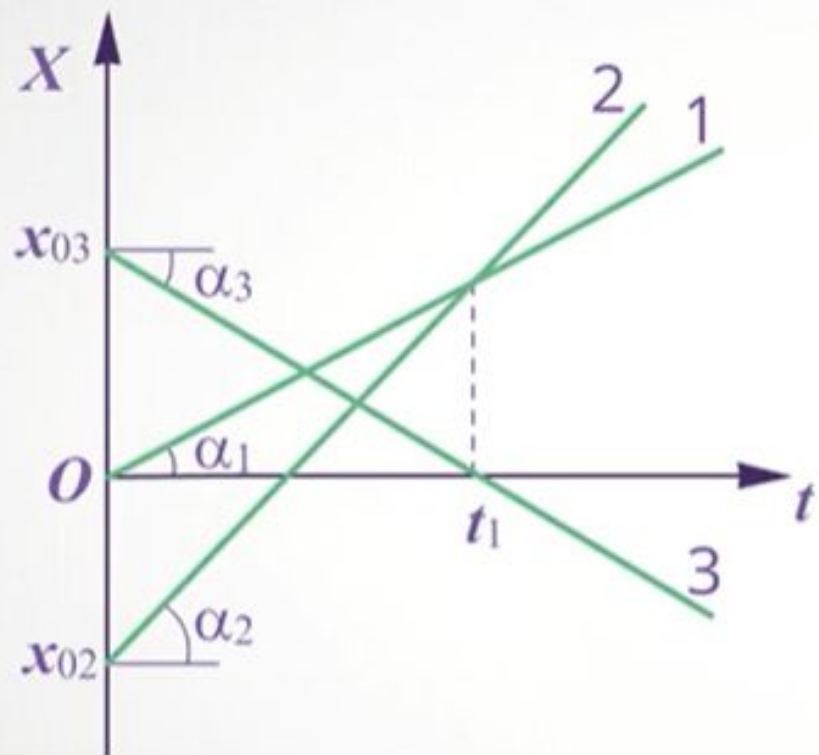


График зависимости координаты тела от времени





## Примеры графиков зависимости координаты и скорости от времени для трёх тел



1 тело:  $x_{01} = 0, v_{x1} > 0$

2 тело:  $x_{02} < 0, v_{x2} > 0$

3 тело:  $x_{03} > 0, v_{x3} < 0$



Рис. 1.2

А что значит изучить механическое движение? Какую задачу необходимо при этом решить?

Основной задачей кинематики является определение положения тела в пространстве в любой момент времени. Для того чтобы это сделать, одного тела отсчета недостаточно. Необходима система отсчета.

*Под системой отсчета понимают совокупность тела отсчета, системы координат и прибора, отсчитывающего время. Надо понимать, что система отсчета и система координат — это не одно и то же.*

Рассмотрим процесс перемещения материальной точки вдоль выбранного направления  $Ox$  из положения  $A$  в положение  $B$  (рис. 1.4).

Величина

$$\bar{s} = \bar{r}_2 - \bar{r}_1 \quad (1.1)$$

получила название *вектор перемещения* (рис. 1.4, 1.5).

Под *вектором перемещения* понимают вектор, соединяющий начальное и конечное положения тела.

Переходя к проекции вектора перемещения на ось  $Ox$ , получим, что

$$x = x_0 + s_x, \quad (1.2)$$

где  $x$  и  $x_0$  — конечная и начальная координаты тела;  $s_x$  — величина, определяемая законом движения тела. Если рассматривать движение тела в плоскости, то получим картину перемещения тела, изображенную на рисунке 1.5, где  $s_x$  и  $s_y$  — это проекции вектора перемещения на осях  $Ox$  и  $Oy$ , соответственно. Как видно из рисунка 1.5, модули этих проекций соответственно равны:

$$s_x = x - x_0 \text{ и } s_y = y - y_0.$$



Линия, в каждой точке которой последовательно побывало тело в процессе своего движения, называется *траекторией движения*.

Траектории движения самолета и поезда (рис. 1.7) различны, хотя пункты отправления и прибытия одинаковы. Траектория может быть *прямолинейной* и *криволинейной*.

Длина траектории называется *пройденным путем* и обозначается символом  $\ell$ .

*Путь* — это скалярная величина, не имеющая направления. Она характеризуется только численным значением и определяется расстоянием, пройденным телом.

Тело в пространстве может двигаться быстро или медленно. Для характеристики быстроты изменения вектора перемещения ввели особую физическую величину — *скорость перемещения*.

*Скорость перемещения* определяется перемещением, совершенным телом за единицу времени:

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{\Delta t}. \quad (1.3)$$

Для характеристики быстроты движения по траектории ввели другую физическую величину — *путевая скорость*.

*Путевая скорость* определяется путем, пройденным телом за единицу времени:

$$v = \frac{l}{t}. \quad (1.4)$$

Для характеристики состояния материальной точки в данный момент времени вводится понятие — *мгновенная скорость*.

*Мгновенная скорость* — это скорость тела в данный момент времени.

Необходимо помнить, что чаще всего при движении тела скорость изменяется. Движение с изменяющейся скоростью называют *неравномерным*.

Для того чтобы наиболее полно описать неравномерное движение и узнать закон изменения скорости, вводят новую физическую величину — *ускорение*.

*Ускорение* — это физическая величина, характеризующая скорость изменения вектора скорости, т. е.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}. \quad (1.5)$$

Измеряется ускорение в метрах на секунду в квадрате:  $[\vec{a}] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

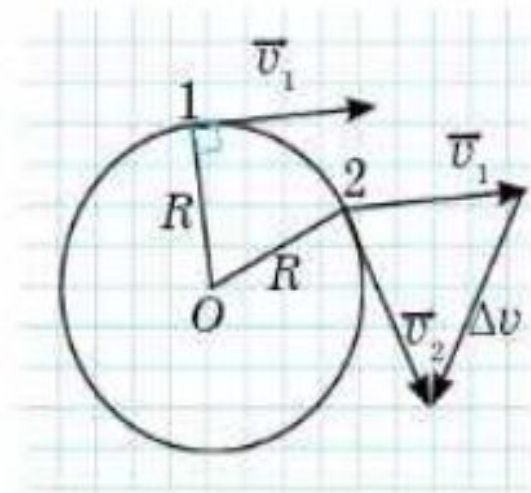


Рис. 1.8



Под *нормальным ускорением* понимают составляющую полного ускорения, характеризующую быстроту изменения скорости по направлению; оно всегда направлено по радиусу к центру кривизны данной точки траектории.

Поэтому его еще называют **центростремительным (нормальным) ускорением**. Модуль этого ускорения находят так:

$$a_n = \frac{v^2}{R}. \quad (1.6, б)$$



## Вопросы для самоконтроля

1. Что вы понимаете под системой отсчета?
2. Для чего необходима система отсчета?
3. Что понимают под радиус-вектором?
4. Какие кинематические величины зависят от выбора системы отсчета?
5. Чем отличается путь от перемещения?
6. Может ли перемещение быть больше пройденного пути? равным ему? меньше?  
Ответ обосновать.
7. Что понимают под траекторией движения?
8. В каких случаях тело можно принять за материальную точку?
9. В чем состоит принцип независимости движений?
10. Дайте полную характеристику ускорению движения?
11. Чем отличается скорость перемещения от путевой скорости?
12. В чем состоит физический смысл тангенциального ускорения?
13. В чем состоит физический смысл нормального ускорения?

## Экспериментируйте

Рассмотрите падение пластилинового шарика в воздухе и в воде. Опишите движение шарика в обоих случаях.

## Объясните

1. Айдар и Айсар идут по дороге, которая завела их в туман. Сможет ли Айсар в тумане определить местонахождение Айдара?

2. Почему говорят, что Солнце восходит и заходит? Какое тело в этом случае является телом отсчета?

3. По улице мимо светофора строго в противоположных направлениях движутся автомобиль и колонна автобусов с детьми. Двигутся ли автобусы относительно друг друга? А относительно автомобиля или светофора? Двигается или покоится светофор?

## Исследуйте

Дан график зависимости  $v(t)$  при прямолинейном движении тела (рис. 1.10). Исследуйте характер движения тела. Найдите путь, пройденный телом за 9 с, и модуль перемещения за это время.

(Ответ: 7,5 м; 1,5 м)

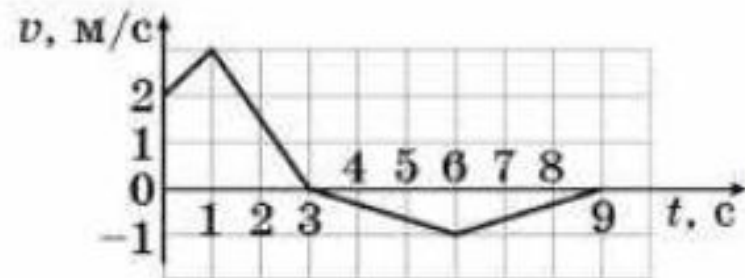


Рис. 1.10



## Анализируйте

1. Пешеход за 1 ч 20 мин прошел расстояние 7,2 км. При этом за первые 20 мин он прошел участок проселочной дороги длиной 1,8 км, двигаясь в одном темпе. Затем он прошел с постоянной скоростью остаток пути по шоссе. К какому типу можно отнести его движение на всем пути? Приведите расчеты.

2. Поезд движется от одной станции до другой, изменяя скорость согласно расписанию. Как соотносятся пути, пройденные за время движения первым, третьим и шестым вагонами? Приведите расчеты.

## Творите

Придумайте задачу практического содержания на движение автобуса в городе.

## Решайте

1. Конный отряд длиной 20 м движется вдоль оврага равномерно со скоростью 18 км/ч. За какое время отряд пройдет овраг? Длина оврага 40 м.

(Ответ: 12 с)

2. От перекрестка одновременно отъехали два автобуса: первый — со скоростью 40 км/ч, второй — со скоростью 30 км/ч, в направлении, перпендикулярном движению первого. С какой относительной скоростью (в км/ч) они удаляются друг от друга?

(Ответ: 50 км/ч)



## Рефлексия

1. С какими терминами и понятиями вы встречались ранее?
2. Какая часть пройденного материала усвоена хорошо, а какая слабо? Что необходимо сделать, чтобы ликвидировать пробел по новому материалу?
3. Помогли ли вам задания "Творческой мастерской" в усвоении темы? Где возникли затруднения?
4. Какая информация заинтересовала вас особенно? Почему?

## § 2. Прямолинейное движение



**Ключевые понятия:** прямолинейное равномерное и равнопеременное движение, перемещение, скорость при прямолинейном движении.

На этом уроке вы: познакомитесь с прямолинейным движением и научитесь применять уравнения координаты и скорости для решения основной задачи механики.

Остановимся более подробно на прямолинейном движении.

**Прямолинейное равномерное движение.** Тела могут перемещаться в пространстве по-разному: как с постоянно изменяющейся скоростью, так и с неизменной скоростью, как по криволинейной траектории, так и по прямолинейной.

*Прямолинейным равномерным движением* называется движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает равные перемещения, не изменяя направление движения.



$$s_x = v_x t. \quad (2.1)$$

На рисунке 2.1 отмечено начальное положение электровоза  $x_0$  и его конечное положение  $x$  и вектор перемещения  $\vec{s}$ . При этом электровоз мы приняли за материальную точку.

Из данного рисунка видно, что перемещение и путь (движение-то прямолинейное) можно найти как разность конечной и начальной координат:

$$s_x = x - x_0. \quad (2.2)$$

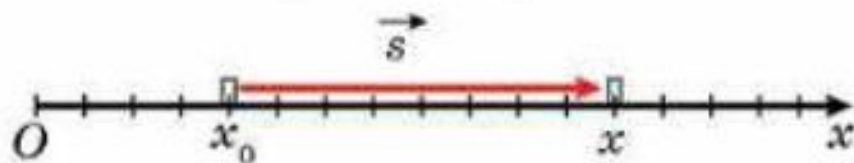


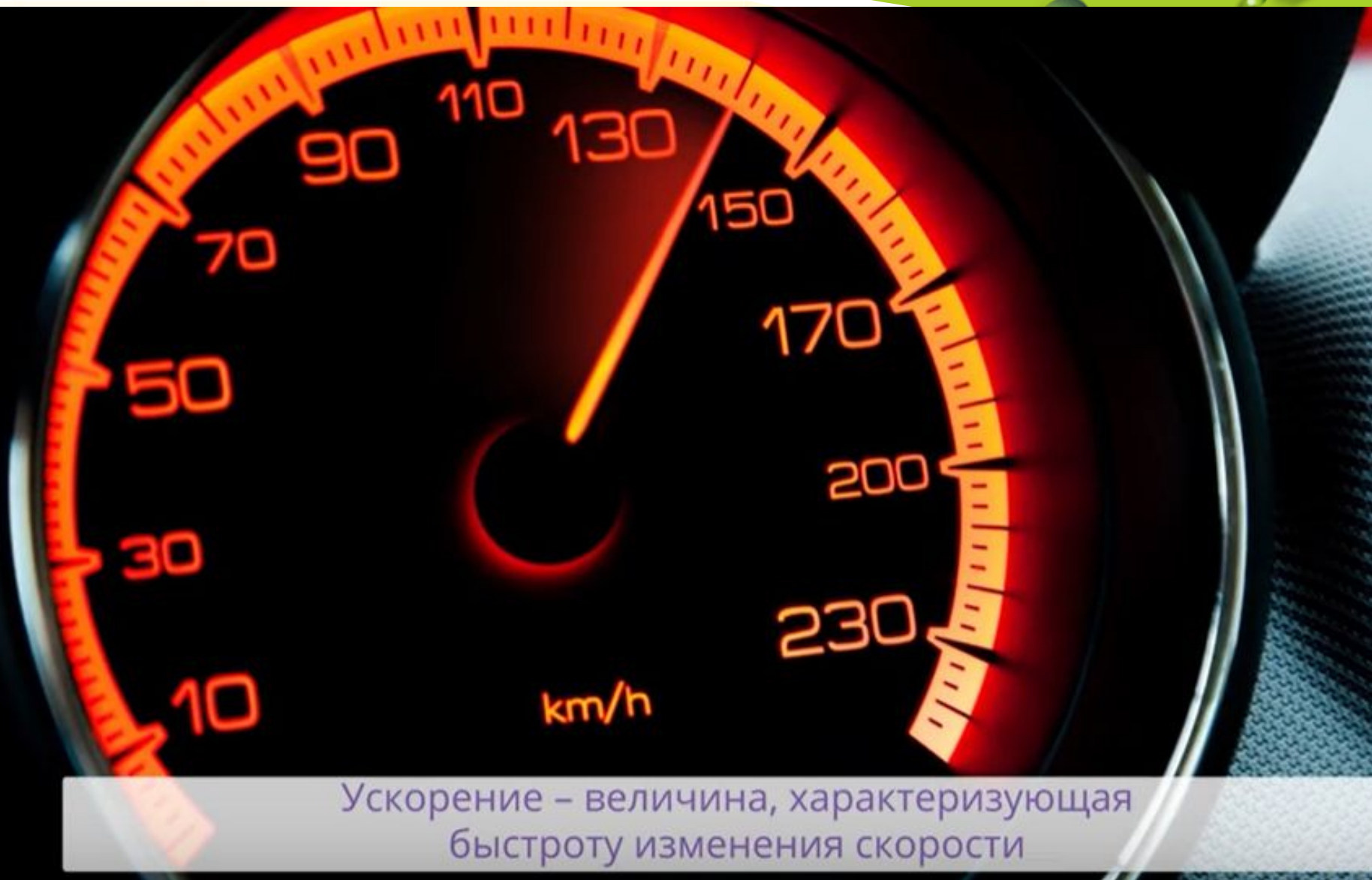
Рис. 2.1

$$x = x_0 + s_x. \quad (2.3)$$

Подставив в формулу (2.3) перемещение из формулы (2.1), получим:

$$x = x_0 + v_x t. \quad (2.4)$$

Это выражение называется *законом равномерного прямолинейного движения* материальной точки.



Ускорение – величина, характеризующая  
быстроту изменения скорости

Модуль и направление  
вектора ускорения  
**не меняются**  
со временем

**Движение  
с ускорением**

Модуль и направление  
вектора ускорения  
**изменяются**  
со временем



$\vec{v}_0$  – скорость точки в начальный момент времени  $t_0$ ,

$\vec{v}$  – скорость точки в некоторый момент времени  $t$ ,

$\Delta t = t - t_0$  – промежуток времени,

$\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$  – изменение скорости.

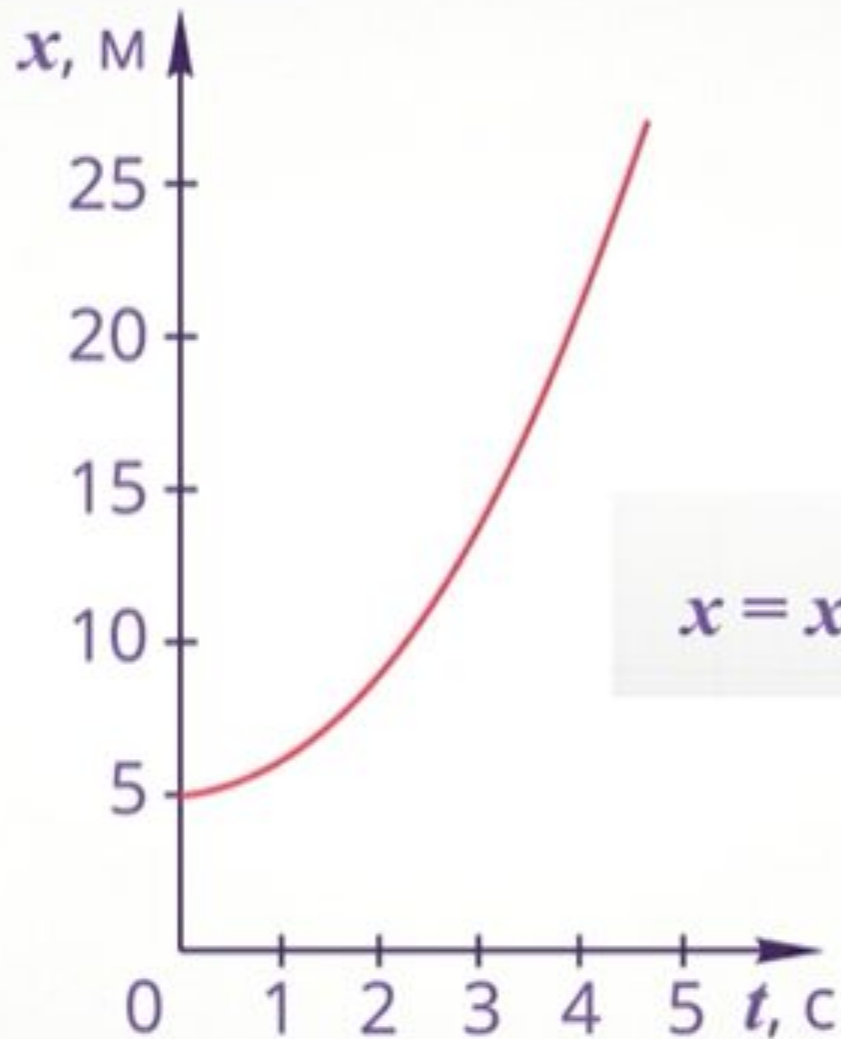
Ускорение точки:  $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0}$ .

Если  $t_0 = 0$ , то  $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$ .

Скорость точки в любой момент времени при её движении с постоянным ускорением

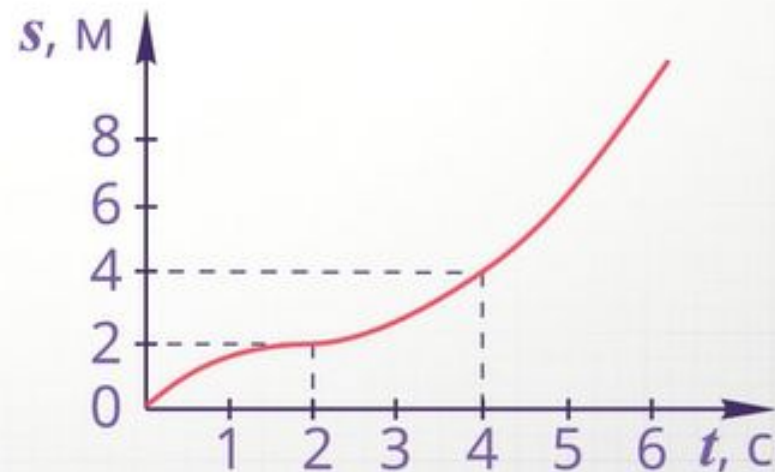
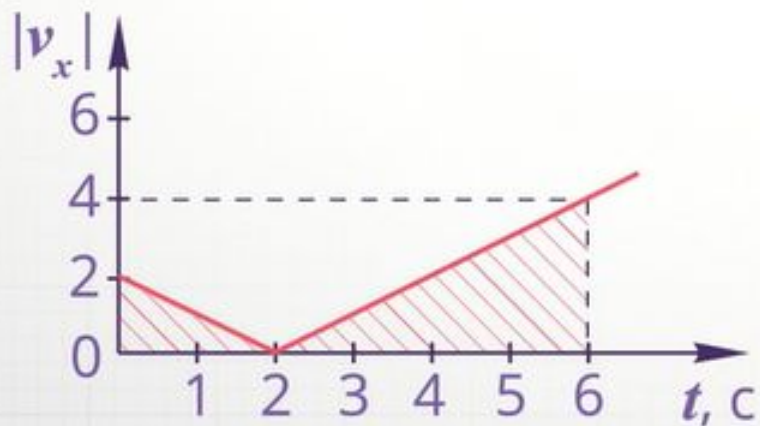
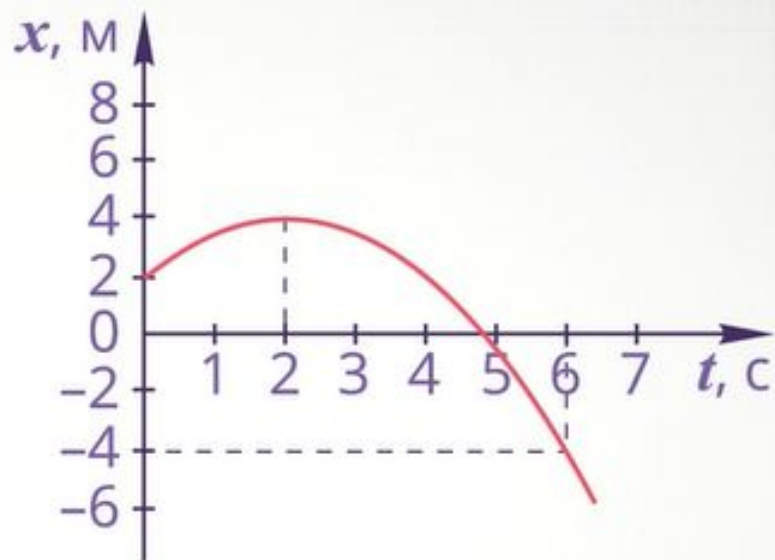
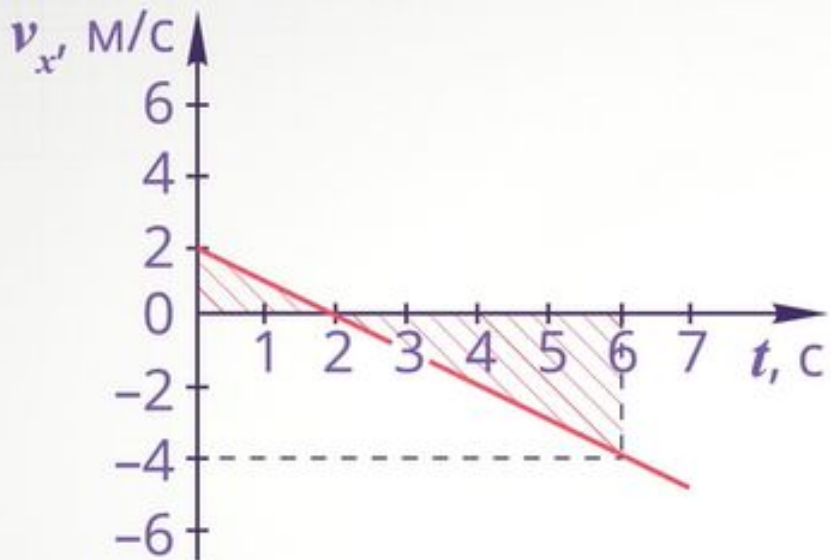
$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

# График зависимости координаты точки от времени



$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

# Графики движения для равнозамедленного движения





**Прямолинейное неравномерное движение.** *Неравномерным прямолинейным движением* называется движение по прямолинейной траектории с меняющейся скоростью. Рассмотрим частный случай такого движения — равнопеременное движение.

*Равнопеременным прямолинейным движением* называют движение тела, при котором его скорость за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину, а траекторией является прямая линия.

Для характеристики такого движения вводят особую физическую величину — *ускорение*. Она показывает, как быстро меняется скорость.

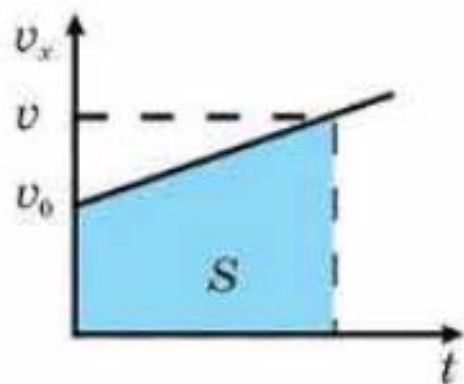
$$\bar{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}. \quad (2.5)$$

Отсюда скорость тела при равноускоренном движении в любой момент времени равна:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \bar{a}t. \quad (2.6)$$

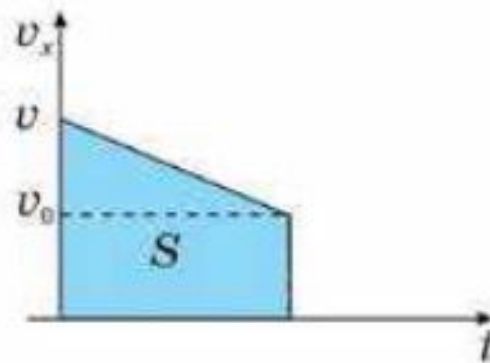
Если движение тела происходит в положительном направлении, то, перейдя к проекциям, получим:

$$v_x = v_{0x} + a_x t. \quad (2.7)$$



a)

Рис. 2.7



б)

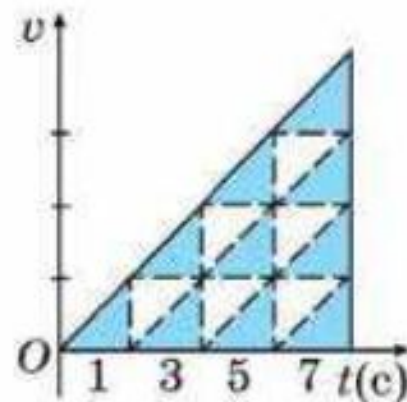


Рис. 2.8

Площадь заштрихованной фигуры (трапеция) равна перемещению или пройденному пути при равноускоренном прямолинейном движении, что позволяет рассчитать этот путь:

$$s = \frac{v + v_0}{2} t = \frac{v_0 + at + v_0}{2} t = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (2.8)$$

Если движение равнозамедленное (рис. 2.7, б), то получим:

$$s = v_0 t - \frac{at^2}{2}. \quad (2.9)$$



## Вопросы для самоконтроля

1. Какое движение называется *равномерным прямолинейным*?
2. Каким образом рассчитывают путь при равномерном прямолинейном движении?
3. Что называется *законом движения*?
4. Опишите характер движения тела, закон движения которого выглядит так:  
а)  $x = -5 + 2t$ ; б)  $x = -5 - 2t$ .
5. Каким образом можно рассчитать скорость тела при равнозамедленном прямолинейном движении (рис. 2.7, б)?
6. Можно ли утверждать, что величина пути и перемещения всегда равны при прямолинейном равнопеременном движении? Ответ обоснуйте.
7. Опишите характер движения тела, закон движения которого выглядит так:  
а)  $v = 5 + 4t$ ; б)  $v = 5 - 2t$ ; в)  $v = -5 - 2t$ .
8. Опишите характер движения тела, закон движения которого выглядит так:  
а)  $x = 5t + 4t^2$ ; б)  $x = 2t^2$ ; в)  $x = 2t - 4t^2$ ; г)  $x = -2t - 4t^2$ ; д)  $x = -2t + 4t^2$ .
9. Что означает выражение “изобразите движение тела графически”?
10. Объясните выражение “прочитайте график движения тела”.



### Наблюдайте

Пронаблюдайте за движением маршрутных автобусов, автомобилей на городских дорогах. Найдите общее в их движении.

### Объясните

Объясните, как по графику зависимости скорости равнопеременного движения от времени можно определить величину перемещения тела?

### Исследуйте

Используя рисунок 2.13 охарактеризуйте характер движения тела I и тела II. Что означает точка пересечения графиков?

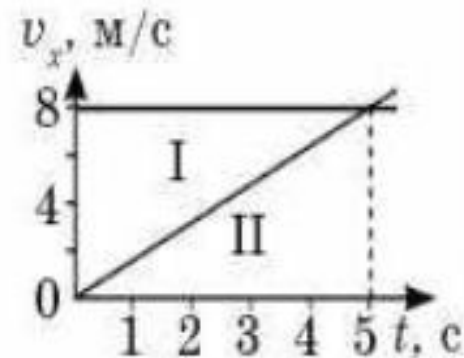


Рис. 2.13

## Анализируйте

1. Проанализируйте движение тела, уравнение движения которого  $x = 12 - 3t$ . Через какой промежуток времени тело окажется в начале координат?

2. Какая линия (рис. 2.14) соответствует прямолинейному равноускоренному движению с начальной скоростью, а какая — равномерному движению?

3. Какой вид движения описывается линиями 1 и 2 на рисунке 2.14?

4. На рисунке 2.15 дан график зависимости проекции скорости тела от времени. На каких участках проекции ускорения и скорости имеют одинаковый знак?

5. На рисунке 2.16 дан график зависимости координаты тела, движущегося прямолинейно, от времени. Какому типу движения соответствуют участки А и Б?

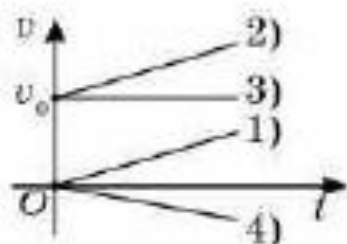


Рис. 2.14

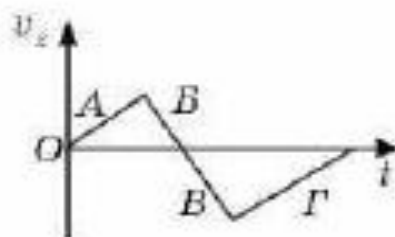
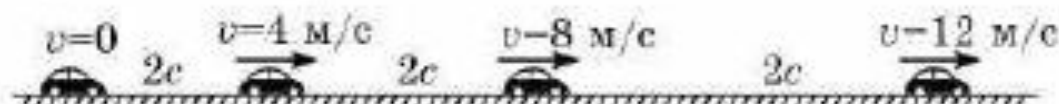


Рис. 2.15

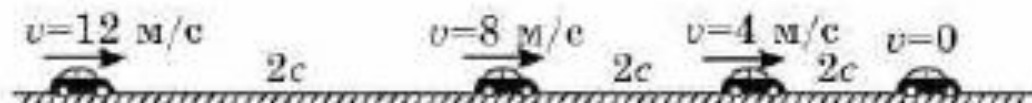


Рис. 2.16

6. Рассмотрите движение тел, изображенных на рисунке 2.17, а и б. Найдите сходства и различия в их движении.



а)



б)

Рис. 2.17

## Решайте

1. Тело соскальзывает по наклонной плоскости, проходя за 10 с путь 2 м. Начальная скорость тела равна нулю. Определите модуль ускорения тела.

(Ответ:  $4 \text{ см/с}^2$ )

\*2. Два поезда прошли одинаковый путь за одно и то же время. Однако один поезд, трогаясь с места, прошел весь путь равноускоренно с ускорением  $3 \text{ см/с}^2$ . Другой поезд первую половину пути шел со скоростью 18 км/ч, а вторую половину — со скоростью 54 км/ч. Найдите пройденный путь.

(Ответ: 3,75 км)

■3. Два тела движутся прямолинейно вдоль оси  $Ox$  так, что их координаты следующим образом зависят от времени:  $x_1 = 2 + 2t + t^2$  (м),  $x_2 = -7 - 6t + 2t^2$  (м). Определите модуль относительной скорости тел в момент их встречи. Тела начали двигаться одновременно.

(Ответ:  $v_{\text{отн}} = 10 \text{ м/с}$ )

\*4. Тело, вышедшее из некоторой точки, двигалось с постоянным по модулю и направлению ускорением. Скорость его в конце четвертой секунды была 1,2 м/с, в конце седьмой секунды тело остановилось. Найдите путь, пройденный телом.

(Ответ: 9,8 м)

■5. Два автобуса трогаются с места с одинаковыми ускорениями  $4 \text{ м/с}^2$  навстречу друг другу из пунктов  $A$  и  $B$ , между которыми 100 м. Какова их относительная скорость в момент их встречи?

(Ответ: 40 м/с)



6. Тело движется в отрицательном направлении со скоростью 5 м/с. Постройте график его скорости.



### Рефлексия

1. С какими терминами и понятиями вы встречались ранее?
2. Какая часть пройденного материала усвоена хорошо, а какая слабо? Что необходимо сделать, чтобы ликвидировать пробел по новому материалу?
3. Помогли ли вам задания "Творческой мастерской" в усвоении темы? Где возникли затруднения?
4. Какая информация заинтересовала вас особенно? Почему?

### § 3. Свободное падение тел. Ускорение свободного падения

Частным случаем равнопеременного движения является падение тел в поле тяготения Земли. Его называют *свободным падением*. Законы для этого движения выглядят так же, как для равнопеременного движения. В этом случае ускорение является постоянной величиной, равной  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Величина этого ускорения зависит от силы тяжести на данной планете. На Земле величину ускорения свободного падения впервые рассчитал Г. Галилей, бросая с Пизанской башни ядро и мушкетную пулю (рис. 3.1). Он установил, что все тела падают на поверхность Земли под действием земного притяжения при отсутствии сил сопротивления с одинаковым ускорением, т. е. ускорение свободного падения не зависит от массы тела.



Рис. 3.1

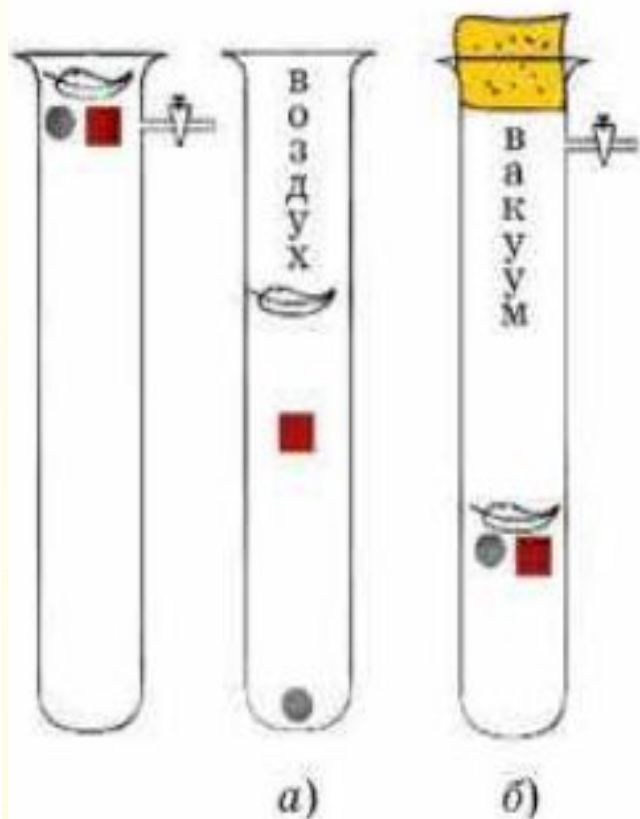


Рис. 3.2

Трубка Ньютона представляет собой длинную стеклянную трубку длиной около 1,5 м, один конец которой запаян, а другой снабжен краном (рис. 3.2). В трубку помещают дробинку, пробку и птичье перо. Если трубку быстро перевернуть, то все три тела упадут на дно трубки, но в разное время: сначала дробинка, затем пробка и, наконец, перо. Но так падают тела в том случае, когда в трубке есть воздух (рис. 3.3, а). Стоит только воздух откачать насосом и снова перевернуть трубку, мы увидим, что все три тела упадут одновременно (рис. 3.3, б).

Наибольшее значение оно имеет на полюсе  $g_{\text{п}} = 9,81 \text{ м/с}^2$ , наименьшее — на экваторе  $g_{\text{э}} = 9,75 \text{ м/с}^2$ .



Это объясняется: 1) суточным вращением Земли вокруг своей оси; 2) несферичностью формы Земли; 3) неоднородным распределением плотности земных пород.

Уравнения для скорости и координаты при свободном падении выглядят так:

$$\pm v = \pm v_0 \pm at, \quad (3.1)$$

$$h = h_0 \pm v_0 t \pm \frac{gt^2}{2}. \quad (3.2)$$

**Движение тела, брошенного вертикально вниз.** Пусть тело находится на высоте  $h$  от поверхности Земли (рис. 3.3,  $a$ ). Его отпустили и оно падает вниз без начальной скорости. В выбранной системе координат движение тела описывается уравнениями:  $v = gt$  и  $h = \frac{gt^2}{2}$ . Из последней формулы можно найти время падения тела с высоты  $h$ :

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Подставляя найденное время в формулу для скорости, получим модуль скорости тела в момент падения:  $v = \sqrt{2gh}$ .

Движение тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью.

В выбранной системе координат (рис. 3.3, б) движение тела описывается уравнениями:

$$v = v_0 - gt \text{ и } h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}. \quad (3.3)$$

Из уравнения скорости видно, что тело движется равнозамедленно вверх, достигает максимальной высоты, а затем движется равноускоренно вниз.

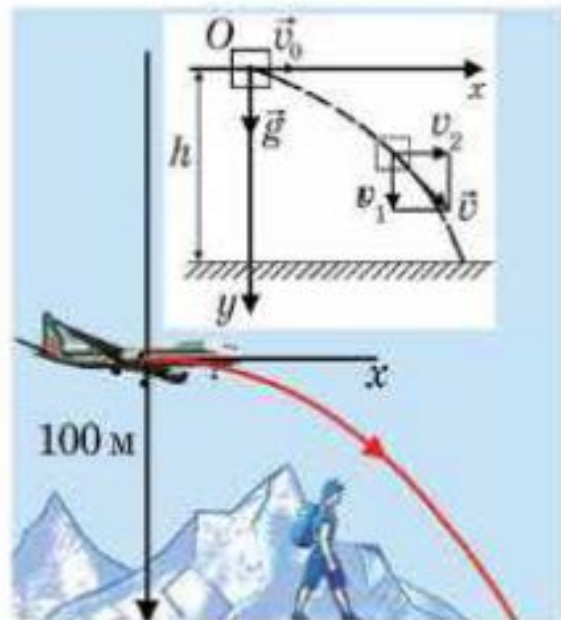


Рис. 3.4

Движение тела, брошенного горизонтально. При изучении движения тела, брошенного горизонтально, необходимо учитывать принцип независимости движений. С учетом этого принципа движение по разным координатным осям будем рассматривать независимо друг от друга: движение в горизонтальном направлении происходит равномерно, а в вертикальном направлении — равнопеременно. Уравнения этих движений легко записать, выбрав систему отсчета (рис. 3.4) и воспользовавшись формулами

$$x = v_0 t \text{ и } y = \frac{gt^2}{2}. \quad (3.4)$$

Отсюда следует, что

$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2. \quad (3.5)$$

Это уравнение параболы. Следовательно, тело, брошенное горизонтально, движется по параболе. Скорость тела в любой момент времени направлена по касательной к параболе (см. рис. 3.5). Модуль скорости можно рассчитать по теореме Пифагора:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}. \quad (3.6)$$



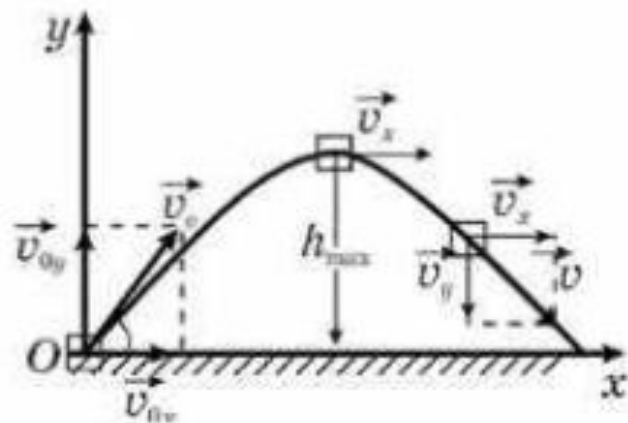


Рис. 3.5

Движение тела, брошенного под углом к горизонту. Пусть тело брошено под углом  $\alpha$  к горизонту со скоростью  $v_0$ . Для описания движения необходимо выбрать две оси координат —  $Ox$  и  $Oy$  (рис. 3.5). Начало отсчета совместим с начальным положением тела. Воспользуемся принципом независимости движения и разложим вектор начальной скорости на две составляющие

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha, \quad (3.7)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha. \quad (3.8)$$

И

$$x = v_0 t \cos \alpha, \quad (3.9)$$

и

$$y = v_0 t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}. \quad (3.10)$$

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2. \quad (3.11)$$

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}, \quad (3.12)$$

дальность полета будет равна:

$$l = \frac{2v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}. \quad (3.13)$$



## Вопросы для самоконтроля

1. Для чего нужна трубка Ньютона?
2. Как выглядит траектория движения тела, брошенного горизонтально?
3. Как выглядит траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту?
4. Как Галилей рассчитал ускорение свободного падения на Земле?
5. Почему ускорение свободного падения уменьшается с приближением к экватору?

### Наблюдайте

Пронаблюдайте падение листьев с деревьев. Опишите и попытайтесь объяснить их движение.

### Экспериментируйте

1. Бросьте вниз с одинаковой высоты два листка бумаги — один скомканный, а другой нет. Сделайте вывод.
2. Бросьте вниз с одинаковой высоты перышко и теннисный шарик. Сделайте вывод.
3. С одинаковой высоты (уровень стола) бросьте два ластика — один вертикально вниз без начальной скорости, а другой горизонтально со скоростью  $v_0$ . Сравните время падения ластиков.
4. Определите ускорение свободного падения в вашей местности в домашних условиях. Продумайте методику вашего эксперимента.
5. С помощью баллистического пистолета выстреливайте шарик под разными углами к горизонту. Сравните дальность и высоту полета при разных углах.



### Объясните

1. На рисунке 3.1 изображены опыты Г. Галилея по изучению падения тел с Пизанской башни. Объясните, почему мушкетная пуля и пушечное ядро упали на землю одновременно.

2. Объясните, почему снежинки во время снегопада падают медленно, а сокол, сложивший крылья, быстро?

### Исследуйте

1. Используя рисунок 3.1, исследуйте, как будут падать с Пизанской башни теннисный и стальной шарики одинакового объема?

2. Исследуйте движение тела, уравнение движения которого  $y = 125 - 5t^2$ . Через какой промежуток времени тело окажется в начале координат?

### Анализируйте

1. Проанализируйте график зависимости координаты от времени, изображенный на рисунке 3.10. Какое движение на нем изображено? Как менялось движение тела?

2. Используя график зависимости координаты от времени (см. рис. 3.10), постройте график зависимости пути от времени.

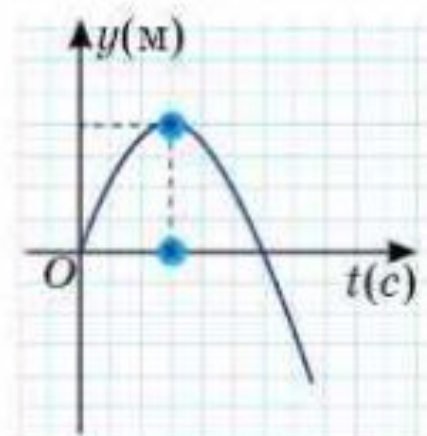


Рис. 3.10

## Решайте

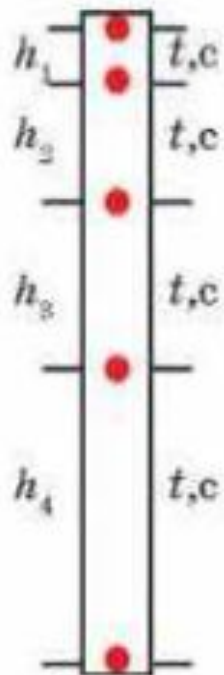


Рис. 3.11

1. Тело свободно падает без начальной скорости с высоты  $H = 32$  м (рис. 3.11). Определите величины  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  и  $h_4$ .

(Ответ:  $h_1 = 2$  м;  $h_2 = 6$  м;  $h_3 = 10$  м;  $h_4 = 14$  м)

2. С крыши дома бросили камень горизонтально со скоростью  $v_0$ . Как изменится время падения камня, если его бросить со скоростью  $4v_0$ ?

(Ответ:  $t_1 = t_2$ )

3. Двое играют в мяч, бросая его друг другу. Какой наибольшей высоты достигает мяч во время игры, если он от одного игрока к другому летит 4 с?

(Ответ: 20 м)

4. С аэростата, поднимающегося вертикально со скоростью 10 м/с, падает болт, который достигает поверхности земли через 16 с. На какой высоте находился аэростат в момент отрыва от него болта? Считать  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>, силой сопротивления воздуха пренебречь.

(Ответ: 1120 м)

5. Шарик бросили горизонтально с высоты 20 м. Он упал на землю на расстоянии 12 м. Сколько времени падал шарик и с какой скоростью он был брошен?

(Ответ:  $t = 2$  с;  $v = 6$  м/с)

■8. С самолета, летящего на высоте 500 м, производится бомбометание по движущейся цели. Направление движения самолета и цели совпадают. Скорость самолета 300 м/с, а цели 20 м/с. На каком расстоянии от цели по горизонтали нужно сбросить бомбу, чтобы поразить цель? Под каким углом к горизонту упадет бомба? Сопротивление воздуха не учитывать.

(Ответ: 2,8 км; 18°)

\*9. Мотоциклист въезжает на высокий берег рва (см. рис. 3.12). Какую минимальную скорость должен иметь мотоциклист в момент отрыва от берега, чтобы перескочить ров? Величины, указанные на рисунке, считать известными.

(Ответ:  $v_0 = \frac{s}{\cos \alpha} \sqrt{\frac{g}{2(h + stg\alpha)}}$ )

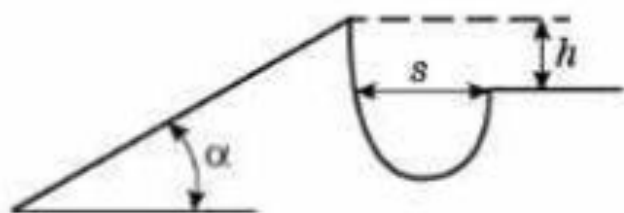


Рис. 3.12

## Рефлексия

1. С какими терминами и понятиями вы встречались ранее?
2. Какая часть пройденного материала усвоена хорошо, а какая слабо? Что необходимо сделать, чтобы ликвидировать пробел по новому материалу?
3. Помогли ли вам задания "Творческой мастерской" в усвоении темы? Где возникли затруднения?
4. Какая информация заинтересовала вас особенно? Почему?



## § 4. Криволинейное движение. Движение по окружности



**Ключевые понятия:** криволинейное движение, тангенциальное и нормальное ускорение.

На этом уроке вы: изучите особенности криволинейного движения.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (4.1)$$

При прямолинейном движении нет изменения скорости по направлению, значит, нормальное ускорение при этом движении отсутствует. А модуль тангенциального ускорения можно рассчитать по формуле

$$a_{\tau} = \frac{v - v_0}{t}. \quad (4.2)$$

Эта формула дана в §1. Для того, чтобы определить величину нормального ускорения, рассмотрим равномерное движение точки по окружности (рис. 4.2). В этом случае величина полного ускорения будет

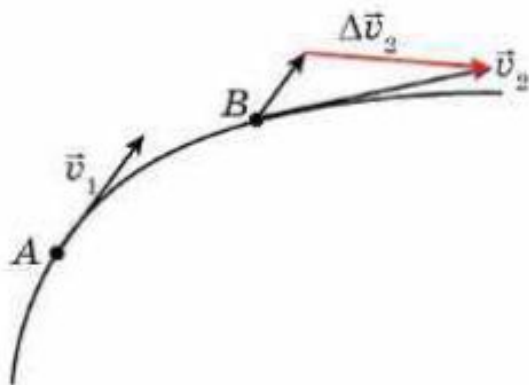


Рис. 4.1

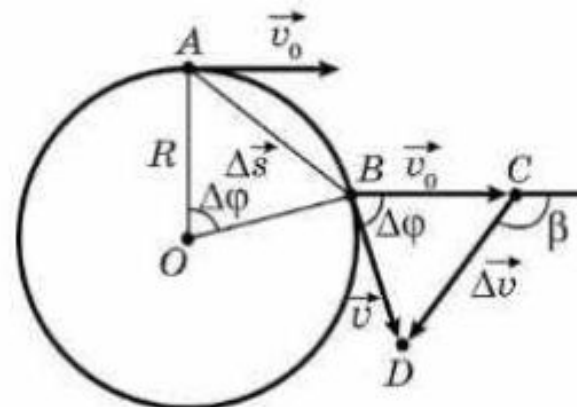


Рис. 4.2

$$\frac{|\Delta\vec{v}|}{v} = \frac{|\vec{s}|}{R} \Rightarrow |\Delta\vec{v}| = \frac{v \cdot |\vec{s}|}{R}.$$

Пусть точки  $A$  и  $B$  находятся очень близко друг к другу. Тогда можно считать, что длина дуги между ними и вектор перемещения  $\Delta\vec{s}$  практически совпадают. В этом случае модуль вектора перемещения можно найти так:  $|\Delta\vec{s}| = v\Delta t$ , тогда:  $|\vec{a}| = \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} = \frac{vv\Delta t}{R\Delta t} = \frac{v^2}{R}$ , т. е. модуль нормального ускорения рассчитывают по формуле:

$$a_n = \frac{v^2}{R}. \quad (4.3)$$

Это ускорение называют *центростремительным*, так как оно направлено к центру окружности, по которой движется материальная точка. Обращаем ваше внимание на следующее: несмотря на то, что модуль нормального ускорения при равномерном движении точки по окружности остается постоянным, само движение точки будет равноускоренным из-за того, что направление нормального ускорения непрерывно меняется.



## Вопросы для самоконтроля

1. Какое движение называется *криволинейным*?
2. Является ли движение по кривой линии с неизменной скоростью равномерным? Ответ обоснуйте.
3. Как направлено ускорение при криволинейном движении?
4. Как направлена мгновенная скорость точки при криволинейном движении?
5. Является ли равномерное движение точки по окружности равноускоренным?
6. Приведите пример криволинейного движения, при котором тангенциальное ускорение равно нулю.



## Рефлексия

1. С какими терминами и понятиями вы встречались ранее?
2. Какая часть пройденного материала усвоена хорошо, а какая слабо? Что необходимо сделать, чтобы ликвидировать пробел по новому материалу?
3. Помогли ли вам задания "Творческой мастерской" в усвоении темы? Где возникли затруднения?
4. Какая информация заинтересовала вас особенно? Почему?



## § 5. Вращательное движение



**Ключевые понятия:** вращательное движение, угловое перемещение, скорость и ускорение, период и частота вращения.

На этом уроке вы: познакомитесь с вращательным движением и величинами его характеризующими.

*Вращательным движением* называется такое движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, являющейся осью вращения.



Примеры равномерного движения по окружности



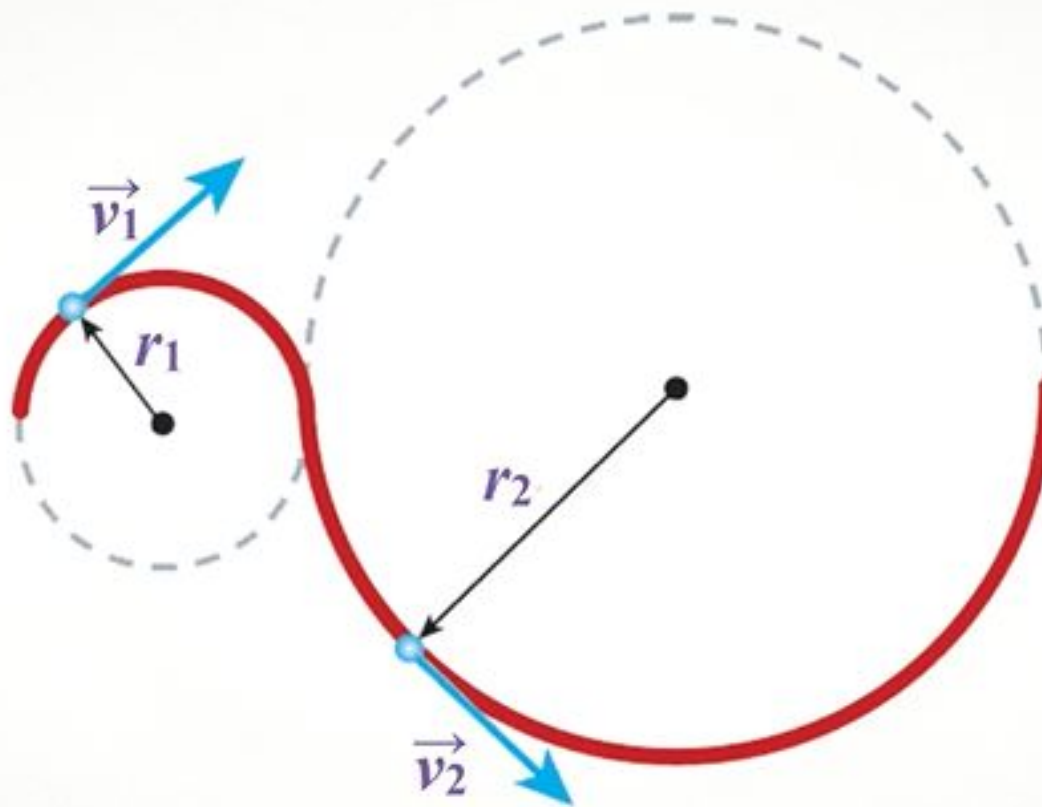
**Равномерное движение точки по окружности –**  
движение точки с постоянной по модулю скоростью  
по траектории, представляющей собой окружность.



Равномерное движение точки по окружности



Криволинейное движение – движение по дугам окружностей различных радиусов



$$a_1 = \frac{v_1^2}{R_1}, a_2 = \frac{v_1^2}{R_2},$$
$$a_1 > a_2$$

## Основные характеристики равномерного движения по окружности:

- движение **криволинейное**, так как траекторией является окружность
- движение **равномерное**, так как модуль скорости не меняется
- вектор скорости направлен по касательной к окружности
- вектор ускорения направлен к центру окружности
- модуль центростремительного ускорения равен

$$a_{ц} = \frac{v^2}{R}$$

Под *угловым перемещением* понимают угол, на который поворачивается тело за данный промежуток времени. Угловое перемещение обозначается буквой  $\phi$  и измеряется в *радианах*, т. е.  $[\phi] = \text{рад}$ .

Под *угловой скоростью* понимают физическую величину, характеризующую быстроту вращения и определяемую изменением угла поворота, совершенным в единицу времени, т. е.

$$\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}. \quad (5.1)$$

Единицей измерения угловой скорости является:  $[\omega] = \text{рад/с}$ .

Если любая точка тела за любые равные промежутки времени совершает одинаковые угловые перемещения, то такое вращательное движение называется *равномерным*, т. е.  $\omega = \text{const}$ . Уравнением равномерного вращательного движения будет

$$\phi = \phi_0 + \omega t. \quad (5.2)$$



При вращательном движении материальная точка описывает окружность определенного радиуса. В случае равномерного вращательного движения повторение происходит циклически. Промежуток времени, за которое совершается один полный оборот, называется **периодом вращения  $T$** . Если за время  $t$  совершено  $N$  оборотов, то период определяется по формуле:

$$T = \frac{t}{N}. \quad (5.6)$$

Равномерное вращение различных тел может отличаться друг от друга числом оборотов, совершаемых этими телами в единицу времени. Поэтому вводят еще одну характеристику равномерного вращательного движения — частоту **вращения  $\nu$** . Если за время  $t$  совершено  $N$  оборотов, то частота определяется по формуле:

$$\nu = \frac{N}{t}. \quad (5.7)$$

Видно, что период и частота величины обратно пропорциональные, т. е.  $\nu = \frac{1}{T}$ .

Угловую скорость равномерного вращательного движения часто называют *циклической частотой*, имея в виду тот факт, что один оборот тело совершает за время, равное периоду, т. е.

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T}. \quad (5.8)$$

Линейные и угловые кинематические величины связаны между собой. Из геометрии вам известно, что длина дуги, опирающаяся на два радиуса, угол между которыми равен  $\varphi$ , равна  $s = \varphi R$ . В нашем случае  $\varphi$  — это угол, на который повернулось тело за время  $t$  (угловое перемещение), а  $s$  — путь, пройденный данной точкой тела за это время.

Линейную скорость данной точки тела определим по формуле:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\varphi R}{t} = \omega R. \quad (5.9)$$

Существует связь между тангенциальным и угловым ускорениями:

$$a_{\tau} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta \omega R}{\Delta t} = \varepsilon R. \quad (5.10)$$

$$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2} = \sqrt{\omega^4 R^2 + \varepsilon^2 R^2} = R\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2} . \quad (5.12)$$

Линейные величины можно выразить и через период вращения, например, линейная скорость может быть рассчитана по формуле

$$v = \frac{2\pi R}{T} , \quad (5.13)$$

а нормальное ускорение

$$a_n = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} . \quad (5.14)$$

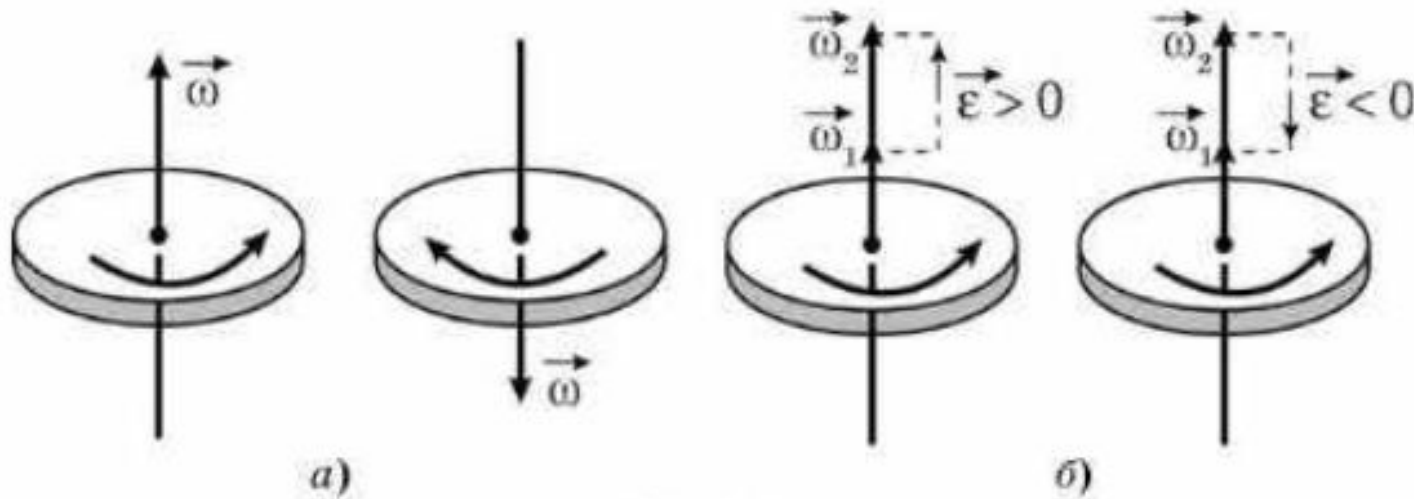


Рис. 5.1





## Вопросы для самоконтроля

1. В чем отличие криволинейного движения от вращательного?
2. Почему возникла необходимость введения угловых величин?
3. Как связаны между собой угловые и линейные величины?
4. Что понимают под периодом и частотой обращения? Как они связаны между собой?
5. Как определить направление векторов угловой скорости и углового ускорения?

### Наблюдайте

Юноша равномерно вращает шарик, привязанный к веревке, в вертикальной плоскости. Этот же шарик вращается на гладком столе относительно вертикальной оси (рис. 5.3). Опишите движение шарика в обоих случаях и попытайтесь найти сходство и различие в его движениях.

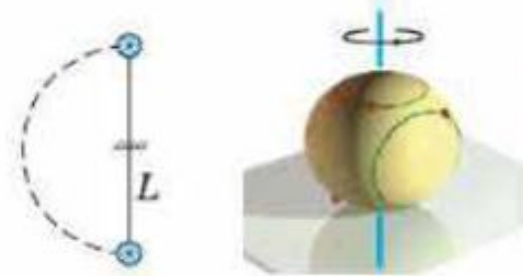


Рис. 5.3

### Экспериментируйте

Привяжите шарик к нити. Держа один конец нити в руке, приподнимите шарик над линейкой и приведите его в равномерное движение по окружности так, чтобы он при вращении всегда проходил через нулевое и, например, десятое деление шкалы линейки (см. рис. 5.4). Определите модули угловой, линейной скоростей шарика, период его обращения и модуль центростремительного ускорения.

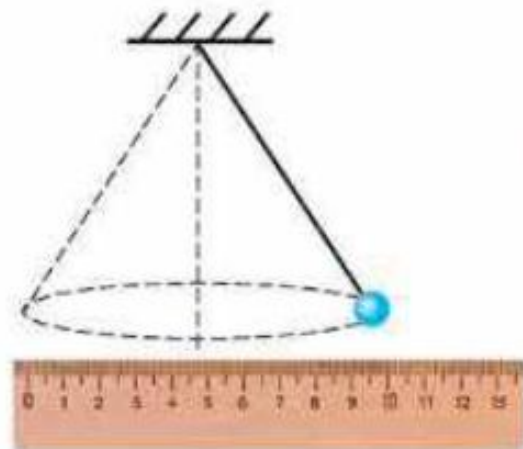


Рис. 5.4

## Объясните

1. Как вы думаете, все ли точки катящегося колеса имеют одинаковые скорости относительно земли?
2. Объясните, почему верхние спицы катящегося колеса иногда сливаются для глаз, а нижние видны раздельно?
3. Почему обтачивание на токарных станках изделий большего диаметра производится с меньшей угловой скоростью, чем изделий малого диаметра?

## Анализируйте

1. Движение самолета изображено на рисунке 5.5. Какое движение на нем изображено? Как менялось движение самолета? В каких точках касательное и нормальное ускорения максимальны?

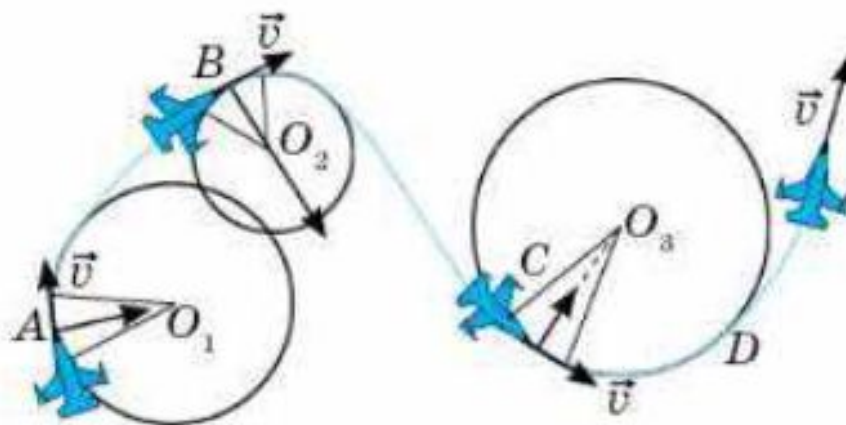


Рис. 5.5

2. Заполните таблицу, написав формулы для нахождения величин, описывающих каждый вид движения.

| Поступательное ускоренное прямолинейное движение тела | Криволинейное движение | Вращательное движение |
|---|------------------------|-----------------------|
|   |                        |                       |
|   |                        |                       |



## Решайте

1. Колесо велосипеда имеет радиус 40 см. С какой скоростью едет велосипед, если колесо делает 120 об/мин? Чему равен период вращения колеса?

(Ответ: 5,44 м/с; 0,5 с)

2. Большой шкив ременной передачи имеет радиус 32 см и вращается с частотой 120 об/мин. Малый шкив имеет радиус 24 см. Найдите угловую скорость, число оборотов в минуту малого шкива и линейную скорость точек ремня, который движется без проскальзывания.

(Ответ:  $\omega_2 = 16,75 \text{ с}^{-1}$ ; 160 об/мин; 4 м/с)

■3. Две точки  $M$  и  $K$  движутся по окружности с постоянными угловыми скоростями  $0,2 \text{ рад/с}$  и  $0,3 \text{ рад/с}$ , соответственно (рис. 5.6). В начальный момент времени угол между радиусами этих точек равен  $\pi/3$ . В какой момент времени точки встретятся?

(Ответ: 52,3 с)

■4. Колесо вращается с постоянным угловым ускорением  $2 \text{ рад/с}^2$ . Через  $0,5 \text{ с}$  после начала движения полное ускорение колеса стало  $13,6 \text{ м/с}^2$ . Найти радиус колеса.

(Ответ: 6,1 м)

■5. Вентилятор вращается с частотой  $15 \text{ с}^{-1}$ . После выключения вентилятор, вращаясь равнозамедленно, сделал до остановки 75 оборотов. Сколько времени прошло с момента выключения вентилятора до его полной остановки?

(Ответ: 10 с)

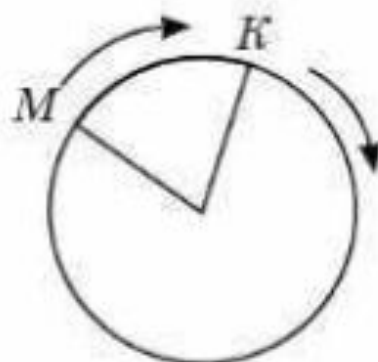


Рис. 5.6

6. Найти радиус вращающегося колеса, если линейная скорость точек, лежащих на его ободе, в 2,5 раз больше линейной скорости точек, лежащих на 5 см ближе к оси колеса.

(Ответ: 10 см)

7. Шлифовальный камень радиусом 30 см совершает 20 оборотов за 12 с. Какова линейная скорость точек на ободе камня?

(Ответ: 3,14 м/с)



## Рефлексия

1. С какими терминами и понятиями вы встречались ранее?
2. Какая часть пройденного материала усвоена хорошо, а какая слабо? Что необходимо сделать, чтобы ликвидировать пробел по новому материалу?
3. Помогли ли вам задания "Творческой мастерской" в усвоении темы? Где возникли затруднения?
4. Какая информация заинтересовала вас особенно? Почему?

**Назар  
аударғандарыңызға  
рахмет!**

