

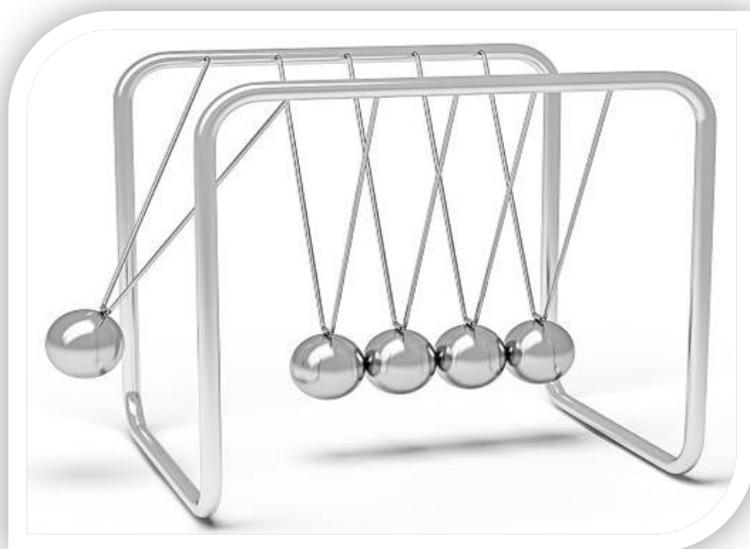
Р. М. Алиева, И. М. Алиев

КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ФИЗИКЕ

Часть I

МЕХАНИКА

учебное пособие для студентов  
направлений программы подготовки  
специалистов среднего звена



ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ  
Государственное автономное профессиональное  
образовательное учреждение  
Тюменской области  
**«ТОБОЛЬСКИЙ МНОГОПРОФИЛЬНЫЙ ТЕХНИКУМ»**

**Техническое отделение**

Алиева Р. М., Алиев И. М.

**КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ФИЗИКЕ**

**Часть I**

**МЕХАНИКА**

учебное пособие для студентов  
направлений программы подготовки  
специалистов среднего звена

Тобольск  
ТМТ  
2018

**УДК 53**  
**ББК 22.3**  
**К 93**

**Рецензенты:**

**У. М. Маллабоев** доктор физико-математических наук, профессор  
кафедры Электроэнергетики  
Тобольского индустриального института (филиал)  
ФГБОУ ВО Тюменского индустриального университета.

**А. К. Алексеевнина** кандидат педагогических наук, доцент  
кафедры Физики, математики, информатики и методик преподавания  
Тобольского педагогического института им. Д. И. Менделеева (филиал)  
ФГАОУ ВО Тюменского государственного университета.

**К 93 Курс лекций по физике. Часть I. Механика: Учебное пособие /**  
Алиева Р. М., Алиев И. М. – Тобольск: ТМТ, 2018. – 125 с.

ISBN 978-5-6041288-1-7

Учебное пособие представляет собой первую из пяти частей курса лекций по физике по разделу «Механика». В пособии изложены темы по основным разделам изучаемых в рамках СПО.

Содержание соответствует Федеральное Государственному образовательному стандарту среднего профессионального образования.

Пособие может быть использовано при изучении курса физики студентами всех специальностей (профессий) и всех форм обучения, так же для преподавателей.

ISBN 978-5-6041288-1-7

© Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Тюменской области «Тобольский многопрофильный техникум», 2018  
© Алиева Руфина Манзуровна,  
© Алиев Ильяс Манзурович,  
2018.

## Содержание

Предисловие.....	5
Введение в механику.....	6
Лекция № 1. Основные элементы кинематики .....	7
§ 1.1. Основные понятия кинематики .....	7
§ 1.2. Относительность движения.....	11
§ 1.3. Равномерное прямолинейное движение .....	13
§ 1.4. Равноускоренное прямолинейное движение.....	16
§ 1.5. Свободное падение тел.....	18
Вопросы для закрепления материала.....	20
Лекция № 2. Основные элементы динамики.....	21
§ 2.1. Первый закон Ньютона. Масса. Сила .....	21
§ 2.2. Второй закон Ньютона .....	24
§ 2.3. Третий закон Ньютона.....	25
Вопросы для закрепления материала.....	26
Лекция № 3. Силы в механике.....	27
§ 3.1. Закон всемирного тяготения. ....	27
§ 3.2. Движение тел под действием силы тяжести .....	31
§ 3.3. Вес и невесомость .....	34
§ 3.4. Сила упругости. Закон Гука.....	36
§ 3.5. Сила трения.....	39
Вопросы для закрепления материала.....	40
Лекция № 4. Элементы статики.....	42
§ 4.1. Условия равновесия тел.....	42
§ 4.2. Элементы гидростатики .....	44
Вопросы для закрепления материала.....	49
Лекция № 5. Законы сохранения в механике (I часть).....	50
§ 5.1. Импульс тела .....	50
§ 5.2. Закон сохранения импульса. Реактивное движение.....	52
§ 5.3. Механическая работа и мощность.....	56

§ 5.4. Кинетическая и потенциальная энергии .....	58
§ 5.5. Закон сохранения механической энергии.....	62
§ 5.6. Упругие и неупругие соударения .....	65
Вопросы для закрепления материала .....	69
Лекция № 6. Законы сохранения в механике (II часть).....	70
§ 6.1. Элементы гидро- и аэродинамики.....	70
§ 6.2. Вращение твердого тела .....	75
§ 6.3. Законы Кеплера .....	82
Вопросы для закрепления материала .....	89
Лекция № 7. Механические колебания .....	90
§ 7.1. Гармонические колебания.....	90
§ 7.2. Свободные колебания. Пружинный и математический маятник.....	92
§ 7.3. Превращения энергии при свободных колебаниях .....	97
§ 7.4. Вынужденные колебания. Резонанс. Автоколебания .....	99
Вопросы для закрепления материала .....	104
Лекция № 8. Механические волны .....	105
§ 8.1. Механические волны .....	105
§ 8.2. Акустика (звуковая волна) .....	110
§ 8.3. Эффект Доплера .....	114
Вопросы для закрепления материала .....	116
Список использованной литературы.....	117
Приложение .....	118

## Предисловие

Учебное пособие «Курс лекций по физике» написан в соответствии с действующими в настоящее время стандартами по дисциплине «Физика» и учебными программами, для подготовки направлений подготовки специалистов среднего звена.

Материал учебного пособия разделен на лекции. Каждая лекция имеет глоссарий и вопросы для закрепления материала.

Курс лекций по физике состоит из пяти частей.

- ✓ Часть I. Классическая механика.
- ✓ Часть II. Молекулярная физика и термодинамика.
- ✓ Часть III. Электричество и магнетизм.
- ✓ Часть IV. Оптика.
- ✓ Часть V. Физика атома и атомного ядра.

Чтобы проверить себя, студенту после внимательного изучения теории необходимо ответить на вопросы для самоконтроля после каждой лекции.

Непосредственно на лекционном занятии идёт обсуждение материала лекции, с использованием заранее подготовленных студентами конспектов с одной стороны и презентацией лекции с другой.

Приведенные в пособии материалы будут полезны на практических занятиях по решению задач, при выполнении индивидуальных домашних заданий, при подготовке к коллоквиумам, семинарам, зачетам и экзамену.

**ВНИМАНИЕ! ПОСОБИЕ ОБЛЕГЧАЕТ РАБОТУ СТУДЕНТУ,  
НО НЕ ЗАМЕНЯЕТ САМИ ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ!**

## Введение в механику

Слово «*механика*» греческое и переводится как искусство построения машин.

*Механика* – одна из самых древних наук. Определенные познания в этой области были известны задолго до новой эры (Аристотель<sup>1</sup> (IV в. до н. э.), Архимед<sup>2</sup> (III в. до н.э.)). Однако качественная формулировка законов механики началась только в XVII в. н. э., когда Г. Галилей<sup>3</sup> открыл кинематический закон сложения скоростей и установил законы свободного падения тел. Через несколько десятилетий после Галилея великий И. Ньютон<sup>4</sup> (1643–1727) сформулировал основные законы динамики. Ее называют *классической* или *ньютоновской* механикой в отличие от релятивистской механики, созданной в начале XX в.

Механика, основанная на законах Ньютона, называется *классической механикой*.

*Классическую механику* можно использовать для описания движения очень широкого класса физических объектов: и обыденных объектов макромира (таких, как волчок и бейсбольный мяч), и объектов астрономических размеров (таких, как планеты и звёзды), и многих микроскопических объектов.

*Классическая механика* справедлива для описания движения тел, скорость которых много меньше скорости света  $v \ll c$ . Пример: скорость человека составляет  $v = 5 - 6 \text{ км/ч}$ , скорость света  $c = 300\,000 \text{ км/с}$ .

Любое физическое явление или процесс в окружающем нас материальном мире представляет собой закономерный ряд изменений, происходящих во времени и пространстве.

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

Одна из основных частей механики, которая называется *кинематикой*, рассматривает движение тел без выяснения причин этого движения. Кинематика отвечает на вопрос: как движется тело? Другой важной частью механики является *динамика*, которая рассматривает действие одних тел на другие как причину движения.

---

<sup>1</sup> **Аристотель** (384 – 322 гг. до н. э.) – древнегреческий философ, ученик Платона, воспитатель полководца Александра (Великого) Македонского.

<sup>2</sup> **Архимед** (287 – 212 гг. до н. э.) – древнегреческий математик, физик и инженер. Заложил основы механики, гидростатики, был автором ряда важных изобретений.

<sup>3</sup> **Галилео Галилей** (1564 – 1642) – итальянский физик, механик, астроном, философ, математик, заложил фундамент классической механики. Основатель современной экспериментальной физики.

<sup>4</sup> **Исаак Ньютон** (1643 – 1726) – английский физик, математик, механик и астроном, один из создателей классической физики. Автор фундаментального труда «Математические начала натуральной философии», в котором он изложил закон всемирного тяготения и три закона механики, ставшие основой классической механики.

## Лекция № 1. Основные элементы кинематики

### Структура лекции:

- § 1.1. Основные понятия кинематики.
- § 1.2. Относительность движения.
- § 1.3. Равномерное прямолинейное движение.
- § 1.4. Равноускоренное прямолинейное движение.
- § 1.5. Свободное падение тел.

### § 1.1. Основные понятия кинематики

#### План:

1. Предмет изучения кинематики.
2. Кинематические величины механического движения.

**Кинематика** – (от греч. «*kinematos*» – движение) раздел механики, изучающая механическое движение тел, не рассматривая причины, которыми это движение вызвано.

**Задача кинематики** – дать математическое описание механического движения тел.

**Кинематика** представляет собой, с одной стороны, введение в динамику, так как установление основных кинематических понятий и зависимостей необходимо для изучения движения тел с учетом действия сил. С другой стороны, методы кинематики имеют и самостоятельное практическое значение, например, при изучении передач движения в механизмах. Всякое материальное тело занимает некоторую часть пространства, обладает определенными размерами. Такое абстрагирование приводит к важному понятию теоретической механики – понятию **материальной точки**. Всякое тело имеет определенные размеры. Различные части тела находятся в разных местах пространства. Однако во многих задачах механики нет необходимости указывать положения отдельных частей тела.

**Материальная точка** – идеальный объект (модель), размером которого можно пренебречь, т.е. в условиях конкретной задачи можно не учитывать размеры тела. Так можно поступать, например, при изучении движения планет вокруг Солнца.

**Механическим движением тела** называется изменение с течением времени его положения по отношению к другим телам.

Механическое движение **относительно**. Движение одного и того же тела относительно разных тел оказывается различным. Для описания движения тела нужно указать, по отношению к какому телу рассматривается движение. Это тело называют **телом отсчета** (рис 1.1.1).

Тело отсчета, связанную с ним систему координат и выбранный способ измерения времени принято называть **системой отсчета** (рис 1.1.1).

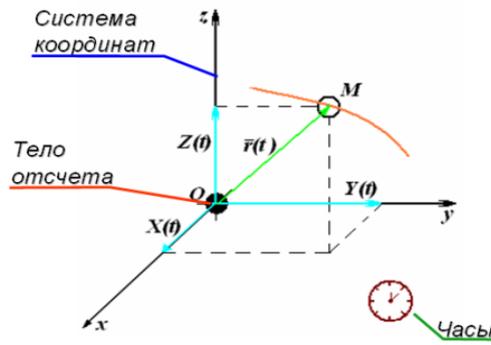


Рис. 1.1.1.

**Абсолютно твердое тело** – тело, форма и размеры которого не изменяется под воздействием других тел.

Если все части тела движутся одинаково, то такое движение называется **поступательным**. Поступательно движутся, например, кабины в аттракционе «колесо обозрения», автомобиль на прямолинейном участке пути и т.д. При поступательном движении тела его также можно рассматривать как материальную точку.

**Вращательным движением абсолютно твердого тела** называют такое движение, при котором все точки тела движутся в плоскостях, перпендикулярных к неподвижной прямой, называемой **осью вращения**, и описывают окружности, центры которых лежат на этой оси (роторы турбин, генераторов и двигателей).

Перемещаясь с течением времени из одной точки в другую, тело (материальная точка) описывает некоторую линию, которую называют **траекторией движения тела**.

**Траектория** – линия, вдоль которой движется тело.

Положение материальной точки в пространстве в любой момент времени (**закон движения**) можно определять либо с помощью зависимости координат от времени  $x = x(t); y = y(t); z = z(t)$  (**координатный способ**), либо при помощи зависимости от времени радиус-вектора  $\vec{r} = \vec{r}(t)$  (**векторный способ**), проведенного из начала координат до данной точки (рис. 1.1.2).

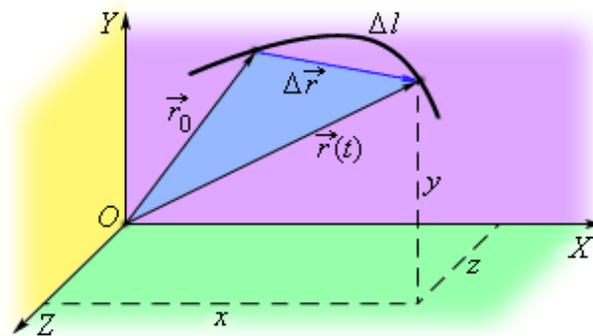


Рис. 1.1.2. Определение положения точки с помощью координат  $x = x(t); y = y(t)$  и  $z = z(t)$  и радиус-вектора  $\vec{r}(t)$ .  $\vec{r}_0$  – радиус-вектор положения точки в начальный момент времени.

**Перемещением тела**  $\vec{s} = \Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$  называют направленный отрезок прямой, соединяющий начальное положение тела с его последующим положением (рис. 1.1.3). **Перемещение есть векторная величина.**

**Пройденный путь**  $l$  равен длине дуги траектории, пройденной телом за некоторое время  $t$ . **Путь** – скалярная величина (рис. 1.1.3).



Рис. 1.1.3. Пройденный путь  $l$  и вектор перемещения  $\vec{s}$ .

Если движение тела рассматривать в течение достаточно короткого промежутка времени, то вектор перемещения окажется направленным по касательной к траектории в данной точке, а его длина будет равна пройденному пути. В случае достаточно малого промежутка времени  $\Delta t$  пройденный телом путь  $\Delta l$  почти совпадает с модулем вектора перемещения  $\Delta\vec{s}$ .

Для характеристики движения вводится понятие **средней скорости**:

$$\vec{v}_{cp} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

Частный случай средней скорости на **равных участках** пути:

$$v_{cp} = \frac{s}{t_1 + t_2} = \frac{s}{\frac{s}{2v_1} + \frac{s}{2v_2}} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2}$$

В физике наибольший интерес представляет не средняя, а **мгновенная скорость**, которая определяется как предел, к которому стремится средняя скорость на бесконечно малом промежутке времени  $\Delta t$ :

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}$$

Мгновенная скорость  $\vec{v}$  тела в любой точке криволинейной траектории направлена по касательной к траектории в этой точке. Различие между средней и мгновенной скоростями показано на рис. 1.1.4.

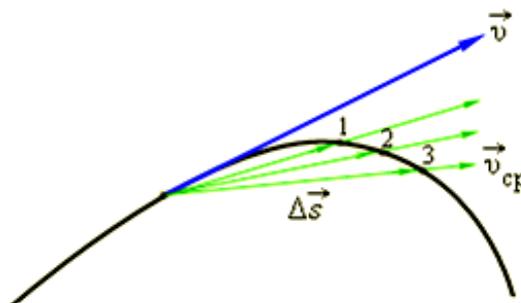


Рис. 1.1.4. Средняя и мгновенная скорости.

**Мгновенным ускорением** (или просто **ускорением**)  $\vec{a}$  тела называют предел отношения малого изменения скорости  $\Delta\vec{v}$  к малому промежутку времени  $\Delta t$ , в течение которого происходило изменение скорости:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{v}_n}{\Delta t} + \frac{\Delta\vec{v}_\tau}{\Delta t}; (\Delta t \rightarrow 0)$$

Направление вектора ускорения  $\vec{a}$  в случае криволинейного движения не совпадает с направлением вектора скорости  $\vec{v}$ . Составляющие вектора ускорения  $\vec{a}$  называют **касательным (тангенциальным)**  $\vec{a}_\tau$  и **нормальным**  $\vec{a}_n$  ускорениями (рис. 1.1.5).

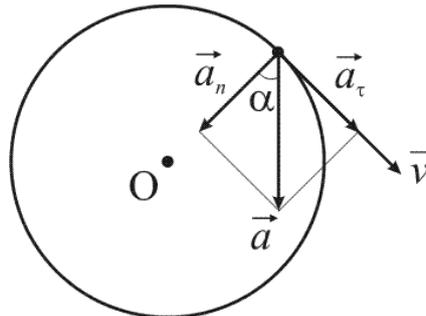


Рис. 1.1.5. Касательное и нормальное ускорения.

**Касательное ускорение** указывает, насколько быстро изменяется скорость тела по модулю:

$$a_\tau = \frac{\Delta v}{\Delta t}; (\Delta t \rightarrow 0)$$

Вектор  $\vec{a}_\tau$  направлен по касательной к траектории.

**Нормальное ускорение** указывает, насколько быстро скорость тела изменяется по направлению. Криволинейное движение можно представить, как движение по дугам окружностей (рис. 1.1.6).

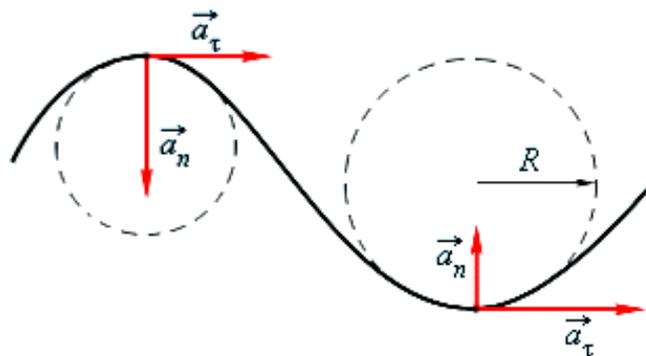


Рис. 1.1.6. Движение по дугам окружностей.

Нормальное ускорение зависит от модуля скорости  $v$  и от радиуса  $R$  окружности, по дуге которой тело движется в данный момент:

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

Из рис. 1.1.6 видно, что модуль полного ускорения равен:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$$

Вектор среднего ускорения равен отношению изменения скорости к интервалу времени:

$$\vec{a}_{cp} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

**Движение тела по окружности** является частным случаем криволинейного движения. Наряду с вектором перемещения  $\Delta \vec{s}$  удобно рассматривать **угловое перемещение**  $\Delta \varphi$  (или **угол поворота**), измеряемое в **радианах** (рис. 1.1.7). Длина дуги связана с углом поворота соотношением:

$$\Delta l = R \Delta \varphi$$

При малых углах поворота:  $\Delta l \approx \Delta s$ .

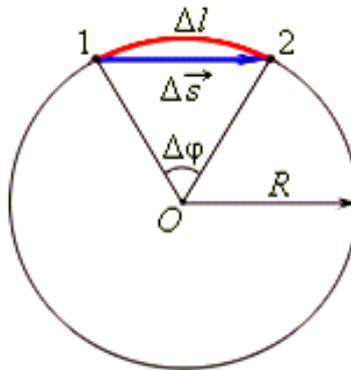


Рис. 1.1.7. Линейное  $\Delta \vec{s}$  и угловое  $\Delta \varphi$  перемещения при движении тела по окружности.

**Угловой скоростью**  $\omega$  тела в данной точке круговой траектории называют предел (при  $\Delta t \rightarrow 0$ ) отношения малого углового перемещения  $\Delta \varphi$  к малому промежутку времени  $\Delta t$ :

$$\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}; (\Delta t \rightarrow 0)$$

Связь между модулем линейной скорости  $v$  и угловой скоростью  $\omega$ :

$$v = \omega R$$

При равномерном движении тела по окружности величины  $v$  и  $\omega$  остаются неизменными. В этом случае при движении изменяется только направление вектора  $\vec{v}$ . Равномерное движение тела по окружности является движением с ускорением.

## § 1.2. Относительность движения

### План:

1. Относительность механического движения.
2. Относительность движения в системах отсчета.

Движение тел можно описывать в различных системах отсчета. С точки зрения кинематики все системы отсчета равноправны. Однако кинематические характеристики движения, такие как траектория, перемещение,

скорость, в разных системах оказываются различными. Величины, зависящие от выбора системы отсчета, в которой производится их измерение, называют **относительными**.

Пусть имеются две системы отсчета. Система  $XOY$  условно считается неподвижной, а система  $X'O'Y'$  движется поступательно по отношению к системе  $XOY$  со скоростью  $\vec{v}_0$ . Система  $XOY$  может быть, например, связана с Землей, а система  $X'O'Y'$  – с движущейся по рельсам платформой (рис. 1.2.1).

Пусть человек перешел по платформе за некоторое время из точки  $A$  в точку  $B$ . Тогда его перемещение относительно платформы соответствует вектору  $\vec{s}'$ , а перемещение платформы относительно Земли соответствует вектору  $\vec{s}_0$ . Из рис. 1.2.1 видно, что перемещение относительно Земли будет соответствовать вектору  $\vec{s}$ , представляющему собой сумму векторов  $\vec{s}_0$  и  $\vec{s}'$ :  $\vec{s} = \vec{s}_0 + \vec{s}'$ .

В случае, когда одна из систем отсчета движется относительно другой **поступательно** (рис. 1.2.1) с постоянной скоростью  $\vec{v}_0$  выражение принимает вид:  $\vec{s} = \vec{v}_0 \Delta t + \vec{s}'$ .

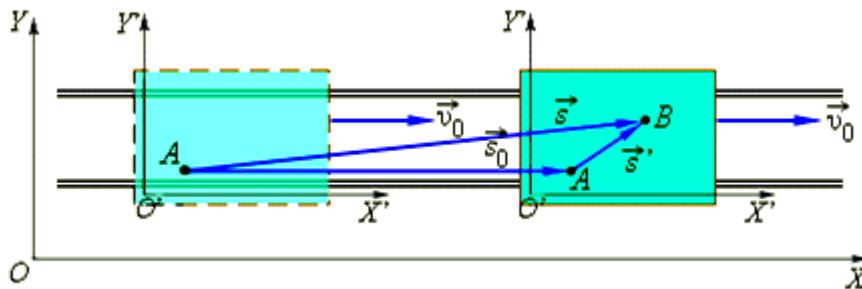


Рис. 1.2.1. Сложение перемещений относительно разных систем отсчета.

Если рассмотреть перемещение за малый промежуток времени  $\Delta t$ , то, разделив обе части этого уравнения на  $\Delta t$  и затем, перейдя к пределу при  $\Delta t \rightarrow 0$  получим:  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}'$  (\*).

Здесь  $\vec{v}$  – скорость тела в «неподвижной» системе отсчета  $XOY$ ,  $\vec{v}'$  – скорость тела в «движущейся» системе отсчета  $X'O'Y'$ . Скорости  $\vec{v}$  и  $\vec{v}'$  иногда условно называют абсолютной и относительной скоростями; скорость  $\vec{v}_0$  называют **переносной скоростью**.

Соотношение (\*) выражает **классический закон сложения скоростей**: абсолютная скорость тела  $\vec{v}$  равна векторной сумме его относительной скорости  $\vec{v}'$  и переносной скорости  $\vec{v}_0$  движущейся системы отсчета.

Следует обратить внимание на вопрос об ускорениях тела в различных системах отсчета. Из (\*) следует, что при равномерном и прямолинейном движении систем отсчета друг относительно друга ускорения тела в этих двух системах одинаковы, т.е.  $\vec{a} = \vec{a}'$ . Действительно, если  $\vec{v}_0$  – вектор, модуль и направление которого остаются неизменными во времени, то

любое изменение  $\Delta \vec{v}$  относительной скорости тела будет совпадать с изменением  $\Delta \vec{v}$  его абсолютной скорости. Следовательно:  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}'}{\Delta t}$ .

Переходя к пределу ( $\Delta t \rightarrow 0$ ), получим:  $\vec{a} = \vec{a}'$ .

При движениях систем отсчета с ускорением друг относительно друга, ускорения тела в различных системах отсчета оказываются различными.

В случае, когда вектора относительной скорости  $\vec{v}'$  и переносной скорости  $\vec{v}_0$  параллельны друг другу, закон сложения скоростей в скалярной форме:  $v = v_0 + v'$ .

В этом случае все движения происходят вдоль одной прямой линии (например, оси  $Ox$ ). Скорости  $v, v_0$  и  $v'$  нужно рассматривать как проекции абсолютной, переносной и относительной скоростей на ось  $Ox$ . Они являются величинами алгебраическими и, следовательно, им нужно приписывать определенные знаки (плюс или минус) в зависимости от направления движения.

### § 1.3. Равномерное прямолинейное движение

#### План:

1. Равномерное и неравномерное движение тела.
2. Кинематические уравнения равномерного прямолинейного движения.

При равномерном прямолинейном движении за любые промежутки времени тело совершает **равное перемещение**.

**Равномерное прямолинейное движение** – движение, при котором тело перемещается с постоянной по модулю и направлению скоростью:

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \text{const} = 0 \\ \vec{v} &= \vec{v}_0 = \text{const} \\ \vec{r} &= \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t \\ \vec{s} &= \Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{v}_0 t \end{aligned}$$

Рассмотрим для примера равномерное прямолинейное движение болида «Формулы – 1», движущегося со скоростью 100 м/с (рис. 1.3.1).

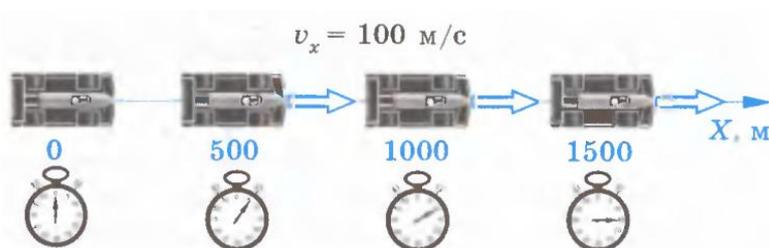


Рис. 1.3.1. Равномерное прямолинейное движения болида «Формулы – 1».

Движение называют **неравномерным**, если пути, пройденные точкой за произвольные равные промежутки времени, могут быть неодинаковыми.

При равномерном движении тело за любые равные промежутки времени проходит равные пути.

**Неравномерное движение** – движение, при котором тело (материальная точка) за равные промежутки времени совершает неодинаковые перемещения. Например, городской автобус,двигающийся по маршруту.

Для кинематического описания равномерного прямолинейного движения координатную ось  $OX$  удобно расположить по линии движения. Положение тела при равномерном движении определяется заданием одной координаты  $x$ . Вектор перемещения и вектор скорости всегда направлены параллельно координатной оси  $OX$ . Поэтому перемещение и скорость при прямолинейном движении можно спроектировать на ось  $OX$  и рассматривать их проекции как алгебраические величины.

Если в некоторый момент времени  $t_1$  тело находилось в точке с координатой  $x_1$ , а в более поздний момент  $t_2$  – в точке с координатой  $x_2$ , то проекция перемещения  $\Delta s$  на ось  $OX$  за время  $\Delta t = t_2 - t_1$  равна:  $\Delta s = x_2 - x_1$ .

Эта величина может быть и положительной и отрицательной в зависимости от направления, в котором двигалось тело. При равномерном движении вдоль прямой модуль перемещения совпадает с пройденным путем.

Если  $v > 0$ , то тело движется в сторону положительного направления оси  $OX$ ; при  $v < 0$  тело движется в противоположном направлении.

Зависимость координаты  $x$  от времени  $t$  (**закон движения**) выражается при равномерном прямолинейном движении *линейным математическим уравнением*:  $x(t) = x_0 + vt$ .

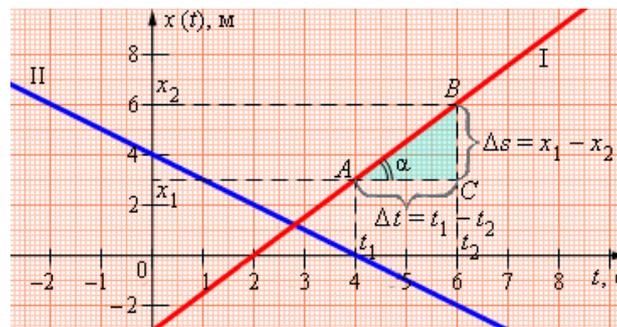


Рис. 1.3.2. Графики равномерного прямолинейного движения.

В этом уравнении  $v = const$  – скорость движения тела,  $x_0$  – координата точки, в которой тело находилось в момент времени  $t = 0$ . График закона движения  $x(t)$  представляет собой прямую линию. Примеры таких графиков показаны на рис. 1.3.2.

Для закона движения, изображенного на графике I (рис. 1.3.2), при  $t = 0$  тело находилось в точке с координатой  $x_3 = -3$  м. Между моментами времени  $t_1 = 4$  с и  $t_2 = 6$  с тело переместилось от точки  $x_1 = 3$  м до

точки  $x_2 = 6 \text{ м}$ . Таким образом, за  $\Delta t = t_2 - t_1 = 2 \text{ с}$  тело переместилось на  $\Delta s = x_2 - x_1 = 3 \text{ м}$ . Следовательно, скорость тела составляет:  $v = 1,5 \text{ м/с}$ .

Величина скорости оказалась положительной. Это означает, что тело двигалось в положительном направлении оси  $Ox$ . Обратим внимание, что на графике движения скорость тела может быть геометрически определена как отношение сторон  $BC$  и  $AC$  треугольника  $ABC$  (см. рис. 1.3.2):

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{|BC|}{|AC|}$$

Чем больше угол  $\alpha$ , который образует прямая с осью времени, т.е. чем больше наклон графика (**крутизна**), тем больше скорость тела. Иногда говорят, что скорость тела равна тангенсу угла  $\alpha$  наклона прямой  $x(t)$ . С точки зрения математики это утверждение не вполне корректно, так как стороны  $BC$  и  $AC$  треугольника  $ABC$  имеют разные **размерности**: сторона  $BC$  измеряется в метрах, а сторона  $AC$  – в секундах. Аналогичным образом для движения, изображенного на рис. 1.3.2. прямой II, найдем  $x_0 = 4 \text{ м}$ ,  $v = -1 \text{ м/с}$ .

На рис. 1.3.3. закон движения  $x(t)$  тела изображен с помощью отрезков прямых линий. В математике такие графики называются **кусочно-линейными**. Такое движение тела по прямой, **не является равномерным**. На разных участках этого графика тело движется с различными скоростями, которые также можно определить по наклону соответствующего отрезка к оси времени. В точках излома графика тело мгновенно изменяет свою скорость. На графике (рис. 1.3.3) это происходит в моменты времени  $t_1 = -3 \text{ с}$ ,  $t_2 = 4 \text{ с}$ ,  $t_3 = 7 \text{ с}$  и  $t_4 = 9 \text{ с}$ , на интервале  $(t_2; t_1)$  тело двигалось со скоростью  $v_{12} = 1 \text{ м/с}$ , на интервале  $(t_3; t_2)$  – со скоростью  $v_{23} = -\frac{4}{3} \text{ м/с}$  и на интервале  $(t_4; t_3)$  – со скоростью  $v_{34} = 4 \text{ м/с}$ .

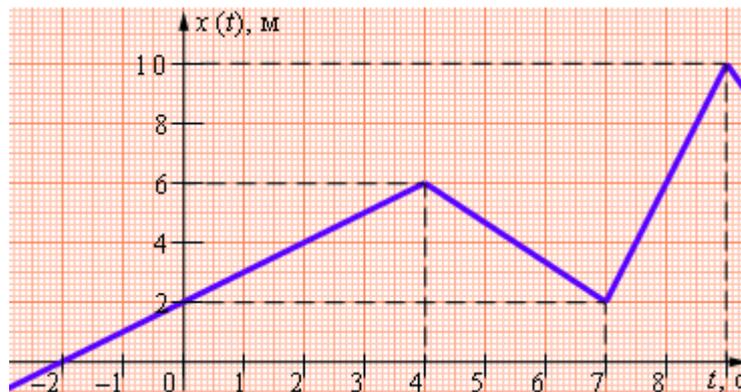


Рис. 1.3.3. Кусочно-линейный закон движения.

При кусочно-линейном законе прямолинейного движения тела пройденный путь  $l$  не совпадает с перемещением  $s$ . Например, для закона движения, изображенного на рис. 1.3.3, перемещение тела на интервале времени от  $0 \text{ с}$  до  $7 \text{ с}$  равно нулю ( $s = 0$ ). За это время тело прошло путь  $l = 8 \text{ м}$ .

## § 1.4. Равноускоренное прямолинейное движение

### План:

1. Равноускоренное прямолинейное движение.
2. Характеристика равноускоренного прямолинейного движения.

**Равноускоренное прямолинейное движение** – прямолинейное движение, при котором ускорение параллельно скорости и постоянно по модулю:

$$\begin{aligned}\vec{a} &= const \\ \vec{v} &= \vec{v}_0 + \vec{a}t \\ \vec{r} &= \vec{r}_0 + \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2} \\ \vec{s} &= \Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0 = \vec{v}_0t + \frac{\vec{a}t^2}{2}\end{aligned}$$

Примером такого движения является движение камня, брошенного под некоторым углом к горизонту (без учета сопротивления воздуха). В любой точке траектории ускорение камня равно **ускорению свободного падения**  $\vec{g}$ . Для кинематического описания движения камня систему координат удобно выбрать так, чтобы одна из осей, например ось  $OY$ , была направлена параллельно вектору ускорения. Тогда криволинейное движение камня можно представить, как сумму двух движений – **прямолинейного равноускоренного движения** вдоль оси  $OY$  и равномерного **прямолинейного движения** в перпендикулярном направлении, т.е. вдоль оси  $OX$  (рис. 1.4.1).

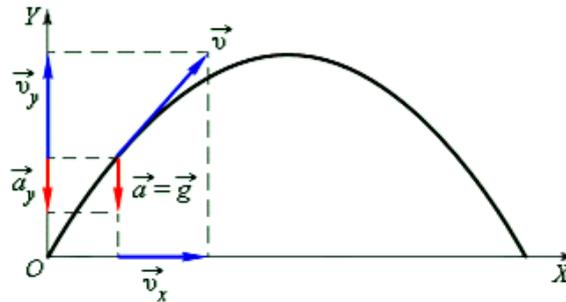


Рис. 1.4.1. Проекция векторов скорости  $\vec{v}$  и ускорения  $\vec{a}$  на координатные оси:  $a_x = 0, a_y = -g$ .

Изучение равноускоренного движения сводится к изучению прямолинейного равноускоренного движения. В случае прямолинейного движения векторы скорости  $\vec{v}$  и ускорения  $\vec{a}$  направлены вдоль прямой движения. Поэтому скорость  $v$  и ускорение  $a$  в проекциях на направление движения можно рассматривать как алгебраические величины.

При равноускоренном прямолинейном движении скорость тела определяется формулой:  $v = v_0 + at$  (\*).

В этой (\*) формуле  $v_0$  – скорость тела при  $t = 0$  (**начальная скорость**),  $a = const$  – ускорение. На графике скорости  $v(t)$  зависимость

имеет вид прямой линии (рис. 1.4.2). По наклону графика скорости может быть определено ускорение  $a$  тела. Соответствующие построения выполнены на рис. 1.4.2 для графика I. Ускорение численно равно отношению сторон треугольника  $ABC$ :

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{|BC|}{|AC|}$$

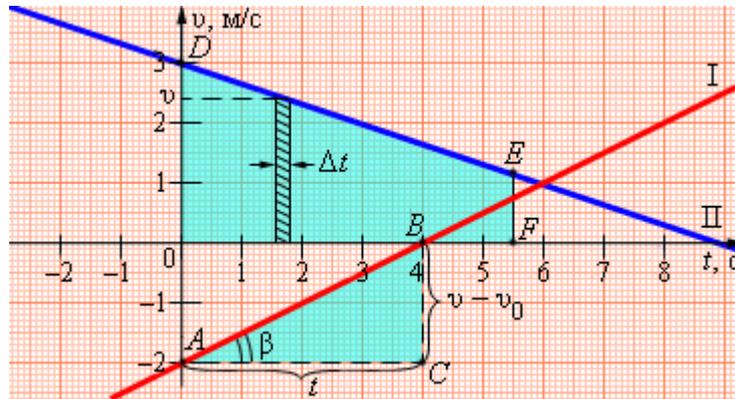


Рис. 1.4.2. Графики скорости равноускоренного движения.

Чем больше угол  $\beta$ , который образует график скорости с осью времени, т.е. чем больше наклон графика, тем больше ускорение тела.

Для графика I:  $v_0 = -2 \text{ м/с}$ ,  $a = \frac{1}{2} \text{ м/с}^2$ .

Для графика II:  $v_0 = 3 \text{ м/с}$ ,  $a = \frac{1}{3} \text{ м/с}^2$ .

График скорости позволяет также определить проекцию перемещения  $s$  тела за некоторое время  $t$ . Выделим на оси времени некоторый малый промежуток времени  $\Delta t$ . Если этот промежуток времени достаточно мал, то и изменение скорости за этот промежуток невелико, т.е. движение в течение этого промежутка времени можно считать равномерным с некоторой средней скоростью, которая равна мгновенной скорости  $v$  тела в середине промежутка  $\Delta t$ . Следовательно, перемещение  $\Delta s$  за время  $\Delta t$  будет равно  $\Delta s = v\Delta t$ . Это перемещение равно площади заштрихованной полоски (рис. 1.4.2). Разбив промежуток времени от 0 до некоторого момента  $t$  на малые промежутки  $\Delta t$ , получим, что перемещение  $s$  за заданное время  $t$  при равноускоренном прямолинейном движении равно площади трапеции  $ODEF$ . Соответствующие построения выполнены для графика II на рис. 1.4.2. Время  $t$  принято равным 5,5 с:

$$s = \frac{(|OD| + |EF|)}{2} |OF| = \frac{v_0 + v}{2} t = \frac{2v_0 + (v_0 - v)}{2} t$$

Так как  $v_0 - v = at$ , окончательная формула для перемещения  $s$  тела при равномерно ускоренном движении на промежутке времени от 0 до  $t$  запишется в виде:  $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$  (\*\*).

Для нахождения координаты  $y$  тела в любой момент времени  $t$  нужно к начальной координате  $y_0$  прибавить перемещение за время  $t$ :

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} (***)$$

Это выражение называют **законом равноускоренного движения**.

При анализе равноускоренного движения иногда возникает задача определения перемещения тела по заданным значениям начальной  $v_0$  и конечной  $v$  скоростей и ускорения  $a$ . Эта задача может быть решена с помощью уравнений, написанных выше, путем исключения из них времени  $t$ . Результат записывается в виде:  $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$ . Из формулы можно получить выражение:

$$v = \sqrt{v_0^2 - 2as}$$

Если начальная скорость  $v_0$  равна нулю, формула примет вид:

$$s = \frac{v^2}{2a} \Leftrightarrow v = \sqrt{2as}$$

**Положительное ускорение означает:**

- 1) Скорость увеличивается в положительном направлении;
- 2) Скорость уменьшается в отрицательном направлении.

**Отрицательное ускорение означает:**

- 1) Скорость увеличивается в отрицательном направлении;
- 2) Скорость уменьшается в положительном направлении.

## § 1.5. Свободное падение тел

**План:**

1. Кинематика уравнений криволинейного движения тела.
2. Движение тела под разными углами.

**Свободным падением** тел называют падение тел на Землю в отсутствие сопротивления воздуха (в пустоте).

Все тела независимо от их массы в отсутствии сил сопротивления воздуха падают на Землю с одинаковым ускорением, называется **ускорением свободного падения**.

Ускорение, с которым падают на Землю тела, называется **ускорением свободного падения**. Вектор ускорения свободного падения, обозначается символом  $\vec{g}$  направлен по вертикали вниз. В различных точках земного шара в зависимости от географической широты и высоты над уровнем моря числовое значение  $g$  оказывается неодинаковым, изменяясь примерно от  $9,83 \text{ м/с}^2$  на полюсах до  $9,78 \text{ м/с}^2$  на экваторе. На широте Москвы  $g = 9,81523 \text{ м/с}^2$ . Обычно, если в расчетах не требуется высокая точность, то числовое значение  $g$  у поверхности Земли принимают равным  $9,8 \text{ м/с}^2$  или даже  $10 \text{ м/с}^2$ . Простым примером свободного падения является падение тела с некоторой высоты  $h$  без начальной скорости. Свободное падение является прямолинейным движением с постоянным ускорением. Эта величина отрицательна, так как тело при падении перемещалось на-

встречу выбранному положительному направлению оси  $OY$ . В результате получим:  $v = -gt$ .

Скорость отрицательна, так как вектор скорости направлен вниз:

$$y = h - \frac{gt^2}{2}$$

**Время падения**  $t_n$  тела на Землю найдется из условия  $y = 0$ :

$$t_n = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Скорость тела в любой точке составляет:  $v = \sqrt{2g(h - y)}$ .

В частности, при  $y = 0$  скорость  $v_n$  падения тела на Землю равна:

$$v_n = \sqrt{2gh}$$

На рис. 1.5.2. изображен вектор начальной скорости  $\vec{v}_0$  тела и его проекции на координатные оси.

Таким образом, для движения вдоль оси  $OX$  имеем следующие условия:  $x_0 = 0, v_{0x} = v_0 \cos \alpha, a_x = 0$ , а для движения вдоль оси  $OY$   $y_0 = 0, v_{0y} = v_0 \sin \alpha, a_y = -g$ . Приведем здесь некоторые формулы, описывающие движение тела, брошенного под углом  $\alpha$  к горизонту (рис. 1.5.3 и 1.5.4).

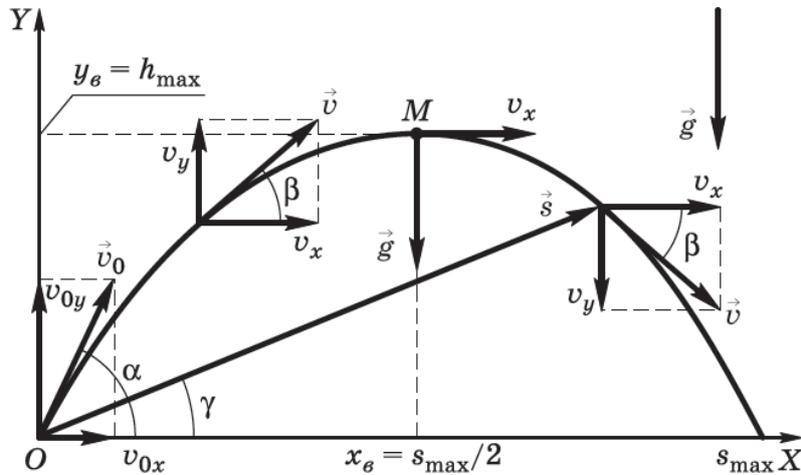


Рис. 1.5.2. Движение тела, брошенного под углом  $\alpha$  к горизонту.

Время подъема  $t_n$  на максимальную высоту:  $t_n = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$ .

Максимальная высота подъема:  $h_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ .

Время движения:  $t_\partial = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$ .

Максимальная дальность полета:  $s_{max} = v_0 t_\partial \cos \alpha = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ .

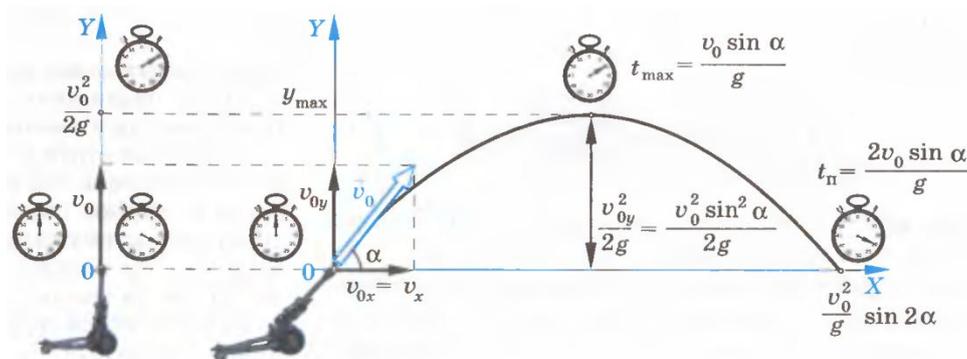


Рис. 1.5.3. Вертикальное и криволинейное движение.

Движение тела, брошенного под углом, происходит по параболической траектории в реальных условиях движение искажено.

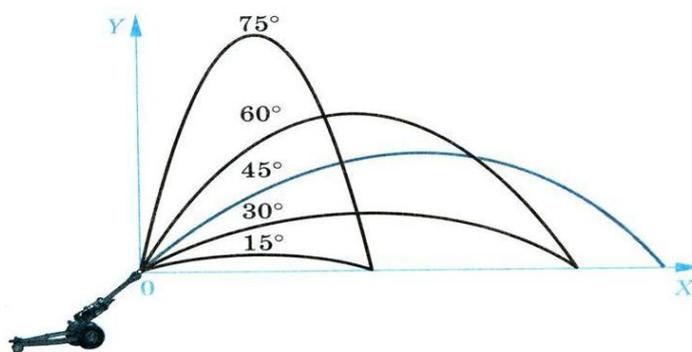


Рис. 1.5.4. Зависимость дальности полета от угла.

### Вопросы для закрепления материала

По теме «Основные элементы кинематики»

- 1) Какими способами можно задать положение точки?
- 2) Что такое система отсчета? Какие бывают системы отсчета?
- 3) Какими величинами определяется положение точки в пространстве?
- 4) Кинематика поступательного и вращательного движения.
- 5) Мгновенный центр скоростей, способы его нахождения?
- 6) Может ли мгновенная скорость быть больше (меньше) средней скорости?
- 7) Чем различаются понятия «система отсчета» и «система координат».
- 8) Движение тела в разных системах отсчета.
- 9) Как вы понимаете выражение «покоящихся тел не существует»?
- 10) Равномерное и неравномерное прямолинейное движение
- 11) Уравнение равномернопрямолинейного движения
- 12) В каких случаях ускорение принимает «+» и «-» значения.
- 13) Уравнение равноускоренное прямолинейное движение.
- 14) Почему в воздухе кусочек ваты падает с меньшим ускорением, чем железный шарик?
- 15) От чего зависит наибольшая высота подъема брошенного вверх тела в том случае, когда сопротивлением воздуха можно пренебречь?

## Список использованной литературы

### Основная литература

1. Дмитриева В.Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образовательных учреждений начального и среднего профессионального образования/В.Ф.Дмитриева. – 3-е изд., стер. М., 2017.– 448 с.
2. Касьянов В. А., Физика 10 класс. Углубленный уровень: учеб. для общеобразовательных учреждений/ М.: Дрофа, 2018. – 448 с.
3. Касьянов В. А., Физика 11 класс. Углубленный уровень: учеб. для общеобразовательных учреждений/ М.: Дрофа, 2018. – 464 с.
4. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. (под ред. Парфентьевой Н.А.), Физика 10 класс. Базовый уровень: учеб. для общеобразовательных учреждений/ М.: Просвещение, 2018. – 416 с.
5. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Чаругин В.М. (под ред. Парфентьевой Н.А.), Физика 11 класс. Базовый уровень: учеб. для общеобразовательных учреждений/ М.: Просвещение, 2018. – 432 с.
6. Самойленко П. И. Физика для профессий и специальностей социально – экономического и гуманитарного профилей/ П. И. Самойленко. 9-е изд., стер. М.: Изд-во «Академия», 2017. – 496 с.

### Дополнительная литература

1. Кабардин О. Ф. Физика: учебник справочное пособие/ О. Ф. Кабардин. – М.: АСТ: Астрель, 2006. – 573 с.
2. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике – 5-е изд. перераб. и доп. М.: Изд-во «Наука», 1972. – 256 с.
3. Физика. 7 – 11 кл.: Словарь школьника/Авт.-сост Ю. И. Дик. – М.: Дрофа, 1997. – 192 с.
4. Енохович А. С. Справочник по физике и технике: Учеб. Пособие для учащихся. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Просвещение, 1989. – 224 с.: ил.

**Приложение**  
Таблица № 1.

**Множители и приставки в СИ для образования десятичных кратных и дольных единиц**

Наименование приставки	Обозначение приставки	Множитель	Наименование множителя
экса	Э	1 000 000 000 000 000 000=10 <sup>18</sup>	квинтиллион
пета	П	1 000 000 000 000 000=10 <sup>15</sup>	квадриллион
тера	Т	1 000 000 000 000=10 <sup>12</sup>	триллион
гига	Г	1 000 000 000=10 <sup>9</sup>	миллиард
мега	М	1 000 000=10 <sup>6</sup>	миллион
кило	к	1000=10 <sup>3</sup>	тысяча
гекто	г	100=10 <sup>2</sup>	сто
дека	да	10=10 <sup>1</sup>	десять
деци	д	0,1=10 <sup>-1</sup>	одна десятая
санти	с	0,01=10 <sup>-2</sup>	одна сотая
милли	м	0,001=10 <sup>-3</sup>	одна тысячная
микро	мк	0,000001=10 <sup>-6</sup>	одна миллионная
нано	н	0,000000001=10 <sup>-9</sup>	одна миллиардная
пико	п	0,0000000000001=10 <sup>-12</sup>	одна триллионная
фемто	ф	0,0000000000000001=10 <sup>-15</sup>	одна квадриллионная
атто	а	0,0000000000000000001=10 <sup>-18</sup>	одна квинтиллионная

Таблица № 2.

**Греческий алфавит**

Буквы	Название	Буквы	Название	Буквы	Название
<i>A, α</i>	альфа	<i>I, ι</i>	йота	<i>P, ρ</i>	ро
<i>B, β</i>	бета	<i>K, κ</i>	каппа	<i>Σ, σ</i>	сигма
<i>Γ, γ</i>	гамма	<i>Λ, λ</i>	лямбда	<i>T, τ</i>	тау
<i>Δ, δ</i>	дельта	<i>M, μ</i>	мю	<i>Υ, υ</i>	ипсилон
<i>E, ε</i>	эпсилон	<i>N, ν</i>	ню	<i>Φ, φ</i>	фи
<i>Z, ζ</i>	дзэта	<i>Ξ, ξ</i>	кси	<i>X, χ</i>	хи
<i>H, η</i>	эта	<i>O, ο</i>	омикрон	<i>Ψ, ψ</i>	пси
<i>Θ, θ</i>	тэта	<i>Π, π</i>	пи	<i>Ω, ω</i>	омега

Таблица № 3.

**Градусная мера углов**

<b>0°</b>	<b>30°</b>	<b>45°</b>	<b>60°</b>	<b>90°</b>	<b>120°</b>	<b>135°</b>	<b>150°</b>	<b>180°</b>
0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{6}$	$\pi$
<b>210°</b>	<b>225°</b>	<b>240°</b>	<b>270°</b>	<b>300°</b>	<b>315°</b>	<b>330°</b>	<b>360°</b>	
$\frac{7\pi}{6}$	$\frac{5\pi}{4}$	$\frac{4\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{5\pi}{3}$	$\frac{7\pi}{4}$	$\frac{11\pi}{6}$	$2\pi$	

Таблица № 4.

**Значение тригонометрических функций некоторых углов**

$\alpha$	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	$120^\circ$	$180^\circ$	$270^\circ$	$360^\circ$
$\sin \alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	0	-1	0
$\cos \alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	-1	0	1
$\operatorname{tg} \alpha$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	$\infty$	$-\sqrt{3}$	0	$\infty$	0
$\operatorname{ctg} \alpha$	$\infty$	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\infty$	0	$\infty$

Таблица № 5.

**Соотношение между единицами**

Единицы длины		Единицы площади
1 м (СИ)		1 м <sup>2</sup> (СИ)
1 нм = 10 <sup>-9</sup> м	1 кб <sup>24</sup> = 185,2 м	1 мм <sup>2</sup> = 0,000 001 м <sup>2</sup>
1 мкм = 10 <sup>-6</sup> м	1 км = 1 000 м	1 см <sup>2</sup> = 0,000 1 м <sup>2</sup>
1 мм = 0,001 м	1 миля = 1 609 м	1 дм <sup>2</sup> = 0,01 м <sup>2</sup>
1 дюйм = 0,025 м	1 мор. миля = 1 852 м	1 ар = 100 м <sup>2</sup>
1 см = 0,01 м	1 а. е. = 1,5 × 10 <sup>11</sup> м	1 га = 10 000 м <sup>2</sup>
1 дм = 0,1 м	1 св. год = 9,5 × 10 <sup>15</sup> м	1 ярд <sup>2</sup> = 0,836 м <sup>2</sup>
1 фут = 0,304 м	1 пк = 3,08 × 10 <sup>16</sup> м	1 км <sup>2</sup> = 1 000 000 м <sup>2</sup>
1 ярд = 0,914 м		1 акр = 4046,9 м <sup>2</sup>
Единицы массы		Единицы объема
1 кг (СИ)		1 м <sup>3</sup> (СИ)
1 мг = 0,000 001 кг	1 мл = 0,001 = 0,000 001 м <sup>3</sup>	
1 г = 0,001 кг	1 мм <sup>3</sup> = 0,000 000 001 м <sup>3</sup>	
1 ц = 100 кг	1 см <sup>3</sup> = 0,000 001 м <sup>3</sup>	
1 т = 1000 кг	1 дм <sup>3</sup> = 0,001 м <sup>3</sup>	
1 пуд = 16,4 кг	1 л = 1 дм <sup>3</sup> = 0,001 м <sup>3</sup>	
1 унция = 0,028 кг	1 км <sup>3</sup> = 1 000 000 000 м <sup>3</sup>	
1 фунт = 0,453 кг	1 баррель (нефть) = 0,16 м <sup>3</sup>	
	1 галлон (Англ.) = 0,004 м <sup>3</sup>	
	1 галлон (США) = 0,003 м <sup>3</sup>	

<sup>24</sup> **Кабельтов** (нидерл. *Kabeltouw* – «буксирный канат») – трос окружностью от 152 до 330 мм (6 – 13 дюймов, диаметр от 47 до 111 мм) для – швартовов и буксиров (кабельтовый трос), а также внесистемная единица измерения расстояния, используемая в мореплавании. Как единица измерения кабельтов стал использоваться по причине того, что трос на судне брался определённой, одинаковой длины.

Таблица № 6.

**Скорости движения в живой природе**

Живое существо	Скорость		Живое существо	Скорость	
	м/с	км/ч		м/с	км/ч
Акула	8,3	30	Ласточка	17,5	63
Бабочка – капустница	2,3	8,3	Муха – комнатная	5	18
Ворона	13	47	Пчела – медовая		24
Гепард	31	112	Скворец	20,6	74
Жираф	14,6	51,2	Улитка	0,0014	0,005
Жук – навозник	7	25	Черепаша	0,05 – 0,14	0,2 – 0,5
Заяц	16,7	60	Шмель	5 – 7	18 – 58

Таблица № 7.

**Средние скорости движения**

Наименование	км/ч	Наименование	км/ч
Человек	6	Вертолет гигант Ми – 26	295
Спринтер на 100 м Усейн Болт	≈ 45	Транспортный самолет АН – 124	850
Трамвай	17	Пассажирский самолет ИЛ – 18	575
Кировец К-708	≈ 50	Луна вокруг Земли	≈ 3600
Автомобиль ВАЗ 2121 «Нива»	132	Земля вокруг Солнца	≈ 108000

Таблица № 8.

**Периоды обращения планет**

Планета	Период обращения, год	Планета	Период обращения, год	Планета	Период обращения, год
Меркурий	0,24	Марс	1,88	Уран	84,02
Венера	0,615	Юпитер	11,88	Нептун	164,79
Земля	1	Сатурн	29,46	Плутон	247,7

Таблица № 9.

**Ускорение свободного падения в различных городах Земли и на поверхности небесных тел**

Место	м/с <sup>2</sup>	Место	м/с <sup>2</sup>
На полюсе	9,83235	На экваторе	9,78049
На широте 45°	9,80612	Нормальное	9,80665
Луна	1,6	Нептун	13,5
Венера	8,8	Солнце	274
Марс	3,8	Юпитер	23,5
Меркурий	3,7	Уран	9,8
Архангельск	9,8228	Одесса	9,8077
Будапешт	9,8085	Париж	9,8094
Вашингтон	9,8078	Рим	9,8037
Санкт – Петербург	9,8192	Токио	9,7880
Москва	9,8156	Владивосток	9,8045

Таблица № 10.

**Плотность некоторых веществ (при норм. атм. давлении,  $t = 20^\circ\text{C}$ )**

Твердое тело	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Твердое тело	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Осмий	22 600	22,6	Алюминий	2700	2,7
Иридий	22 400	22,4	Мрамор	2700	2,7
Платина	21 500	21,5	Стекло оконное	2500	2,5
Золото	19 300	19,3	Фарфор. Бетон	2300	2,3
Свинец	11 300	11,3	Кирпич	1800	1,8
Серебро	10 500	10,5	Сахар – рафинад	1600	1,6
Медь	8900	8,9	Оргстекло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1100	1,1
Сталь, железо	7800	7,8	Полиэтилен	920	0,92
Олово	7300	7,3	Парафин. Лёд	900	0,9
Цинк	7100	7,1	Дуб (сухой)	700	0,7
Чугун	7000	7	Сосна (сухая)	400	0,4
Корунд	4000	4	Пробка	240	0,24

Таблица № 11.

**Плотность некоторых жидкостей (при норм. атм. давлении,  $t = 20^\circ\text{C}$ )**

Жидкость	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Жидкость	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Ртуть	13 600	13,6	Масло машинное	900	0,9
Серная кислота	1800	1,8	Дизельное топливо	850	0,85
Мёд	1350	1,35	Керосин. Спирт	800	0,8
Вода морская	1030	1,03	Нефть	800	0,8
Молоко цельное	1030	1,03	Ацетон	790	0,79
Вода тяжелая	1100	1,1	Эфир. Бензин	710	0,71
Вода чистая	1000	1	Жидкое олово ( $t = 400^\circ\text{C}$ )	6800	6,8
Масло подсолнечное	930	0,93	Жидкий воздух ( $t = -194^\circ\text{C}$ )	860	0,86

Таблица № 12.

**Плотность некоторых жидкостей (при норм. атм. давлении,  $t = 20^\circ\text{C}$ )**

Жидкость	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Жидкость	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Радон	9,73		Воздух	1,29	0,00129
Хлор	3,21	0,00321	Азот	1,25	0,00125
Диоксид углерода	1,99	0,00199	Неон	0,89	0,00089
Углекислый газ	1,97	0,00197	Метан	0,71	0,00071
Аргон	1,78	0,00178	Гелий	0,18	0,00018
Кислород	1,43	0,00143	Водород	0,08	0,00008

Таблица № 13

**Зависимость атмосферного давления от высоты над уровнем моря**

Давление мм рт. ст.	760	674	596	526	462	405	354	308	267	232	200	171	150
Высота, км.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица № 14.

**Соответствие единиц измерений давления.**

	Па	бар	атм	кгс/см <sup>2</sup>	мм рт. ст.	мм вод. ст.
Па	1	0,00001	0,00000987	0,0000102	0,007501	0,102
бар	100000	1	0,9869	1,02	750	10200
атм	101300	1,013	1	1,033	760	10330
кгс/см <sup>2</sup>	98070	0,9807	0,9678	1	735,6	100000
мм рт. ст.	133,3	0,001333	0,001316	0,00136	1	13,6
мм вод. ст.	9,807	0,00009807	0,00009678	0,0001	0,07356	1

Таблица № 15.

**Скорость звука при различных температурах**

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu$		$t, ^\circ\text{C}$	$\nu$	
	м/с	км/ч		м/с	км/ч
-150	216,7	780,1	30	348,9	1256,2
-100	263,7	949,2	50	360,3	1296,9
-50	299,3	1077,6	100	387,1	1393,7
-20	318,8	1147,8	200	436,0	1569,5
-10	325,1	1170,3	300	479,8	1727,4
0	331,5	1193,4	400	520,0	1872,1
10	337,3	1214,1	500	557,3	2006,4
20	343,1	1235,2	1000	715,2	2574,8

Примечание. Скорость звука в воздухе (как в других газах) увеличивается с повышением температура. При повышении температуры воздуха на  $1^\circ\text{C}$  скорость звука увеличивается на 0,59 м/с.

Таблица № 16.

**Скорость звука в твердых веществах (при  $t = 20^\circ\text{C}$ )**

Вещество	$\nu, \text{м/с}$	Вещество	$\nu, \text{м/с}$
Алмаз	18 350	Лед ( $t = -4^\circ\text{C}$ )	3980
Бетон	4250 – 5250	Пробка	430 – 530
Графит	1470	Сосна	5030
Дуб	4115	Стекло органическое	2550
Каменная соль	4400	Шифер	4510
Кирпич	3600	Эбонит	2400

Таблица № 17.

**Скорость звука в металлах (при  $t = 20^\circ\text{C}$ )**

Вещество	$\nu, \text{м/с}$	Вещество	$\nu, \text{м/с}$
Алюминий	6260	Платина	3960
Железо	5850	Свинец	2160
Золото	3200	Серебро	3600
Латунь	4280 – 4700	Сталь	5000 – 6100
Медь	4700	Цинк	4170
Олово	3320	Чугун	$\approx 3850$

Таблица № 18.

**«Физика» человека (механические параметры)**

Средняя плотность тела человека, кг/м <sup>3</sup>	1036
Плотность крови, кг/м <sup>3</sup>	1050-1065
Средняя скорость движения крови в сосудах, м/с	
в артериях	0,2-0,5
в венах	0,10-0,20
в капиллярах	0,0005-0,0020
Скорость распространения раздражения по двигательным и чувствительным нервам, м/с	40-100
Нормальное избыточное давление в артерии руки взрослого человека*	
нижнее (т.е. в начальной фазе сокращения сердца), кПа (мм рт.ст)	≈ 9,3 (70)
верхнее (т.е. в конечной фазе сокращения сердца), кПа (мм рт.ст)	≈ 16 (120)
Сила, развиваемая работающим сердцем, Н	
в начальной фазе сокращения	≈ 90
в конечной фазе сокращения	≈ 70
Масса крови, выбрасываемая сердцем в 1 мин**, кг	≈ 3,6
Работа сердца при одном сокращении, Дж (кгс · м)	≈ 1 (≈ 0,1)
Мощность, развиваемая взрослым человеком, Вт	
при обычной ходьбе по ровной дороге слабым ветре	60-65
при быстрой ходьбе (7км/ч) по ровной дороге при слабом ветре	200
при езде на велосипеде со скоростью 10 км/ч в безветренную погоду	40
при езде на велосипеде со скоростью 20 км/ч в безветренную погоду	320
* Избыточное давление крови измеряют от условного нуля, за который принимают атмосферное давление. Поэтому давление крови, например, в 9,3 кПа (70 мм рт. ст) означает, что давление крови на 9,3 кПа (70 мм рт. ст) превышает атмосферное давление.	
** За одно сокращение сердце выбрасывает примерно 60 см <sup>3</sup> крови, за 1 мин – 3,6 л (при 60 сокращениях в минуту), за 1 ч – 216 л, а за сутки ≈ 5200 л крови. Во время напряженной работы организмы (например при беге на лыжах) сердце «перекачивает» до 25 – 35 л крови (при 165-195 сокращениях в минуту). Для сравнения – расход воды полностью открытого водопроводного крана за 1 мин составляет примерно 20 л.	

Таблица № 19.

**«Физика» человека (звуковые параметры)**

Мощность голоса, Вт	
тихий шепот	$\approx 10^{-9}$
речь обычной громкости	$\approx 10^{-6}$
предельная мощность	$\approx 2 \times 10^3$
Интенсивность звука при пороге слышимости, Вт/м <sup>2</sup>	$10^{-12}$
Интенсивность звука при пороге слышимости*, Вт/м <sup>2</sup>	10-100
Частоты, к которым ухо имеет наибольшую чувствительность, Гц	1500-4000
Частотный диапазон при обычном разговоре, Гц	
у мужчин	85-200
у женщин	160-340
Примерное число колебаний голосовых связок при пении, Гц	
бас	80-350
баритон	110-400
тенор	130-520
сопрано	260-1050
детский голос	260-1050
колоратурное сопрано	330-1400
Длина голосовых связок у певцов, см	
бас	$\approx 2,5$
тенор	1,7-2,0
сопрано	$\approx 1,5$
Рекордная высота звука женского голоса (при пении), кГц	2,35
Скорость звука в тканях тела, м/с	1530-1600
* Диапазон интенсивности звуков, воспринимаемых ухом человека, необычайно велик: наиболее сильные звуки, воспринимаемых ухом ( $\approx 10$ -100 Вт/м <sup>2</sup> ), отличаются от наиболее слабых, еще воспринимаемых звуков ( $10^{-12}$ Вт/м <sup>2</sup> ) в $10^{13}$ - $10^{14}$ раз.	

**Учебное пособие**

**Алиева Руфина Манзуровна**

**Алиев Ильяс Манзурович**

**КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ФИЗИКЕ**

**Часть I**

**МЕХАНИКА**

**учебное пособие для студентов  
направлений программы подготовки  
специалистов среднего звена**

Отпечатано с оригинал-макета. Формат 60×84 1/16  
Тираж 100 экз. Заказ № 015

---

Отпечатано в типографии «Принт-Экспресс»  
626150, г. Тобольск, ТРЦ «Жемчужина Сибири», цоколь  
Тел.: 8-961-782-07-49  
[www.print-tob.ru](http://www.print-tob.ru)