

## Учебник включён в Федеральный перечень

**Грачёв А.В.**  
Ф24 Физика : 10 класс : базовый и углублённый уровни : учебник для учащихся общеобразовательных организаций / А.В. Грачёв, В.А. Погожев, А.М. Салецкий и др. — 3-е изд., стереотип. — М. : Вентана-Граф, 2018. — 464 с. : ил.

ISBN 978-5-360-08966-7

Учебник предназначен для изучения физики на базовом и углублённом уровнях в 10 классе общеобразовательных организаций.

Учебник вместе с рабочими тетрадями, задачником, тетрадью для лабораторных работ и методическим пособием для учителей входит в учебно-методический комплект по физике для 10 класса и рассматривает разделы: «Механические явления», «Тепловые явления» и «Электрические явления» (электростатика).

Издание входит в систему учебников «Алгоритм успеха».

Соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования (2012 г.).

ББК 22.3я721

## Условные обозначения



*Это важно:* основные положения в тексте параграфа



*Комментарии:* вспомогательные тексты, поясняющие отдельные положения параграфа; различные напоминания и т. п.



*Справочные материалы:* сведения из истории физики; интересная дополнительная информация, данные для решения задач и др.



*Для углублённого уровня:* материалы, дополняющие базовый курс физики и предназначенные для тех, кто изучает предмет на углублённом уровне



*Задания повышенной сложности*



*Задания для совместной работы*



*Задания по проектной и исследовательской деятельности*

© Грачёв А.В., Погожев В.А., Салецкий А.М., Боков П.Ю., 2011

© Издательский центр «Вентана-Граф», 2011

© Грачёв А.В., Погожев В.А., Салецкий А.М., Боков П.Ю., 2014, с изменениями

ISBN 978-5-360-08966-7

© Издательский центр «Вентана-Граф», 2014, с изменениями



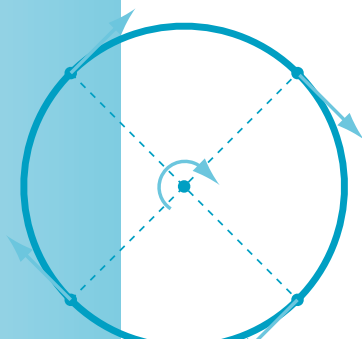
# Механика

Знакомство с физикой, наукой об окружающем нас мире, начинают с изучения самого простого вида движения материи — механического движения.

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

Науку о механическом движении называют *механикой*. Классическая механика является фундаментальной физической теорией. Она позволяет описывать механические явления в макромире, даёт объяснения происходящим явлениям, прогнозирует протекание механических явлений и процессов и позволяет использовать научные знания в практической области.

По характеру решаемых задач механику делят на *кинематику* и *динамику*.



Кинематика — раздел механики, в котором рассматривают способы описания механического движения тел без выяснения причин изменения характера этого движения.

Как же описывают движение тела? Прежде всего отметим, что любое реальное тело имеет размеры и форму и в общем случае его части могут двигаться по-разному. *Если различие в движении частей тела имеет принципиальное значение* (например, необходимо установить, как движутся части тела спринтера во время бега), *то требуется описание движения разных точек тела*. Решение подобной задачи является весьма сложным и трудоёмким. Поэтому при изучении механического движения тел мы будем, как правило, рассматривать задачи, в которых можно *пренебречь различием в движении отдельных частей тела*. Например, при составлении туристического маршрута для велосипедиста нет необходимости детально описывать движение колёс, педалей велосипеда или частей тела туриста. Для решения поставленной задачи достаточно рассмотреть движение какой-либо одной точки велосипедиста или вообще считать его точкой. Другими словами, при решении некоторых задач реальное тело можно заменить на *точечное тело*.

**Точечное тело — объект, размерами которого можно пренебречь по сравнению с характерными масштабами решаемой задачи.**

Отметим особо, что, в отличие от реального, *точечное тело не имеет размеров и в каждый момент времени находится в определённой точке пространства*.

Понятно, что в природе точечных тел нет. Точечное тело — это *модель*. Процесс замены реальной ситуации на модель в физике называют *выбором модели*. Решение поставленной задачи во многом зависит от правильного выбора модели. Например, при расчёте траектории движения космической станции вокруг Земли допустимо считать её точечным телом. Однако для ориентации космической станции в пространстве её размеры и форма име-

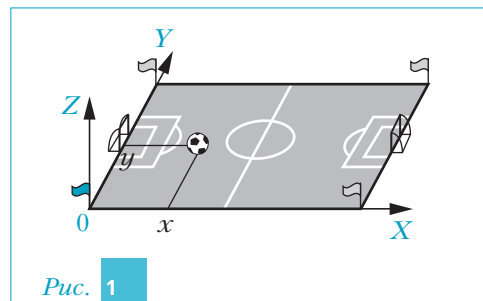
ют принципиальное значение. Поэтому при описании такого движения станции нужно использовать более сложную модель.

Изучение механики начинают с изучения кинематики и динамики точечных тел. В дальнейшем, если не сделано специальных оговорок, под словом «тело» мы будем подразумевать точечное тело.

## § 1 Положение тела в пространстве. Системы отсчёта. Способы описания механического движения

Из определения механического движения следует, что для его описания необходимо научиться отвечать на два вопроса: «*Где* (в какой точке пространства) и *когда* (в какой момент времени) находилось, находится или будет находиться тело в процессе своего движения?» Начнём с ответа на первый вопрос — выясним, как описать положение тела в пространстве.

Договариваясь с друзьями по телефону о месте встречи, вы наверняка будете использовать фразы «я буду стоять *напротив* такого-то объекта» или «я буду находиться с *южной стороны* здания» и т. п. Таким образом, при описании положения в пространстве вы используете другое тело — *тело отсчёта*, относительно которого задаёте своё положение. После выбора тела отсчёта с ним связывают *систему координат*, т. е. выбирают *начало отсчёта* и *направления координатных осей* с указанными на них *единицами длины*. Пример выбора тела отсчёта и связанной с ним системы координат показан на рис. 1.



С помощью системы координат положение любой точки пространства относительно тела отсчёта можно однозначно описать соответствующим набором координат.

При механическом движении положение точечного тела в пространстве изменяется с *течением времени*. Следовательно, чтобы описывать это изменение во времени, необходимо иметь устройство для отсчёта времени — *часы*.

**Совокупность тела отсчёта, связанной с ним системы координат и часов называют системой отсчёта.**

После выбора системы отсчёта можно описать механическое движение. Для этого необходимо привести *законы движения — зависимости координат тела от времени:  $x(t)$ ,  $y(t)$  и  $z(t)$ .*

Законы движения могут быть представлены в табличном, в аналитическом или в графическом виде.

С табличным способом описания движения тел вы встречаетесь, изучая, например, расписание движения электропоездов по станциям (см. таблицу 1).

**Таблица 1**

Станция	Дубки	Ёлочки	Солнечная	Луговая	Весёлое
Прибытие	7.15	7.28	7.45	8.10	8.22
Отправление	7.18	7.30	7.48	8.12	8.24

Этот способ является достаточно простым и наглядным. Однако он обладает существенным недостатком: по расписанию движения электропоезда невозможно, например, точно указать момент времени, *когда* поезд проезжает мимо посёлка на участке пути между двумя соседними станциями. Также невозможно точно определить место, *где* находился поезд в моменты времени между отправлением с одной станции и прибытием на следующую станцию. Таким образом, при табличном способе движение тела описано не полностью.

Для полного описания движения тела используют аналитический или графический способы. При аналитическом описании законы движения — зависимости координат тела от времени — представляют в виде формул. При этом аргументом каждой функции является время  $t$ , а значением функции — соответствующая координата тела в выбранной системе отсчёта. Например, пусть тело движется вдоль координатной оси  $X$  и его координата  $x$  изменяется с течением времени по закону  $x(t) = 4t$ , где  $t$  измеряют в секундах, а  $x$  — в метрах. В этом случае, подставив в закон движения заданное значение времени  $t$ , мы можем определить координату  $x$  тела в этот момент времени и, следовательно, ответить на вопрос «*где*».

Напротив, если подставить в закон движения заданную координату  $x$ , то, решив полученное уравнение, можно определить, в какой момент времени тело имело эту координату (в этом случае можно ответить на вопрос «*когда*»).

Таким образом, если законы движения заданы в аналитическом виде, то движение тела описано полностью. **К<sup>1</sup>**

При графическом способе описания движения законы движения задают в виде графиков. Они представляют собой зависимости координат тела от времени. Одна ось у графика – соответствующая координата в выбранной системе координат, другая ось – время. Для примера на рис. 2 показано, как, используя графическое описание, можно определить координату тела в некоторый момент времени (т. е. ответить на вопрос «где») или найти, в какой момент времени тело имело заданную координату (т. е. ответить на вопрос «когда»). Понятно, что если график зависимости  $x(t)$  представляет собой непрерывную линию, то движение тела вдоль оси  $X$  описано полностью. **К<sup>2</sup>**

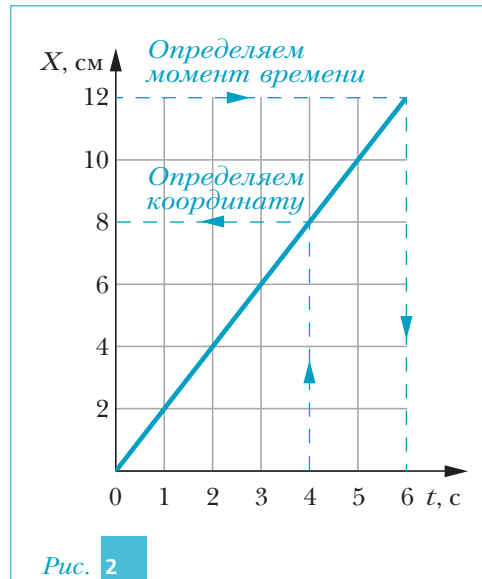


Рис. 2

Понятно, что если график зависимости  $x(t)$  представляет собой непрерывную линию, то движение тела вдоль оси  $X$  описано полностью. **К<sup>2</sup>**

Вы уже знаете, что, помимо координатного, в физике существует ещё один способ описания движения тела – *векторный*. При его использовании положение тела в пространстве в любой момент времени  $t$  задают радиусом-вектором  $\vec{r}(t)$ . Начало радиуса-вектора совпадает с началом отсчёта выбранной системы координат. Конец радиуса-вектора совпадает с той точкой пространства, в которой находится в данный момент времени  $t$  рассматриваемое точечное тело (рис 3).

Таким образом, положение точечного тела определяется *направлением* и *модулем* вектора  $\vec{r}(t)$ . При движении тела направление и модуль радиуса-вектора в общем случае изменяются с течением времени. Если известны

**К<sup>1</sup>** Напомним, что если тело движется по плоскости, то его положение описывают с помощью двух координат  $x$  и  $y$  соответственно по осям  $X$  и  $Y$ , которые перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости движения тела (см. рис. 1). Для полного описания такого движения потребуются две зависимости координат от времени:  $x(t)$  и  $y(t)$ . В случае же движения в пространстве потребуются уже три зависимости:  $x(t)$ ,  $y(t)$  и  $z(t)$ .

**К<sup>2</sup>** Если тело движется по плоскости, то для описания его движения графическим способом потребуются два графика:  $x(t)$  и  $y(t)$ . Если же тело движется в пространстве, то для описания необходимы три графика:  $x(t)$ ,  $y(t)$  и  $z(t)$ .

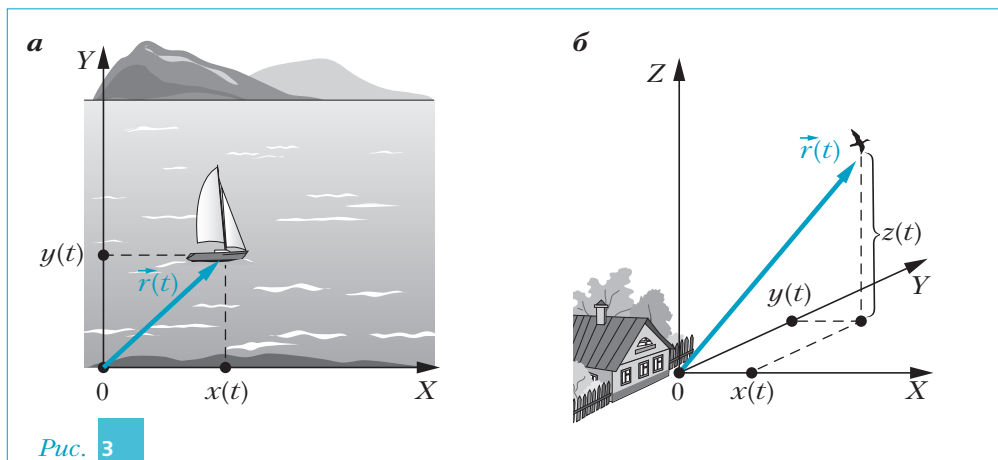


Рис. 3

(заданы) законы этих изменений, то движение тела описано полностью. Такой способ описания механического движения зачастую оказывается весьма удобным. Например, его часто используют при описании движения точечного тела по окружности (рис. 4, а). С помощью радиуса-вектора может быть описано и движение точки по земной сфере (рис. 4, б). □

При механическом движении тело с течением времени изменяет своё положение в пространстве относительно других тел.

**Линию, в каждой точке которой последовательно находилось, находится или будет находиться движущееся тело (точка), называют *траекторией* этого тела (этой точки).**

Если траектория точечного тела в выбранной системе отсчёта представляет собой прямую линию, то движение тела называют *прямолинейным*, а если кривую — *криволинейным* (рис. 5).

В заключение подчеркнём, что движение любого тела *относительно*. Другими словами, нельзя сказать, покоится тело или движется и каков закон

□ Координатный и векторный методы описания движения взаимосвязаны. Проекции радиуса-вектора на координатные оси в любой момент времени  $t$  равны координатам тела в этот момент времени (см. рис 3).

Напомним, что **проекцией вектора на координатную ось** называют длину отрезка (измеренную в единицах модуля этого вектора) между проекциями начала и конца этого вектора на эту ось, взятую с соответствующим знаком: если направление от проекции начала к проекции конца вектора совпадает с положительным направлением координатной оси, то проекция положительна, в противном случае — отрицательна.

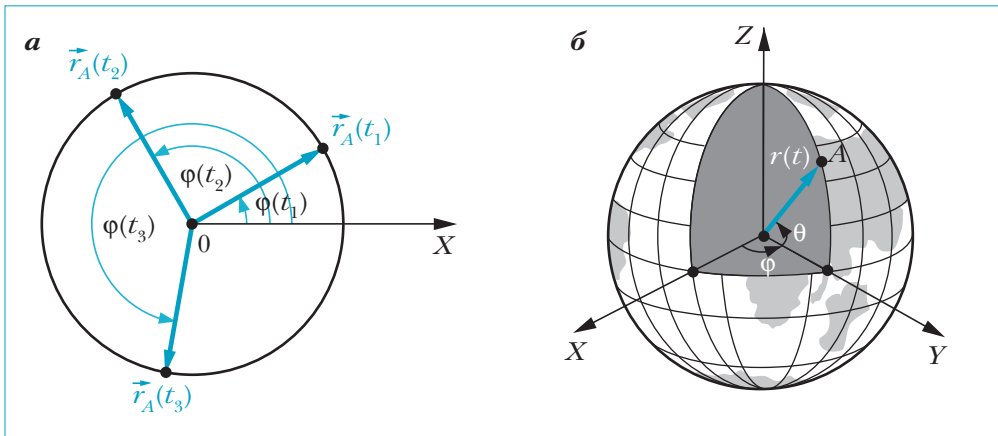


Рис. 4

При векторном способе описания движения положение точечного тела на окружности (а) задают с помощью угла  $\varphi(t)$ . Положение точки на земной сфере (б) может быть задано с помощью широты  $\theta$ , отсчитываемой от экватора, и долготы  $\varphi$ , отсчитываемой от нулевого меридиана

его движения, если не сказать, в какой системе отсчёта (т. е. относительно какого тела отсчёта и какой системы координат) рассматривают его положение в пространстве. Действительно, ведь всегда можно выбрать такую систему отсчёта, в которой тело будет неподвижным. При этом в других системах отсчёта это тело будет изменять своё положение в пространстве, т. е. будет двигаться. Так, пассажир, сидящий в автобусе, будет неподвижен в системе отсчёта, связанной с движущимся по улице автобусом (рис. 6). Тот же пассажир будет двигаться, как и весь автобус, в системе отсчёта, связанной с Землёй.

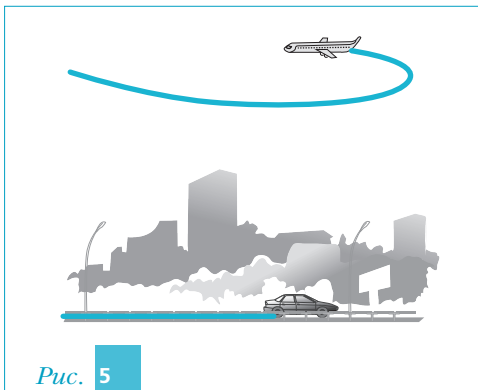


Рис. 5

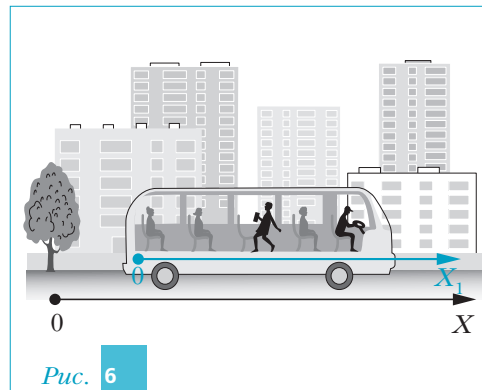


Рис. 6



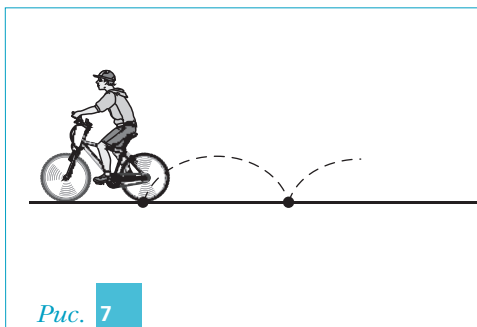


Рис. 7

Понятно, что от выбора системы отсчёта зависят не только законы движения тела, но и вид его траектории. Например, траектория точки обода вращающегося колеса относительно оси его вращения представляет собой окружность. На рис. 7 изображена траектория точки обода вращающегося колеса в другой системе отсчёта — связанной с Землёй.

### Вопросы

1. Что называют механическим движением?
2. Что изучает кинематика?
3. Что называют системой отсчёта?
- \*4. Может ли тело отсчёта быть точечным?
5. Что называют законами движения?
6. Сколько способов описания механического движения вам известно? Перечислите их.
7. Что называют траекторией точечного тела?
8. Какое движение тела называют прямолинейным? Какое — криволинейным?
9. Что означает утверждение, что движение тела относительно?

### Упражнения

1. Координаты движущегося по плоскости  $XU$  точечного тела изменяются по законам: 1)  $x(t) = 2 + 4t$ ;  $y(t) = 4 - 7t$ ; 2)  $x(t) = 3 + 6t$ ;  $y(t) = 5t$ , где  $x$  измеряют в метрах, а  $t$  — в секундах. Выполните следующие задания: а) определите для этих случаев начальные координаты тел, а также значения координат для моментов времени  $t = 1$  с и 2 с; б) постройте графики движения  $x(t)$  и  $y(t)$ ; в) получите уравнения траекторий  $y(x)$  для каждого из тел; г) постройте траектории для каждого из тел на плоскости  $XU$ .
2. На рис. 8 показаны графики движения точечного тела, движущегося по плоскости  $XU$ . Запишите законы движения  $x(t)$  и  $y(t)$  в аналитическом виде. Определите начальные координаты тела,

а также их значения для моментов времени  $t = 0,2$  с и  $0,4$  с. Получите уравнение траектории  $y(x)$ . Постройте траекторию на плоскости  $XY$ .

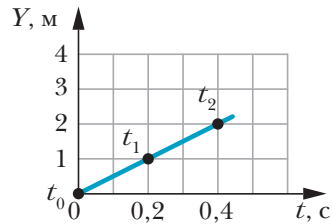
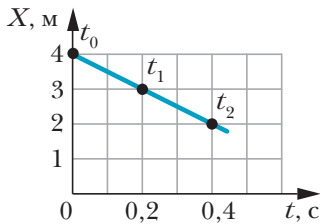


Рис. 8

## § 2 Перемещение. Путь

Рассмотрим тело, которое движется по криволинейной траектории. Пусть за промежуток времени от  $t_1$  до  $t_2 = t_1 + \Delta t$  тело перемещается из точки  $A$  с координатами  $(x_1; y_1)$  в точку  $B$  с координатами  $(x_2; y_2)$  (рис. 9). *Результат движения* за рассматриваемый промежуток време-

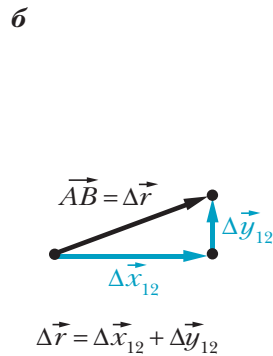
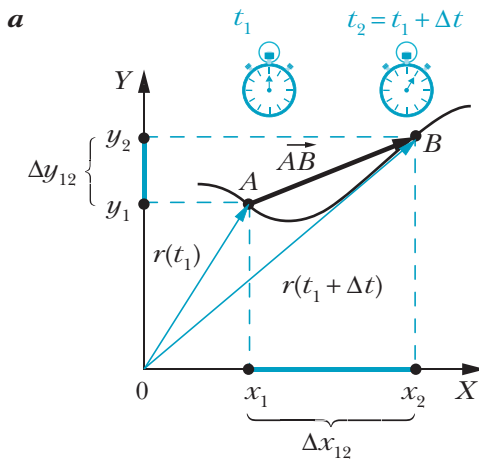


Рис. 9

ни  $\Delta t$  может быть задан векторной величиной — *перемещением* (вектором перемещения).


**Перемещением тела называют вектор, начало которого совпадает с начальным положением тела, а конец — с его конечным положением.**

В рассмотренном случае перемещение тела за время  $\Delta t$  представляет собой вектор  $\overline{AB}$  (см. рис. 9). Из рисунка видно, что радиус-вектор  $\vec{r}(t_1 + \Delta t)$ , задающий положение тела в конечный момент времени, равен сумме радиуса-вектора  $\vec{r}(t_1)$ , задающего начальное положение тела, и вектора перемещения  $\overline{AB}$ :

$$\vec{r}(t_1 + \Delta t) = \vec{r}(t_1) + \overline{AB}.$$

Следовательно, *вектор перемещения  $\overline{AB}$  за время  $\Delta t$  равен изменению  $\Delta\vec{r}$  радиуса-вектора за это время:*

$$\overline{AB} = \vec{r}(t_1 + \Delta t) - \vec{r}(t_1) = \Delta\vec{r}.$$

 Вектор перемещения  $\Delta\vec{r}$  показывает, в каком направлении и на какое расстояние перемещается тело за рассматриваемый промежуток времени.

От векторного описания движения тела легко перейти к координатному. Действительно, из рис. 9, а видно, что проекции вектора перемещения на координатные оси системы отсчёта равны соответствующим приращениям координат, т. е. разностям конечной и начальной координат по осям  $X$  и  $Y$ :

$$\Delta r_x = \Delta x_{12} = x_2 - x_1;$$

$$\Delta r_y = \Delta y_{12} = y_2 - y_1.$$

Таким образом, знак проекции перемещения показывает, увеличивается или уменьшается соответствующая координата. При этом модуль проекции перемещения на ось координат равен модулю изменения соответствующей координаты.

Можно совершить и обратный переход — от координатного способа описания движения перейти к векторному. Действительно, если известны приращения координат  $\Delta x_{12}$  и  $\Delta y_{12}$ , то известны векторы  $\Delta\vec{x}_{12}$  и  $\Delta\vec{y}_{12}$  перемещения проекций тела вдоль координатных осей. Используя правило сложения векторов (правило треугольника) легко убедиться в том, что перемещение  $\Delta\vec{r}$  тела равно сумме перемещений его проекций на координатные оси (см. рис. 9, б):

$$\Delta\vec{r} = \Delta\vec{x}_{12} + \Delta\vec{y}_{12}.$$

Перемещение – вектор. Поэтому последовательные перемещения тела можно складывать по правилам сложения векторов (по правилам треугольника и параллелограмма). Поясним сказанное на примере. Пусть тело за промежуток времени от  $t_0$  до  $t_1$  совершает перемещение  $\Delta\vec{r}_{01}$ . Затем за промежуток времени от  $t_1$  до  $t_2$  тело перемещается на  $\Delta\vec{r}_{12}$ . В этом случае результирующее перемещение  $\Delta\vec{r}_{02}$  за промежуток времени от  $t_0$  до  $t_2$  будет равно сумме перемещений  $\Delta\vec{r}_{01}$  и  $\Delta\vec{r}_{12}$  (рис. 10):  $\Delta\vec{r}_{02} = \Delta\vec{r}_{01} + \Delta\vec{r}_{12}$ .

Из рисунка видно, что при сложении перемещений их проекции также складываются. При этом складываются и соответствующие приращения координат.

В повседневной жизни для описания конечного результата движения вместо перемещения, векторной величины, часто используют скалярную величину – путь.

**Путь – это всё расстояние, пройденное телом за рассматриваемый промежуток времени.**

Обычно путь обозначают символом  $S$ .

Легко понять, что если тело движется по траектории в одном направлении, то путь равен длине участка траектории, пройденного телом за рассматриваемый промежуток времени.

Если же тело в процессе движения, не сходя с заданной траектории, разворачивается, т. е. изменяет направление своего движения на противоположное, то пройденный телом путь будет равен сумме длин всех участков траектории, по каждому из которых тело двигалось в одном направлении. Например, если вы по дороге из дома (точка  $A$ ) в школу (точка  $C$ ) в точке  $B$  вспомнили, что забыли рабочую тетрадь по физике, развернулись, пришли домой и вновь по той же тропинке пришли в школу, то ваш путь будет равен сумме длин участков траектории  $AB$ ,  $BA$  и  $AC$  (рис. 11).

Рассмотрим, как соотносятся путь и модуль перемещения тела.

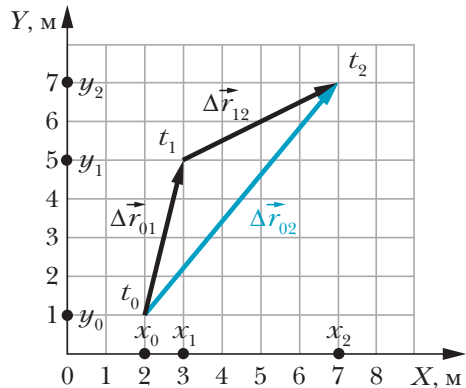


Рис. 10 При сложении перемещений их проекции складывают

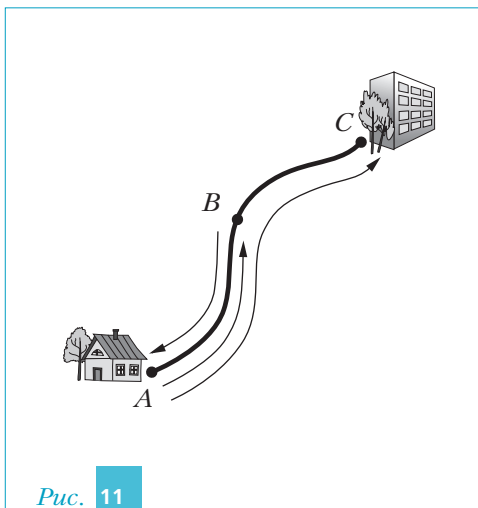


Рис. 11

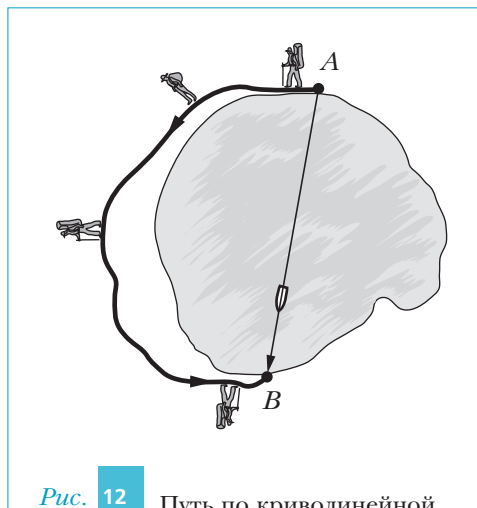


Рис. 12

Путь по криволинейной траектории между двумя точками больше модуля перемещения между этими точками

**!** При прямолинейном движении в одном направлении пройденный телом путь всегда равен модулю перемещения. Если же тело в процессе движения изменяет направление движения, то путь всегда больше модуля перемещения.


Это легко понять, обратившись к рис. 12, на котором показаны траектории лодки, движущейся по озеру прямолинейно из пункта  $A$  в пункт  $B$ , и туристов, идущих из  $A$  в  $B$  вдоль берега озера по криволинейной траектории. Путь лодки равен модулю её перемещения. Путь же, пройденный туристами, будет больше модуля их перемещения, так как путь равен длине криволинейной траектории  $AB$ . Ясно, что модуль перемещения  $\overline{AB}$  всегда меньше длины кривой линии, соединяющей точки  $A$  и  $B$ .

### Вопросы

1. Что называют перемещением тела?
2. Что такое путь?
3. Может ли путь быть положительным; нулевым; отрицательным? Ответ поясните.

4. Может ли модуль вектора перемещения быть больше пройденного телом пути; быть равным пройденному пути; быть меньше его? Приведите примеры, поясняющие ответ.

### Упражнения

1. Точечное тело движется вдоль оси  $X$  по закону: 1)  $x(t) = 3 + 6t$ ; 2)  $x(t) = 1 + 5t - t^2$ , где  $x$  измеряют в метрах, а  $t$  — в секундах. Определите координаты тела в моменты времени  $t = 0$  с, 1 с и 4 с. Определите модули и направления перемещения тела: а) за первую секунду движения; б) за первые четыре секунды движения; в) за промежуток времени с первой по четвёртую секунду движения. Изобразите эти векторы, соблюдая масштаб.
-  2. Координаты движущегося по плоскости точечного тела изменяются по законам:  $x(t) = 2 + 4t$ ,  $y(t) = 4 - 7t$ , где  $x$  и  $y$  измеряют в метрах, а  $t$  — в секундах. Изобразите на графике траекторию движения тела и векторы его перемещений за первую, за вторую секунды движения и за первые три секунды движения. Определите пройденные телом пути за указанные промежутки времени.

## § 3 Скорость

В предыдущем параграфе мы описывали результат движения тела за промежуток времени  $\Delta t$  двумя способами: с помощью скалярной величины — *пути* и векторной величины — *перемещения*. Однако знание этих величин не позволяет полностью охарактеризовать движение, например ответить на вопрос, как быстро происходит движение тела. Чтобы ответить на него, в физике вводят понятие *скорость*. Что же такое скорость?

Скорость — привычное для каждого понятие. Однако когда в обыденной жизни говорят, что, например, автомобиль движется со скоростью 60 километров в час, то с точки зрения строгой физической терминологии совершают ошибку. Под словом «скорость» в этом утверждении подразумевается другая физическая величина — *средняя путевая скорость*.

**Средней путевой скоростью** тела называют физическую величину, равную отношению пути  $S$ , пройденного телом за рассматриваемый промежуток времени  $\Delta t$ , к длительности этого промежутка.

$$v_{\text{ср. п}} = \frac{S}{\Delta t}$$

Обратим внимание на то, что путь  $S$  не имеет направления и является скалярной неотрицательной величиной. Поэтому и *средняя путевая скорость*  $v_{\text{ср. п}}$  всегда является скалярной неотрицательной величиной. Она не имеет направления, так как не является вектором.

Кроме средней путевой скорости, в физике вводят *среднюю скорость перемещения*, которую для краткости называют *средней скоростью*.

**Средней скоростью** тела называют физическую величину, равную отношению перемещения  $\Delta \vec{r}$ , совершённого телом за рассматриваемый промежуток времени  $\Delta t$ , к длительности этого промежутка.

$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Поскольку перемещение  $\Delta \vec{r}$  — вектор, то из определения следует, что *средняя скорость тоже вектор*. Направление вектора средней скорости  $\vec{v}_{\text{ср}}$  совпадает с направлением перемещения  $\Delta \vec{r}$ .

Наблюдая за показаниями спидометра в движущемся автомобиле, мы видим, что в каждый момент времени он показывает определённую величину, которая изменяется с течением времени. Это означает, что средние путевые скорости, измеренные за различные промежутки времени, отличаются друг от друга. Понятно, что отличаются друг от друга и средние скорости автомобиля за эти промежутки времени. Автомобиль мог поворачивать, изменяя направление движения. В этом случае средние скорости будут отличаться не только по модулю, но и по направлению. Таким образом, мы приходим к выводу, что *средняя скорость автомобиля всё время изменяется*. Как же тогда охарактеризовать скорость автомобиля? Можно ли дать определение, что такое скорость автомобиля в каждый конкретный момент времени  $t$ ?

Оказывается, можно. Для этого преобразуем определение средней скорости. Рассмотрим промежуток времени  $\Delta t$ , следующий сразу за интересующим нас моментом времени  $t$ . Определим среднюю скорость тела за этот промежуток времени. После этого уменьшим промежуток времени  $\Delta t$  и вновь определим скорость за уже меньший промежуток  $\Delta t$ . Будем повторять эту процедуру, уменьшая промежуток времени  $\Delta t$  до тех пор, пока он не станет достаточно малым. Под достаточно малым подразумевают на-