

ФИЗИКА



**БАЗОВЫЙ
УРОВЕНЬ**

9

УДК 373.167.1:53+53(075.3)

ББК 22.3я721

Ф50

Авторы: И. М. Перышкин, Е. М. Гутник, А. И. Иванов, М. А. Петрова

Учебник (4-е издание, стереотипное соответствует 3-му, переработанному) допущен к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования организациями, осуществляющими образовательную деятельность, в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 858 от 21.09.2022 г.

Издание выходит в pdf-формате.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Ответ на вопросы  ; обсуди с товарищами  ;

реши задачи из  УПРАЖНЕНИЯ ;

примени полученные знания  ЗАДАНИЕ :



— экспериментальное,



— исследовательское,



— проектное,



— графическое;

расширь свой кругозор  Это любопытно... ;

научись пользоваться приборами

 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Материал для учащихся, интересующихся физикой,
отмечен знаком .

Физика : 9-й класс : базовый уровень : учебник : издание
Ф50 в pdf-формате / И. М. Перышкин, Е. М. Гутник, А. И. Иванов,
М. А. Петрова. — 4-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2024. —
350, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-09-116506-7 (электр. изд.). — Текст : электронный.

ISBN 978-5-09-110834-7 (печ. изд.).

Содержание учебника полностью соответствует примерной рабочей программе. Специально созданный авторами аппарат усвоения знаний нацелен не только на достижение предметных и метапредметных результатов, но и на формирование естественно-научной грамотности. Особое внимание уделено использованию физических текстов для развития навыков смыслового чтения.

Разработан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования, утверждённого Приказом Министерства просвещения РФ № 287 от 31.05.2021 г.

УДК 373.167.1:53+53(075.3)

ББК 22.3я721

ISBN 978-5-09-116506-7 (электр. изд.)

ISBN 978-5-09-110834-7 (печ. изд.)

© АО «Издательство «Просвещение», 2021, 2023

© Художественное оформление.

АО «Издательство «Просвещение», 2021, 2023

Все права защищены

§ 1	Материальная точка. Система отсчёта	3
§ 2	Перемещение	9
§ 3	Определение координаты движущегося тела	11
§ 4	Перемещение при прямолинейном равномерном движении	15
§ 5	Характеристики неравномерного движения. Прямолинейное равноускоренное движение	21
§ 6	Скорость прямолинейного равноускоренного движения. График скорости	28
§ 7	Перемещение тела при прямолинейном равноускоренном движении	31
§ 8	Перемещение тела при равноускоренном движении без начальной скорости	34
§ 9	Скорость при криволинейном движении. Движение по окружности с постоянной по модулю скоростью ..	37
§ 10	Относительность движения	43
§ 11	Инерциальные системы отсчёта. Первый закон Ньютона	49
§ 12	Второй закон Ньютона	53
§ 13	Третий закон Ньютона	60
§ 14	Свободное падение тел	64
§ 15	Закон всемирного тяготения	70
§ 16	Ускорение свободного падения на Земле и других небесных телах	73
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Открытие планеты Нептун	76
§ 17	Сила упругости	77
§ 18	Вес тела, движущегося с ускорением	83
§ 19	Сила трения	87
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	О жидком трении и прыжках с парашютом	92
§ 20	Динамика криволинейного движения	93
✱ § 21	Искусственные спутники Земли	98
§ 22	Условия равновесия тел. Центр тяжести тела	104
§ 23	Виды равновесия тел	111
§ 24	Импульс тела. Закон сохранения импульса	115
§ 25	Реактивное движение. Ракеты	121
§ 26	Работа силы. Мощность	126
§ 27	Потенциальная и кинетическая энергия	131
§ 28	Закон сохранения механической энергии	135
	ИТОГИ ГЛАВЫ	140

§ 29	Колебательное движение. Свободные колебания	141
§ 30	Величины, характеризующие колебательное движение	146
§ 31	Гармонические колебания	151
§ 32	Затухающие колебания. Вынужденные колебания	156
§ 33	Резонанс	160
§ 34	Распространение колебаний в среде. Волны	163
§ 35	Длина волны. Скорость распространения волн	167
§ 36	Источники звука. Звуковые колебания	171
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО ...	
	Инfrasound	175
§ 37	Высота, тембр и громкость звука	176
§ 38	Распространение звука. Звуковые волны	180
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Измерение скорости звука	184
§ 39	Отражение звука. Звуковой резонанс	184
	ИТОГИ ГЛАВЫ	188

§ 40	Источники света. Распространение света	190
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Солнечные затмения	196
§ 41	Отражение света. Закон отражения света	197
§ 42	Плоское зеркало	199
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Получение изображений в нескольких зеркалах	202
§ 43	Преломление света. Закон преломления света.	
	Полное внутреннее отражение	203
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Миражи	208
§ 44	Линзы. Оптическая сила линзы	210
§ 45	Изображения, даваемые линзой	214
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Сферические зеркала	218
§ 46	Глаз и зрение	219
§ 47	Оптические приборы	223
§ 48	Интерференция и дифракция света	228
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Измерение скорости света	234
§ 49	Физический смысл показателя преломления	235
§ 50	Дисперсия света. Цвета тел	240
§ 51	Типы оптических спектров	247
§ 52	Электромагнитное поле. Электромагнитные волны	252
§ 53	Свойства электромагнитных волн	257
§ 54	Диапазоны электромагнитных волн	260
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Открытие рентгеновского излучения	266

§ 55	Развитие взглядов на природу света	267
	ИТОГИ ГЛАВЫ	270

ГЛАВА 4

СТРОЕНИЕ АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ АТОМНЫХ ЯДЕР

§ 56	Радиоактивность. Модели атомов	271
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Из истории открытия радиоактивности	277
§ 57	Поглощение и испускание света атомами. Происхождение линейчатых спектров	278
§ 58	Радиоактивные превращения атомных ядер. Закон радиоактивного распада	280
§ 59	Экспериментальные методы исследования частиц	285
§ 60	Открытие протона и нейтрона	289
§ 61	Состав атомного ядра. Ядерные силы	292
§ 62	Энергия связи. Дефект массы	296
§ 63	Деление ядер урана. Цепная реакция	300
§ 64	Ядерный реактор. Преобразование внутренней энергии атомных ядер в электрическую энергию	305
§ 65	Атомная энергетика	308
§ 66	Биологическое действие радиации	311
§ 67	Термоядерная реакция	315
	ЭТО ЛЮБОПЫТНО...	
	Элементарные частицы. Античастицы	319
	ИТОГИ ГЛАВЫ	320

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

№ 1.	Исследование равноускоренного движения без начальной скорости	321
№ 2.	Измерение ускорения свободного падения	322
№ 3.	Определение жёсткости пружины	324
№ 4.	Исследование зависимости периода и частоты свободных колебаний нитяного маятника от его длины	326
№ 5.	Изучение свойств изображения в собирающей линзе. Измерение оптической силы линзы	328
№ 6.	Наблюдение сплошного и линейчатых спектров испускания ...	329
№ 7.	Измерение естественного радиационного фона дозиметром	330
№ 8.	Изучение деления ядра атома урана по фотографии треков	330
№ 9.	Изучение треков заряженных частиц по готовым фотографиям	331
	ЗАДАЧИ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ	333
	ОТВЕТЫ	340
	ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	342
	ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА	345
	ПРИЛОЖЕНИЕ. ВЕКТОРНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ДЕЙСТВИЯ НАД НИМИ	346

Глава 1

ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕЛ

§ 1

МАТЕРИАЛЬНАЯ ТОЧКА. СИСТЕМА ОТСЧЁТА

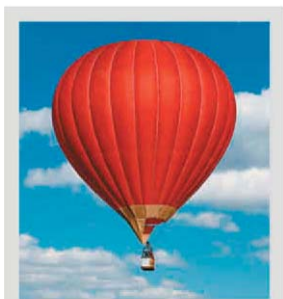
В окружающем нас мире всё находится в непрерывном движении. Под движением в общем смысле этого слова подразумевают любые изменения, происходящие в природе. Наиболее простым видом движения является *механическое движение*.

Из курса физики 7 класса вы знаете, что *механическим движением тела называют изменение его положения в пространстве относительно других тел, происходящее с течением времени*.

При решении различных научных и практических задач, связанных с механическим движением тел, нужно уметь описывать это движение, т. е. определять скорость, пройденный путь, положение тела и некоторые другие характеристики движения для любого момента времени.

Например, запуская летательный аппарат с Земли на другую планету, учёные должны предварительно рассчитать, где будет находиться эта планета относительно Земли в момент посадки на неё аппарата. А для этого необходимо выяснить, как меняются с течением времени направление и модуль скорости этой планеты и по какой траектории она движется.

Основной задачей механики является определение положения тела в любой момент времени. Одно и то же движение, рассматриваемое относительно разных тел, будет описы-



Механическое
движение
воздушного шара

ваться по-разному. Представим себе пассажира, сидящего в вагоне движущегося поезда. Относительно попутчика, сидящего напротив, он неподвижен. Относительно стрелочника и машиниста встречного поезда — движется, причём с разной скоростью.

Таким образом, желая определить, движется ли тело и как оно движется, мы должны указать тело, относительно которого рассматривается движение, — *тело отсчёта*.

Из курса математики вы знаете, что положение точки можно задать с помощью координат. Если точка движется прямолинейно, достаточно связать с телом отсчёта одну координатную ось, направленную вдоль линии движения (рис. 1, а). При этом положение точки определяется одной координатой. Если точка движется в пределах плоскости, её положение однозначно задаётся двумя координатами. В этом случае с телом отсчёта связывают две взаимно перпендикулярные координатные оси (рис. 1, б). Если же необходимо описать движение точки в пространстве, вводят трёхмерную систему координат (рис. 1, в). Но как задать положение тела, имеющего размеры? Ведь каждая точка этого тела будет иметь свои собственные координаты.

Оказывается, во многих случаях вместо движения реального тела можно рассматривать движение так называемой *материальной точки*, т. е. точки, обладающей массой этого тела.

Для материальной точки можно однозначно определить координаты, скорость и другие физические величины, так как она не имеет размеров.

Материальных точек нет в природе, это модель, использование которой упрощает решение многих задач и при этом позволяет получить достаточно точные результаты. Метод моделирования мы применяли и ранее, например, изучая взаимодействие заряженных тел, мы использовали модель точечного заряда.

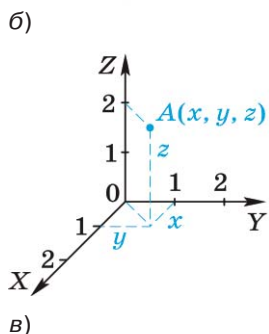
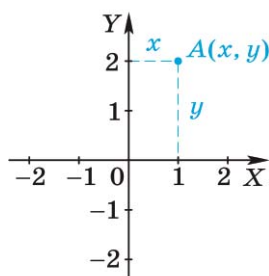
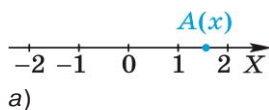


Рис. 1. Положение точки можно задать с помощью координатной прямой или прямоугольной системы координат



Материальными точками считают планеты при изучении их движения вокруг Солнца

Тело можно считать материальной точкой в тех случаях, когда его размерами можно пренебречь, поскольку они несущественны в условиях решаемой задачи.

Практически всякое тело можно рассматривать как материальную точку в тех случаях, когда расстояния, проходимые телом, очень велики по сравнению с его размерами.

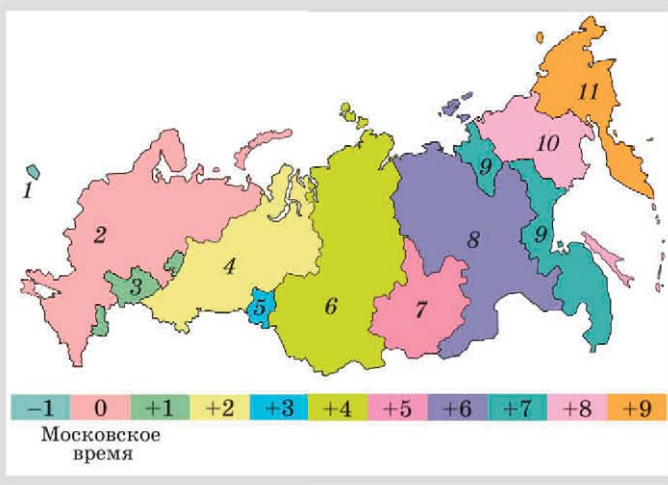
Например, материальной точкой считают Землю при изучении её движения вокруг Солнца. В данном случае различия в движении разных точек планеты, вызванные её суточным вращением, не влияют на величины, описывающие годовое движение.

В других условиях к тому же телу нельзя применять модель материальной точки.

Так, при решении задач, связанных с суточным вращением Земли (например, при определении времени восхода солнца в разных местах поверхности земного шара), считать планету материальной точкой нельзя, так как результат задачи зависит от размеров планеты и скорости движения точек её поверхности. Например, во Владивостокской часовой зоне солнце взойдёт на 2 ч позже, в Иркутской — на 4 ч поз-

Часовые зоны России:

- 1** — Калининградская (–1);
- 2** — Московская (0);
- 3** — Самарская (+1);
- 4** — Екатеринбургская (+2);
- 5** — Омская (+3);
- 6** — Красноярская (+4);
- 7** — Иркутская (+5);
- 8** — Якутская (+6);
- 9** — Владивостокская (+7);
- 10** — Магаданская (+8);
- 11** — Камчатская (+9)



Границы России даны на октябрь 2022 г.



За материальную точку можно принять самолёт, летящий из одного города в другой

же, а в Московской — на 9 ч позже, чем в Камчатской.

За материальную точку правомерно принять самолёт, если требуется, например, определить среднюю скорость его движения на пути из Москвы в Новосибирск. Но при вычислении силы сопротивления воздуха, действующей на летящий самолёт, считать его материальной точкой нельзя, поскольку сила сопротивления зависит от формы и скорости движения самолёта.

Тело, движущееся *поступательно*¹, можно принимать за материальную точку даже в том случае, если его размеры соизмеримы с проходимыми им расстояниями. Например, поступательно движется человек, стоящий на ступеньке движущегося эскалатора (рис. 2, а). В любой момент времени все точки тела человека движутся одинаково. Поэтому если мы хотим описать движение человека, то достаточно рассмотреть движение только одной его точки. При этом решение задачи значительно упрощается.

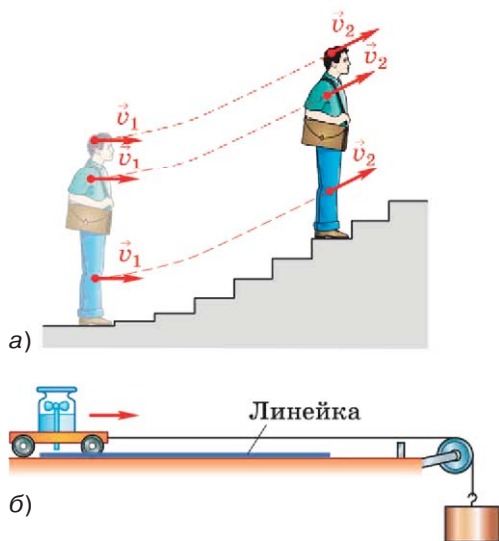


Рис. 2. При поступательном движении тела все его точки движутся одинаково

Рассмотрим движение тележки с капельницей. Положение тележки (рис. 2, б), движущейся по столу прямолинейно и поступательно, можно определить с помощью линейки, расположенной вдоль траектории дви-

¹ Поступательное движение — движение тела, при котором прямая, соединяющая любые две точки этого тела, перемещается, оставаясь всё время параллельной своему первоначальному направлению. Поступательным может быть как прямолинейное, так и криволинейное движение. Например, поступательно движется кабина колеса обозрения, ящик, выдвигаемый из стола.



Система отсчёта:
тело отсчёта —
здание речного
вокзала;
прямоугольная система
координат x, y ;
часы

жения (тележка с капельницей принимается за материальную точку). Линейку в этом опыте удобно принять за тело отсчёта, а её шкала может служить координатной осью. Положение тележки с капельницей будет определяться относительно нулевого деления линейки — *начала отсчёта*.

Однако для описания движения тележки не достаточно просто фиксировать её положение в пространстве, необходимо определять положение *в зависимости от времени*. Это значит, что помимо линейки понадобится прибор для измерения времени — **часы**.

В данном случае роль такого прибора выполняет капельница, из которой через равные промежутки времени падают капли. Поворачивая кран, можно добиться того, чтобы капли падали с интервалом, например, 1 с. Посчитав число промежутков между следами капель на линейке, можно определить соответствующий промежуток времени.

Из приведённых примеров следует, что для определения положения движущегося тела в любой момент времени необходимы тело отсчёта, связанная с ним система координат и прибор для измерения времени.

Система координат, тело отсчёта, с которым она связана, и прибор для измерения времени образуют систему отсчёта, относительно которой рассматривается движение тела.

Конечно, во многих случаях нельзя непосредственно измерить координаты движущегося тела в любой момент времени. У нас нет реальной возможности, например, расположить измерительную ленту и расставить наблюдателей с часами вдоль многокилометрового пути движущегося автомобиля, плывущего по океану лайнера, летящего самолёта, снаряда, вылетевшего из артиллерийского орудия, различ-

ных небесных тел, движение которых мы наблюдаем, и т. д.

Тем не менее знание законов физики позволяет определить координаты тел, движущихся в различных системах отсчёта, в частности в системе отсчёта, связанной с Землёй.



- 1.** В чём заключается основная задача механики? **2.** С какой целью используется понятие «материальная точка»? **3.** В каких случаях к движущемуся телу можно применить модель материальной точки? **4.** Приведите пример, показывающий, что одно и то же тело в одной ситуации можно считать материальной точкой, а в другой — нет. **5.** В каком случае положение движущегося тела можно задать с помощью одной координатной оси? **6.** Что такое система отсчёта?



Мимо стоящего автомобиля проезжает колонна велосипедистов, движущихся с одинаковой скоростью. Двигается ли каждый из велосипедистов относительно автомобиля; относительно соседнего велосипедиста? Двигается ли автомобиль относительно велосипедиста?



УПРАЖНЕНИЕ 1

1. Можно ли считать автомобиль материальной точкой при определении пути, который он прошёл за 2 ч, двигаясь со средней скоростью, равной 80 км/ч; при обгоне им другого автомобиля?
2. Самолёт совершает перелёт из Москвы во Владивосток. Может ли рассматривать самолёт как материальную точку диспетчер, наблюдающий за его движением; пассажир этого самолёта?
3. Когда говорят о скорости машины, поезда и других транспортных средств, тело отсчёта обычно не указывают. Что подразумевают в этом случае под телом отсчёта?
4. Мальчик стоял на земле и наблюдал, как его младшая сестра каталась на карусели. После катания девочка сказала брату, что и он сам, и дома, и деревья быстро проносились мимо неё. Мальчик же стал утверждать, что он вместе с домами и деревьями был неподвижен, а двигалась сестра. Относительно каких тел отсчёта рассматривали движение девочка и мальчик? Объясните, кто прав в споре.
5. Относительно какого тела отсчёта рассматривают движение, когда говорят: а) скорость ветра равна 5 м/с; б) бревно плывёт по течению реки, поэтому его скорость равна нулю; в) скорость плывущего по реке дерева равна скорости течения воды в реке; г) любая точка колеса движущегося велосипеда описывает окружность; д) солнце утром восходит на востоке, в течение дня движется по небу, а вечером заходит на западе?



За время взлёта самолёт проходит путь, равный длине траектории его движения от земли до верхней точки

До сих пор при решении многих задач, связанных с движением различных тел, мы пользовались физической величиной, называемой «путь». Под путём подразумевалась сумма длин всех участков траектории, пройденных телом за рассматриваемый промежуток времени.

Путь — *скалярная величина* (т. е. величина, не имеющая направления).

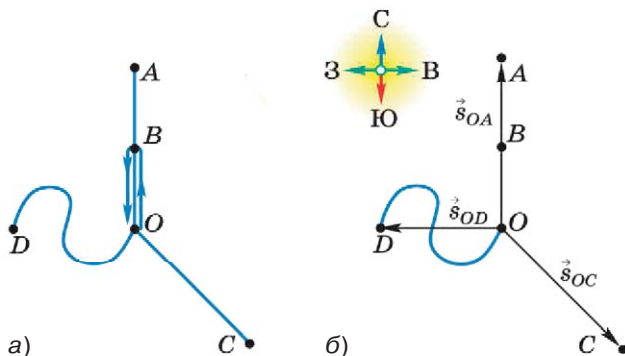
Для решения различных практических задач в разных сферах деятельности (например, в диспетчерской службе наземного и воздушного транспорта, в космонавтике, астрономии и др.) необходимо уметь рассчитывать положение тела в заданный момент времени.

Покажем, что не всегда можно решить такую задачу, даже зная, какой путь прошло тело за данный промежуток времени. Для этого обратимся к рисунку 3, а.

Допустим, нам известно, что некоторое тело (материальная точка) начинает двигаться из точки O и за 1 ч проходит путь, равный 20 км.

Для ответа на вопрос, где будет находиться это тело спустя 1 ч после его выхода из точки O , у нас не хватает информации о направлении его движения. Тело могло, двигаясь прямолинейно в северном направлении, попасть в точку A , находящуюся на расстоянии 20 км от точки O . Могло, дойдя до точки B , находящейся на рас-

Рис. 3. Знание пройденного телом пути не является достаточным для определения конечного положения тела



стоянии 10 км от точки O , повернуть на юг и вернуться в точку O . При заданном значении пути тело также могло оказаться и в точке C , если бы оно двигалось прямолинейно на юго-восток, и в точке D , если бы его движение происходило по изображённой криволинейной траектории.

Чтобы избежать такой неопределённости, для нахождения положения тела в пространстве в заданный момент времени вводят физическую величину, называемую *перемещением*.

Перемещением тела (материальной точки) называют вектор, соединяющий начальное положение тела с его последующим положением.

Согласно определению, перемещение — *векторная величина* (т. е. величина, имеющая, кроме числового значения, ещё и направление). Оно обозначается $\vec{s}$, т. е. той же буквой, что и путь, только со стрелкой над ней. Единицей модуля перемещения в СИ¹, как и пути, является *метр*. На практике используются и другие единицы длины, например километр, миля и т. д.

На рисунке 3, б показаны векторы перемещений, которые совершило бы тело, если бы прошло 20 км следующим образом: по прямолинейной траектории OA в северном направлении (вектор $\vec{s}_{OA}$), по прямолинейной траектории OC в юго-восточном направлении (вектор $\vec{s}_{OC}$) и по криволинейной траектории OD (вектор $\vec{s}_{OD}$). А если бы тело прошло 20 км, дойдя до точки B и вернувшись обратно в точку O , то в этом случае его перемещение было бы равно нулю.

Зная начальное положение и вектор перемещения тела, т. е. его направление и модуль, можно однозначно определить, где это тело на-

¹ Напомним, что в СИ (Международная система единиц) единицей массы является килограмм (кг), длины — метр (м), времени — секунда (с). Их называют *основными*, так как они выбраны независимо от единиц других величин. Единицы, определяемые через основные, называют *производными*. Примерами производных единиц СИ являются единицы скорости (м/с), плотности (кг/м³) и др.

ходится. Например, если известно, что вектор перемещения тела, вышедшего из точки O , направлен на север, а его модуль равен 20 км, то мы с уверенностью можем утверждать, что тело находится в точке A (см. рис. 3, б).

Таким образом, на чертеже можно найти конечное положение тела, отложив от его начального положения вектор перемещения.



1. Всегда ли можно определить положение тела в заданный момент времени t , зная начальное положение этого тела (при $t_0 = 0$) и путь, пройденный им за промежуток времени t ? Ответ подтвердите примерами.
2. Что называют перемещением тела (материальной точки)?
3. Можно ли однозначно определить положение тела в заданный момент времени t , зная начальное положение этого тела и вектор перемещения, совершённого телом за промежуток времени t ? Ответ подтвердите примерами.
4. Может ли быть равным нулю путь; перемещение? Обоснуйте свой ответ.



УПРАЖНЕНИЕ 2

1. Какую физическую величину определяет водитель автомобиля по показаниям одометра — пройденный путь или модуль перемещения? Если вам неизвестно значение слова «одометр», найдите его в Интернете.
2. Как должен двигаться автомобиль в течение некоторого промежутка времени, чтобы по одометру можно было определить модуль перемещения, совершённого автомобилем за этот промежуток времени? Объясните свой ответ.
3. Турист прошёл 2 км строго на север, затем 3 км на восток и 2 км на юг. Сделайте чертёж, выбрав масштаб: в двух клетках 0,5 км, и найдите путь, пройденный телом, и перемещение тела.



ЗАДАНИЕ 1

- Используя приложение «Карты» в мобильном телефоне, охарактеризуйте своё движение в течение дня: определите траекторию, путь, перемещение за день, вид движения.

§ 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТЫ ДВИЖУЩЕГОСЯ ТЕЛА

Зная начальное положение тела и его перемещение за некоторый промежуток времени, можно графически найти положение тела.

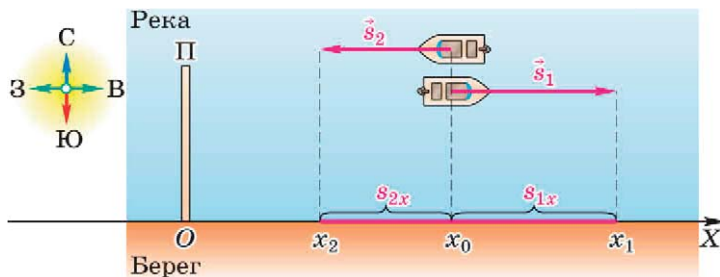


Рис. 4. Определение координаты движущегося тела

Но в большинстве случаев необходимо *вычислить* положение тела, т. е. определить его координаты.

Покажем, как определить координату движущегося тела, зная координату его начального положения и вектор перемещения. Для этого рассмотрим следующую ситуацию.

Два катера идут по реке в противоположных направлениях и встречаются в 100 км к востоку от пристани П (рис. 4). Продолжая движение, за некоторый промежуток времени t первый катер переместился от места встречи на 60 км к востоку, а второй — на 50 км к западу. Определим координаты каждого катера относительно пристани и расстояние между катерами через промежуток времени t после их встречи.

Так как катера движутся поступательно, можно считать их материальными точками.

Проведём координатную ось OX параллельно прямой, вдоль которой движутся катера, и направим её на восток. Начало этой оси ($x = 0$) — точку O — совместим с пристанью, приняв её за тело отсчёта (поскольку требуется определить положение катеров по отношению к пристани). Координату места встречи катеров обозначим x_0 .

Опустим перпендикуляры от начала и конца векторов перемещения $\vec{s}_1$ и $\vec{s}_2$ на ось OX , получим отрезки s_{1x} и s_{2x} , которые являются *проекциями указанных векторов*¹ на ось OX .

¹ Такое действие называют *проецированием*. Действия с векторными величинами рассмотрены в Приложении.

Проекция вектора на ось считается положительной, если вектор сонаправлен с этой осью, и отрицательной, если вектор направлен противоположно оси.

Значит, в данном случае $s_{1x} > 0$, а $s_{2x} < 0$.

Из рисунка 4 видно, что координаты x_1 и x_2 можно найти следующим образом:

$$x_1 = x_0 + s_{1x}, \quad (1)$$

$$x_2 = x_0 + s_{2x}. \quad (2)$$

Расстояние l между двумя точками, как известно, равно модулю разности их координат:

$$l = |x_1 - x_2|. \quad (3)$$

По уравнениям (1) и (2) можно рассчитать искомые координаты x_1 и x_2 . Но какие числа следует подставить в уравнения (1) и (2) вместо символов x_0 , s_{1x} и s_{2x} ?

Согласно условию задачи, катера встретились на расстоянии 100 км от пристани, значит, длина отрезка Ox_0 равна 100 км. Как видно из рисунка 4, координата x_0 находится на положительной полуоси OX , т. е. $x_0 > 0$. Значит, $x_0 = 100$ км.

Поскольку ось OX параллельна векторам перемещений катеров, длины проекций s_{1x} и s_{2x} равны соответственно длинам векторов $\vec{s}_1$ и $\vec{s}_2$ (как противоположные стороны построенных на них прямоугольников). А это означает, что *модуль* каждой проекции равен *модулю* соответствующего ей вектора.

Указанные в задаче расстояния (60 и 50 км), на которые сместились катера за время t , представляют собой *модули векторов их перемещений*. Значит, модуль проекции s_{1x} равен 60 км, а модуль проекции s_{2x} равен 50 км.

Поскольку проекция s_{1x} положительна, то можно записать: $s_{1x} = 60$ км. Но проекция s_{2x} отрицательна, поэтому $s_{2x} = -50$ км.

Теперь запишем условие задачи и решим её.

Дано:

$$x_0 = 100 \text{ км}$$

$$s_{1x} = 60 \text{ км}$$

$$s_{2x} = -50 \text{ км}$$

$$x_1 = ?$$

$$x_2 = ?$$

$$l = ?$$

Решение:

Координаты каждого катера и расстояние между ними:

$$x_1 = x_0 + s_{1x},$$

$$x_2 = x_0 + s_{2x},$$

$$l = |x_1 - x_2|.$$

$$x_1 = 100 \text{ км} + 60 \text{ км} = 160 \text{ км},$$

$$x_2 = 100 \text{ км} - 50 \text{ км} = 50 \text{ км},$$

$$l = |160 \text{ км} - 50 \text{ км}| = 110 \text{ км}.$$

Ответ: $x_1 = 160 \text{ км}$, $x_2 = 50 \text{ км}$, $l = 110 \text{ км}$.

Мы получили формулу, которая позволяет определить координату тела, если известны его координата в начальный момент времени и проекция вектора перемещения.

$$x = x_0 + s_x$$

$$x = x_0 + s_x.$$



1. При каком условии проекция вектора на ось будет положительной, а при каком — отрицательной? **2.** Запишите уравнение, с помощью которого можно определить координату тела, зная координату его начального положения и проекцию вектора перемещения.



УПРАЖНЕНИЕ 3

- Мотоциклист, переехав через мост, движется по прямолинейному участку дороги. У светофора, находящегося на расстоянии 10 км от моста, мотоциклист встречает велосипедиста. За 0,1 с с момента встречи мотоциклист перемещается на 6 км, а велосипедист — на 2 км от светофора (при этом оба они продолжают двигаться прямолинейно в противоположных направлениях).

Определите координаты мотоциклиста и велосипедиста и расстояние между ними спустя 0,1 с после их встречи.

Указание: начертите ось X , направив её в сторону движения мотоциклиста и приняв за тело отсчёта мост. Обозначьте координату светофора (x_c), координаты велосипедиста (x_b) и мотоциклиста (x_m), которые они имели через 0,1 с после встречи. Над осью начертите и обозначьте векторы перемещений велосипедиста ($\vec{s}_b$) и мотоциклиста ($\vec{s}_m$), а на оси — проекции этих векторов (s_{bx} и s_{mx}).

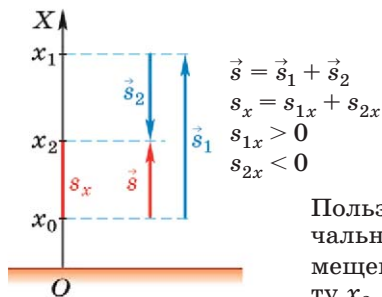


Рис. 5

2. Мальчик держит в руках мяч на высоте 1 м от поверхности Земли. Затем он подбрасывает мяч вертикально вверх. За некоторый промежуток времени t мяч успевает подняться на 2,4 м от своего первоначального положения, достигнув при этом точки наибольшего подъёма, и опуститься от этой точки на 1,25 м.

Пользуясь рисунком 5, определите: а) координату x_0 начального положения мяча; б) проекцию s_x вектора перемещения $\vec{s}$, совершённого мячом за время t ; в) координату x_2 , которую имел мяч через промежуток времени t после броска.

3. Тело, начав движение из точки A с координатами $x_A = 2$ м, $y_A = 3$ м, переместилось в точку B с координатами $x_B = 2$ м, $y_B = -2$ м, затем в точку C с координатами $x_C = -1$ м, $y_C = -2$ м и закончило движение в точке D с координатами $x_D = -1$ м, $y_D = 3$ м. Сделайте чертёж, выбрав масштаб: в двух клетках 1 м. Найдите проекции перемещения на оси координат и модули перемещения на участках AB , BC , CD , а также модуль результирующего перемещения тела.

§ 4

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПРИ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ

Во всех рассмотренных нами примерах и задачах по определению координат тела вектор перемещения был известен (т. е. были известны его модуль и направление).

А как найти вектор перемещения, если он не задан?

Проще всего получить формулу для определения вектора перемещения для тела, движущегося прямолинейно и *равномерно* (т. е. совершающего за любые равные промежутки времени равные перемещения).

Согласно определению,

скорость равномерного прямолинейного движения — это постоянная векторная величина, равная отношению перемещения тела за любой промежуток времени к значению этого промежутка.

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}. \quad (1)$$

$$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$$

Из формулы (1) можно найти перемещение для прямолинейного равномерного движения, если известна скорость движения тела:

$$\vec{s} = \vec{v}t. \quad (2)$$

По уравнениям, записанным в векторной форме, можно судить о том, как векторные величины направлены по отношению друг к другу. Например, формулы (1) и (2) свидетельствуют о том, что при прямолинейном равномерном движении векторы скорости и перемещения направлены в одну и ту же сторону, так как промежуток времени t (длительность движения) величина положительная.

Для расчёта перемещения применяют формулу, в которую входят проекции векторов на координатную ось:

$$s_x = v_x t. \quad (3)$$

Тогда формулу для определения координаты тела в любой момент времени можно записать так:

$$x = x_0 + v_x t.$$

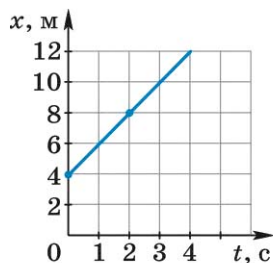
$$x = x_0 + v_x t$$

Мы получили зависимость координаты от времени — *закон движения* тела. Зависимость $x(t)$ может быть выражена не только алгебраически, но и графически.

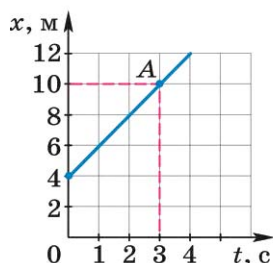
Из курса математики нам известна линейная функция $y = kx + b$, где x — аргумент, k — постоянный коэффициент, b — свободный член. Графиком этой функции является прямая.

Функция $x = x_0 + v_x t$ (или $x = v_x t + x_0$) тоже линейная с аргументом t , постоянным коэффициентом v_x и свободным членом x_0 . Значит, её график — прямая.

Построим для примера график зависимости координаты от времени для тела, движущегося равномерно прямолинейно в положительном направлении оси X со скоростью 2 м/с, из точки с координатой 4 м. Поскольку скорость тела



а)



б)

Рис. 6. График функции $x = 4 + 2t$ (м)

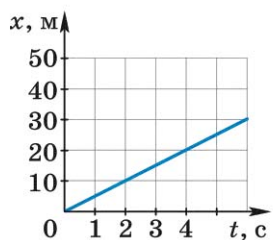


Рис. 7

сонаправлена с осью X , проекция скорости на эту ось будет положительна.

Запишем закон движения для данного случая: $x = 4 + 2t$ (м).

Для построения прямой достаточно знать координаты двух точек. Например, при $t = 0$ $x = 4$ м, при $t = 2$ с $x = 8$ м. Отметим точки на координатной плоскости и проведём через них прямую (рис. 6, а). График зависимости $x(t)$ называют *графиком движения*.

По графику, как и по формуле, можно найти положение тела в любой момент времени. Найдём координату тела через 3 с после начала движения. Для этого из точки с координатой $t = 3$ с (рис. 6, б) восставим перпендикуляр до пересечения с графиком (точка А). Из точки А опустим перпендикуляр на ось x и найдём, что через 3 с после начала движения координата тела $x = 10$ м.

Пример. Тело движется прямолинейно. Пользуясь графиком зависимости $x(t)$ (рис. 7), охарактеризуйте движение тела и запишите закон его движения.

Решение. Из графика движения следует, что тело движется равномерно в положительном направлении оси X . Для того чтобы записать закон движения тела, нужно определить его начальную координату и проекцию скорости. Начальная координата тела (при $t = 0$) $x_0 = 0$.

Поскольку тело движется в положительном направлении оси X , проекция скорости $v_x > 0$. Выберем произвольный момент времени, например 2 с, и, определив проекцию совершенного за это время перемещения, рассчитаем проекцию скорости:

$$v_x = \frac{10 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 5 \text{ м/с}.$$

Запишем закон движения в общем виде

$$x = x_0 + v_x t.$$

С учётом данных, полученных при анализе графика, выражение примет вид:

$$x = 5t \text{ (м)}.$$

Ответ: $x = 5t \text{ (м)}$.

По знаку проекции можно судить о том, как направлен соответствующий ей вектор по отношению к выбранной оси. Но если при решении задачи на прямолинейное движение нас не интересует направление векторов перемещения и скорости, то можно воспользоваться формулой, в которую входят их модули:

$$s = vt. \quad (4)$$

Формула (4) вам давно знакома — вы часто использовали её при решении задач по физике и математике. Только под буквой s подразумевался пройденный телом путь. Почему же теперь мы говорим, что s — это модуль вектора перемещения?

Дело в том, что *при прямолинейном движении в одном направлении модуль вектора перемещения, совершённого телом за некоторый промежуток времени, равен пути, пройденному этим телом за тот же промежуток времени.*

Наряду с графиком движения используют и график модуля вектора скорости.

На рисунке 8 представлен график зависимости *модуля вектора скорости v от времени t* при равномерном движении тела. По графику зависимости $v(t)$ можно определить модуль перемещения s за некоторый промежуток времени. Действительно, модуль вектора перемещения s , совершённого телом, движущимся прямолинейно и равномерно, за промежуток времени t_1 , определяется по формуле:

$$s = v_1 t_1.$$

Произведению $v_1 t_1$ равна также и площадь S закрашенного прямоугольника (см. рис. 8), так как отрезки v_1 и t_1 (или, что то же самое,

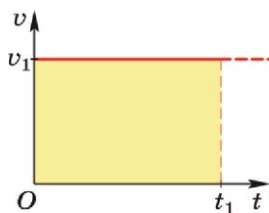


Рис. 8. Определение модуля вектора перемещения тела, движущегося прямолинейно равномерно

Ov_1 и Ot_1) являются смежными сторонами этого прямоугольника.

Таким образом, при прямолинейном равномерном движении тела модуль вектора его перемещения численно равен площади прямоугольника, заключённого между графиком скорости, осью Ot и перпендикулярами к этой оси, восставленными из точек, соответствующих моментам начала и конца наблюдения (в данном случае из точек O и t_1). Часто эту площадь называют площадью под графиком скорости.

Поскольку при решении многих задач придётся иметь дело не только с модулями, но и с проекциями векторов, рассмотрим график зависимости проекции вектора скорости от времени.

Для этого обратимся ещё раз к задаче с двумя катерами (см. § 3, рис. 4). Пусть промежуток времени t , за который катера совершили указанные перемещения, равен 2 ч. За это время первый катер переместился на 60 км, а второй — на 50 км. Значит, модуль вектора скорости первого катера равен 30 км/ч, а второго — 25 км/ч.

Так как проекции векторов скорости и перемещения первого катера положительны, а второго — отрицательны, то $v_{1x} = 30$ км/ч, $s_{1x} = 60$ км, $v_{2x} = -25$ км/ч, $s_{2x} = -50$ км.

Графики зависимости проекций скоростей катеров от времени представлены на рисунке 9. Модули проекций перемещений численно равны площадям закрашенных прямоугольников.

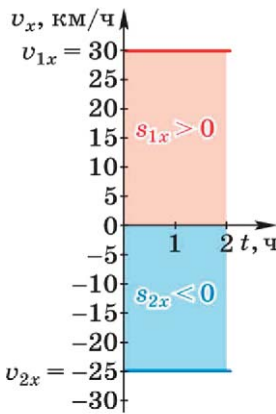


Рис. 9. Графики зависимости проекций скоростей катеров от времени



1. Что называют скоростью равномерного прямолинейного движения?
2. Как найти проекцию вектора перемещения тела, движущегося прямолинейно и равномерно, если известны проекция вектора скорости и время движения?
3. При каком условии модуль вектора перемещения, совершённого телом за некоторый промежуток времени, равен пути, пройденному телом за тот же промежуток времени?
4. Может ли модуль вектора перемещения быть меньше пути, пройденного за тот же промежуток времени? Приведите примеры.
5. Какую информацию о движении двух тел можно получить по графикам, изображённым на рисунке 9?
6. Является ли движение тела прямолинейным равномерным, если за любые равные промежутки времени оно проходит одинаковые пути?



1. Проекция на ось X перемещения тела, движущегося параллельно этой оси, может быть равна модулю перемещения или модулю перемещения с обратным знаком. Объясните, от чего это зависит.

2. Два мотоцикла движутся прямолинейно и равномерно. Скорость движения первого мотоцикла больше скорости движения второго. Чем будут отличаться их графики зависимости: а) путей от времени; б) скоростей от времени?



УПРАЖНЕНИЕ 4

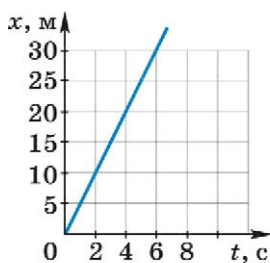


Рис. 10

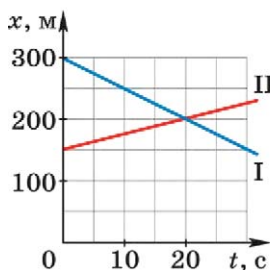


Рис. 11

1. Тело движется вдоль оси X . Определите по графику движения (рис. 10) путь, пройденный телом за 5 с, и скорость движения тела. Запишите закон движения тела.
2. Охарактеризуйте движение тел, графики движения которых представлены на рисунке 11. По графикам определите начальные координаты тел, направление движения тел, проекции скоростей. Что означает точка пересечения графиков? Напишите закон движения для каждого тела.
3. Может ли график зависимости модуля вектора скорости от времени располагаться под осью Ot (т. е. в области отрицательных значений оси скорости)?
4. Постройте графики зависимости проекций векторов скорости от времени для трёх автомобилей, движущихся прямолинейно и равномерно, если два из них едут в одном направлении, а третий — навстречу им. Скорость первого автомобиля равна 60 км/ч, второго — 80 км/ч, а третьего — 90 км/ч.
5. Координата тела, движущегося прямолинейно и равномерно, изменяется по закону $x = 6 + 3t$ (м). Постройте графики зависимости от времени координаты и пути. Сравните полученные графики.



ЗАДАНИЕ 2

- Возьмите высокую бутылку (удобна пластиковая бутылка вместимостью 1,5—2 л). Наклейте на неё по всей высоте вертикальную бумажную полоску с сантиметровыми делениями. Бросьте на дно бутылки небольшой кусочек пробки или спички. (Это тело, движение которого вы будете исследовать.) Наполняйте бутылку водой, подставляя её под очень тонкую струйку. Определите положение тела через 10, 20, 30 с и т. д. Запишите результаты в таблицу. Постройте график зависимости пути тела от времени. Рассчитайте скорость тела.

Равномерное движение встречается в жизни довольно редко. Как правило, за равные промежутки времени тело проходит разные пути. Движение тела в этом случае является неравномерным.

Для характеристики неравномерного движения в некоторых случаях пользуются *средней путевой скоростью*.

Средней путевой скоростью называют физическую величину, равную отношению пути к промежутку времени, за который этот путь был пройден.

$$v_{\text{ср. п}} = \frac{l}{t}.$$

$$v_{\text{ср. п}} = \frac{l}{t}$$

Средняя путевая скорость характеризует движение в целом и не содержит информации о его деталях. Так, зная среднюю путевую скорость на некотором участке траектории, можно определить время, за которое был пройден этот участок, но нельзя найти время, за которое была пройдена его половина.

Тем не менее в некоторых случаях знание средней путевой скорости позволяет приблизительно определить путь, который будет пройден за данное время, или оценить время, необходимое для прохождения пути. Именно расчёт средней путевой скорости лежит в основе алгоритма навигатора, оценивающего время, через которое вы прибудете в конечную точку маршрута.

В физике используют ещё одно понятие средней скорости, связанное не с пройденным путём, а с перемещением, — *среднюю скорость перемещения*.

Средней скоростью перемещения называют физическую величину, равную отношению перемещения к промежутку времени, за который было совершено это перемещение.

$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\vec{s}}{t}.$$

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

Средняя скорость перемещения — векторная величина, её направление совпадает с направлением перемещения.

Как и средняя путевая скорость, средняя скорость перемещения характеризует движение в целом. Она позволяет определить перемещение, совершённое за всё время, но не позволяет вычислять перемещение, а значит, и координаты тела в любой момент времени.

Что же нужно сделать для того, чтобы охарактеризовать быстроту движения в каждой точке траектории в каждый момент времени?

Допустим, что некоторое тело движется прямолинейно, но не равномерно. Будем уменьшать промежуток времени, за который мы рассматриваем перемещение тела (вместе с ним будет уменьшаться и перемещение), и определять среднюю скорость перемещения (рис. 12). Получающиеся значения модуля средней скорости

$\frac{|\vec{s}_1|}{t_1}$, $\frac{|\vec{s}_2|}{t_2}$, $\frac{|\vec{s}_3|}{t_3}$, ... будут всё меньше

и меньше отличаться друг от друга, приближаясь к некоторому предельному значению. Таким образом, мы приходим к физической величине, характеризующей быстроту движения в данный момент времени в данной точке траектории, — **мгновенной скорости**.

Мгновенная скорость, или скорость в данный момент времени в данной точке траектории, равна отношению малого перемещения на участке траектории, примыкающем

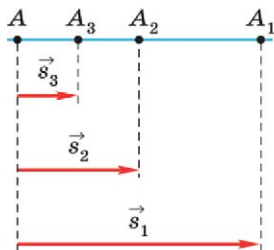


Рис. 12. При уменьшении промежутка времени уменьшается перемещение

к этой точке, к малому промежутку времени, в течение которого это перемещение совершается.

Что означают слова «малый промежуток времени»? Под малым подразумевают такой промежуток времени, при дальнейшем уменьшении которого полученные новые значения средней скорости практически не отличаются друг от друга. Другими словами, движение в течение такого промежутка времени почти неотличимо от прямолинейного равномерного.

Как и средняя скорость перемещения, мгновенная скорость является векторной величиной. Направление мгновенной скорости совпадает с направлением малого перемещения. В дальнейшем, говоря о скорости неравномерного движения, мы будем иметь в виду именно мгновенную скорость.

Из всех видов неравномерного движения остановимся на самом простом — **равноускоренном**, при котором вектор скорости тела за любые равные промежутки времени изменяется одинаково.

Если скорость некоторого тела, движущегося равноускоренно, за промежуток времени t изменилась от $\vec{v}_0$ до $\vec{v}$, то за каждую единицу времени вектор скорости менялся на величину, равную $\frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$. Это отношение обозначают символом $\vec{a}$ и называют **ускорением**.

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}.$$

Ускорением тела при равноускоренном движении называют векторную физическую величину, равную отношению изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло.