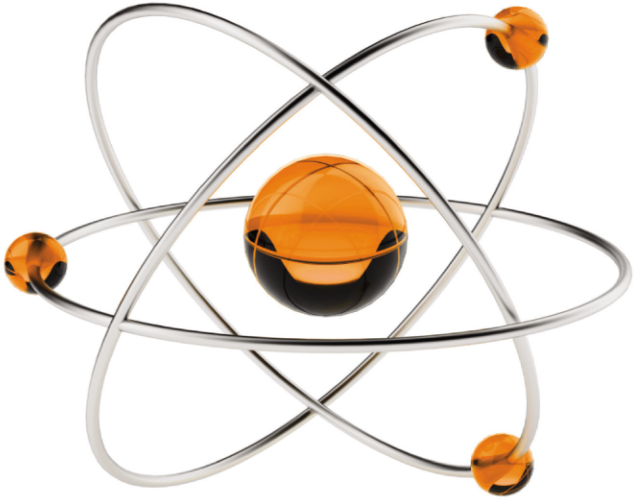
ВСЕМИРНЫЙ БЕСТСЕЛЛЕР

ФИЗИКА

НАЧАЛЬНЫЙ КУРС

2-е издание



КАРЛ Ф. КУН

2-е издание

WILEY

ББК 22.3
К91
УДК 530.1

ООО “Диалектика”

Зав. редакцией *Н.М. Макарова*

Перевод с английского и редакция *А.Ю. Заякина*

По общим вопросам обращайтесь в издательство “Диалектика”
по адресам: info@dialektika.com, http://www.dialektika.com

Кун, К. Ф.

К91 Физика: начальный курс, 2-е изд.: Пер. с англ. — СПб.: ООО “Диалектика”, 2020. — 368 с. : ил. — Парал. тит. англ.

ISBN 978-5-907144-67-5 (рус.)

ББК 22.3

Все права защищены. Никакая часть настоящего издания ни в каких целях не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, если на это нет письменного разрешения издательства John Wiley & Sons, Inc.

Copyright © 2020 by Dialektika Computer Publishing Ltd.

Authorized Russian translation of the English edition of *Basic Physics: A Self-Teaching Guide,* 2nd Edition, (ISBN 978-0-471-13447-3) © 2019 John Wiley & Sons, Inc.

This translation is published and sold by permission of John Wiley & Sons, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same.

All rights reserved. This book is protected by copyright. No part of it may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without written permission from the copyright owner.

Научно-популярное издание

Карл. Ф. Кун

Физика: начальный курс

2-е издание

Подписано в печать 07.10.2019. Формат 70x100/16.
Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 21,6. Уч.-изд. л. 16,7.
Тираж 500 экз. Заказ № 0000.

Отпечатано в ОАО “Первая Образцовая типография”
Филиал “Чеховский Печатный Двор”
142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1
Сайт: www.chpd.ru, E-mail: sales@chpd.ru, тел. 8 (499) 270-73-59

ООО “Диалектика”, 195027, Санкт-Петербург, Магнитогорская ул., д. 30, лит. А, пом. 848

ISBN 978-5-907144-67-5 (рус.)
ISBN 978-0-471-13447-3 (англ.)

© ООО “Диалектика”, 2020
© 1979, 1996 by John Wiley & Sons, Inc.

Оглавление

Слова благодарности 17
Обращение к читателю 18
Глава 1. Сила и движение 21
Глава 2. Законы движения Ньютона 35
Глава 3. Сохранение количества движения и энергии 47
Глава 4. Всемирное тяготение 67
Глава 5. Атомы и молекулы 79
Глава 6. Твердые тела 95
Глава 7. Жидкости и газы 105
Глава 8. Температура и тепло 121
Глава 9. Изменение агрегатного состояния и теплопередача 133
Глава 10. Волновое движение 143
Глава 11. Звук 155
Глава 12. Дифракция, интерференция и музыка 167
Глава 13. Статическое электричество 183
Глава 14. Электрический ток 197
Глава 15. Магнетизм и магнитные эффекты тока 213
Глава 16. Электрическая индукция 225
Глава 17. Электромагнитные волны 237
Глава 18. Свет: волна или частица? 245
Глава 19. Квантовая природа света 263
Глава 20. Отражение, рефракция и дисперсия 285
Глава 21. Линзы и приборы 305
Глава 22. Свет как волна 327
Глава 23. Цвет 341
Приложение А. Экспоненциальное представление чисел: степени десяти 347
Приложение Б. Метрическая система 351
Предметный указатель 353

1
Сила и движение

В физике фигурируют доступные для измерения количества. Следовательно, основными темами в любой книге по физике будут не такие концепции, как честность, любовь и отвага. В процессе изучения физики вы обнаружите, что любую измеримую величину можно выразить всего четырьмя основными мерами: масса, длина, время и электрический заряд. В данной главе мы начнем изучать первые три концепции.

Цели главы

Закончив эту главу, вы сможете:

- определять скорость;
- вычислять скорость, расстояние или время, зная две другие величины;
- вычислять ускорение, зная начальную и конечную скорости и прошедшее время;
- выражать ускорение свободного падения в метрической системе мер;
- зная начальную скорость, вычислять расстояние, которое пролетит предмет в свободном падении за заданное время;
- различать скорость и скорость перемещения;
- различать скалярные и векторные величины, а также приводить примеры каждого типа;
- использовать графический метод сложения векторов;
- идентифицировать и классифицировать (в отношении ускорения и скорости) каждый из двух компонентов баллистического движения.

1 Скорость

Скорость определяется делением пройденного расстояния на время в пути. Значит, если вы прошли 12 километров за 3 часа, то ваша средняя скорость — 4 километра в час (км/ч).

а) Если слон бежит полчаса со скоростью 6 километров в час, то какое расстояние он покроет? _____

б) Какова средняя скорость транспортного средства, которое проходит 250 километров за 2,5 часа? _____

в) Используя символы s, d и t (для обозначения скорости, расстояния и времени), напишите формулу скорости. _____

Ответы: *а*) 3 километра; *б*) 100 км/ч; *в*) $s = d/t$.

2 На практике мы обычно обозначаем скорость символом v (первая буква английского слова *velocity* — "скорость"). Теперь уравнение для скорости принимает следующий вид.

$$v = \frac{d}{t}$$

Здесь v — это скорость, а d — расстояние от начального положения объекта до положения по истечении времени t.

Физики используют международную систему единиц СИ (*SI, Système International*), в которой в качестве основной единицы длины принят метр. Если вы идете со скоростью 2 метра в секунду (м/с), то сколько вы пройдете за 12 секунд?

Ответ: 24 метра.

3 Ускорение

Когда машина набирает скорость, мы говорим, что она ускоряется. Изменение скорости, деленное на время, за которое происходит это изменение, называется **ускорением**. Уравнение:

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t}.$$

Здесь v_0 — это скорость в начале, а v_1 — скорость по истечении времени t.

Обратите внимание, что в обычной речи словом "ускорение" называется только увеличение скорости. Но если v_0 больше v_1, то ускорение будет отрицательным, и в действительности происходит замедление. В физике слово "ускорение" включает и ситуацию замедления.

а) Какая часть уравнения представляет изменение скорости? _____

б) Если за 5 секунд скорость автомобиля возросла с 30 километров/час до 50 километров/час, то чему равно ускорение? _____ км/ч за секунду.

.....

Ответы: *а*) $v_1 - v_0$; *б*) 4.

4 Единица ускорения в только что решенной задаче называется "километров в час за секунду", или "км/ч/с". Если же скорость измеряется в метрах в секунду, а изменение скорости измеряется за несколько секунд, то естественной единицей ускорения будет "м/с/с", что иногда называют "метрами за секунду в квадрате" и записывают как "м/с^2".

Допустим, автомобиль начинает движение из неподвижного состояния и в течение 3 секунд движется с ускорением 2 м/с^2. Это означает, что автомобиль набирает скорость _____ каждую _____.

.....

Ответ: 2 м/с … секунду.

5 Допустим, ваш новый грузовик, начиная движение из неподвижного состояния, набирает скорость с ускорением 5 км/ч/с и ускоряется так в течение 8 секунд. Какой будет скорость грузовика через эти 8 секунд? _____ (Если вы не знаете, как найти ответ, то прочтите данный раздел до конца; если же знаете, то просто решите задачу.)

Чтобы решить эту задачу, сначала запишите уравнение ускорения:

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t}.$$

В данном случае v_0 равна нулю, потому что машина начинает движение из неподвижного состояния. Теперь, решив уравнение для v_1, получаем искомую скорость:

$$v_1 = at.$$

Подставив значения в переменные ускорения и времени, узнаем v_1.

.....

Ответ: 40 км/ч.

6 Ускорение свободного падения

Ускорение свободно падающего предмета возле поверхности земли называется ускорением свободного падения, или ускорением силы тяжести, или гравитационным ускорением. Это ускорение равно 9,8 м/с^2. (*Для справки*: 32 фута/с^2 в Английской системе мер.) Предмет, сброшенный с большой

высоты, к концу первой секунды наберет скорость 9,8 м/с, а к концу второй секунды — 19,6 м/с.

Допустим, предмет начинает свободное падение из неподвижного состояния. Через 1 секунду его скорость равна 9,8 м/с.

а) Какой будет скорость предмета, выраженная в м/с, через 2 секунды? _____

б) А через 3 секунды? _____

.....

Ответы: *а*) 19,6 м/с; *б*) 29,4 м/с.

7 Ниже на рисунке изображен мяч, падающий с крыши здания, и показаны значения скорости мяча в различные моменты падения.

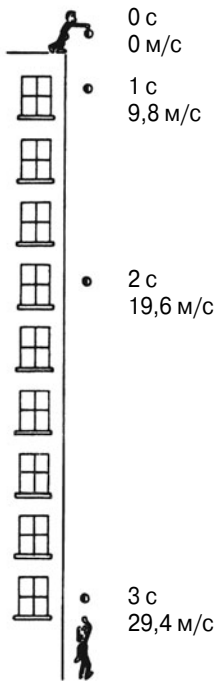


Рис. 1.1.

Теперь допустим, что мяч подбросили вверх от основания здания с начальной скоростью 29,4 м/с. При движении вверх ускорение мяча (или, если угодно, замедление) тоже равно 9,8 м/с^2, как и при падении, но только теперь ускорение направлено вниз, а скорость — вверх. Поскольку ускорение одинаково, независимо от того, куда движется предмет — вверх или вниз, то данный рисунок может изображать и ситуацию подбрасывания мяча вверх.

В этом последнем случае, какой была бы скорость мяча при подлете к крыше?

_____

Ответ: 0 м/с.

8 Уравнения ускорения

Уравнение, связывающее ускорение, пройденное расстояние и время падения:

$$d = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 .$$

Здесь v_0 — начальная скорость, а t — истекшее время. Значит, на рисунке в разделе 7, когда мяч пролетел вниз 1 секунду (и достиг скорости 9,8 м/с), он прошел расстояние 4,9 метра ($d = \frac{1}{2} \cdot 9{,}8 \cdot 1^2$, поскольку v_0 была равна 0).

После 3 секунд падения, на сколько метров упал мяч? _____

Ответ: 44,1 м $\left(d = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}(9{,}8)(3)^2 = 44{,}1 \right)$.

9

Хотя скорость мяча после 1 секунды падения равна 9,8 м/с, за эту секунду мяч упал всего на 4,9 метра. Это объясняется тем, что мяч начал падать из неподвижного состояния — при нулевой скорости, — поэтому его средняя скорость в течение первой секунды равна 4,9 м/с, или половине от 9,8 м/с. Проанализируйте первые три секунды падения.

Начальная скорость = нуль

а) Конечная скорость $v_1 = at$ = _____

б) Средняя скорость = _____

Ответы: *а*) 29,4 м/с; б) 14,7 м/с.

(В части *б)* мы сложили начальную и конечную скорости (0 м/с и 29,4 м/с) и разделили на 2, получив среднюю скорость. Этот ответ можно проверить. Поскольку мяч падал 3 секунды со средней скоростью 14,7 м/с, то за время падения он прошел расстояние, равное произведению средней скорости на время: 14,7 м/с × 3 секунды = 44,1 метра. И это же значение расстояния мы получили выше с помощью уравнения $d = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$.)

10 Скорость — векторная величина

Часто скорость не говорит нам все, что мы хотим знать о движении. Если бы вам сказали, что, пока вы спали, ваша овчарка убежала от вас со скоростью 5 км/ч и что она двигалась по прямой линии, этой информации было бы недостаточно, чтобы отправиться на поиски беглянки. Вам еще нужно знать направление движения собаки. Хотя термин **скорость** и говорит нам, насколько быстро движется объект, термин **скорость перемещения** охватывает и скорость движения, и направление. Определите, какой термин — "скорость" или "скорость перемещения", — нужно использовать в следующих двух описаниях.

а) 20 метров/секунда _____

б) 20 метров/секунда на северо-восток _____

в) Чем скорость перемещения отличается от скорости? _____

_____

.....

Ответы: *а*) скорость; *б*) скорость перемещения; *в*) скорость перемещения включает направление.

11 Уравнение скорости перемещения:

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{d}}{t}.$$

Обратите внимание, что уравнение скорости перемещения выглядит так же, как уравнение скорости, но в данном случае некоторые символы набраны полужирным шрифтом. Величины в полужирном начертании являются **векторами**. Вектор — это величина, имеющая и значение (размер), и направление. Символ **d**, который обозначает **перемещение**, определяется как расстояние *по прямой линии* от начальной точки объекта до его конечной точки, включая направление движения от начала до конца пути. Таким образом, перемещение объекта можно описать, например, так: 4,2 метра на восток.

а) Какие величины в приведенном выше уравнении являются векторами?

_____

б) А какие не являются векторами? _____

.....

Ответы: *а*) скорость перемещения и перемещение (**v** и **d**); *б*) время (*t*).

12 Невозможно указать какое-то конкретное направление времени, поэтому время — не вектор. Все величины, не являющиеся вектором,

называются скалярами. Определите, какими являются приведенные ниже величины — векторными или скалярными.

а) Скорость перемещения _____

б) Скорость _____

в) Время _____

г) Перемещение _____

Ответы: *а*) вектор; *б*) скаляр; *в*) скаляр; *г*) вектор.

13 В следующей главе вы увидите, что ускорение — тоже вектор, поскольку мы должны учитывать направление. (Выше мы уже убедились, что отрицательное ускорение отличается от положительного.)

Чтобы понять важность векторов в простой ситуации, рассмотрим следующий пример. Допустим, бегунья трусцой выбегает из своего дома и пробегает 300 метров до уличного фонаря на углу улицы. Затем женщина поворачивает на запад, пробегает еще 400 метров и через 2 минуты после выхода из дома добирается до дуба. Рассчитаем среднюю скорость перемещения (т.е. векторную скорость) бегуньи за эти 2 минуты. (Схема перемещения женщины приведена на рис. 1.2.)

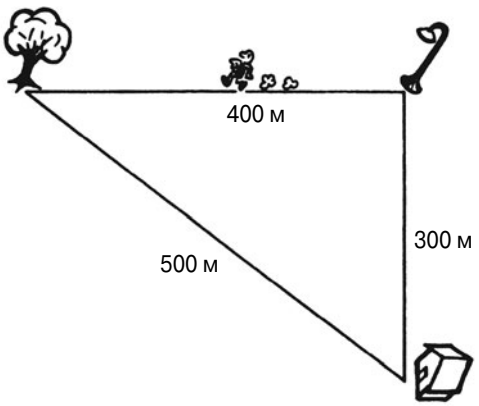


Рис. 1.2.

а) Какое из трех расстояний, показанных на рисунке, является перемещением **d**? _____

б) Чему равна средняя скорость перемещения бегуньи? _____

в) Чему равно полное расстояние (не перемещение), которое пробежала женщина? _____

г) Чему равна средняя скорость движения (не скорость перемещения) в течение этих 2 минут? _____

Ответы: *а*) 500 метров; *б*) 250 м/мин. в направлении северо-запад; *в*) 700 метров; *г*) 350 м/мин.

Этот пример показывает, что скорость и скорость перемещения — определенно разные вещи. Вам может показаться, что из двух понятий скорость полезнее, но следующие примеры докажут преимущество понятия *скорость перемещения*.

14 Использование векторов — баллистическое движение

Представьте себе летящий воздушный шар, наполненный горячим воздухом. С шара сбрасывают мешок с песком. Поскольку шар движется вместе с окружающим воздухом, то влиянием сопротивления воздуха при падении мешка можно пренебречь. Во время падения мешка происходит интересное явление: мешок, падая вниз, одновременно продолжает двигаться вперед со скоростью, которая была у воздушного шара в момент, когда сбросили мешок. Конечно, мешок с песком действительно падает, но скорость его падения вниз не зависит от скорости движения вперед. Мешок продолжает движение вперед, как если бы его и не сбрасывали, а скорость падения все время нарастает, как если бы мешок не двигался вперед.

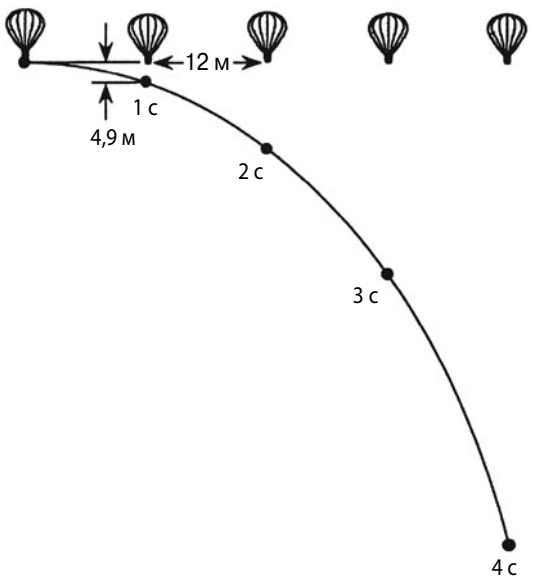


Рис. 1.3.

На рис. 1.3 показано, что воздушный шар движется со скоростью 12 м/с, а также показаны положения мешка с песком через интервалы длительностью 1 с, начиная с момента сбрасывания. Через каждую секунду мешок продвигается вперед на 12 метров. А теперь обратите внимание на его движение вниз. В конце первой секунды после сбрасывания скорость движения мешка *вниз* равна 9,8 м/с.

а) Чему равна скорость движения мешка вперед по окончании 2 секунд?

_____

б) Чему равна скорость движения мешка вниз по окончании 2 секунд?

_____

в) Чему равна скорость движения мешка вперед по окончании 3 секунд?

_____

г) Чему равна скорость движения мешка вниз по окончании 3 секунд?

_____

Ответы: *а*) 12 м/с; *б*) 19,6 м/с; *в*) 12 м/с; *г*) 29,4 м/с.

В этом примере мы увидели, что иногда правильнее рассматривать движение как величину, состоящую из двух компонентов, перпендикулярных между собой. Хотя фактическая скорость перемещения мешка с песком не является ни вертикальной, ни горизонтальной, мы можем рассматривать движение мешка как комбинацию движения вниз и горизонтального движения. При таком подходе каждое отдельное движение является простым. Ниже в текущей главе, а затем и в следующей, мы еще вернемся к баллистическому движению.

15 Сложение сил — еще одно использование векторов

Допустим, двое детей ухватились за свою любимую игрушку, красную машинку, и каждый тянет ее к себе. Один ребенок тянет к своему дому с силой 9 килограммов, а другой — тоже с силой 9 килограммов, но в противоположном направлении. Это означает, что одна сила уравновешивает другую. Эти силы равны по величине (размеру), но противоположны по направлению, поэтому при их *сложении* получаем нуль. Поскольку при сложении сил нам приходится учитывать их направление, то мы понимаем, что сила — векторная величина.

Часто нас интересует результирующая, или **чистая**, сила воздействия на объект. Допустим, что первый ребенок тянет в одну сторону с силой 11 килограммов, а второй — в противоположном направлении с силой 10 килограммов.

Чему равна чистая сила, приложенная к игрушке в данном случае?

_____

Ответ: 1 килограмм (в направлении первого ребенка).

16 Математические методы сложения векторов (*факультативно*)

Поскольку сила — векторная величина, то при сложении двух или более сил мы должны учитывать их направление. Сложение векторов легче всего выполнить с помощью чертежей в масштабе — это так называемый “графический”

метод сложения векторов. Допустим, два автомобиля толкают огромный пирог (часть 1 рис. 1.4). В части 2 силы, с которыми автомобили толкают пирог, изображены стрелками. Поскольку меньшая машина толкает с силой 160 кг, а б*о*льшая — с силой 80 кг, то стрелка, представляющая силу меньшей машины, в два раза длиннее стрелки б*о*льшей машины (4 и 2 см соответственно). В части 3 рисунка стрелки показаны встык друг за другом, но их длины остались прежними, и их направления тоже прежние — это направления приложения силы.

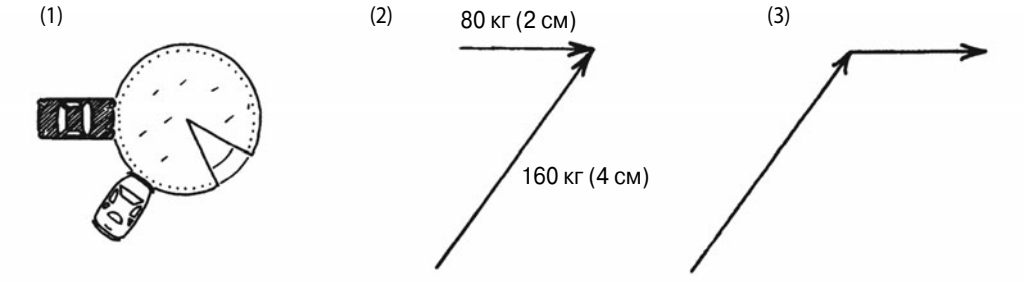


Рис. 1.4.

А теперь начертите линию от хвоста первой стрелки (длинной) до острия второй. Этот вектор представляет чистую силу, поэтому острие стрелки нарисуйте у верхнего конца. Измерьте длину этой результирующей стрелки. Чему она равна?

.....

Ответ: см. рис. 1.5.

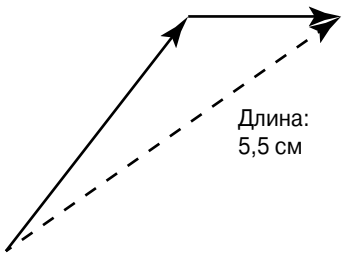


Рис. 1.5.

17 Поскольку в нашем примере 1 см представляет 40 кг, то результирующий вектор представляет силу 220 кг (5,5 умножить на 40), а направлен он между направлениями силы двух автомобилей. Обратите внимание, что направление результирующей силы, как и следовало ожидать, немного ближе к направлению силы меньшей машины. (Потому что меньшая толкает намного сильнее и поэтому больше влияет на направление результирующей силы, чем б*о*льшая машина.)

а) Используя тот же масштаб (1 см представляет 40 кг), на расположенном ниже пустом участке страницы начертите векторную диаграмму для случая, когда меньший автомобиль толкает пирог с силой 140 кг, а больший — с силой 200 кг.

б) Чему равна результирующая сила в этом случае? _____

Ответы: *а*) см. рис. 1.6.

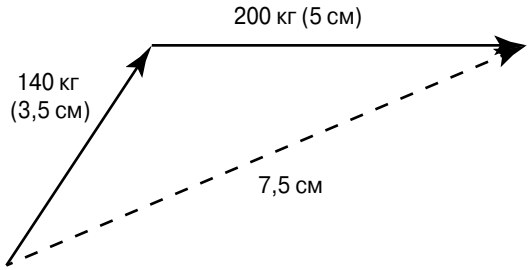


Рис. 1.6.

б) 300 кг (если длина вашего результирующего вектора находится между 7,0 и 8,0 см, то все нормально. Вы должны получить ответ между 285 и 320 кг).

18 Сложение векторов используют и в случае скорости перемещения. Рассмотрим самолет, летящий в неподвижном воздухе со скоростью перемещения 150 километров в час в северном направлении. В части 1 рис. 1.7 эту скорость представляет стрелка длиной 3 см. Но вдруг начинается очень сильный ветер — он дует со скоростью 50 км/ч в направлении юго-восток! Во второй части рисунка этот ветер изображен стрелкой длиной 1 см. Теперь мы, как и в случае сложения сил, выстраиваем стрелки цепочкой, чтобы хвост одной касался острия другой. Это показано в части 3 рис. 1.7.

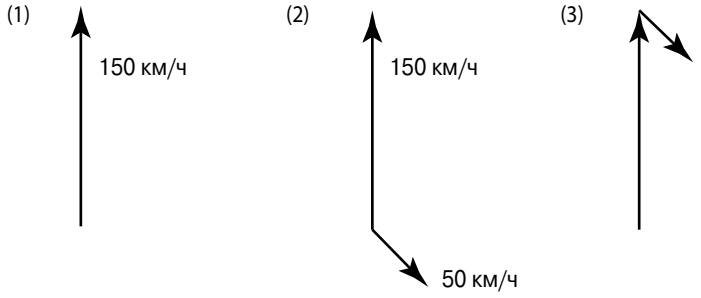


Рис. 1.7.

а) Нарисуйте в части 3 рисунка результирующий вектор.

б) Чему равна его длина? _____

в) Какую чистую силу он представляет? _____

Ответы: *а*) Результирующий вектор нужно начертить от хвоста первого вектора к острию второго; *б*) 2,4 см; *в*) 120 км/ч (потому что каждый сантиметр представляет 50 км/ч). (Обратите внимание: ветер сдувает самолет с курса, а также замедляет его.)

19 Вернемся еще раз к баллистическому движению и примеру с мешком песка, который сбросили с воздушного шара. Допустим, что шар находится достаточно высоко, поэтому мешок падает на землю только через 2 секунды после сбрасывания. В этот момент скорость движения мешка вперед по-прежнему равна 12 м/с. Но скорость падения (скорость движения вниз) после двух секунд падения достигла 19,6 м/с. На отдельном листе бумаги, используя графический метод, сложите эти два вектора и определите скорость перемещения мешка в момент удара о землю.

Ответ: см. рис. 1.8.

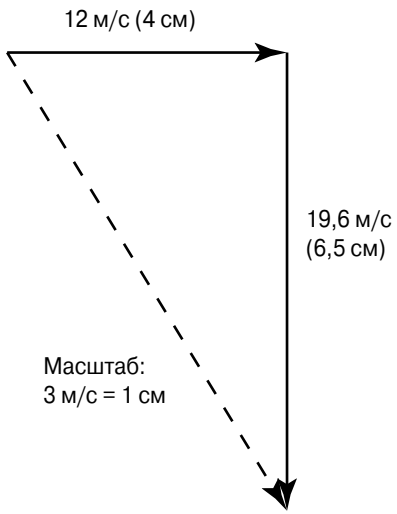


Рис. 1.8.

На этом рисунке использован такой масштаб: 1 см представляет 3 м/с. Стрелка, полученная в результате сложения векторов, имеет длину 7,6 см, поэтому полная скорость перемещения равна 23 м/с.

Тест для самопроверки

Приведенные ниже вопросы протестируют понимание вами данной главы. Ваши диаграммы и расчеты выполняйте на отдельном листе бумаги. Сравните ваши ответы с ответами, приведенными ниже.

1. Дайте определение скорости (движения, а не перемещения). _____

_____

2. Поезд проходит 300 километров со средней скоростью 45 километров в час. За какое время он преодолеет это расстояние? _____

3. Объект движется со скоростью 2 м/с. Через три секунды он достиг скорости 14 м/с. Каким было ускорение объекта в течение этого времени? _____

4. Ускорение свободного падения в метрических единицах (международной системы единиц СИ) равно _____. (*Дополнительный вопрос*. В Английской системе мер равно _____.)

5. Какое расстояние объект из вопроса 3 преодолел за 3 секунды своего движения с ускорением? _____

6. Предмет, падающий из неподвижного состояния, достигает скорости _____ м/с после падения в течение 5 секунд. (Сопротивлением воздуха пренебрегаем.) За это время предмет пролетел _____ метров.

7. Объясните различие между скоростью (движения) и скоростью перемещения ___

_____

8. Допустим, вы являетесь пассажиром автомобиля, движущегося со скоростью 55 километров в час. Вы поднимаете к потолку салона карандаш и роняете его. В момент падения на сиденье с какой скоростью карандаш движется вперед? _____ А что происходит с его скоростью падения в это время? _____

_____

9. Один мальчик тянет свой велосипед с силой 15 килограммов. А друг этого мальчика (точнее, уже бывший друг) тянет велосипед с силой 18 килограммов, но в противоположном направлении. Какая чистая сила приложена к велосипеду?

_____

10. *Факультативно*. К предмету приложена сила 3 килограмма в восточном направлении. В это же время в северном направлении к предмету приложена сила 4 килограмма. Какая чистая сила приложена к предмету? _____ Опишите направление этой силы. _____

Ответы

Если ваши ответы не совпадают с приведенными ниже, то, прежде чем переходить к следующей главе, вернитесь к разделу, указанному в скобках, и еще раз изучите его.

1. Пройденное расстояние, деленное на время, которое потребовалось для прохождения этого расстояния. (Раздел 1)

2. $6\frac{2}{3}$ часа.

Решение:

$$s = \frac{d}{t}$$

$$t = \frac{d}{s} = \frac{300\,\text{км}}{45\ \text{км/ч}}. \textit{ (Разделы 1, 2)}$$

3. 4 м/с/с, или 4 м/с^2. (Разделы 3–5)

4. 9,8 м/с^2 (или 32 фута/с^2 в Английской системе мер). (Раздел 6)

5. 24 метра. (Раздел 8)

6. 49; 122,5. (Разделы 6–9)

7. Скорость перемещения включает направление объекта, а также его скорость движения (для которой направление не указывается). (Разделы 10–13)

8. Скорость перемещения вперед по-прежнему равна 55 км/ч, а скорость падения (перемещения вниз) возрастает с ускорением свободного падения. (Раздел 14)

9. 3 килограмма в сторону бывшего друга. (Раздел 15)

10. 5 килограммов. Направление — северо-восток, или, если у вас есть транспортир (угломер), вы можете точно измерить это направление как 37° на северо-восток, см. рис. 1.9. (Раздел 16)

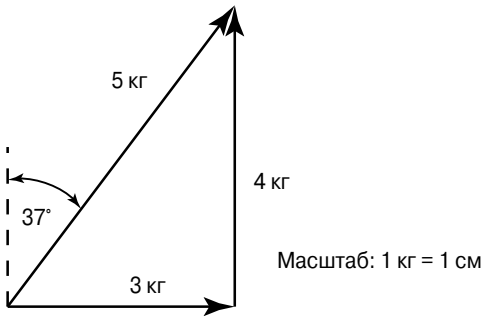


Рис. 1.9.

2

Законы движения Ньютона

Обязательный предыдущий материал: глава 1.

В предыдущей главе вы изучили определения, которые позволяют нам описывать движение различных типов. В текущей главе вы будете использовать эти правила вместе с глубоким пониманием движения, которое обеспечивают три закона движения Ньютона.

Цели главы

Закончив эту главу, вы сможете:

- формулировать каждый из трех законов движения Ньютона и приводить пример его применения;
- различать массу и вес;
- зная две из трех величин — силу, массу и ускорение, — вычислять третью;
- вычислять вес предмета с известной массой;
- использовать второй закон Ньютона для объяснения того, почему предметы с разной массой падают с одинаковым ускорением;
- объяснять причину равновесной скорости;
- приводить пример объекта, движущегося с постоянной скоростью, но одновременно ускоряющегося;
- применять второй закон Ньютона к круговому движению;
- выявлять пары сил из третьего закона Ньютона для случаев и ускоренного, и неускоренного движения.

1 Масса и инерция: первый закон Ньютона

> Тело в состоянии покоя стремится оставаться в покое, а тело в движении стремится оставаться в движении по прямой линии с постоянной скоростью.

Так звучит формулировка **первого закона Ньютона**, и он описывает то, что называется **инерцией** тела. Инерция — это свойство вещества сопротивляться изменению движения. Масса (одна из четырех основных мер) является мерой инерции тела.

а) Что имеет б*о*льшую инерцию — тело с массой 6 килограммов (кг) или тело с массой 3 кг? _____

б) Какое из этих двух тел больше стремится сохранять скорость своего движения? _____

в) Какой предмет ударит больнее, если с одинаковой скоростью метнуть шар для боулинга и маленький мраморный шарик? _____

г) Почему удариться босой ногой о шар для боулинга больнее, чем удариться о маленький мраморный шарик? _____

Ответы: *а*) 6 кг; *б*) 6 кг; *в*) шар для боулинга; *г*) шар для боулинга имеет б*о*льшую массу — или б*о*льшую инерцию, что означает одно и то же.

Если вы, отвечая на вопросы *в*) и *г*), сказали, что удар одного предмета больнее, чем другого, потому что у первого предмета больше вес, то ваш ответ не совсем правильный. Вы поймете это, когда мы рассмотрим вес и силу тяжести (гравитацию).

2 Второй закон Ньютона

Если одно тело имеет б*о*льшую инерцию, чем другое тело, то требуется б*о*льшая сила, чтобы придать первому телу такое же ускорение, как второму. Допустим, вы хотите придать объекту какое-то определенное ускорение, скажем, 5 м/с^2. Сила, которую вы должны приложить к этому объекту, зависит от его массы. Так, если объект вдвое массивнее (имеет вдвое б*о*льшую массу), чем другой объект, то, чтобы придать первому такое же ускорение, как второму, нужно приложить к первому вдвое б*о*льшую силу. Если первый объект втрое массивнее, то и сила потребуется втрое б*о*льшая. Как видите, для заданной массы полученное ускорение пропорционально приложенной силе.

Зависимость между силой, массой и ускорением выражается простым уравнением **второго закона Ньютона**:

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}.$$

Здесь **F** — это сила, m — масса, **a** — ускорение. Обратите внимание, что символы для силы и ускорения имеют полужирное начертание; это означает, что данные две величины — векторные.

а) Масса является вектором или скаляром? _____

б) Для чего потребуется б*о*льшая сила — для придания 2-килограммовой массе ускорения 2 м/с^2 или 4-килограммовой массе ускорения 5 м/с^2?

_____

.....

Ответы: *а*) скаляр (поскольку массе невозможно приписать направление); *б*) 4-килограммовой массе ускорение 5 м/с^2.

3 Ускорение как вектор

Изучая ускорение в главе 1, мы обнаружили, что если объект замедляется, то мы должны присвоить его ускорению отрицательное значение. Поступая так, мы рассматриваем ускорение как вектор, потому что в случае замедления ускорение имеет другое направление, чем скорость перемещения объекта.

Вновь обратимся к рис. 1.1 (раздел 7 главы 1), на котором изображен мяч, сброшенный с крыши здания. Тогда мы пришли к выводу, что если мяч подбросить от основания здания вверх со скоростью 29,4 м/с, то через 3 секунды, когда мяч подлетит к крыше, его скорость уменьшится до нуля. Рассмотрим теперь мяч через 4 секунды после подбрасывания вверх. Вновь приведем здесь уравнение для ускорения, выделив векторные величины полужирным шрифтом.

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_0}{t}$$

В данном случае $\mathbf{v}_0 = 29{,}4$ м/с, $t = 4$ с, $\mathbf{a} = -9{,}8$ м/с^2. Знак минус показывает, что ускорение направлено вниз, в направлении, противоположном скорости перемещения. Если мы подставим данные значения в уравнение, чтобы вычислить конечную скорость перемещения $\boldsymbol{v}_1$, то получим

$$\mathbf{v}_1 = -9{,}8\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Знак минус показывает, что скорость перемещения в этот момент направлена вниз. (Не забываем, что $\mathbf{v}_0$ была направлена вверх — положительное значение, — а ускорение было направлено вниз — отрицательное значение.)

Теперь используем еще одно уравнение из первой главы, но в этот раз учтем его векторную природу:

$$\mathbf{d} = \mathbf{v}_0 t + \frac{1}{2}\mathbf{a}t^2.$$

Как и раньше, мяч подбросили вверх со скоростью 29,4 м/с.

Используя уравнение для перемещения, рассчитайте положение мяча через 4 секунды после броска. _____

.....

Ответ: 39,2 метра над землей.

4

Обратите внимание: для вас не имело значения, что мяч сначала поднялся до крыши, а затем начал падать обратно. Если вы подставили $\mathbf{v}_0 = 29{,}4$ м/с, $t = 4$ секунды и $\mathbf{a} = -9{,}8$ м/с^2, то должны были получить указанный ответ — перемещение мяча через 4 секунды после броска. Поскольку направление вверх мы приняли как положительное, то тот факт, что ответ получился положительным, означает, что мяч находится над землей. Такова сила использования векторных методов в уравнении перемещения.

Из того факта, что уравнение $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ является векторным уравнением, следует, что направления силы и результирующего ускорения полностью одинаковы. В случае падающего мяча и сила (а это "сила тяжести", которую также называют "земное притяжение" или "гравитационная сила"), и ускорение направлены вниз.

а) Если мяч подброшен вверх и движется вверх, то куда направлено ускорение? _____

б) Если мяч подброшен вверх, но уже прошел верхнюю точку и теперь движется вниз, то куда сейчас направлено ускорение? _____

в) Если (рассмотрим случай, совершенно отличный от падающего мяча) ускоряющая сила направлена на юго-восток, то куда направлено результирующее ускорение? _____

.....

Ответы: *а*) вниз; *б*) вниз; *в*) юго-восток.

В главе 1 мы анализировали движение предмета, сброшенного с воздушного шара. Мы могли делать предсказания о таком кажущемся сложном движении, потому что векторная природа второго закона Ньютона позволила нам рассматривать вертикальное и горизонтальное движения раздельно. Сила тяжести действует вниз и поэтому ее воздействие на мешок с песком ограничено ускорением, направленным вниз. В горизонтальном же направлении на мешок никакая сила не действовала. Следовательно, движение мешка вперед продолжалось без изменений.

5 Единицы, используемые во втором законе Ньютона

Если масса измеряется в килограммах (кг), а ускорение в метрах за секунду в квадрате (м/с^2), то правильной единицей силы является **ньютон** (Н). Ньютон приблизительно равен весу плавленого сырка "Дружба" (чуть больше 100 граммов-сила). (*Для справки.* Хотя правильной единицей силы является ньютон, мы также будем использовать устаревшие единицы "килограмм-сила" и "грамм-сила", или, сокращенно, "кгс" и "гс" соответственно. Они очень удобны в расчетах, потому что 1 килограмм-сила — это вес объекта массой 1 килограмм, а 1 грамм-сила — это вес объекта массой 1 грамм.) Решите следующие задачи, используя второй закон Ньютона.

а) Какое ускорение создает сила 12 Н, приложенная к телу массой 3 кг? _____

б) Какая потребуется сила, чтобы придать ускорение 4 м/с^2 шару для боулинга массой 6 кг? _____

в) Допустим, кто-то хочет за 8 с разогнать 1200-килограммовый автомобиль от скорости 10 м/с (36 км/час) до скорости 30 м/с (108 км/ч). Какая сила потребуется для этого? _____

Ответы: *а*) 4 м/с^2; *б*) 24 Н; *в*) 3000 Н.

Если вы не смогли решить задачу *в)*, то прочтите раздел 6. Если же получили правильный ответ, то можете сразу переходить к разделу 7, пропустив раздел 6.

6

Для решения задачи *в)* выполните следующие действия.

Этап 1. Рассчитайте ускорение, которое приводит к увеличению скорости от 10 м/с до 30 м/с за 8 с. _____

Этап 2. Используя формулу $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, найдите силу, которая необходима для придания такого ускорения телу массой 1200 кг. _____

Ответы: *а*) 2,5 м/с^2; *б*) 3000 Н.

7 Масса и вес

Допустим, вы наблюдаете объект массой 1 кг, который движется с ускорением 9,8 м/с^2. Вы знаете, что ускорение этому объекту придает сила 9,8 Н. Ускорение

9,8 м/с^2 возникает, если отпустить объект возле поверхности Земли — это ускорение свободного падения, о котором мы говорили в предыдущей главе. Значит, сила тяжести, действующая на объект массой 1 кг, равна 9,8 Н. В таком случае говорят, что 1-килограммовый объект весит 9,8 ньютона. Вес — это сила, с которой тело действует на опору (или подвес, или другой вид крепления), препятствующую падению, возникающая в поле сил тяжести.

Предыдущий материал позволяет нам сформулировать общий метод нахождения веса объекта с известной массой. Представьте себе, что отпущен и начинает свободное падение объект массой 10 кг.

а) Каким будет его ускорение? _____

б) Какова величина силы, вызывающей это ускорение? _____

в) Чему равен вес этого объекта? _____

.....

Ответы: *а*) 9,8 м/с^2; *б*) 98 Н; *в*) 98 Н.

8 Мы уже увидели явное различие между весом и массой. Вес — это сила, обусловленная гравитационным притяжением Земли. Масса — это мера инерции, присущей объекту. Масса является более фундаментальной величиной, потому что количество инерции объекта не зависит от расположения этого объекта относительно Земли, а вот вес объекта зависит — объект весит все меньше по мере удаления от Земли.

а) В какой системе, метрической или английской, чаще используется масса, а не вес? _____

б) Что стабильнее — масса или вес тела? _____

.....

Ответы: *а*) в метрической; *б*) масса.

Если на объект одновременно воздействуют две силы, то мы должны определить чистую, или результирующую, силу, и именно это значение использовать в уравнении. В разделах 15–18 главы 1 мы рассматривали сложение векторов для получения результирующего вектора.

9 Еще раз о гравитации

Рассмотрим 1-килограммовый грейпфрут и 3-килограммовую тыкву. Допустим, мы прикладываем силы к каждому объекту. К тыкве мы прикладываем втрое б*о*льшую силу, чем к грейпфруту — скажем, 4 ньютона к грейпфруту и 12 ньютонов к тыкве. Теперь применим второй закон Ньютона в каждом случае и рассчитаем ускорение каждого из двух объектов.

а) Грейпфрут: **a** = _____

б) Тыква: **a** = _____

.....

Ответы: *а*) 4 м/с^2; *б*) 4 м/с^2.

Важность этого простого примера кроется в том факте, что в природе есть сила, прямо зависящая от массы тела, к которому она приложена. Сила тяжести, воздействующая на тело, прямо пропорциональна массе этого тела. Следовательно, вес тыквы втрое больше веса грейпфрута. Это означает, что если позволить этой силе — силе тяжести — воздействовать на каждый из двух объектов, то оба получат одно и то же ускорение.

Да, у тыквы втрое больше масса, но у нее также втрое больше вес. Значит, уравнение второго закона Ньютона дает одно и то же значение ускорения для любого земного объекта, который падает под воздействием силы тяжести, и второй закон Ньютона объясняет, почему ускорение свободного падения (гравитационное ускорение) одинаково для всех объектов, независимо от их веса. Ускорение свободного падения мы уже рассматривали в главе 1.

10 Ускорение свободного падения (гравитационное ускорение) обозначается специальным символом, **g**.

$$\mathbf{g} = 9{,}8 \text{ м/с}^2$$

Направлено **g**, конечно, вниз, поэтому если в каком-нибудь уравнении направление вверх принято как положительное, то **g** будет отрицательным.

Предметы на Луне весят меньше, чем на Земле. Если мы уроним предмет на Луне, то на него будет действовать меньшая сила гравитации, и согласно второму закону Ньютона предмет получит меньшее ускорение. Ускорение свободного падения на Луне составляет всего 1/6 от ускорения на Земле.

Рассматривая вес предмета на Земле и на Луне, мы учитывали различия в силе гравитации в этих двух местах, но мы не учитывали различия в массе объекта на двух планетах. Почему? _____

.....

Ответ: масса любого тела на Луне такая же, как и на Земле.

11 Равновесная скорость

На практике падающие предметы не могут все время падать с ускорением 9,8 м/с^2. На падающий предмет воздействует направленная вверх сила сопротивления воздуха, поэтому падающий предмет не может набирать скорость с неизменным ускорением. Ускорение предмета зависит от воздействующей на него чистой силы.

Если бы вы знали нужные численные величины, то как бы вы рассчитали чистую силу, воздействующую на шар, изображенный на рис. 2.1?

Ответ: нужно вычесть сопротивление воздуха из веса предмета.

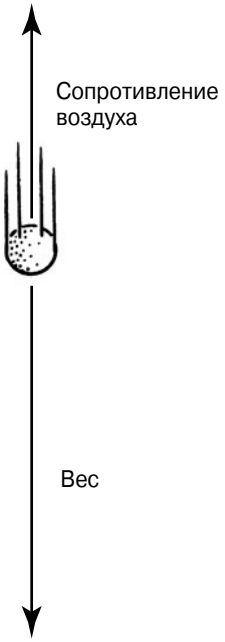


Рис. 2.1.

12 По мере возрастания скорости падения возрастает и сопротивление воздуха. Значит, наступит момент, когда сопротивление воздуха сравняется с весом предмета. При этой скорости предмет уже не ускоряется, а продолжает падать с постоянной скоростью. (Такой вывод вытекает из уравнения $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$: если чистая сила равна нулю, то и ускорение должно быть равно нулю.) Эта конечная постоянная скорость называется **равновесной скоростью** тела.

Рассмотрим падающий камень в тот момент, когда он почти достиг равновесной скорости. Каким в этот момент будет ускорение камня — меньше, равно или больше 9,8 м/с^2? _____

Ответ: меньше. (Когда объект наконец-то достигнет равновесной скорости, сопротивление воздуха в этот момент будет равно весу камня. При скорости, которая немного меньше равновесной, сопротивление воздуха может быть значительным, но оно меньше веса камня. Чистая сила, воздействующая на камень, равна весу минус сопротивление воздуха. Поскольку сопротивление воздуха меньше веса камня, то ускорение должно быть меньше гравитационного ускорения.)

13 Круговое движение

Когда объект движется по кругу, то на этот объект воздействует неуравновешенная сила, направленная к центру круга. (В случае камня, который вращается на конце веревки, именно веревка обеспечивает силу, направленную к центру.) Это так называемая **центростремительная сила**.

Согласно второму закону Ньютона, что происходит с телом, на которое воздействует неуравновешенная сила? _____

Ответ: объект ускоряется (иначе говоря, его скорость меняется).