

ГЛАВА 1

ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ

Как физик я особенно люблю вопросы “как” и “почему”. Наверное, вопросы “что”, “где” и “когда” тоже по-своему интересны, но именно “как” и “почему” изначально породили физику и прочие естественные науки. Следуя этой традиции и отвечая в нашей книге на коротенький (но столь непростой) вопрос “как все работает”, мы словно заново совершим великие физические открытия.

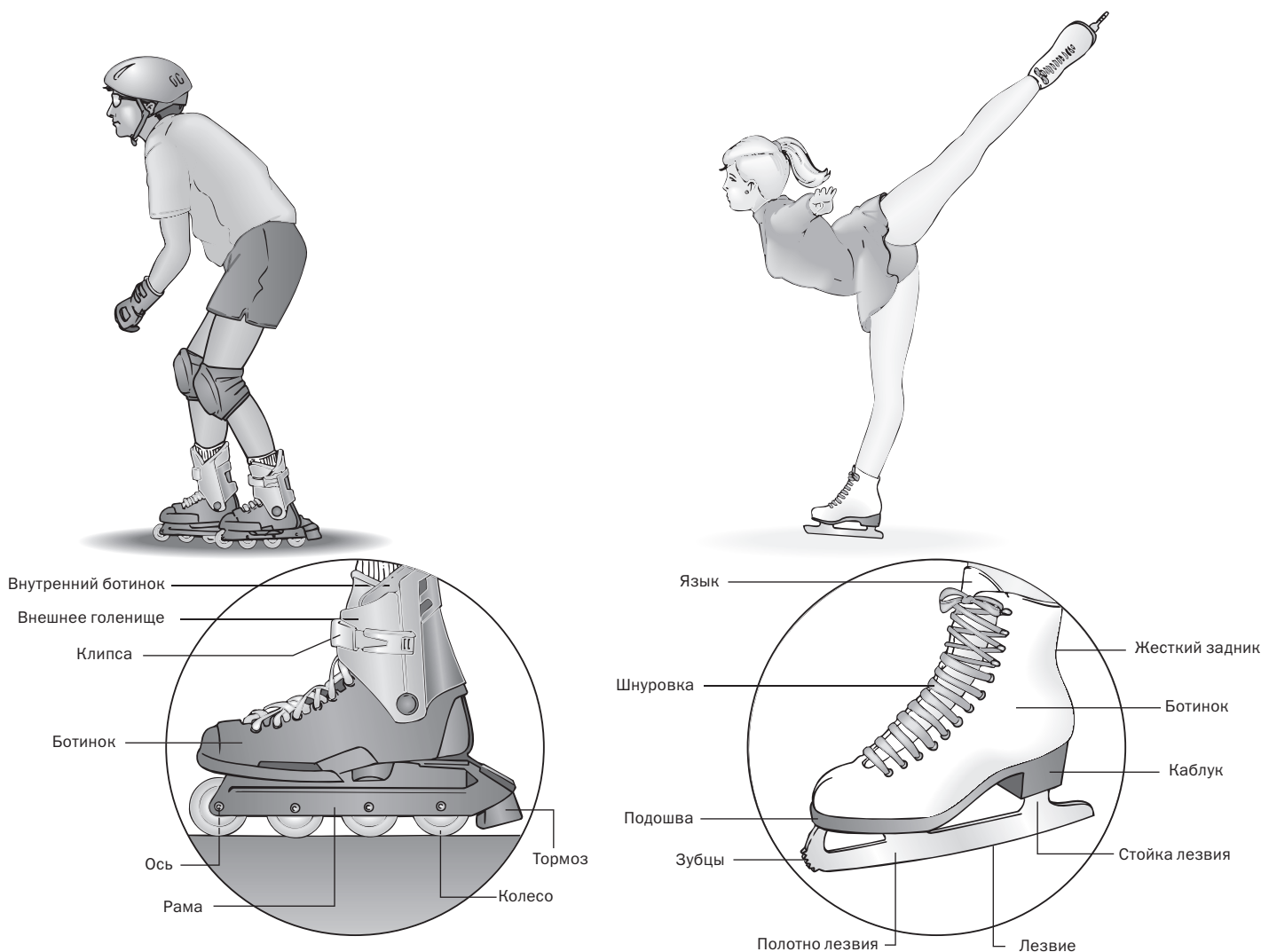
Когда вы приметесь читать эту книгу, на вас обрушится лавина научной информации, но пусть вас это не пугает. Вы будете познавать физику не спеша, постепенно, на примере обыденных жизненных ситуаций и реальных предметов. Однако подобная методика изучения не просто облегчает образовательный процесс. Эта методика также демонстрирует, насколько полезно знать физику. Ведь физика не только объясняет устройство нашего сегодняшнего мира, но и позволяет составить необходимые прогнозы на будущее.

Для меня всегда было загадкой, почему физика традиционно преподается как абстрактная наука — ведь она изучает вещественный мир и законы, которыми тот управляется. Может быть, физические явления кажутся не слишком интересными и не очень уместными в контексте повседневной жизни и поэтому не заслуживают внимания? Или, может быть, сама физика — слишком деликатная материя для повседневного использования? Я убежден в обратном: если лишить физику бесчисленных примеров из живого, реального мира, она не будет иметь ни основы, ни формы — словно молочный коктейль без стакана.

Если вам кажется, что разговоры о физике в контексте повседневности понижают ее высокий статус, делают ее какой-то слишком обыкновенной, то открою вам секрет: физика и в самом деле совершенно обыкновенна. В исследовательских лабораториях не творится ничего сверхъестественного — ничего такого, что не происходило бы вокруг нас ежедневно и всегда. Цель этой книги — раскрыть роль физики в обычной жизни, а также показать вам, как с помощью науки можно объяснить происходящее и повлиять на ход событий.

Для начала мы проделаем в этой и следующей главах вот что: познакомимся с языком физики, которым будем пользоваться на протяжении всей книги, и с основными законами движения, на которых зиждется все мироздание. Затем мы рассмотрим темы, более интересные и важные как сами по себе, так и в связи с научными проблемами, которые в них коренятся. Но две первые главы особенно важны, поскольку станут введением в собственно науку физику. И асы науки, и “чайники”, изучив главу “Движение тел”, будут лучше ориентироваться в дальнейшем материале.

- 18 **1.1 Коньки**
Как движутся предметы, если их не подталкивать.
- 26 **1.2 Падение мяча**
Как гравитация влияет на движение.
- 33 **1.3 Наклонные плоскости**
Как пандус помогает поднимать тяжести.



1.1 Коньки

Как и многие другие виды спорта, катание на коньках требует большего мастерства, чем кажется на первый взгляд. Если вы впервые встали на коньки (или на ролики), то вам, скорее всего, предстоит снова и снова падать и вновь подниматься на ноги со льда (или с асфальта), и надо будет потренироваться, прежде чем вы научитесь плавно скользить вперед и благополучно останавливаться. Но физические основы всех этих движений на удивление просты — что для роликовых коньков, что для обычных. По ровной плоскости на коньках, носки которых смотрят вперед, вы катитесь равномерно и прямолинейно — по инерции!

Движение по инерции — одно из основных явлений в физике, с него-то мы и начнем. В этом разделе мы поговорим о трении в связи со стартом, остановкой и поворотом конькобежца, а все вместе поможет нам понять некоторые базовые законы движения. Изучив процесс катания на коньках, мы продвинемся к пониманию фундаментальных законов, управляющих движением, и таким образом подготовимся ко многим другим темам, затронутым в этой книге.

Скольжение вперед; инерция и движение по инерции

Надев коньки, попробуйте представить себе, что происходит с конькобежцем, которого никто и ничто не подталкивает. Если девушка на рисунке не испытывает действия никаких внешних сил (**рис. 1.1.1**), если ее никто не толкает и не тянет вперед, останется ли она на месте? Поедет? Начнет набирать скорость? Покатится медленнее? Короче говоря, что с ней произойдет?

❶ Греческий философ Аристотель (384–322 до н. э.) считал, что скорость движения тел пропорциональна действующим на них силам. Эта теория правильно предсказывала поведение скользящего тела, но ошибочно предполагала, что тяжелые тела падают быстрее легких. Тем не менее концепция Аристотеля долгое время была общепринятой, отчасти из-за того, что не получалось выстроить более простую и полную теорию, а отчасти потому, что развитие научных методов, способных связать теорию и практические наблюдения, было еще впереди.

Ответ на этот вроде бы простой вопрос люди искали не одну тысячу лет; даже Аристотель — пожалуй, самый образованный философ Античности — заблуждался на этот счет ¹. Проблема осложняется тем, что на поверхности Земли тела никогда не бывают абсолютно свободны от внешних воздействий — напротив, они толкают друг друга, трутся друг о друга или взаимодействуют как-то иначе.

В конце концов знаменитый итальянский астроном, математик и физик Галилео Галилей ², потратив годы на тщательные наблюдения и теоретический анализ, нашел ответ на этот вопрос. Решение, к которому пришел Галилей, оказалось столь же простым, сколь простой казалась и сама загадка: если человек неподвижен, он и останется неподвижным; если он движется в определенном направлении, он так и будет двигаться по прямой в том же направлении с неизменной скоростью. Это свойство тел двигаться равномерно и прямолинейно в отсутствие внешних сил называется инерцией.

Инерция

Движущееся тело стремится продолжить движение; тело, которое находится в состоянии покоя, стремится остаться на месте.

Аристотелю помешало обнаружить инерцию главным образом трение, и по той же причине мы не всегда замечаем ее. Если вы попытаетесь заскользить по полу в обычной обуви, трение будет замедлять ваше движение до тех пор, пока вы не остановитесь, и замаскирует действие инерции. Чтобы инерция стала более явной, надо избавиться от трения. Вот для этого вы и надеваете коньки.

Коньки почти полностью устраняют трение — по крайней мере, в одном направлении, — так что вы можете без усилий катиться вперед на ледовых или роликовых коньках и ощущать собственную инерцию. Для упрощения картины рассмотрим идеальные коньки, которые при движении вовсе не испытывают воздействия трения. Кроме того, в этом и ближайших разделах давайте позабудем не только о трении, но и о сопротивлении воздуха. В самом деле, если нет сильного ветра и если вы катитесь не слишком быстро, сопротивление воздуха не так уж существенно.

Итак, вы готовы выйти на каток, и мы приступаем к изучению пяти важных физических величин, связанных с движением; посмотрим, как они соотносятся друг с другом. Это радиус-вектор, скорость, масса, ускорение и сила.

Сначала опишем ваше местоположение. В каждый момент времени вы находитесь в какой-то определенной точке пространства. Всякий раз, когда мы описываем ваше местоположение, мы говорим о расстоянии от некоей точки отсчета до точки, в которой находитесь вы, и о направлении от первой к последней — скажем, “столько-то метров к северу от киоска с мороженым” или “столько-то километров к западу от Кливленда”. Иначе говоря, положение характеризуется радиус-вектором относительно точки отсчета.

Сам же радиус-вектор, как любая векторная величина, характеризуется модулем (численным значением) и направлением; модуль говорит о длине вектора, а направление — о том, в какую сторону он смотрит. Векторы встречаются в природе повсеместно. Если вам доведется иметь дело с вектором, обратите внимание на его направление; рассчитывая найти клад “в 30 шагах от старого дуба”, не упустите дополнительное указание “в 30 шагах к востоку от старого дуба”, иначе копать придется очень долго.

Итак, вы встали на коньки на ноги и поехали. В процессе движения ваше положение (радиус-вектор) меняется. Иначе говоря, вы перемещаетесь с определенной скоростью. Скорость показывает, как быстро меняется радиус-вектор; это вторая векторная величина в нашем списке, которая характеризуется модулем (численным значением) и направлением движения. Скорость — это путь, который вы проделываете за данный промежуток времени:

$$\text{скорость} = \frac{\text{расстояние}}{\text{время}}.$$

А направлено движение может быть, скажем, на восток или на север (или вниз — если вы упадете).

Но если вы скользите свободно и ничто не толкает вас в горизонтальном направлении, вашу скорость описать совсем просто. Поскольку вы движетесь



Рис. 1.1.1. Эта девушка на роликах не испытывает воздействия никаких внешних горизонтально направленных сил. Если она неподвижна, она останется неподвижной, если она движется, то продолжит движение.

² Когда итальянский ученый Галилео Галилей (1564–1642) был профессором Пизанского университета, он должен был преподавать в том числе и натурфилософию Аристотеля. Смущенный тем, что теории Аристотеля противоречат тому, что мы наблюдаем в природе, Галилей экспериментально измерил скорость падения тел и показал, что для всех тел она одинакова.

③ В 1664 году Кембриджский университет, студентом которого тогда был сэр Исаак Ньютон (1642–1727), закрыли на полтора года из-за эпидемии чумы. Ньютон удалился в деревню, где он открыл законы механики и тяготения, а также разработал математические основы дифференциального и интегрального исчисления. Эти открытия, как и свой вывод о том, что небесные тела, например, Луна, подчиняются тем же простым физическим законам, что и земные предметы, такие как яблоко (для того времени это была новаторская идея), Ньютон изложил в сочинении под названием *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (“Математические начала натуральной философии”), опубликованном в 1687 году. Эту работу, пожалуй, можно считать важнейшим и самым авторитетным научным и математическим трудом всех времен.

④ На явлении инерции, которая удерживает неподвижные предметы в неподвижности, основано множество повседневных бытовых процессов. Острые вращающиеся ножи газонокосилки режут неподвижную траву, благо инерция не дает травинкам отклоняться в сторону. Точно так же блендеры, кухонные комбайны и некоторые модели кофемолок могут измельчать продукты и превращать их в порошок, потому что кусочки продуктов остаются неподвижными благодаря собственной инерции. Даже для того, чтобы просто оторвать лист от рулона кухонных бумажных полотенец, необходима инерция, которая удерживает рулон в неподвижности.

равномерно и прямолинейно, скорость не меняется — она постоянна. Допустим, вы катитесь на запад со скоростью 10 метров в секунду — эта скорость будет сохраняться бесконечно долго. 10 метров в секунду означает, что, двигаясь с такой скоростью в течение одной секунды, вы проезжаете 10 метров. При сохранении такой постоянной скорости за 10 секунд вы преодолеете 100 метров, за 100 секунд — 1000 метров и так далее. Более того, ваш путь представляет собой прямую линию. Иными словами, вы движетесь равномерно и прямолинейно, по инерции.

Коньки помогают нам переформулировать прежнее определение инерции с учетом понятия скорости: тело, не подверженное влиянию внешних факторов, движется с постоянной скоростью и за равные промежутки времени проходит равные отрезки пути по прямой. Это положение часто называют первым законом механики Ньютона — в честь его автора, английского математика и физика, сэра Исаака Ньютона ③. Внешние факторы, влияющие на движение, именуются силами — это научный термин для разнообразных толчков и тяги. О различных примерах проявления инерции в быту см. ④.

Первый закон Ньютона

Тело, не подверженное воздействию внешних сил, движется с постоянной скоростью и за равные промежутки времени покрывает равные расстояния по прямой.

Голос интуиции: движение по инерции

Интуиция подсказывает нам, что, если тело не подталкивать, оно замедлит движение и остановится; чтобы тело все время двигалось, его надо толкать.

Физика утверждает, что, если тело не подталкивать, оно движется по инерции с постоянной скоростью.

Вывод: на тело обычно действуют также и скрытые силы, такие как трение и сопротивление воздуха, которые заставляют его замедлиться. Избавиться от действия этих сил трудно, поэтому движение тел по инерции в чистом виде, в отсутствие внешних сил, наблюдается редко.

Альтернатива движению по инерции: ускорение

Когда вы скользите вперед по горизонтальной плоскости и ничто вас не подталкивает, что помогает вам сохранить постоянные скорость и направление? Ваша масса. Масса — это мера инерции и способности сопротивляться изменению скорости. Массу имеет почти все во Вселенной. Вы имеете массу, поэтому ваша скорость изменится только в том случае, если что-то вас толкнет, то есть если вы испытаете на себе действие силы. Вы будете двигаться равномерно и прямолинейно, пока к вам не будет почему-либо приложена сила, которая остановит вас или направит в другую сторону. Сила — это третья векторная величина, имеющая модуль и направление. И в самом деле, совсем не все равно, куда вас толкнут — влево или вправо!

Если что-то вас толкает, ваша скорость меняется; иными словами, вы движетесь с ускорением. Ускорение, четвертый вектор в нашем списке, служит мерой изменения скорости. Ускорение — это любое изменение скорости, будь то собственно увеличение темпа движения, замедление или даже поворот. Если ваша скорость меняется по величине и/или вы меняете направление движения, значит, вы двигаетесь с ускорением!

Как и положено вектору, ускорение имеет модуль и направление. Чтобы понять роль обоих параметров, представьте себе, что вы стоите у стартовой линии на ледовой дорожке и ждете команды к началу забега. Раздался выстрел, и вы помчались! Вы отталкиваетесь коньками ото льда и начинаете ускорять бег — ваша скорость увеличивается, вы бежите все быстрее и быстрее. Численное значение ускорения зависит от того, насколько сильно твердая поверхность толкает вас вперед. На длинной дистанции рывок не нужен, и вы набираете полную скорость не сразу. Лед мягко посылает вас вперед, а модуль ускорения невелик. Скорость меняется медленно. Но если это спринт и вам надо разогнаться до максимальной скорости как можно быстрее, вы рванете с места, и со стороны льда к вам будет приложена очень большая сила. Мо-

дуль ускорения велик, скорость меняется быстро. В этом случае вы физически почувствуете, как инерция противостоит вашим попыткам набрать скорость.

Но ускорение не сводится к одной только величине. На старте вы выбираете еще и направление ускорения — направление, в котором будет меняться со временем ваша скорость. Ускорение направлено туда же, куда и сила, его вызвавшая. Если со стороны льда исходит сила, которая посылает вас вперед, ускорение тоже направлено вперед — ваша скорость все больше и больше меняется по направлению к финишу. Если же вы сделаете что-то не так и сила, действующая на вас со стороны льда, вдруг сменит направление на боковое, то вашим соперникам придется уворачиваться от вас, пока вы будете стремительно лететь прямо в бортик. И до самого финиша они будут потешаться над вами — как можно было так недооценить значение направления в определении силы и ускорения!

Как только вы достаточно разгонитесь, можно прекратить борьбу с инерцией и просто скользить. Вы катитесь вперед по инерции с постоянной скоростью. Теперь инерция вам помогает: она заставляет вас двигаться равномерно, хотя ничто вас не подталкивает. Напомню, что трением и сопротивлением воздуха мы пренебрегли. В реальной жизни эти силы толкают вас назад и постепенно замедляют скольжение. Однако в этом разделе мы их не учитываем, поэтому вы катитесь плавно и равномерно.

Но даже не пытаясь поехать быстрее или медленнее, вы все равно можете двигаться с ускорением. Когда вы маневрируете или преодолеваете препятствие, на вас действуют силы, направленные вбок или вверх-вниз; они меняют направление вашего движения и тем самым придают вам ускорение.

Наконец дистанция пройдена, пора останавливаться, вы тормозите. И вновь вы движетесь с ускорением. На этот раз ускорение направлено назад, против направленной вперед скорости. Обычно мы называем такой процесс замедлением, хотя на самом деле это особый тип ускорения. Направленная вперед скорость постепенно уменьшается до вашей полной остановки.

Приведем примеры движения тел с ускорением, чтобы вы лучше поняли этот феномен:

1. Бегун на старте делает резкий рывок вперед — вектор его скорости меняется от нуля до ненулевого, направленного вперед, поэтому ускорение спортсмена направлено вперед.
2. Велосипед останавливается перед пешеходным переходом — вектор его скорости был направлен вперед, а стал равен нулю, то есть ускорение велосипеда направлено назад (велосипед замедлил ход).
3. Лифт начинает подниматься с первого этажа на пятый — вектор его скорости изменился с нулевого на ненулевой, направленный вверх, поэтому ускорение лифта направлено вверх.
4. Лифт, поднявшийся с первого этажа, останавливается на пятом — вектор его скорости был направлен вверх, а стал нулевым, стало быть, ускорение направлено вниз.
5. Автомобиль берет влево, чтобы обогнать другой автомобиль, — вектор его скорости был направлен вперед, а теперь направлен вперед и влево, поэтому ускорение направлено влево.
6. Самолет начинает снижаться — вектор его скорости был направлен вдоль горизонтального воздушного коридора, а теперь направлен вниз и вперед, поэтому ускорение направлено почти прямо вниз.
7. Дети катаются на карусели — их скорость постоянна, но направление движения постоянно меняется. О направлении ускорения в этом случае мы поговорим в разделе 3.3.

А вот примеры случаев, когда ускорение отсутствует:

1. Припаркованный автомобиль — вектор его скорости всегда равен нулю.
2. Автомобиль едет прямо по ровному шоссе с постоянной скоростью — не меняется ни модуль скорости, ни направление движения.
3. Велосипед едет вверх по ровному склону с постоянной скоростью — не меняется ни модуль скорости, ни направление движения.