

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ ФИЗИКА

КНИГА ПЕРВАЯ



ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ АВТОРА К ТРИНАДЦАТОМУ ИЗДАНИЮ

В этой книге автор стремится не столько сообщить читателю новые знания, сколько помочь ему «узнать то, что он знает», т. е. углубить и оживить уже имеющиеся у него основные сведения из физики, научить сознательно ими распоряжаться и побудить к разностороннему их применению. Достигается это рассмотрением пестрого ряда головоломок, замысловатых вопросов, занимательных рассказов, забавных задач, парадоксов и неожиданных сопоставлений из области физики, относящихся к кругу повседневных явлений или черпаемых из общеизвестных произведений научно-фантастической беллетристики. Материалом последнего рода составитель пользовался особенно широко, считая его наиболее соответствующим целям сборника: приведены отрывки из романов и рассказов Жюль Верна, Уэллса, Марка Твена и др. Описываемые в них фантастические опыты, помимо их заманчивости, могут и при преподавании играть немаловажную роль в качестве живых иллюстраций.

Составитель старался, насколько мог, придавать изложению внешне интересную форму, сообщать привлекательность предмету. Он руководствовался той психологической аксиомой, что интерес к предмету повышает внимание, облегчает понимание и, следовательно, способствует более сознательному и прочному усвоению.

Вопреки обычаю, установившемуся для подобного рода сборников, в «Занимательной физике» весьма мало места отводится описанию забавных и эффектных физических опытов. Эта книга имеет иное назначение, нежели сборники, предлагающие материал для экспериментирования. Главная цель «Занимательной физики» — возбудить деятельность научного воображения, приучить читателя мыслить в духе физической науки и создать в его памяти многочисленные ассоциации физических знаний с самыми разнородными явлениями жизни, со всем тем, с чем он обычно входит в соприкосновение.

Ввиду интереса, проявляемого читателями к истории этой книги, приводим некоторые библиографические данные о ней.

«Занимательная физика» родилась четверть века назад и была первенцем в многочисленной книжной семье ее автора, насчитывающей сейчас несколько десятков членов.

«Занимательной физике» посчастливилось проникнуть — как свидетельствуют письма читателей — в самые глухие уголки Союза.

Значительное распространение книги, свидетельствующее о живом интересе широких кругов к физическим знаниям, налагает на автора серьезную ответственность за качество ее материала. Сознанием этой ответственности объясняются многочисленные изменения и дополнения в тексте «Занимательной физики» при повторных изданиях. Книга, можно сказать, писалась в течение всех 25 лет ее существования. В последнем издании от текста первого сохранилась едва половина, а от иллюстраций — почти ни одной.

К автору поступали от иных читателей просьбы воздерживаться от переработки текста, чтобы не вынуждать их «из-за десятка новых страниц приобретать каждое повторное издание». Едва ли подобные соображения могут освободить автора от обязанности всемерно улучшать свой труд. «Занимательная физика» не художественное произведение, а сочинение научное, хотя и популярное. Ее предмет — физика — даже в начальных своих основаниях непрестанно обогащается свежим материалом, и книга должна периодически включать его в свой текст.

С другой стороны, приходится нередко слышать упреки в том, что «Занимательная физика» не уделяет места таким темам, как новейшие успехи радиотехники, расщепление атомного ядра, современные физические теории и т. п. Упреки такого рода — плод недоразумения. «Занимательная физика» имеет вполне определенную целевую установку; рассмотрение же этих вопросов — задача иных сочинений.

К «Занимательной физике» примыкает и несколько других сочинений того же автора. Одно предназначено для сравнительно мало подготовленного читателя, еще не приступавшего к систематическому изучению физики, и озаглавлено «Физика на каждом шагу» (издание «Детиздата»). Два других, напротив, имеют в виду тех, кто уже закончил изучение среднешкольного курса физики. Это — «Занимательная механика» и «Знаете ли вы физику?». Последняя книга является как бы завершением «Занимательной физики».

Я. Перельман
1936

ГЛАВА ПЕРВАЯ

СКОРОСТЬ. СЛОЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЙ

Как быстро мы движемся?

Спортивную дистанцию 1,5 км хороший бегун пробегает примерно за 3 мин 50 с (мировой рекорд 1958 г. — 3 мин 36,8 с). Для сравнения с обычной скоростью пешехода — 1,5 м/с — надо сделать маленькое вычисление; тогда окажется, что спортсмен пробегает в секунду 7 м. Впрочем, скорости эти не вполне сравнимы: пешеход может ходить долго, целые часы, делая по 5 км/ч, спортсмен же способен поддерживать значительную скорость своего бега только короткое время. Пехотная воинская часть перемещается бегом втрое медленнее рекордсмена; она делает 2 м/с, или 7 с лишком километров в час, но имеет перед спортсменом то преимущество, что может совершать гораздо бóльшие переходы.

Интересно сравнить нормальную поступь человека со скоростью таких — вошедших в поговорку — медлительных животных, как улитка или черепаха. Улитка вполне оправдывает репутацию, приписываемую ей поговоркой: она проходит 1,5 мм/с, или 5,4 м/ч, — ровно в тысячу раз меньше человека! Другое классически медленное животное, черепаха, не намного перегоняет улитку: ее обычная скорость — 70 м/ч.

Проворный рядом с улиткой и черепахой, человек предстанет перед нами в ином свете, если сопоставить его движение с другими, даже не очень быстрыми движениями в окружающей природе. Правда, он легко перегоняет течение воды в большинстве равнинных рек и не намного отстает от умеренного ветра. Но с мухой, пролетающей 5 м/с, человек может успешно состязаться разве только на лыжах. Зайца или охотничью собаку человек не перегонит даже на лошади карьером. Состязаться в скорости с орлом человек может лишь на самолете.

Машины, изобретенные человеком, делают его самым быстрым существом мира.

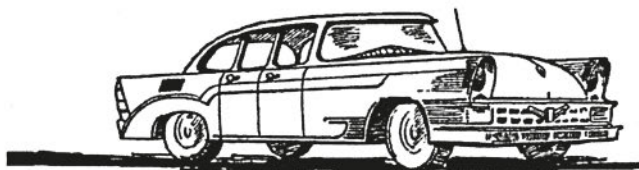


Рис. 1. Автомобиль ЗИЛ-111

Сравнительно недавно в СССР был построен пассажирский теплоход с подводными крыльями, развивающий скорость 60–70 км/ч. На суше человек может двигаться быстрее, чем на воде. На некоторых участках пути скорость движения пассажирских поездов в СССР доходит до 100 км/ч. Новая легковая автомашина ЗИЛ-111 (рис. 1) может развивать скорость до 170 км/ч, семиместный легковой автомобиль «Чайка» — до 160 км/ч.

Эти скорости далеко превзошла современная авиация. На многих линиях гражданского воздушного флота СССР работают многоместные лайнеры ТУ-104 и ТУ-114 (рис. 2). Средняя скорость их полета составляет около 800 км/ч.

Еще не так давно перед авиаконструкторами ставилась задача перешагнуть «звуковой барьер», превысить скорость звука (330 м/с, т. е. 1200 км/ч). Сейчас эта задача решена. Скорости небольших самолетов с мощными реактивными двигателями приближаются к 2000 км/ч.

Аппараты, создаваемые человеком, могут достигать еще больших скоростей. Искусственные спутники Земли, летающие вблизи границы плотных слоев атмосферы, движутся со скоростью около 8 км/с. Космические аппараты, направляющиеся к планетам Солнечной системы, получают начальную скорость, превышающую вторую космическую скорость (11,2 км/с у поверхности Земли).



Рис. 2. Пассажирский реактивный самолет ТУ-104

Читатель может просмотреть следующую таблицу скоростей:

Улитка	1,5 мм/с	5,4 м/ч
Черепаха	20 »	70 »
Рыба	1 м/с	3,6 км/ч
Пешеход	1,4 »	5 »
Конница шагом	1,7 »	6 »
» рысью	3,5 »	12,6 »
Муха	5 »	18 »
Лыжник	5 »	18 »
Конница карьером	8,5 »	30 »
Теплоход с подводными крыльями	16 »	58 »
Заяц	18 »	65 »
Орел	24 »	86 »
Охотничья собака	25 »	90 »
Поезд	28 »	100 »
Автомобиль ЗИЛ-111	50 »	170 »
Гоночный автомобиль (рекорд).....	174 »	633 »
ТУ-104	220 »	800 »
Звук в воздухе	330 »	1200 »
Легкий реактивный самолет.....	550 »	2000 »
Земля по орбите	30 000 »	108 000 »

В погоне за временем

Можно ли в 8 часов утра вылететь из Владивостока и в 8 часов утра того же дня прилететь в Москву? Вопрос этот вовсе не лишен смысла. Да, можно. Чтобы понять этот ответ, нужно только вспомнить, что разница между поясным временем Владивостока и Москвы составляет девять часов. И если самолет сможет пройти расстояние между Владивостоком и Москвой за это время, то он прибудет в Москву в час своего вылета из Владивостока.

Расстояние Владивосток — Москва составляет примерно 9000 км. Значит, скорость самолета должна быть равна $9000 : 9 = 1000$ км/ч. Это вполне достижимая в современных условиях скорость.

Чтобы «перегнать Солнце» (или, точнее, Землю) в полярных широтах, нужна значительно меньшая скорость. На 77-й параллели (Новая Земля) самолет, обладающий скоростью около 450 км/ч, пролетает столько же, сколько успевает за тот же промежуток времени пройти точка земной поверхности при вращении Земли вокруг оси. Для пассажира такого самолета Солнце остановится и будет непо-

движно висеть на небе, не приближаясь к закату (при этом, конечно, самолет должен двигаться в подходящем направлении).

Еще легче «перегнать Луну» в ее собственном обращении вокруг Земли. Луна движется вокруг Земли в 29 раз медленнее, чем Земля вокруг своей оси (сравниваются, конечно, так называемые «угловые», а не линейные скорости). Поэтому обыкновенный пароход, делающий 25–30 км/ч, может уже в средних широтах «перегнать Луну».

О таком явлении упоминает Марк Твен в своих очерках «Простак за границей». Во время переезда по Атлантическому океану от Нью-Йорка к Азорским островам «стояла прекрасная летняя погода, а ночи были даже лучше дней. Мы наблюдали странное явление — Луну, появляющуюся каждый вечер в тот же час в той же точке неба. Причина этого оригинального поведения Луны сначала оставалась для нас загадочной, но потом мы сообразили, в чем дело: мы подвигались каждый час на 20 минут долготы к востоку, т. е. именно с такой скоростью, чтобы не отставать от Луны!».

Тысячная доля секунды

Для нас, привыкших мерить время на свою человеческую мерку, тысячная доля секунды равнозначна нулю. Такие промежутки времени лишь недавно стали встречаться в нашей практике. Когда время определяли по высоте Солнца или длине тени, то не могло быть речи

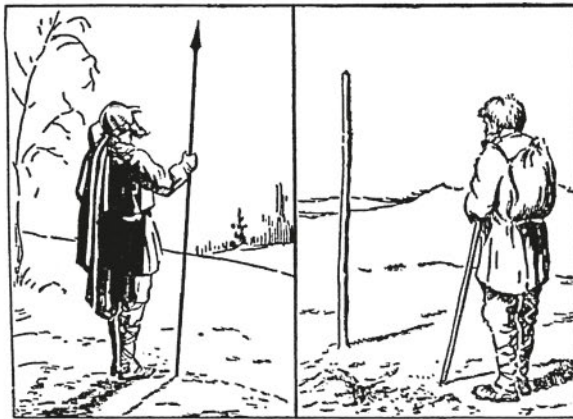


Рис. 3. Определение времени дня по положению Солнца на небе (слева) и по длине тени (справа)

о точности даже до минуты (рис. 3); люди считали минуту слишком ничтожной величиной, чтобы стоило ее измерять. Древний человек жил такой неторопливой жизнью, что на его часах — солнечных, водяных, песочных — не было особых делений для минут (рис. 4, 5). Только с начала XVIII века стала появляться на циферблате минутная стрелка. А с начала XIX века появилась и секундная стрелка.

Что же может совершиться в тысячную долю секунды? Очень многое! Поезд, правда, может переместиться за этот промежуток времени всего сантиметра на три, звук — уже на 33 м, самолет — примерно на полметра; земной шар пройдет в своем движении вокруг Солнца в такую долю секунды 30 м, а свет — 300 км.

Мелкие существа, окружающие нас, если бы они умели рассуждать, вероятно, не считали бы тысячную долю секунды за ничтожный промежуток времени. Для насекомых, например, величина эта вполне ощутима. Комар в течение одной секунды делает 500–600 полных взмахов крылышками; значит, в тысячную долю секунды он успевает поднять их или опустить.

Человек не способен перемещать свои члены так быстро, как насекомое. Самое быстрое наше движение — мигание глаз, «мгновение ока», или «миг», в первоначальном смысле этих слов. Оно совершается так быстро, что мы не замечаем даже временного затмения поля нашего зрения. Немногие, однако, знают, что это движение — синоним невообразимой быстроты — протекает, в сущности, довольно медленно, если измерять его тысячными долями секунды. Полное «мгновение ока» длится, как обнаружили точные измерения, в среднем $\frac{2}{5}$ секунды, т. е. 400 тысячных долей ее. Оно распадается на следующие фазы: опускание века (75–90 тысячных секунды), состояние неподвижности опущенного века (130–170 тысячных) и поднятие его (около 170 тысячных). Как видите, один «миг» в буквальном смысле этого слова — промежуток довольно значительный, в течение которого глазное веко успевает даже немного отдохнуть. И если бы мы могли раздельно воспринимать впечатления, длящиеся тысяч-

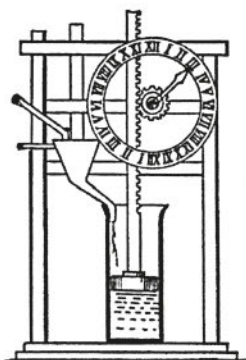


Рис. 4. Водяные часы, употреблявшиеся в древнем мире



Рис. 5. Старинные карманные часы

ную долю секунды, мы уловили бы «в один миг» два плавных движения глазного века, разделенных промежутком покоя.

При таком устройстве нашей нервной системы мы увидели бы окружающий нас мир преобразенным до неузнаваемости. Описание тех странных картин, какие представились бы тогда нашим глазам, дал английский писатель Уэллс в рассказе «Новейший ускоритель». Герои рассказа выпили фантастическую микстуру, которая действует на нервную систему так, что делает органы чувств восприимчивыми к раздельному восприятию быстрых явлений.

Вот несколько примеров из рассказа:

«— Видали ли вы до сих пор, чтобы занавеска прикреплялась к окну таким манером?

Я посмотрел на занавеску и увидел, что она словно застыла и что угол у нее как загнулся от ветра, так и остался.

— Не видал никогда, — сказал я. — Что за странность!

— А это? — сказал он и растопырил пальцы, державшие стакан.

Я ожидал, что стакан разобьется, но он даже не шевельнулся: он повис в воздухе неподвижно.

— Вы, конечно, знаете, — сказал Гибберн, — что падающий предмет опускается в первую секунду на пять метров. И стакан пробегает теперь эти пять метров, — но, вы понимаете, не прошло еще и сотой доли секунды*. Это может вам дать понятие о силе моего „ускорителя“.

Стакан медленно опускался. Гибберн провел рукой вокруг стакана, над ним и под ним...

Я глянул в окно. Какой-то велосипедист, застывший на одном месте, с застывшим облаком пыли позади, догонял какую-то бричку, которая также не двигалась ни на один дюйм.

...Наше внимание было привлечено omnibusом, совершенно окаменевшим. Верхушка колес, лошадиные ноги, конец кнута и нижняя челюсть кучера (он только что начал зевать) — все это хотя и медленно, но двигалось; остальное же в этом неуклюжем экипаже совершенно застыло. Сидящие там люди были как статуи.

...Какой-то человек застыл как раз в тот момент, когда он делал нечеловеческие усилия сложить на ветру газеты. Но для нас этого ветра не существовало.

...Все, что было сказано, подумано, сделано мной с той поры, как „ускоритель“ проник в мой организм, было лишь мгновением ока для всех прочих людей и для всей Вселенной».

* Надо иметь в виду к тому же, что в первую сотую долю первой секунды своего падения тело проходит не сотую часть от 5 м, а 10 000-ю (по формуле $S = \frac{gt^2}{2}$), т. е. полмиллиметра, а в первую тысячную долю секунды — всего $1/200$ мм. — *Здесь и далее, кроме указанных особо, примеч. автора.*

Вероятно, читателям интересно будет узнать, каков наименьший промежуток времени, измеримый средствами современной науки? Еще в начале этого века он равнялся 10 000-й доле секунды; теперь же физик в своей лаборатории способен измерить 100 000 000 000-ю долю секунды. Этот промежуток примерно во столько же раз меньше целой секунды, во сколько раз секунда меньше 3000 лет!

«Лупа времени»

Когда Уэллс писал свой «Новейший ускоритель», он едва ли думал, что нечто подобное когда-нибудь осуществится в действительности. Ему довелось, однако, дожить до этого: он мог собственными глазами увидеть — правда, только на экране — те картины, которые создало некогда его воображение. Так называемая «лупа времени» показывает нам на экране в замедленном темпе многие явления, протекающие обычно очень быстро.

«Лупа времени» — это кинематографический фотоаппарат, делающий в секунду не 24 снимка, как обычные киноаппараты, а во много раз больше. Если заснятое так явление проектировать на экран, пуская ленту с обычной скоростью 24 кадра в секунду, то зрители увидят явление растянутым — совершающимся в соответствующее число раз медленнее нормального. Читателю случалось, вероятно, видеть на экране такие неестественно плавные прыжки и другие замедленные явления. С помощью более сложных аппаратов того же рода достигается замедление еще более значительное, почти воспроизводящее то, что описано в рассказе Уэллса.

Когда мы движемся вокруг Солнца быстрее — днем или ночью?

В парижских газетах появилось однажды объявление, обещавшее каждому за 25 сантимов указать способ путешествовать дешево и притом без малейшего утомления. Нашлись легковверные, которые прислали требуемые 25 сантимов. В ответ каждый из них получил по почте письмо следующего содержания:

«Оставайтесь, гражданин, спокойно в своей кровати и помните, что Земля наша вертится. На параллели Парижа — 49-й — вы пробегаете каждые сутки более 25 000 км. А если вы любите живописные

виды, откиньте оконную занавеску и восхищайтесь картиной звездного неба».

Привлеченный к суду за мошенничество, виновник этой затеи выслушал приговор, уплатил наложенный на него штраф и, говорят, став в театральную позу, торжественно повторил знаменитое восклицание Галилея:

— А все-таки она вертится!

В известном смысле обвиняемый был прав, потому что каждый обитатель земного шара не только «путешествует», вращаясь вокруг земной оси, но с еще большей скоростью переносится Землей в ее обращении вокруг Солнца. *Ежесекундно* планета наша со всеми своими обитателями перемещается в пространстве на 30 км, вращаясь одновременно и вокруг оси.

По этому поводу можно задать интересный вопрос: когда мы движемся вокруг Солнца быстрее — днем или ночью?

Вопрос способен вызвать недоумение: ведь всегда на одной стороне Земли день, на другой — ночь; какой же смысл имеет наш вопрос? По-видимому, никакого.

Однако это не так. Спрашивается ведь не о том, когда вся Земля перемещается скорее, а о том, когда мы, ее обитатели, движемся скорее среди звезд. А это уже вовсе не бессмысленный вопрос. В Сол-

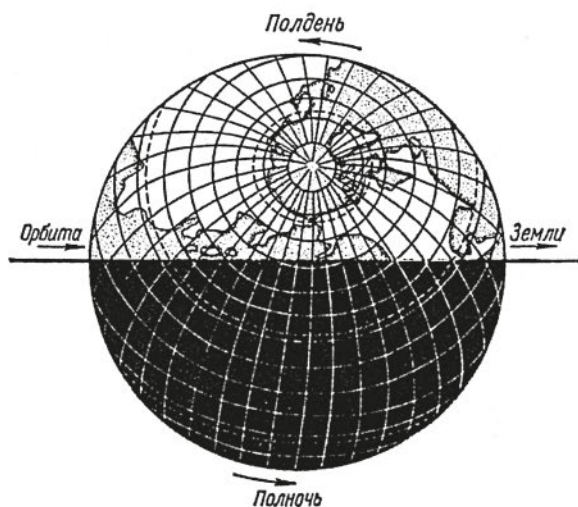


Рис. 6. На ночной половине земного шара люди движутся вокруг Солнца быстрее, чем на дневной

нечной системе мы совершаем два движения: вращаемся вокруг Солнца и в то же время обращаемся вокруг земной оси. Оба движения складываются, но результат получается различный, смотря по тому, находимся ли мы на дневной или ночной половине Земли. Взгляните на рис. 6, и вы поймете, что в полночь скорость вращения *прибавляется* к поступательной скорости Земли, а в полдень, наоборот, *отнимается* от нее. Значит, *в полночь мы движемся в Солнечной системе быстрее, нежели в полдень.*

Так как точки экватора пробегают в секунду около полукилометра, то для экваториальной полосы разница между полуденной и полуночной скоростью достигает целого километра в секунду. Знакомые с геометрией легко могут вычислить, что для Ленинграда (который находится на 60-й параллели) эта разница вдвое меньше: в полночь ленинградцы каждую секунду пробегают в Солнечной системе на полкилометра больше, нежели в полдень.

Загадка тележного колеса

Прикрепите сбоку к ободу тележного колеса (или к шине велосипедного) цветную бумажку и наблюдайте за ней во время движения телеги (или велосипеда). Вы заметите странное явление: пока бумажка находится в нижней части катящегося колеса, она видна довольно отчетливо; в верхней же части она мелькает так быстро, что вы не успеваете ее разглядеть.

Выходит как будто, что верхняя часть колеса движется быстрее, чем нижняя. То же наблюдение можно сделать, если сравнить между собой верхние и нижние спицы катящегося колеса какого-нибудь экипажа. Будет заметно, что верхние спицы сливаются в одно сплошное целое, нижние же видимы раздельно. Дело опять-таки происходит так, словно верхняя часть колеса быстрее движется, чем нижняя.

В чем же разгадка этого странного явления? Да просто в том, что верхняя часть катящегося колеса *действительно движется быстрее, чем нижняя.* Факт представляется с первого взгляда невероятным, а между тем простое рассуждение убедит нас в этом. Ведь каждая точка катящегося колеса совершает сразу два движения: обращается вокруг оси и в то же время подвигается вперед вместе с этой осью. Происходит — как в случае земного шара — сложение двух движений, и результат для верхней и нижней частей колеса получается

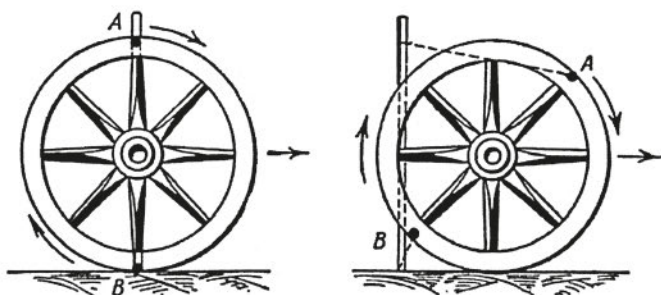


Рис. 7. Как убедиться, что верхняя часть колеса движется быстрее нижней. Сравните расстояния точек *A* и *B* откатившегося колеса (правый чертеж) от неподвижной палки

разный. Вверху вращательное движение колеса *прибавляется* к поступательному, так как оба движения направлены в одну и ту же сторону. Внизу же вращательное движение направлено в *обратную* сторону и, следовательно, *отнимается* от поступательного. Вот почему верхние части колеса перемещаются относительно неподвижного наблюдателя быстрее, чем нижние.

То, что это действительно так, легко понять на простом опыте, который следует проделать при удобном случае. Воткните в землю палку рядом с колесом стоящей телеги так, чтобы палка приходилась против оси. На ободе колеса, в самой верхней и в самой нижней его части, сделайте пометки мелом или углем; пометки придутся, следовательно, как раз против палки. Теперь откатите телегу немного вправо (рис. 7), чтобы ось отошла от палки сантиметров на 20–30, и заметьте, как переместились ваши пометки. Окажется, что верхняя пометка *A* переместилась заметно больше, нежели нижняя *B*, которая только едва отступила от палки.

Самая медленная часть колеса

Итак, не все точки движущегося колеса телеги перемещаются одинаково быстро. Какая же часть катящегося колеса движется всего медленнее?

Нетрудно сообразить, что *медленнее всех движутся те точки колеса, которые в данный момент соприкасаются с землей*. Строго говоря, в момент соприкосновения с почвой эти точки колеса совершенно неподвижны.

Все сказанное справедливо только для колеса *катящегося*, а не для такого, которое вращается на неподвижной оси. В маховом колесе, например, верхние и нижние точки обода движутся с одинаковой скоростью.

Задача не шутка

Вот еще одна не менее любопытная задача: в поезде, идущем, скажем, из Ленинграда в Москву, существуют ли точки, которые по отношению к полотну дороги движутся обратно — от Москвы к Ленинграду?

Оказывается, что в каждый момент на каждом колесе существуют такие точки. Где же они находятся?

Вы знаете, конечно, что железнодорожные колеса имеют на ободу выступающий край (реборду). И вот оказывается, что нижние точки этого края при движении поезда перемещаются вовсе не вперед, а назад!

В этом легко удостовериться, проделав такой опыт. К небольшому кружочку, например к монете или пуговице, прилепите воском спичку так, чтобы она прилегала к кружку по радиусу и далеко выступала за край. Если теперь упереть кружок (рис. 8) в край линейки в точке C и начать катить его справа налево, то точки F, E и D выступающей части отодвинутся не вперед, а назад. Чем дальше точка от края кружка, тем заметнее подастся она назад при качении кружка (точка D перейдет в D').

Точки реборды железнодорожного колеса движутся так же, как и выступающая часть спички в нашем опыте.

Вас не должно удивлять теперь, что в поезде существуют точки, которые движутся *не вперед, а назад*.

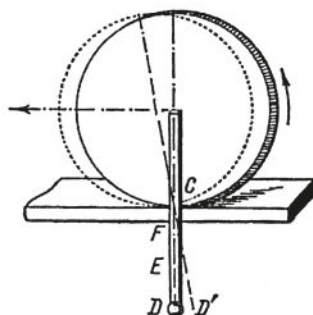


Рис. 8. Опыт с кружком и спичкой. Когда колесо откатывается налево, точки F, E, D выступающей части спички подвигаются в обратную сторону

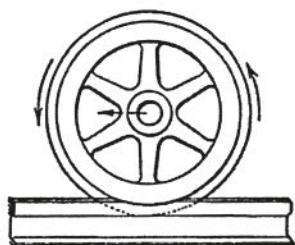


Рис. 9. Когда железнодорожное колесо катится налево, нижние части его выступающего края движутся направо, т. е. в обратную сторону

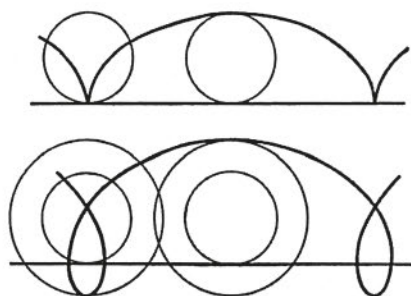


Рис. 10. Вверху изображена та кривая линия («циклоида»), которую описывает каждая точка обода катящегося колеса телеги. Внизу — кривая линия, описываемая каждой точкой выступающего края железнодорожного колеса

Правда, это движение длится лишь ничтожную долю секунды; но, как бы то ни было, обратное перемещение в движущемся поезде все же существует наперекор нашим обычным представлениям. Сказанное поясняется рис. 9 и 10.

Откуда плыла лодка?

Вообразите, что весельная лодка плывет по озеру, и пусть стрелка a на нашем рис. 11 изображает направление и скорость ее движения. Наперез идет парусная лодка; стрелка b изображает ее направление

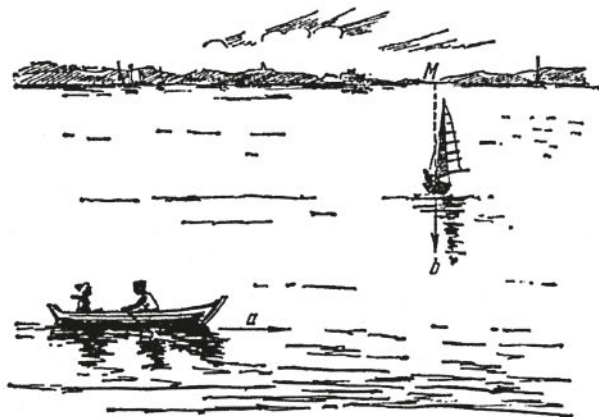


Рис. 11. Парусная лодка идет наперез весельной. Стрелки a и b — скорости. Что увидят гребцы?

и скорость. Если вас, читатель, спросят, откуда эта лодка отчалила, вы, конечно, сразу укажете пункт M на берегу. Но если с тем же вопросом обратиться к пассажирам весельной лодки, они укажут бы совершенно другую точку. Почему?

Происходит это оттого, что пассажиры видят лодку движущейся вовсе не под прямым углом к пути своей лодки. Они ведь не чувствуют собственного движения: им кажется, что сами они стоят на месте, а все кругом движется с их собственной скоростью, но в обратном направлении. Поэтому *для них* парусная лодка движется не только по направлению стрелки b , но и по направлению пунктирной линии a , обратно движению весельной лодки (рис. 12). Оба движения парусной лодки — действительное и кажущееся — складываются по правилу параллелограмма. В результате пассажирам шлюпки кажется, будто парусная лодка движется по диагонали параллелограмма, построенного на b и a . Вот почему пассажирам представляется, что парусная лодка отчалила от берега вовсе не в точке M , а в некоторой точке N , далеко впереди по движению весельной шлюпки.

Двигаясь вместе с Землей по ее орбите и встречая лучи звезд, мы судим о положении источников этих лучей так же неправильно, как пассажиры весельной лодки ошибочно определяют место отплытия парусной. Поэтому звезды представляются нам немного смещенными вперед по пути движения Земли. Конечно, скорость движения Земли ничтожна по сравнению со скоростью света (в 10 000 раз меньше); поэтому кажущееся смещение звезд незначительно. Но оно

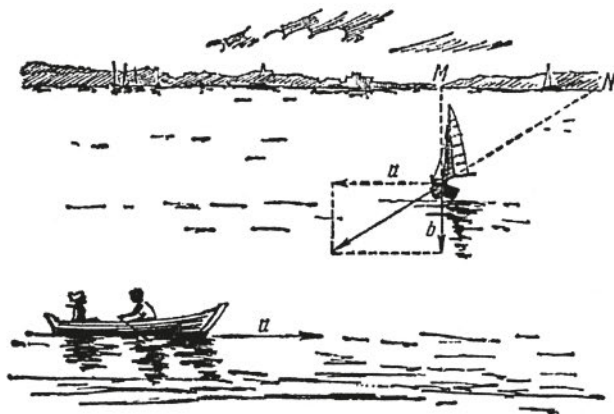


Рис. 12. Гребцам кажется, что парусная лодка идет не наперез им, а косо — от точки N , а не от M