

3. Импульс и поток импульса

Мы начнем с самой обширной области физики, а именно с механики. И прежде всего воспользуемся следующим предварительным определением: механика занимается движением окружающих тел. Дальше мы убедимся, что это определение достаточно ограниченное, хотя и кажется теперь очень широким.

Механика представляет собой старейший раздел физики. Важнейшие законы механики известны уже более 200 лет. Продолжительное время целью физики было механическое объяснение всех природных явлений, сведение их к механике, и не только таких процессов, которые явно связаны с движением, но и тепловых, оптических, электрических и химических. С такой точки зрения мир представлял собой гигантский и очень сложный “механизм”.

Уже с начала 20-го века стало ясно, что такой взгляд не может быть сохранен. Другие части физики вместе с механикой являются равноправными составляющими ее, в том числе, например, учение об электричестве и учение о теплоте. Обычно в некотором процессе играют определенную роль как механические, так и электрические, тепловые и другие физические явления. Если мы теперь займемся механикой, то значит будем рассматривать процессы только с одной стороны, а именно с механической. Тогда при изучении некоторого тела нас будет интересовать движется ли оно и если движется, то как оно движется. При этом не будем интересоваться какую температуру оно имеет, заряжено ли оно электрически, есть ли у него цвет. И тем более не будем интересоваться свойствами, которые не имеют никакого отношения к физике, например, стоимостью, красотой или уродством этого физического тела.

До начала знакомства с механикой мы должны изучить важнейший рабочий инструмент физиков: физические величины, что и сделаем в следующем разделе.

Таблица 3.1. Названия и сокращенные обозначения некоторых физических величин

Название величины	Символ
масса	m
скорость	v
время	t
объем	V
энергия	E
давление	p

3.1 Физические величины

Для физики характерно количественное описание природы. Под “количественным” подразумевается то, что физические высказывания выражаются в числах. Физик не будет удовлетворен, если ему известно только то, что некоторое тело имеет высокую температуру, маленькую массу или маленькую скорость. Он скорее будет пытаться определить значения температуры, массы или скорости. Его целью является вычисление или измерение того, что температура составляет $1530^{\circ}C$, масса равна 5.3 миллиграммам или скорость достигает 882 метров в секунду.

Температуру, массу и скорость называют *физическими величинами*. Существует еще много других физических величин. Целый ряд этих величин тебе уже известен, другие ты узнаешь в процессе изучения физики.

Физические величины относятся к важнейшим инструментам физиков.

Мы хотим, чтобы в памяти отложились правила обращения с физическими величинами; правила, которые ты давно знаешь, но возможно еще не вполне осознаешь и не всегда им следуешь.

Каждая физическая величина сокращенно обозначается некоторой буквой. Эти обозначения имеют интернациональный характер, т.е. приняты во многих странах. В таблице 3.1 приводятся примеры некоторых физических величин.

Обрати внимание на то, что не безразлично используется для символа большая или маленькая буква. Часто большая буква обозначает одну физическую величину, а маленькая - другую. Например, скорость обозначается буквой v , а объем буквой V . Иногда для некоторой величины применяется несколько символов. Так энергию обозначают как буквой E , так и буквой W .

Каждая величина имеет, как тебе уже наверняка известно, единицы измерения. Так единицей измерения времени является секунда, энергии - джоуль и давления - бар. В таблице 3.2 приводятся примеры некоторых единиц измерения.

Таблица 3.2. Названия и единицы измерения некоторых физических величин

Название величины	Единица измерения
масса	килограмм
скорость	метр в секунду
время	секунда
объем	кубический метр
энергия	джоуль
давление	бар

Таблица 3.3. Названия и единицы измерения некоторых физических величин вместе с сокращенными их обозначениями

Название величины(символ)	Единица измерения (символ)
масса (m)	килограмм ($кг$; kg)
скорость (v)	метр в секунду($м/с$; m/s)
время (t)	секунда ($с$; s)
объем (V)	кубический метр ($м^3$; m^3)
энергия (E)	джоуль ($Дж$; J)
давление (p)	бар ($бар$; bar)

Единица измерения представляет собой вполне определенное значение некоторой физической величины. Поэтому данная физическая величина выражается или как кратное единицы измерения, или как дробная часть ее. Утверждение “энергосодержание некоторого тела составляет 1000 джоулей” подразумевает, что данное тело содержит 1000 раз введенную единицу энергии “1 джоуль”.

Как для физических величин, так и для единиц физических величин используются сокращенные обозначения. Так слово “метр” сокращают до “ $м$ ”, “джоуль” - до “ $Дж$ ” и “секунду” -

до “ $с$ ”. В зарубежной научной литературе для различения физических величин и их единиц используется следующее правило: символы физических величин печатают курсивом. Например, символ m означает такую физическую величину как масса, а символ m – единицу измерения метр. Для единиц измерения также существуют общепринятые международные обозначения. Кроме того, используются также национальными, например, кириллическими (русскими) сокращениями для единиц измерения. В таблицу 3.3 собрано все сказанное до сих пор о физических величинах на примере некоторых из них. Таблица содержит: 1. названия некоторых величин, 2. обозначения этих величин, 3. названия соответствующих единиц измерения, 4. сокращения для единиц измерения (на русском языке и интернациональные).

Благодаря сокращенным обозначениям для физических величин и единиц их измерения можно записать компактно многие физические высказывания. Вместо “скорость составляет сто метров в секунду” можно просто написать $v = 100 \text{ м/с}$.

Или вместо “энергия составляет сорок тысяч джоулей” пишется

$$E = 40\,000 \text{ Дж.}$$

Следует внимательно относиться к обозначениям, хорошо их запомнить и никогда не путать.

Таблица 3.4. Приставки для обозначения кратных и дольных единиц измерения

Приставка	символ	значение
кило	k (k)	тысяча
мега	M (M)	миллион
гига	G (G)	миллиард
тера	T (T)	биллион
милли	m (m)	тысячная
микро	$μk$ ($μ$)	миллионная
нано	n (n)	миллиардная
пико	p (p)	биллионная

Часто приходится иметь дело с очень большими или очень маленькими количествами некоторой физической величины. Тогда удобно в качестве единицы использовать кратное или дробную часть единицы физической величины. Обычно кратность или

дробная часть указывается в виде приставки в названии единицы физической величины. Указанные приставки и их значения приведены в таблице 3.4. Каждая из приставок может быть записана сокращенно. Эти сокращенные обозначения также приведены в таблице 3.4. Приведем два примера:

$40\ 000\ \text{джоулей} = 40\ \text{кДж} = 0,04\ \text{МДж}$,

или

$0,000\ 002\ \text{м} = 0,002\ \text{мм} = 2\ \text{мкм}$.

Задачи

1. Назовите четыре величины (не содержащиеся в таблице 3.1.), их единицы измерения, а также символы, обозначающие эти величины и единицы.
2. Запишите следующие выражения кратко, используя приведенные в таблице 3.4 приставки:
 $E = 12\ 000\ 000\ \text{Дж}$,
 $v = 1\ 500\ \text{м/с}$,
 $p = 110\ 000\ \text{Па}$.
3. Скорость $v = 72\ \text{км/ч}$ запиши в м/с ,
4. Для любых величин назови единицы измерения, которые в настоящее время больше не используются.

3.2. Импульс и скорость

По нашему предварительному определению механика занимается изучением движения тел. Поэтому начнем с физического описания движения и прежде всего выясним необходимые средства для этого. Ты, конечно, помнишь, что важнейшим таким средством являются физические величины. В дальнейшем нам предстоит знакомиться со все новыми и новыми группами величин. Сейчас нам достаточно рассмотреть две из них. С одной из них ты уже дано знаком - это скорость, или сокращенно v . Для скорости существует много единиц измерения: километр в секунду, узел, миллиметр в день и т.д. В физике используется, как уже известно из предыдущего пункта, метр в секунду, или сокращенно м/с .

Вторая величина, которая нам нужна и которую можно численно выразить, наверняка тебе не известна. Если же рассмотреть ее свойства, то она тебе вполне знакома. К ней можно привыкнуть, поскольку ты в состоянии определять ее значения. Речь идет о величине, с помощью которой можно описать движение и которая, например, позволяет отличить покоящееся транспортное средство от дви-

жущегося. Скорость же, напротив, изображает нечто, чем обладает движущееся тело, и чего не имеет покоящееся тело. Каждому известно

понятие, которое описывает именно это свойство. Любой из нас скажет, например, что тяжело нагруженный катящийся вагон обладает большим “напором” или огромной “мощью”. Этот же вагон не имеет ни мощи, ни напора, если он не перемещается. Свойства, которые в обыденной речи могут быть определены словами напор или мощь, хорошо согласуются со свойствами искомой физической величины. И ее можно было бы назвать одним из этих слов, однако, для этой величины существует общепринятое специальное наименование. Эту величину называют “импульсом” и обозначают символом p . (Внимание: это же обозначение используется для давления).

Движущееся тело обладает импульсом. Чем быстрее оно движется, и чем тяжелее оно, тем больший имеет импульс. Если тело не движется, то у него нет импульса.

Как количественно оценить каким импульсом обладает тело мы обсудим дальше. Сейчас же познакомимся с единицей измерения импульса. Она называется *гюйгенсом*, сокращенно $\text{Н}\cdot\text{с}$, в честь физика Христиана Гюйгенса (1629 - 1695), который внес значительный вклад в открытие этой величины

Дальше мы исследуем важнейшие свойства величины p . А пока достаточно считать, что импульс по существу есть свойство, которое в повседневной речи может быть названо напором.

Пусть по улице едут два одинаковых автомобиля, причем один быстрее, а другой медленнее (рис. 3.1). Который из них обладает

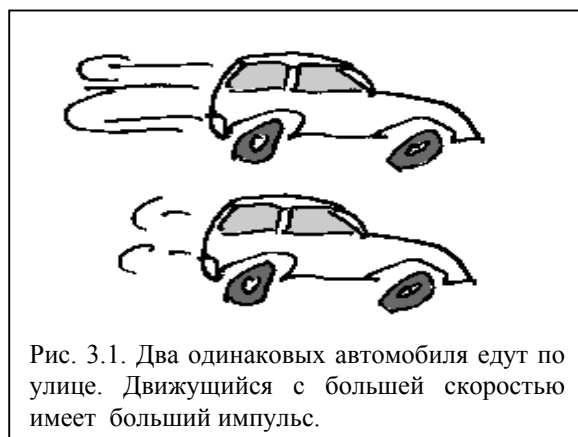


Рис. 3.1. Два одинаковых автомобиля едут по улице. Движущийся с большей скоростью имеет больший импульс.



Рис. 3.2. Два автомобиля движутся одинаково быстро. Более тяжелый имеет больший импульс.

большим импульсом? (Какой из автомобилей обладает большим напором?) Очевидно тот, который быстрее движется, т.е. имеет большую скорость.

Тело имеет тем больше импульс, чем больше у него скорость.

Пусть грузовая машина и легковой автомобиль едут рядом друг с другом со скоростью, например, 60 км/ч. Пусть вес грузового автомобиля равен 8000 кг, а легкового автомобиля соответственно 1200 кг (рис. 3.2). Какое из этих транспортных средств имеет больший импульс? Разумеется, грузовой автомобиль. Величина, которую измеряют в кг и которую в разговоре называют “весом”, на самом деле является *массой* и представляет собой одну из фундаментальных величин естествознания. Таким образом получаем,

что тело имеет тем больше импульс, чем больше его масса.

Теперь мы можем привести определение единицы импульса, т.е. *гюйгенса* (Гю):

импульс тела массой 1 кг, движущегося со скоростью 1 м/с, равен 1 Ну.

В дальнейшем мы проделаем много экспери-

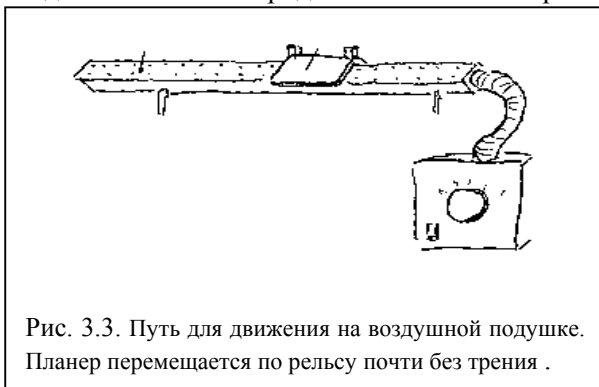


Рис. 3.3. Путь для движения на воздушной подушке. Планер перемещается по рельсу почти без трения .

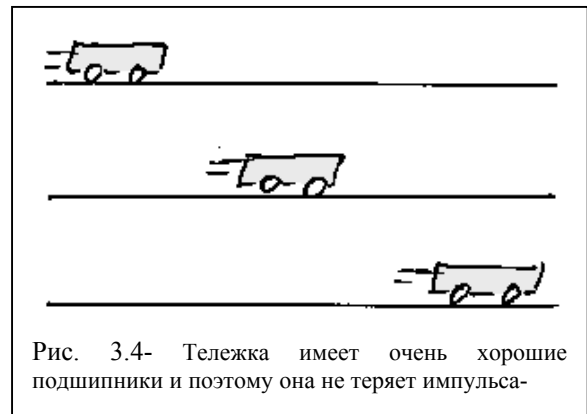


Рис. 3.4- Тележка имеет очень хорошие подшипники и поэтому она не теряет импульса-

ментов, в которых трение будет оказывать сопротивление движению. Мы воспользуемся при этом сильно нагруженным вагончиком. В свою очередь опора с очень маленьким трением может быть получена, если вместо колес использовать воздушную подушку. На рис. 3.3 показан путь, по которому можно перемещаться на воздушной подушке и который часто применяется для указанных экспериментов. Рельс имеет четыре ряда очень маленьких отверстий, через которые выходит воздух. Планер, не касаясь рельса, парит (зависает в воздухе) благодаря воздушной подушке.

Сильно нагруженная тележка должна перемещаться по горизонтальному пути. Речь может идти не только о планере на воздушной подушке, но и о железнодорожном вагоне (без локомотива), который катится по горизонтальным рельсам. Рассмотрим вагон в три разные моменты времени (рис. 3.4). В начальный момент (рис. 3.4 а) вагон движется с некоторой скоростью и, следовательно, обладает определенным по величине импульсом. В последующие моменты наблюдения (рис. 3.4 b и c) скорость вагона та же самая. Импульс, которым обладал вагон в начальный момент, он имеет и в последующие моменты наблюдения. Импульс вагона просто сохраняется внутри него, как и заряд, который он может переносить и который не может пропасть. Если вагон мало нагружен, то с течением времени запас его импульса уменьшается. Что происходит с импульсом в этом случае, где он остается, выясним позже. Вначале будем экспериментировать с нагруженным вагоном, который при движении практически не испытывает трения.

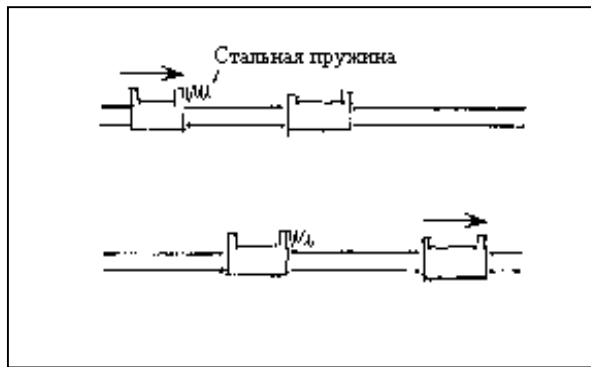


Рис. 3.5. До столкновения (а) левый планер движется, а правый покоится. После столкновения (b) перемещается правый планер и покоится левый

На рис. 3.5 а изображены два одинаковых планера, причем левый планер А движется направо, а правый планер В покоится. На рис.3.5 b показано, что после столкновения планера А с планером В планер А останавливается, а планер В движется направо. Проанализируем этот опыт, чтобы узнать что происходит с импульсом. Вначале, т.е. перед столкновением, планер А обладал определенным импульсом, например, 12 Гю, а планер В не имел импульса. Все 12 Гю перешли из А в В таким образом, что после столкновения у планера А не осталось импульса.

Импульс может переходить с одного тела на другое.

В опыте на рис. 3.5 находилась между двумя планерами упругая пружина. Проведем этот же опыт еще раз, причем пружину заменим маленькой неупругой избыточной массой (рис. 3.6). Результат окажется совсем другим. Вначале перемещается планер А, а планер В

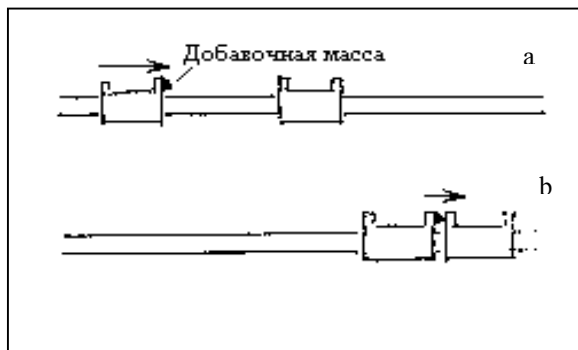


Рис. 3.6. До столкновения (а) перемещается левый планер и покоится правый. После столкновения (b) движутся оба планера вместе, соответственно, с меньшей скоростью

покоится. После столкновения движутся оба

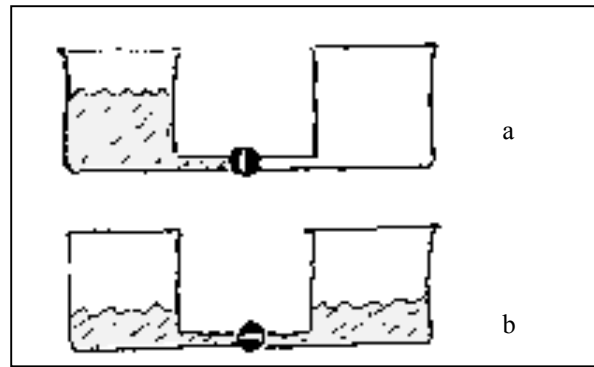


Рис. 3.7. Вода разделяется между двумя сосудами аналогично тому как импульс распределяется между двумя планерами на рис. 3.6

планера вправо с одинаковыми скоростями. Эта скорость, разумеется, меньше, чем скорость левого планера до столкновения. Каким здесь может быть объяснение? На этот раз не весь импульс перешел от левого планера к правому. Импульс 12 Гю разделился пополам между А и В, так что каждый планер обладает импульсом 6 Гю.

Импульс может разделиться (перераспределиться) между несколькими телами.

Для происшедшего с импульсом на рис. 3.6 можно использовать аналогию с водой в сообщающихся сосудах (рис. 3.7). На рис. 3.7 а вся вода находится в левом сосуде. После открытия крана ровно половина воды перетекает во второй сосуд. Вода разделяется между двумя сосудами также, как импульс разделяется между двумя планерами при столкновении на рис. 3.6. импульс планера А. Рассмотрим удар планера А по двум соединенным планерам В и С на рис. 3.8.

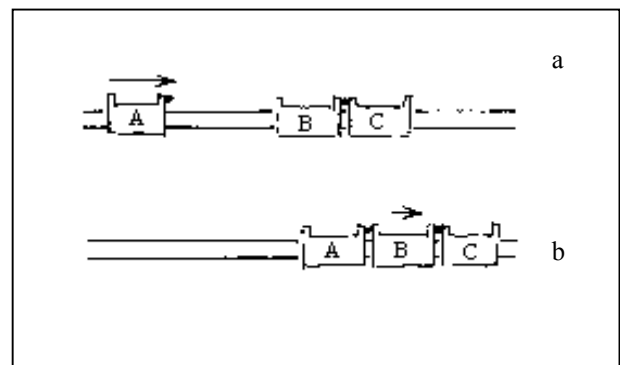


Рис. 3.8. При столкновении импульс планера А разделяется между тремя планерами А,В и С

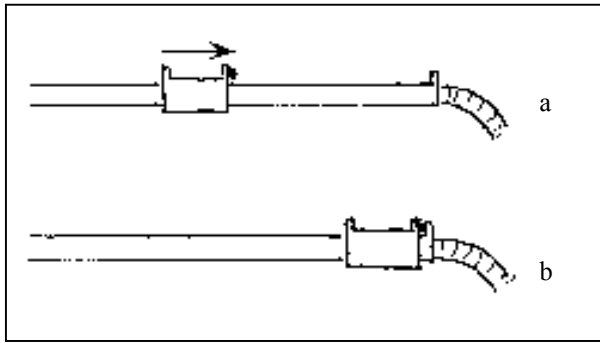


Рис. 3.9. Импульс планера при ударе стекает (передается) в землю

На этот раз импульс, которым первоначально обладал планер А, разделится в равной мере между тремя планерами А, В и С. Каждый из них получает $\frac{1}{3}$ первоначального количества импульса планера А. Если вначале А имел импульс 12 Ну, то после столкновения каждый планер имеет импульс 4 Ну.

Если планеру А дать столкнуться с 3, 4 или 5 планерами, То импульс А при ударе разделится между 4, 5 или 6 планерами соответственно. Чем длиннее “поезд”, с которыми сталкивается планер А, тем меньше импульс получает каждый планер в отдельности и в результате “поезд” медленнее перемещается после столкновения.

Теперь выясним, что произойдет при ударе планера А о буфер (препятствие, смягчающее удар) на конце рельса с воздушной подушкой (рис. 3.9). Планер А, разумеется, при этом придет в состояние покоя. Где на этот раз окажется импульс?

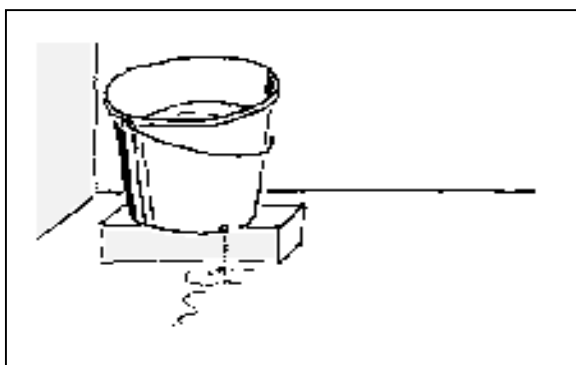


Рис. 3.10 Ведро с течью. Вода растекается вокруг так, что в итоге ничем не отличается от окружающей среды

С чем, собственно, соударяется планер А ? Прежде всего планер А сталкивается с рельсом. Поэтому импульс разделяется между планером А и рельсом. Рельс прочно лежит на столе. Таким образом, импульс разделяется между планером А, рельсом и столом. Наконец, стол стоит на земле. Поэтому импульс отдается также и земле. Другими словами, импульс стекает в землю. Он при этом так далее перераспределяется, настолько “разрежется”, что его уже больше невозможно обнаружить.

Возможен другой вариант такого эксперимента. Приведем планер в движение и отключим подачу воздуха, когда планер окажется в конце рельса. Воздушная подушка исчезнет, планер сядет на рельс и остановится. Опять его импульс стечет (уйдет) в землю. Пока была воздушная подушка, планер двигался без трения. Когда ее не стало, включилось трение. Поэтому можно сказать:

если тележка мало нагружена, то она сама по себе останавливается и ее импульс уходит в землю.

Здесь полезно воспользоваться сравнением импульса с водой. Мало нагруженную тележку, которая в результате остановки отдает импульс земле, можно сопоставить с прохуdivшимся ведром (см. рис. 3. 10). Вода из ведра растекается равномерно во все стороны до тех пор, пока она уже ничем не отличается от окружающей среды.

Поэтому трение, которое существенно при малой нагрузке, может быть уподоблено течи для импульса. Тогда хорошо нагруженная тележка соответствует ведру без течи.

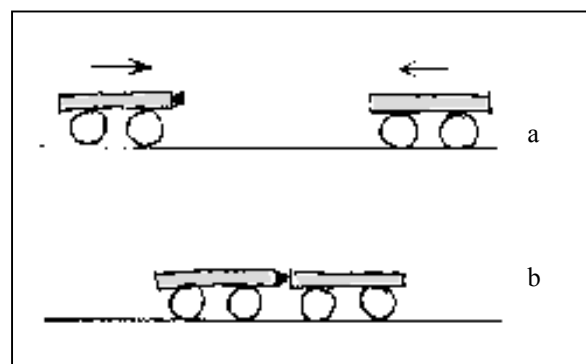


Рис. 3.11. Две одинаковые тележки движутся навстречу друг другу с одинаковой скоростью. В результате столкновения обе тележки останавливаются

Сделаем следующий опыт с двумя тележками

(или двумя планерами на воздушной подушке). Пусть у тележек есть неупругий буфер и они сталкиваются при движении с одинаковыми скоростями друг с другом. При таком соударении они останавливаются (рис. 3.11). Опять возникает вопрос: куда делся импульс? На этот раз он не мог уйти в землю, т.к. тележки хорошо нагружены. Столкновение двух тел в пустом космическом Действительно, можно вообразить такое же пространство с их остановкой, но здесь нет земли куда бы мог уйти импульс. Ответить на вопрос можно так: импульс обеих тележек каким-то образом компенсируется. Но каким образом?

Объяснение может быть очень простым, если считать импульс одного тела положительным, а другого тела отрицательным. Если у одной тележки до столкновения импульс $20 \text{ Н}\cdot\text{с}$, а у другой равен $-20 \text{ Н}\cdot\text{с}$, то полный импульс, очевидно, будет $0 \text{ Н}\cdot\text{с}$. И после столкновения, как показывает эксперимент, импульс также равен $0 \text{ Н}\cdot\text{с}$, т.е. баланс сохраняется. Поэтому сделаем вывод:

импульс может принимать положительные и отрицательные значения.

Но какое из двух тел на рис. 3.11а имеет положительный и какое отрицательный импульс? Это можно установить по желанию. Тебе известно, однако, из курса математики, что обычно за положительное направление оси x - ов берется направление вправо. Таким же образом поступим в случае импульса. Мы утверждаем:

импульс тела является положительным, если тело движется направо, и отрицательным, если тело движется налево.

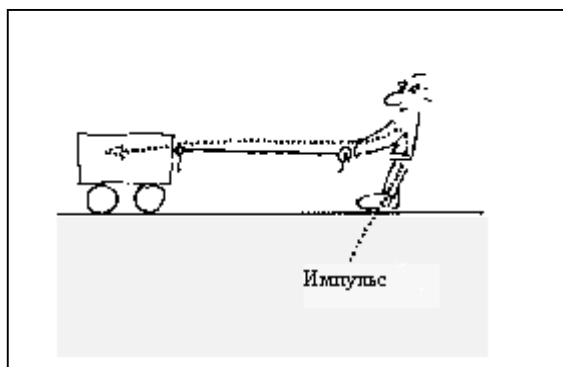


Рис. 3.12. Когда человек тянет, импульс вагона увеличивается ((импульс))

Задачи

1. Тележка, обладающая импульсом $1500 \text{ Н}\cdot\text{с}$, сталкивается с четырьмя покоящимися тележками. Все тележки одинаковы и после столкновения они оказываются сцепленными друг с другом. Каков общий импульс пяти тележек после столкновения? Каким импульсом обладает каждая тележка в отдельности?
2. Два сцепленных вагона, имеющих импульс $12\,000 \text{ Н}\cdot\text{с}$, сталкиваются с покоящимся вагоном. Все вагоны одинаковы и после столкновения сцеплены. Каким импульсом обладал каждый вагон до столкновения? Какой импульс имеет каждый вагон после столкновения?
3. Два одинаковых планера движутся навстречу друг другу с одинаковой скоростью. Пусть они оснащены упругими пружинными буферами. Импульс левого планера равен $+5 \text{ Н}\cdot\text{с}$, а импульс правого планера равен $-5 \text{ Н}\cdot\text{с}$. Что произойдет с импульсами планеров при столкновении?
4. Два вагона с общим импульсом $500 \text{ Н}\cdot\text{с}$ катятся направо и сталкиваются с движущимся навстречу третьим вагоном. Импульс третьего вагона равен $-200 \text{ Н}\cdot\text{с}$. (Все три вагона одинаковы и после столкновения сцеплены) Какой импульс имеет каждый вагон после столкновения? В каком направлении движутся вагоны?
5. Горизонтально летящий мячик отскакивает от стенки с равной и противоположно направленной скоростью. Его импульс до столкновения был $1 \text{ Н}\cdot\text{с}$. Чему равен импульс после столкновения? Чему равна разность импульсов до и после столкновения? Куда делся пропавший импульс?

3.3 Импульсные насосы

Нам удалось установить, что тело, у которого уменьшается скорость, теряет также свой импульс. Было найдено, что импульс при этом уходит в землю. Постараемся теперь выяснить вопрос откуда тележка получает импульс, если ее движение ускоряется.

Вагон приводится в движение, если его кто-то тянет с помощью троса (рис. 3.12). Когда человек тянет, вагон движется быстрее, а это и означает увеличение импульса вагона. Откуда вагон получает импульс? От тянущего человека? Тогда должен импульс этого человека уменьшаться, чего на самом деле не происходит. Человек покоится и в начале и в конце. Его импульс был и остается $0 \text{ Н}\cdot\text{с}$.

Конечно, можно придумать такой эксперимент, когда импульс вагончик получает от человека (рис. 3.13). Если человек тянет за трос, то импульс левого вагона

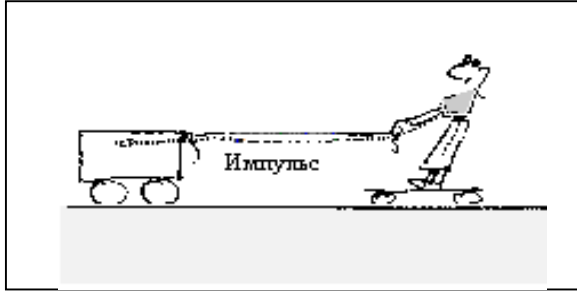


Рис. 3.13. Человек передает по тросу импульс справа налево

увеличивается. Правая тележка с человеком тоже начинает двигаться налево. При этом правая тележка с человеком получает отрицательный импульс, или, другими словами: ее импульс уменьшается. Пока человек тянет импульс от правой тележки с человеком перетекает к левому вагону. Это перетекание импульса справа налево обеспечивается мускулатурой человека. Он здесь выступает в качестве “импульсного насоса”.

Теперь мы понимаем что должно происходить на рис. 3.12. Здесь человек из земли перекачивает импульс через трос в вагон. То, что импульс земли при этом становится отрицательным, также трудно заметить как и прирост импульса земли, когда вагон заканчивает движение и останавливается (т.е. отдает импульс земле).

Рассмотрим еще несколько примеров, когда импульс перекачивается от одного тела к другому.

Человек на рис. 3.14 тянет к себе оба вагона. Они движутся все быстрее. Импульс вагона А

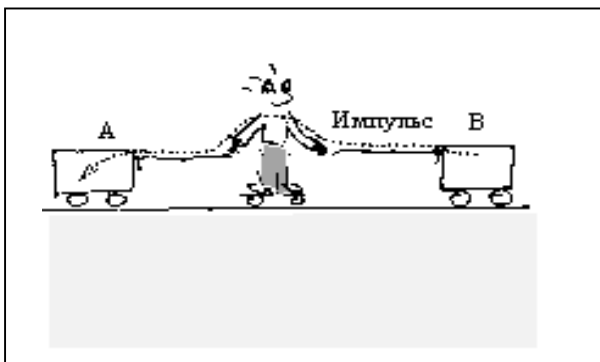


Рис.3.14. Человек перекачивает импульс левому вагону от правого вагона

возрастает, а у вагона В увеличивается отрицательное значение импульса, т.е. импульс уменьшается. Импульс человека в

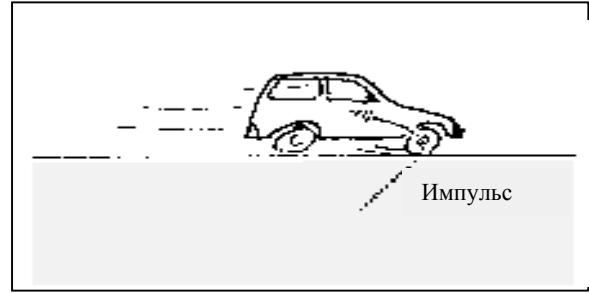


Рис.3.15. Автомобильный мотор перекачивает из земли импульс через колеса в автомобиль

центре был и остается 0 Ну. Человек, таким образом, передает импульс от правого вагона к левому. Человек стоит на скейборде и поэтому можно быть уверенным, что из земли через него не поступает импульс и не уходит туда.

Пусть автомобиль движется с возрастающей скоростью, т.е. у него увеличивается импульс. Здесь мотор работает как импульсный насос. Он передает из земли импульс через ведущие колеса (у легковых машин это часто передние колеса) в автомобиль (рис. 3.15).

Пусть игрушечный автомобильчик с дистанционным управлением стоит на куске картона, под которым лежат трубочки для коктейля или карандаши, например

(рис. 3.16). Пусть автомобиль трогается и перемещается вправо. Его импульс начинае возрастать. Одновременно картонная подстилка перемещается вправо, т.е. ее импульс становится отрицательным и уменьшается. Мотор перекачивает из подстилки импульс в автомобиль.

Два вагона (или планера на рельсе с воздушной подушкой) соединены нитью друг

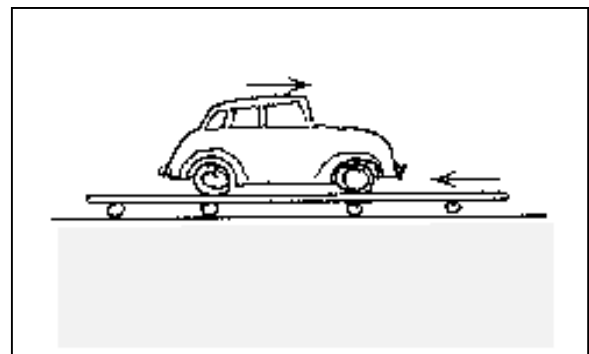


Рис. 3.16. Мотор игрушечного автомобильчика перекачивает из картонной подложки импульс в автомобиль

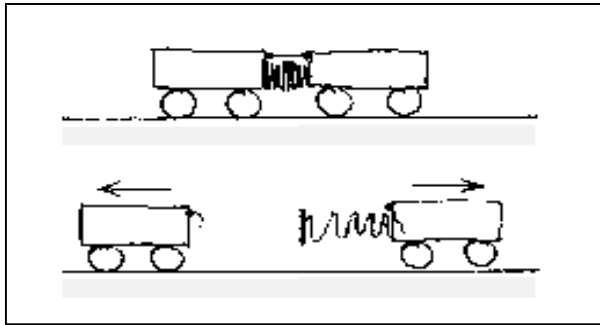


Рис. 3.17. Пружина перекачивает из левого вагона импульс в правый вагон

с другим (рис. 3.17), которая продета через пружину, прикрепленную к одному из вагонов. Так как нить коротка, то пружина находится в сжатом состоянии. Если перерезать нить, то вагоны начнут двигаться: правый направо и левый налево. Правый вагон получает импульс (т.е. он положителен), левый вагон теряет (положительный) импульс. Здесь пружина действует как импульсный насос. Пока пружина освобождается от напряжения (разжимается), она передает импульс от левого вагона к правому.

3.4. Проводники импульса и непроводники импульса

Мы видели, что импульс от одного тела А доходит до другого тела В. При этом говорим, что импульс течет от А к В, или имеет место поток импульса между телами А и В.

Необходимым условием для перетекания импульса от А к В является наличие материальной связи между ними. Для этого, однако, пригодна не всякая связь. Связь должна быть пропускающей импульс. Связь должна “проводить импульс”. Как выглядят такие проводящие импульс связи? Что за тела проводят импульс? Какие тела не проводят импульс?

На рис. 3.18 а человек толкает шестом вагон.

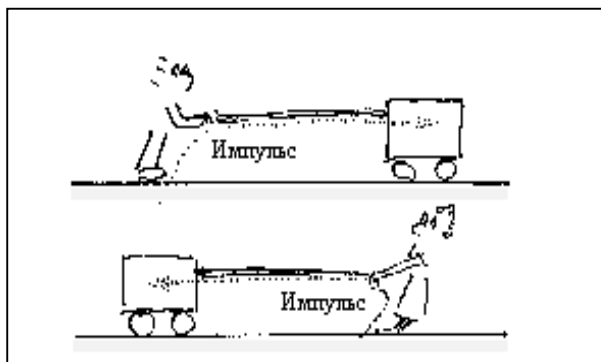


Рис. 3.18. По шесту (стержню) перетекает из земли импульс в вагон. (а) Импульс течет по шесту направо. (в) Импульс течет по шесту налево

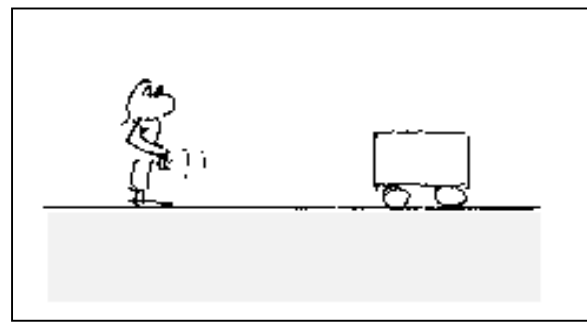


Рис. 3.19. Человек пытается передать импульс с помощью воздуха

Вагон движется быстрее и его импульс возрастает. Человек, таким образом, откачивает импульс из земли в вагон. Импульс течет по шесту слева направо. На рис. 3.18 в вагон заряжается импульсом в результате того, что человек тянет вагон с помощью шеста. Здесь перетекает импульс по шесту справа налево. Из этих двух опытов видно, что шест является проводником импульса. Ясно, что это не связано с формой шеста. Столь же мало это связано с материалом, из которого изготовлен шест, но материал при этом должен быть твердым. Делаем вывод:

твердые вещества проводят импульс.

На рис. 3.19 изображен человек, который верит в чудо. Он пытается привести в движение вагон, надавливая на воздух в направлении вагона, с надеждой, что воздух передаст импульс дальше вагону. Но в конце концов он приходит к убеждению:

воздух не проводит импульс.

Дальше увидим, что это утверждение справедливо при некоторых ограничениях. Во всяком случае его пригодность имеет место для рельса с воздушной подушкой. Воздух между рельсом и планером препятствует,

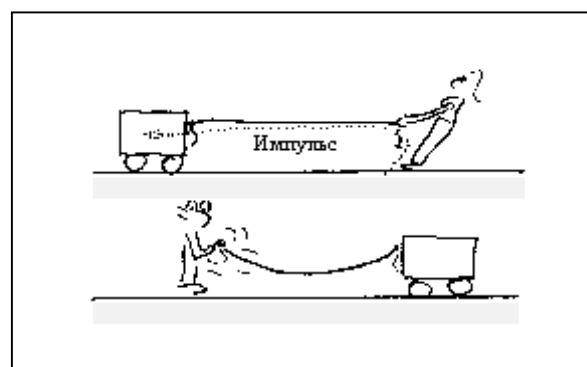


Рис. 3.20. В тросе импульс может течь справа налево (а) и не может течь слева направо (в)

чтобы импульс планера стекал в рельс.

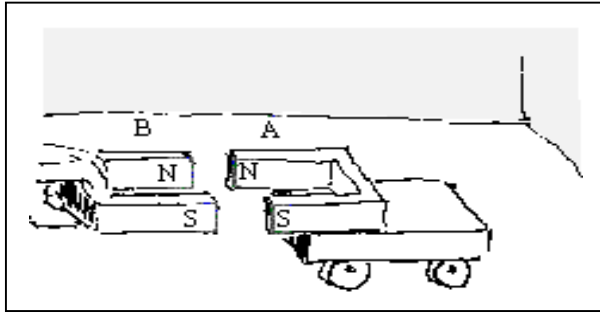


Рис. 3.21. Между магнитами находится магнитное поле. Поле является проводником импульса

На рис. 3.20 некто исследует проводимость импульса для троса и убеждается, что импульс хорошо течет справа налево (рис. 3.20 а), и практически совсем не течет слева направо (рис. 3.20 в).

Трос проводит (пропускает) импульс только в одном направлении.

Сделаем теперь эксперимент, который нельзя столь же легко объяснить как и предыдущие. Пусть на маленькой тележке находится магнит А (рис. 3.21). К нему приближают второй магнит таким образом, что одноименные полюсы находятся напротив друг друга: северный полюс против северного, а южный против южного.

Как только магнит В окажется достаточно близко от магнита А, тележка придет в движение и ее импульс начнет возрастать. В этом случае импульс перекачивается из земли в тележку с помощью магнитов В и А. Вопрос только в том как импульс от А к В переходит. Из эксперимента мы заключаем, что между магнитами должна существовать связь, т.е. должно находиться невидимое образование, которое передает импульс. Это образование, окружающее каждый полюс магнита, называется *магнитным полем*.

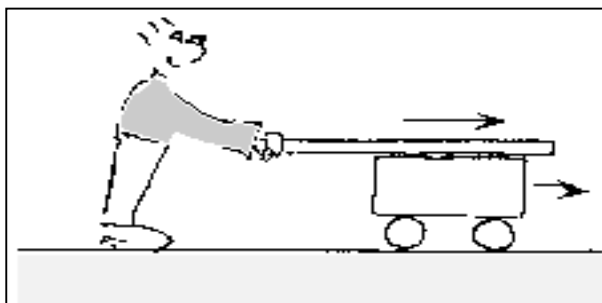


Рис. 3.22. Передача импульса с помощью процесса трения

Магнитные поля проводят импульс.

На рис. 3.22 человек заряжает вагон импульсом, двигая по его верхней части шест. При этом шест скользит, не будучи укрепленным на вагоне. Таким способом вагон получает не столь мощный импульс. Ясно, что передача импульса тем эффективнее, чем больше трение между шестом и вагоном. Если шест скользит по вагону очень легко, то поток импульса от шеста к вагону очень мал. Если трение сильное, например, при большой шероховатости поверхностей шеста и вагона, то перенос импульса оказывается очень интенсивным. Таким образом, приходим к заключению, что

при взаимном трении двух тел импульс перетекает от одного тела к другому: чем сильнее трение, тем больше импульс перетекает.

По существу мы всегда предполагали пригодность этого правила. Поэтому чтобы импульс некоторого тела не стекал в землю, необходимо позаботиться об отсутствии проводящей импульс связи между этим телом и землей; следует стремиться к уменьшению трения до минимума.

Важнейшим устройством, которое снижает трение между телом и землей, является колесо.

Колеса служат для изоляции (сбережения) импульса.

Этого же можно добиться и другими способами: так воздух играет ту же роль для транспорта на воздушной подушке, для самолетов и вертолетов; полозья - у санок и коньков; вода - для лодок и кораблей.

Задачи

1. Трос передаст импульс не направо, а налево. Найди устройство, в котором импульс передается не налево, а направо.
2. Автоводитель пытается на льду быстро затормозить. Что произойдет? В процессе торможения важную роль играет проводимость импульса. Что еще можно сказать по этому поводу в случае гладкого льда?
3. Автоводитель пытается быстро поехать по гладкому льду. Что произойдет?

3.5. Двигатели и тормоза

Колеса только тогда не проводят импульс, когда они свободно вращаются. Приведенные в движение колеса автомобиля не являются проводниками импульса. Их вращает мотор и

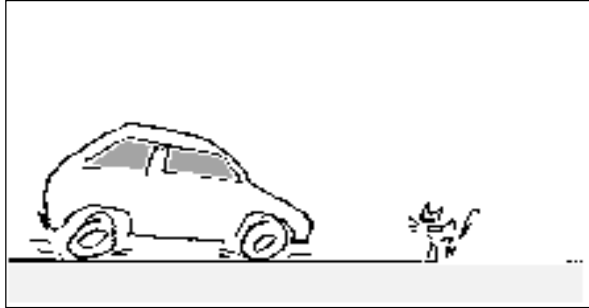


Рис. 3.23. Автомобиль должен быстро избавиться от импульса

они связаны с кузовом автомобиля, что позволяет мотору качать импульс из земли.

Часто автомобилю необходимо быстро освободиться от импульса (рис. 3.2). Для этой цели существуют тормоза. При торможении резко возрастает трение колес о землю и колеса превращаются в очень хороший проводник импульса, так что импульс автомобиля быстро стекает в землю. Таким образом, тормоз является проводником импульса, который можно “открывать и закрывать”, т.е. представляет собой вентиль или выключатель для потока импульса.

Быстро движущийся автомобиль теряет импульс не только в результате трения колес, но и при трении поверхности автомобиля о воздух. При скоростях свыше 80 км / ч трение о воздух является даже более значительным источником потерь импульса. В этом случае импульс перетекает прежде из автомобиля в воздух. На то, что воздух действительно обладает импульсом указывает очень сильное движение воздуха в месте, где только что прошел автомобиль. Постепенно воздух отдает импульс земле (и, между прочим, опять с помощью трения).

Впрыскивание импульса в воздух можно

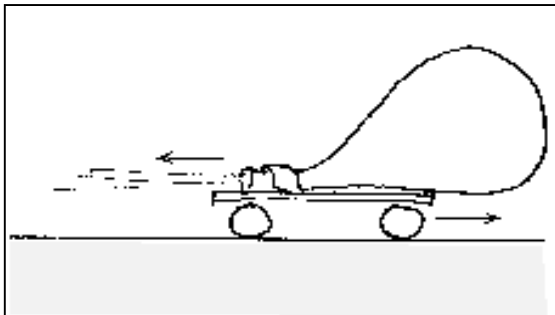


Рис. 3.24. Вытекающий воздух приобретает отрицательный, а движущаяся тележка - положительный импульс

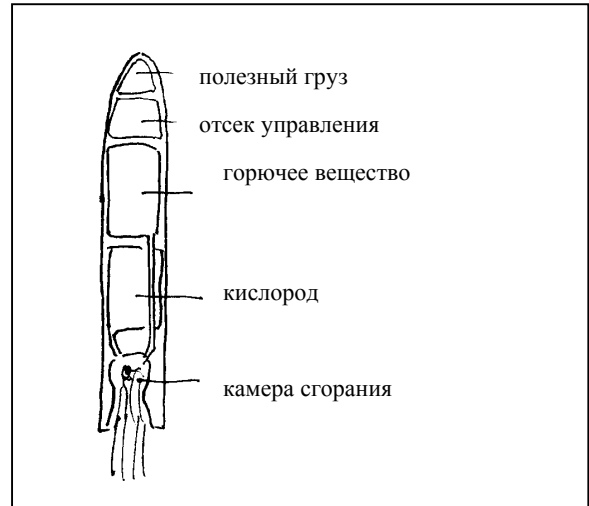


Рис. 3.25. Устройство ракеты

продемонстрировать с помощью следующего опыта (рис. 3.24). На маленькой тележке прикрепляется надутый воздушный шарик. Если начать выпускать воздух из шарика, то тележка начнет двигаться. Оболочка воздушного шарика выдавливает воздух из шарика налево. Выходящий воздух получает отрицательный импульс, а тележка - положительный.

Двигатель тележки на рис. 3.24 действует, по существу, как у ракеты. Ракета приобретает импульс в результате выбрасывания вниз газа с большой скоростью. Основную часть ракеты занимают два бака (рис. 3.25). Один из них содержит горючее вещество, например, жидкий водород, а другой - жидкий кислород. При сгорании водорода получается водяной пар с очень высоким давлением. Он вытекает из ракеты вниз с очень большой скоростью и уносит при этом с собой импульс. В результате ракета получает импульс с противоположным знаком.

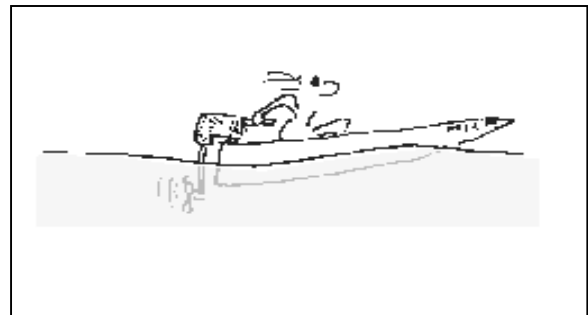


Рис. 3.26. Винт мотора перекачивает импульс из воды в лодку

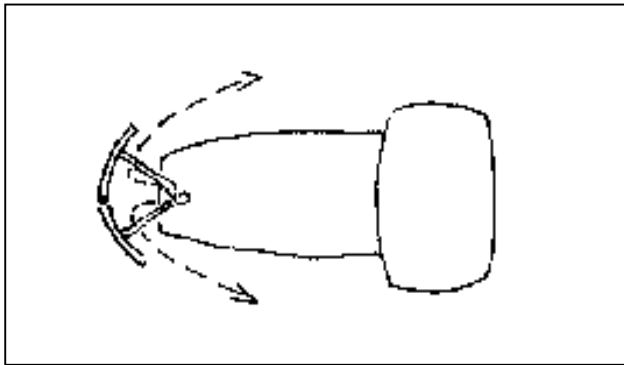


Рис. 3.27. Реактивный двигатель с работающим обратным толчком: самолет отдает импульс воздуху

Корабли проводятся в движение винтом (рис. 3.26). Это вид пропеллера, который вращается под водой и приводится в движение корабельным мотором. Мотор вызывает движение воды назад и придает ей отрицательный импульс. Соответствующий положительный импульс получает корабль. Другими словами: винт качает (положительный) импульс из воды в корабль. Для торможения корабля винт должен вращаться в обратную сторону. Тогда он перекачивает импульс из корабля в воду.

Двигатель самолета работает аналогично двигателю корабля. Только в этом случае импульс забирается не из воды, а из воздуха.

У самолета с пропеллером именно пропеллер перекачивает импульс из воздуха в самолет. Самолет с *реактивным двигателем* перекачивает импульс из потока воздуха. Реактивный двигатель является в основе своей очень сильной воздушной удвкой, скрытой в корпусе мотора и приводимой в действие турбиной. Турбина получает энергию из керосина, родственного бензину горючего.

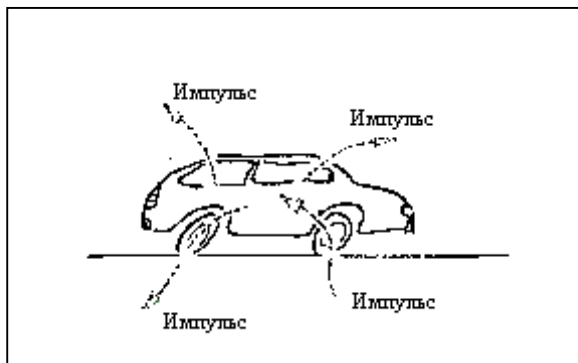


Рис.3.28. Движущийся с постоянной скоростью автомобиль. Весь импульс, который мотор закачивает в автомобиль, перетекает из - за трения в окружающую среду

Самолеты при приземлении должны быстро тормозиться, т.е. очень быстро освобождаться от очень большого импульса. Они могут отвести импульс в землю с помощью колес как и в случае автомобиля. Более действенным является метод, который называется *обращенным толчком*. В некоторых самолетах такое торможение можно наблюдать через окно, сидя в самолете. Из каждого мотора выдвигаются две заслонки, которые поворачивают выбрасываемый воздух (рис. 3.27) в направлении движения самолета. Воздух получает от самолета положительный импульс, т.е. импульс самолета будет уменьшаться. (Мы считаем, что самолет движется вправо).

Задачи

1. Откуда парусный корабль получает свой импульс?
2. Корабль плывет с постоянной скоростью, что означает неизменность его импульса. Куда расходуется импульс, который постоянно закачивается мотором в корабль?

3.6. Равновесные течения

Когда автомобиль ускоряется, мотор непрерывно перекачивает импульс из земли в автомобиль. Чем быстрее движется автомобиль, тем больше сопротивление (трение) воздуха и тем больше при этом теряется импульса. При определенной скорости в автомобиль одновременно столько закачивается импульса, сколько вытекает за счет трения. Не происходит дальнейшего прироста импульса (рис. 3.28). Такая ситуация повторяется всегда, когда автомобиль движется по ровной дороге с постоянной скоростью. приток импульса совпадает с оттоком импульса.

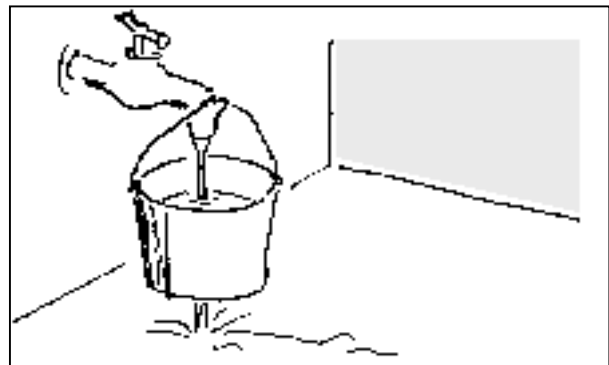


Рис. 3.29. Через отверстие в ведре вытекает такое же количество воды, как и втекает через кран водопровода. Количество воды в ведре остается постоянным

Это можно сравнить с другими случаями, когда, например, роль импульса выполняет вода (рис. 3.29). Сопоставим автомобилю ведро с отверстием. Пусть ведро имеет течь для воды, что аналогично течи импульса у автомобиля. В ведро постоянно втекает новая вода и одновременно такое же количество воды вытекает из него, так что количество воды в ведре не меняется.

Процесс, в котором для данного потока устанавливается такой отток, что он совпадает с притоком, называется равновесным течением.

Равновесное течение: отток устанавливается таким, что он равен притоку

Равновесное течение чаще бывает тогда, когда что - то перемещается с постоянной скоростью.

Нажатием на педали велосипедист качает импульс в велосипед (+ человек). Такой же интенсивности поток импульса перетекает в землю и воздух из - за трения. Сказанное справедливо для самолетов и кораблей.

Задачи

- Опиши состояние движения автомобиля с указанием того, что происходит с импульсом.
 - Автомобиль трогается с места.
 - Автомобиль едет медленно холостым ходом.
 - Автомобиль тормозит.
 - Автомобиль едет с большой постоянной скоростью.
- Ранее мы познакомились с явлением, в котором, хотя тело и перемещается с постоянной скоростью, но равновесного течения нет. Почему импульс остается при этом постоянным?
-

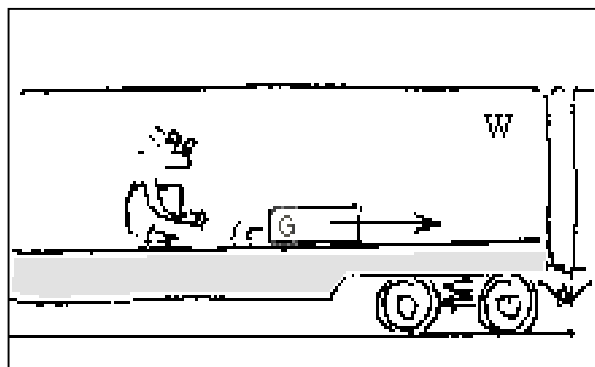


Рис. 3.30. Тело скользит по полу железнодорожного вагона

Направление потока импульса

Следующий эксперимент мы можем сделать только мысленно, т.к. для этого требуется движущийся поезд.

Пусть в перемещающемся направо железнодорожном вагоне W (рис. 3.30) на пол брошено тело G таким образом, что оно стало скользить направо. Скорость тела G непосредственно после соприкосновения с полом, очевидно, стала больше, чем у поезда. Тело быстро приходит в "состояние покоя". Под состоянием покоя понимаем здесь, что тело больше не перемещается относительно поезда. Другими словами: тело движется также быстро как и железнодорожный вагон. Во время скольжения импульс тела уменьшался и переходил от G к W .

Бросим теперь G еще раз на пол, но так, чтобы оно скользило налево. Скорость G при скольжении будет меньше, чем у поезда. Но вскоре обе скорости станут одинаковыми. На этот раз импульс тела G будет возрастать во время скольжения. Таким образом, импульс перетекает из вагона W в тело G .

Заметил ли ты, что направление потока импульса подчиняется простому правилу. Импульс в обоих случаях перетекает от тела с большей скоростью к телу с меньшей скоростью: в первом случае от G к W , а во втором - от W к G . Это правило справедливо всегда, когда поток импульса связан с трением. Также в случае, когда автомобиль трогается (рис.3.31), перетекает импульс из тела с большей скоростью (автомобиля) в тело с меньшей скоростью (в землю, которая имеет скорость 0 км / ч).

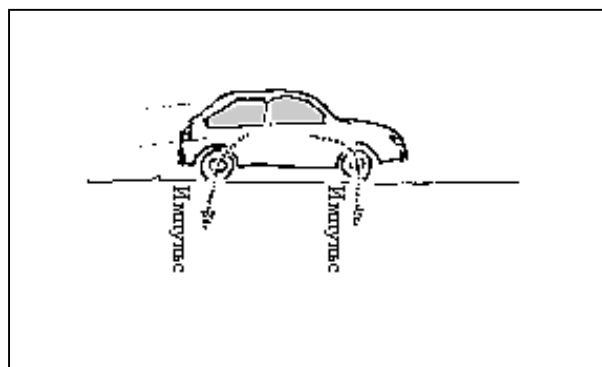


Рис. 3.31. Трогающийся с места автомобиль. Импульс течет из тела с большей скоростью в тело с меньшей скоростью

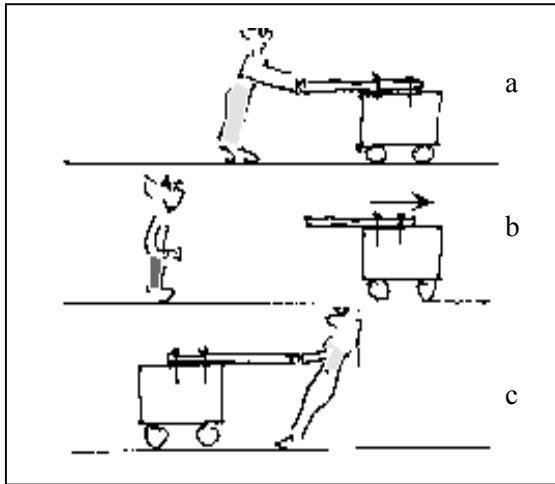


Рис. 3.32. (а) Импульс по шесту течет направо. (в) В шесте нет потока импульса. (с) Импульс по шесту течет налево

Всегда, когда импульс должен течь в противоположном направлении, т.е. от тела с меньшей скоростью к телу с большей скоростью. требуется импульсный насос. В результате имеем следующее правило:

импульс перетекает сам по себе от тела с большей скоростью к телу с меньшей скоростью. Для протекания импульса в противоположном направлении необходим “импульсный насос” (мотор, человек).

3.8. Напряжения сжатия и растяжения

На рис. 3.32 а некто приводит вагончик в движение. По шесту перетекает импульс слева направо. На рис. 3.32 в вагон катится сам по себе. Его импульс больше не меняется (потери на трение не рассматриваем). На рис. 3.32 в по шесту не течет импульс. На рис. 3.32 с

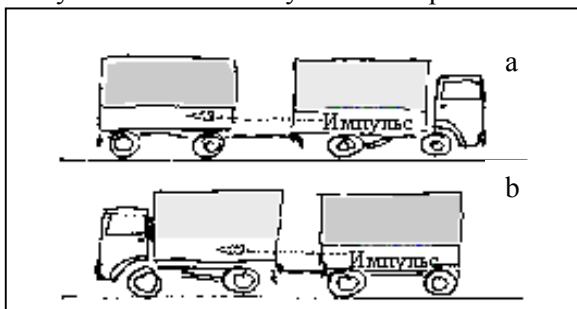


Рис. 3.33. Автопоезд в одном случае едет направо (а), а в другом налево (в). В обоих случаях сцепление грузовика и прицепа испытывает деформацию растяжения и импульс течет налево

импульс по шесту течет справа налево. Попробуем представить себя на месте шеста. Можешь ли ты уловить отличие этих трех случаев? Конечно. В конце концов руку можно

рассматривать как продолжение шеста и тогда можно почувствовать различия в этих трех ситуациях. В первом случае мы испытываем ощущение давления, в третьем - растяжения, а во втором ни давления ни растяжения.

Эти высказывания можно переформулировать для шеста. В первом случае шест испытывает напряжение сжатия, во втором - отсутствие напряжения, а в третьем - напряжение растяжения. Отсюда мы получаем правило:

Если поток импульса направлен вправо, то имеем напряжение сжатия.

Если поток импульса направлен налево, то имеем напряжение растяжения.

Убедимся в справедливости этого правила на других примерах. На рис. 3.33 а показан автопоезд только что тронувшийся с места. Мотор грузовика качает импульс из земли в грузовик и через сцепление налево в прицеп. Мы знаем, что сцепляющий шест находится в состоянии растяжения в соответствии с нашим правилом.

Рассмотрим автопоезд, который движется налево (рис. 3.33 в). Здесь мотор качает в автопоезд отрицательный импульс, т.е. положительный импульс он отдает во вне. Поэтому перетекает (положительный) импульс через сцепление налево. Соединяющий шест (сцепление), естественно, опять находится в состоянии растяжения. И в данном случае имеет место наше правило.

По виду шеста невозможно сказать находится ли он в состоянии растяжения или сжатия, т.е. нельзя увидеть в каком направлении в нем течет импульс. Но есть тела, состояния напряжения которых легко увидеть: это все упругие изменяющие свою форму тела, например, резиновые жгуты или стальные пружины. Такие тела удлиняются при наложении напряжения растяжения и укорачиваются при наложении напряжения сжатия. По их виду можно судить в каком направлении по ним течет импульс (рис. 3.34 и рис. 3.35). Подведем итоги:

при удлинении: напряжение растяжения - поток импульса налево,

при укорочении: напряжении сжатия - поток импульса направо.

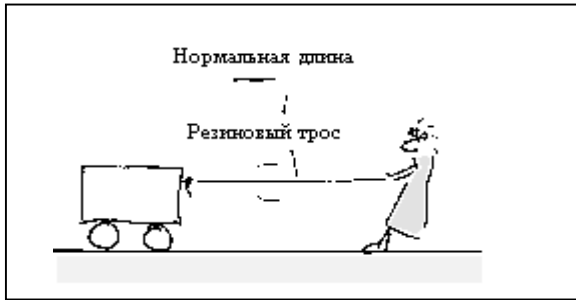


Рис. 3.34. По резиновому тросу импульс течет налево. Трос испытывает напряжение растяжения и удлиняется



Рис. 3.35. По пружине импульс течет направо. пружина стала короче

Задачи

1. Движущийся налево автомобиль вдруг начинает тормозить. Откуда и куда перетекает импульс? Выполняется ли здесь правило о самопроизвольном переходе импульса от тела с большей скоростью к телу с меньшей скоростью?
2. Человек ускоряет вагон налево, толкая его. Он ощущает своими руками напряжение сжатия. В каком направлении распространяется поток импульса в руках?
3. Автопоезд перемещается с большой постоянной скоростью направо. Под каким напряжением (сжатия или растяжения) находится сцепление между грузовиком и прицепом? Изобразите путь импульса.

3.9. Замкнутые потоки импульса

Возможны случаи, когда несмотря на поток импульса, количество импульса нигде не изме-

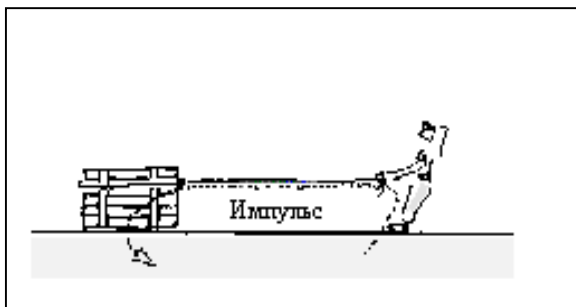


Рис. 3.36. Хотя импульс течет, но он нигде не накапливается

няется. На рис. 3.36 приводится пример: человек тянет ящик с одной и той же скоростью по земле.

Вместо ящика человек может тянуть с постоянной скоростью вагончик. Для нашего рассмотрения вариант с ящиком имеет преимущество, т.к. тогда лучше видно в каком месте происходит трение: в плоскости соприкосновения ящика и земли. У колес трение имеется не только в оси, но и в резиновой покрышке, в месте соприкосновения между колесом и землей.

Поставим наш традиционный вопрос: по какому пути течет импульс? Ответ, надеюсь, для тебя нетруден. Человек качает импульс из земли в ящик через трос. Из ящика импульс перетекает обратно в землю из-за трения между дном ящика и землей. Мы можем сказать, что импульс течет по “замкнутому пути”, даже если мы не знаем его точного обратного пути в земле.

Аналогия с потоком воды в этом отношении просто удивительна. Знаешь ли ты почему?

Рис. 3.37 дает еще один вариант эксперимента, приведенного на рис. 3.36. Ящик теперь перемещается не по поверхности земли, а по щиту (платформе), расположенному на катках. Поток импульса в этом случае проще проследить. Так как щит лежит на катках, то импульс не может стекать в землю и человек не может качать импульс из земли. Он качает импульс вначале из платформы, потом импульс по тросу перетекает в ящик, а из ящика обратно в платформу. В платформе он течет направо к человеку. Импульс и здесь протекает по замкнутому пути. В данном случае путь импульса на каждом участке ясно распознается. В рассмотренном опыте поток импульса образует замкнутый путь.

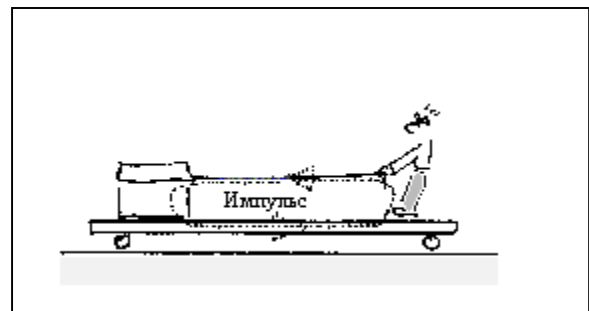


Рис. 3.37. Замкнутый поток импульса

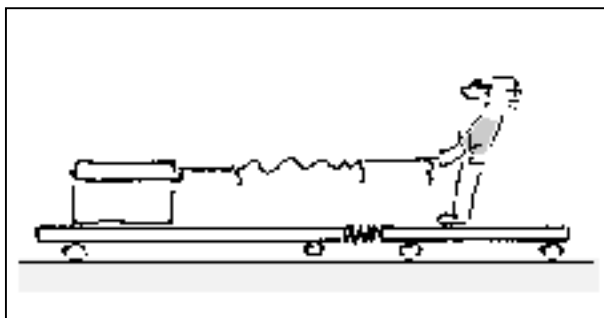


Рис. 3.38. Пружина показывает направление потока импульса

В том, что импульс действительно по тросу течет налево, а по платформе направо, легко убедиться еще в одном эксперименте (рис. 3.38). Пусть трос и платформа разделены пружинами. Эти пружины отчетливо нам покажут в каком направлении течет импульс. Пружина в тросе растянута, т.е. имеет место напряжение растяжения, что означает течение импульса налево. Пружина между двумя частями платформы сжата, т.е. подвержена напряжению сжатия, что означает течение импульса направо.

Импульс может протекать по замкнутому пути. Тогда импульс не прирастает или не убывает ни в каком месте пути. Одна часть замкнутого пути импульса находится в состоянии напряжения сжатия, а другая часть импульса - в состоянии напряжения растяжения.

Теперь изменим наш эксперимент в двух отношениях. Во - первых, закрепим ящик на платформе (рис. 3.39). Человек тянет ящик и не может его сдвинуть с места, т.е. теперь он вообще не нужен. Достаточно трос закрепить где - то справа. Трос как и раньше находится в состоянии напряжения растяжения, а платформы - в состоянии напряжения сжатия. Это значит, что поток импульса, как и прежде,

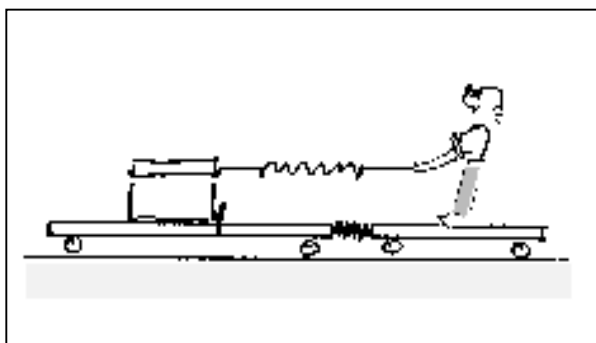


Рис. 3.39. Ящик не перемещается, Тем не менее имеется поток импульса

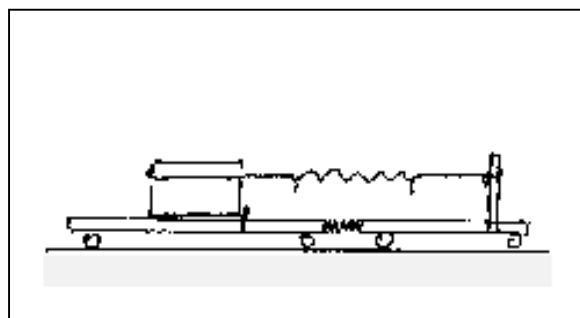


Рис. 3.40. Поток импульса без двигателя

течет по замкнутому кругу, хотя ничто больше не перемещается и нет никакого импульсного насоса. То, что есть поток импульса без двигателя, тебя может удивить. Наконец, ранее, в третьей главе мы установили, что требуется двигатель, если мы хотим вызвать течение некоторого потока. Теперь видим, что это правило не всегда пригодно. Есть потоки без двигателя. То, что не требуется двигатель, означает ничто другое как отсутствие сопротивления для потока.

Дальше узнаем, что электрический ток как правило требует источника тока и что имеются электрические проводники, которые не имеют сопротивления, т.е. *сверхпроводники*. В замкнутом электрическом проводнике из сверхпроводящего материала электрический ток

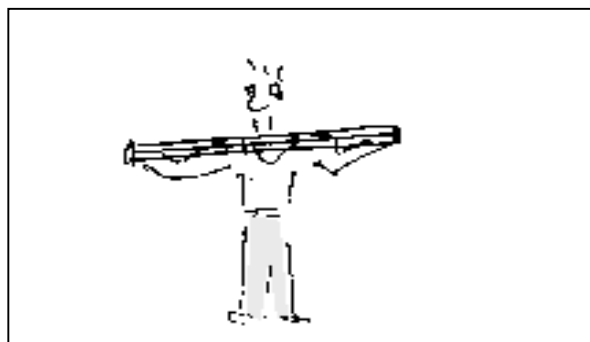


Рис. 3.41. Замкнутый путь потока импульса

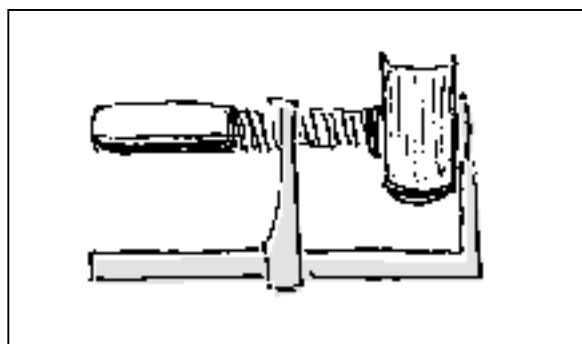


Рис. 3.42 Замкнутый путь потока импульса

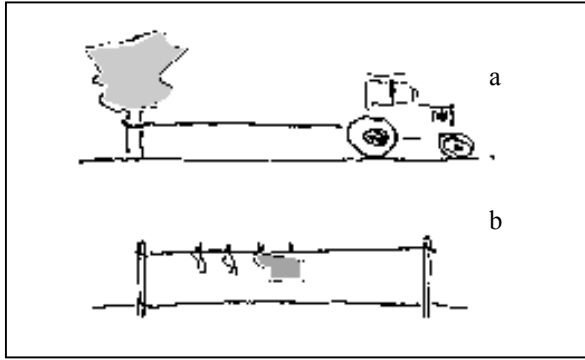


Рис. 3.43. К задачам 1 и 2

может течь без наличия источника тока.

Замкнутые электрические цепи без сопротивления очень редки, однако, замкнутые пути импульса без сопротивления, напротив, встречаются достаточно часто. На рисунках 3.41 и 3.42 приведены два примера.

Задачи

1. На рис. 3.43 а трактор пытается вырвать дерево. Нарисуйте поток импульса.
2. На рис. 3.43.в изображена натянутая бельевая веревка. Изобразите путь потока импульса. Где преобладает напряжение сжатия и где - напряжение растяжения?
3. Как можно осуществить материальный поток без трения? Есть что - то подобное в природе?

3.10. Сила тока импульса

Из автопоезда на рис. 3.44 в соединяющее устройство течет постоянный во времени поток импульса: перетекает определенное количество гюйгенсов в секунду через шест сцепления. Назовем количество импульса, которое перетекает по проводнику импульса, разделенное на время течения импульса, *силой тока импульса*.

$$\text{Сила тока импульса} = \frac{\text{импульс}}{\text{время протекания импульса}}$$

Это уравнение можно записать короче, если физические величины обозначить символами. Пусть

p = импульс,

F = сила тока импульса,

t = время.

Тогда имеем:

$$F = \frac{p}{t}$$

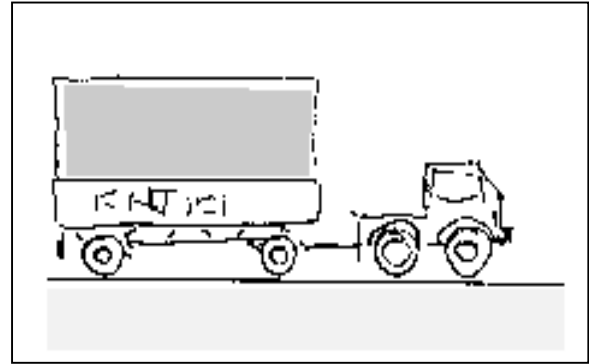


Рис. 3.44. Из автопоезда в прицепное устройство течет постоянный во времени поток импульса

Если, например, через соединительный шест на рис. 3.44 каждую секунду протекает 500 $Hу$, то сила тока импульса

$$F = 500 \frac{Hу}{s}$$

Для единицы физической величины $\frac{Hу}{s}$ применяется название *ньютон* (N):

$$N = \frac{Hу}{s}$$

Поэтому данную силу тока импульса можно обозначить следующим образом:

$$F = 500 N$$

Единица силы тока импульса была названа в честь Исаака Ньютона (1643 - 1727). Ньютон, по существу, привел механику к виду, который используется для современного изучения. Среди всего прочего именно Ньютон получил уравнение

$$F = \frac{p}{t}$$

Силу тока импульса можно очень легко измерять, например, используя динамометр (рис. 3.45). Динамометр состоит из стальной пружины, которая чем больше растягивается, тем большую силу тока протекающего импульса измеряет. Шкала при этом проградуирована в ньютонах.

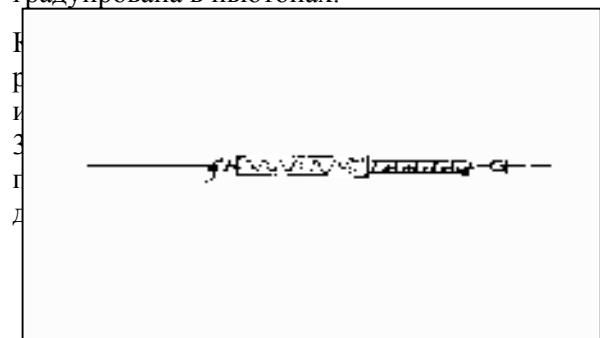


Рис. 3.45. Динамометр

На рис. 3.47 а сила тока импульса измеряется дважды двумя следующими друг за другом динамометрами. Оба динамометра, естественно, показывают одно и то же, и они дают то же значение, что и один динамометр.

Как и для потоков воды, для потоков импульса тоже могут быть разветвления. На рис. 3.47 в приведен один пример. Здесь должна сумма сил тока импульса в тросах А и В совпадать с силой тока импульса в тросе С. Мы использовали здесь правило узла, которое ты знаешь для потоков воды (см. параграф 3.5):

кодному узлу притекающие потоки вместе столь же сильны как поток, текущий от узла.

Задачи

1. Из хорошо нагруженного вагона вытекает поток импульса постоянной силы. Он достигает величины $200 \text{ Н}\cdot\text{с}$ за 10 секунд. Как велика сила тока импульса?
2. Когда автопоезд трогается с места по сцепляющему

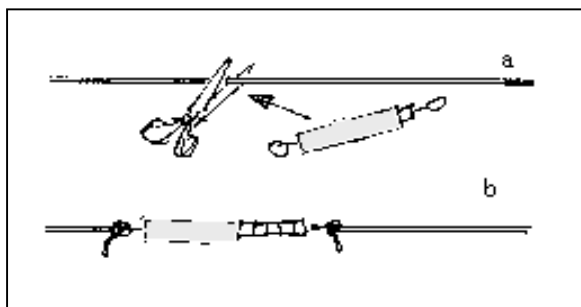


Рис. 3.46. (а) Надо измерить силу тока импульса в тросе. (в) Трос разрезают и к его концам присоединяется динамометр

стержню протекает поток импульса $6000 \text{ Н}\cdot\text{с}$. Какой импульс имеет сцепление через 5 с? (Потерями на трение в сцеплении пренебрегаем).

3. Что показывают динамометры С и D на рис. 3.48 а ?
4. На рис. 3.48 в ящики перетаскиваются по земле с постоянной скоростью. Какой величины поток импульса перетекает в землю из левого ящика? Какой силы поток импульса перетекает в землю из правого ящика?
5. В тележку, для которой можно пренебречь трением, втекает постоянный поток импульса в 40 Н . Изобрази графически импульс как функцию времени

3.11. Сила

В этом пункте речь будет идти о новом названии для одного известного нам понятия.

Название сила потока импульса для величины F впервые появилось в начале прошлого

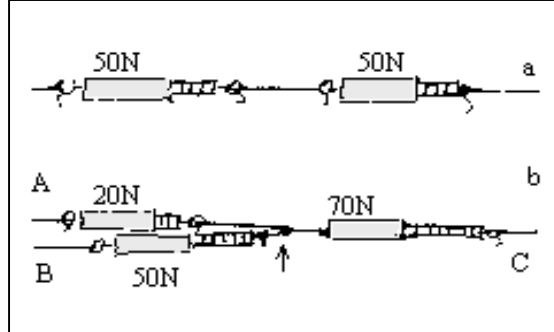


Рис. 3.47. (а) Поток импульса течет через два друг за другом соединенных динамометра. (в) Разветвленный поток импульса

столетия. Величина же известна уже со времен Ньютона, т.е. около 300 лет. Но тогда эта величина имела другое название: ее называли *силой*. Символ F есть первая буква слова “force”, что по английски означает сила. Название сила для величины F и сегодня очень распространено и используется намного чаще, чем название сила тока импульса. Нам, однако, следует привыкнуть к новому названию. Но при этом существует проблема: хотя “сила” обозначается тем же символом, что и сила тока импульса, употребление обоих понятий является совершенно различным. Назовем описание с помощью понятия потока импульса

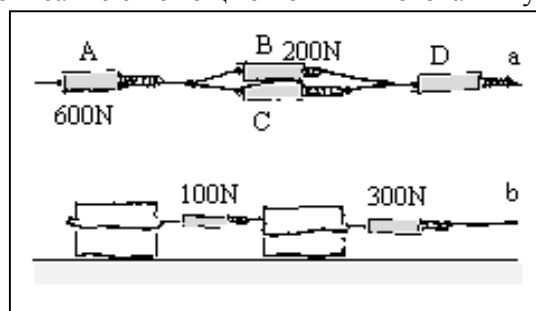


Рис. 3.48. (а) к задаче 3. (в) к задаче 4.

моделью потока импульса, а с помощью силы - силовой моделью.

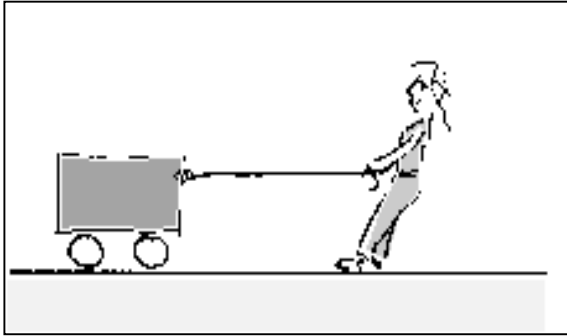


Рис. 3.49. Человек действует на вагон с некоторой силой. Поэтому изменяется импульс вагона

Впрочем, ты уже теперь понимаешь почему прибор для измерения потока импульса называется динамометр (измеритель силы).

Мы хотим знакомство с силовой моделью осуществить с помощью рис. 3.49 и рис. 3.50. На рис. 3.49 человек тянет хорошо нагруженный вагончик и приводит его в движение направо. Пока еще раз вспомним описание в модели потока импульса: человек качает импульс из земли в вагон через трос. Поэтому у вагона возрастает импульс. С помощью силовой модели этот процесс описывается так: на вагон действует сила. Поэтому у вагона возрастает импульс.

Более трудным является объяснение рис. 3.50. Здесь вагон тянут две пружины А и В: пружина А тянет налево, пружина В - направо. Оба динамометра показывают, разумеется, одно и то же. Пусть они показывают 50 Н . Рассмотрим это вначале с точки зрения потока импульса: поток импульса 50 Н из земли течет через пружину В в вагон, а из вагона через пружину А назад в землю. В силовой модели описание выглядит следующим образом: пружина А действует на вагон с силой 50 Н , направленной налево, а пружина В действует с той же силой направо. Т.к. силы имеют

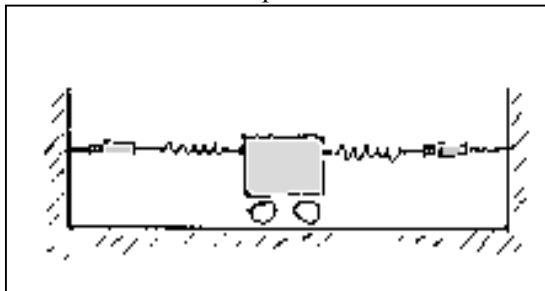


Рис. 3.50. Пружина А действует на вагон с силой, направленной налево, а пружина В с силой, направленной направо. Т.к. обе силы равны по величине, то импульс вагона не изменяется

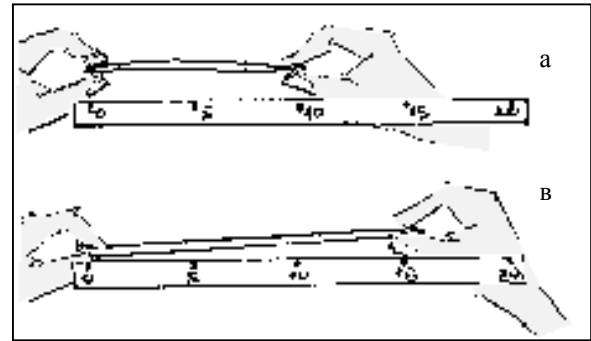


Рис. 3.51. Определение единицы силы тока импульса. (а) Резиновое кольцо вытянуто, но не напряжено. (в) Резиновое кольцо удлинено на 5 см

одинаковую величину и действуют в разные стороны, то импульс вагона не меняется.

3.12. Измерение силы тока импульса

Попробуем сами сделать прибор для измерения потока импульса (измерения силы). Предположим, что динамометр еще не известен и единицы измерения силы тока импульса еще не установлены.

Начнем с установления своей собственной единицы измерения. Для этого требуется большое число совершенно одинаковых резиновых колец. Вытянем одно кольцо вдоль линейки, не растягивая его (рис. 3.51), и измерим его длину. Сняв показание, получим $10\text{ см} = 0,1\text{ м}$. Так как резиновое кольцо находится в свободном состоянии, то через него не течет импульс. Будем растягивать кольцо, пока оно не достигнет длины $0,15\text{ м}$. Понятно, что теперь по нему течет импульс. Силу этого потока импульса используем для введения единицы силы тока импульса. (Так как кольцо состоит из двух находящихся рядом резиновых нитей, то по каждой из этих нитей течет половина единицы силы тока).

Мы можем получить с другими резиновыми кольцами столько единиц силы тока импульса, сколько захочем. Это значит, что можно ввести многочисленные единицы силы тока. Например, если мы держим рядом друг с другом три резиновых кольца, причем каждое отвечает единице силы тока, то через них вместе протекает три единицы силы тока.

С нашим запасом резиновых колец можно любые растягиваемые тела *прокалибровать* (*градуировать*), например, резиновый жгут эспандера (рис. 3.52). Мы можем пропускать через жгут эспандера одну, две, три и т.д.

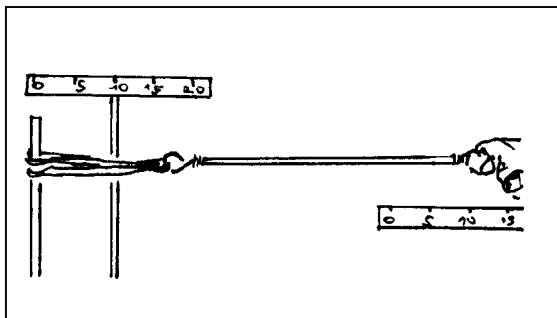


Рис. 3.52. Резиновый жгут эспандера градуируется с помощью калиброванных резиновых колец

единицы силы тока и измерять при этом каждый раз изменение его длины по сравнению с длиной в ненапряженном состоянии.

На рис. 3.53 изображена сила тока импульса в зависимости от удлинения. Эта кривая представляет собой градуировочную кривую для резинового шнура эспандера. Если теперь надо измерять силу тока импульса, мы можем отказаться от сложных опытов с резиновыми кольцами единичного калибра и вместо этого использовать резиновый шнур эспандера.

Например, надо измерить силу тока импульса, втекающего в вагон, который мы тянем. Для этого станем тянуть вагон с помощью жгута эспандера и измерим насколько он удлинится. Если удлинение составляет 0,25 м, то по градуировочной кривой находим силу тока импульса равную 4 единицам.

Можно установить связь между удлинением и силой тока импульса также для других тел, например, для стальной пружины. Результат приведен на рис. 3.54. Зависимость в этом случае проще, чем у жгута эспандера, т.к. она линейна. Удлинение s и сила тока импульса F

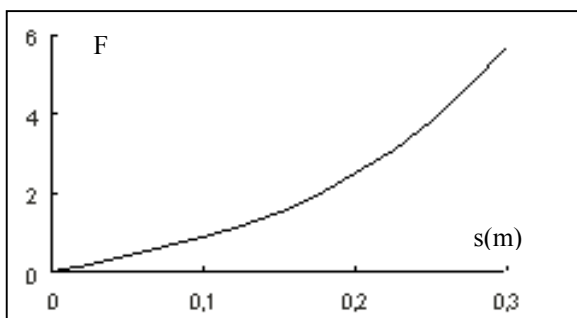


Рис. 3.53. Градуировочная кривая для жгута эспандера. Сила тока импульса приводится в зависимости от удлинения жгута

для пружины пропорциональны друг другу. В этом случае говорят, что пружина подчиняется закону Гука. В виде формулы этот закон записывается следующим образом:

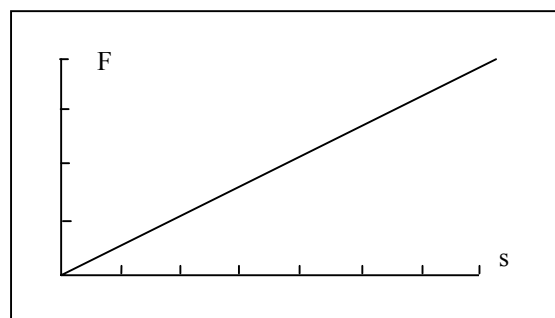


Рис. 3.54. Для стальных пружин связь между силой тока импульса и удлинением является линейной

$$F = D \cdot s.$$

Для данной пружины коэффициент D является *постоянной пружины*. Ее единицей измерения является N/m . Для разных пружин постоянные этих пружин имеют в общем случае разные величины. На рис. 3.55 даются зависимости между F и s для двух различных пружин. Для пружины А коэффициент D больше, чем для пружины В. Если пружины А и В растягиваем с одинаковым усилием, то поток импульса в пружине А больше, чем в пружине В. Более сильный поток импульса вызывает более сильное напряжение растяжения. Пружина с большей постоянной пружины является более жесткой пружиной.

Многие пружины можно использовать не на растяжение, а на сжатие. Для таких пружин также пригоден закон Гука, т.е. линейная зависимость между изменением длины и силой тока, как для растяжения (положительные значения s), так и для сжатия (отрицательные значения s).

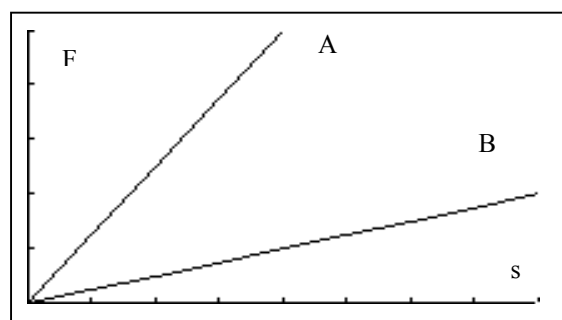


Рис. 3.55. Постоянная пружины для пружины А больше, чем для пружины В. Пружина А тверже, чем пружина В

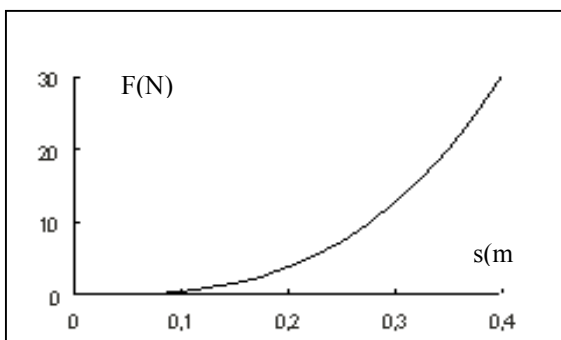


Рис. 3.56. График к задаче 2.

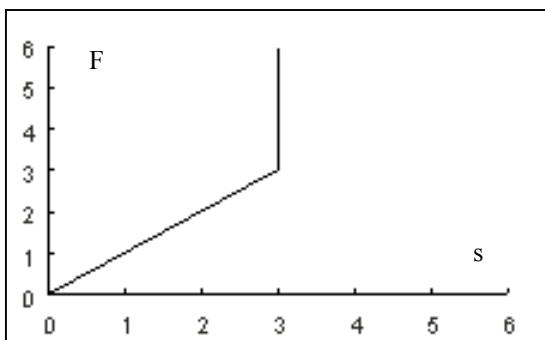


Рис. 3.57. График к задаче 3.

Задачи

1. Пружина имеет постоянную пружины $D = 150 \text{ Н/м}$. Насколько она удлинится, если поток импульса через нее составляет
 - а) 12 Н , в) 24 Н .
2. Для некоторого троса зависимость между F и s приведена на рис. 3.56.
 - а) На сколько увеличится длина троса, если по нему протекает поток импульса 15 Н ?
На сколько он удлиняется при 30 Н ?
 - в) Какой величины имеется поток импульса, если трос удлиняется на 20 см ?
 - с) Что можно почувствовать, если пытаться растягивать трос руками? Сравните со стальной пружиной.
3. Каким должно быть устройство, чтобы его зависимость F от s имела вид, приведенный на рис. 3.57?
4. Две пружины прикреплены друг к другу и вставлены в разъем троса, по которому течет импульс. Одна пружина становится в четыре раза длиннее, чем другая. Как относятся между собой постоянные этих двух пружин?

3.13. Поток импульса можно разрушить

Если поток импульса очень большой, то проводник, по которому он течет, может разорваться (рис. 3.58).

Часто пытаются этого избежать. В других случаях стараются что - то целенаправленно разорвать, разрушить или размельчить для уменьшения потока импульса.

Буксировка автомобиля

При начале движения буксировочный трос разорвался (рис. 3.58). Как этого можно избежать? Попытка сообщить большую скорость тяжелому автомобилю, когда ты его тянешь с помощью тонкого троса, безуспешна. Если тянешь слишком сильно, т.е. допускаешь протекание очень большого потока импульса, то трос разрывается. Вместе с тем, автомобиль можно зарядить необходимым количеством импульса. Для этого необходимо такой поток импульса пропускать, который достаточно слаб и течет продолжительное время. Другими словами: нужно тянуть не слишком сильно, но зато достаточно долгое время. Для буксировки автомобиля это означает, что отъезжать надо очень внимательно, чтобы поток импульса в буксировочном тросе не становился слишком большим.

Хватание камня

Камень, налетающий на оконное стекло, отдает в короткое время свой импульс стеклу. Сила тока импульса при этом огромна. В результате стекло разбивается. Если же камень ловить руками, то происходит торможение движения камня. Из - за этого продолжительность времени, в течение которого импульс вытекает из камня, удлиняется и сила тока импульса уменьшается. Тогда не будет причинено никакого вреда.

Молоток

Иногда бывает необходимо что - то немедленно разрушить, например, кирпич. Для этого можно использовать молоток. Молоток вначале относительно медленно заряжается

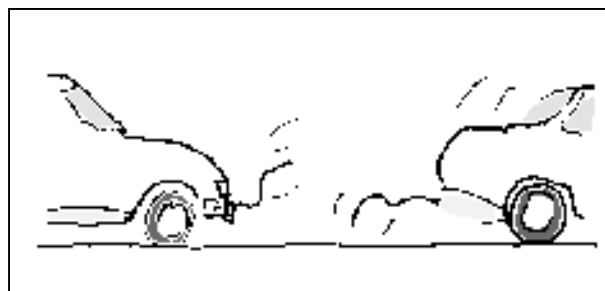


Рис. 3.58. Из - за слишком большого потока импульса проводник разрывается

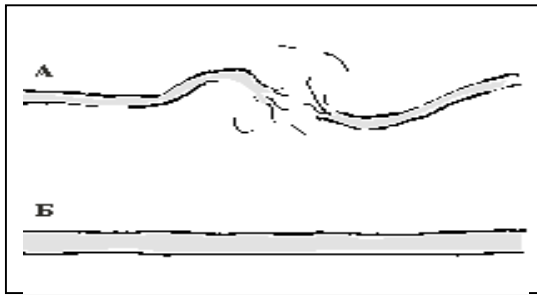


Рис. 3.59. Поперечное сечение троса В в два раза больше, чем у троса А

импульсом, пока он рукой приводится в движение. Но когда молоток ударяется по кирпичу, тогда его импульс стекает за короткое время. Сила тока импульса при этом очень велика и камень разрушается.

Разрушит или не разрушит что - то некоторый поток импульса зависит не только от его силы. Понятно, что избежать разрыв троса буксировки на рис. 3.58 можно другим способом: для этого надо взять более толстый трос. Поэтому видно, что для разрыва важен не просто сильный ток импульса, но намного важнее насколько сильный поток течет через маленькую площадку поперечного сечения. Трос А на рис. 3.59 разрывается, если через него протекает поток в 50 H ; трос В, имеющий поперечное сечение в два раза больше при этом не разрывается. Это легко увидеть. Если трос А имеет поперечное сечение 1 см^2 , а трос В - 2 см^2 , то трос В можно представить как два параллельных троса с поперечным сечением 1 см^2 , в каждом из которых поток импульса равен 25 H , т.е. они меньше нагружены. Поэтому нагрузку потока импульса на материал проводника можно снизить, сделав этот проводник более толстым. Рассмотрим в этой связи несколько примеров.

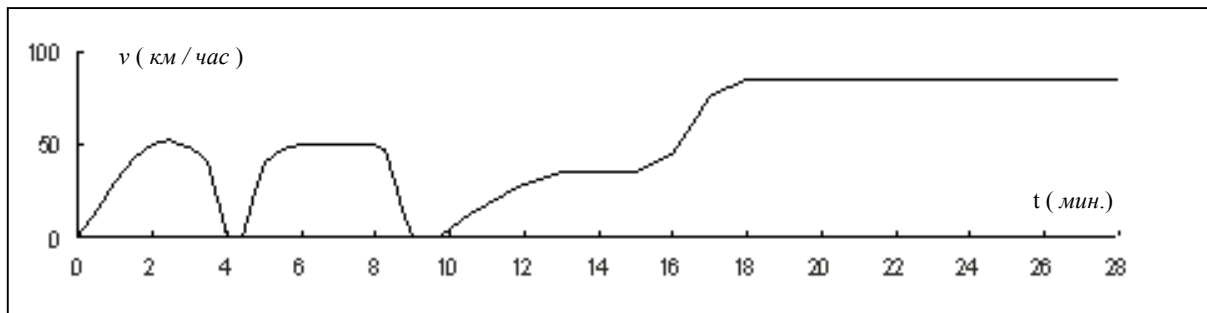


Рис. 3.60. Лента самописца скорости в зависимости от времени для грузового вагона

Гвоздь, кнопка, нож, зубило

Этими предметами можно что - нибудь разрушить. (Сделать отверстие в стене - это тоже род разрушения.) Во всех случаях поток импульса через острое или другое узкое место вводится в материал, который необходимо обработать. Нагрузка на материал в этом месте столь велика, что он может разрушиться.

Пояс безопасности и воздушные подушки безопасности

Во время автомобильной аварии машина очень быстро приходит в состояние покоя. Ее импульс мгновенно передается какому - нибудь дереву, путевому столбу или другому автомобилю. Пассажиры тоже обладают импульсом и должны при аварии его отдать. Сильные токи импульса, которые сопровождают это событие, приводят к разрушению автомобиля и к повреждению пассажиров. Часть потока импульса пытаются уменьшить тем, что в автомобиле предусматривается зона смятия. Автомобиль при столкновении частично сплющивается. Из - за этого процесс передачи импульса несколько затягивается во времени и поток импульса становится чуть слабее.

Пояс безопасности имеет несколько функций.

В одном случае при аварии он немного вытягивается. Поэтому перенос импульса от пассажира в автомобиль растягивается во времени и сила тока импульса становится меньше.

В другом случае поток импульса, который отдается пассажиром, распределяется по большей площади, т.к. пояс на самом деле широкий. Поэтому, как мы уже убедились, разрушающее действие потока может быть уменьшено. Без пояса пассажиры налетят скорее всего на какие - нибудь острые предметы внутри автомобиля.

Наконец, с помощью пояса потоки импульса можно отвести в такие места тела пассажира, для которых опасность поражения не столь велика. Намного хуже будет, если пассажир свой импульс отдаст через голову.

Более благоприятной является ситуация при наличии воздушных подушек безопасности: площадь, через которую импульс из пассажиров вытекает, здесь еще больше.

Задача

Один автомобиль должен буксировать другой. При этом надо рассчитывать на поток импульса в 2000 Н. К сожалению, водители машин не имели с собой буксировочного троса. Они вдруг нашли большой моток веревки. Но она выдерживает поток импульса только в 100 Н. Что бы ты предложил им?

3.14. Скорость

Физическая величина, которая указывает насколько быстро перемещается автомобиль или любое физическое тело, называется *скоростью* и обозначается символом v .

Автоводитель всегда должен знать как быстро он едет, т.е. должен знать скорость своего автомобиля. Поэтому каждый автомобиль имеет измерительный прибор для скорости: *тахометр*. Он показывает скорость в единицах измерения километр в час, или сокращенно *км/час*.

На рис. 3.60 показана кривая самописца: скорость грузового вагона записана автоматически в зависимости от времени. Попробуем проанализировать график. Грузовой вагон начал двигаться в момент времени $t = 0$ минут. Через 4 минуты он остановился на короткое время и через 9 минут еще раз. Возможно светофор показывал красный свет. С 12-й минуты по 16-ю минуту он двигался совсем медленно со скоростью 35 *км/час*. Возможно он ехал в гору или было интенсивное транспортное движение. С 18-й минуты, наконец, он поехал с высокой постоянной скоростью 85 *км/час*. Скорее всего в это время он выехал из города.

Пока тело движется с постоянной скоростью, имеется простая связь между скоростью, пройденным путем и временем, необходимым для прохождения этого пути.

Если автомобиль движется с постоянной скоростью и проезжает 60 *км* за полчаса, то для 90 *км* ему надо 0,75 часа, для 120 *км* соответственно 1 час, для 240 *км* - 2 часа и т.д.

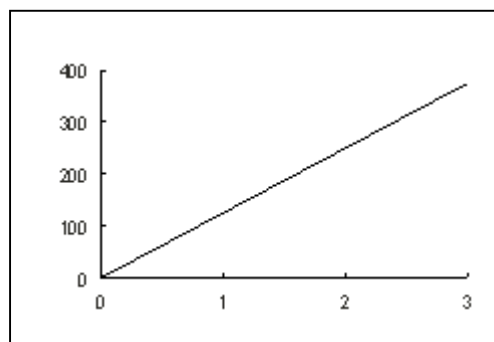


Рис. 3.61. Зависимость пройденного пути от времени для автомобиля <<s (км), t (час)>>

(см. таблицу 3.5). Таким образом, пройденный путь s пропорционален времени движения t :

$$s \sim t.$$

На рис. 3.61 эта зависимость изображена графически. Такое положение вещей можно выразить следующим образом: отношение $\frac{s}{t}$ является постоянным. Это соответственно дает

$$60 \text{ км} / 0,5 \text{ час} = 90 \text{ км} / 0,75 \text{ час} = 120 \text{ км} / 1 \text{ час} = 240 \text{ км} / 2 \text{ час}$$

и одновременно это отношение в точности совпадает со скоростью $v = 120 \text{ км/час}$. Поэтому для движения с постоянной скоростью мы можем писать:

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

Как и другие физические величины скорость также имеет другие единицы измерения. Так скорость автомобиля дается в *км/час*, кораблей в морских узлах. Согласно международного соглашения употребляемая в физике единица скорости есть метр в секунду, или сокращенно *м/с*. Пересчитаем единицу *км/час* в *м/с*:

$$1 \text{ км/час} = 1 \text{ км} / 1 \text{ час} = 1000 \text{ м} / 3600 \text{ с} = 0,2778 \text{ м/с}.$$

Таблица 3.5. Пройденный путь, время для его прохождения и отношение пути ко времени для автомобиля, движущегося с постоянной скоростью

s в км	t в час	s/t в км/час
60	0,5	120
90	0,75	120
120	1	120
180	1,5	120
240	2	120

Задачи

1. Велосипедисту требуется 40 минут, чтобы проехать путь в 40 км. С какой скоростью (в км/час) он едет?
2. Поезд проехал с постоянной скоростью путь в 185 км за время 1 час 32 мин. Чему равна его скорость? Приведи результат в км/час и м/с.
3. Автомобиль движется 10 минут со скоростью 90 км/час. Сколько километров он проедет за это время?
4. Самолет, имеющий скорость 800 км/час, пролетает путь в 1600 км. Как долго продолжался полет?
5. Скорость света составляет 300 000 км/час, а расстояние между Землей и Солнцем равно 150 000 000 км. Сколько времени надо свету, чтобы пройти расстояние от Солнца до Земли.

3.15. Зависимость между импульсом, массой и скоростью

Мы знаем, что импульс некоторого тела тем больше, чем оно тяжелее и быстрее движется. Это утверждение представляет собой высказывание о связи между тремя физическими величинами: импульсом p , массой тела m и скоростью v . Выясним, какой вид имеет эта связь, т.е. найдем “количественное” соотношение между ними.

Найдем зависимость импульса от двух других величин. Решение нашей проблемы будет намного легче, если ее разложить на две части: вначале выясним как импульс связан с массой рассматриваемого тела, а потом как он зависит от скорости.

Чтобы найти вклад в импульс, рассмотрим несколько тел различной массы, которые перемещаются с одинаковой скоростью. Особенно наглядной станет проблема, если мы выберем тела, как это показано на рис.3.62. Тело А представляет собой планер на рельсе с воздушной подушкой. Тело В состоит из двух связанных планеров, каждый из которых весит столько же сколько и тело А. Масса В, таким

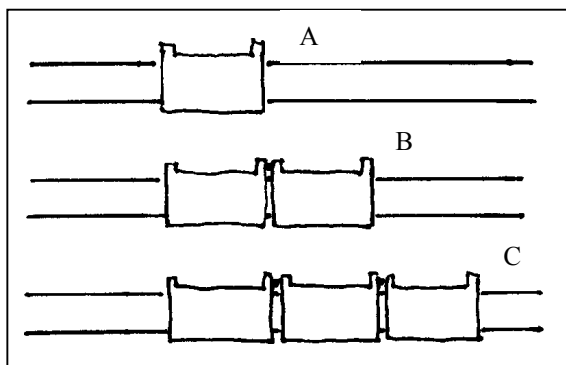


Рис. 3.62. Тело В состоит из двух тел А, а тело С - из трех тел А. Кроме того, тело В имеет удвоенный импульс тела А, а тело С - утроенный импульс тела А, а тело С - в два раза больше массы А:

$$m_B = 2 m_A .$$

Тело С состоит из трех таких планеров, т.е. имеет трехкратную массу А:

$$m_C = 3 m_A .$$

Можно представить себе тела с четырехкратной, пятикратной и т.д. массами. Все тела А, В, С и т.д. должны только перемещаться с одинаковыми скоростями. Как будут относиться их импульсы относительно друг друга? Тело В есть два соединенных тела А. Если тело А имеет импульс p_A , то тело В должно иметь удвоенный импульс p_B :

$$p_B = 2 p_A .$$

Таким образом, мы получим зависимость: импульсы двух тел отличаются на тот же коэффициент, что и их массы, при условии одинаковости у них скоростей. Другими словами: импульс пропорционален массе:

$$p \sim m \text{ для } v = const.$$

Это первая найденная зависимость. Для нахождения второй зависимости, т.е. между импульсом и скоростью, нужно приложить большие усилия. Идея состоит в том, что мы уменьшим импульс некоторого тела наполовину и измерим как при этом изменится скорость. Потом уменьшим импульс на треть и посмотрим как дальше изменится скорость. В целом эксперимент выглядит так, как показано на рис. 3.63.

Тело А движется вправо в направлении тела В. Далее А сталкивается с В и остается связанным с ним, так что А и В вместе перемещаются направо. Мы измеряем скорость А до и после столкновения. (После столкновения, разумеется, скорости А и В одинаковы). Нас интересует значение

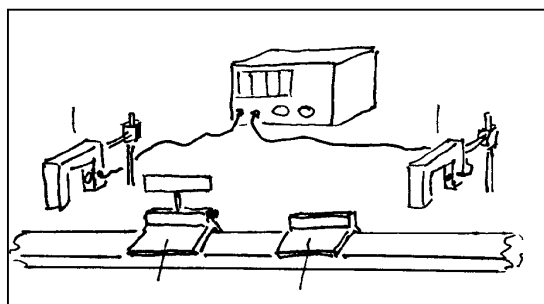


Рис.3.63. При столкновении уменьшается импульс тела А на половину. Измерение показывает, что скорость при этом уменьшается тоже на половину.

импульса и скорости тела А как до

столкновения, так и после столкновения. Обозначим импульс до столкновения через p_v , а после столкновения - через p_n . Поскольку после столкновения p_v в одинаковой мере разделяется между А и В, то А после столкновения имеет половину того импульса, что был до столкновения. Отсюда имеем:

$$p_n = \frac{1}{2} p_v.$$

Скорости до и после столкновения определяются с помощью измерения. Оказывается, что скорость v_n после столкновения равна половине скорости до столкновения v_v :

$$v_n = \frac{1}{2} v_v.$$

Если столкнуть А с двумя покоящимися телами В и С (рис. 3.64), то импульс А разделится на три тела и тогда

$$p_n = \frac{1}{3} p_v.$$

Измерение скорости в этом случае дает

$$v_n = \frac{1}{3} v_v.$$

Из этого мы заключаем, что для данного тела (с постоянной массой) импульс и скорость взаимно пропорциональны:

$$p \sim v \text{ для } m = \text{const.}$$

Теперь у нас есть два соотношения: между p и m , p и v . Запишем их еще раз друг под другом:

$$p \sim m \text{ для } v = \text{const.} \quad (1)$$

$$p \sim v \text{ для } m = \text{const.} \quad (2)$$

Математика говорит, что эти два соотношения можно привести к одному объединенному соотношению:

$$p \sim m \cdot v \quad (3)$$

То, что эта пропорциональность справедлива, подтверждают соотношения (1), (2), которые из нее следуют. Если постоянна скорость v и меняется m , то из (3) получается соотношение (1). Если положить в (3) постоянной массу m и измерять v , то получится соотношение (2).

Но формула (3) еще не позволяет вычислить импульс тела по его массе и скорости. Еще в

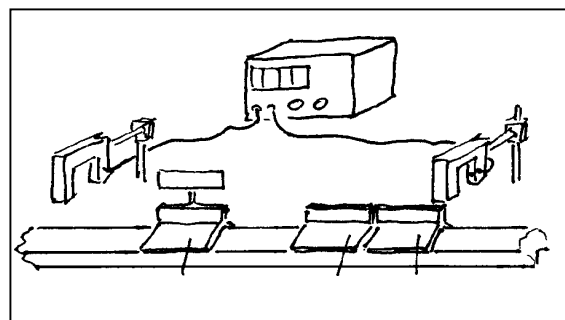


Рис. 3.64. При столкновении уменьшается как импульс, так и скорость тела А в три раза по сравнению с начальным значением

(3) надо ввести коэффициент пропорциональности. Но здесь нам повезло: нам не нужен такой коэффициент, т.к. единица измерения импульса (гюйгенс) определена таким образом, что этот коэффициент просто равен единице, если массу подставим в кг, а скорость в м/с. Таким образом, получаем

$$p = m \cdot v$$

Это и есть искомый результат. Теперь имеем очень нужную формулу. Она позволяет вычислить импульс тела, если известны его скорость и масса. Но скорость и масса есть легко измеримые величины. Поэтому мы получаем простой метод вычисления значений импульса. Обрати внимание на то, что по этой формуле импульс получается в гюйгенсах, если масса подставляется в кг, а скорость в м/с.

Импульс некоторого тела пропорционален массе тела и его скорости.

Рассмотрим уравнение $p = m \cdot v$ с другой точки зрения. Представь два тела с очень большой разницей масс. Пусть

$$m_A = 1 \text{ кг}$$

и

$$m_B = 1000 \text{ кг.}$$

Пусть обоим телам сообщается одинаковый импульс 1 Н·с. Как на это отреагируют тела? Оба, очевидно, придут в движение, разумеется, различным образом. Из

$$p = m \cdot v$$

следует, что

$$v = \frac{p}{m}.$$

Поэтому для тела А получим скорость

$$v_A = \frac{p}{m_A} = \frac{1 \text{ Н}\cdot\text{с}}{1 \text{ кг}} = 1 \text{ м/с},$$

а для тела В соответственно

$$v_B = \frac{p}{m_B} = \frac{1 \text{ Н}\cdot\text{с}}{1000 \text{ кг}} = 0,001 \text{ м/с}.$$

Таким образом, тело А движется в 1000 раз быстрее, чем тело В. В движение легче привести тело меньшей массы, чем тело большей массы. Это можно выразить в обобщенном виде:

легче изменить скорость тела с меньшей массой, чем тела с большей массой.

Говорят также, что тяжелое тело имеет большую инерцию.

Масса тела ответственна за его инерцию.

Задачи

1. Грузовая машина массой 12 т (12 000 кг) движется со скоростью 90 км/час. Чему равен ее импульс?
2. Вратарь останавливает футбольный мяч, который прилетел со скоростью 20 м/с. Какой импульс перетекает в землю через вратаря? (Масса футбольного мяча 420 г).
3. Теннисный мячик, летящий со скоростью 30 м/с, ударяется в правый угол стены. Какой импульс перетекает в стену? (Масса мячика 50 г).
4. Человек приводит в движение (ускоряет) хорошо нагруженный вагон. Динамометр указывает на поток импульса, который втекает при этом в вагон. Человек тянет вагон 5 минут. Чему равна конечная скорость вагона? (Масса вагона 150 кг, динамометр показывает 15 Н).
5. Локомотив ускоряет движение поезда. Через сцепление между локомотивом и вагонами течет поток импульса 200 кН. Чему равен импульс поезда (без локомотива) через 30 секунд. Поезд теперь имеет скорость 54 км/час. Какова масса поезда?
6. Вагон массой 42 кг, который вначале покоился, начинают ускорять, причем через шест сцепления течет поток импульса 20 Н. Какой импульс втек в вагон за три секунды? Его скорость к этому моменту достигает 1,2 м/с. Как велик его импульс? Куда делась пропавшая часть импульса?
7. По трубе длиной 2 км и диаметром 10 см течет вода со скоростью 0,5 м/с. Находящийся в конце трубы вентиль закрывают. Вычисли импульс, который вода при этом отдаст. Куда уходит этот импульс? Закрытие трубы продолжается 2 секунды. Как велика сила, действующая на закрытый вентиль (сила тока импульса)? Указание: вычисли вначале объем воды в литрах. Масса 1 литра воды равна 1 кг.

3.16. Единицы физических величин в системе СИ

В разделе физики, который ты только что изучил, было подтверждено то, что мы утверждали в самом начале механики: чтобы описать мир средствами физики, необходимы физические величины. Важнейшая цель физики, если не самая важная, найти связи между этими величинами.

Мы еще раз рассмотрим некоторые физические величины, которые мы встретили до сих пор (табл. 3.6).

Ты знаешь, что для каждой величины имеется единица измерения. Некоторые из них имеют даже несколько единиц измерения (табл. 3.7). Тому, что есть величины, имеющие несколько единиц измерения, существуют разные причины. Часто в разных областях науки, техники или ремесла были введены различные единицы измерения, например, портной использует локти, слесарь - дюймы, физик - метр. Надо было бы принять для всех одну единицу измерения, но, к несчастью, в разных странах это делается по-разному. Так в некоторых европейских странах массу измеряют в граммах, а в Соединенных Штатах Америки - в фунтах. Наконец, нашли и в международном масштабе установили систему единиц физических величин, которая называется *Система Интернациональная (Système International)*. Здесь каждая величина имеет только одну единственную единицу измерения, но есть и редкие исключения. Эти единицы называются *единицами СИ*.

Таблица 3.6. Названия и единицы в системе СИ некоторых физических величин с указанием сокращенных обозначений

Название величины (символ)	Единица в системе СИ (символ)
Давление (p)	паскаль ($Па, Pa$)
Энергия (E)	джоуль ($Дж, J$)
Сила тока энергии (P)	ватт ($Вт, W$)
Время (t)	секунда ($с, s$)
Импульс (p)	гюйгенс ($Н\cdot\text{с}, N\cdot s$)
Сила тока импульса, сила (F)	ньютон ($Н, N$)
Скорость (v)	метр в секунду ($м/с, m/s$)
Путь (s)	метр ($м, m$)
Масса (m)	килограмм ($кг, kg$)

Единицы, которые приведены в таблице 3.6 около физических величин, как раз и являются такими единицами СИ.

Преимущество использования единиц СИ состоит не только в том, что их легче можно понять в международном общении. Эта система единиц так устроена, чтобы

физические формулы имели наиболее простой вид. Если в формулы, которые ты уже знаешь, подставить значения величин в единицах СИ, то получишь результат, т.е. значение искомой величины, тоже в единицах системы СИ. Если в формулу подставишь значения величин в других единицах, то результат окажется в единицах, не имеющих никакого смысла. Рассмотрим два примера.

Формула $P = E/t$ позволяет вычислить силу тока энергии по величине энергии и времени ее передачи. Если брать энергию в джоулях, а время в секундах, то получим силу тока энергии в джоулях в секунду. Но 1 Дж/с есть 1 ватт. Таким образом, в результате получаем величину в единицах СИ, т.е. в ваттах. Если, напротив, энергию возьмем в калориях, а время в минутах, то результат будет с единицей измерения калория в минуту, т.е. совершенно неиспользуемая единица.

Приведенные наблюдения мы сформулируем в виде следующего наставления:

если ты решаешь некоторую задачу, а исходные величины приведены не в единицах системы СИ, то прежде всего пересчитай эти величины в единицах системы СИ.

Таблица 3.7. Некоторые физические величины кроме единиц измерения в системе СИ имеют также другие единицы измерения

Название величины	Единицы измерения
Давление	паскаль, бар, атмосфера
Энергия	джоуль, калория
Сила тока энергии	ватт, лошадиная сила (<i>л.с</i>)
Время	секунда, минута, ... год
Сила тока импульса, сила	ньютон, дина
Скорость	метр в секунду, километр в секунду, узел
Путь	метр, дюйм, световой год
Масса	килограмм, фунт