

## 6. Импульс как вектор

### 6.1. Векторы

Плотный туман застилал район моря с интенсивным судоходством. Капитан баржи «Гигант» (Gigantic) Амудсен, получив от радиста сведения о положении и скорости судов в окрестности своего корабля, сказал: «На расстоянии 5,6 миль в северо-восточном направлении плывет танкер со скоростью 35 узлов (65 км/час).» Достаточно ли этих данных, чтобы капитан Амудсен мог избежать столкновения? Разумеется, нет (см. рис. 6.1). «В каком направлении плывет он?» - спросил Амудсен. Он знал, что возникнет опасность, если танкер плывет на запад. Тогда он должен будет совершить обходной маневр. Если же танкер плывет на восток, то тогда нет никакой опасности.

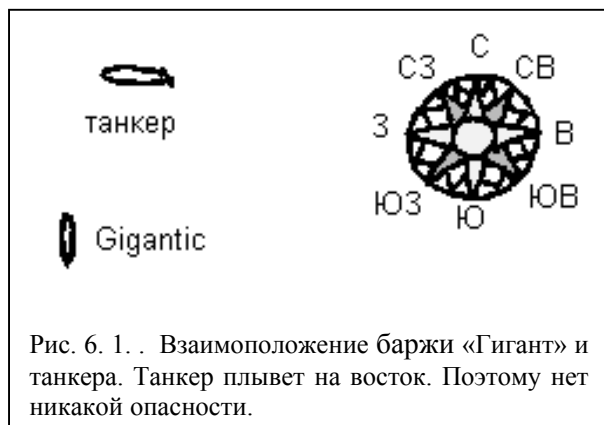
Чтобы движение некоторого тела (здесь танкера) однозначно описать, необходимо указать:

- как скоро перемещается тело, например, 65 км/час;
- в каком направлении тело движется, например, в восточном направлении.

Оба этих данных относятся к скорости. Только величиной 65 км/час скорость определяется не вполне. При задании скорости всегда надо указывать направление движения.

Можно сказать поэтому, что скорость имеет величину и направление. В нашем случае

- величина скорости составляет 65 км/час;
- направление скорости: восток.



Существуют и другие физические величины, которые однозначно задаются величиной и направлением. К этим величинам относится импульс.

Два автомобиля на рис. 6.2 имеют одинаковый импульс равный 2000 Гю. Однако их импульсы неодинаковы, именно: автомобили движутся в разных направлениях. Автомобиль А едет по направлению оси X, а автомобиль В в перпендикулярном (т.е. поперечном) направлении.

Дело обстоит как и в случае со скоростью: чтобы однозначно указать импульс тела, надо знать его величину и направление. В нашем примере это выглядит так:

импульс автомобиля А

величина: 2000 Гю  
направление: по оси X

импульс автомобиля В

величина: 2000 Гю  
направление: перпендикулярно оси X

Два импульса только тогда одинаковы, когда совпадают не только их величины, но и направления.

Физические величины, которые определяются таким образом, называются *векторами*.

**Вектор задается своей величиной и направлением**

**Скорость и импульс являются векторами.**

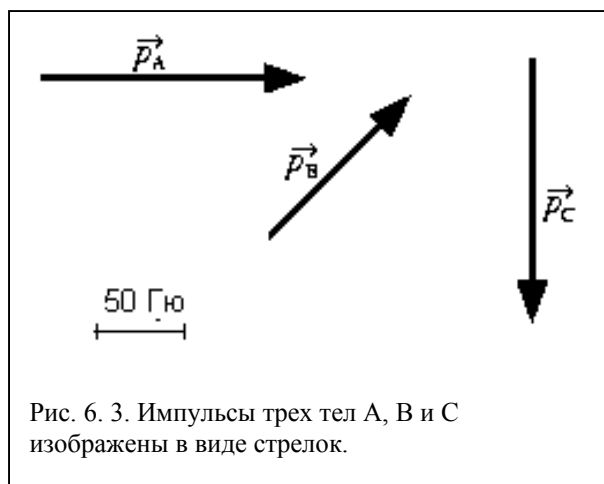
«Нормальные» физические величины, значения которых задаются только с помощью чисел, называются *скалярами*.

Значение массы

$$m = 5 \text{ кг}$$

задано однозначно. Указание направления





здесь было бы бессмысленным. То есть масса является скаляром. Другие примеры скалярных величин - это энергия, сила электрического тока, температура.

Как можно сообщить значение векторной величины, например, импульс некоторого тела? Это можно сделать так:

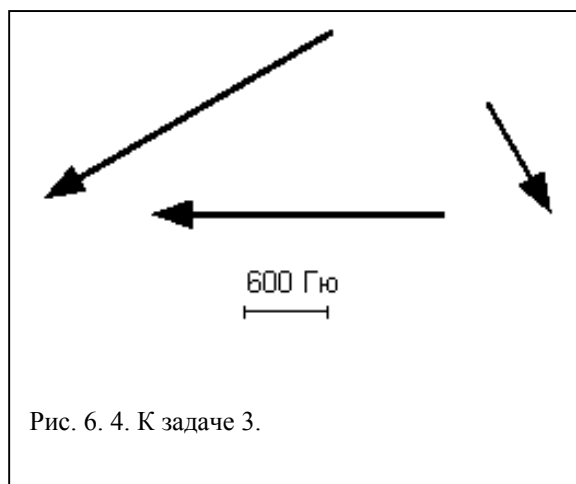
- величина импульса равна 200 Гю;
- импульс направлен под углом  $35^\circ$  к оси X.

Есть более удобный способ описания импульса (или другой векторной величины): с помощью рисунка. Сначала устанавливается масштаб: 1 см рисунка соответствует 50 Гю. Тогда импульс можно изобразить в виде стрелки. Длина стрелки дает величину импульса, а направление стрелки совпадает с направлением импульса.

На рис. 6.3 изображены импульсы трех тел А, В и С и отмечено, что 1 см соответствует 50 Гю.

Чтобы облегчить себе жизнь, дадим для трех различных сортов импульса на рис. 6.3 особые наименования: для тела А это будет  $0^\circ$  - импульс (нуль градусный импульс), т.к. этот импульс составляет с осью X угол  $0^\circ$ ; для тела В имеем  $45^\circ$  - импульс, т.е. соответствующая стрелка образует с осью X угол  $45^\circ$ ; для тела С имеем соответственно  $270^\circ$  - импульс.

То, что некоторая величина является вектором, можно отразить и на символе величины: для этого над буквенным символом величины надписывают стрелку. Таким образом получается символ вектора скорости  $\vec{v}$  и символ вектора импульса  $\vec{p}$ . На рис. 6.3 использованы такие обозначения.



### Задачи

1. Изобразите графически следующие импульсы.

Тело Р обладает импульсом 20 Гю и он направлен под углом  $270^\circ$  к оси X.

Тело Q имеет импульс 1200 Гю и он направлен под углом  $10^\circ$  к оси X.

2. До сих пор рассматривали движения параллельные одной единственной оси. При этом встречались положительные и отрицательные значения импульса. Изобразите значения импульсов  $p_1 = 3,5$  Гю и  $p_2 = -4,5$  Гю в виде стрелок.

3. Каковы величины и направления импульсов, изображенных на рис. 6.4 в виде стрелок?

## 6.2. Направление тока и направление того, что течет

Человек стоит на берегу пруда и пытается с помощью длинного шеста двигать плот. На рис. 6а, б и с показаны три возможных варианта как это происходит.

Для облегчения анализа происходящего зададим направление оси X. Направление импульса будем всегда определять по отношению к этой оси.

На рис. 6.5а человек толкает плот направо, т.е. в направлении оси X. Пусть давление человека такое, что в плот за секунду втекает импульс 150 Гю. Тогда сила тока импульса составляет  $150 \text{ Гю/с} = 150 \text{ Н}$ . На рис. 6.5в человек толкает плот от себя к центру пруда. Пусть его давление опять вызывает поток импульса в плот 150 Гю. А на рис. 6.5с он толкает плот под углом вправо, передавая импульс 150 Н.

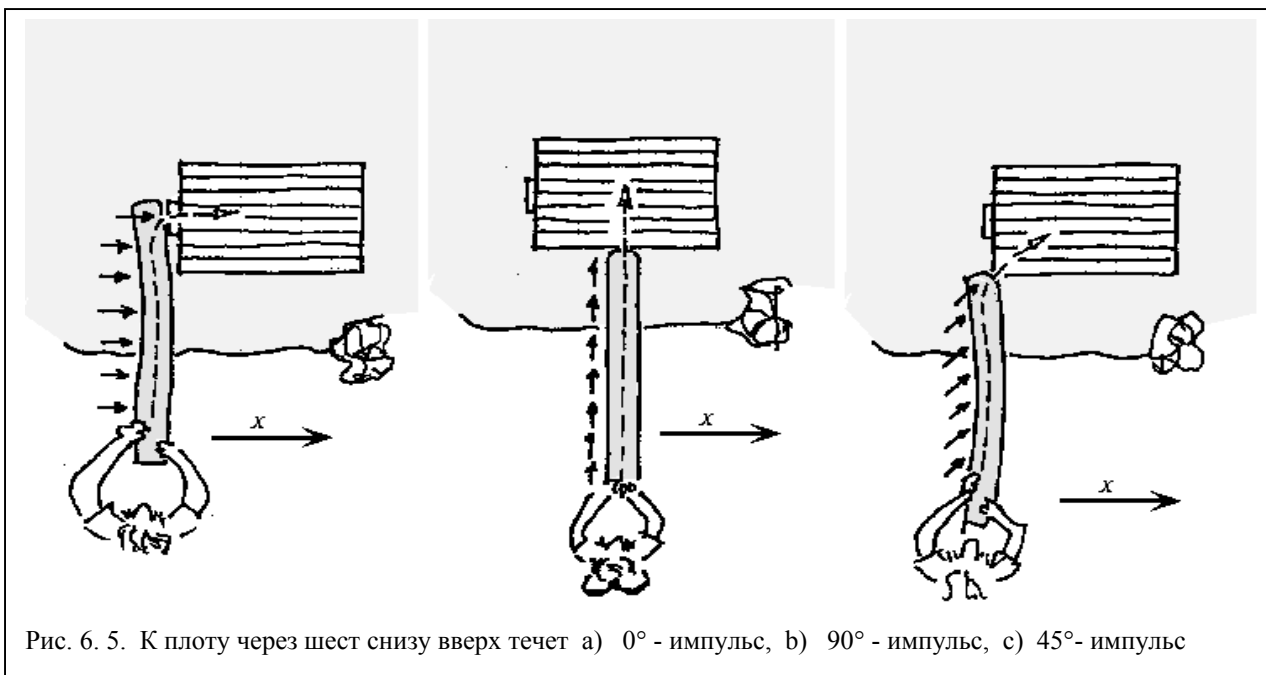


Рис. 6. 5. К плоту через шест снизу вверх течет а)  $0^\circ$  - импульс, б)  $90^\circ$  - импульс, в)  $45^\circ$  - импульс

Хотя в этих трех случаях втекает одинаковое число гюйгенсов в секунду, но потоки импульсов отличаются друг от друга. То, что течет, не является одним и тем же.

В первом случае плот получает  $0^\circ$  - импульс. Во втором случае плоту передается  $90^\circ$  - импульс. То есть через шест должен протекать  $90^\circ$  - импульс. В третьем случае по шесту течет  $45^\circ$  - импульс.

Импульс, который человек сообщает плоту, обозначен с помощью стрелок слева от шеста. Ты можешь представить себе, что каждая стрелка отвечает порции импульса, которая движется от человека к плоту.

Длинная штрихованная линия обозначает путь, по которому передается импульс.

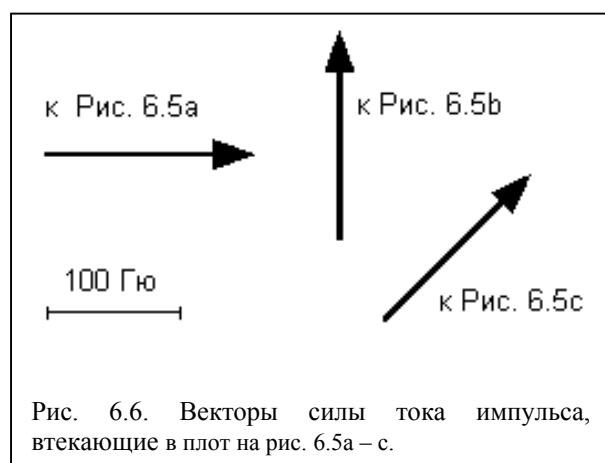


Рис. 6.6. Векторы силы тока импульса, втекающие в плот на рис. 6.5а - с.

Итак ты видишь следующее: с силой тока импульса мы находимся в таком же положении, как и с импульсом. Для его определения недостаточно только численного значения. Сила тока импульса строго установлена, если даны не только величина (150 Н), но направление протекания импульса ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$  или  $45^\circ$ ). Таким образом,

**сила тока импульса является вектором-**

Как и всякий вектор, мы наш новый вектор будем изображать, имея ввиду следующее:

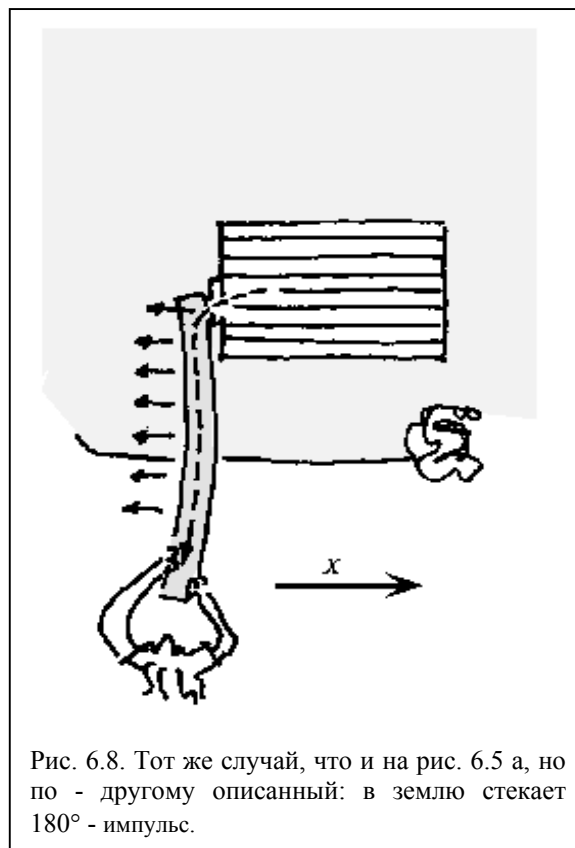
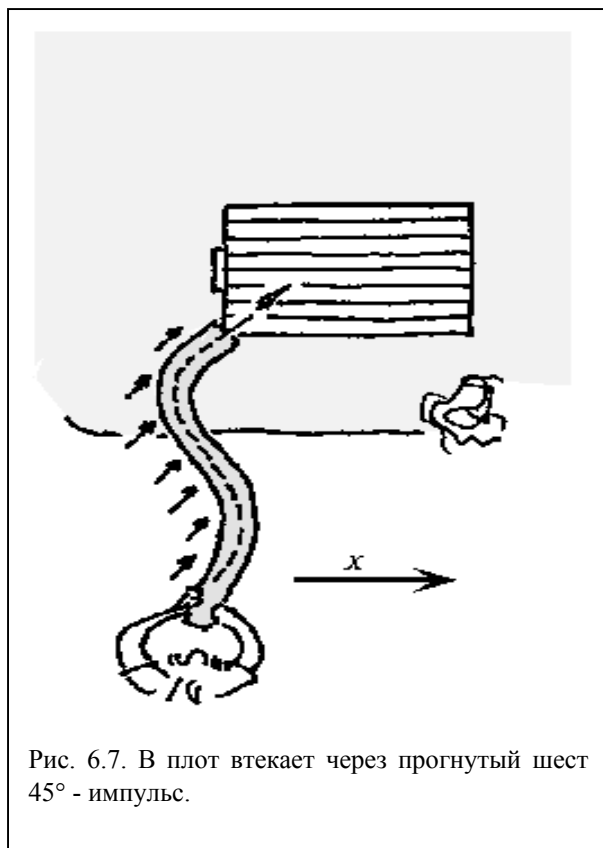
Длина стрелки дает величину силы тока импульса;

Направление стрелки указывает направление импульса, который протекает по проводнику.

В качестве символа для стрелки вектора силы тока импульса будем использовать  $\vec{F}$ .

На рис. 6.6 показаны векторы силы тока импульса, приведенные на рис. 6.5а - с.

Рассмотрим еще рис. 6.7 и сравним его с рис. 6.5с. На рис. 6.7б плот тоже течет  $45^\circ$  - импульс, но в отличие от рис. 6.5с не через прямой, а через изогнутый шест. Импульс должен течь по кривой вида S. Следовательно, на обоих рисунках течет один и тот же импульс, а именно: 150 Гю/с. Но в одном случае он течет по прямому шесту, а в другом - по искривленному шесту. Стрелки векторов, приведенные на рис.6.5с и рис.6.7, оказываются при этом равными друг другу.



Пути, по которым передается импульс на рис. 6.5а и рис. 6.7, обозначены штрихованными линиями.

### Не путай направление пути импульса с направлением транспортировки импульса

Каждую из трех возможностей на рис. 6.5а - 6.5 с мы описали, указав что за импульс и сколько его втекло из земли в плот. Этот процесс можно описать по - другому, а именно: мы можем сказать какой импульс и сколько его вытекло из плота в землю. Оба подхода равноценны.

“Из земли в плот в определенном направлении втекает за секунду  $x$  Гю импульса” означает то же самое, что и “из плота в землю вытекает в противоположном направлении за секунду импульс величиной  $x$  Гю”.

На рис. 6.8 показывается такой же процесс как и на рис. 6.5а, но только по - другому описанный. Рис. 6.8 не показывает какой импульс втекает в плот, но демонстрирует какой импульс уходит в землю, а именно:  $180^\circ$  - импульс. Ты видишь, что стрелки векторов силы тока в обоих случаях должны иметь противоположное направление.

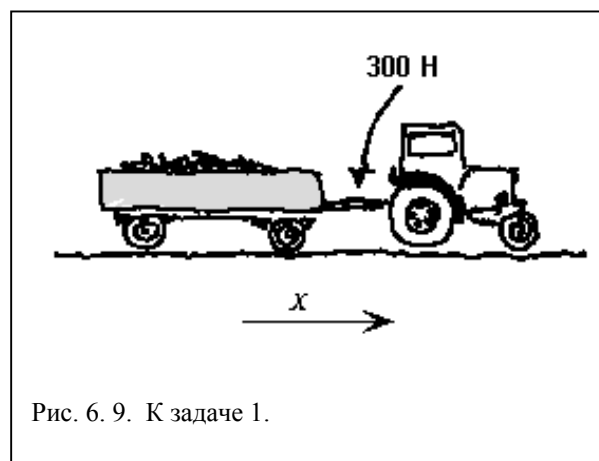
Следующие выводы, очевидно, равнозначны:

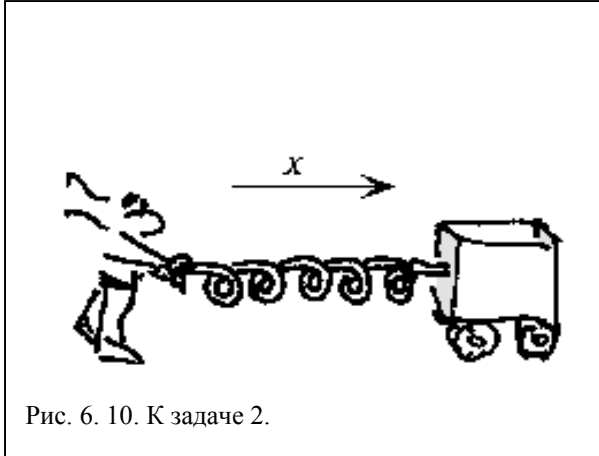
-из земли в плот втекает  $0^\circ$  - импульс величиной  $150$  Гю/с;

-из плота в землю вытекает  $180^\circ$  - импульс величиной  $150$  Гю/с.

### Задачи

1. По сцеплению между трактором и прицепом течет поток импульса  $300$  Н (рис. 6.9). Какой импульс втекает *в прицеп*? Изобрази силу тока импульса с помощью стрелки. Опиши процесс, указав сколько и что за импульс вытекает через сцепление *из прицепа*?





2. Человек толкает вагончик с помощью изогнутого шеста в направлении оси  $X$  (рис. 6.10). Поток импульса равен 25 Н.

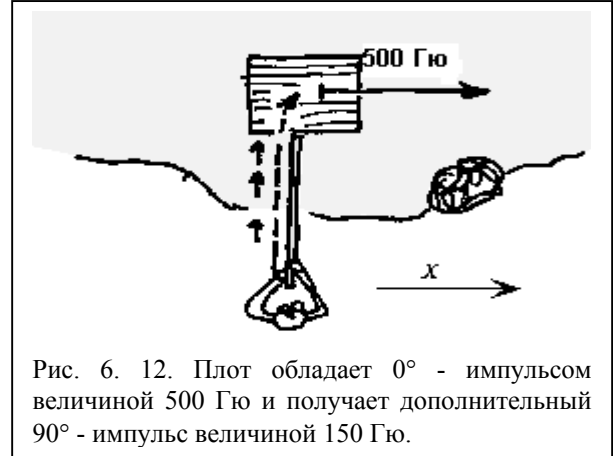
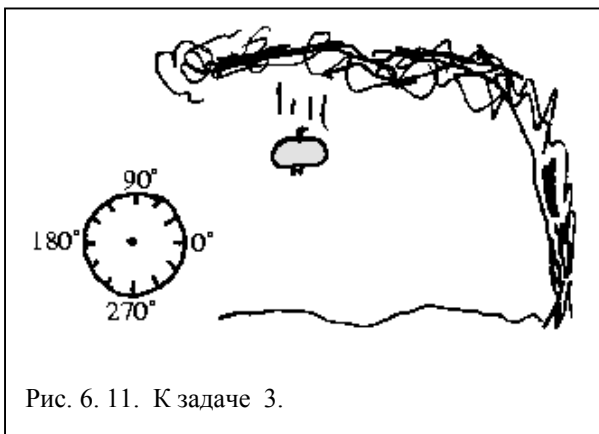
- Что за импульс втекает в вагончик?
- Нарисуй поток импульса на рис. 6.10.
- Нарисуй стрелку вектора силы тока импульса.

3. С дерева падает яблоко (рис. 6.11). В яблоко втекает импульс, который поступает из земли через поле тяготения. Яблоко весит 300 г.

- Какова сила тока импульса?
- Что за импульс втекает в яблоко? (Указать величину угла в вертикальной плоскости).
- Нарисуй стрелку вектора силы тока импульса.

### 6.3. Сложение векторов

Вернемся к плоту в пруде (рис. 6.12). Предположим, что его толкнули направо. На физическом языке это значит следующее: плот получил  $0^\circ$  - импульс величиной 500 Гю. Пусть человек давит шестом на плот (на рисунке снизу вверх). Он давит таким образом, что в плот за секунду втекает  $90^\circ$  - импульс величиной 50 Гю. Это продолжается три секунды. Каким импульсом обладает плот в конечном итоге?



Теперь плот имеет  $0^\circ$  - импульс величиной 500 Гю и  $90^\circ$  - импульс величиной 50 Гю. А сколько это составляет вместе? И что это будет за импульс?

Ты можешь это себе представить так. Плот в результате движется ни параллельно оси  $X$  и ни в поперечном к ней направлении, а согласно рисунку под углом вправо наверх. Результирующий импульс поэтому не будет ни  $0^\circ$  - импульсом, ни

$90^\circ$  - импульсом.

Вопрос о результирующем импульсе можно сформулировать еще следующим образом: как складываются векторы? Как можно сосчитать вместе  $0^\circ$  - импульс величиной 500 Гю и  $90^\circ$  - импульс величиной 150 Гю?

Результат легко найти, если использовать стрелочные изображения для векторов импульса. Нарисуем оба импульса в виде стрелок (рис. 6.13а). Обозначим стрелки символами  $\vec{p}_1$  и  $\vec{p}_2$ . Совместим начало вектора  $\vec{p}_2$  с концом вектора  $\vec{p}_1$  (рис. 6.13б).

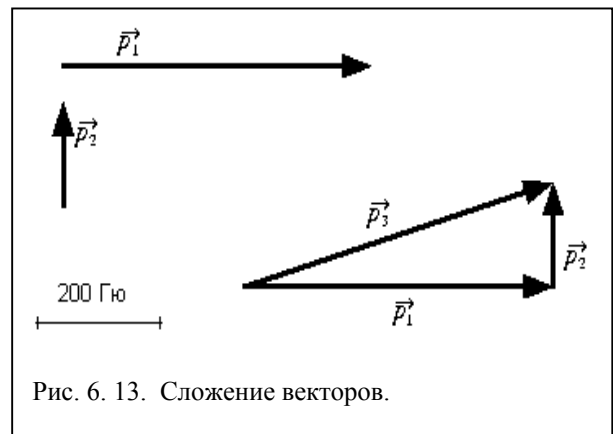




Рис. 6. 14. Сложение векторов перестановочно (коммутативно).

Потом нарисуем третью стрелку  $\vec{p}_3$ , начало которой совпадает с началом вектора  $\vec{p}_1$ , а конец ее падает с концом вектора  $\vec{p}_2$ . Стрелка  $\vec{p}_3$  представляет собой результирующий импульс.

То, что мы сделали, называется *сложением векторов*. Символически его можно написать так

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3$$

Вместо присоединения вектора  $\vec{p}_2$  к вектору  $\vec{p}_1$  указанным образом, можно присоединить вектор  $\vec{p}_1$  к вектору  $\vec{p}_2$  (рис. 6.14). Результат получится тот же. Поэтому сложение векторов, как и обыкновенное сложение перестановочно, или что то же самое коммутативно.

#### Пример

Камень весом 0,5 кг брошен в горизонтальном направлении (рис. 6.15). В начальный момент он имел  $0^\circ$  - импульс величиной 3 Гю. Из - за

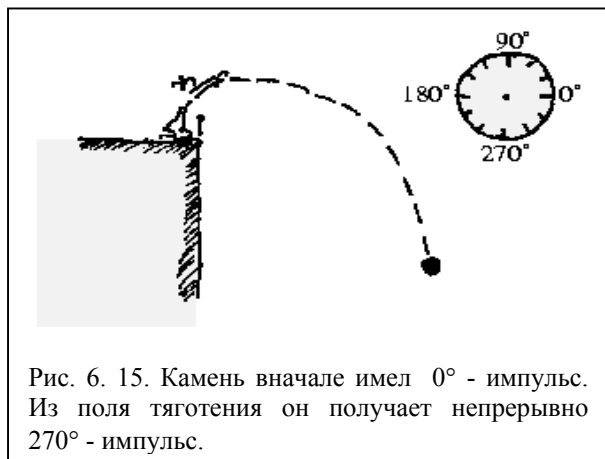


Рис. 6. 15. Камень вначале имел  $0^\circ$  - импульс. Из поля тяготения он получает непрерывно  $270^\circ$  - импульс.

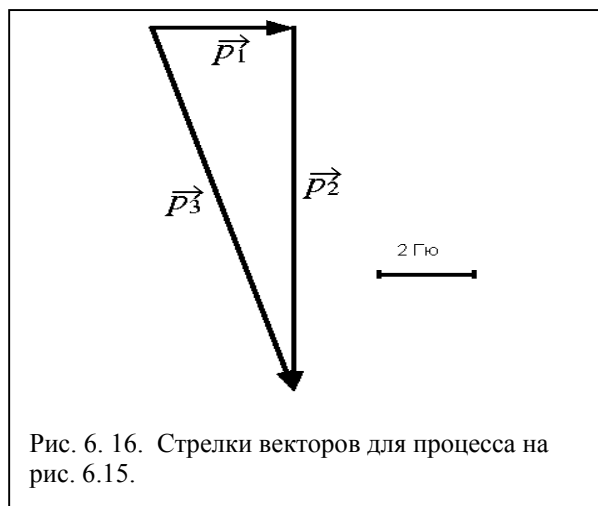


Рис. 6. 16. Стрелки векторов для процесса на рис. 6.15.

своей тяжести он непрерывно получает из земли дополнительный  $270^\circ$  - импульс. Какой по величине и направлению импульс он будет иметь через 2 секунды?

Сила тока импульса, поступающего из земли, равна

$$F = m \cdot g = 0,5 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} = 5 \text{ Н}$$

Таким образом, камень из земли получает каждую секунду 5 Гю. Импульс, который поступил из земли за 2 секунды, равен

$$p = F \cdot t = 5 \text{ Гю/с} \cdot 2 \text{ с} = 10 \text{ Гю}$$

Теперь надо сложить

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3$$

причем

$\vec{p}_1$  равен 3 Гю  $0^\circ$  - импульса, а

$\vec{p}_2$  равен 10 Гю  $270^\circ$  - импульса.

На рис. 6.16 показан результат. Величину результирующего импульса можно найти с помощью теоремы Пифагора:

$$p_3 = \sqrt{(3 \text{ Гю})^2 + (10 \text{ Гю})^2} = \sqrt{9 + 100} \text{ Гю} = 10,44 \text{ Гю}$$

#### Пример

Два человека тянут по каналу лодку. Один из них идет по одному берегу, а другой - по другому берегу (рис. 6.17). Тросы направлены по отношению к каналу под углом  $30^\circ$  (или лучше: на рисунке верхний трос образует угол в  $30^\circ$ , а нижний -  $330^\circ$ ). В обоих тросах течет поток импульса величиной 90 Н.

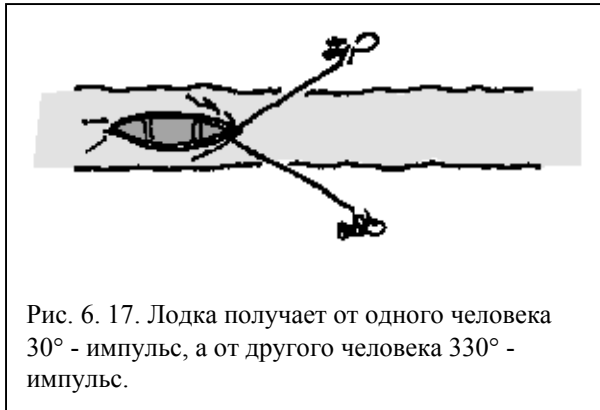


Рис. 6. 17. Лодка получает от одного человека  $30^\circ$  - импульс, а от другого человека  $330^\circ$  - импульс.

Какой импульс получает лодка за секунду? Что за импульс она получает?

Через верхний трос в лодку втекает  $90 \text{ Н } 30^\circ$  - импульса, а через нижний трос -  $90 \text{ Н } 330^\circ$  - импульса. На рис. 6.18 стрелки векторов силы тока составлены вместе. Результирующая сила тока, которая втекает в лодку, является векторной суммой. Результирующая сила считывается с рисунка и составляет  $156 \text{ Н } 0^\circ$  - импульса.

#### Пример

Автомобиль едет по дороге, которая поворачивает на  $90^\circ$  (рис. 6.19а). Его импульс до поворота и после поворота имеет одну и ту же величину  $30\,000 \text{ Гю}$ . Во время езды по закруглению автомобиль получает импульс из земли. При этом имеем: начальный импульс автомобиля + импульс из земли = импульс после поворота. Знак суммы здесь означает векторное сложение.

На рис. 6.19б показано как можно получить стрелку вектора импульса поступающего из земли. Направление импульса, поступающего из земли, делит пополам угол, который образуют оба прямолинейных участка дороги. Величина импульса, поступающего из земли в автомобиль, может быть получена с помощью теоремы Пифагора и составляет  $42\,000 \text{ Гю}$ .



Рис. 6. 18. Стрелки векторов силы тока импульсов к рис. 6.17.

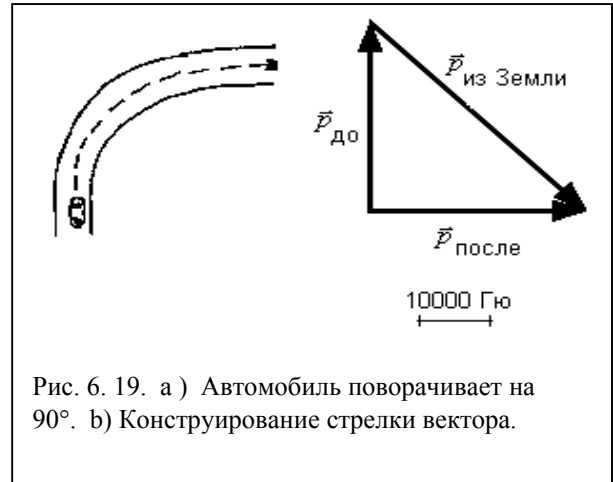


Рис. 6. 19. а) Автомобиль поворачивает на  $90^\circ$ . б) Конструирование стрелки вектора.

#### Задачи

- Камень весом  $100 \text{ г}$  брошен горизонтально с башни. Его начальный импульс был  $0,5 \text{ Гю}$ .
  - Сколько и какой импульс получает камень из земли в течение одной секунды?
  - Нарисуйте стрелку импульса, который будет у камня через секунду после броска.
  - Чему равна величина импульса через секунду после его броска?
- Камень весом  $0,3 \text{ кг}$  брошен горизонтально с башни. Его начальная скорость была  $5 \text{ м/с}$ .
  - Чему равняется величина начального импульса?
  - В некоторый момент камень падает под углом  $45^\circ$  к горизонту. Какой импульс к этому моменту получил камень из земли? Нарисуйте векторную диаграмму. Чему равна величина импульса в этот момент?
- Ядро весом  $3 \text{ кг}$  толкнули вверх под углом  $45^\circ$  к горизонту. Оно получило начальный импульс  $12 \text{ Гю}$ . Через какое время оно будет падать вниз под углом  $45^\circ$  к горизонту.
- Поезд поворачивает на угол  $30^\circ$ . Он едет со скоростью  $70 \text{ км/час}$  и имеет массу  $1200 \text{ тонн}$ . Нарисуйте стрелку вектора импульса, который поезд получает из земли.
- Автомобиль поворачивает на  $90^\circ$ . До поворота его скорость была  $30 \text{ км/час}$ , а после поворота  $50 \text{ км/час}$ . Его масса равна  $1400 \text{ кг}$ . Нарисуйте стрелку вектора импульса, который автомобиль получает во время движения по закруглению. Какова величина этого импульса?
- Вратарь бросает футбольный мяч в игру. Игрок отпасовывает мяч обратно в ворота. Расскажите, откуда мяч на своем пути получает импульс, или на чем он его теряет. Обратите внимание также на трение воздуха.

#### 6.4. Спутники, луны, планеты

Мы обнаружили, что тело вблизи поверхности земли получает  $270^\circ$  - импульс. Если его отпустить из состояния покоя, то его  $270^\circ$  - импульс будет возрастать и тело придет в движение по направлению к земле.

Но если тело не просто отпущено, но брошено горизонтально, то оно тоже падает на землю (рис. 6.15).

Представим себе, что мы бросаем некоторое тело с очень высокой горы с очень большим  $0^\circ$  - импульсом. На рис. 6.20 показаны три траектории полета для трех различных начальных  $0^\circ$  - импульсов.

Тогда тело летит так далеко, что становится заметной искривленность земной поверхности. При этом происходит нечто замечательное: вблизи точки падения тело получает  $270^\circ$  - импульс. На протяжении полета меняется направление вновь втекающего импульса. Так в конце траектории тело на рис. 6.20 получает не  $270^\circ$  - импульс, а  $240^\circ$  - импульс.

Если начальному импульсу придать подходящее очень большое значение, то возникает ситуация, изображенная на рис. 6.21. Тело все падает и падает, а к земле вместе с тем не приближается.

В точке А оно получает  $270^\circ$  - импульс, в точке В соответственно  $225^\circ$  - импульс, в С  $180^\circ$  - импульс, в D  $90^\circ$  - импульс, в E  $0^\circ$  - импульс и т.д. Поступающий импульс действует так, что путь тела в каждом месте искривляется в направлении к земле. Если начальный импульс выбран правильно, то тело опишет круговую траекторию.



Рис. 6. 20- Некоторое тело бросается с высокой горы. Три траектории соответствуют трем различным значениям начального импульса.



Рис. 6. 21. Направление импульса, получаемого телом из земли, является перпендикулярным к направлению импульса, который имеет летящее тело.

Направление импульса, который тело получает в каждый момент времени, перпендикулярно к направлению импульса, который он имеет в данный момент. Так в точке В тело имеет  $315^\circ$  - импульс, а получает при этом  $225^\circ$  - импульс. В точке С имеет  $270^\circ$  - импульс, а получает  $180^\circ$  - импульс и т.д.

Надеюсь ты заметил, что здесь обсуждаем не какой-то сумасшедший, целиком нереалистичский мысленный эксперимент.

Если говорят, что спутник выведен на орбиту, то при этом имеют в виду следующее - что он поднят на определенную высоту; - что ему в горизонтальном направлении сообщен импульс правильной величины и вследствие этого он движется по круговой орбите.



Рис. 6. 22. Если начальный импульс больше того, который необходим для круговой орбиты, то спутник будет двигаться по эллиптической орбите.



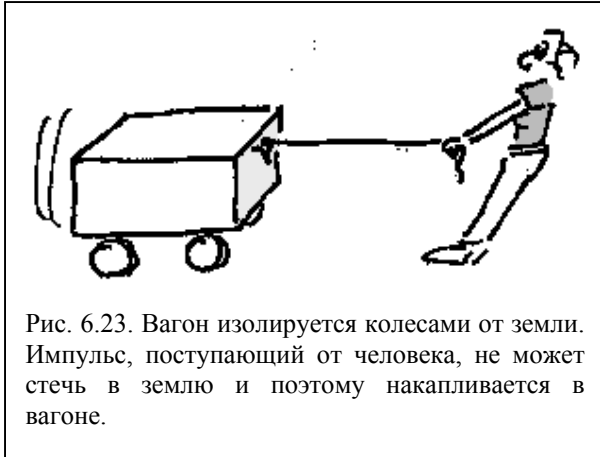


Рис. 6.23. Вагон изолируется колесами от земли. Импульс, поступающий от человека, не может стечь в землю и поэтому накапливается в вагоне.



Рис. 6.24. Импульс, поступающий от человека стекает в землю. Колеса не задерживают поперечный импульс.

Если спутнику сообщен недостаточный импульс, то он упадет на землю наподобие тела на рис. 6.20. Если ему придается больший импульс, чем необходимо для круговой орбиты, то вначале он отлетает дальше от земли и дальше движется по эллиптической орбите (рис. 6.22).

Только при во много раз больших начальных импульсах достигается то, что он совсем улетает прочь от земли. Он перестает быть спутником и превращается в *космический зонд*. (Очень успешным космическим зондом стал Вояджер - 2. Он покинет солнечную систему за приблизительно десять лет полета).

Полеты спутников не являются открытием человека. Они существовали в природе задолго до появления искусственных спутников земли. Движение естественного спутника, например, Луны, по круговой орбите вокруг Земли совершенно того же рода, что и движение искусственных спутников. Только Луна летит на много большем удалении. В то время как искусственные спутники летают на высоте от 200 км до 40 000 км над поверхностью земли, Луна находится на расстоянии 400 000 км от Земли.

Возможно ты знаешь, что не только Земля, но и другие планеты имеют свои луны.

Наконец, движение Земли и других планет вокруг Солнца имеет тот же характер, который тебе уже известен. Земля, как и другие планеты, непрерывно получает импульс от Солнца. Направление импульса, который Земля получает в каждый момент, является перпендикулярным к направлению импульса, который она имеет в тот же момент.

## 6.5. Колеса

Мы уже занимались проводниками и непроводниками импульса, не зная, что импульс является вектором. Тогда мы имели дело с импульсом одного вида, т.к. рассматривали движение только в одном направлении. Среди прочего мы нашли следующее правило: колеса служат для изоляции импульса.

Это правило станет сложнее, если позволить импульсу течь в различных направлениях.

На рис. 6.23 еще раз показывается то, в чем мы уже убедились, что колеса не пропускают поток импульса в землю. Человек тянет и импульс по тросу перетекает в вагон. Так как импульс не может через колеса стечь в землю, то он накапливается в вагоне, и вагон поэтому движется быстрее.

На рис. 6.24 человек тоже тянет вагон. Но из-за определенного положения колес импульс не остается в вагоне. Он стекает в землю и вагон не движется. Отличие от рис. 6.23 состоит в том, что импульс, который поступает в вагон направлен поперек (перпендикулярно) колесам. Следовательно:

**колеса позволяют поперечному импульсу стекать в землю. Продольный импульс колеса не пропускают.**

Здесь изображение получилось все же достаточно упрощенное. Так в случае продольного импульса вследствие трения его малая часть стекает в землю. С другой стороны, если вагон очень сильно тянуть (т.е. создать очень сильный поток импульса), то проводящая связь для поперечного импульса на рис. 6.24 может быть разрушена (рис. 6.25).



Рис. 6. 25. Если поток импульса становится слишком сильным, то проводящая импульс связь разрушается.

Автомобиль на рис. 6.26, движущийся по искривленному участку дороги, должен освободиться от своего  $0^\circ$  - импульса. Это возможно потому, что колеса позволяют поперечному импульсу стекать в землю (но не при гололеде). Для импульсов других направлений колеса являются непроводниками импульса. Поэтому средства передвижения на колесах оказываются более безопасными. Поперечный импульс всегда очень хорошо отводится от колес.

Более расплывчатой является картина для кораблей. Продольный импульс стекает в этом случае в воду хуже, чем поперечный импульс, однако, различие не столь существенно как для сухопутных средств передвижения.

Иногда желательно, чтобы в землю уходил как продольный, так и поперечный импульс. Один из методов для этого следующий: колеса устраиваются таким образом, чтобы они могли менять направление. Возможно, у вас в школе есть демонстрационные столы с такими колесами и на них привозят в класс приборы для физических опытов (рис. 6.27).

Покончили мы на этом с колесами? Не совсем,

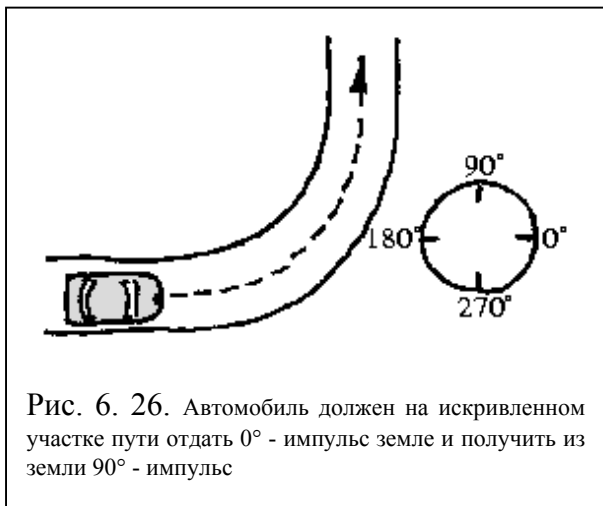


Рис. 6. 26. Автомобиль должен на искривленном участке пути отдать  $0^\circ$  - импульс земле и получить из земли  $90^\circ$  - импульс



Рис. 6. 27. Колеса могут поворачиваться. Они пропускают как продольный, так и поперечный импульс.

поскольку рассмотрели движение только на плоскости, по которой вагон катится. Но есть еще третье направление.

Возьмем в руку маленький вагончик, поставим на стол и надавим на него сверху. Он, разумеется, в движение не придет. Поднимем его вертикально вверх и он будет двигаться. Сделаем тоже самое на стене вместо стола. Если вагончик прижимать к стене, то он не придет в движение, а импульс будет стекать в стену (рис. 6.28). Если его отодвинуть от стены, то он придет в движение и импульс не будет стекать. Колеса здесь вообще излишни.

*Пример*

Вагон весом 20 кг стоит на наклонной дороге. У него отпускают тормоза (рис. 6.29). Что сделает вагон? Через поле тяготения в вагон непрерывно втекает  $270^\circ$  - импульс. Величина силы тока импульса равна

$$F = m \cdot g = 20 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} = 200 \text{ Н}$$

Что происходит с этим импульсом? Стекает он в землю? Накапливается где - то?

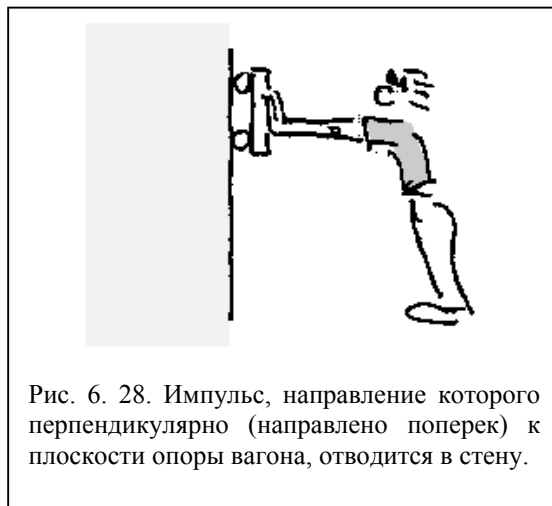
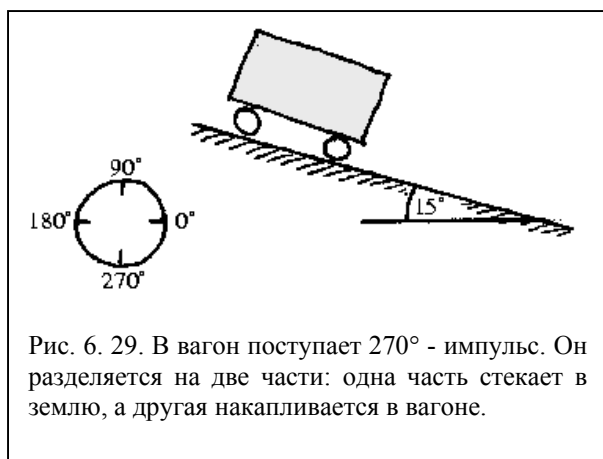


Рис. 6. 28. Импульс, направление которого перпендикулярно (направлено поперек) к плоскости опоры вагона, отводится в стену.



Мы не знаем что происходит с  $270^\circ$  - импульсом, но мы знаем, что происходит с продольным импульсом, т.е. параллельным плоскости опоры вагона, и поперечным импульсом, т.е. перпендикулярным плоскости опоры вагона.

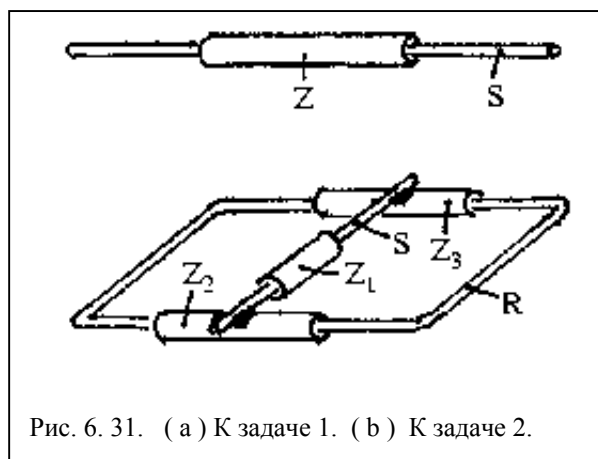
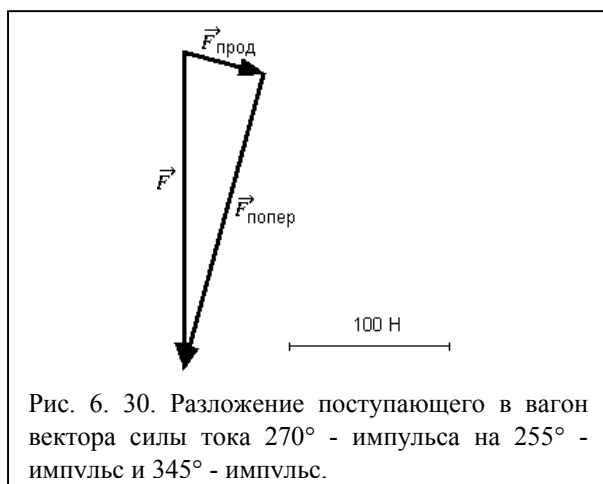
Продольный импульс вагона, т.е.  $345^\circ$  - импульс, не может стекать в землю и поэтому накапливается в вагоне.

Поперечный импульс вагона, т.е.  $255^\circ$  - импульс, непрерывно стекает в землю.

Теперь наша задача следующая: поступающий поток  $270^\circ$  - импульса  $\vec{F}$  надо разложить на  $345^\circ$  - импульс  $\vec{F}_{\text{продольн}}$  и  $255^\circ$  - импульс  $\vec{F}_{\text{поперечн}}$  (рис. 6.30). Из рисунка нетрудно получить, что

$$\vec{F}_{\text{продольн}} = 50 \text{ Н}, \quad \vec{F}_{\text{поперечн}} = 190 \text{ Н}$$

Таким образом, за одну секунду в землю стекает 190 Н, а импульс вагона увеличивается на 50 Н.



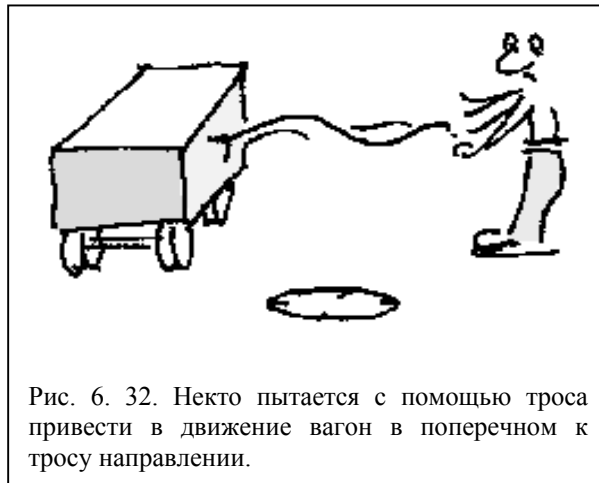
### Задачи

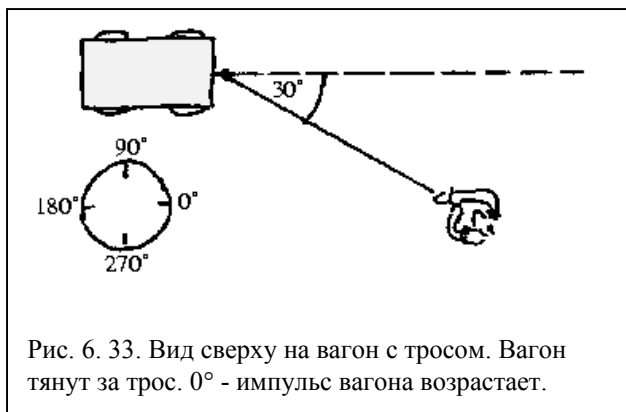
1. Цилиндрическая рукоятка  $Z$  может без трения перемещаться по стержню  $S$  туда - сюда (рис. 6.31а). Для какого импульса связь между рукояткой и стержнем является проницаемой и для какого - непроницаемой?
2. Цилиндр  $Z_1$  может перемещаться туда - сюда по стержню  $S$ , а цилиндры  $Z_2$  и  $Z_3$  соответственно по рамке  $R$  (рис. 6.31б). Для какого импульса связь между  $Z_1$  и рамкой является проницаемой, а для какой - нет?

### 6.6. Тросы

Одно известное правило следует еще дополнить: тросы проводят импульс только в одном направлении.

То, что изображается на рис. 6.32, трудно себе вообразить: человек пытается с помощью троса сдвинуть в бок вагончик, разумеется, безуспешно. Это можно выразить на языке импульсов: он пытается тросом, расположенном в  $0^\circ$  - направлении, послать  $90^\circ$  - импульс. И это не проходит. Трос действует избирательно:





**по тросу можно передавать импульс только в параллельном ему направлению и только в одну сторону**

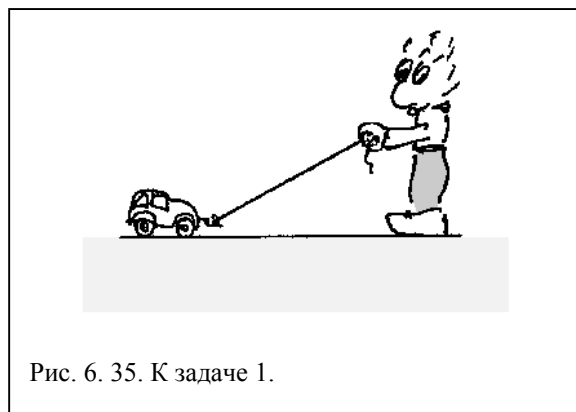
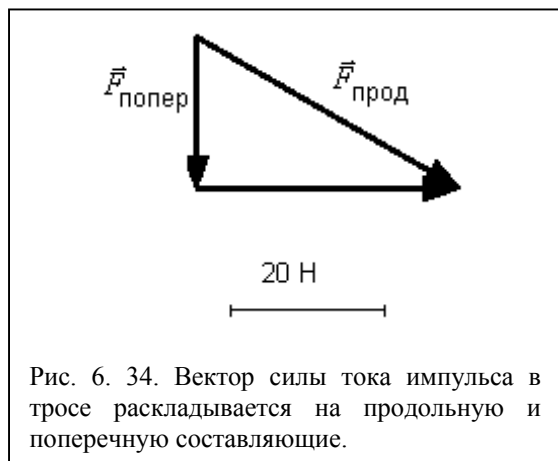
Попробуем это новое правило использовать. На рис. 6.33 показано сверху, что человек тянет вагон с помощью троса.

Но он перемещается не в направлении троса, а в боковом направлении (направо). По тросу течет поток импульса 40 Н. На сколько гюйгенсов в секунду меняется импульс вагона? Какой импульс стекает в землю?

Текущий по тросу импульс должен иметь такое же направление как и трос. Соответствующий вектор силы тока обозначим через  $\vec{F}$  (рис. 6.34). Мы разложим этот поток на две части:

-  $\vec{F}_{\text{поперчн}}$ , который лежит поперек направления движения вагона и через колеса стекает в землю;

-  $\vec{F}_{\text{продольн}}$ , который лежит в направлении движения вагона и способствует увеличению импульса вагона.



Из рисунка нетрудно видеть, что

$$F_{\text{поперчн}} = 20 \text{ Н}$$

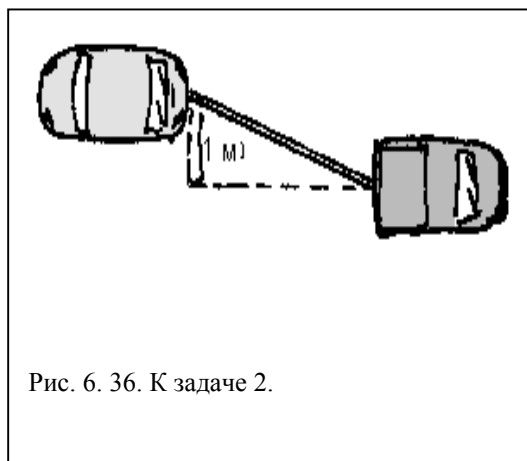
$$F_{\text{продольн}} = 34 \text{ Н.}$$

Таким образом, за секунду в землю стекает поперечный импульс величиной 20 Гю, а продольный импульс вагона увеличивается на 34 Гю.

### Задачи

1. Игрушечный автомобильчик тянут за веревочку по полу в горизонтальном направлении. Веревка направлена вверх под углом к полу (рис. 6.35) и по ней течет поток импульса 20 Н. Сколько ньютон-секунд идет на перемещение автомобильчика вправо?

2. Один автомобиль буксирует (тянет) другой автомобиль. Автомобили едут в одном направлении, но смещены относительно друг друга на 1 м (рис. 6.36). Длина буксировочного троса составляет 3 м. По тросу протекает поток импульса величиной 500 Н. Какой поток импульса приводит в движение буксируемый автомобиль?





### 6.7. Правило узлов для потоков импульсов

Пусть лампа прикреплена с помощью двух тросов к двум противоположным стенам дома (рис. 6.37). Ее масса равна 3,5 кг. Какую нагрузку испытывают крюки в стене?

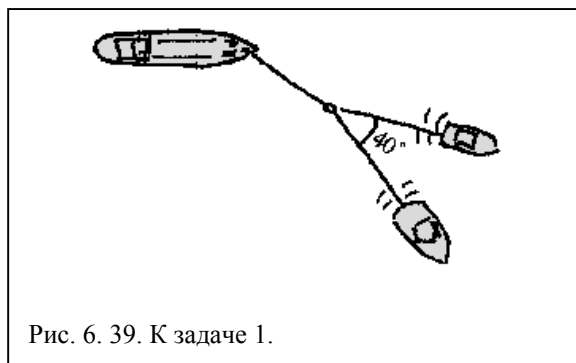
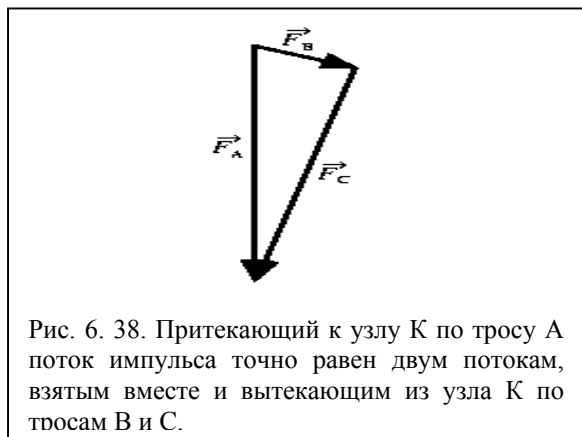
Речь идет, как ты надеюсь понял, о векторах потока импульса в тросах В и С. Прежде всего нетрудно вычислить поток импульса в тросе А. Через поле тяготения в лампу втекает  $270^\circ$  - импульс. Соответствующая сила тока имеет величину

$$F = m \cdot g = 3,5 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} = 35 \text{ Н}$$

Этот поток импульса течет по тросу А к узлу К. Что же происходит после узла К?

По тросу В может течь только импульс, параллельный тросу В. Это же относится и к тросу С. Поэтому вектор  $\vec{F}_A$  мы должны разложить на два вектора: вектор  $\vec{F}_B$ , параллельный тросу В, и вектор  $\vec{F}_C$ , параллельный тросу С. Общая сила тока в В и С должна совпадать с силой тока в А, т.е. должно выполняться равенство

$$\vec{F}_A = \vec{F}_B + \vec{F}_C$$



На рис. 6.38 это разложение осуществлено.  $\vec{F}_A$ ,  $\vec{F}_B$ ,  $\vec{F}_C$  направлены параллельно соответственно тросам А, В, С. Измерив на рисунке длины стрелок векторов  $\vec{F}_B$  и  $\vec{F}_C$ , мы найдем

$$F_B = 9 \text{ Н}, F_C = 33 \text{ Н}$$

Заметил ли ты, что мы имели дело со старым знакомцем? А именно: мы использовали *правило узла*, точнее правило для потоков импульса:

**притекающий к узлу поток импульса точно равен взятым вместе потокам, которые вытекают из узла.**

Узел - это место, в котором три или больше потоков тока импульса встречаются вместе. Выражение “взяты вместе” означает, что силы токов складываются по правилам векторного сложения.

### Задачи

1. Два буксира тянут корабль (рис. 6.39). Каждый буксир тянет с усилием 15 000 Н. Чему равен поток импульса в тросе, присоединенном к кораблю?
2. На крючках надо подвесить груз весом 10 кг (рис. 6.40). Трос выдерживает потоки импульса до 200 Н, а при более интенсивных разрывается. Что произойдет? Выдержит трос или нет?

