

Сомсиков А.И.

## Работа и энергия – скаляры или векторы?

*Рассмотрен физический смысл понятия «вектор» и его применимость или неприменимость к физическим понятиям.*

Прежде чем перейти к понятиям работы и энергии, попробуем разобраться понятие вектора. Там где оно впервые появляется. Начнем с цитаты.

В учебнике физики сообщается:

*«Скорость и ускорение как векторы. Скорость характеризуется не только числовым значением, но и направлением. Для описания движения тела недостаточно указать числовое значение его скорости, необходимо еще указать, в каком направлении оно движется.*

*Величины, характеризующиеся не только числовым значением, но и направлением, называются **векторами**. Величины, для определения которых достаточно задать только их численное значение, называются скалярами (например, промежуток времени, масса, плотность и т.д.).*

*Вектор может быть изображен стрелкой, длина которой в некоторых произвольных единицах длины равна численному значению вектора, а направление совпадает с направлением вектора» [ 1 ] с.27.*

Содержательная часть этого сообщения исчерпывается двумя первыми предложениями. Первое сообщает, что скорость характеризуется направлением, вторая – движение характеризуется направлением. Второе утверждение сомнений не вызывает, но что означает при этом первое? Что такое направление скорости? Здесь вводится понятие «направление». Интуитивно «какбыпонятное», но все-таки требующее определения. Ведь раз «понятное», то и его определение не должно иметь затруднений. Так ведь? – См. [ 2].

Смотрим далее определение скорости. Оно таково.

*«Скорость равномерного движения  $V$  есть физическая величина, прямо пропорциональная пройденному пути и обратно пропорциональная тому промежутку времени, за который этот путь пройден» [ 1 ], с. 18.*

Здесь появляется дополнительная подробность *равномерного* движения. А если бы оно было *неравномерное*? Тогда это становится определением средней скорости такого движения. Но нас ведь интересует вовсе не равномерность или неравномерность движения, а то, что такое скорость. А это есть отношение пройденного пути ко времени, в течение которого путь пройден. Спрашивается, имеет ли к этому какое-либо отношение *направление* пройденного пути? – Ответ: НИКАКОГО. Будет ли это движение вперед, назад, влево, вправо, вверх или вниз отношение пройденного пути ко времени, в течение которого путь пройден, то есть *скорость*, от этого *не зависит*.

Таким образом, утверждение «Скорость характеризуется не только числовым значением, но и направлением» оказывается *ложным*. В подобном определении скорость не будет

вектором, в отличие от движения, характеризуемого величиной пройденного пути и направлением.

То же относится и к ускорению. Ищем его определение.

*«Равнопеременное прямолинейное движение. Ускорение. Равнопеременным движением называется движение, при котором скорость  $V$  за равные и произвольно выбранные промежутки времени  $\Delta t$  меняется на одинаковую величину  $\Delta V$ . В том случае, когда  $\Delta V$  одного знака со скоростью, т.е. когда скорость возрастает по численному значению со временем, движение называется **равномерно-ускоренным** том случае, когда  $\Delta V$  обратного знака, т.е. когда скорость убывает по численному значению со временем, движение называется **равномерно-замедленным**. Для характеристики того, насколько быстро со временем меняется скорость, вводится физическая величина, называемая ускорением. Ускорение  $W$  равнопеременного прямолинейного движения есть физическая величина, прямо пропорциональная приращению скорости и обратно 2 пропорциональная тому промежутку времени, за который произошло это приращение» [ 1 ] с. 23.*

В дальнейшем термин *ускорение* используется в обоих случаях – для ускоренного движения и для замедленного. Хотя во втором случае более уместным был бы термин *замедление*, а для обоих случаев вообще – *изменение*.

Лучше было бы говорить о *неравномерном* движении, *ускоренном* или *замедленном* и *изменении* скорости. В такой уточненной формулировке: *изменение*  $W$  неравномерного движения есть физическая величина, прямо пропорциональная изменению скорости и обратно пропорциональная тому промежутку времени, за который произошло это изменение.

Есть в этом определении упоминание о каком-либо направлении? Лишь изменение скорости и промежутков времени, в течение которого оно произошло, а также их отношение. Названное не изменением неравномерного движения, а ускорением. Какое к этому отношение имеет пространственное понятие направления? – Никакого. Другое дело, что принято называть любое изменение неравномерного движения ускорением, притом понимаемым алгебраически. Когда в ускоренном движении ускорение считается положительным, а в замедленном – отрицательным. При этом, однако, никакого отношения к пространственному понятию направления вправо, влево, вверх, вниз и т.п. здесь тоже нет. Поэтому и в этом определении ускорение тоже не оказывается вектором.

В чем же здесь дело? Почему получается неверный вывод? – Дело в определениях. Поэтому начнем сначала.

*Скорость* есть вовсе не отношение, а *путь*, пройденный в единицу времени. Если обозначить весь путь как  $S$ , то путь пройденный в единицу времени, т.е. определяющий скорость, есть  $\Delta S$ . Путь  $S$  в заданной системе отсчета начинается в некоторой точке  $A$  и имеет направление, определяемое знаком плюс или минус *относительно точки*  $A$ . Путь  $\Delta S$  начинается в некоторой точке  $B$ , в общем случае не совпадающей с точкой  $A$ , и *имеет направление*, определяемое знаком плюс или минус *относительно точки*  $B$ . То есть является именно вектором. Поскольку путь  $\Delta S$  является частью пути  $S$ , то знаки обоих путей  $S$  и  $\Delta S$  обязательно совпадают. То есть оба они являются положительными либо отрицательными *одновременно*. Численное значение скорости, т.е. пути  $\Delta S$ , при равномерном движении

определяется отношением пути  $S$  ко времени  $t$  движения от точки  $A$  к точке  $B$ , обозначаемым как  $V = \frac{S}{t}$ .

Подчеркнем – *определяется* отношением, а не *является* им. Физический смысл скорости  $V$  определяется вовсе не отношением, а лишь путем  $\Delta S$ , пройденным в единицу времени  $\Delta t$ . А раз это путь  $\Delta S$ , то он имеет прямое отношение к пути  $S$ .

Поскольку путь  $S$ , определяемый *направлением* движения, является вектором, то и часть  $\Delta S$  этого пути  $S$  тоже является вектором, причем направления этих векторов, определяемое знаками плюс или минус, обязательно совпадают.

Теперь об ускорении. Это *изменение пути*  $\Delta S$ , то есть скорости, которое может быть обозначено как  $\Delta(\Delta S)$ . Изменение пути  $\Delta(\Delta S)$ , как и скорость  $\Delta S$ , тоже есть некоторая часть пути  $S$ . А значит тоже является вектором, но начинающимся не в точке  $B$  начала движения  $\Delta S$ , а точке  $C$  его окончания. Причем это изменение  $\Delta(\Delta S)$  может быть направлено как в сторону движений  $S$  и  $\Delta S$ , так и наоборот. То есть ускорение  $\Delta(\Delta S)$  тоже является вектором. Но его направление, в отличие от скорости  $\Delta S$ , может совпадать или не совпадать с направлением движения  $S$ , определяемым знаками плюс или минус.

*Численное* значение ускорения, т.е. изменения пути  $\Delta S$  определяется разностью последующих значений  $\Delta S_1$  и  $\Delta S_2$ , то есть  $\Delta(\Delta S) = \Delta S_1 - \Delta S_2$ . Однако его записывают как  $a = \frac{\Delta S_1 - \Delta S_2}{\Delta t} = \frac{\Delta(\Delta S)}{\Delta t} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ . Хотя  $\Delta S_1$  и  $\Delta S_2$  сами определяются в единицу времени, т.е. знаменатель  $\Delta t$  оказывается излишним. Что может вызвать дополнительное непонимание.

Но нас интересуют не принятые обозначения, а уяснение векторного понимания ускорения. Которое с данными пояснениями достигается.

Далее. Во всех случаях *силового* взаимодействия ускорения,  $a_2$  взаимодействующей пары 1, 2 тел всегда направлены *противоположно*. То есть если  $a_1 > 0$ , то обязательно  $a_2 < 0$  и наоборот. А их произведение, определяющее силу взаимодействия  $f$  ( $f = a_1 a_2 r^2$ , где  $r$  - расстояние между телами) *всегда отрицательно*, т.е. не характеризует какое-либо направление, а только лишь интенсивность взаимодействия. Другими словами, сила  $f$  взаимодействия по определению является *скаляром* [ 3 ].

По этой же причине массы  $m_1$ ,  $m_2$  как и заряды  $q_1$ ,  $q_2$  всегда имеют противоположные знаки, определяемые знаками ускорений  $a_1$ ,  $a_2$  ( $m_1 = a_2 r^2$ ,  $m_2 = -a_1 r^2$ ), независимо от того, что массы только притягиваются, а заряды могут как притягиваться, так и отталкиваться. Другими словами притяжение или отталкивание *не определяется* знаками зарядов, являющимися всегда противоположными.

Теперь уже можно, наконец, перейти к теме настоящей работы - понятиям *работы* и *энергии*. Поскольку энергия есть потенциальная работа, которая может быть выполнена в процессе взаимодействия, можно ограничиться только понятием работы.

Определение *элементарной работы*  $\Delta A$  таково:  $\Delta A = f \Delta S$ , где  $f$  – действующая сила,  $\Delta S$  – элементарное перемещение. При этом в инерциальной системе отсчета (ИСО) всегда перемещаются оба взаимодействующих тела, причем в противоположных направлениях. В общем случае неравенства масс  $m_1$ ,  $m_2$  взаимодействующей пары 1, 2 тел  $S_1 \neq -S_2$ ,  $\Delta S_1 \neq -\Delta S_2$ .

Для тела 1 элементарная работа  $\Delta A_1 = f\Delta S_1$ , для тела 2 –  $\Delta A_2 = -f\Delta S_2$ . Сила  $f$  в обоих случаях одинакова ( $f = a_1 a_2 r^2$ , где  $a_1, a_2$  – ускорения тел 1, 2,  $r$  – расстояния между телами ( $r = |S_1| + |S_2|$ ;  $|S_1|, |S_2|$  – модули перемещений тел 1, 2 в ИСО), а элементарные перемещения не равны по величине  $\Delta S_1 \neq -\Delta S_2$  и *противоположны по направлению*. Поскольку элементарные расстояния  $\Delta S_1 \neq -\Delta S_2$  оба являются векторами. Другими словами, элементарные работы  $\Delta A_1, \Delta A_2$ , а, стало быть, и полные работы  $A_1, A_2$  тоже являются *векторами*, вопреки представлениям современной физики.

Поэтому, например, при вращательном движении каждого тела взаимодействующей пары 1, 2 тел, математически представимом гармоническими колебаниями по двум координатным осям ИСО, работа и приобретаемая каждым телом энергия по обеим осям периодически колеблются от положительных к отрицательным значениям и обратно.

Непонимание этого затрудняет согласование описаний механических и электрических колебаний. В электротехнике, также как и в механике, энергия считается скаляром, но при этом искусственно вводится дополнительное понятие *разность потенциалов*, по сути, являющейся той же самой *работой*, но лишь относящейся к единице заряда и потому уже считающейся обладающей знаком, т.е. требуемым векторным смыслом. Что и понадобилось только лишь для того, чтобы как-то преодолеть *ошибочное* понимание работы (и энергии) как *скаляра*.

В механике же истинный векторный смысл работы и энергии затемняется тем обстоятельством, что в обычных примерах движения взаимодействующие тела не переходят точку нулевого отсчета в ИСО, когда и происходит изменение знака, вследствие чего их векторный характер может довольно долго не замечаться.

Понятие отрицательной энергии используется пока что лишь в эзотерике, не обладающей, однако, способностью говорить на языке физики. И вместе с ней – необходимым авторитетом.

## Литература

1. Фриш С.Э, Тиморева А.В. «Курс общей физики. Том 1. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны». Издание шестое, исправленное. Допущено Главным управлением университетов, экономических и юридических вузов Министерства высшего образования СССР в качестве учебника для физико-математических и физико-технических факультетов государственных университетов. Государственное издательство технико-теоретической литературы, Москва, 1955, с.111. Тир. 50000 экз, с.с. 18, 23, 27.

2. Сомсиков А.И. «Определение термина «направление»»  
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8176.html> .

3. Сомсиков А.И. «Исторические проблемы физики. Сила, масса, инерциальная система отсчета» <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/8715.html> .