

Дмитрий Гущин, Санкт-Петербург

О ТОМ, КАК МЫ ОПИСЫВАЕМ МИР

Существует два способа описания мира: количественный и качественный. Качественный почти не несет информации. Что мы можем сказать о больном, если у него «температура»? Она 37,1 или 39,4? Или, скажем, «сегодня тепло». Это «тепло» в феврале означает отсутствие трескучих морозов и совсем не похоже на «тепло» поздней осенью. Субъективность относительных понятий выражается и в словах «несколько», «немного». «Несколько десятилетий» — это, как правило, не то же самое, что «несколько секунд», причем у разных людей это количество отличается от 2—3 до 8—9, и эти отличия в смыслах приводят к взаимному непониманию. На качественном уровне возможно отличить вероятность прыжка стола вверх, обусловленного тем, что все его атомы одновременно «подпрыгнули», от вероятности того, что этого не случится. Но для предсказания рисков, расчётов надёжности, инженерных или экономических вычислений нужны числовые характеристики, например, вероятность, выраженная в процентах.

Энергия, несмотря на то, что мы умеем её измерять, — качественное понятие. Она бывает солнечной, энергией ветра, внутренней, химической, ядерной, энергией массы, возникающей в теории относительности и т. д. И все знают, что про энергетическую ценность пишут на упаковках шоколадных батончиков.

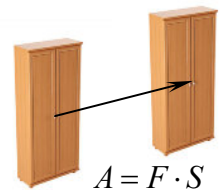
Как же всё-таки определяется энергия?

Энергия (от греч. *ἐνέργεια* — действие, деятельность) — физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия всех видов материи. Энергия в природе не возникает и не исчезает; она только может переходить из одной формы в другую.

Числовой характеристикой, соответствующей понятию «энергия», служит работа, являющаяся количественной мерой процессов взаимного превращения различных форм энергии и возникающая лишь как следствие этих превращений.

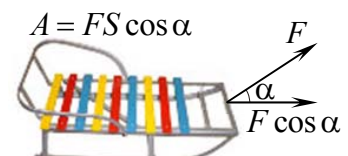
Проиллюстрируем понятие работы и энергии несколькими примерами.

Предположим, вы хотите передвинуть шкаф. Для этого нужно упереться в него и начать его толкать — прикладывать к шкафу силу. Если шкаф слишком тяжёл для вас, то, сколько вы не упирайтесь, как ни уставайте, результата вы не достигнете, и работы никакой не совершите, хотя энергию, несомненно, потратите — она уйдёт на нагрев вас самих. Чтобы говорить о работе, необходимо наличие силы, которая эту работу совершает, и перемещения тела, над которым совершается эта работа. А если результаты вашего труда незаметны, то работы вы не совершили. Впрочем, если шкаф окажется достаточно лёгким, то чем большую силу вы приложите и чем дальше его сдвинете, тем большую работу совершите. При этом ваша энергия перейдет во внутреннюю энергию пола и ножек шкафа, которые нагреются; а в качестве количественной оценки механической работы A , совершаемой постоянной силой F против силы трения, можно взять величину, равную произведению силы на длину пути S : $A = F \cdot S$.



Вернёмся к нашему шкафу. Предположим, что вместо того, чтобы толкать его, мы заберёмся на него и начнём с гигантской силой придавливать его к полу. Мы можем даже расплющить шкаф, но всё-таки не произведём работы: чтобы работа совершалась, сила должна быть приложена в направлении перемещения, а не перпендикулярно ему. Точно так же как клёну можно долго и проникновенно рассказывать о том, как это хорошо — быть дубом. Но все усилия будут бесполезны. Хотите совершать работу — действуйте в направлении перемещения.

Если вы передвигаете не шкаф, а гружёные санки, и тянете их за веревку то вы прикладываете силу под некоторым углом (см. рис.). В этом случае работу будет совершать не вся сила, а только её составляющая в направлении перемещения: $F \cdot \cos \alpha$, где α — угол, между прикладываемой силой и перемещением. Эта со-



ставляющая меньше полной силы F : составляющая, перпендикулярная перемещению, работы совершать не будет. Поскольку работа, производимая вами над санками, уменьшилась, меньшее количество энергии перейдёт в тепло, и гружёные санки, которые вы тянете под углом, будут меньше разогреваться сами и разогревать снег, чем санки, которые вы толкаете или тянете вперёд. Количественно это выражается тем, что для подсчёта работы нужно будет использовать уточнённую формулу $A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$.

(Заметим, что тянуть санки под некоторым углом, легче, чем толкать их вперёд: когда санки тянут (вперёд и вверх) вертикальная составляющая силы уменьшает вес тела и силу трения. Кстати, поскольку груз обычно тянут снизу вверх, а толкают перед собой сверху вниз (вспомните гружёную тележку), толкать труднее: придавливая груз мы увеличиваем вес тела, увеличивая силу трения.)

Продолжим разговор о гружёных санках: представим, что мы сначала тянем их по ровной поверхности, потом затачиваем их в гору, а затем спускаем с горы. В ходе этого сложного процесса изменяется величина прилагаемой силы, меняется угол между направлением силы и направлением движения, да и траектория движения не уже является прямой. Для количественного описания сложных процессов обычно их разбивают на части, для которых какие-то параметры являются стабильными, анализируют их отдельно, а результаты вычислений суммируют.

Если же изменения в ходе процесса происходят очень часто, то суммировать приходится много небольших составляющих. Математический аппарат для описания процессов, описываемых бесконечным количеством элементарных изменений, был создан Ньютоном и Лейбницем в 17 веке и носит название интегрального исчисления. В рамках разработанных ими подходов мы можем весь путь S разбить на бесконечно малые участки длиной ds и вычислить элементарную работу dA , совершаемую на каждом таком почти прямолинейном участке, на котором сила почти не меняется: $dA = F(s) \cdot ds \cdot \cos \alpha(s)$. Тогда полная работа — результат суммирования бесконечного числа бесконечно малых элементарных работ — выражается интегралом:

$$A = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F} \cdot d\vec{r}. \text{ Предыдущие формулы являются частными случаями последней, которую в свою}$$

очередь тоже можно обобщить: механическая работа силы F за время Δt в ходе процесса $\gamma(t)$ — это величина, являющаяся количественной характеристикой действия силы F на процесс $\gamma(t)$, численно равная $A = \int_{\gamma} \langle \mathbf{F}(t), \mathbf{v}(t) \rangle dt$, где угловые скобки обозначают скалярное произведение.

С работой тесно связано ещё одно понятие — понятие потенциальной энергии. Чтобы ввести его, снова обратимся к примеру.

Вспомним про наш шкаф и рассмотрим следующую задачу: пусть нам нужно вынести его из квартиры, расположенной на пятом этаже, на улицу. Очевидно, что на это надо потратить энергию. Можно рассмотреть и возможность выкинуть этот шкаф из окна. Давайте проанализируем, что из этого получится. Когда шкаф долетит до земли, он врежется в неё с некоторой скоростью, и будет обладать кинетической энергией. Согласно закону сохранения энергии, она откуда-то появилась. Появилась в результате превращения энергии U , которой обладал шкаф, находящийся на 5 этаже. При этом важно, что U — это ещё не совершённая (ведь вы же ещё не бросили шкаф!), а потенциально возможная работа, поэтому говорят, что шкаф обладает потенциальной энергией. Если, соблюдая необходимые предосторожности, выбросить шкаф из окна, то сила тяжести совершит работу, которая пойдет на то, чтобы увеличить кинетическую энергию тела. Заметим, кстати, что эта работа будет больше той работы, которую совершила бы сила тяжести, если бы вы бросили шкаф не с пятого, а с третьего этажа дома, так как длина пути, проходимого в этом случае была бы меньше, а величина силы не изменилась бы. Численно: потенциальная энергия, зависящая от массы тела и высоты: $U = mgh$, где g — ускорение свободного падения, переходит в кинетическую, зависящую от массы и скорости $E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}$.

Последним нашим замечанием будет следующее. Шкаф, находясь на высоте 5 этажа, обладает потенциальной энергией. Если не выбрасывать его из окна, а медленно спускать оттуда верёвке, то по достижении земли он перестанет обладать этой потенциальной энергией. На что же она потрачена? Потенциальная энергия перешла во внутреннюю энергию человека или

устройства, совершающего работу по опусканию шкафа. Или она могла потратиться на то, чтобы поднять какой-то другой груз, или раскрутить динамо-машину, выделяющую электроэнергию, или пропасть впустую — диссипировать.

Вновь анализируя наши возможности количественного описания явлений, наблюдаемых на качественном уровне, укажем, что для анализа полезности энергозатрат используется коэффициент полезного действия данного процесса превращения энергии. Он показывает, какая часть исходной энергии преобразуется в нужную нам форму энергии. Например, когда мы говорим, что паровоз имеет КПД 9%, это означает, что 9% химической энергии, освобождающейся при сжигании топлива, превращается в механическую энергию. А вот 100% КПД не бывает, однако, потери энергии означают не ее исчезновение — только превращения, которые не служат нашим целям. В этом смысле потери энергии подобны всем прочим потерям: потеря шляпы или перчаток не означает уничтожение этих предметов, другим людям они могут принести пользу и на качественном, и на количественном уровне.

Библиография

<http://ru.wikipedia.org>

<http://slovari.yandex.ru/dict/bse>

<http://www.ostu.ru/personal/sim/Concept/DAT/m1/cmn05.html>