

# О статической работе

Данилов Ю.Д., физик, Сиэтл, WA, США,  
Электронная почта: [mail@naturelaws.org](mailto:mail@naturelaws.org)  
Ноябрь, 2012

Резюме.

Обсуждаются недостатки определения работы в физике, и поднимается вопрос о введении понятия статическая работа. Обсуждается феномен постоянных магнитов. Связь между этими двумя явлениями предлагается.

## Введение.

В физике существует одно определение, служащее поводом для некоторых недоразумений, но остающееся неразрешимым из-за многих лет пренебрежения существующими расхождениями. Оно заключается в определении работы, как скалярного произведения вектора силы и вектора расстояния, пройденного предметом под ее воздействием ( $W = \mathbf{F}\mathbf{d}$ )<sup>(1)</sup>.

Это обозначение является вполне удовлетворительным во многих случаях жизни, однако приводит к недоразумениям, когда человек или другие животные, выполняют работы с перемещением груза на плечах или в руках. Этот случай описывает работу, когда существует угол между силой и расстоянием перемещения. Результат становится абсурдным, когда угол близок или равен  $90^\circ$ . В этом случае, сила применяется и смещение существует, но работа не производится. Это означает, что не должно быть никакого энергопотребления, но почему люди чувствуют себя усталыми, если они не делают никакой работы. Более яркий пример: человек поднимает тяжелый камень и держит его в руках в течение длительного времени. В соответствии с принципами элементарной физики, он не выполняет работу, поскольку смещения груза нет, за исключением начального подъема. Но почему люди предпочитают использовать тележку для перемещения *тяжёлых* грузов?

Эта проблема становится более тонкой, когда тяжелый груз лежит на столе, или на полке, или других вспомогательных сооружениях. Существует сила, давящая на полку, равная массе, умноженной на ускорение силы тяжести ( $F = mg$ ), но полка не выполняет никакой работы. Более загадочным примером является магнит, висящий на дверце холодильника. Магнитное поле держит тяжелый магнит длительное время, но не выполняет никакой работы. Еще интереснее левитация одного магнита над другим с симметричными магнитными полями встречного направления.

Кажется очевидным: твердые предметы не выполняют никакой работы, они могут лишь передавать её, *являясь частями* двигателей. Но это объяснение остается неудовлетворительным. И тяжелый груз, лежащий на полке, и магнит, подвешенный на дверь холодильника, обладают потенциальной энергией, которую можно легко превратить в механическую работу, если их освободить и дать им упасть, **но существуют силы этому препятствующие, и они тоже должны выполнять некоторую работу.**

Хочется поднять вопрос о границах применимости принятого определения работы. Мы часто забываем о том, что в природе не существует такой вещи, как замкнутая термодинамическая система. Пытаясь упростить расчеты, мы обычно рассматриваем идеализированные системы. Эта традиция началась почти два века назад, когда определение работы было введено французским математиком Гаспаром Кориолисом. Макро-системы были изолированы от *собственной* микроструктуры; и с тех пор мы считаем, что если сила воздействует на твердое тело и не

вызывает никаких смещений этой макро-системы, работа не совершается. Но это не так, поскольку внутренняя структура системы испытывает внешнее воздействие и реагирует. И хотя термодинамика была разработана почти два столетия назад и хорошо развита в настоящее время, тем не менее, в практических приложениях макросистемы и их микроструктура идут бок о бок в нашем сознании, без взаимодействия.

Всякий раз, когда внешняя сила воздействует на твердое тело, эта система отвечает изменением внутренней энергии. Это означает, что каждый обмен взаимодействия между двумя системами совершает работу.

Это разделение макросистем и их внутренней структуры может быть уменьшено, если ввести определение "статической работы", давая лучшее описание взаимодействия материи на микроуровне. Работа консервативной силы может быть описана как сумма статической работы и динамической работы в ее нынешнем определении:  $W = W_s + W_d$ . И во многих случаях жизни следует обращать внимание на вопрос о величине этой статической работы.

Предметы, изготовленные из твердых материалов, могут выполнять статическую работу неопределенно долгое время без каких-либо внешних источников энергии, что превращает этот объект в "Вечный двигатель" для статической работы. Но эти твердые материалы не являются "Вечным двигателем". Хорошо известно, что твердые материалы, используемые в *конструктивных элементах*, не могут служить вечно. Их жизнь ограничена. Это явление называется усталостью материалов. С течением времени на нагруженной поверхности начнут формироваться микроскопические трещины. Что это означает? Межмолекулярные связи расходуют энергию, и становятся слабее? Очевидно, что нет вечных двигателей даже при компенсации статической нагрузки.

Зачем беспокоиться и ломать голову над такими странными вопросами? Это кажется излишним, поскольку многовековое развитие техники показало, что текущее обозначение работы является вполне удовлетворительным. Первое, что нужно сказать, что люди всегда понимали, что они расходуют энергию своего тела, удерживая нагрузку, но физика этого не описывает, и, более того, не обращает внимания, убеждая людей, что работы они не совершают. Однако, статического баланса явно нет, сокращенные мышцы постоянно требуют притока новых источников энергии и организм отвечает усилением кровотока. Поломать голову есть над чем: например, какие позы облегчают возможность выдерживать нагрузку, и какая часть статической работы выполняется мышцами, а что берет на себя костный скелет. Неужели это совсем несущественно? Индийская культура использует статические упражнения очень широко для поддержания здоровья и физического состояния, однако западная культура отрицает статическую работу.

Примерную оценку статической работы мышц можно осуществить по формуле произведения модуля вектора силы и проекции вектора расстояния от центра масс удерживаемого груза до центра масс скелета в равновесии на плоскость, перпендикулярную вектору силы:  $W_s = |\mathbf{F}| d_x$  (то есть, модуль момента силы, по его нынешнему определению, имеющему размерность работы).

### **Феномен постоянных магнитов.**

Эта формула может быть применена к постоянному магниту, подвешенному на вертикальной стенке, выполненной из чёрного металла. Поскольку мы предполагаем, что стена вертикальная, статическую работу, выполняемую магнитом, можно рассчитать по формуле:  $W_s = m * g_0 * d_x$ ; где:  $m$  - масса магнита;  $g_0$  – ускорение свободного падения;  $d_x$  - расстояние между стеной и центром массы магнита.

Что приводит к выполнению этой работы? Магнитные материалы (Ферро магниты) имеют доменную структуру, как было предложено Пьер-Эрнест Вейсом в 1906 году. Самыми сильными магнитами, известными в настоящее время, являются магниты из сплава спечённого  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ , которые могут иметь плотность магнитной энергии ( $\text{BH}_{\text{max}}$ ) до  $440 \text{ кДж/м}^3$  (см. таблицу 1).<sup>(2)</sup>

Таблица 1.	Magnet	$M_r$ (Т)	$H_{ci}$ (кА/м)	$\text{BH}_{\text{max}}$ (кДж/м <sup>3</sup> )	$T_c$ (°С)
	$\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (sintered)	1.0–1.4	750–2000	200–440	310–400

Там должно быть некоторое взаимодействие между доменами и в результате внутренняя энергия структуры могут быть изменены. Как это было описано для твердых материалов, магниты также могут чувствовать усталость после некоторого (довольно долгого) времени взаимодействия и превращения внутренней энергии в статическом работы. Что там происходит? Уравнение энергии для областей магнитного материала описывается Ландау-Лифшица энергии,  $E$ , который является суммой слагаемых энергии:<sup>(3)</sup>

$$E = E_{ex} + E_D + E_\lambda + E_k + E_H$$

Где:  $E_{ex}$  - энергия обмена,  $E_D$  - магнитостатическая энергия;  $E_x$  - энергия магнитоупругой анизотропии;  $E_k$  - энергия анизотропии;  $E_H$  - зеемановская энергия.

В этом уравнении магнитостатическая энергия и зеемановская энергия связаны с взаимодействием магнитного материала и внешнего магнитного поля. Взаимодействие магнитных полей также является причиной магнитострикции, влияющей на энергию магнитоупругой анизотропии. Кристаллическая структура материала сопротивляется повороту магнитных диполей под воздействием внешнего магнитного поля - эффект, известный как коэрцитивная сила. Это означает, что процессы взаимодействия полей в ферритмагнитных материалах вызывают напряжение во внутренней структуре материала, способствующему длительному существованию действия магнитного "Вечного двигателя", который вечным, конечно, быть не может, из-за усталости материала.

### Заключение.

Как эффект статической работы людей, так и эффект постоянных магнитов заслуживают более пристального внимания, поскольку физика является наукой точной и требует, чтобы все малые эффекты учитывались. Предлагаемое дополнение к определению работы позволяет учитывать эффекты статической нагрузки объектов, ранее пренебрегавшиеся. Целью этой публикации является привлечение внимания к этим вопросам.

Ссылки:

1. Walker J., Physics, 2<sup>nd</sup> ed., Pearson Education, 2004, p. 174, ISBN 0-13-101416-1
2. <http://www.globalresearchers.org/Neodymium%20magnet>
3. Carey R., Isaac E.D., Magnetic domains and techniques for their observation, The English University Press Ltd, London, (1966).