

Сколько значений у понятия “сила“?

АННОТАЦИЯ. Проанализированы и критически переосмыслены различные варианты применения термина “сила” в физике и различные дополняющие слова к этому термину. Акцентировано внимание на вариантах неверного применения дополняющих слов. Показано, что в механике сила является следствием разности давлений.

1. Разные определения понятия “сила“.

С термином “сила” знакомятся на первых же этапах изучения физики. К тому же, этот термин является, пожалуй, чемпионом среди терминов, применяющихся в самых различных смыслах, и об этом подробно рассказывается в работе К.Гомоюнова (1983).

Приведем определение силы по метрологическому справочнику А.Чертова (1990): “Сила – это векторная величина, являющаяся мерой механического действия одного материального тела на другое” (выделено жирным шрифтом нами. И.К.). Но это определение не совсем точно. Во-первых, в метрологии “величина” и “мера” – понятия различные. Во-вторых, неясно, как надо понимать слова “механическое действие”? Ведь механическое действие в реальности осуществляется по площади, а не в точке. Подробнее о взаимосвязи силы и давления в конце статьи.

Определение силы, как меры механического действия, ставит под сомнение правомочность применения понятия “силы инерции”. Их в учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.1), например, считают фиктивными силами, не оказывающими механическое действие одного материального тела на другое. В то же время С.Кадыров (2001) доказывает, что силы инерции являются реальными мерами, но не действия, а противодействия. Явление инерции в гравидинамике совершенно аналогично [явлению самоиндукции](#) в электродинамике, но магнитную силу, воздействующую на электрический заряд при самоиндукции, никто не считает фиктивной силой.

В физике часто применяют иное, нежели в метрологии, определение силы: “Сила – это векторная величина, являющаяся мерой взаимодействия материальных систем”. Это определение учитывает взаимодействие заряженных систем в физическом поле.

Выводить понятие “сила” из второго закона Ньютона, как это часто принято при преподавании, нелогично, и это мнение обосновывает Р.Фейнман (1965, т.1). Поэтому понятие “сила” часто применяется в сочетании с каким-то дополняющим словом (сила инерции, магнитная сила, сила Кориолиса, сила Лоренца и т.п.). В механике под понятием “сила” понимается частный случай [разности потенциалов в поле переноса](#) в механической [прямолинейной форме движения](#). Словарь естественных наук (Глоссарий.ру) приводит расширенное определение силы: мера взаимодействия материальных тел на расстоянии, отсюда и термин “силовое поле”, применяемый часто вместо термина “физическое поле”.

2. Что же такое сила?

Сила является мерой любого действия: воздействия, противодействия и взаимодействия. Когда говорят “движущая сила” или “ускоряющая сила”, то речь идет о мере воздействия, имея в виду, что потенциал окружающей среды больше, чем [потенциал системы](#). Сила инерции является мерой противодействия [инертности системы](#). Таким образом, когда говорят о движущей силе, то подразумевается не сила, а разность сил воздействия и противодействия. К сожалению, это уточнение не всегда принимается во внимание.

Сила тяготения в гравидинамике, кулоновская сила и магнитная сила в электродинамике являются мерами взаимодействия заряженных систем в силовых полях, то есть разностями потенциалов поля, а не разностями потенциалов системы и среды. При

изменении положения системы в поле сила может быть расценена и как мера противодействия поля. Определяющие уравнения (уравнения связи) для сил воздействия в механике и термодинамике и сил взаимодействия в электродинамике и гравитационной динамике различны, хотя их размерности и единицы одинаковы. Это лишний раз подчеркивает тот факт, что физическое содержание величины определяется не размерностью, а уравнением связи.

В СИ силу \mathbf{F} определяют из второго закона Ньютона $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, и поэтому ее размерность равна MLT^{-2} , а единица равна $1 \text{ Н (ньютон)} = 1 \text{ м кг с}^{-2}$. Однако сила \mathbf{F} – всего лишь один из вариантов разности потенциалов ΔP между системой и окружающей средой. Согласно уравнению состояния в термодинамике сила должна определяться по уравнению:

$$\mathbf{F} = (\delta A/dx) \mathbf{e}_F, \quad (1)$$

где δA – работа расширения системы; $dx = dV/dS$, dV – изменение объема системы; dS – элементарная площадка, на которую действует сила; \mathbf{e}_F – орт направления движения, параллельный орту силы. Анализ размерностей уравнения (1) показывает, что размерность силы в системе размерностей ELANT равна EL^{-1} , а единица равна $1 \text{ Н} = 1 \text{ Дж м}^{-1}$. Таким образом, признание энергии основной физической величиной приводит к естественно воспринимаемой размерности и единице силы.

3. Неверные применения слова “сила”.

Приведем примеры неверного применения термина “сила”. В электромагнетизме говорят об электродвижущей силе (ЭДС) и магнитодвижущей силе (МДС). Но ЭДС и МДС являются не силами, а множителями в определяющих уравнениях для сил взаимодействия в электромагнитном поле, их размерности не равны размерности силы. ЭДС и МДС роднит с силами только одно: они могут являться разностями потенциалов, но каждая – в своей форме движения. К слову, в словосочетании “ЭДС самоиндукции”, согласно замечанию К.Гомоюнова (1983), действует вовсе не электродвижущая сила (как мера воздействия), а электротормозящая сила (как мера противодействия).

В.Эткин (2005) предлагает называть термином “сила” любые разности потенциалов, например, термодвижущую силу, гидродинамическую силу, диффузионную силу и т.д. Но, поскольку подобные “силы” не всегда имеют размерность силы в механике, то это предложение не целесообразно, так как приводит к недопониманию при преподавании.

Далее, в словосочетаниях “сила тока”, “сила звука” и “сила света” слово “сила” совершенно неуместно. Здесь слово “сила” воспринимается как “интенсивность”. Именно так и звучат эти словосочетания на английском языке. Рационально было бы последовать этому примеру и в физической терминологии на русском языке. Например, термин “сила тока” уже заменяется на термин “электрический ток”, а термин “сила звука” заменяется на термин “интенсивность звука”.

Точно так же неверно применяется слово “сила” в случае, когда напряженность электрического поля, необходимую для нейтрализации остаточной поляризованности сегнетоэлектрика, или напряженность магнитного поля, полностью размагничивающую магнетик, называют “коэрцитивной силой”. Напряженность поля и сила – различные физические величины и по содержанию, и по размерности.

Отсутствие системности в определениях силы привела к тому же и к бессистемности в индексации символов, обозначающих силу. Плохо, конечно, когда эта индексация различна в разных учебных пособиях. Но еще хуже, когда в метрологических справочниках или учебниках по физике у символов, применяемых для обозначения различных сил, индексация вообще отсутствует, а это, к сожалению, тоже имеет место. И приходится ломать голову над тем, что же понимается в каждом конкретном случае под символом \mathbf{F} .

4. О взаимосвязи понятий "давление" и "сила".

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) давление p определяется так: физическая величина, равная отношению силы dF , действующей на элемент поверхности нормально к ней, к площади dS этого элемента:

$$p = dF/dS . (2)$$

В этом определении пропущено одно слово, следовало написать "модуля силы". В справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) уравнение (2) уточнено, оно имеет несколько иной вид:

$$p = dF_n /dS , (3)$$

и указано, что dF_n – численное значение нормальной силы. Уравнение (3) в справочнике А.Чертова (1990) тоже присутствует, но применяется для определения нормального напряжения σ при упругой деформации тела, а сила dF_n называется упругой силой.

Если учесть, что в любом случае сила \mathbf{F} является векторной величиной, то согласно уравнениям (2) и (3) давление тоже должно было бы считаться векторной величиной. Но давление p является скалярной и интенсивной величиной. Причиной такого несоответствия является тот факт, что уравнения (2) и (3) не соответствуют принципу причинности. Ибо на самом деле сила – это абстрактная величина.

Реальной величиной и причиной, обуславливающей появление силы, является разность давлений Δp в системе и окружающей ее среде или разность давлений между двумя соприкасающимися системами. И разность давлений направлена либо к системе, либо от системы, почему и является векторной величиной. Эта разность давлений действует на какой-то участок контрольной поверхности. Сила является лишь следствием наличия перепада давлений Δp , и поэтому должна определяться уравнением

$$\mathbf{F} = \Delta p S \quad \text{или} \quad d\mathbf{F} = \Delta p dS . (4)$$

В механике жидкостей и газов давление можно представить следующим образом. Пусть вовнутрь системы с текучей средой помещено тело, о которое упруго ударяются со всех сторон молекулы среды с силой \mathbf{F}_i . Результирующая этих сил $\Sigma_i \mathbf{F}_i$, отнесенная к участку площади S_i , определяет разность давлений $\Delta p = \Sigma_i \mathbf{F}_i /S_i$ между системой и телом. Суммарное воздействие на тело со всех сторон равно нулю. То есть, скалярную величину "давление", определяемую уравнениями (2) и (3), следует считать абстрактной величиной.

Литература

1. Гомоюнов К.К., 1983, Совершенствование преподавания технических дисциплин.– Л.:Изд. Ленинградского ун-та, 206 с.
2. Кадыров С.К., 2001, Всеобщая физическая теория единого поля. – Бишкек: “Кыргыз Жер“, №1, также <http://www.newphysics.h1.ru/Kadyrov/Kadyrov-contents.htm>.
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., 1965 - 1977, Фейнмановские лекции по физике, в 9 томах. М.: “Мир”.
4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
5. Эткин В.А., 2005, Многоликая энтропия. - http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.