

## Энергия – скалярная или векторная физическая величина?

### СОДЕРЖАНИЕ.

1. Анализ современных определений энергии
2. Два разных подхода к пониманию энергии.
3. Что означает в физике понятие “движение“?
4. Потока энергии не существует, есть мощность потока энергоносителей.
5. Вектор Умова-Пойнтинга – это плотность мощности волнового потока.
6. Обновленная трактовка закона сохранения энергии.

### 1. Анализ современных определений энергии

Согласно БСЭ **энергия** (от греч. *energeia* – действие, деятельность) – это *“общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи“*. В метрологическом справочнике А.Чертова (1990): *“Энергия – скалярная физическая величина, являющаяся общей мерой различных форм движения материи“*. Наконец, в Википедии: *“скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одних форм в другие“*. Из приведенных определений следует вывод, что энергия характеризует материю только количественно.

В приведенных определениях присутствует термин “мера“. Ее метрологическое определение: *“Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения значения физической величины“*. В метрологии отсутствует измерительный эталон энергии, следовательно, в приведенных выше определениях термин “мера“ следует заменить термином “характеристика“, как это сделано в монографии А.Вейника (1968): *“самой общей и вместе с тем наиболее естественной (и простой) характеристикой движения является энергия“*.

К слову “энергия“ добавляется много прилагательных, например, кинетическая, потенциальная, механическая, электрическая, тепловая, внутренняя и внешняя и т.д. В статье И.Когана (2012) приведен подробный обзор всех терминов, связанных со словом “энергия“, и разъяснено, чем отличаются формы энергии от видов энергии. Во всех приведенных выше определениях общим является слово "движение".

### 2. Два разных подхода к пониманию энергии.

В методологии науки различают два противоположных метода: **индуктивный** (от частного к общему) и **дедуктивный** (от общего к частному). При обсуждении понятия «энергия» физики в большинстве своем используют индуктивный метод, да и то не полностью. Они обсуждают самые различные формы и виды энергии, не пытаясь придти к обобщенному понятию.

Теоретическая метрология поступает наоборот, придерживаясь дедуктивного метода. Она делит все физические величины на основные и производные. Основные величины являются независимыми от всех других величин. Другими словами, основная величина не имеет своего определяющего уравнения. А производные величины имеют каждая своё определяющее уравнение, включающее несколько основных величин.

Применяя этот подход к теме статьи, скажем, что энергию (без всяких дополнений к этому термину) можно представить как основную векторную величину. А кинетическая энергия, потенциальная энергия, внутренняя энергия, энергия связи и все прочие формы и виды энергии – это производные величины, как векторные, так и скалярные.

В качестве поясняющего примера применения двух разных подходов приведем такую основную величину, как длина. Длина – это свойство (характеристика)

пространства, и в этом качестве она выступает, как основная величина. А существуют еще длина свободного пробега, радиус-вектор, диаметр окружности, длина волны – всё это производные величины, как векторные, так и скалярные.

Очень жаль, что многие физики, участвующие в оживленной дискуссии по поводу того, является ли энергия векторной или скалярной величиной, не замечают различия между двумя подходами применительно к понятию «энергия».

### 3. Что означает понятие «движение»?

Выясним предварительно физическое содержание самого понятия «движение». Нами для этого был произведен экскурс по словарям, но оказалось, что это понятие не имеет общепринятого определения.

В Философском словаре и Большом энциклопедическом словаре термин «движение» не определяется. В Википедии приводится мало содержательное с точки зрения физики определение: «Философская категория, отражающая любые изменения в мире». В Большой Советской Энциклопедии: «Способ существования материи, важнейший её атрибут». В словаре Грамота.ру: «Необходимое условие существования материи, её всеобщее неотъемлемое свойство; непрерывное изменение и развитие материального мира». В Словаре естественных наук (Глоссарий.ру): «Форма существования материи; способ бытия материальных объектов, состоящий в их изменениях и взаимопревращениях».

Привести все эти определения к общему знаменателю можно, лишь считая движение главным свойством материи. Иными словами, можно говорить только о движущейся материи. А понятию "движение" дать краткое и простое определение: "**Движение – это основное свойство материи**".

А теперь приведем определение физической величины из Международного метрологического словаря JCGM 200:2012: «свойство явления, тела или вещества, которое может быть выражено количественно в виде числа с указанием отличительного признака как основы для сравнения».

Движение, как свойство материи, полностью отвечает определению физической величины. Отличительным признаком движения является его направленность. Поэтому ничто не мешает считать **движение** векторной физической величиной, модулем которой является **энергия**, и обозначать соответственно движение символом **W**, а энергию символом *W*.

Введение новой физической величины «движение» вряд ли будет принято физиками. Кроме того, векторную величину и ее модуль не принято называть разными терминами. Остается считать, что свойством материи является энергия, как векторная величина.

### 3. Потока энергии не существует, есть мощность потока энергоносителей.

Рассмотрим физическую величину, называемую в современной физике **поток энергии**. Анализ этого термина показывает, что он не корректен, так как энергия - это физическая величина, характеризующая движение материи, то есть свойство движущейся материи. А характеристика (свойство) двигаться или течь не может, течь могут лишь энергоносители. Само применение термина «поток энергии» является одним из проявлений понятийной бессистемности в физике.

Обозначим вектор производной по времени от энергии (как вектора **W**) символом **P**, то есть

$$\mathbf{P} = d\mathbf{W}/dt \quad (1)$$

Уравнение (1), записанное в скалярном виде  $P = dW/dt$ , является определяющим уравнением для скалярной мощности *P*. А векторную величину **P** из уравнения (1) можно называть **мощностью потока энергоносителей**.

#### 4. Вектор Умова-Пойнтинга – это плотность мощности волнового потока.

В современной физике мощность потока энергоносителей рассматривается только в теории волн (так как каждая волна является энергоносителем) и только в виде мощности волнового потока, отнесенной к площади поперечного сечения этого потока, с единицей Дж м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup> или Вт м<sup>-2</sup>.

В учебнике по физике И.Савельева (2005, кн.4, п.1.6) для потока волн растяжения-сжатия в упругой среде применяется вектор Умова

$$\mathbf{j} = w\mathbf{v} \quad , \quad (2)$$

где  $w = W/S$  – объемная плотность энергии в цилиндре достаточно малого размера,  $S$  – площадь поперечного сечения волнового потока,  $\mathbf{v}$  – фазовая скорость волны.

При выводе уравнения для вектора Умова в учебнике И.Савельева применяется понятие поток энергии  $\Phi$  волн растяжения-сжатия, определяемый уравнением  $\Phi = dW/dt$ , аналогичным уравнению (1), только в скалярном виде. При применении  $\Phi$  правильно было бы вектор Умова определять уравнением

$$\mathbf{j} = (d\Phi/dS) \mathbf{n}_{dS} \quad , \quad (3)$$

где  $\mathbf{n}_{dS}$  – орт нормали к сечению потока энергоносителей, то есть орт нормали к площадке  $dS$ . Как было показано выше, понятие "поток энергии" не корректно.

В электромагнетизме путем сложных математических преобразований плотность мощности потока энергоносителей (электромагнитных волн) в физическом вакууме обозначают символом  $\mathbf{S}$ , называют вектором Пойнтинга и определяют уравнением:

$$\mathbf{S} = [\mathbf{E} \mathbf{H}] \quad , \quad (4)$$

где  $\mathbf{E}$  – напряженность электрического поля,  $\mathbf{H}$  – напряженность магнитного поля в веществе. Поскольку вектор Пойнтинга определяется в физическом вакууме, а не в веществе, уравнение (4) некорректно, так как следует применять не напряженность магнитного поля в веществе  $\mathbf{H}$ , а напряженность магнитного поля в физическом вакууме, то есть магнитную индукцию  $\mathbf{B}$ . В Фейнмановских лекциях по физике (т.6, гл.27, п.3) вектор Пойнтинга определяется уравнением

$$\mathbf{S} = [(\epsilon_0 c^2 \mathbf{E}) \mathbf{B}] \quad . \quad (5)$$

Как вектор Умова, так и вектор Пойнтинга являются частными случаями поверхностной плотности мощности волнового потока энергоносителей.

По внешнему виду определяющих уравнений (2-5) почти невозможно увидеть истинное физическое содержание векторов Умова и Пойнтинга. Только введение энергии как векторной величины  $\mathbf{W}$  и ее производной по времени  $\mathbf{P}$  позволяет с помощью уравнения (1) раскрыть это содержание, как отношение мощности волнового потока к площади поперечного сечения этого потока.

#### 5. Обновленная трактовка закона сохранения энергии

Важнейший вывод из сказанного выше: закон сохранения энергии при движении материи можно трактовать иначе, нежели сейчас, а именно: *при движении энергоносителей должна сохраняться энергия, как скалярная величина  $W$  и как векторная величина  $\mathbf{W}$ .*

В соответствии с этим законом любое изменение направления движения одной части физической системы должно сопровождаться аналогичным и противоположным по знаку изменением направления движения другой части системы таким образом, чтобы осталось прежним не только количество энергии физической системы, но и суммарное направление потока энергоносителей.

Естественно, что под направлением движения энергоносителей понимается не только направление прямолинейного движения, но и направление вращательного движения. В частности, на подобной трактовке закона сохранения энергии основано, например, одновременное возникновение двух разнонаправленно вращающихся вихрей с одинаковым количеством энергии вращательного движения.

Что касается закона сохранения импульса и закона сохранения момента импульса, как векторных величин, то они вытекают в качестве частных случаев именно из закона сохранения энергии, а не являются независимыми законами.

### **Литература**

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
2. Коган И.Ш., 2012, Энергия как основная физическая величина. – “Законодательная и прикладная метрология”, 1, с.с. 48-53.
3. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (кн. 4). – М.: АСТ: Астрель
4. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
5. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)