

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

БАЗИС-ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ТЕНЗОРЫ ТЕРМОГАЗОДИНАМИКИ

Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

В работе введены шесть базис-определяющих тензоров термогазодинамики. Показано, что каждому тензору соответствует физическая характеристика термодинамики, газовой динамики или термохимии.

Определяющей характеристикой в процессах, связанных с молекулярным переносом, является энтропия и зависящая от неё связанная энергия, входящая в базис-определяющие тензоры.

In the work introduced six basis-defining tensors thermogasdynamics. It is shown that each tensor corresponds to the physical characteristics of the thermodynamics, gas dynamics, or thermochemistry.

The defining characteristic of the processes associated with molecular transport, is entropy and depend on the associated energy, which is the basis for defining tensor.

Ключевые слова: турбулентность, термогазодинамика, тензор.

Keywords: turbulence, thermogasdynamics, tensor.

Описывая математически тот или иной процесс, мы с разной степенью общности при помощи символов отображаем его нюансы, научную емкость, наполненность содержанием. Для практики в первую очередь нужны цифры и тогда математический аппарат ложится в основу конструкции, эксперимента, испытания. Но если мы с помощью математики пытаемся познать мир, окружающие нас физические процессы, то математика тем ценнее, чем она сложнее. Но сложность не в смысле загруженности информацией нужной и ненужной, а в смысле качественного, желательного однозначного и правильного плотноупакованного научного символического объекта. В связи с этим можно еще раз констатировать, что, по-видимому, самое полное описание процесса может быть осуществлено с помощью тензорных уравнений. Это - верх научной символики на сегодняшний день. Это - наиболее полная и содержательная упаковка смысловых отображений реальности. Это - самая простая и логичная взаимосвязь частных внутри общего. В термогазодинамике используется определенный набор параметров, описывающих процесс. Это те ключи, которые связывают науку с практикой. Эти параметры можно пощупать, оценить, сравнить. Но более сложные характеристики - импульсы, энергии, уже являются продуктами абстрагирования. Термодинамические потенциалы являются уже продуктами обобщения. И всегда, рассматривая тот или иной процесс, мы наталкиваемся на то, что этих характеристик для описания в общем-то требуется ограниченное количество. Из этого количества далее следуют производные, необходимые часто для более подробного понимания.

Итак, известно, что к основным термодинамическим потенциалам относятся четыре энергии: это - внутренняя энергия U , энтальпия h , свободная энергия (потенциал Гельмгольца) F и свободная энтальпия (термодинамический потенциал Гиббса) G . Построение двух последних потенциалов тесно связано с понятиями связанная энергия (ST) и большим потенциалом (RT) [1]. Причем RT - это частный случай (ST), реализующийся при условии термодинамического равновесия [2]. И тогда с учетом двух последующих потенциалов можно записать:

$$U, h, F = U - ST; G = h - ST = U + RT - ST.$$

С помощью потенциалов описываются термодинамические, химические и другие различные равновесные и неравновесные процессы.

Взаимосвязь потенциалов

Все перечисленные потенциалы связаны между собой. Так, например, известно, что внутренняя энергия для газа может быть записана как произведение теплоемкости при постоянном объеме:

$$U = C_v \cdot T.$$

Энтальпия - как произведение теплоемкости при постоянном

давлении:

$$h = C_p \cdot T.$$

Тогда потенциал Гельмгольца запишется в виде

$$F = C_v T - ST,$$

а Гиббса:

$$G = C_p T - ST = C_v T + RT - ST.$$

Итак, четыре величины одной размерности определяют четыре базисных потенциала. Это: C_v, C_p, S и R .

Ранее, при интерпретации второго закона термодинамики, было показано [2], что энтропия всегда больше или равна газовой постоянной:

$$S \geq R.$$

Из соотношения Майера известно, что теплоемкость при постоянном давлении всегда больше на величину газовой постоянной R , чем теплоемкость при постоянном объеме:

$$C_p - C_v = R.$$

Далее из определения потенциала Гельмгольца, в предположении, что он всегда положителен, следует

$$F = C_v T - ST = (C_v - S)T \geq 0.$$

То есть получается, что теплоемкость при постоянном объеме всегда больше энтропии:

$$C_v \geq S.$$

Тогда выстраивается приоритетная цепочка в виде тройного неравенства:

$$C_p \geq C_v \geq S \geq R.$$

Самая большая величина всегда C_p и самая маленькая - R . А как же тогда правая граница величины S ? Получается, что она ограничена сверху как минимум теплоемкостью при постоянном объеме. А может ли она быть бесконечно большой? Да, может. Все зависит от величины

$$K = C_p / C_v.$$

Запишем неравенство в виде:

$$1 \leq S/R \leq 1/(k-1).$$

Это неравенство показывает, что энтропия с одной стороны ограничена величиной R , а с другой комбинацией из C_p/C_v , или для идеального газа комбинацией из показателя адиабаты. Видно, что при $k \rightarrow 1$, энтропия будет стремиться к бесконечности.

Базис-определяющие тензоры

В работе [3] был введен в обиход молекулярно-кинетический тензор K . Он был сконструирован как потенциал, умноженный на единичный тензор 1 . Этим потенциалом была внутренняя энергия. Дивергенция от этого потенциала приобрела смысл производной от импульса потока и интерпретировалась как четвертый закон термодинамики [4]. С целью наглядности напишем этот закон для случая $\rho = \text{const}$:

$$\frac{dj}{d\tau} = -\text{div} K.$$

Другими словами, поток модифицированного тензора Князева есть результирующая сил, действующая на элемент жидкости.

По аналогии с предложенным приемом построим на базе перечисленных выше потенциалов новые тензоры. Эти тензоры будут базис-определяющими в термогазодинамике. Другие тензоры, построенные на их основе, будут только вариациями. Итак, всего было зафиксировано шесть базис-определяющих потенциалов. Это - внутренняя энергия U ; энтальпия h ; связанная энергия ST ; большой потенциал RT ; потенциал Гельмгольца F и потенциал Гиббса G .

Далее построим шесть новых тензоров.

$K = U \cdot I$ - модифицированный тензор Князева.

$L = h \cdot I$ - тензор, связанный с энтальпией или теплосодержанием. Этот тензор назовем именем основателя учения о теплоте, великого русского ученого Михайло Васильевича Ломоносова. Тензор Ломоносова.

$M = (RT) \cdot I$ - тензор, построенный на базе большого потенциала. Этот тензор вправе может быть назван в честь великого русского ученого Дмитрия Ивановича Менделеева, открывшего универсальную газовую постоянную. Тензор Менделеева.

$Q = (ST) \cdot I$ - тензор в честь Рудольфа Юлиуса Эммануила Клаузиуса, который впервые ввел понятие энтропии в термодинамику.

$G = F \cdot I$ - тензор Гельмгольца, в честь великого немецкого ученого Германа Людвиг Фердинанда фон Гельмгольца первооткрывателя начал термодинамики.

$D = G \cdot I$ - тензор Гиббса. Джозайя Виллард Гиббс - великий ученый, основоположник неравновесной химической термодинамики и молекулярной физики.

Частным, но очень важным тензором может быть тензор Людвиг Больцмана, величайшего австрийского ученого-теоретика и основоположника статистической физики: $B = (KT) \cdot I$.

Этот тензор связан с тензором Менделеева и отличается лишь от него, как известно, только числом Авогадро.

Краткая интерпретация базис-определяющих тензоров

Модифицированный тензор Князева был уже определен и имеет четкий физический смысл. Дивергенция от этого тензора тесно связана с основным газодинамическим параметром - импульсом потока, точнее с его субстанциональной производной.

Рассмотрим тензор Ломоносова. Этот тензор можно преобразовать и представить в виде градиента:

$$\text{div} L = \text{grad } h.$$

В принципе дивергенция от тензора Ломоносова есть градиент от энтальпии потока. В работе [5] была получена связь этого градиента с тензором собственных частот, присущий упругой газовой или жидкостной среде T :

$$\vec{V} \cdot T = -\text{grad } h = -\text{div } L.$$

Действительно, одним из трех условий устойчивости автоколебаний является условие подпитывания энергией колебательно-го контура. В данном случае это выражается в виде энтальпии, поступающей в контур, например, в результате горения топлива.

Известно, что тепловой поток в соответствии с законом Фурье пропорционален градиенту температуры

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \text{grad } T.$$

Новое представление этого закона может быть изображено с помощью тензора Менделеева

$$\vec{q} = -\frac{\lambda}{R} \text{div } M$$

или тензора Больцмана

$$\vec{q} = -\frac{\lambda}{k} \text{div } B.$$

Таким образом и тензор Менделеева, и тензор Больцмана связаны с тепловыми потоками.

Закон Фика о потоках концентраций также может быть интерпретирован как зависимость от фундаментального тензора Гиббса. Без вывода, но со ссылкой на [6] можно записать этот закон через химический потенциал μ :

$$X_i = -\text{grad } \mu_i.$$



Николай Иноземцев - русский ученый



Ларс Онзагер - норвежский ученый



Илья Пригожин - бельгийский ученый

Или в общем виде, вспоминая, что μ есть удельный потенциал Гиббса, через тензор:

$$\Pi = -\text{div } D.$$

Аналогично можно найти интерпретацию и для тензора Гельмгольца.

Анализируя последние выражения, можно сказать, что применение преобразования дивергенция к любому из шести базис-определяющих тензоров обязательно приведет к пониманию того, что внутри термодинамической системы существуют внутренние силы и микропотоки в виде диффузии, тепла и т.д.

По аксиоматизированной теории Онзагера, развитой впоследствии Пригожиным, пропорциональность между силами и скоростями при стационарном движении распространяется на любые процессы. Причины появления сил должны определяться градиентами концентраций, температур, давлений и т.д.

В общем случае потоки зависят сразу от всех сил, действующих в системе. Так, например, диффузия определяется как градиентом концентрации, так и градиентом температуры. Теория Онзагера в общем не противоречит эксперименту, хотя она и не была выведена из точных теорий, а если так, то можно сказать, что она была сконструирована. В любом случае эта теория отвечает на главный вопрос: процессы переноса внутри системы связаны с возникновением градиентов параметров молекулярной системы вещества, а значит с возрастанием энтропии. Любой процесс внутри системы, связанный с переносом, будет сопровождаться производством энтропии. Из теории Онзагера также однозначно следует:

$$\rho \frac{dS}{d\tau} = \frac{1}{T} \sum J_i X_i,$$

где J_i и X_i - условные обозначения потоков и сил.

А в каком же виде сама энтропия выступает в этой ситуации? Ведь ее также можно выразить и в виде градиента?

$$\rho \frac{dS}{d\tau} = \vec{V} \cdot \text{grad } S.$$

И, конечно же, в виде тензора Клаузиуса:

$$\frac{dST}{d\tau} = \vec{V} \cdot \text{div } Q,$$

зависящего от так называемой связанной энергии (ST).

Получается, что для необратимых процессов, таких как законы Фурье, Фика и т.д., этот тензор является самым главным. Ведь производство (ST) осуществляется в результате появления внутренних потоков, градиентов, зависящих от градиента связанной энергии. Любой градиент, например, концентрации или температуры определяется градиентом энтропии, а также связанной энергии. **□**

Литература

1. Н.В. Иноземцев. Основы термодинамики и кинетики химических реакций // М. Изд. Военной академии МиМКА им. Сталина, 1940.
2. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Новая интерпретация второго закона термодинамики и теорема векторного анализа о соотношении движений // Двигатель №6, 2016.
3. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Молекулярно-кинетический тензор // Двигатель №1, 2016.
4. Н.Ю. Кочетков. Турбулентность. Четвертое начало термодинамики или первое начало термогазодинамики // Двигатель №5, 2016.
5. Ю.М. Кочетков. Турбулентность. Фундаментальный тензор собственных частот // Двигатель №2, 2016.
6. А.А. Жуховицкий, Л.А. Шварцман. Физическая химия // М. изд. По черной и цветной металлургии, 1963.

Связь с автором: swgeorgiy@gmail.com