

УДК 536(075.8)

Драганов Б.Х.

Институт технической теплофизики НАН Украины

К ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОМУ МЕТОДУ АНАЛИЗА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Викладено особливості феноменологічного підходу при описанні й дослідженні понять і закономірностей теплофізичних процесів. Вказуються принципи застосування феноменологічної теорії до аналізу фазових переходів, закономірностей нерівноважної термодинаміки.

Излагаются особенности феноменологического подхода при описании и исследовании понятий и закономерностей теплофизических процессов. Указываются принципы приложения феноменологической теории к анализу фазовых переходов, закономерностей неравновесной термодинамики.

By the phenomenological method of analysis of thermal processes described features of the phenomenological approach to describe and study the concepts and laws of thermal processes. Identifies the principles of application of the phenomenological theory of phase transitions to an analysis of patterns of nonequilibrium thermodynamics.

Каждое научное исследование использует определенный набор понятий и представлений. Некоторые из них требуют объяснений, определенных, другие воспринимаются как очевидные. Эти понятия, имеющие физическую сущность, которые нередко воспринимаются как очевидные, а в некоторых случаях не могут быть выведены из более глубокого познания, есть феноменологические понятия.

Примером феноменологического понятия в термодинамике являются такие понятия как энтропия, энтальпия, эксэргия и др. [1]. Важную роль при анализе и расчетах термодинамических процессов играют термодинамические потенциалы. Каждый термодинамический потенциал есть функция своих переменных. Так, энергия – функция энтропии и объема, свободная энергия – функция температуры и объема, энтальпия – функция энтропии и давления. Переход с одной пары параметров с ее потенциалом к другой паре с соответствующим потенциалом задается с помощью Лежандра преобразования.

К феноменологическому понятию относят трехмерное и четырехмерное пространства. Позднее стали пользоваться понятием четырехмерное пространство – время Минковского, согласно которому это четырехмерное псевдоевклидово пространство сигнатуры (квадра-

тичной или симметричной билинейной формы) в качестве геометрической интерпретации пространство – времени в специальной теории относительности.

Для феноменологического описания какого-либо физического явления существенным является выбор величин, которые могут служить показателем явления или его свойства. Так, для получившего развития и признания в последнее время концепции эксэргеэкономической оптимизации разработана специальная терминология: эксэргия топлива, эксэргия продукта, потери и деструкция эксэргии, эксэргеэкономический фактор.

К феноменологическому понятию относят понятие причинности один из наиболее общих принципов, устанавливающий допустимые пределы влияния данного события. Следует, что имеет место: событие-причина предшествует по времени событие-следствие. Причинность принцип утверждается экспериментом в макроскопической области и общечеловеческой практикой.

В аппарате физической теории причинности принцип используется, прежде всего, для выбора граничных условий к соответствующим уравнениям динамики, что обеспечивает однозначность их решения. Кроме того, причинности принцип позволяет установить об-

щие свойства величин, описывающих реакцию физической системы на внешнее воздействие.

Феноменологическая термодинамика оперирует макроскопическими величинами. Это результат усреднения. Все термодинамические величины, строго говоря, флуктуируют. Оценка величины флуктуации может быть произведена термодинамическим путем, без ссылки на макроскопические процессы, происходящие в нем.

Помимо феноменологических терминов и величин пользуются феноменологической теорией [2].

Феноменологическая теория начинается с выбора величин для описания явления или свойства. Для декларации соотношения между выбранными величинами часто служит эксперимент или следствие из него. Существенная черта этого метода заключается в возможности привлечь общие законы природы (закон сохранения энергии, закон возрастания энтропии, обратимость времени и др.). Можно утверждать, что феноменологическое описание ставит задачу для макроскопического явления.

Существенного внимания заслуживают процессы, относящиеся к двухфазным переходам. Эти процессы принято анализировать принципами феноменологической теории [3].

Известно, что различают фазовые переходы I-го рода и фазовые переходы II-го рода.

Фазовые переходы I-го рода характеризуются тем, что переход из фазы в фазу сопровождается выделением (или поглощением) тепла, скачком удельного объема и других параметров, которые выражаются через первые производные соответствующих термодинамических потенциалов. Равенство термодинамических потенциалов не означает равенство первых производных. Отсюда следует существование скачков и скрытой теплоты перехода, выражаемой через скачок энтропии [3].

При фазовом переходе II-го рода первые производные от термодинамического потенциала непрерывные, а вторые производные испытывают аномалии, иногда скачки. Переохлаждение и перегрев невозможны, петли ги-

стерезис отсутствуют.

Л.Д. Ландау предложил общую трактовку фазовых переходов II-го рода как точек изменения симметрии. Симметрия появляется и исчезает скачком, однако параметр порядка, характеризующий нарушения симметрии, может изменяться непрерывно.

Специфические явления, наблюдаемые вблизи критических точек (например, точки равновесия жидкости – пар) и точек фазовых переходов II-го ряда, называют критическим явлением.

Критическая точка представляет собой частный случай точки фазового перехода и характеризуется потерей термодинамической устойчивости по плотности или составу вещества.

В более узком смысле к критическим явлениям относят явления, обязанные своим происхождением росту флуктуации плотности, концентрации и других фазовых величин вблизи точек фазовых переходов.

Критические показатели обладают свойством универсальности, они не зависят от физической природы вещества. Сходство критических явлений в областях разной природы позволяет рассматривать их с единой точки зрения. Установлено, что у всех объектов существует одинаковая физическая зависимость физических свойств вблизи точек фазовых переходов, которая выражается в виде степенной функции от приведенной температуры:

$\bar{T} = (T - T_k) / T_k$, где T_k – критическая температура.

Критические явления обусловлены свойствами всей совокупности частиц, а не индивидуальными свойствами каждого составляющего. Это означает, что в точке фазового перехода изменения любой части рассматриваемой системы соответствуют изменениям, происходящими с остальными частицами. Наоборот, вдали от точки перехода флуктуации статически независимы, а случайные изменения состояния вещества не сказываются на остальных веществах.

В последнее время значительное внимание

уделяется принципам неравновесной термодинамики.

При изучении макроскопических неравновесных процессов система рассматривается как непрерывная среда, а ее параметры состояния – как полевые переменные, т.е. непрерывные функции координат и времени. Анализ неравновесных процессов основывается на феноменологических положениях. Принимается, что при малых отклонениях системы от термодинамического равновесия возникающие потоки линейно зависят от термодинамических сил и описываются феноменологическими уравнениями типа:

$$I_i = \sum_k L_{ik} X_k, \quad (1)$$

где L_{ik} – кинетические (феноменологические) коэффициенты.

Соотношение (1) есть следствие теоремы Онзагера [4], являющейся одной из основных положений термодинамики неравновесных процессов.

Термодинамические силы X_k могут вызывать результирующее воздействие и при $i \neq k$. Так, к примеру, градиент температуры может вызвать поток вещества в многокомпонентных средах – термодиффузию и т.п. Такие налагающиеся эффекты в неравновесной термодинамике характеризуются коэффициентом X_i , где $i \neq k$.

Термодинамические силы и потоки могут быть скалярами (в случае объемной вязкости), векторами (при теплопроводности, диффузии) и тензорами (при сдвиговой вязкости).

Согласно теореме Онзагера, если нет магнитного поля и вращение системы как целого, то

$$L_{ik} = L_{ki}. \quad (2)$$

Это связано с тем, что Лоренца сила и Кориолиса сила не изменяются при изменении направления скоростей частиц.

Соотношение (2), выражает принцип симметрии кинетических коэффициентов. Согласно теореме П. Кюри для изотропной среды линейные соотношения могут связывать термодинамические силы и потоки лишь одинаковой

тензорной размерности.

В соответствии с положением неравновесной термодинамики производство энтропии σ определяется соотношением:

$$\sigma = \sum_i I_i X_i. \quad (3)$$

На основе соотношений взаимности Онзагера И. Пригожиным была сформулирована известная теорема о минимуме производства энтропии [5].

Вывод законов термодинамики неравновесных процессов из законов механики (классической и квантовой) и получения выражений для кинетических коэффициентов через параметры, характеризующие строение вещества, входит в задачу неравновесной статистической термодинамики, которая относится к термодинамике неравновесных процессов как статистическая термодинамика к классической термодинамике.

Выводы

Феноменологические понятия и феноменологическая теория являются эффективным средством исследования всех аспектов теплофизических явлений. Метод феноменологического анализа использует как геометрические параметры и теории, относящиеся к теплофизике, так и фундаментальные законы природы, выраженные в виде феноменологических положений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков И.И. Термодинамика. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.
2. Беккер Р. Теория теплоты; пер. с нем. А.М. Гармизо и В.С.Ефенцева. – М.: Энергия, 1974. – 504 с.
3. Гиббс Л.В. Термодинамические работы; пер. с англ. – М.: Мир. – 1950.
4. Гроот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика; пер. с англ. – М.: Мир, 1964. – 456 с.
5. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960.

Получено 24.03.2010 г.