

## Метрология тепловой формы движения

**Аннотация.** Показано, что закон Фурье в современной записи базируется на теории теплорода. Это приводит к неверным размерностям и единицам важнейших тепловых величин и не дает возможности систематизировать величины тепловой формы движения. Излагается суть модификации закона Фурье, исправляющей эти недостатки. Вводится понятие "тепловой заряд". Анализируются терминология, размерности и единицы физических величин тепловой формы движения, координатой состояния которой становится тепловой заряд. Критически анализируется роль энтропии в термодинамике и указывается, что она не должна заменять тепловой заряд.

### 1. Чем вызвано особое внимание к тепловой форме движения

Различные формы движения при систематизации физических величин объединяет в обобщенную форму движения **уравнение состояния**, которое обычно записывается в таком виде:

$$\sum_i U_i dq_i = dW, (1)$$

где  $dW$  – энергетическое воздействие на систему;  $dq_i$  – приращение координаты состояния  $i$ -ой формы движения системы;  $U_i$  – динамическое воздействие на  $i$ -ую форму движения системы (называемое также **разностью потенциалов  $\Delta U$** ). Уравнение состояния (1) является математической записью **закона сохранения энергии**.

Динамическое воздействие  $U_i$  раскрывается с помощью обобщенного **уравнения динамики** в виде:

$$D \Delta q + R dq/dt + I d^2q/dt^2 = - \Delta U, (2)$$

где  $\Delta q$  – текущее значение приращения координаты состояния;  $\Delta U$  – текущее значение приращения динамического воздействия;  $D$  – жесткость системы ( $C = D^{-1}$  – ёмкость системы);  $R$  – диссипативное сопротивление системы ( $Y = R^{-1}$  – проводимость системы);  $I$  – инертность системы.

Закон сохранения энергии (1) совместно с уравнением динамики (2) служат основой для создания теории физических аналогий [1] и для систематизации физических величин практически во всех формах движения. Это проиллюстрировано в рамках Таблицы Аналогий [2], а затем в рамках **энергодинамической системы величин** [3,4], названной сокращенно ЭСВП.

Лишь для тепловой формы движения, описываемой современной теорией теплопередачи, применение уравнения состояния (1) привело к необычному и не соответствующему уравнению состояния результату, указанному еще в статье [2]. Анализ закономерностей, применяемых в современной теории теплопередачи, позволил выяснить причины этого и устранить их.

Но предварительно напомним читателю принятую схему систематизации физических величин.

### 2. Схема систематизации обобщенной физической системы

Схема систематизации обобщенной физической системы представлена ниже в виде таблицы 1, в которой приведена выборка наиболее важных физических величин, расположенных в соответствии с **принципом последовательности** (следствием принципа причинности [5]). Согласно принципу последовательности определяющее уравнение каждой физической величины в перечне величин должно состоять только из физических величин, расположенных выше определяемой величины.

Размерность энергии обозначена символом Е (единица – Джоуль). А размерность **обобщенной координаты состояния** (не имеющей своей конкретной единицы) принято в [3,4] обозначать символом К. В таблице каждой конкретной формы движения символ К заменяется размерностью этой формы движения с ее конкретной единицей. Это

автоматически приводит к размерности и единице динамического воздействия конкретной формы движения.

**Таблица 1. ОБОБЩЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ СИСТЕМА**

Наименование физической величины	Символ или формула	Размерность
Энергетическое воздействие	$dW$	Е
Приращение обобщенной координаты состояния	$dq$	К
Динамическое воздействие	$\Delta U = dW/dq$	ЕК <sup>-1</sup>
Скорость приращения координаты состояния	$dq/dt$	КТ <sup>-1</sup>
Жесткость системы	$D = \Delta U / \Delta q$	ЕК <sup>-2</sup>
Сопротивление системы	$R = \Delta U / (dq/dt)$	ЕК <sup>-2</sup> Т
Инертность системы	$I = \Delta U / (d^2q/dt^2)$	ЕК <sup>-2</sup> Т <sup>2</sup>
Ёмкость системы	$C = D^{-1}$	Е <sup>-1</sup> К <sup>2</sup>
Проводимость системы	$Y = R^{-1}$	Е <sup>-1</sup> К <sup>2</sup> Т <sup>-1</sup>
Коэффициент переноса	$k$	Е <sup>-1</sup> К <sup>2</sup> Л <sup>-1</sup> Т <sup>-1</sup>

Например, выбрав в качестве координаты состояния перемещение с единицей м (метр), мы получаем динамическое воздействие в виде силы с единицей Дж/м = Н (Ньютон). Выбрав объём с единицей м<sup>3</sup>, мы получаем динамическое воздействие в виде перепада давлений с единицей Дж/м<sup>3</sup> = Па (Паскаль). Выбрав электрический заряд с единицей Кл (Кулон), мы получаем динамическое воздействие в виде разности электрических потенциалов с единицей Дж/Кл = В (Вольт).

Различие в трактовке тепловой формы движения между статьей [2] и работами [3,4] коснулось лишь непринципиальных изменений в последовательности расположения физических величин и в символике, а также в трактовке первой строки таблицы. В статье [2] в этой строке находилась обобщенная работа  $dA$ , под которой понималось обобщение на любые формы движения понятия "работа силы", применяемого только в механической прямолинейной форме движения. Работа силы в механике является производной величиной от силы  $\mathbf{F}$  и от перемещения  $d\mathbf{r}$ , ибо ее определяющее уравнение записывается в виде  $dA = \mathbf{F}d\mathbf{r}$ . А энергетическое воздействие (энергообмен)  $dW$ , судя по уравнению (1), является основной величиной. Это и привело к изменению трактовки первой строки.

Для тепловой формы движения схема таблицы 1 не сработала. Причины будут разьяснены позднее.

### 3. Краткая история исследований неадекватности тепловой формы движения

Более 40 лет тому назад в монографии [6] было показано, что терминология, размерности и уравнения теории теплорода сохранились до сих пор, господствуя в теории теплопередачи несмотря на то, что с теплородом, казалось бы, давно покончено. Именно в соответствии с тезисом теории теплорода о том, что теплота является особой неуничтожимой жидкостью и может накапливаться, возникли термины "тепловой поток" и "теплопроводность", и они используются и в современной теории теплопередачи в уравнении закона Фурье

$$\Phi = -\lambda(\partial T/\partial x)S, \quad (3)$$

где  $\Phi$  – тепловой поток;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности;  $\partial T/\partial x$  – температурный градиент (температурный напор);  $S$  – площадь сечения, сквозь которое протекает

тепловой поток. Сам закон Фурье – это современное уравнение переноса при теплопередаче.

В монографии [7] было даже предложено с помощью закона Фурье распространить теорию физических аналогий на тепловые величины, были представлены электротепловые аналогии, подобные электромеханическим и электрогидравлическим аналогиям.

Первая попытка включить физические величины тепловой формы движения в систему физических величин была предпринята в работе [8], однако принятые в ней принципы систематизации не позволили это сделать. При второй попытке [9] было уже использовано уравнение состояния (1), с помощью которого были успешно систематизированы механические, гидродинамические и электрические величины. И систематизация тепловых величин по уравнению (1) привела к результату, показанному в таблице 2 "Теплопроводность" (В таблице  $\delta$  – толщина теплопроводящего слоя).

**Таблица 2. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ**

Наименование физической величины	Символ или формула	Единица измерений	
		расчетная	в СИ
???	???	Дж·К	-
Приращение количества теплоты	$dQ$	Дж	Дж
Температурный напор	$\Delta T$	К	К
Тепловой поток	$\Phi$	Дж/с	Вт
Термическое сопротивление	$\delta/\lambda S$	К/Вт	К/Вт
Теплоёмкость	$C$	Дж/К	Дж/К
Термическая проводимость	$\lambda S/\delta$	Вт/К	Вт/К
Коэффициент теплопроводности	$\lambda$	Вт/(м·К)	Вт/(м·К)

. При составлении таблицы 2 в соответствии с теорией теплопередачи в роли разности потенциалов  $U_i$  из уравнения состояния (1) был использован температурный напор  $\Delta T$ , а в роли приращения координаты состояния  $dq_i$  было использовано приращение количества теплоты  $dQ$ . После подстановки этих величин в уравнение состояния (1) в первой строке в роли энергетического воздействия оказалась физическая величина с не существующей единицей Дж·К, и это сразу озадачило. Анализ подобной ситуации привел к такому выводу.

#### **4. Систематизация тепловых величин на базе закона Фурье невозможна**

В физике "теплота" рассматривается как одна из форм энергообмена, подобно работе силы в механике или количеству электроэнергии в электродинамике. Приращение теплоты, собственно, так и называется – теплообмен.

Однако энергообмен в любой форме движения не может быть координатой состояния этой формы движения. Ведь энергетическое воздействие на систему изменяет координату состояния. А если в качестве координаты состояния принята сама энергия (пусть даже в форме количества теплоты), то получается, что энергия должна воздействовать на саму себя.

Приращение количества теплоты на самом деле является одной из форм энергетического воздействия, и поэтому оно должно находиться только в первой строке таблицы 2. Именно помещение количества теплоты во вторую строку, то есть в строку приращения координаты состояния, и привело к появлению в таблице 2 физической величины с единицей Дж·К, которая в природе не существует, то есть к тому, что первая строка в таблице 2 оказалась пустующей.

А из этого следует, что таблица 2 отображает не существующую форму движения, поскольку для нее не применимо уравнение состояния (1). Значит, все последующие производные физические величины таблицы 2 также не релевантны. Но если представить себе уравнение состояния (1) без энергетического воздействия  $dW$  с единицей Дж, то как тогда выяснить единицу температурного напора, то есть единицу температуры?

Не удивительно, что единица температуры К (Кельвин) введена в СИ априорно, условно. Ко всему, в СИ единица теплоёмкости  $C$  (Дж/К) совпадает и с единицей энтропии, и с единицей постоянной Больцмана, хотя эти три величины имеют разное физическое содержание. Вот к чему привело базирование таблицы 2 на законе Фурье в записи (3).

Остается сделать один вывод: запись закона Фурье в виде (3) должна быть отвергнута. Чего, собственно, и добивался автор [6]. Но его многочисленные критики, базируясь на отдельных недостатках монографии [6], отвергли вместе с монографией и одну из наиболее важных ее идей. В итоге физика до сих пор пользуется физическими величинами таблицы 2 с их не релевантными единицами.

К абсолютно таким же выводам независимо от авторов [6,2,3] пришел автор работ [10,11,12]. Различие оказалось только в символике и в терминологии. Автор [10,11,12] не был знаком с работой [6] по той причине, что она с конца 60-х годов XX века была практически закрыта для читателей и поэтому мало известна.

### **5. В чем же должна заключаться модификация закона Фурье**

Чтобы исправить недостатки закона Фурье в записи (3), автор [6] поделил левую и правую части закона Фурье на температуру  $T$  (при условии  $T \neq 0$ ). Модифицированный закон Фурье стал выглядеть так:

$$\Phi_a = - a (\partial T / \partial x) S . (4)$$

В левой части уравнения (4) появилась физическая величина  $\Phi_a = \Phi/T$ , названная “**термическим потоком**”, отличающимся от современного теплового потока  $\Phi$ . А в правой части уравнения (4) вместо теплопроводности  $\lambda$  появилась величина  $a = \lambda/T$ , названная “**термопроводностью**”. (Не путать с другим существующим в термодинамике понятием “температуропроводность”.)

Очевидно, что уравнение (4) при умножении левой и правой части на  $T$  вновь превращается в привычную запись закона Фурье (3). Поэтому модификация закона Фурье, на первый взгляд, не меняет никаких практических результатов применения современной записи закона Фурье (3). Но автор [6] показал на многочисленных примерах, что применение уравнения (3) приводит к неверному истолкованию результатов экспериментов, тогда как уравнение (4) приводит к естественной и понятной трактовке целого ряда явлений не только в теории теплопередачи, но и в термодинамике в целом.

Позднее в работах [11,12] была не только подтверждена правильность модификации закона Фурье, но и были приведены дополнительные факты ее целесообразности. Автор [11,12] даже применил к тепловой форме движения законы неразрывности Кирхгофа. Он привел доказательства того, что расчет термического КПД по абсолютным значениям термодинамической температуры приводит к физическому абсурду и что этот расчет следует вести только по разности температур. Этот вывод полностью совпадает с условием приращений из работы [5].

### **6. Таблица величин тепловой формы движения должна быть изменена**

Учтя всё вышесказанное, автор [2,3] с помощью модифицированного закона Фурье (4) составил таблицу 3 “Термопроводность”. И в этой таблице многое стало на свои места. При этом изменились единицы ряда важных тепловых величин.

Прежде всего, оказалось необходимым, следуя [6], отделить упорядоченную **тепловую форму движения** от **формы движения диссипации**. В форму движения диссипации в реальных процессах переходят все формы движения, в том числе, и тепловая форма движения.

Тепловая форма движения должна определяться собственной координатой состояния, как и все другие формы движения (механическая, гидравлическая, электрическая и т.д.). Координату состояния тепловой формы движения автор [6] назвал **“термическим зарядом”**. В дальнейшем другие авторы стали называть эту координату состояния иначе: “тепложаряд” [10], “тепловой заряд” [13]. На наш взгляд, лучше других для тепловой формы движения подходит термин **“тепловой заряд”**. Хотя “тепловой“ и “термический“ – это слова-синонимы, обозначающие одно и то же на разных языках.

Таким образом, координатой состояния тепловой формы движения является не количество теплоты  $Q$  с единицей Дж, как в законе Фурье (3), а тепловой заряд  $\Theta$ , о единице которого поговорим ниже дополнительно. Тепловая форма движения, как форма упорядоченного переноса импульса частиц, отличается от формы движения диссипации, являющейся беспорядочной (броуновской) формой переноса импульса частиц и изучаемой иными методами.

Уравнение переноса при теплопередаче необходимо записывать для термического потока  $\Phi_a$  из уравнения (4), соответствующего реальному упорядоченному переносу импульса из более нагретой в менее нагретую зону. В текучих средах этот перенос осуществляется молекулами (или другими материальными носителями), а в твердом теле имеет место перенос импульса с помощью тепловых колебаний молекул или атомов в узлах кристаллической решетки. В процессе переноса импульса и появляется та форма энергообмена, которая называется **теплообменом**.

### 7. Измененный вариант таблицы тепловой формы движения

На основании модифицированного закона Фурье (4) в статье [2] была представлена таблица 3 “Термопроводность”, которая полностью соответствует уравнению (1).

**Таблица 3. ТЕРМОПРОВОДНОСТЬ**

Наименование физической величины	Символ или формула	Единица измерений	
		расчетная	в СИ
Изменение тепловой энергии	$\delta Q$	Дж	Дж
Изменение теплового заряда	$d\Theta$	Дж/К	-
Температурный напор	$\Delta T$	К	К
Термический поток	$\Phi_a$	Вт/К	-
Термическое сопротивление	$\delta/aS$	К <sup>2</sup> /Вт	-
Термоёмкость	$d\Theta/dT$	Дж/К <sup>2</sup>	-
Термическая проводимость	$aS/\delta$	Вт/К <sup>2</sup>	-
Тепловой поток	$\Phi = \Phi_a T$	Вт	Вт
Коэффициент теплопроводности	$a = \lambda/T$	Вт/(м·К <sup>2</sup> )	-

Сравнение таблиц 2 и 3 приводит к таким выводам:

1. Прежде всего, в таблице 3 заполнена первая строка, пустовавшая в таблице 2. Это закономерное следствие того, что энергетическим воздействием  $dW$  на тепловую форму движения стало изменение тепловой энергии. Тогда как при применении закона Фурье (3) энергетическое воздействие  $dW$  отсутствовало вообще. Физическая величина  $\delta Q$  должна как раз пониматься, как количество тепловой энергии, и быть в первой строке.

В статье [14] справедливо указывается на то, что физическая величина “количество теплоты” отличается от величины “тепловая энергия”. **Тепловая энергия** – такая же форма энергии, как механическая, электрическая и другие формы энергии. С.Карно понимал тепловую энергию именно в этом плане. Поэтому не следует полностью отвергать теорию теплорода, можно взять из неё то рациональное, что в ней имелось, и, в частности, использовать понятие “тепловая энергия”. И тогда движение теплового заряда оказывается следствием теплообмена системы с окружающей средой тепловой энергией.

2. В таблице 3 координатой состояния тепловой формы движения является тепловой заряд  $\Theta$ . Следовательно, появилась возможность применения уравнения состояния (1) для расчета динамического воздействия (разности потенциалов). Им естественным образом становится температурный напор  $\Delta T$ .

3. В работах [2,10] указывалось на то, что изменение теплового заряда может трактоваться и как изменение термодинамической энтропии. Но автор [6] указал на то, что при рассмотрении реальных необратимых процессов такая трактовка неверна. К этому выводу впоследствии пришли и авторы статей [9,15]. Поэтому в таблице 3 данной статьи нет упоминания об энтропии.

4. Термический поток  $\Phi_a$  представляет собой поток тепловых зарядов, тогда как тепловой поток  $\Phi$  в современной теории теплопередачи отражает лишь интенсивность теплообмена во времени.

5. Единицы ряда производных величин в таблице 3 отличаются от единиц СИ тем, что единица К (Кельвин) присутствует в них в квадрате. И это действительно иные физические величины, чем в таблице 2, ведь изменилась запись закона Фурье. Вместо “теплоемкости” появилась “термоёмкость”, отражающая интенсивность изменения теплового заряда в зависимости от изменения температурного напора. Коэффициент теплопроводности  $\lambda$  заменен на коэффициент термопроводности  $a$ .

В обеих таблицах (2 и 3) отсутствует столбец размерностей, имеются только столбцы единиц. Это связано с тем, что считать термодинамическую температуру естественной основной физической величиной нет оснований. Согласно статье [16] это условная основная физическая величина.

## **8. Замечания по поводу размерности и единицы термодинамической температуры**

Однако таблица 3 в том виде, в каком она была опубликована в статьях [2,3], как выясняется, тоже не лишена серьезного недостатка. Она не соответствует принципу последовательности, вытекающему из принципа причинности [5]. Этот недостаток особенно заметен при сравнении второй и третьей строк таблицы 3.

Разность потенциалов (температурный напор  $\Delta T$ ), присутствующая в третьей строке таблицы 3, определяется с помощью уравнения состояния (1) по приращению координаты состояния (по изменению теплового заряда  $d\Theta$ ), присутствующему во второй строке. Следовательно, единица теплового заряда  $\Theta$  не должна содержать в себе единицу температурного напора  $\Delta T$ . То есть единица теплового заряда не должна содержать в себе единицу К (Кельвин). А в таблице 3 это требование не соблюдено. Причиной подобной ситуации является неопределенность самой термодинамической температуры как физической величины.

БСЭ определяет термодинамическую температуру, как “физическую величину, характеризующую состояние термодинамического равновесия макроскопической системы”. Словарь Глоссарий.ру уточняет: температура – это ”физическая величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию частиц макроскопической системы”. Наконец, в справочнике [17] температура равновесной системы определяется как ”мера интенсивности теплового движения ее молекул (атомов, ионов)”.

Термодинамическая температура в метрологии отсчитывается по международным температурным шкалам. В шкале МПТШ-68, увязанной с циклом Карно и обратимым

термодинамическим процессом, в качестве единственной реперной точки была взята тройная точка воды [18]. Сейчас действительна шкала МТШ-90, в которой дополнительно присутствуют реперные точки других веществ.

Уровневая схема строения материи в функции от термодинамической температуры [19], подтверждаемая словарной статьёй "Основные виды материи" из БСЭ, показывает, что **вещество** занимает малую долю того, что сейчас в физике считают материей (всего 4,4%). Но именно для этой малой доли составлены современные температурные шкалы. Так имеются ли у нас основания судить с помощью этих шкал о температуре остальных более высоких уровней, называемых сейчас полем, темной материей и темной энергией? Шкала МПТШ-68, например, для областей температур выше 1337,58 К рекомендовала определять температуру в соответствии с законом излучения Планка, а не в соответствии с поведением идеального газа.

В молекулярно-кинетической теории газов температура входит в уравнение для кинетической энергии поступательного движения одного атома идеального газа

$$W_k = m\bar{u}^2/2 = 3kT/2, \quad (5)$$

где  $m$  – масса атома;  $\bar{u}$  – среднеквадратичная скорость атома;  $k$  – постоянная Больцмана. Из уравнения (5) следует, что выражение  $(kT)$  имеет единицу энергии. Поэтому постоянная Больцмана имеет в СИ единицу Дж/К, но только потому, что единицу К (Кельвин) присвоили термодинамической температуре  $T$ .

В однородном идеальном газе, находящемся при температуре  $T$ , энергия, приходящаяся на каждую поступательную степень свободы, как следует из распределения Максвелла, равна  $kT/2$ . Это приводит к важному выводу о том, что выражение  $(kT)$  может указывать на квантовый характер тепловой формы движения.

Видимо, не случайно во введении сайта [20] ВНИИМ им. Менделеева сказано следующее: "Поскольку понятие температуры тесно связано с усредненной кинетической энергией частиц, было бы естественным и в качестве единиц ее измерения использовать джоуль. Однако, энергия теплового движения частиц очень мала по сравнению с джоулем, поэтому использование этой величины оказывается неудобным. Тепловое движение измеряется в других единицах, которые получаются из джоулей посредством переводного коэффициента  $k$ ". То есть постоянная Больцмана является всего лишь переводным коэффициентом. И далее: "Температура – это искусственно введенный в уравнение состояния параметр".

По поводу априорного присвоения термодинамической температуре в СИ размерности  $\Theta$  и единицы К (Кельвин) в [21] сказано так: "Если температуре приписать свою особую размерность, например –  $\Theta$ , как это сделано в СИ, то практически теряется возможность выяснения ее физической сути (то, в чем измеряют, само не измеримо)". Еще категоричнее охарактеризована эта ситуация в монографии [22]: "Введение температуры, условной шкальной величины, в число основных явно преследует практическую цель – потрогать привычности и широкой распространенности термометра как измерительного прибора. Температура определяет кинетическую энергию молекул вещества и количество тепла. Введение основной единицы – Кельвина – приводит к сложной и труднопонимаемой физически размерности теплоёмкости  $L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$ , то есть энергии, поделенной на температуру... Между тем совершенно ясно, что физическая природа температуры – энергетическая, а единица Кельвин условна".

Нельзя обойти вниманием интересное предложение в работе [21]. Автор этой работы проанализировал 11 разных вариантов размерностей термодинамической температуры и связанных с ними размерностей теплоёмкости, энтропии и постоянных Больцмана, Стефана-Больцмана и Вина. Причины, по которым отвергались те или иные варианты размерности температуры, впрочем, не носят характер доказательств. "Наиболее

подходящим” считается вариант с размерностью температуры, равной размерности частоты колебаний, по следующим причинам:

**а)** достигается ”наибольшая наглядность в системных взаимосвязях тепловых и излучательных физических величин”, **б)** ”теплоемкость получает очень понятную размерность действия, равную произведению энергии на время”, **в)** объясняется ”повышение частоты динамических процессов внутри материальных образований при повышении их температуры и общее повышение частотности излучения при повышении температуры (закон смещения Вина)”.

### 9. Фундаментальные физические константы, связанные с температурой

С включением в СИ условной основной величины, называемой термодинамической температурой, взамен включения естественной основной величины (энергии) связано исторически появление постоянной Больцмана. Известно [23], что Л.Больцман измерял температуру в единицах энергии, что соответствовало  $k = 1$ . Да и сама постоянная Больцмана  $k$  введена не им самим, а позже в 1900 г. М.Планком. Первое значение постоянной Больцмана  $k = 1,346 \cdot 10^{-16}$  эрг/град подсчитано также М.Планком. В естественной системе единиц М.Планка единица  $k$  является единицей основной величины.

Определения постоянной Больцмана не однозначны. Справочник [17] определяет постоянную Больцмана, как отношение универсальной газовой постоянной  $R$  к постоянной Авогадро. А учебник по физике [24] определяет ее, как долю газовой постоянной  $R$ , приходящуюся на одну молекулу газа. При этом само значение газовой постоянной  $R$  получено экспериментально и приемлемо только для идеального газа.

Если в уравнении (5) посчитать размерность постоянной Больцмана, равной размерности энергии, то температура  $T$  окажется отношением двух значений энергии, то есть критерием подобия. Но в уравнении (5) можно и постоянную Больцмана трактовать, как константу подобия, если размерностью температуры посчитать размерность энергии.

Впрочем, у температуры к началу XX века уже имелись свои единицы и разные шкалы (Фаренгейта, Цельсия), а также имелась измерительная аппаратура. К ней и приспособили шкалу термодинамической температуры (шкалу Кельвина).

### 10. Квантовый характер тепловой формы движения

Автор [6] выдвинул идею о том, что тепловой заряд является квантуемой величиной, а также предложил гипотезу о квантовом характере тепловой формы движения и о существовании элементарного теплового заряда. Он назвал его **термоном** (подобно электрону в электрической форме движения), обозначил символом  $\tau$  и подсчитал его значение. Это значение оказалось примерно в 3 раза большим постоянной Больцмана (точнее, в 2,82 раза больше, или больше на 6,33%).

Согласно уравнению (5) постоянная Больцмана трактуется, как кинетическая энергия двух степеней свободы поступательного движения одного атома идеального газа. Из приведенных выше цифр следует, что термон можно было бы трактовать, как кинетическую энергию шести степеней свободы одной молекулы (трех линейных и трех угловых). А различие в 6,33% можно было бы считать неизвестной пока поправкой на то, что поведение молекулы реального газа отличается от поведения молекулы идеального газа. Если предположить, что постоянная Больцмана  $k$  является одной третью термона  $\tau$ , то вместо уравнения (5) можно было бы записать уравнение

$$W_k = \tau T / 2 . \quad (6)$$

При волновом механизме переноса тепловой энергии резонно считать кинетическую энергию  $W_k$  колебания молекулы половиной полной энергии колебания ( $\tau T$ ), так как второй половиной является потенциальная энергия колебания.



Сказанное приводит к выводу о том, что в тепловой форме движения существует свой квант, соответствующий одной степени свободы движения, с размерностью одной штуки [25]. Этот квант автор статьи [15] назвал тепловой частицей.

### 11. Тепловой заряд как координата состояния тепловой формы движения

Если принять в качестве основной величины единицу термодинамической температуры, то, согласно уравнению состояния (1) единица теплового заряда в СИ должна быть равна Дж/К. Именно такая единица теплового заряда и присутствовала в монографии [6], а затем была повторена в статьях [2,10]. Но, как уже было сказано выше, это нарушает принцип причинности.

Посмотрим на эту ситуацию с другой стороны. Согласно (1) для упорядоченной тепловой формы движения и в полном согласии с таблицей 3 можно записать уравнение

$$\Delta T d\Theta = \delta Q, (7)$$

где под приращением теплового заряда  $d\Theta$  будем понимать вошедшее в систему количество элементарных тепловых зарядов. И тогда мы приходим к любопытному выводу о том, что основная идея теории теплорода оказывается верной, если бы под координатой состояния процесса переноса теплорода понимался бы тепловой заряд.

В соответствии с такой интерпретацией поток тепловой энергии как раз и следует понимать, как поток тепловых зарядов. Именно тепловые заряды могут накапливаться в системе. Поэтому в тепловой форме движения энергоёмкость системы следует рассматривать, как ёмкость по отношению к тепловым зарядам, а не по отношению к количеству теплоты.

Короче говоря, выбраться из того заколдованного круга, в котором находится термодинамика из-за авторитарного решения о введении единицы К (Кельвин), не удастся, если не присвоить тепловому заряду  $\Theta$  собственную единицу, а единицу температуры определять по ней. Всё равно изменения в терминологии и метрологии тепловой формы движения при модификации закона Фурье неизбежны.

Пусть единица теплового заряда пока условно так и называется тз (тепловой заряд). Когда физики и метрологи придут, наконец, к согласию о необходимости признания теплового заряда, то название для его единицы будет найдено.

И тогда согласно принципу последовательности единица температуры должна будет быть равной Дж/тз. И таблица 3 преобразуется в таблицу 4 (“Движение теплового заряда”), в которой уже не будет единицы К (Кельвин). Такая вот таблица в укрупненном виде представлена в [26].

**Таблица 4. ДВИЖЕНИЕ ТЕПЛООВОГО ЗАРЯДА**

Наименование физической величины	Символ или формула	Единица измерений	
		расчетная	в СИ
Изменение тепловой энергии	$\delta Q$	Дж	Дж
Изменение теплового заряда	$d\Theta$	тз	-
Температурный напор	$\Delta T$	Дж/тз	К
Термический поток	$\Phi_a$	тз/с	-
Тепловое сопротивление	$\Delta T/\Phi_a$	Дж·с/тз <sup>2</sup>	-
Тепловая ёмкость	$\Delta\Theta/\Delta T$	тз <sup>2</sup> /Дж	-
Тепловая инертность	$\Delta T/(d\Phi_a/dt)$	Дж·с <sup>2</sup> /тз <sup>2</sup>	-
Тепловой поток	$\Phi = \Phi_a T$	Вт	Вт
Коэффициент теплопроводности	$a = \lambda T$	тз <sup>2</sup> /(м·Дж·с)	-

Таблица 4 отличается от таблицы 3 только столбцом единиц.

В таблице 4 по сравнению с таблицей 3 включена также еще одна физическая величина – “тепловая инертность“. В современной термодинамике такая физическая величина не рассматривается, хотя тепловая форма движения в реальных системах обладает большой инертностью. При расчетах процесса переноса теплоты учитывается только диссипативное сопротивление тепловому потоку. Введение в теорию теплопередачи “тепловой инертности“ поможет при необходимости рассчитать характер переходного процесса в тепловой форме движения и время его протекания, как бы велико оно не было.

Существующие в молекулярно-кинетической теории газов формулы сейчас не увязаны с “тепловой инертностью“ по той причине, что при исследовании термодинамических систем не применяется уравнение динамики, из которого можно было бы вычислить тепловую инертность.

Идеи автора [6] о модификации закона Фурье и о тепловом заряде, если бы они стали обсуждаться в период их опубликования, могли бы, возможно, уже привести в порядок теорию теплопередачи. Но эту проблему в термодинамике не обсуждают и сегодня, хотя в работах [2,3,9,10,11,12,13,15,25] приведены дополнительные доказательства правоты этих идей.

## **12. Какова же размерность теплового заряда и как его измерить?**

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в трех приведенных таблицах 2, 3 и 4 отсутствуют столбцы размерностей. В таблице 2 этот столбец не нужен, так как сама таблица не адекватна. Для таблицы 3 характерны размерности СИ, в том числе, размерность температуры, но сама таблица не соответствует принципу причинности.

А как же быть с таблицей 4? Если принять за основу трактовку теплового заряда, как кинетической энергии шести степеней свободы молекулы, то тепловой заряд должен иметь размерность энергии, а температура должна являться критерием подобия, то есть иметь размерность энергии в нулевой степени.

Что касается процесса практического измерения теплового заряда и создания для него измерительного эталона, то в данном случае придется, видимо, пойти по пути, избранном в метрологии для электрической формы движения. В практической метрологии, несмотря на признание первичности электрического заряда, измерительный эталон сделан для электрического тока. Так и в тепловой форме движения. Признавая первичность теплового заряда при систематизации физических величин, для практического измерения можно оставить измерительный эталон термодинамической температуры.

## **13. Термодинамическая энтропия не должна трактоваться как тепловой заряд**

Параметр состояния термодинамической системы под названием **энтропия** был введен в теорию равновесных и обратимых процессов Р.Клаузиусом в 1865 г., и он определяется уравнением

$$dS = \delta Q / T. \quad (8)$$

Следовательно, энтропия имеет в СИ единицу Дж/К, такую же, какую имеет тепловой заряд в таблице 3. Введение в термодинамику энтропии по замыслу Р.Клаузиуса должно было устранить недостатки теории теплорода при рассмотрении циклических процессов. На самом же деле оно ввергло термодинамиков в длительную непрекращающуюся дискуссию хотя бы потому, что равновесные и обратимые процессы присущи скорее термостатике, чем термодинамике, которая должна рассматривать неравновесные и необратимые процессы.

Л.Больцман придал энтропии в 1872 г. статистическое содержание, сделав ее пропорциональной безразмерной величине  $\sigma$ , отражающей степень упорядоченности движения в макроскопических системах. Величина  $\sigma = \ln P$ , где  $P$  – вероятность состояния системы. То есть  $\sigma$  – это не физическая величина, а математическая абстракция, имеющая общенаучное статистическое содержание. А для получения физической величины Л.Больцман умножил  $\sigma$  на размерный коэффициент  $k$ , названный впоследствии М.Планком постоянной Больцмана.

Величину  $S = k\sigma$  стали называть **термодинамической энтропией**, чтобы отличить ее от статистической энтропии, называемой часто **энтропией Больцмана**. В середине XX века в связи с бурным развитием теоретических основ кибернетики и информатики появилась **информационная энтропия**, называемая **энтропией Шеннона**. Она определяет критическое значение скорости "помехоустойчивой" передачи информации по конкретному каналу связи.

Понятие "энтропия" сейчас применяют и в космологии, и в науке о живой природе, и даже в лингвистике. Всё это подробно проанализировано в статье [27]. Там же подробно описана эволюция понятия "энтропия" в различных отраслях знания, в результате чего содержание этого понятия ушло далеко в сторону от того содержания, которое придал ему Р.Клаузиус. В настоящей же статье речь идет только о термодинамической энтропии в трактовке Р.Клаузиуса.

Автор [27] считает, что "в термодинамике энтропия является носителем тепловой формы движения, т.е. величиной, способной передаваться через границы системы в процессе теплообмена или массообмена между ней и окружающей средой". То есть в [27] термодинамическая энтропия практически отождествлена с тепловым зарядом.

Однако еще в монографии [6] указывалось, что термодинамическая энтропия может считаться координатой состояния тепловой формы движения только при равновесных обратимых процессах. Лишь в этом случае ее можно приравнять к тепловому заряду, но не отождествить с ним, ибо физическое содержание этих двух величин разное.

Из уравнения (7) следует, что приращение теплового заряда

$$d\Theta = \delta Q / \Delta T. (9)$$

Уравнение (9) принципиально отличается от уравнения Клаузиуса (7) тем, что  $\delta Q$  – это общее энергетическое воздействие на систему, а не изменение количества теплоты в трактовке теории теплорода. В знаменателе уравнения (9) находится приращение температурного напора  $\Delta T$ , а не абсолютное значение  $T$ , как в уравнении (7).

В таблице 4 [21] приращение  $\Delta T$  присутствует в соответствии с условием приращений [5]. Это исключает применение термодинамической энтропии в качестве координаты состояния при систематизации физических величин.

Наконец, единицей термодинамической энтропии является Дж/К, а тепловой заряд, как показано в таблице 4, должен иметь другую единицу. Нынешнее же совпадение единиц энтропии и теплового заряда в СИ – это совсем не повод считать эти две физические величины идентичными по содержанию.

Общим между тепловым зарядом и энтропией является лишь то, что обе эти величины не изменяются при адиабатических процессах. Поэтому процесс с постоянным количеством теплового заряда в системе можно считать также изоэнтропийным. Из этого следует, что  $TS$ -диаграммы, применяемые при расчетах термодинамических циклов в теплотехнике, можно, в принципе, заменить на  $T\Theta$ -диаграммы путем замены на оси абсцисс энтропии  $S$  на тепловой заряд  $\Theta$  и переделки методики использования диаграммы.

При необратимых процессах в системе может измениться количество заряда диссипативной формы движения вследствие переноса энергии любых упорядоченных форм движения в форму движения диссипации. Но тепловой заряд тепловой формы движения не является координатой состояния формы движения диссипации.

Нами составлена таблица 5, показывающая, как могут измениться определяющие уравнения для величин тепловой формы движения.

Таблица 5

Координата состояния тепловой формы движения			
Термодинамическая энтропия $S$		Тепловой заряд $\Theta$	
Наименование физической величины	Обозначение или формула	Наименование физической величины	Обозначение или формула
Изменение теплоты в системе	$\delta Q$	Воздействие тепловой энергии на систему	$\delta Q$
Изменение энтропии системы	$dS = \delta Q/T$	Приращение теплового заряда	$d\Theta$
Термодинамическая температура	$T$	Температурный напор	$\Delta T = (\delta Q/d\Theta)$
Теплоёмкость системы	$C = dQ/T$	Ёмкость по отношению к тепловому заряду	$C = \Delta\Theta/\Delta T$

Таблица 5 показывает те изменения в уравнениях, которые могут возникнуть при замене энтропии  $S$  на тепловой заряд  $\Theta$  в соответствии с таблицей 4.

### Литература

1. Olson H.F., 1943, Dynamical analogies. – New York, D. Van Nostrand Co. (Русский перевод: Ольсон Г., 1947, Динамические аналогии. – М.: ИЛ.)
2. Коган И.Ш., О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, 1998, 5, с.с. 30-43.
3. Коган И.Ш., Физические аналогии – не аналогии, а законы природы – 2004, – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html>
4. Коган И.Ш., Таблицы физических величин и схемы ЭСВП. – 2008, – <http://physicalsystems.narod.ru/index05.03.a.html>
5. Коган И.Ш., Условия успешной систематизации физических величин. – 2008, – <http://physicalsystems.narod.ru/index03.4.0.html>
6. Вейник А.И., Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 1968, 464 с.
7. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. – М.: Наука, 1965.
8. Коган И.Ш., Основы техники. Киров, КГПИ, 1993, 231 с.
9. Коган И.Ш., Не пришло ли время отказаться от применения терминологии и уравнений теории теплорода? – 2004, – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7646.html>
10. Ермолаев Д.С., Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – 2003, – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html>
11. Ермолаев Д.С., Обобщенные законы физики применительно к теплофизике. – 2004, – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7442.html>
12. Ермолаев Д.С. Обобщенные законы физики. – Актуальные проблемы современной науки. – 2008, №1(40) . – М: «Компания Спутник+»
13. Львов И.Г., Что такое тепловой заряд? – 2004, – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7339.html>
14. Львов И.Г., Что такое энергия? – 2003, – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6652.html>
15. Ермолаев Д.С. Тепловой заряд и обобщение теплофизики. – Актуальные проблемы современной науки. – 2008, №4(43), с. 89. – М: «Компания Спутник+»

16. Коган И.Ш., Природа размерности и классификация физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология“, 2011, **4**, с.с. 40-50.
17. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 1990, 624 с.
18. Чертов А.Г., Физические величины. – М.: Высшая школа, 1990, 336 с.
19. Пакулин В.Н., Структура материи (Вихревая модель микромира). – СПб, НТФ "Истра", 2011, 121 с.
20. Информационный портал по измерению температуры, 2007-2011, Введение – Понятие температуры и температурной шкалы. <http://temperatures.ru/mtsh/mtsh.php>
21. Чуев А.С., Система физических величин. Текстовая часть электронного учебного пособия. 2007, <http://www.chuev.narod.ru>
22. Конторов Д.С., Михайлов Н.В., Саврасов Ю.С., Основы физической экономики. (Физические аналогии и модели в экономике.) – М.: Радио и связь, 1999, 184 с.
23. Томилин К.А., Планковские величины, – 2001, – <http://www.ihst.ru/personal/tomilin/papers/tom00phil.pdf>
24. Савельев И.В., Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель, 2005.
25. Коган И.Ш., Число структурных элементов как основная физическая величина. – 2011, “Мир измерений“, **8**, с.с. 46-50.
26. Коган И.Ш., Таблица “Движение теплового заряда“. – 2008, – <http://physicalsystems.narod.ru/index05.03.tep.zar.html>
27. Эткин В.А., Многоликая энтропия. – 2006, – [http://zhurnal.lib.ru/e/etkin\\_w\\_a/mnogolikayaentropyja.shtml](http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/mnogolikayaentropyja.shtml)