

О РАЗМЕРНОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ В СИСТЕМЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

А.С. Чуев, МГТУ им. Н.Э. Баумана, E-mail: chuev@mail.ru

Аннотация: Приводится изображение и описание системы физических величин и закономерностей применительно к излучательным и тепловым величинам. Размерность температуры принята совпадающей с размерность частоты в системе СИ и этому даётся обоснование. Приводятся системные закономерности, требующие практической проверки.

Ключевые слова: Система физических величин и закономерностей, температура, излучательность, энергия.

Размерностная система физических величин и закономерностей (ФВиЗ) в размерностях системы СИ, предложенная автором достаточно давно [1-3], применительно к излучательным и тепловым величинам эта система имеет вид, представленный на рис. 1 [4].

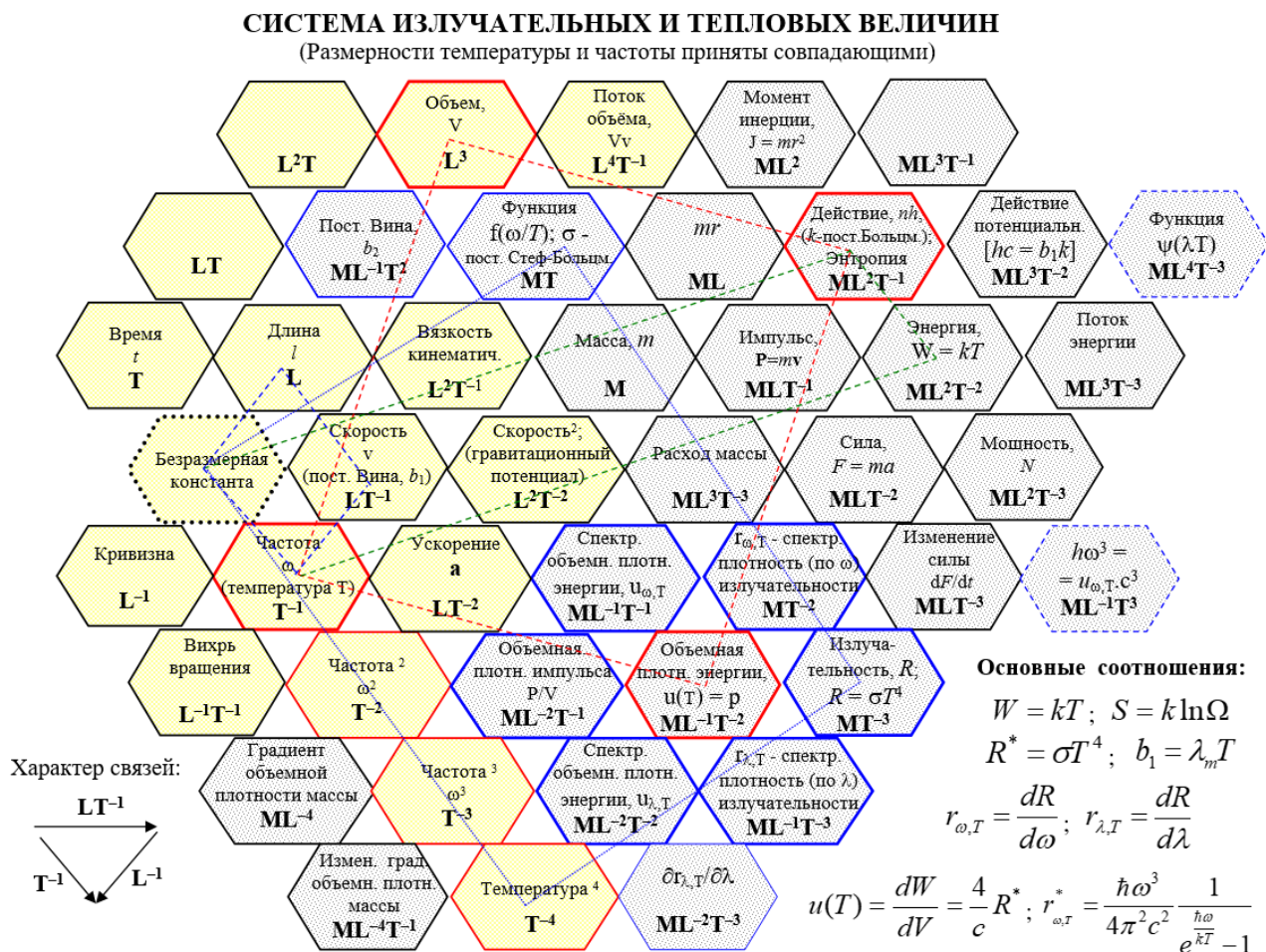


Рис.1. Система ФВиЗ с иллюстрацией некоторых закономерностей с участием температуры.

В отличие от системы СИ, где температура принята одной из основных физических величин (ФВ), в данной системе ФВиЗ температура принята совпадающей по размерности с частотой. Обоснованием этого стало, во-первых – трудность плоскостного изображения системы ФВиЗ при оставлении температуры в числе основных ФВ. Во-вторых, наличие первого закона смещения Вина (табл. 1), указывающего на константное соотношение температуры и частоты максимума излучательной способности для любых физических тел. В-третьих, если согласиться с общепринятым приписыванием температуре размерности, совпадающей с размерностью энергии, то системное изображение ФВ становится почти невозможным из-за наличия физических закономерностей, в которых температура присутствует с показателями от 1 до 5 (см. табл.1).

Системные связи таблицы 1 показывают связи температуры с другими ФВ. По этим связям можно судить о физическом смысле температуры.

Таблица 1. Физические закономерности с участием температуры.

Физическая закономерность	Математическое выражение	Примечание
Внутренняя энергия идеальных газов	$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$	
Уравнение Клайперона - Менделеева	$pV = \frac{m}{\mu} RT$	
Зависимость давления газа от концентрации и температуры	$p = nkT$	$k = \frac{m}{\mu} R ; n = N/V$ $k \approx 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов	$p = \frac{3}{2} n \langle \epsilon \rangle$	$\langle \epsilon \rangle = \frac{3}{2} kT$
Средняя скорость молекул	$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}$	m_0 – масса одной молекулы
Связь с энтропией (S)	$S = k \ln G ;$ $dS = dQ/T$	Q – теплота
Закон Стефана-Больцмана	$R^* = \sigma T^4$	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Закон смещения (первый закон Вина)	$b_1 = \lambda_m T = \frac{hc}{4,966 \cdot k}$	$b_1 = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Второй закон Вина (для $r_{\lambda_{\max}, T}$)	$r_{\lambda_{\max}, T} = b_2 \cdot T^5$	$b_2 = 1,287 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/(м}^3 \text{К}^5)$
Интегральная плотность энергии излучения фотонного газа	$u(T) = \frac{4\sigma}{c} T^4$	σ – постоянная Стефана- Больцмана
Давление фотонного газа	$p = \frac{4\sigma}{3c} T^4$	
Энтропия фотонного газа	$S = \frac{16\sigma}{3c} T^3 V$	

Анализ рисунка 1 и данных таблицы 1 показывает, что при присвоении температуре размерности энергии (ML^2T^{-2}), системное изображение физических закономерностей с размерностью температуры даже во второй степени (не считая ещё больших степеней от 3 до 5) становится практически невозможным. Поскольку система ФВиЗ не выдуманная, а выражает действующие в Природе законы, которые явно взаимосвязаны друг с другом и они безусловно первичнее отдельных ФВ (в Природе целое первее частей и каждая элементарная часть содержит целое), то признавать за температурой размерность энергии является очень сомнительным.

Поскольку в системе ФВиЗ по рис. 1 температуре придана размерность частоты, то тем самым ей придаётся и соответствующий физический смысл. Возможно, температура в отличие от частоты, может содержать в своей размерности и ещё что-то, например, быть объёмной плотностью частоты, но это тоже сомнительно с системных позиций. Системное расположение температуры от безразмерной константы более чем на одну позицию явно неприемлемо из-за наличия природных законов с показателями степени до 5 (см. табл.1). Даже показатель степени 2 означает, что ФВ будет расположена в системе от *безразмерной константы* на расстоянии в 2 раза большем, чем её расположение в степени 1. Если показатель степени при температуре в физических законах три и более, как это показано в таблице 1, то её системное расположение безусловно должно быть рядом с *безразмерной константой*.

Например, если *температуре* приписать размерность *энергии*, отстоящей в системе от *безразмерной константы* на довольно большом расстоянии, а такое предложение встречается во многих современных работах [5, 6], то закономерности даже с небольшим численным показателем 3 невозможно иллюстрировать в предлагаемой системе ФВиЗ.

В таблице 2, применительно к рассматриваемому системному представлению ФВ через MLT- параметры, приведено несколько возможных вариантов представления размерности *температуры* и показано – как при этом изменяются размерности других ФВ, связанных с температурой известными закономерностями. К таким ФВ относятся: *постоянная Больцмана* – k , *постоянные Вина* – b_1 и b_2 , *постоянная Стефана-Больцмана* – σ , *энтропия* – S и *теплоёмкость* – C [7].

В таблице 2 приведены возможные варианты размерностей *температуры* и какие размерности при этих вариантах получают другие ФВ. Варианты 1 и 2 – это отнесение температуры к динамическим общим базовым величинам, а остальные варианты – это отнесение температуры в кинематических общих базовых ФВ [1-3]. Связь *температуры* с базовыми (не полевыми) электромагнитными величинами не очень понятная, скорее всего, такой связи нет.

Таблица 2. Возможные размерности температуры и связанных с нею величин.

№ п/п	Температура	$b_1 = \lambda_m T$	$b_2 = \frac{\lambda_{\max}}{T^5}$	$k = \frac{Q}{T}$, (C; S)	$\sigma = R/T^4$, (dim R = MT ⁻³)	Примечание
1	ML ² T ⁻²	ML ³ T ⁻²	M ⁻⁵ L ⁻¹¹ T ¹⁰	–	M ⁻³ L ⁻⁸ T ⁵	Температура отнесена к динамическим общим базовым величинам
2	ML ⁻¹ T ⁻²	MT ⁻²	M ⁻⁵ L ⁶ T ⁹	L ³	M ⁻³ L ⁴ T ⁵	
3	–	L	L	ML ² T ⁻²	MT ⁻³	Температура отнесена к кинематическим общим базовым величинам, по этой причине: b_1 – кинематическая величина; k , C, S и σ – динамические величины, связанные с массой или энергией.
4	T ⁻¹	LT ⁻¹	LT ⁵	ML ² T ⁻¹	MT ⁻²	
5	LT ⁻¹	L ² T ⁻¹	L ⁻⁴ T ⁵	MLT ⁻¹	ML ⁻⁴ T	
6	LT ⁻²	L ² T ⁻²	L ⁻⁴ T ¹⁰	ML	ML ⁻⁴ T ⁵	
7	L ² T ⁻²	L ³ T ⁻²	L ⁻⁹ T ¹⁰	M	ML ⁻⁸ T ⁵	
8	T	LT	LT ⁻⁵	ML ² T ⁻³	MT ⁻⁷	
9	T ⁻²	LT ⁻²	LT ¹⁰	ML ²	MT ⁵	
10	L ⁻¹ T	T	L ⁴ T ⁻⁵	ML ³ T ⁻³	ML ⁴ T ⁻⁷	
11	LT	L ² T	L ⁻⁴ T ⁻⁵	MLT ⁻³	ML ⁻⁴ T ⁻⁷	

Размерность *излучательности* (энергетической светимости) - R в системе СИ определяется вполне однозначно (dim $R = \text{MT}^{-3}$). Таким образом, *излучательность* не зависит от выбора размерности температуры и может служить одной из реперных величин, определяющих её размерность.

Таблица 2 показывает, что *постоянная Больцмана*, *теплоёмкость* и *энтропия* имеют одинаковую размерность при любом выборе размерности температуры из числа кинематических величин. Данные таблицы 2 также показывают, что лишь в вариантах с третьего по пятый *постоянная Стефана-Больцмана* - σ и *вторая постоянная Вина* – b_2 , как самостоятельные физические величины, получают достаточно разумную размерность.

Вариант под номером 1, в физических публикациях наиболее распространён, но он достаточно подозрителен из-за присутствия *массы* (M) в размерности *температуры*. Как мы знаем *температура*, хотя и выражает определённым образом внутреннюю *энергию* физических тел, но не является ни *энергией*, ни *объёмной плотностью энергии* (*давлением*), а от *массы* и *объёмной плотности массы* и вовсе не зависит. Кроме того, температура не является аддитивной величиной, поэтому приравнять её к энергии никак нельзя. Понятия *парциальной температуры*, по аналогии с *парциальным давлением*, тоже не существует.

Для достижения наибольшей наглядности в системных взаимосвязях *тепловых* и *излучательных* ФВ по рис. 1, а также с целью наилучшего выражения размерностью их физического смысла, наиболее приемлемым представляется четвёртый вариант таблицы 2.

Здесь *теплоёмкость* получает очень понятную размерность *действия*, равную произведению *энергии* на *время*. Действительно, *тепло* это *энергия*, а *теплоёмкость* веществ определяется ещё и величиной своеобразной «ёмкости» для энергии – это *время* отдачи и приёма *энергии*. Один из выделенных параллелограммов рис. 1 иллюстрирует это соотношение.

Температура в данном варианте получает размерность *частоты*, что подтверждается повышением *частоты* динамических процессов внутри материальных образований при повышении их *температуры* и смещением в сторону больших частот максимума спектральной (по частоте) плотности теплового *излучения* при увеличении *температуры* (закон смещения Вина) [7]. Кроме того, ступенчатое изменение *теплоёмкости* от *температуры* (например, рис. 97.6 учебника Савельева И.В. [8]) с ростом температуры объясняется включением дополнительных более высокочастотных степеней свободы (вращательных и колебательных движений) внутри молекул.

Система ФВиЗ с преимущественным показом излучательных ФВ, системных и формульных закономерностей дополнительных к показанным на рис. 1, приведена на рис. 2.

Система излучательных физических величин

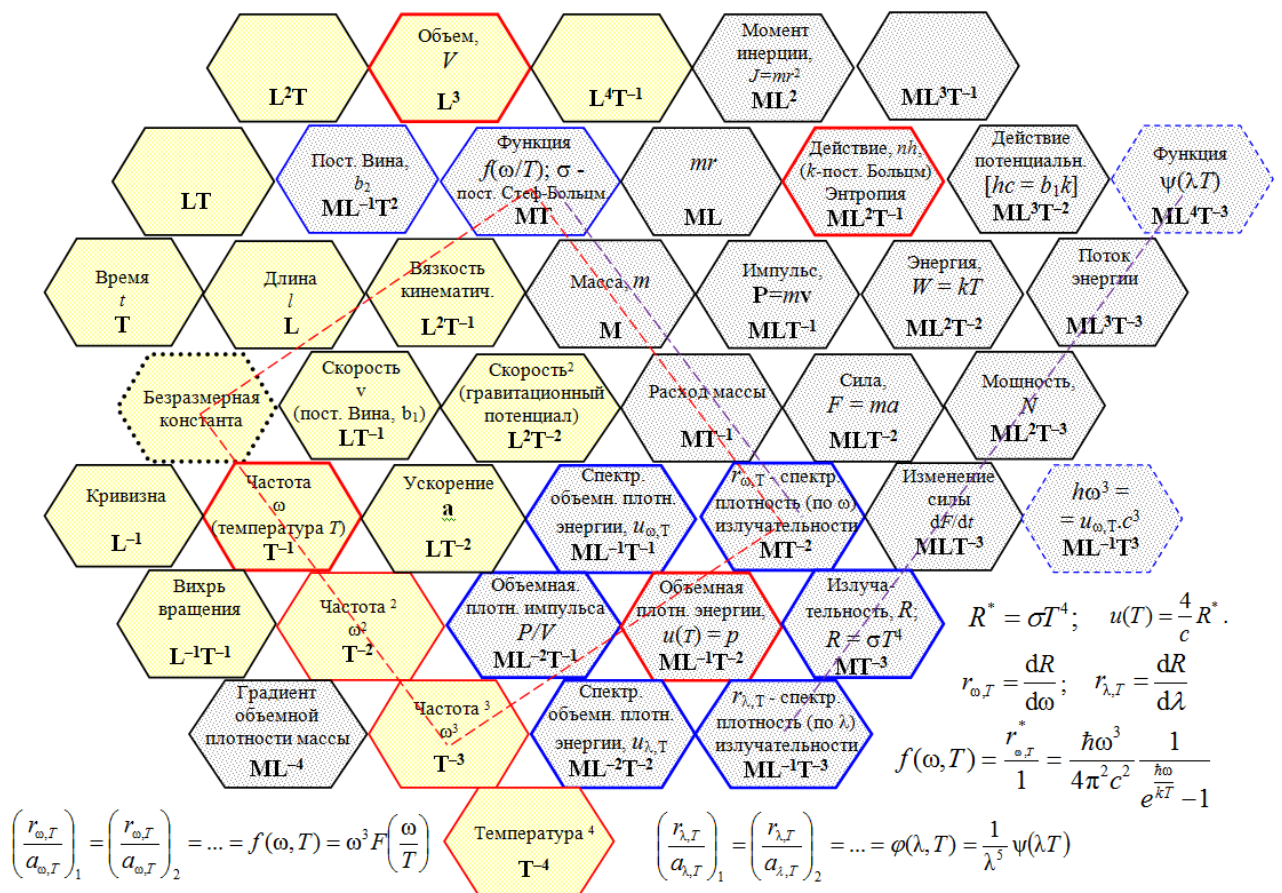


Рис. 2. Система ФВиЗ с преимущественным показом излучательных величин.

Подобная размерность температуры (T^{-1}) встречается и у других. В работе И.Ш. Когана [9], приводится вот такое соотношение единиц измерения температуры и частоты: $1\text{К} = 103,45\text{ ГГц}$. Это значение определено из закона смещения Вина.

Теперь приведём несколько слов о системных закономерностях с участием температуры. Система ФВиЗ обладает особым, присущим только системам данного типа свойством, выражающемся в равенстве размерностных отношений двух смежных (или равенстве произведений размерностей двух противоположащих) элементов системы, располагаемых в вершинах выделенного параллелограмма.

Иллюстрации некоторых закономерностей из области тепловых и излучательных величин с помощью выделенных параллелограммов и выделенных линий приводятся на рисунках 1 и 2. Самый крупный параллелограмм рисунка 1 показывает, что *излучательность* (R) равна *постоянной Стефана-Больцмана* (σ), умноженной на *температуру в четвертой степени* (T^4). Сместив одну из сторон этого выделенного параллелограмма на *спектральную плотность излучательности* $r_{\omega,T}$, можно обнаружить (см. рис. 2), что последняя равна произведению *третьей степени частоты* (ω^3) на функцию $f(\omega/T)$, конкретный вид которой термодинамическими методами установить нельзя (формула 1.9 источника [7]). Эта же закономерность изображена на рисунке 2 повторно в виде пунктирной линии, соединяющей функцию $f(\omega/T)$ и $r_{\omega,T}$. Умножение на частоту эквивалентно перемещению по диагонали.

Иллюстрация подобной закономерности с участием *спектральной плотности излучательности* по длине волны - $r_{\lambda,T}$ и соответствующей ей функции $\psi(\lambda,T)$, изображена на рисунке 2 другой пунктирной линией. Связь эта осуществляется через длину волны λ в пятой степени. Функция $\psi(\lambda,T)$ обозначена на рис. 2 пунктирным изображением системного элемента с размерностью ML^4T^{-3} . Системная связь соответствует формуле 4.4 учебника [8]).

На рис.1 небольшим выделенным параллелограммом показан закон смещения Вина ($b_1 = \lambda_m T$), именуемый первым законом Вина. Продлив мысленно частотно-температурную последовательную цепь ФВ, идущей от *безразмерной константы* до T^5 можно обнаружить второй закон Вина, связывающий максимальное значение *спектральной плотности излучательности* $r_{\lambda_{\max},T}$ с *температурой* в пятой степени ($r_{\lambda_{\max},T} = b_2 T^5$). В системе легко обнаруживаются широко известные соотношения *энергии и температуры* ($W = kT$), *излучательности* R и *энергии* W .

Система ФВиЗ позволяет отображать не только известные соотношения, но и целенаправленно искать новые. Например, на представленных рисунках с помощью выделенных параллелограммов можно обнаружить интересную закономерность, которая выполняется при любой размерности *температуры*, то есть всегда. Произведение

размерностей двух констант: *постоянной Больцмана* – k и *постоянной Вина* – b_1 равно произведению *постоянной Планка* – h на *скорость света* – c . Элемент системы, соответствующий последнему произведению можно назвать *потенциальным действием*, поскольку физическая величина, соответствующая данному элементу системы по размерности равна произведению *силы* на *площадь* и присутствует в большинстве силовых законов, присущих потенциальным полям.

Другой пример. При принятой размерности *температуры*, её произведение на *спектральную объёмную плотность энергии* ($u_{\omega,T}$) даёт *объёмную плотность энергии* ($u(T) = u_{\omega,T}T$). Действительно ли выполняется эта закономерность и при каких значениях температуры – интересный вопрос, требующий отдельного самостоятельного исследования.

Третий пример. По рис. 2 можно заметить, что произведение двух *постоянных Вина* должно давать *постоянную Стефана-Больцмана*. Возможно, это новая закономерность. Проверка показала, что в системе СИ указанная закономерность соблюдается с небольшим поправочным числовым коэффициентом, примерно равным 1,52. В таблице 1 можно найти подтверждение этой закономерности при любой размерности *температуры*.

Определённый исследовательский интерес представляет собой изучение взаимосвязи функций $f(\omega/T)$ и $\psi(\lambda,T)$. Их размерности связаны через *скорость* (скорее всего это скорость света) в четвертой степени.

В заключение отметим, что в рассматриваемой системе природные закономерности выражаются не в виде соотношения наименований или буквенных обозначений ФВ, а в виде соотношения их размерностей. Поэтому надо иметь в виду, что реальные природные закономерности могут иметь числовые коэффициенты типа двойки, присутствующей в известном выражении для кинетической энергии или постоянной тонкой структуры (α), присутствующей во многих соотношениях атомной физики.

Отметим также, что в размерностной системе ФВиЗ иллюстрировать природную закономерность способен не любой выделенный параллелограмм, а лишь тот, который соответствует определённому правилу. По рис.1 и рис.2 это правило легко выявить: выделенный параллелограмм системы выражает (или должен выражать) определённую закономерность, если только два смежных или все четыре элемента, располагаемых в его вершинах, принадлежат одному и тому же системному уровню.

Вывод: наиболее подходящей размерностью температуры, при включении её в систему ФВиЗ или возможном исключении из числа основных, является размерность частоты, что указывает и на близость их физической сущности.

Литература:

1. Чуев А.С. Система физических величин и закономерных размерностных взаимосвязей между ними. / «Законодательная и прикладная метрология». № 3, 2007, с. 30-33.
2. Чуев А.С. Системный подход в физическом образовании инженеров / Наука и образование. - Электронное научно-техническое издание МГТУ им. Н.Э. баумана. 77-30569/299700, <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17651036> , 2 февраля 2012 г.
3. Чуев. А.С. О системе СИ и других возможных системах единиц с позиции общей системы физических величин и закономерностей / Журн. «Законодательная и прикладная метрология». № 5, 2014. С. 44-49.
4. Чуев А.С. О размерности температуры в системном представлении физических величин / Сборник трудов конференции 2019 г. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38098333>.
5. Коротаев С.М., Морозов А.Н, Нелокальность диссипативных процессов – причинность и время. М., ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 256 с.
6. Калинин М.И., Кононогов А.С. Постоянная Больцмана, энергетический смысл температуры и термодинамическая необратимость. / Измерительная техника, №7, 2005, с. 5-8.
7. Мартинсон Л.К., Смирнов Е.В. Квантовая физика: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
8. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х томах. Т1. Механика. Молекулярная физика. – 3-е изд., испр. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.
9. Коган И.Ш. Размерность и единица термодинамической температуры. / Мир измерений. № 6, 2013, с. 46-49.