

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА С ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНЫМ ЭКСТЕНСИВНЫМ ОБЪЕМОМ¹

© Даныльченко П.
ГНПП «Геосистема», г. Винница, Украина
Контакт с автором: pavlo@vingeo.com

Рассмотрены основные дифференциальные уравнения релятивистской термодинамики в контравариантном и ковариантном представлениях. Вскрыта физическая сущность как релятивистских температур Планка и Отта, так и взаимодополняемых контравариантных и ковариантных релятивистских значений и других термодинамических параметров и характеристик вещества. Обоснована неинвариантность релятивистских значений давления.

PACS: 03.30.+p, 05.70.-a

Введение

Присущие классической физике обыденные представления об абсолютности одновременности событий, а также об однозначности, как понятия времени², так и определения пространственного объема, занимаемого движущимся веществом, существенно препятствуют построению наиболее совершенного релятивистского обобщения термодинамики. Сугубо логико-математический подход к решению проблем, не позволяющих достичь полного взаимного согласования термодинамики, специальной (СТО) и общей (ОТО) теорий относительности, принципиально не в состоянии обеспечить положительный результат теоретических исследований. Для успешного достижения цели необходимо философски переосмыслить многие наши физические представления, которые лишь воспринимаются как окончательно устоявшиеся и незыблемые а, на самом деле, такими не являются. В данной работе как раз и предпринята попытка построения релятивистской термодинамики на основе отказа от некоторых догм, присущих не только классической физике, но и известным релятивистским обобщениям термодинамики.

Считается, что СТО сама по себе не приводит к однозначному понятию температуры, отнесенной к движущемуся веществу [1, 2]. Поэтому известно несколько релятивистских обобщений термодинамики с лоренц-инвариантным давлением. В первую очередь это релятивистские термодинамики Планка – Хазенорля [3–5] и Отта [6], которые хотя одинаково и основываются на лоренц-инвариантности энтропии и давления, однако, используют существенно отличающиеся друг от друга преобразования температуры и теплоты [2, 7]. Согласно Планку и Хазенорлю движущееся тело «холоднее» неподвижного. Согласно же преобразованиям Отта движущееся тело, наоборот, «горячее» неподвижного [1]. Термодинамика с лоренц-инвариантной релятивистской температурой [1, 8] привлекательна тем, что в ней температуры фазовых переходов остаются внутренними свойствами веществ, как и в обычной (классической) термодинамике. Однако ее уравнения не приводят к преобразованию энергии излучения, соответствующему релятивистскому доплеровскому смещению частоты излучения.

В большинстве релятивистских обобщений термодинамики в качестве дополнительного экстенсивного параметра используется импульс движущегося вещества. Однако, в отличие от

¹ Русская версия статьи “Relativistic thermodynamics with Lorentz-invariant extensive volume” из журнала “Spacetime&Substance”, 2006, №1 (доработанный вариант статьи из сборника Sententiae, Філософія і космологія, спецвыпуск № 2. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – С. 27 – 41, <http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/RTold.pdf>).

² В ОТО различают стандартное и координатное времена. Аналогично и в СТО следует различать релятивистское стандартное (путиподобное) время, определяющее «индивидуальные возраста» объектов вещества, и координатное время, задающее в пространстве кинематику и динамику движения этих объектов.

механики, в релятивистской термодинамике принято считать, что этот импульс пропорционален энтальпии H вещества [1, 9, 10], а не внутренней энергии U , эквивалентной собственному значению его массы. И поэтому он образует четырехвектор с гамильтонианом энтальпии, а не с гамильтонианом энергии вещества [1, 10]. А так как даламберова псевдосила инерции³ является величиной производной от импульса, то в качестве меры инертности вещества фактически предлагается использовать не массу, а энтальпию вещества.

В некоторых релятивистских обобщениях термодинамики, наряду с инвариантным давлением, предложены и не инвариантные формы релятивистского давления, учитывающие наличие у движущегося тела, как механического импульса [9], так и теплообмена [11, 12].

1. Неэкстенсивность релятивистского молярного объема

Принципиально возможны два «равноправные» релятивистские значения молярного объема вещества, движущегося со скоростью $v=dx/dt$ во внешней системе отсчета пространственных координат и времени (СО). Это лагранжев объем $V_R = V/\Gamma$, который в обычном трехмерном пространстве занимают мировые точки движущегося вещества, соответствующие одному и тому же моменту времени t внешней СО, и гамильтонов объем⁴ $V_R^* = V\Gamma$, который в этом пространстве занимают мировые точки движущегося вещества, соответствующие одному и тому же моменту релятивистского стандартного времени t^* (тождественного собственному времени t_0 вещества) а, следовательно, соответствующие и одному и тому же коллективному пространственно-временному состоянию этого вещества [13, 14]. Здесь: V – значение молярного объема вещества в сопутствующей ему СО (собственное значение молярного объема); $\Gamma=(1-v^2/c^2)^{-1/2}$ – релятивистское замедление течения физических процессов и времени в движущемся веществе; c – постоянная (собственное значение) скорости света.

В классической термодинамике собственное значение молярного объема $V(S, p)$ является строго экстенсивным параметром и его изменение сказывается на изменении энтальпии а, следовательно, и на скорости протекания физических процессов в веществе не непосредственно, а лишь через изменения энтропии S и собственного значения давления p . Релятивистские же значения молярного объема V_R и V_R^* не являются строго экстенсивными параметрами и, поэтому, принципиально не могут быть эквивалентными нерелятивистскому (собственному) значению молярного объема V . Релятивистское сокращение длины а, следовательно, и молярного объема V_R направлено на обеспечение изотропности частоты электромагнитного взаимодействия молекул, атомов и элементарных частиц вещества а, тем самым, и на обеспечение изотропности скорости протекания физических процессов в движущемся веществе [13, 14]. Поэтому его изменение и влияет не косвенно, а непосредственно на релятивистское значение энтальпии и на темпы протекания, как физических процессов, так и собственного времени движущегося вещества. К тому же релятивистское уменьшение молярного объема вещества не сопровождается преодолением

³ Полное термодинамическое значение механической псевдосилы инерции, учитывающее в планковской термодинамике затраты энергии не только на увеличение импульса вещества, но и на релятивистское сокращение геометрического объема (псевдосжатие) этого вещества, вблизи нулевого значения скорости движения вообще пропорционально $(2H-U)$. Например, у одноатомного идеального газа оно более чем в два раза (в 7/3 раз) превышает значение псевдосилы инерции, устанавливаемое классической механикой. Так как это не подтверждается никакими экспериментами, то основывающиеся на данных физических представлениях релятивистские обобщения термодинамики нельзя рассматривать как соответствующие физической реальности.

⁴ Гамильтонов объем является отображением на обычное трехмерное пространство объема, занимаемого одним молекул вещества на трехмерной пространственно-подобной гиперповерхности, являющейся сечением пространства Минковского при $t^*=const$. Его значение определяется скоростью распространения $u=c^2/v$ во внешней СО фронта собственного времени t_0 движущегося вещества. То, что в релятивистских обобщениях термодинамики преимущественно используется не гамильтонов, а лагранжев объем, является следствием классических представлений об абсолютности одновременности событий и связано с игнорированием неодновременности в разных точках пространства несопутствующей веществу СО одного и того же коллективного пространственно-временного состояния этого движущегося вещества.

каких-либо сил сопротивления ему⁵ и, следовательно, происходит инерциально и строго согласованно с изменением скорости движения вещества. Поэтому то релятивистское сокращение длины тела и молярного объема его вещества и рассматривается в СТО как чисто кинематический эффект, не сопровождающийся затратой энергии на выполнение работы по релятивистскому «самосжатию» вещества. И если бы энергия затрачивалась не только на увеличение импульса вещества, но дополнительно еще и на релятивистское его «самосжатие», то при чисто динамическом рассмотрении движения, не учитывающем этих дополнительных затрат энергии, закон сохранения энергии в механике не выполнялся бы.

Все это является достаточно веским основанием для использования и в релятивистских уравнениях равновесного состояния вещества лишь строго экстенсивного значения молярного объема: $(V_R^* \cdot V_R)^{1/2} = V$, тождественного собственному значению молярного объема в классической термодинамике⁶. Следствием лоренц-инвариантности строго экстенсивного значения молярного объема является и лоренц-инвариантность, как плотности энергии⁷ ε , так и эквивалентной ей плотности массы $\mu = \varepsilon/c^2$.

Это позволяет дать наиболее простое определение лагранжиана (согласно [9], переносимой телом внутренней энергии вещества U_R): $L = -U_R = -\varepsilon V_R = -\varepsilon V/\Gamma$ и гамильтониана (сохраняющейся при инерциальном движении тела полной энергии его вещества⁸): $U_R^* = \varepsilon V_R^* = \varepsilon V\Gamma$. Лагранжиан является контравариантной, а гамильтониан – ковариантной компонентами четырехимпульса вещества. Они соответствуют сопряженным пространствам. Лагранжиан соответствует контравариантному псевдоевклидову пространству Минковского и характеризует замедление $(dt = \Gamma(ds)_{x_0} = \Gamma dt^* = \Gamma(dt_0)_{x_0})$ протекания физических процессов в веществе а, следовательно, и в точках сопутствующего веществу пространства⁹ ($dx_0 = 0$). Гамильтониан же соответствует ковариантному евклидову четырехмерному пространству, в котором скорость движения вещества и скорости протекания в последнем физических процессов определяются внешним наблюдателем не по своим часам, а по сопутствующим веществу часам. По часам же внешнего наблюдателя он характеризует ускорение $((dt)' = (ds)_x = dt^*/\Gamma)$ протекания физических процессов непосредственно в пространстве, в котором покоится наблюдатель ($dx = 0$). Ведь, исходя из того, что элементарные частицы вещества являются немеханически самовозбужденными микросостояниями неувлекаемого движением физического вакуума («моря» Дирака) [13, 14,

⁵ Жесткое тело, практически не поддающееся деформированию в статике сколь угодно большой силой, подвержено релятивистской деформации под действием ускоряющей его движение значительно меньшей силы. И, следовательно, релятивистское самосокращение молекулярного объема вещества является не результатом действия на него каких-либо сил, а адаптацией молекул, атомов и элементарных частиц этого вещества к изменившимся условиям их взаимодействия. Это также может рассматриваться и как реакция самоподдерживающихся волновых пакетов (солитоноподобных спирально-волновых образований), соответствующих элементарным частицам вещества, на возрастание скорости их распространения.

⁶ Это, однако, вовсе не означает, что релятивистские значения молярного объема V_R и V_R^* являются невостребованными в релятивистской термодинамике. Они используются при переходе от пространственных плотностей термодинамических характеристик к интегральным значениям этих характеристик. При этом, так как самоорганизация равновесных термодинамических состояний происходит квазисинхронно в собственном времени t_0 движущегося вещества, то в ОТО, рассматривающей процессы и результаты самоорганизации пространственно неоднородных равновесных состояний вещества, интегрирование, как правило, ведется по V_R^* , а не по рассматриваемому обычно в релятивистской термодинамике лагранжеву релятивистскому объему V_R . Тем самым определяется интегральное значение полной энергии U_R^* , соответствующее одному и тому же коллективному пространственно-временному состоянию вещества.

⁷ Лоренц-инвариантными являются именно плотности релятивистской энергии и эквивалентной ей релятивистской массы, а не плотность количества вещества. Ведь в разных по величине лагранжевом и гамильтоновом молярных объемах содержится одно и то же количество молекул вещества.

⁸ Рассматривание в качестве полной энергии не контравариантной, а ковариантной временной компоненты четырехимпульса позволяет избежать в ОТО проблемы несохранения полной энергии и не рассматривать разницу контравариантного и ковариантного общерелятивистских значений энергии как энергию, коллективизированную в гравитационном поле [15].

⁹ Следует отличать наблюдаемое во внешней СО сторонним наблюдателем сопутствующее движущемуся веществу (т.е. движущееся вместе с ним) пространство от неподвижного в сопутствующей веществу СО собственного пространства этого вещества.

16], все физические процессы, и в том числе само движение (рассматриваемое в квантовой физике как квантовый процесс последовательной смены пространственно-временных состояний микрообъектов вещества а, следовательно, и микросостояний физического вакуума) можно рассматривать как происходящие непосредственно также и в несопутствующем веществу пространстве. Здесь $(ds)_{x_0}$ – приращение интервала между мировыми точками событий, равное, ввиду $dx_0=0$, приращению собственного времени вещества а, следовательно, и приращению $dt^*=dt/\Gamma$ релятивистского стандартного времени, отсчитываемого во внешней СО по сопутствующим веществу часам, а $(ds)_x$ – приращение интервала между мировыми точками событий, равное, ввиду $dx=0$, приращению времени t СО, в которой наблюдается движение этого вещества. Следует отметить, что эффективные значения плотностей рассмотренных здесь релятивистских энергий: $\varepsilon_R=U_R/V=\varepsilon/\Gamma$ и $\varepsilon_R^*=U_R^*/V=\varepsilon\Gamma$, конечно же, не являются лоренц-инвариантными.

2. Неинвариантность давления

В соответствии с теоремой Нётер [17] закон сохранения энергии является следствием наличия симметрии у времени и его соблюдение возможно лишь при однородности времени. Эта однородность времени проявляется в инвариантности физических законов относительно изменения начала его отсчета и обеспечивается использованием для его изменения равномерной шкалы, по которой темпы протекания физических процессов в веществе в идентичных его термодинамических состояниях в любой момент времени являются одинаковыми. В соответствии с этим имеет место взаимная дополнительность энергии и времени, декларируемая принципом дополнительности Бора и проявляющаяся в наличии гейзенбергова соотношения неопределенностей этих физических характеристик.

В системе единиц измерения физических величин, базирующейся на безразмерности постоянной Планка $\hbar$ и, тем самым, отражающей наличие взаимной дополнительности энергии и времени, размерность давления $[\text{сек}^{-1}\text{м}^{-3}]$ указывает на следующее. В несопутствующей веществу СО стороннего наблюдателя его значение, как и значение энергии (имеющей размерность $[\text{сек}^{-1}]$) непременно должно зависеть от темпа течения времени в этой СО. Так согласно ОТО в жестких СО возможна лишь пропорциональная синхронизация часов, темпы течения времени по которым в точках пространства с разными значениями гравитационного потенциала являются не одинаковыми. В соответствии с этим значение давления в какой-либо одной и той же точке j такого физически неоднородного пространства определяется темпами протекания физических процессов не только в этой точке, но и в точке i , из которой ведется наблюдение [16]: $j^i p = j^i v_{ci} p = (v_{cj}/v_{ci}) p$. Здесь v_{cj} и v_{ci} – задаваемые гравитационным полем несобственные гравитарические (координатные [10]) значения скорости света соответственно в точках j и i вещества, находящегося в пространственно неоднородном равновесном термодинамическом состоянии [15, 18]. Поэтому, если мы хотим, чтобы давление в веществе осталось интенсивным параметром¹⁰, его релятивистское значение должно быть неодинаковым в разных ИСО, движущихся относительно этого вещества с неодинаковыми скоростями, и должно преобразовываться точно также как и все остальные интенсивные параметры. И, следовательно, релятивистское значение давления в движущемся веществе, определяемое в пространстве Минковского и при этом фактически относимое к сопутствующему этому веществу пространству, должно быть во столько же раз меньше его собственного значения, во сколько раз меньше наблюдаемая сторонним наблюдателем скорость протекания физических процессов в этом веществе а, следовательно, и в сопутствующем ему пространстве: $p_R = p/\Gamma$. Релятивистское же значение давления в веществе, определяемое в ковариантном мировом пространстве и при этом относимое к покоящемуся трехмерному пространству наблюдателя движения этого вещества, должно быть, наоборот, во столько же раз больше его собственного

¹⁰ В планковской термодинамике релятивистские молярный объем и давление фактически как бы поменялись ролями. В процессе релятивистских преобразований молярный объем стал «вести себя» как интенсивный параметр, а давление стало «вести себя» как экстенсивный параметр.

значения: $p_R^* = p\Gamma$. Ведь в несопутствующей веществу СО стороннего наблюдателя физические процессы в точках этого пространства протекают быстрее, чем в сопутствующей веществу СО. И это происходит во столько же раз быстрее, во сколько раз медленнее эти процессы протекают в веществе для стороннего наблюдателя, чем для наблюдателя, покоящегося в сопутствующей веществу СО. Представление же об лоренц-инвариантности давления связано с заменой в релятивистских дифференциальных уравнениях равновесного состояния вещества экстенсивного значения его молярного объема V на не строго экстенсивное лагранжево значение V_R этого объема.

3. Основные дифференциальные уравнения релятивистской термодинамики в контравариантном представлении

Обычно уравнения релятивистской термодинамики задаются в координатах контравариантного мирового пространства (пространства Минковского) и, поэтому, ковариантное релятивистское значение энергии (гамильтониан) выражается не через ковариантное релятивистское значение энтальпии $H_R^* = H\Gamma$, а через контравариантные релятивистские значения энтальпии $H_R = H/\Gamma$ и термодинамических параметров, отнесенных к движущемуся веществу:

$$U_R^* = U_R + P^*v = (H_R - Vp_R) + P^*v, \quad U_R^* dt - P^* dx = U_R dt = (H_R - Vp_R) dt = U dt^*.$$

Здесь, с учетом всего нами ранее изложенного, полная релятивистская энергия $U_R^* = U\Gamma$ (гамильтониан) и ковариантное значение механического импульса вещества¹¹:

$$P^* = -(\partial U_R / \partial v)_{S, V} = w/v = U\Gamma v / c^2 = U_R^* v / c^2,$$

аналогично его внутренней энергии U , напрямую не зависят от давления и, поэтому, являются строго экстенсивными характеристиками. При этом приращение гамильтониана, как и приращение внутренней энергии, определяется приращениями лишь строго экстенсивных параметров:

$$dU_R^* = (TdS - pdV)\Gamma + U_R^* d\ln\Gamma = T_R dS - p_R d(\Gamma V_R) + v dP^* = T_R dS - p_R dV + v dP^*$$

и никакая работа по релятивистскому «самосжатию» вещества не выполняется. Здесь: $w = vP^* = U\Gamma v^2 / c^2$ – внешняя энергия (энергия переноса [9]) вещества, а $T_R = T/\Gamma$ – контравариантное релятивистское значение температуры (температура Планка [1, 2, 5]) движущегося вещества.

В отличие от планковского импульса, непосредственно не зависящий от давления механический импульс $P^* = U_R^* v / c^2$ совместно с гамильтонианом U_R^* образуют четырехимпульс. И для этого не требуется наложения каких-либо особых ограничений на зависимость координатного (гравитарического [15]) значения скорости света v_c в веществе от термодинамических параметров этого вещества¹². Даламберова же псевдосила инерции также, как и в механике, непосредственно не зависит от давления в веществе и может быть представлена в калибровочно-инвариантном виде:

$$\mathbf{F}_{in} = -(\partial \mathbf{P}^* / \partial t)_{S, V} = -(\partial U_{Rg}^* / \partial t)_{S, V, v_c} \cdot d\Gamma / d\mathbf{x} = -(U_{Rg}^*) d\ln\Gamma / d\mathbf{x},$$

как и гравитационная псевдосила¹³:

$$\mathbf{F}_g = -(\partial U_{Rg}^* / \partial v_c)_{S, V, \Gamma} \cdot \text{grad} v_c = -U_{Rg}^* \cdot \text{grad}(\ln v_c),$$

где: $U_{Rg}^* = U_R^* \cdot v_c / c = U\Gamma v_c / c$ – сохраняемая ($\Gamma v_c = \text{const}$) в процессе свободного падения тела полная энергия¹⁴ (общерелятивистское ковариантное значение гамильтониана) его вещества.

¹¹ Эти выражения для энергии и импульса были ранее получены Бротасом [11, 12]. Однако он их рассматривал не как полные релятивистские значения энергии и импульса, а лишь как определяемые в собственном времени вещества компоненты соответствующих полных значений этих характеристик. В отличие от исходной версии этой статьи, данное значение импульса здесь рассматривается не как контравариантное, а как ковариантное его значение, что более лучше соответствует четырехмерному формализму.

¹² Ввиду этого рассмотренный в [15] шестиимпульс, основывающийся на планковском релятивистском обобщении термодинамики, следует рассматривать лишь как искусственное построение, вызванное изначально неверными предпосылками и физическими представлениями.

¹³ Здесь градиент от натурального логарифма несобственного значения скорости света определяется с учетом кривизны собственного пространства вещества, то есть по метрическим, а не по фотометрическим приращениям координат.

Возможность калибровочно преобразовывать, как v_c , так и Γ не только позволяет аддитивно складывать псевдосилы тяготения и инерции, но и обеспечивает взаимную независимость их гамильтонианных напряженностей.

Приращение контравариантного релятивистского значения энтальпии¹⁵:

$$dH_R = (TdS + Vdp)/\Gamma - H_R d\ln\Gamma = T_R \cdot dS + V_R \cdot \Gamma dp_R - P^* dv = T_R \cdot dS + Vdp_R - P^* dv,$$

как и приращение обычной энтальпии H , определяется приращениями лишь интенсивных параметров (за исключением, конечно, приращения энтропии).

4. Основные дифференциальные уравнения релятивистской термодинамики в ковариантном представлении

В СО, в которой наблюдается движение вещества, дифференциальные уравнения релятивистской термодинамики могут быть также заданы и в координатах ковариантного мирового пространства:

$$U_R dt^* + P dx = U_R^* dt^* = (H_R^* - V p_R^*) dt^* = U dt.$$

При этом контравариантное релятивистское значение энергии (лагранжиан) $U_R = U/\Gamma = U\Gamma^*$ может быть тоже выражено не через контравариантное релятивистское значение энтальпии $H_R = H/\Gamma = H\Gamma^*$, а через ковариантные релятивистские значения энтальпии $H_R^* = H\Gamma = H/\Gamma^*$ и термодинамических параметров вещества, отнесенных к заполненным этим движущимся веществом участкам пространства:

$$U_R = UP/P^* = U_R^* - P v^* = H_R^* - V p_R^* - P v^*,$$

где: $\Gamma^* = (1 + v^{*2}/c^2)^{-1/2} = 1/\Gamma$; $P = (\partial U_R^*/\partial v^*)_{S,V} = U\Gamma^* v^*/c^2 = U(\partial U_R^*/\partial P^*)_{S,V} = Uv/c^2$ – контравариантное значение механического импульса¹⁶; $v^* = (\partial x/\partial s)_{x_0} = dx/dt^* = \Gamma v$ – пространственная компонента четырех-скорости, фактически являющаяся скоростью движения вещества, определяемой в СО наблюдателя не по собственным его часам, а по релятивистским стандартным часам, движущимся вместе с этим веществом. В соответствии с этим:

$$P^* = Uv^*/c^2, \quad P v^* = P^* v, \quad U_R^{*2} - c^2 P^{*2} = U_R^2 + c^2 P^2 = U_R U_R^* = U^2,$$

$$a: \quad U_R^* - U_R = P^* P/U = -P(\partial U_R/\partial P)_{S,V} = P^*(\partial U_R^*/\partial P^*)_{S,V}$$

Основные дифференциальные уравнения релятивистской термодинамики в ковариантном их представлении имеют следующий вид:

$$dH_R^* = (TdS + Vdp)/\Gamma^* - H_R^* d\ln\Gamma^* = T_R^* \cdot dS + Vdp_R^* + Pdv^*, \\ dU_R = (TdS - pdV)\Gamma^* + U_R d\ln\Gamma^* = T_R^* \cdot dS - p_R^* dV - v^* dP.$$

Здесь: $T_R^* = T/\Gamma^* = T\Gamma$ – релятивистская температура Отта [1, 2, 6, 7], соответствующая ускорению протекания физических процессов в точках пространства, в которых вещество находится в состоянии движения. Таким образом, участки пространства, заполненные движущимся веществом, действительно становятся как бы «горячее»¹⁷ [1], чем совпадающие с ними участки

¹⁴ В соответствии с этим полная энергия эквивалентна не контравариантной общерелятивистской массе $m_{Rg} = m\Gamma c/v_c$, а ковариантной массе $m_{Rg}^* = m\Gamma v_c/c$, определяющей не временную, а относительную пространственную инертность вещества, где m – собственное значение массы. Пропорциональность же именно полной энергии, как гравитационной псевдосилы, так и даламберовой псевдосилы инерции делает неактуальной проблему эквивалентности гравитационной и инертной масс.

¹⁵ Базаров [1] приводит подобное выражение, не содержащее приращения скорости движения, для дифференциала лоренц-инвариантной энтальпии и, тем самым, фактически рассматривает термодинамическое состояние движущегося вещества не во внешней СО, в которой наблюдается движение, а в сопутствующей этому веществу СО.

¹⁶ В отличие от рассматриваемого в ОТО [10] координатного контравариантного значения импульса, релятивистское стандартное контравариантное значение импульса определяется не по координатным часам внешней СО, а по релятивистским стандартным часам, сопутствующим движущемуся веществу и, поэтому, наблюдаемым во внешней СО движущимися. Выражение для его определения строго совпадает с соответствующим выражением классической физики.

¹⁷ Вернее, «горячее» становится неувлекаемый движением физический вакуум, если, конечно, движение наблюдается в его фундаментальной СО. Ведь элементарные частицы вещества это всего лишь немеханически возбужденные микросостояния физического вакуума, проявляющиеся как пространственно-временные модуляции его основных характеристик в виде самоорганизовавшихся солитоноподобных спирально-волновых образований [13, 14, 16].

собственного пространства вещества. Любая пара скоррелированных фотонов, имеющих в сопутствующей веществу СО одинаковую энергию U_{c0} и распространяющихся в ней строго в противоположных направлениях, имеет в несопутствующей веществу СО суммарную энергию в Γ раз большую, чем в сопутствующей веществу СО: $U_c + U_{c'} = 2U_{c0}\Gamma = 2U_{c0}/\Gamma^*$, где:
 $U_c = U_{c0}\Gamma^* [1 - (v/c)\cos\varphi]^{-1} = U_{c0}\Gamma [1 + (v/c)\cos\varphi_0]$; $U_{c'} = U_{c0}\Gamma^* [1 - (v/c)\cos\varphi']^{-1} = U_{c0}\Gamma [1 + (v/c)\cos(\varphi_0 + \pi)]$;
 φ_0 и $(\varphi_0 + \pi)$ – углы в сопутствующей веществу СО между направлениями распространения фотонов и направлением движения вещества; φ и φ' – соответствующие им углы в несопутствующей движущемуся веществу СО, в которой направления распространения скоррелированных фотонов в общем случае не являются взаимно параллельными.

Это, как и многочисленные работы [2, 6, 7, 10], подтверждающие обоснованность рассматривания, наряду с планковской температурой $T_R = T/\Gamma$, также и релятивистской температуры Отта $T_R^* = T\Gamma$, указывает на целесообразность рассматривания, наряду с контравариантным, также и ковариантного релятивистского обобщения термодинамики.

Заключение

Рассмотренное здесь релятивистское обобщение термодинамики со строго экстенсивным молярным объемом и лоренц-инвариантными энтропией и плотностью энергии лишено многих недостатков релятивистских обобщений с лоренц-инвариантным давлением и позволяет по-новому интерпретировать восприятие протекания физических процессов в движущемся веществе из несопутствующих ему СО. Возможность, как контравариантного, так и ковариантного представлений дифференциальных уравнений релятивистской термодинамики решает проблему наличия в ней двух альтернативных релятивистских температур – температуры Планка и температуры Отта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Базаров И. П. *Термодинамика*. – М.: ВШ, 1991.
2. Угаров В. А. «Эйнштейновский сборник, 1969-1970». – М.: Наука, 1970. – С. 65–74.
3. Эйнштейн А. *Собр. соч.* – М.: Наука, 1965. Т. 1. – С. 65.
4. Hasenöhl F. *Wien. Ber.*, 1907, Bd. 116, – S. 1391.
5. Planck M. *Berl. Ber.*, 1907, – S. 542; *Ann. d. Phys.*, 1908, Bd. 76, – S. 1.
6. Ott H. *Z. Phys.*, 1963, Bd. 175, – S. 70.
7. Мёллер К. «Эйнштейновский сборник, 1969-1970». – М.: Наука, 1970. – С. 11–39.
8. Van Kampen N. G. *Phys. Rev.*, 1968, V. 173, – P. 295–301.
9. Луи де Бройль. «Эйнштейновский сборник, 1969-1970». – М.: Наука, 1970. – С. 7–10.
10. Мёллер К. *Теория относительности*. – М: Атомиздат, 1975.
11. Бротас А. «Эйнштейновский сборник, 1969-1970». – М.: Наука, 1970. – С. 86–90.
12. Brotas A. *Comptes rendus*, 1967, V. 265, serie A, – P. 244.
13. Даныльченко П. И. Калибровочно-эволюционная интерпретация специальной и общей теорий относительности. – Вінниця: О. Власюк, 2004. – С. 3–16.
http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/Nature_Rus.html
14. Даныльченко П. И. Релятивистское сокращение длины и гравитационные волны. Сверхсветовая скорость распространения. – Киев: НУТ, 2005.
<http://n-t.org/tp/ns/rsd.htm>
15. Даныльченко П. И. Философские аспекты взаимной дополнительности гравитермодинамических параметров. – Киев: НУТ, 2005. (<http://n-t.org/tp/ng/fa.htm>)
16. Даныльченко П. И. Калибровочно-эволюционная интерпретация специальной и общей теорий относительности. – Киев: НУТ, 2005. (<http://n-t.org/tp/ns/ke.htm>)
17. Нётер Э. В сб.: «Вариационные принципы механики». – М.: Физматгиз, 1959. – С. 611.

18. **Даныльченко П. И.** Тезисы докладов XII-й Российской гравитационной конференции, 20-26 июня, 2005, Казань, Россия, С. 39. (доклад: http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/UnitedSolution_Rus.html)