

*П. И. Даньльченко
(г. Винница, Украина)*

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА С ЛОРЕНЦ-ИНВАРИАНТНЫМ ЭКСТЕНСИВНЫМ ОБЪЕМОМ

Космологические модели звездообразования основываются на уравнениях термодинамики, специальной (СТО) и общей (ОТО) теорий относительности. Поэтому наиболее полное соответствие их физической реальности возможно лишь при условии построения наиболее совершенного релятивистского обобщения термодинамики. Присущие же классической физике обыденные представления об абсолютности одновременности событий, а также об однозначности, как понятия времени¹, так и определения пространственного объема, занимаемого движущимся веществом, существенно препятствуют этому. Сугубо логико-математический подход к решению проблем, не позволяющих достичь полного взаимного согласования термодинамики, СТО и ОТО, 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.

Введение

Считается, что СТО сама по себе не приводит к однозначному понятию температуры, отнесенной к движущемуся веществу [1; 12]. Поэтому известно несколько релятивистских обобщений термодинамики с лоренц-инвариантным давлением. В первую очередь это релятивистские термодинамики Планка–Хазенорля [13; 15; 17] и Отта [16], которые хотя одинаково и основываются на лоренц-инвариантности энтропии и давления, однако используют существенно отличающиеся друг от друга преобразования температуры и теплоты [9; 12]. 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; 18] 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 механики, в релятивистской термодинамике принято считать, что этот импульс пропорционален энтальпии H вещества [1; 2; 10], а не внутренней энергии U , эквивалентной собственному значению его массы. И поэтому он образует

¹ В ОТО различают стандартное и координатное времена. Аналогично и в СТО следует различать релятивистское стандартное (путиподобное [6]) время, определяющее «индивидуальные возраста» объектов вещества, и координатное время, задающее в пространстве кинематику и динамику движения этих объектов.

четырёхвектор с гамильтонианом энтальпии, а не с гамильтонианом энергии вещества [1; 10]. А так как даламберова псевдосила инерции² 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 [2], так и теплообмена [3; 14].

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 объем $v_R^* = v\Gamma$, 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 [4; 5]. 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 a , 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

² 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.

³ Гамильтонов объем является отображением на обычное трехмерное пространство объема, занимаемого одним молем 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.

сокращение длины a , 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 [4; 5]. 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 каких-либо сил сопротивления ему⁴ 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 термодинамике⁵. Следствием лоренц-инвариантности строго экстенсивного значения молярного объема является и лоренц-инвариантность, как плотности энергии⁶ ϵ , так и эквивалентной ей плотности массы $\mu = \epsilon/c^2$.

Это позволяет дать наиболее простое определение лагранжиана (согласно [2], переносимой телом внутренней энергии вещества U_R): $L = -U_R = -\epsilon v_R = -\epsilon v/\Gamma$ и гамильтониана (сохраняющейся при инерциальном движении тела полной энергии его вещества⁷): $U_R^* = \epsilon v_R^* = \epsilon v\Gamma$. Лагранжиан является контравариантной, а гамильтониан –

⁴ 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.

⁵ Это, однако, вовсе не означает, что релятивистские значения молярного объема v_R и v_R^* являются не востребуемыми 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.

⁶ 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.

⁷ Рассматривание в качестве полной энергии не контравариантной, а ковариантной временной компоненты четырехимпульса позволяет избежать в ОТО проблемы несохранения полной энергии и не рассматривать

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 пространства⁸ ($dx_0 = 0$). 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 не увлекаемого движением физического вакуума («моря» Дирака) [4–6], 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: $\epsilon_R = U_R/v = \epsilon/\Gamma$ и $\epsilon_R^* = U_R^*/v = \epsilon\Gamma$, конечно же, не являются лоренц-инвариантными.

2. Неинвариантность давления

В соответствии с теоремой Нётер [11] 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 [сек⁻¹м⁻³] указывает на следующее. В несопутствующей веществу СО стороннего наблюдателя его значение, как и значение

разницу контравариантного и ковариантного общерелятивистских значений энергии как энергию, коллективизированную в гравитационном поле [8].

⁸ 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.

энергии (имеющей размерность [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 [6]: ${}^j p = {}^i v_{cj} p = (v_{cj}/v_{ci}) p$. Здесь p – собственное значение давления в сопутствующей веществу СО, а 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 [7; 8]. Поэтому, если мы хотим, чтобы давление в веществе осталось интенсивным параметром⁹, его релятивистское значение должно быть неодинаковым в разных ИСО, движущихся относительно этого вещества с неодинаковыми скоростями, и должно преобразовываться точно так же, 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 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 $H_R = H/\Gamma$, импульса P и термодинамических параметров, отнесенных к движущемуся веществу:

⁹ 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.

$$U_R^* = U_R + Pv = (H_R - vp_R) + Pv,$$

$$U_R^* dt - Pdx = U_R dt = (H_R - vp_R)dt = Udt^*.$$

Здесь, с учетом всего нами ранее изложенного, полная релятивистская энергия $U_R^* = U\Gamma$ (гамильтониан) и механический импульс вещества¹⁰ $P = -(\partial U_R^*/\partial v)_{S,v} = w/v = U\Gamma v/c^2 = U_R^* v/c^2$, 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:

$$dU_R^* = (TdS - pdv)\Gamma + U_R^* d \ln \Gamma = T_R \cdot dS - p_R d(\Gamma v_R) + vdP =$$

$$= T_R \cdot dS - p_R dv + vdP$$

и никакая работа по релятивистскому «самосжатию» вещества не выполняется. Здесь: $w = vP = U\Gamma v^2/c^2$ – внешняя энергия (энергия переноса [2]) вещества, а $T_R = T/\Gamma$ – контравариантное релятивистское значение температуры (температура Планка [1; 12; 17]) движущегося вещества.

В отличие от планковского импульса, непосредственно независимый 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 (гравибарического [8]) значения скорости света v_c в веществе от термодинамических параметров этого вещества¹¹. Даламберова же псевдосила инерции так же, как и в механике, непосредственно не зависит от давления в веществе и может быть представлена в калибровочно-инвариантном виде:

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

как и гравитационная псевдосила¹²:

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

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 энергия¹³ (общерелятивистское ковариантное значение гамильтониана) его вещества. 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.

¹⁰ Эти выражения для энергии и импульса были ранее получены Бротасом [3; 14]. 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.

¹¹ Ввиду этого, рассмотренный в [8] шестиимпульс, основывающийся на планковском релятивистском обобщении термодинамики, следует рассматривать лишь как искусственное построение, вызванное изначально неверными предпосылками и физическими представлениями.

¹² 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.

¹³ 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.

Приращение контравариантного релятивистского значения энтальпии¹⁴:

$$dH_R = (TdS + vdp)/\Gamma - H_R d\ln\Gamma = \\ T_R \cdot dS + v_R \cdot \Gamma dp_R - P dv = T_R \cdot dS + v dp_R - P dv,$$

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 $H_R^* = H\Gamma = H/\Gamma^*$, импульса¹⁵ $P^* = (\partial U_R^* / \partial v^*)_{S,v} = U\Gamma^* v^* / c^2 = Uv/c^2$ и термодинамических параметров вещества, отнесенных к заполненным этим движущимся веществом участкам пространства:

$$U_R = U_R^* - P^* v^* = H_R^* - v p_R^* - P^* v^*,$$

где: $\Gamma^* = (1 + v^{*2}/c^2)^{-1/2} = 1/\Gamma$; $v^* = (\partial x / \partial s)_{x_0} = dx/dt^* = \Gamma v$ – 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:

$$P = Uv^*/c^2, P^* v^* = Pv,$$

а

$$U_R^{*2} - c^2 P^2 = U_R^2 + c^2 P^{*2} = U_R U_R^* = U^2.$$

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

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

¹⁴ 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.

¹⁵ В отличие от рассматриваемого в ОТО [10] координатного ковариантного значения импульса, релятивистское стандартное ковариантное 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.

$$dU_R = (TdS - pdv)\Gamma^* + U_R d \ln \Gamma^* = T_R^* dS - p_R^* dv - v^* dP^*.$$

Здесь: $T_R^* = T/\Gamma^* = T\Gamma$ – релятивистская температура Отта [1; 9; 12; 16], 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»¹⁶ [1], чем совпадающие с ними участки 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: $U_c = U_{c0}\Gamma^* [1 - (v/c) \cos \phi]^{-1} = U_{c0}\Gamma [1 + (v/c) \cos \phi_0]$;

$U_c' = U_{c0}\Gamma^* [1 - (v/c) \cos \phi']^{-1} = U_{c0}\Gamma [1 + (v/c) \cos (\phi_0 + \pi)]$;

ϕ_0 и $(\phi_0 + \pi)$ – 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 [9; 10; 12; 16], 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.

Литература

1. Базаров И. П. *Термодинамика*. – М.: ВШ, 1991.
2. Луи де Бройль. «Эйнштейновский сборник, 1969-1970». – М.: Наука, 1970. – С. 7–10.
3. Бротас А. «Эйнштейновский сборник, 1969-1970». – М.: Наука, 1970. – С. 86–90.
4. Даныльченко П. И. *Калибровочно-эволюционная интерпретация специальной и общей теорий*

¹⁶ 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 [4–6].

- относительности*. – Вінниця: О. Власюк, 2004. – С. 3–16. (http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/Nature_Rus.html)
5. **Даныльченко П. И.** *Релятивистское сокращение длины и гравитационные волны. Сверхсветовая скорость распространения*. – Киев: НиТ, 2005. (<http://n-t.org/tp/ns/rsd.htm>)
 6. **Даныльченко П. И.** *Калибровочно-эволюционная интерпретация специальной и общей теорий относительности*. – Киев: НиТ, 2005. (<http://n-t.org/tp/ns/ke.htm>)
 7. **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)
 8. **Даныльченко П. И.** *Философские аспекты взаимной дополнителности гравитермодинамических параметров*. – Киев: НиТ, 2005. (<http://n-t.org/tp/ng/fa.htm>)
 9. **Мёллер К.** *«Эйнштейновский сборник, 1969-1970»*. – М.: Наука, 1970. – С. 11–39.
 10. **Мёллер К.** *Теория относительности*. – М.: Атомиздат, 1975.
 11. **Нётер Э.** *В сб.: «Вариационные принципы механики»*. – М.: Физматгиз, 1959. – С. 611.
 12. **Угаров В. А.** *«Эйнштейновский сборник, 1969-1970»*. – М.: Наука, 1970. – С. 65–74.
 13. **Эйнштейн А.** *Собр. соч.* – М.: Наука, 1965. Т. 1. – С. 65.
 14. **Brotas A.** *Comptes rendus*, 1967, V. 265, serie A, – P. 244.
 15. **Hasenöhr F.** *Wien. Ber.*, 1907, Bd. 116, – S. 391.
 16. **Ott H.** *Z. Phys.*, 1963, Bd. 175, – S. 70.
 17. **Planck M.** *Berl. Ber.*, 1907, – S. 542; *Ann. d. Phys.*, 1908, Bd. 76, – S. 1.
 18. **Van Kampen N. G.** *Phys. Rev.*, 1968, V. 173, – P. 295–301.