

# РЕЛЯТИВИСТСКОЕ ОБОБЩЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИКИ СО СТРОГО ЭКСТЕНСИВНЫМ МОЛЯРНЫМ ОБЪЕМОМ

*П. И. Даньльченко<sup>1</sup>*

*ГНПП «Геосистема», Винница, Украина*

Рассмотрены основные дифференциальные уравнения релятивистской термодинамики в контравариантном и в ковариантном представлениях. Предложена упрощенная форма записи уравнений релятивистской термодинамики, обеспечивающая учет воздействия гравитации на вещество без привлечения сложного математического аппарата общей теории относительности. Вскрыта физическая сущность, как сопряженных релятивистских температур Планка и Отта, так и контравариантных и ковариантных релятивистских значений и других термодинамических параметров и характеристик вещества. Обоснована неинвариантность релятивистских значений давления. Получены выражения для контравариантного и ковариантного значений импульса, обеспечивающие образование ими четырех-импульсов не с энтальпией, а соответственно с лагранжианом и с гамильтонианом.

PACS: 03.30.+p, 05.70.-a

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Считается, что специальная теория относительности (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 Отту 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 сами по себе не приводят к преобразованию энергии излучения, соответствующему релятивистскому доплеровскому смещению его частоты.

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, 9, 10], а не внутренней энергии  $U$ , эквивалентной собственному значению<sup>2</sup> его массы. И поэтому он образует четырехвектор с гамильтонианом энтальпии, а не с гамильтонианом энергии вещества [1, 10]. А так как даламберова псевдосила инерции является величиной производной от импульса, то в качестве меры инертности вещества фактически предлагается использовать не массу, а энтальпию вещества. Полное же термодинамическое значение псевдосилы инерции, учитывающее в планковской термодинамике затраты энергии не только на увеличение импульса вещества, но и на релятивистское сокращение объема (псевдосжатие) этого вещества, вблизи нулевого значения скорости движения вообще пропорционально  $(2H-U)$ . Например, у идеального одноатомного 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 представлениях релятивистские обобщения термодинамики нельзя рассматривать как соответствующие физической реальности.

---

<sup>1</sup> E-mail: pavlo@vingeo.com.

<sup>2</sup> Здесь и далее под собственным значением понимается, как это принято в СТО, значение любого параметра вещества в сопутствующей ему СО. Это значение соответствует гравитермодинамической СО [11], в которой используется единое для всех взаимно неподвижных объектов вещества координатное (гравитермодинамическое) время. Его следует отличать от собственных значений этого параметра в квантовой и в термодинамической собственных СО конкретных макрообъектов вещества [11].

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 [12, 13]. Однако эти полумеры не устраняют полностью, а лишь частично сглаживают имеющиеся в релятивистской термодинамике противоречия.

Присущие классической физике обыденные представления об абсолютности одновременности событий, а также об однозначности, как понятия времени<sup>3</sup>, 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 согласования термодинамики со СТО и с общей теорией относительности (ОТО), принципиально не в состоянии обеспечить положительный результат теоретических исследований. Для успешного достижения этими исследованиями поставленной перед ними цели необходимо, прежде всего, переосмыслить многие наши физические представления, которые лишь воспринимаются окончательно устоявшимися и незыблемыми 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. Наряду с этим в ней предлагается удобная для специализированной литературы по термодинамике форма записи дифференциальных уравнений состояния вещества, учитывающих воздействие на него гравитации.

## 2. НЕЭКСТЕНСИВНОСТЬ РЕЛЯТИВИСТСКОГО МОЛЯРНОГО ОБЪЕМА В ПЛАНКОВСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКЕ

Принципиально возможны два одинаково важные релятивистские значения молярного объема вещества, движущегося в какой-либо внешней системе отсчета пространственных координат и времени (СО) – СО( $I$ ). Это лагранжев молярный объем  $V_R = V/\Gamma$ , и гамильтонов молярный объем  $V_R^* = \Gamma V$ , где:  $V$  – значение молярного объема вещества в сопутствующей ему СО( $J$ ) (собственное значение молярного объема);  $\Gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$  – функция, устанавливающая зависимость релятивистского замедления протекания физических процессов и течения времени в движущемся веществе от скорости его движения<sup>4</sup>  $v = dl/dt$ ;  $c$  – постоянная (собственное значение) скорости света.

Лагранжев молярный объем в обычном трехмерном пространстве занимают мировые точки движущегося вещества, соответствующие одному и тому же моменту времени  $t$  внешней СО. Именно лишь этот объем, как правило, и используется в релятивистской термодинамике. Гамильтонов же молярный объем в этом пространстве занимают мировые точки движущегося вещества, соответствующие одному и тому же моменту релятивистского стандартного времени  $\hat{t}$ , приращения которого тождественны приращениям времениподобного интервала  $s$  между мировыми точками в пространстве Минковского.

Как и путиподобный интервал, определяющий длину кривых мировых линий, стандартное время подобно пути, а не координате. Оно отсчитывается сторонним наблюдателем не по

---

<sup>3</sup> В ОТО различают стандартное время и координатное (гравитермодинамическое [11]) время. Аналогично и в СТО следует различать релятивистское стандартное (путиподобное) время  $\hat{t}$ , определяющее «индивидуальный возраст» движущегося объекта, и координатное время  $t$ , задающее в пространстве кинематику и динамику движения этого объекта.

<sup>4</sup> Вернее, – от значения интенсивности его движения, равной отношению скорости движения к истинному значению скорости света в веществе. В связи с этим следует отметить, что релятивистское сокращение размеров и молярных объемов изотропных движущихся сред обеспечивает изотропность, как в сопутствующих им СО, так и в СО наблюдателя их движения, именно, истинного, а не вакуумного значения скорости света. Поэтому данная зависимость строго верна лишь при рассматривании движения вещества не в собственном координатном времени наблюдателя, а в собственном квантовом времени покоящегося вещества, идентичного движущемуся. Однако этим фактом, как и наличием гравитационного поля в веществе, мы пока пренебрежем, как это и принято в СТО.

неподвижным своим часам, а по движущимся вместе с веществом часам. А его фронт распространяется во внешней СО вместе с фронтом событий, взаимно совпадающих в сопутствующей веществу СО. Поэтому один и тот же момент релятивистского стандартного времени во всех точках движущегося вещества всегда соответствует одному и тому же коллективному пространственно-временному состоянию всех микрообъектов этого вещества [14, 15]. При инерциальном движении стандартное время, отсчитываемое во внешних СО, тождественно собственному времени  $t_0$  движущегося вещества, отсчитываемому в собственной СО этого вещества всеми его часами. Неинерциальное же движение неизбежно сопровождается наличием в СО движущегося вещества устранимого преобразованием координат гравитационного поля. И поэтому, темп течения общего для всего вещества координатного (гравитермодинамического [11]) времени может быть лишь пропорциональным неодинаковым темпам течения собственного времени в разных точках этого неинерциально движущегося вещества. И, следовательно, при неинерциальном движении вещества, как и при наличии гравитационного поля, возникает необходимость в использовании индивидуального стандартного времени для каждой точки сопутствующего веществу пространства<sup>5</sup>.

В соответствии с этим гамильтонов молярный объем является отображением на обычное трехмерное пространство объема, занимаемого одним молем вещества на трехмерной пространственноподобной гиперповерхности, являющейся сечением пространства Минковского при  $\hat{t} = \text{const}$ . Его значение определяется скоростью  $u = c^2/v$  распространения во внешней СО( $I$ ) фронта совпадающих<sup>6</sup> в СО( $J$ ) движущегося вещества событий:  $V_R^* = V_R u/(u-v) = V_R \Gamma^2$ . То, что в релятивистских обобщениях термодинамики преимущественно используется не гамильтонов, а лагранжев молярный 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 всех микрообъектов этого движущегося вещества. В ОТО, рассматривающей процессы и результаты самоорганизации пространственно неоднородных равновесных состояний вещества, это принципиально не допустимо. Ведь самоорганизация и постепенные (эволюционные) изменения этих пространственно неоднородных термодинамических состояний происходят квазисинхронно, именно, в собственном координатном времени  $t_0$  движущегося вещества. Поэтому, ковариантные интегральные характеристики движущегося вещества в ОТО следует определять интегрированием их пространственных плотностей по объему  $V_R^*$ , а не по объему  $V_R$ . Тем самым, будут определяться интегральные характеристики движущегося вещества, соответствующее одному и тому же коллективному пространственно-временному состоянию всех его микрообъектов.

В классической термодинамике собственное значение молярного объема  $V(S, p)$  является строго экстенсивным параметром. Его изменение сказывается, как на изменении энтальпии, так и на скорости протекания физических процессов в веществе не непосредственно, а лишь через изменения энтропии  $S$  и собственного значения давления  $p$  в этом веществе. Релятивистские же значения молярного объема  $V_R$  и  $V_R^*$  не являются строго экстенсивными параметрами. И, поэтому, они принципиально не могут быть эквивалентными нерелятивистскому (собственному) значению молярного объема  $V$ . Релятивистское сокращение длины движущегося тела  $a$ , следовательно, и молярного объема  $V_R$  его вещества направлено на обеспечение изотропности частоты электромагнитного взаимодействия молекул, атомов и элементарных частиц вещества. А, тем

<sup>5</sup> 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.

<sup>6</sup> В инерциальных СО и в других СО, в которых возможна стабильная пропорциональная синхронизация темпов хода всех часов, его значение определяется скоростью распространения одновременных событий. Эта возможность связана с однородностью собственного времени данных СО.

самым, оно направлено и на обеспечение изотропности скорости протекания физических процессов в этом движущемся веществе [14, 15]. Поэтому то изменение релятивистского сокращения молярного объема и влияет не косвенно, а непосредственно, как на изменение релятивистского значения энтальпии, так и на темпы протекания в движущемся веществе физических процессов и течения его квантового собственного времени.

К тому же релятивистское уменьшение молярного объема вещества не сопровождается преодолением каких-либо сил сопротивления ему. И, следовательно, это уменьшение является инерциальной самодеформацией вещества, которая строго согласована с изменением скорости его движения. Ведь жесткое тело, практически неподдающееся деформированию в статике сколь угодно большой силой, подвержено релятивистской деформации под действием ускоряющей его движение значительно меньшей силы. Поэтому то релятивистское самосокращение молекулярного объема вещества и не является результатом действия на него каких-либо сил. Оно является следствием адаптации элементарных частиц, атомов и молекул этого вещества к изменившимся условиям их взаимодействия. И его также можно рассматривать и как реагирование самоподдерживающихся спирально-волновых образований [14 – 16], соответствующих элементарным частицам вещества, на возрастание скорости их распространения. Это аналогично самосжатию электромагнитных волновых пакетов в градиентных оптических средах.

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 еще дополнительно и на релятивистское его самосжатие, то имел бы место следующий эффект. При сугубо 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 в релятивистских уравнениях равновесного состояния вещества лишь модуля релятивистского молярного объема<sup>7</sup>:  $|V_R| = (V_R^* V_R)^{1/2} = V$ . Этот модуль тождественен собственному значению молярного объема вещества и, следовательно, является строго экстенсивным релятивистским термодинамическим параметром. Следствием лоренц-инвариантности строго экстенсивного значения молярного объема является и лоренц-инвариантность, как плотности энергии<sup>8</sup>  $\varepsilon$ , 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 вещества):  $U_R^* = \varepsilon V_R^* = \varepsilon V\Gamma$ . Эти энергии вещества являются его основными характеристиками в сопряженных четырехмерных мировых пространствах, построенных на основе одного и того же обычного трехмерного пространства. Лагранжиан является характеристической функцией состояния вещества, определяющей величину действия в контравариантном псевдоевклидовом мировом пространстве (пространстве Минковского):

<sup>7</sup> Это 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.

<sup>8</sup> Лоренц-инвариантными являются, именно, плотности релятивистской энергии и эквивалентной ей релятивистской массы, а не плотность количества вещества и то только в формализме, не приемлемом, как будет показано далее для обобщения термодинамики. Ведь в разных по величине лагранжевом и гамильтоновом молярных объемах содержится одно и то же количество молекул вещества. Следует также отметить, что и эффективные значения плотностей рассмотренных здесь релятивистских энергий:  $\varepsilon_R = U_R / V = \varepsilon / \Gamma$  и  $\varepsilon_R^* = U_R^* / V = \varepsilon / \Gamma^* = \varepsilon \Gamma$ , конечно же, тоже не являются лоренц-инвариантными.

$$\begin{aligned}
S &= -\int_{t_1}^{t_2} U_R dt = \int_{l_1}^{l_2} (\mathbf{P}^*, d\mathbf{l}) - \int_{t_1}^{t_2} U_R^* dt = -\int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} U dt = \\
&= -\int_{t_1}^{t_2} U_R^* (dt)^* = -\int_{l_1^*}^{l_2^*} (\mathbf{P}, d\mathbf{l}^*) - \int_{t_1}^{t_2} U_R (dt)^* = -\int_{t_1}^{t_2} (1 - v^2 / c^2)^{-1/2} U (dt)^* = -\int_{\bar{t}_1}^{\bar{t}_2} U d\bar{t}. \quad (1)
\end{aligned}$$

Он характеризует замедление протекания физических процессов в веществе а, следовательно, и в точках сопутствующего ( $d\mathbf{l}_0 = 0$ ) веществу пространства:  $dt = \Gamma(ds)_{l_0=\text{const}} = \Gamma d\bar{t}$ . Гамильтониан же является характеристической функцией состояния вещества, определяющей величину противодействия<sup>9</sup> – действия в ковариантном евклидовом мировом пространстве, сопряженном с контравариантным мировым пространством по времени:

$$S^* = \int_{\bar{t}_1}^{\bar{t}_2} U_R^* d\bar{t} = \int_{l_1}^{l_2} (\mathbf{P}, d\mathbf{l}) + \int_{\bar{t}_1}^{\bar{t}_2} U_R d\bar{t} = \int_{\bar{t}_1}^{\bar{t}_2} \sqrt{1 + \frac{\hat{v}^{*2}}{c^2}} U d\bar{t} = \int_{t_1}^{t_2} U dt. \quad (2)$$

Однако, при использовании ковариантного приращения времени  $(dt)^* = dt / \Gamma^2$  и соответствующего ему приращения пройденного пути  $d\mathbf{l}^* = \mathbf{v}(dt)^* = d\mathbf{l} / \Gamma^2$ , согласно (1), он может определять и величину действия в ковариантном мировом пространстве, сопряженном с контравариантным мировым пространством по отсчитываемой вдоль направления движения вещества пространственной координате. Здесь:  $\mathbf{P} = \mathbf{v}^* \Gamma^* U / c^2 = \mathbf{v}^* U_R / c^2 = \mathbf{v} U / c^2$  и  $\mathbf{P}^* = \mathbf{v} \Gamma U / c^2 = \mathbf{v} U_R^* / c^2 = \mathbf{v}^* U / c^2$  – соответственно контравариантное<sup>10</sup> и ковариантное значения импульса движущегося вещества;  $\Gamma^* = (1 + v^{*2} / c^2)^{-1/2} = 1 / \Gamma$  – функция, устанавливающая зависимость релятивистского ускорения, как протекания физических процессов, так и течения времени в заполненных движущимся веществом участках собственного пространства наблюдателя от ковариантной скорости  $\mathbf{v}^* = (\partial \mathbf{l}_0 / \partial t)_1 = \Gamma \mathbf{v}$  движения вещества;  $(ds)_{l_0=\text{const}}$  – приращение интервала между мировыми точками событий, равное, ввиду  $d\mathbf{l}_0 = 0$ , приращению собственного времени вещества а, следовательно, и приращению  $d\bar{t} = dt / \Gamma$  релятивистского стандартного времени. Ковариантная скорость движения вещества  $\mathbf{v}^*$  является характеристикой движения вещества в ковариантном мировом пространстве, сопряженном с контравариантным мировым пространством по пространственному направлению вдоль движения вещества, и определяется в СО наблюдателя этого движения не по сторонней для вещества неподвижной шкале длины, а по движущейся вместе с веществом стандартной шкале длины. Она лишь формально тождественна пространственной компоненте четырехскорости  $\hat{\mathbf{v}}^* = (\partial \mathbf{l} / \partial s)_{l_0} \equiv (\partial \mathbf{l} / \partial \bar{t})_{l_0} = \Gamma \mathbf{v}$ , являющейся характеристикой движения вещества в сопряженном по времени ковариантном мировом пространстве и определяемой в СО наблюдателя фактически не по собственным его часам, а по движущимся вместе с этим веществом стандартным часам.

Согласно этому в сопряженном по времени ковариантном мировом пространстве не только скорость движения вещества, но и скорости протекания в последнем физических процессов определяются внешним наблюдателем не по своим часам, а по сопутствующим веществу часам. Аналогично в ковариантном мировом пространстве, сопряженном с контравариантным мировым пространством по пространственной координате, не только скорость движения вещества, но и скорости протекания физических процессов в заполненном движущимся веществом пространстве

<sup>9</sup> В отличие от квантов действия, распространяющихся с контравариантной фазовой скоростью  $u = c^2 / v$  в направлении движения вещества, кванты противодействия распространяются с ковариантной фазовой скоростью  $u^* = -c^2 / v^* = -c^2 / \Gamma v$  в противоположном движению вещества направлении.

<sup>10</sup> Выражение для определения контравариантного значения импульса, как видим, строго совпадает с соответствующим выражением классической физики.

стороннего наблюдателя пропорциональны частоте следования штрихов сопутствующей веществу стандартной шкалы длины в неподвижной точке пространства наблюдателя. И поэтому, они фактически определяются не по какой-либо сторонней неподвижной шкале длины, а по движущейся вместе с этим веществом стандартной шкале длины. Таким образом, по неподвижным часам внешнего наблюдателя ( $d\mathbf{l} = 0$ ) гамильтониан характеризует ускорение протекания физических процессов в фиксированных точках пространства, в котором непосредственно покоится наблюдатель:  $(dt)^* = (ds)_{\mathbf{l}=\text{const}} = \Gamma^* d\hat{t} = d\hat{t} / \Gamma$ . Здесь:  $(ds)_{\mathbf{l}=\text{const}}$  – приращение интервала между мировыми точками событий, равное, ввиду  $d\mathbf{l} = 0$ , ковариантному приращению времени<sup>11</sup>  $(dt)^*$  в СО наблюдателя движения этого вещества. Ведь элементарные частицы вещества, очевидно, являются не механически самовозбужденными микросостояниями не увлекаемого движением физического вакуума [14 – 16]. И поэтому все физические процессы в движущемся веществе (и в том числе само движение, рассматриваемое в квантовой физике как квантовый процесс последовательной смены пространственно-временных состояний его микрообъектов а, следовательно, и микросостояний физического вакуума) можно рассматривать как происходящие непосредственно и в не сопутствующем веществу пространстве наблюдателя этого движения.

Таким образом, приращению стандартного времени движущегося вещества может быть сопоставлено в СО наблюдателя не одно, а два приращения его времени – контравариантное и ковариантное. Эти приращения определяются соответственно в контравариантном и в сопряженном с ним по пространственной координате вдоль направления движения вещества ковариантном мировых пространствах. Для них при одинаковости промежутков стандартного времени, наблюдаемых в СО( $I$ ) и в СО( $J$ ) по взаимно противоположным стандартным часам,  $(d^I_j \hat{t} = d^J_j \hat{t})$  имеют место и следующие равенства:

$$d^I_j t = d^J_j t_0; \quad (d^I_j t)^* = (d^J_j t_0)^*. \quad (3)$$

В соответствии с этим ковариантные характеристики движущегося вещества, как и ковариантное приращение собственного времени  $t$  внешней СО, могут рассматриваться как характеристические функции вещества, именно, в собственном времени наблюдателя.

### 3. НЕИНВАРИАНТНОСТЬ ДАВЛЕНИЯ

В соответствии с теоремой Нётер [17] сохранение полной энергии движущегося по инерции вещества является следствием наличия симметрии у времени. И поэтому, соблюдение закона сохранения энергии возможно лишь при однородности времени. Эта однородность времени проявляется в инвариантности физических законов относительно изменения начала его отсчета. А реализуется она лишь при использовании для измерения времени 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  $[сек^{-1} \cdot м^{-3}]$  указывает на следующее. В несопутствующей веществу СО стороннего наблюдателя его значение, как и значение 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 контравариантное значение давления в какой-либо точке  $j$

<sup>11</sup> Введение отличного от  $t$  ковариантного времени в СО наблюдателя физического смысла не имеет. Поэтому можно говорить лишь о ковариантном и контравариантном приращениях одного и того же времени  $t$ . При этом, согласно (1), за основу может быть взято любое из этих приращений.

такого физически неоднородного пространства определяется темпами протекания физических процессов не только в этой точке, но и в точке  $i$ , из которой ведется наблюдение [15]:  ${}^i_j p = ({}^i_j v_c / c) p = (v_{cj} / v_{ci}) p$ . Здесь:  $v_{cj}$  и  $v_{ci}$  – значения скорости света по координатным часам<sup>12</sup> [10] соответственно в точках  $j$  и  $i$  вещества, находящегося в пространственно неоднородном равновесном термодинамическом состоянии [18]. Поэтому, если мы хотим, чтобы давление в веществе осталось интенсивным параметром<sup>13</sup>, его релятивистские значения должны быть неодинаковыми для наблюдателей, движущихся относительно этого вещества с разными скоростями. И, следовательно, они должны быть инвариантными к релятивистским преобразованиям координат, как и все остальные интенсивные параметры. К тому же, следует различать контравариантное релятивистское значение давления, относимое наблюдателем движения к самому движущемуся веществу и к сопутствующему ему пространству, и ковариантное релятивистское значение давления, относимое наблюдателем к собственному покоящемуся пространству. Контравариантное значение давления должно быть меньше его собственного значения во столько же раз, во сколько раз меньше наблюдаемая сторонним наблюдателем скорость протекания физических процессов в этом веществе (а, следовательно, и в сопутствующем ему пространстве):  $p_R = p / \Gamma$ . Ковариантное же значение давления в веществе должно быть, наоборот, во столько же раз больше его собственного значения:  $p_R^* = p \Gamma$ . Ведь физические процессы протекают в СО наблюдателя быстрее в точках, в которых вещество находится в состоянии движения, чем в точках, в которых такое же вещество находится в состоянии покоя. И это происходит во столько же раз быстрее, во сколько раз медленнее эти процессы протекают в движущемся веществе для наблюдателя движения, 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. Поэтому, наряду с положением о строгой экстенсивности релятивистского молярного объема вещества, несоблюдение лоренц-инвариантности давления должно быть использовано как аксиома для построения релятивистского обобщения термодинамики.

#### **4. РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИРАЩЕНИЙ КООРДИНАТ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В КОВАРИАНТНЫХ МИРОВЫХ ПРОСТРАНСТВАХ**

Сначала рассмотрим преобразования пространственно-временных координат при переходе от исходной СО к новой СО в ковариантном мировом пространстве, сопряженном с контравариантным мировым пространством по времени. Ковариантное значение  $\hat{v}_{tr}^* = v_{tr} \Gamma = v_{tr} / \Gamma^*$  скорости переносного движения этой новой СО определяется в исходной СО не только контравариантным значением  $v_{tr} = dx_{tr} / dt$  этой скорости, но и скоростью  $v$  движения наблюдаемых часов. Так как наблюдаемые часы покоятся не в СО, осуществляющей переносное движение ( $v \neq v_{tr}$ ), то это значение скорости переносного движения является ее несобственным ковариантным значением. Релятивистское стандартное время  $\hat{t}$ , тождественное времени подобному интервалу, является инвариантным к преобразованиям координат. Поэтому, при переходе к новой СО будут преобразовываться лишь проекции на направление переносного движения, как приращений координат, так и векторов ковариантных скоростей движения объектов:

$$d\hat{t}' = dt' \sqrt{1 - v'^2 / c^2} = d\hat{t} = \text{inv}$$

<sup>12</sup> Далее – координатное значение скорости света, тождественное истинной скорости света в веществе [11].

<sup>13</sup> В планковской термодинамике релятивистские молярный объем и давление фактически как бы поменялись ролями. В релятивистских преобразованиях молярный объем стал «вести себя» как интенсивный параметр, а давление стало «вести себя» как экстенсивный параметр.

$$\begin{aligned}
dx' &= \frac{dx - \hat{v}_{tr}^* dt}{\sqrt{1 - \hat{v}_{tr}^{*2} / c^{*2}}}; & dy' &= dy = \text{inv}; & dz' &= dz = \text{inv}; \\
\hat{v}_x'^* &= \frac{\hat{v}_x^* - \hat{v}_{tr}^*}{\sqrt{1 - \hat{v}_{tr}^{*2} / c^{*2}}}; & \hat{v}_y'^* &= \hat{v}_y^* = \text{inv}; & \hat{v}_z'^* &= \hat{v}_z^* = \text{inv}; \\
\hat{v}_{tr}'^* &= v' \Gamma'; & \hat{v}_{tr}'^* &= \frac{\hat{v}_{tr}^* (1 - \hat{v}_{tr}^* \hat{v}_x^* / c^{*2})}{\sqrt{1 - \hat{v}_{tr}^{*2} / c^{*2}}}; & c'^* &= c \Gamma' = c / \Gamma'^*.
\end{aligned}$$

Здесь:  $\Gamma' = (1 - v'^2 / c^2)^{-1/2}$ , а:  $c^* = c \Gamma = c / \Gamma^*$  – ковариантное значение скорости света в СО наблюдателя, определяемое по часам им наблюдаемого движущегося объекта.

Преобразования ковариантных и контравариантных значений энергии и проекций импульса в сопряженном по времени ковариантном мировом пространстве выполняются по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned}
\hat{U}_R'^* &= \frac{\hat{U}_R^* - c \hat{v}_{tr}^* \hat{P}_x^* / c^*}{\sqrt{1 - \hat{v}_{tr}^{*2} / c^{*2}}}; & U_R' &= \frac{U_R \sqrt{1 - \hat{v}_{tr}^{*2} / c^{*2}}}{1 - \hat{v}_{tr}^* \hat{v}_x^* / c^{*2}} = \frac{U_R^2 \sqrt{1 - \hat{v}_{tr}^{*2} / c^{*2}}}{U_R - P_x \hat{v}_{tr}^* c^2 / c^{*2}}; \\
\hat{P}_x'^* &= \frac{\hat{P}_x^* - \hat{v}_{tr}^* \hat{U}_R^* / c c^*}{\sqrt{1 - \hat{v}_{tr}^{*2} / c^{*2}}}; & \hat{P}_y'^* &= \hat{P}_y^* = \text{inv}; & \hat{P}_z'^* &= \hat{P}_z^* = \text{inv}; \\
P_x' &= \frac{P_x - \hat{v}_{tr}^* U_R / c^2}{1 - \hat{v}_{tr}^* \hat{v}_x^* / c^{*2}} = \frac{U_R (P_x - \hat{v}_{tr}^* U_R / c^2)}{U_R - P_x \hat{v}_{tr}^* c^2 / c^{*2}}; & P_y' &= P_y = \text{inv}; & P_z' &= P_z = \text{inv}.
\end{aligned}$$

Рассмотрим теперь ковариантное четырехмерное пространство, образованное сопутствующим движущемуся веществу обычным трехмерным пространством и собственным временем наблюдателя движения, как самого вещества, так и сопутствующего ему трехмерного пространства. В этом ковариантном мировом пространстве, сопряженном с контравариантным мировым пространством по отсчитываемой вдоль направления движения вещества пространственной координате, используются те же самые приращения пространственно-временных координат, что и в контравариантном мировом пространстве Минковского. Поэтому и преобразования этих приращений производятся по известным релятивистским зависимостям. В отличие же от контравариантного пространства, в нем вместо прямых – контравариантных скоростей движения используются перекрестные – значения скоростей движения. Эти значения являются несобственными ковариантными значениями скоростей движения наблюдаемого вещества, так как определяются по шкале длины, сопутствующей не наблюдаемому веществу, а осуществляющему переносное движение телу:

$$\begin{aligned}
\hat{v}_x'^* &= \frac{dx'}{dt} = \frac{v_x - v_{tr}}{\sqrt{1 - v_{tr}^2 / c^2}} = \frac{v_x' \sqrt{1 - v_{tr}^2 / c^2}}{1 + v_x' v_{tr} / c^2} = \frac{\hat{v}_x^* - v_{tr}^*}{1 + \hat{v}_x^* v_{tr}^* / c^2}, \\
\hat{v}_y'^* &= \frac{dy'}{dt} = v_y = \frac{v_y' \sqrt{1 - v_{tr}^2 / c^2}}{1 + v_x' v_{tr} / c^2} = \frac{\hat{v}_y^* \sqrt{1 + v_{tr}^{*2} / c^2}}{1 + \hat{v}_x^* v_{tr}^* / c^2}, \\
\hat{v}_z'^* &= \frac{dz'}{dt} = v_z = \frac{v_z' \sqrt{1 - v_{tr}^2 / c^2}}{1 + v_x' v_{tr} / c^2} = \frac{\hat{v}_z^* \sqrt{1 + v_{tr}^{*2} / c^2}}{1 + \hat{v}_x^* v_{tr}^* / c^2}, \\
\hat{v}_x^* &= \frac{dx}{dt'} = \frac{v_x' + v_{tr}}{\sqrt{1 - v_{tr}^2 / c^2}} = \frac{v_x' \sqrt{1 - v_{tr}^2 / c^2}}{1 - v_x' v_{tr} / c^2} = \frac{\hat{v}_x'^* + v_{tr}^*}{1 - \hat{v}_x'^* v_{tr}^* / c^2},
\end{aligned}$$



$$\hat{v}_y^* = \frac{dy}{dt'} = v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - v_{tr}^2 / c^2}}{1 - v'_x v_{tr} / c^2} = \frac{\hat{v}_y'^* \sqrt{1 + v_{tr}^{*2} / c^2}}{1 - \hat{v}_x'^* v_{tr}^* / c^2},$$

$$\hat{v}_z^* = \frac{dz}{dt'} = v'_z = \frac{v_z \sqrt{1 - v_{tr}^2 / c^2}}{1 - v'_x v_{tr} / c^2} = \frac{\hat{v}_z'^* \sqrt{1 + v_{tr}^{*2} / c^2}}{1 - \hat{v}_x'^* v_{tr}^* / c^2},$$

где:  $v_{tr}^* = v_{tr} (1 - v_{tr}^2 / c^2)^{-1/2}$  – собственное ковариантное значение скорости переносного движения, определяемое по движущейся стандартной шкале длины. Эта стандартная шкала длины, в отличие от стандартных часов, покоится не в СО наблюдаемого вещества, а в СО тела, осуществляющего переносное движение ( $v = v_{tr}$ ;  $v' = 0$ ). Цена ее делений в СО наблюдателя движения меньше цены делений такой же неподвижной в этой СО шкалы длины. Собственное ковариантное значение скорости переносного движения, хотя формально и не отличается от пространственной компоненты четырехскорости этого движения, все же имеет, как видим, иной физический смысл.

Полученные нами релятивистские преобразования несобственных ковариантных значений скоростей движения, как и релятивистские преобразования контравариантных скоростей движения, образуют группу. Это позволяет рассматривать в собственном времени любой СО характеристики не только абсолютных, но и относительных движений, аналогично тому, как это имеет место в классической физике. Так как нас интересуют лишь собственные ковариантные значения, как скоростей движения вещества, так и его релятивистских характеристик, то преобразования несобственных ковариантных значений энергии и импульса вещества рассматривать не будем. Преобразования же собственных ковариантных значений скорости движения вещества известны, так как они идентичны преобразованиям пространственных компонент четырехскорости.

Из двух рассмотренных здесь ковариантных мировых пространств приемлемо для дополнения контравариантного пространства Минковского лишь ковариантное мировое пространство, сопряженное с ним по отсчитываемой вдоль направления движения вещества пространственной координате. Благодаря использованию в нем движущейся вместе с веществом стандартной шкалы длины, ковариантное значение молярного объема вещества принципиально является инвариантным относительно пространственно-временных преобразований координат. Однако, по этой сопутствующей какому-либо конкретному веществу шкале длины релятивистские значения молярных объемов идентичных ему веществ, движущихся с разными скоростями, принципиально не могут быть одинаковыми. Это связано, как с принятым в СТО формализмом, основывающемся на использовании лишь глобальных пространственно-временных преобразований координат, так и с рассмотрением движения вещества в СТО лишь в евклидовых пространствах.

Дополнение контравариантного пространства Минковского сопряженным с ним по времени ковариантным мировым пространством могло бы обеспечить возможность использования в релятивистской термодинамике не только лагранжева и гамильтонова молярных объемов, но и контравариантного и ковариантного четырех-импульсов. Однако то, что в четырехмерном формализме энергия рассматривается как компонента четырех-импульса и, следовательно, как равноценная импульсу, принципиально не приемлемо для использования в обобщении термодинамики. Ведь в отличие от импульса энергия, как и энтальпия, является интенсивной характеристикой вещества и, поэтому, преобразуется в термодинамике преимущественно мультипликативно. Изменения же компонент обобщенного импульса, как и изменения всех других экстенсивных параметров, обеспечивают лишь частичную аддитивную компенсацию изменения энергии в процессе ее мультипликативного преобразования, что отражает наличие не только прямых, но и отрицательных обратных связей между термодинамическими параметрами и характеристиками. К тому же компоненты обобщенного импульса, в отличие от энергии, не являются термодинамическими потенциалами.

## 5. ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ПКВ, ЛОКАЛЬНО ДЕФОРМИРУЕМОГО ДВИЖУЩИМСЯ ВЕЩЕСТВОМ

Использование ковариантных значений скорости движения и ковариантных релятивистских параметров и характеристик вещества хорошо согласуется с принятыми в ОТО концепциями о формировании метрики пространства находящимся в нем веществом и о принципиальном отсутствии метрической неоднородности (анизотрии) этого собственного пространства вещества. Ввиду принципиальной ненаблюдаемости в СО вещества изменчивости пространственно-временных параметров его элементарных частиц (как эволюционной, так и под действием гравитационного поля), ею вызываемая деформации вещества тоже является принципиально ненаблюдаемой. Поэтому то, вместо анизотрии принципиально ненаблюдающегося плоского фонового пространства [19] и имеет место в СО вещества кривизна его собственного пространства [16]. В соответствии с этим можно считать, что движение вещества, как и гравитация, наводит кривизну пространства в заполненных этим движущимся веществом его участках. Ведь релятивистская деформация вещества (релятивистское сокращение длины образуемого им тела) также происходит на уровне его элементарных частиц и тоже может рассматриваться как принципиально ненаблюдаемая деформация вещества. Такая кинематическая кривизна пространства обязательно должна сопровождаться возникновением в движущемся веществе и в заполненном им пространстве соответствующего ей пространственного распределения анизотропного значения координатной скорости света:

$\hat{v}_{cr} = c \sqrt{\Gamma_r^2 \cos^2 \beta_x + \cos^2 \beta_y + \cos^2 \beta_z}$ . Тогда конформному отображению собственного ПВК неравномерно движущегося вещества на неевклидов внешний ПВК стороннего наблюдателя движения вещества будет соответствовать в СО этого наблюдателя линейный элемент:

$$(\Delta s)^2 = \alpha^2(x, y, z, t) [\hat{v}_{cr}^2 (\Delta t)^2 - \Gamma_r^2 (v_r \Delta t + \Delta x)^2 - (\Delta y)^2 - (\Delta z)^2] = c^2 (1 - \hat{v}^2 / \hat{v}_{cr}^2) (\Delta t)^2 =$$

$$= (c^2 - v^2) (\Delta t)^2 = c^2 (\Delta t')^2 - (\Delta x')^2 - (\Delta y')^2 - (\Delta z')^2$$

эквивалентный соответствующему линейному элементу псевдоевклидова пространства Минковского, ввиду инвариантности соотношения<sup>14</sup>:

$$\hat{v} / \hat{v}_{cr} = v / c = (\Delta L / \Delta t) / c < 1$$

относительно преобразования кривизны пространства. Здесь:  $\alpha(x, y, z, t) = c / \hat{v}_{cr}$  – масштабный фактор;  $v$  и:

$$\hat{v} = \sqrt{\Gamma_r^2 (v_r \Delta t + \Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} / \Delta t = \Delta L \sqrt{\Gamma_r^2 \cos^2 \beta_x + \cos^2 \beta_y + \cos^2 \beta_z} / \Delta t$$

– скорости самостоятельного движения отдельного объекта вещества соответственно в евклидовом и в римановом пространствах;

$$\Gamma_r = (1 - v_r^2 / c^2)^{-1/2} = (1 - \hat{v}_r^2 / \hat{v}_{cr}^2)^{-1/2}; \quad \hat{v}_{cx} = \Gamma_r c;$$

$v_r = dx_r / dt$  и  $\hat{v}_r = \Gamma_r v_r = d\hat{x}_r / dt$  – скорости регулярного (переносного) движения всего вещества, как целого, соответственно в евклидовом и в римановом пространствах;  $d\hat{x}_r = \Gamma_r dx_r$  – метрическое приращение пройденного пути всей совокупностью объектов вещества в римановом пространстве, обладающем сопутствующей этому веществу кинематической кривизной;  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  и  $\Delta x'$ ,  $\Delta y'$ ,  $\Delta z'$  – проекции на координатные оси малого приращения<sup>15</sup>  $\Delta l$  пространственного отрезка, являющегося результатом произвольного отклонения движения отдельных объектов вещества от их регулярного движения, соответственно в СО наблюдателя регулярного движения вещества и в сопутствующей регулярно движущемуся веществу СО;  $\beta$  – углы между направлениями

<sup>14</sup> Это соотношение принципиально не зависит также и от хода часов, используемых для измерения времени, и, следовательно, инвариантно и относительно преобразования времени. Оно характеризует интенсивность движения вещества и является скоростью движения этого вещества, выраженной в долях скорости света в нем а, следовательно, и скоростью, определяемой в собственном квантовом (стандартном) времени движущегося вещества. Ввиду этого, все же, следует рассматривать  $c$  не как константу, а как истинное значение скорости света в веществе.

<sup>15</sup> Это приращение должно быть достаточно малым, чтобы не потребовалось учитывать дополнительную кривизну собственного пространства наблюдателя, вызванную задаваемым им движением отдельного объекта вещества. В противном случае необходимо определение более конкретного линейного элемента для участка данного пространства, заполненного именно этим отдельным объектом.

результатирующих приращений пространственных отрезков  $\Delta \mathbf{L} = \mathbf{v} \Delta t + \Delta \mathbf{l}$  и координатными осями. Только лишь в этом случае риманова метрика заполненного неравномерно движущимся веществом участка собственного пространства наблюдателя будет эквивалентна пространственно неоднородной релятивистской самодеформации вещества на уровне его элементарных частиц. Такое принципиально ненаблюдаемое ни в каких собственных СО вещества а, следовательно, и в СО мира людей пространственно неоднородная релятивистская самодеформация волн элементарных частиц и в целом всего вещества движущегося тела и рассматривается в СТО как релятивистское сокращение длины этого движущегося тела. Таким образом, при движении вещества в ПВК стороннего наблюдателя происходит не просто отображение собственного ПВК движущегося вещества на этот внешний ПВК, который лишь условно декларируется в СТО стабильным и псевдоевклидовым. На самом деле, в соответствии с принятыми в ОТО концепциями<sup>16</sup> происходит деформирование не только движущегося вещества, но и заполненных им участков собственного пространства стороннего наблюдателя. Тем самым, в этих участках пространства стороннего наблюдателя происходит и сопутствующее веществу локальное преобразование<sup>17</sup> кривизны ПВК этого наблюдателя, обеспечивающее конформность отображения ПВК движущегося вещества на этот непрерывно им преобразуемый внешний ПВК. Такие нерегулярные локальные деформации гладкого собственного пространства наблюдателя, обычно, рассматриваются как дополнительно наложенные на него деформации. Они не следуют из решения уравнений гравитационного поля для вещества тела, в ПВК которого ведется наблюдение неучтенных этим решением объектов, и принимаются во внимание лишь при необходимости<sup>18</sup>.

Ввиду всего этого релятивистские преобразования Лоренца являются преобразованиями приращений лишь координат, а не метрических отрезков. Переход же от контравариантного значения скорости движения вещества к ее ковариантному значению может рассматриваться, как переход от условно метрического евклидова значения к строго метрическому риманову значению этой скорости движения. И в этом случае строго метрическим значением релятивистского молярного объема движущегося вещества может быть лишь его риманово значение, тождественное собственному значению  $V$  этого молярного объема.

Таким образом, несмотря на формальную неинвариантность<sup>19</sup> молярного объема вещества относительно пространственно-временных преобразований координат в СТО, релятивистское обобщение термодинамики должно все же основываться на использовании строго экстенсивного значения молярного объема, которым является лишь собственное значение молярного объема вещества<sup>20</sup>. При этом в СТО оно должно строиться не только на основе контравариантного псевдоевклидова мирового пространства Минковского, но и на основе ковариантного евклидова мирового пространства, сопряженного с пространством Минковского по отсчитываемой вдоль

<sup>16</sup> В ОТО используется анизотропное координатное значение скорости света [10], а ее математический аппарат принципиально позволяет избежать наблюдаемости не только гравитационного, но и кинематического самодеформирования волновых образований, соответствующих элементарным частицам вещества. Однако, несмотря на это и вопреки принятым концепциям, в стандартной формулировке ОТО, как и в СТО, релятивистское сокращение длины движущегося тела все же рассматривается как наблюдаемое.

<sup>17</sup> При движении обладающего собственным гравитационным полем тела сопутствующее ему локальное преобразование кривизны ПВК стороннего наблюдателя осуществляется не только собственно движением этого тела, но и пространственным смещением его гравитационного поля, отражающего пространственную неоднородность скорости света а, следовательно, и показателя преломления его вещества. При этом из-за неодинаковости показателей преломления совместно движущихся сред определяемые в плоском фоновом пространстве наблюдателя координатные (неметрические) «расстояния» между одними и теми же двумя нормальными плоскими сечениями оказываются неодинаковыми в разных средах. «Разбиение» же этих сечений на продольно взаимно смещенные «участки», вызванное неодинаковостью в нем этих релятивистских сокращений длины, в обладающем кинематической «кривизной» пространстве наблюдателя движения принципиально не наблюдается, как и сами релятивистские сокращения длины.

<sup>18</sup> Например, при анализе гравитационного линзирования излучения и гравитационного смещения спектра излучения.

<sup>19</sup> Эта неинвариантность обусловлена тождественностью в СТО преобразований приращений метрических отрезков преобразованиями приращений координат.

<sup>20</sup> Поэтому в качестве основной аксиомы необходимо принять приоритетность термодинамики по отношению к обобщающим ее теориям и в соответствии с этим в меру возможности адаптировать эти теории к ней или же ограничить сферу применимости отдельных их постулатов.

направления движения вещества пространственной координате. И более того, оно должно быть подобным обобщению термодинамики для риманова ПВК вещества, находящегося в пространственно неоднородном термодинамическом состоянии. На то, что принципиально возможны и другие эквивалентные формы представления релятивистских преобразований координат и времени, внимание обращали многие физики [20, 21]. Однако основой всех этих представлений должно быть соответствие одновременности разноместных событий одному и тому же коллективному пространственно-временному состоянию движущегося вещества [14, 15]. Конвенциональное же решение [20] этого вопроса принципиально не приемлемо.

## 6. 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  $H_R^* = H / \Gamma^* = H\Gamma$ , а через контравариантные релятивистские значения энтальпии  $H_R = H / \Gamma$  и термодинамических параметров, отнесенные к движущемуся веществу:

$$U_R^* = U_R + (\mathbf{P}^*, \mathbf{v}) = H_R - Vp_R + (\mathbf{P}^*, \mathbf{v}), \quad (4)$$

$$U_R^* dt - (\mathbf{P}^*, d\mathbf{l}) = U_R dt = (H_R - Vp_R) dt = U d\hat{t}. \quad (5)$$

Здесь, с учетом всего нами ранее изложенного, полная релятивистская энергия  $U_R^* = U / \Gamma^* = U\Gamma$  (гамильтониан) и ковариантное значение механического импульса вещества<sup>21</sup>:

$$\mathbf{P}^* = -(\partial U_R / \partial \mathbf{v})_{S,V} = \mathbf{v}w / v^2 = \mathbf{v}^* U / c^2, \quad (6)$$

аналогично его внутренней энергии  $U$ , напрямую не зависят от давления и, следовательно, являются строго экстенсивными характеристиками. Поэтому то, в отличие от планковского импульса, непосредственно не зависящий от давления механический импульс образует четырехимпульс совместно, именно, с гамильтонианом  $U_R^*$ . Внешняя энергия (энергия переноса [9])  $w = (\mathbf{v}, \mathbf{P}^*) = U\Gamma v^2 / c^2$  вещества примерно в два раза превышает его кинетическую энергию, так как складывается, как из энергии, затраченной на разгон этого вещества, так и из высвобожденной части его внутренней энергии.

Благодаря всему этому приращение гамильтониана, как и приращение внутренней энергии, определяется приращениями лишь строго экстенсивных параметров:

$$dU_R^* = (TdS - pdV)\Gamma + U_R^* d \ln \Gamma = T_R dS - p_R d(\Gamma V_R) + (\mathbf{v}, d\mathbf{P}^*) = T_R dS - p_R dV + (\mathbf{v}, d\mathbf{P}^*)$$

и никакая работа по релятивистскому «самосжатию» вещества не выполняется. Здесь:  $T_R = T / \Gamma$  – контравариантное релятивистское значение температуры (температура Планка [1, 2, 5]) движущегося вещества.

Таким образом, в термодинамике приращение гамильтониана рассматривается в контравариантном представлении, в то время как в механике оно рассматривается в ковариантном представлении:

$$dU_{Rg}^* = -(\mathbf{F}_c^*, d\mathbf{l}) - (\mathbf{F}_p^*, d\mathbf{l}) - (\mathbf{F}_g^*, d\mathbf{l}) + (\mathbf{F}_{in}^*, d\mathbf{l}), \quad (7)$$

где:  $\mathbf{F}_c^* = -T_{Rg}^* \mathbf{grad}S$  – ковариантная сила давления света<sup>22</sup>;  $\mathbf{F}_p^* = p_{Rg}^* \mathbf{grad}V$  – ковариантная сила сопротивления нерелятивистскому сжатию вещества;

<sup>21</sup> Эти выражения для энергии и импульса были ранее получены Бротасом [12, 13]. 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.

<sup>22</sup> Здесь и далее градиенты энергии определяются с учетом кривизны пространства, то есть по приращению метрического расстояния  $l$ , а не по приращениям координат Шварцшильда.

$$\mathbf{F}_{in}^* = (\mathbf{grad} U_{Rg}^*)_{S,V,v_c} = \left( \frac{\partial U_{Rg}^*}{\partial \Gamma} \right)_{S,V,v_c} \mathbf{grad} \Gamma = -U_{Rg}^* \mathbf{grad} \ln \Gamma^* = -\frac{U}{c^2} \left( \frac{d^2 \mathbf{1}}{dt d\hat{t}} \right) = -\left( \frac{\partial \mathbf{P}^*}{\partial t} \right)_{S,V} = -\left( \frac{\partial \mathbf{P}}{\partial \hat{t}} \right)_{S,V} \quad (8)$$

– ковариантная даламберова псевдосила инерции<sup>23</sup>, непосредственно не зависящая от давления в заполненном движущимся веществом пространстве и, причем не только в механике, но и в термодинамике;

$$\mathbf{F}_g^* = -(\mathbf{grad} U_{Rg}^*)_{S,V,\Gamma} = -\left( \frac{\partial U_{Rg}^*}{\partial v_c} \right)_{S,V,\Gamma} \mathbf{grad} v_c = -U_{Rg}^* \mathbf{grad} \ln v_c \quad (9)$$

– ковариантная гравитационная псевдосила<sup>24</sup>, не сопутствующая движущемуся веществу, как и все другие ковариантные (гамильтоновы) силы;  $T_{Rg}^* = T_R^* v_{cst} / v_c^* = T_R^* v_c / v_{cst} = T \Gamma_{Rg}$  и  $T_R^* = T / \Gamma^* = T \Gamma$  – релятивистская температура Отта [1, 2, 6, 7] соответственно в физически неоднородном и в физически однородном пространствах;  $v_{cst}$  – значение скорости света в веществе в стандартных в мире людей термобарических условиях, которым соответствует и общее для всего вещества координатное (гравитермодинамическое [11]) время. Релятивистская температура Отта отвечает ускорению физических процессов в фиксированных точках пространства наблюдателя, в которых молекулы вещества находятся в состоянии не только хаотического, но и направленного движения. Из-за физической неоднородности пространства, наведенной гравитационным полем:

$$\begin{aligned} d\hat{t} &= (v_c / v_{cst} \Gamma) dt; & \mathbf{v}^* &= \mathbf{v} \Gamma v_{cst}^2 / v_c^2; & \mathbf{P}^* &= \mathbf{v}^* U v_{cst} / c^2 v_c^* = \mathbf{v} U \Gamma v_{cst} / c^2 v_c = \mathbf{P} \Gamma; \\ \mathbf{P} &= \mathbf{v} U v_{cst} / c^2 v_c = \mathbf{v}^* U \Gamma^* v_{cst} / c^2 v_c^* = \mathbf{P}^* \Gamma^*; & p_{Rg}^* &= p_R^* v_{cst} / v_c^* = p_R^* v_c / v_{cst} = p \Gamma_{Rg}; \\ \Gamma &= (1 - \tilde{v}^2 / c^2)^{-1/2} = (1 - v^2 / v_c^2)^{-1/2} = (1 + v^{*2} / v_c^{*2})^{1/2}; & v_c^* &= v_{cst}^2 / v_c, \end{aligned}$$

где:  $\tilde{v} = v c / v_c$  – скорость движения вещества по стандартным часам, находящимся непосредственно в точке мгновенного пребывания этого вещества.

Следует отметить, что  $\Gamma_{Rg} = \Gamma v_c / v_{cst} = \text{const}$  при свободном падении тела. И, поэтому, ковариантная компонента тензора энергии-импульса  $U_{Rg}^* = U_R^* v_c / v_{cst} = U \Gamma_{Rg}$ , являющаяся полной энергией вещества этого тела, остается неизменной в процессе всего его свободного падения. А тот факт, что калибровочно преобразуемыми потенциалами являются логарифмы  $v_c$  и  $\Gamma$ , не только позволяет аддитивно складывать псевдосилы тяготения и инерции, но и обеспечивает взаимную независимость их гамильтонианных напряженностей. Благодаря этому же факту, в однородном веществе, не подвергнутом воздействию пространственно неоднородных электрического и магнитного полей, гравитационное поле может быть задано пространственным распределением координатного значения не только гравибарической<sup>25</sup> [18], но и истинной скорости света. В соответствии со всем этим полная энергия вещества в СО наблюдателя эквивалентна в ОТО не ковариантному лишь по  $\Gamma$  (кинетоковариантному) и контравариантному по  $v_c$  (гравиконтравариантному) значению<sup>26</sup> релятивистской массы  $m_{Rg}^* = m_R^* v_{cst} / v_c = m \Gamma v_{cst} / v_c$ , а ее

<sup>23</sup> В СТО и в ОТО рационально рассматривать инерцию вещества по отношению к изменению релятивистского сокращения  $\Gamma^*$  длины образуемого им объекта, а тем самым, и к изменению интенсивности движения  $v/c = v/v_c$  этого вещества, а не к изменению скорости  $v$  его движения.

<sup>24</sup> Как следует из (7 – 9) гамильтонианная напряженность гравитационной псевдосилы не зависит от полной энергии вещества (его гамильтониана) и эквивалентной ей его массы. И это имеет место, как в равновесном состоянии, так и в неравновесном состоянии (в свободном падении) вещества. Определимость же напряженности гравитационного поля лишь градиентами термодинамических параметров вещества указывает на единую природу его гравитационных и термодинамических свойств.

<sup>25</sup> При наличии в веществе теплового и механического равновесий вакуумное значение скорости света в нем одинаково в пределах всего этого вещества. Поэтому-то гравитационное поле в веществе и задается пространственным распределением не вакуумного (координатного), а зависящего от давления в нем истинного (гравибарического) значения скорости света.

<sup>26</sup> Это значение массы является релятивистским значением гравитационной и эквивалентной ей инертной масс вещества.

ковариантному, как по  $\Gamma$ , так и по  $v_c$  значению  $m_{Rg}^* = m\Gamma_{Rg} = \tilde{m}\Gamma cv_c / v_{cst}^2$ . Здесь:  $\tilde{m}$  и  $m = \tilde{m}c_c / v_{cst}$  – значения массы вещества соответственно в собственном и в стандартном (редуцированном) его квантовых временах. Пропорциональность же, как гравитационной псевдосилы, так и даламберовой псевдосилы инерции, именно, полной энергии<sup>27</sup> вещества делает неактуальной проблему взаимной эквивалентности гравитационной и инертной масс [16].

Рассмотрим следующий формализм<sup>28</sup>, приводящий к наиболее простому виду дифференциальные уравнения термодинамики в физически неоднородном пространстве. Будем условно считать, что гравитационное замедление протекания физических процессов в веществе вызвано принципиально ненаблюдаемым переносным «движением»<sup>29</sup> этого вещества вдоль оси условной координаты  $q$  с гравитационной псевдоскоростью  $v_q = dq / dt = (v_{cst}^2 - v_c^2)^{1/2}$ .

Ортогональность этой оси, как псевдоевклидову, так и евклидову мировым пространствам обеспечивает возможность раздельного учета влияния на термодинамическое состояние вещества мнимого переносного и действительного относительного движений этого вещества:

$$\Gamma_{Rg} = \Gamma\Gamma_g = (1 - \tilde{v}^2 / c^2)^{-1/2} (1 + v_q^2 / v_{cst}^2)^{-1/2} = \Gamma v_c / v_{cst}, \quad (10)$$

где:  $\Gamma_g = v_c / v_{cst} = (1 - v_q^2 / v_{cst}^2)^{1/2} = 1 / \Gamma_g^* = v_{cst} / v_c^* = (1 + v_q^{*2} / v_{cst}^2)^{-1/2}$

– функция<sup>30</sup>, определяющая гравитационное (релятивистское псевдокинематическое) замедление протекания физических процессов в веществе. При  $v_c < v_{cst}$  физические процессы в веществе текут быстрее в его калибровочно преобразованном<sup>31</sup> квантовом (стандартном) времени, нежели в гравитермодинамическом (координатном) времени мира людей. К тому же непрерывно увеличивающееся отставание показаний стандартных часов от показаний координатных часов является неодинаковым в сколь угодно близких друг к другу точках пространства. В стандартной ОТО это и приводит к тому, что псевдовакуумная скорость света, определяемая в точке  $j$  по находящимся в ней стандартным псевдовакуумным часам, равна постоянной  $c$  лишь для наблюдателя, дислоцированного непосредственно в этой же точке. На самом же деле

<sup>27</sup> Диссипативные силы и подобные им другие силы или же составляющие сил, в отличие от сил потенциальных полей, пропорциональны не полной энергии, а ковариантному значению импульса движущегося вещества [16]. Поэтому, в общем случае результирующая псевдосила инерции, компенсирующая все действующие на вещество силы и псевдосилы, разлагается на несколько пространственно-временных составляющих, две из которых направлены строго вдоль направления движения и образуют даламберову псевдосилу инерции. Одна из этих двух составляющих пропорциональна полной энергии, а вторая, компенсирующая пропорциональные скорости движения силы, пропорциональна ковариантному значению импульса вещества.

<sup>28</sup> Этот формализм принципиально совместим не только с ортодоксальной ОТО, но и с большинством известных ее интерпретаций, а также и с другими теориями тяготения, использующими в качестве гравитационного потенциала подходящую функцию от координатного значения скорости света. Поэтому, чтобы не ограничиваться лишь рамками ортодоксальной ОТО, а также во избежание усложнения записи дифференциальных уравнений термодинамики, здесь преднамеренно не используется математический аппарат ОТО. Здесь учитывается лишь связь пространственной неоднородности координатного (истинного или же гравитарического) значения скорости света с другими характеристиками пространственно неоднородного термодинамического состояния вещества и, тем самым, обеспечивается возможность количественного анализа влияния гравитации на вещество и в не использующей математический аппарат ОТО специализированной литературе по термодинамике.

<sup>29</sup> Это мнимое движение по-иному влияет на скорость физических процессов и может рассматриваться как гравитационное смещение временных координат событий в квантовом времени вещества.

<sup>30</sup> Выражение для этой функции приведено для случая неперевышения скоростью света в веществе стандартного его значения. В противном случае оно соответствует ее ковариантному значению. Учитывая возможность взаимной замены гравиконтравариантных и гравиковариантных значений термодинамических параметров и характеристик, в дальнейшем будем рассматривать математические выражения лишь для случая неперевышения скоростью света своего стандартного значения.

<sup>31</sup> Калибровочное преобразование обеспечивает взаимную синхронность для всех веществ течения таких редуцированных квантовых времен в стандартных термобарических условиях мира людей. Не синхронные же этому темпу течения квантовых времен вещества при других термобарических условиях преобразуются также взаимно пропорционально. Поэтому напряженность гравитационного поля, вызванная неодинаковостью истинных значений скорости света в веществе в разных его термодинамических состояниях [11], является инвариантной к этому преобразованию.

пространственная неоднородность темпа течения квантового времени заполняющего пространство вещества вызвана пространственной неоднородностью термодинамического состояния самого вещества, проявляющейся в пространственной неоднородности истинной скорости света<sup>32</sup> в нем и однозначно определяющих ее термодинамических параметров вещества. Для наблюдателя, дислоцированного же в какой-либо другой точке  $i$  физически неоднородного пространства, гравиковариантное значение этой скорости света в покоящемся веществе в соответствии с релятивистскими преобразованиями приращений координат является строго сопряженным с ее гравиконтравариантным значением:  ${}^i v_c^* \equiv {}^i v_{gRc}^* = v_{cst}^2 / {}^i v_c = v_{cst} v_{ci} / v_{cj}$ . Если же наблюдение «ведется» из гипотетической точки, в которой термобарические условия являются стандартными ( $v_{ci} = v_{cst}$ ), то по отсчитываемому в ней единому координатному (гравитермодинамическому) времени всего вещества какого-либо астрономического тела для любой точки собственного пространства этого тела будем иметь:  $v_c^* = v_{cst}^2 / v_c$ . При наблюдении же из точки  $i$  вещества, в котором  $v_{cj} > v_{ci}$  условная координата  ${}^i q$  будет времениподобной, а у которого  $v_{cj} < v_{ci}$  она будет пространственноподобной. Аналогично при  $v_{cj} > v_{cst}$  времениподобной, а при  $v_{cj} < v_{cst}$  пространственноподобной координата  $q$  является и в СО мира людей. Это указывает на отсутствие, как в СО вещества, так и в СО мира людей единой координатной оси, соответствующей условной координате  $q$ , и позволяет принять концепцию о взаимной ортогональности  $q$ -осей всех точек собственного пространства вещества. Лишь только в этом случае и возможна пропорциональная взаимная синхронизация показаний всех стандартных часов вещества тела, при которой для любой тройки точек  $i, j$  и  $k$  выполняются условия:  ${}^i v_c = {}^j v_c \cdot {}^j v_c$ ;  $d_j^i t = (d_i^j t)^*$ . Следует отметить, что для любой пары точек  $i$  и  $j$  имеют место также и зависимости:

$${}^i v_c = {}^j v_c^*; \quad {}^j v_c^* = {}^i v_c, \quad (11)$$

которые, в отличие от релятивистских преобразований приращений координат движущихся объектов, не обеспечивают обоюдно наблюдаемого замедления протекания физических процессов в веществе во взаимно противоположных точках пространства. Ведь при равенстве собственных значений приращений времени в точках  $i$  и  $j$  ( $d_i^i t = d_j^j t$ ), в отличие от (3), в гравитационном поле имеют место не прямые, а перекрестные равенства наблюдаемых контравариантных и ковариантных приращений времени:

$$d_j^i t = (d_i^j t)^*; \quad (d_i^j t)^* = d_j^i t. \quad (12)$$

Несмотря на пространственноподобность при  $v_{cj} < v_{ci}$  координаты  ${}^i q$  и при  $v_c < v_{cst}$ , их все же можно рассматривать и в этом случае как показатели непрерывно накапливаемых десинхронизаций показаний квантовых часов относительно друг друга и относительно стандартных часов соответственно.

При  $v_c < v_{cst}$  контравариантные и ковариантные значения гравитационных псевдоскоростей и сформированных на их основе гравитационных псевдоимпульсов будут следующими:

$$v_q = \sqrt{v_{cst}^2 - v_c^2} = v_{cst} \sqrt{1 - v_{cst}^2 / v_c^2}; \quad P_q = U v_q^* \Gamma_g / v_{cst}^2 = U v_q / v_{cst}^2; \quad (13)$$

$$v_q^* = v_q / \Gamma_g = v_{cst} \sqrt{v_{cst}^2 / v_c^2 - 1} = \sqrt{v_c^{*2} - v_{cst}^2}; \quad P_q^* = U v_q \Gamma_g^* / v_{cst}^2 = U v_q^* / v_{cst}^2, \quad (14)$$

где под  $v_c$ , все же, следует рассматривать не псевдовакуумное, а истинное значение скорости света в веществе. Энергия гравитационной связи:

$$w_g = \Gamma U_{Rg} - \Gamma^* U_{Rg}^* = U_g - U_g^* = U / \Gamma_g - U / \Gamma_g^* = v_q^* P_q = v_q P_q^*$$

<sup>32</sup> На самом же деле гипотетическое вакуумное значение скорости света, в отличие от истинного его значения в веществе, является пространственно однородным, несмотря на наличие гравитационного поля в заполненном веществом пространстве [18].

почти вдвое больше использованной потенциальной энергии гравитационного поля  $w_{ge}^* = U - U_g^*$ , где  $U_{Rg} = U_R / \Gamma_g = U v_{cst} / \Gamma v_c$ . Поэтому высвобождается лишь примерно половина этой энергии. Остальная же ее часть  $w_{gi} = U_g - U$  перераспределяется между энергиями других внутренних связей в веществе. Приращение полной энергии вещества с учетом всего этого будет определяться приращениями уже не трех, а четырех его экстенсивных параметров<sup>33</sup>:

$$dU_{Rg}^* = (TdS - pdV)\Gamma_{Rg} + U_{Rg}^* d \ln \Gamma_{Rg} = T_{Rg} dS - p_{Rg} dV - v_{Rq}^* dP_q + (\mathbf{v}, d\mathbf{P}^*), \quad (15)$$

где:  $v_{Rq}^* = v_q^* / \Gamma$ , а:  $T_{Rg} = T / \Gamma_{Rg} = T v_{cst} / v_c \Gamma$  и  $p_{Rg} = p / \Gamma_{Rg} = p v_{cst} / v_c \Gamma$  – контравариантные гравитермодинамические значения<sup>34</sup> его температуры и давления.

Приращение контравариантной релятивистской энтальпии  $H_{Rg} = H / \Gamma_{Rg}$ :

$$dH_{Rg} = (TdS + Vdp) / \Gamma_{Rg} - H_{Rg} d \ln \Gamma_{Rg} = T_{Rg} dS + V dp_{Rg} + P_q dv_{Rq}^* - (\mathbf{P}^*, d\mathbf{v}), \quad (16)$$

как и приращение обычной энтальпии  $H$ , определяется приращениями лишь интенсивных параметров<sup>35</sup> (конечно же, за исключением приращения энтропии).

## 7. ОСНОВНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ В КОВАРИАНТНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ

В ПВК, в котором наблюдается движение вещества, дифференциальные уравнения релятивистской термодинамики могут быть заданы и в координатах ковариантного мирового пространства, сопряженного с пространством Минковского по отсчитываемой вдоль пути движения вещества пространственной координате  $l(d\mathbf{l}^* = \mathbf{v}(dt)^*)$ :

$$U_R \cdot (dt)^* + (\mathbf{P}, d\mathbf{l}^*) = U_R^* \cdot (dt)^* = (H_R^* - V p_R^*)(dt)^* = U d\hat{t}. \quad (17)$$

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, отнесенные к заполненным этим движущимся веществом участкам пространства:

$$U_R = (\mathbf{P}, \mathbf{P}^*) U / P^{*2} = U_R^* - (\mathbf{P}, \mathbf{v}^*) = H_R^* - V p_R^* - (\mathbf{P}, \mathbf{v}^*). \quad (18)$$

Здесь контравариантное значение механического импульса:

$$\mathbf{P} = (\partial U_R^* / \partial \mathbf{v}^*)_{S,V} = \mathbf{v}^* U \Gamma^* / c^2 = U (\partial U_R^* / \partial \mathbf{P}^*)_{S,V} = \mathbf{v} U / c^2. \quad (19)$$

В соответствии с этим:

$$(\mathbf{P}, \mathbf{v}^*) = (\mathbf{P}^*, \mathbf{v}); \quad w = U_R^* - U_R = (\mathbf{P}^*, \mathbf{P}) / U = -(\partial U_R / \partial \ln P)_{S,V} = (\partial U_R^* / \partial \ln P^*)_{S,V}.$$

<sup>33</sup> Рассматриваемые здесь и далее дифференциальные уравнения термодинамики учитывают воздействие на вещество не только движения, но и гравитации. Тем самым они являются применимыми, как в ОТО и в некоторых других теориях тяготения, так в частности и в СТО. В последнем случае, конечно же, необходимо принять в них, что  $v_c^* = v_c \equiv c$  и, следовательно, как  $v_q^* = v_q = 0$ , так и  $P_q^* = P_q = 0$ , что может иметь место лишь при отсутствии соответствующего неинерциальному движению вещества устранимого гравитационного поля. Поэтому нет никакой необходимости акцентировать здесь в рамках какой из теорий рассматривается обобщение термодинамики.

<sup>34</sup> Для покоящегося вещества эти значения являются определяемыми в его квантовом собственном времени величинами стандартных в СО мира людей значений его термодинамических параметров. В соответствующей этому времени собственной квантовой СО наблюдаемой локальной области вещества истинное (не вакуумное) значение локальной скорости света принципиально равно постоянной скорости света  $c$ . Скорость света в ней может отличаться от  $c$  лишь в других локальных областях вещества, в которых имеют место иные значения его термодинамических параметров.

<sup>35</sup> Базаров [1] приводит подобное выражение, не содержащее приращений скорости движения и какого-либо гравитационного интенсивного параметра, для дифференциала лоренц-инвариантной энтальпии. Тем самым, он фактически рассматривает термодинамическое состояние движущегося вещества не во внешней СО, в которой наблюдается движение, а в сопутствующей этому веществу СО.



А с учетом того, что ковариантные значения энергии и импульса являются компонентами контравариантного четырехвектора энергии-импульса в псевдоевклидовом мировом пространстве, а контравариантные значения энергии и импульса, наоборот, являются компонентами ковариантного четырехвектора энергии-импульса в евклидовом мировом пространстве, квадрат модуля этих сопряженных векторов определяется следующим образом:

$$U^2 = U_R U_R^* = U_R^{*2} - c^2 P^{*2} = U_R^2 + c^2 P^2. \quad (20)$$

С учетом же наличия гравитационного поля  $(\mathbf{P}, \mathbf{v}^*)/v_c^* = (\mathbf{P}^*, \mathbf{v})/v_c$ , а:

$$U^2 = U_{Rg} U_{Rg}^* = U_{Rg}^{*2} + v_{cst}^2 P_q^{*2} / \Gamma_{Rg}^{*2} - v_{cst}^{*2} P^2 = U_{Rg}^2 - v_{cst}^2 P_q^2 / \Gamma_{Rg}^2 + v_{cst}^{*2} P^2, \quad (21)$$

где:  $v_{cst}^* = c^2 / v_{cst}$ .

В ковариантном представлении основные дифференциальные уравнения релятивистской термодинамики для вещества, находящегося в физически неоднородном пространстве, соответствуют гравитермодинамической<sup>36</sup> СО [11], в которой темп течения времени не зависит от термодинамического состояния вещества, и имеют следующий вид:

$$dH_{Rg}^* = (TdS + Vdp) / \Gamma_{Rg}^* - H_{Rg}^* d \ln \Gamma_{Rg}^* = T_{Rg}^* dS + V dp_{Rg}^* - P_q^* dv_{Rq} + (\mathbf{P}, d\mathbf{v}^*), \quad (22)$$

$$dU_{Rg} = (TdS - pdV) \Gamma_{Rg}^* + U_{Rg} d \ln \Gamma_{Rg}^* = T_{Rg}^* dS - p_{Rg}^* dV + v_{Rq} dP_q^* - (\mathbf{v}^*, d\mathbf{P}), \quad (23)$$

где:  $H_{Rg}^* = H / \Gamma_{Rg}^* = H \Gamma v_c / v_{cst}$ ;  $v_{Rq} = v_q / \Gamma^*$ . В механике же приращение контравариантного значения энергии вещества  $U_{Rg} = U_R v_{cst} / v_c = U v_{cst} / v_c \Gamma$  может быть выражено через соответствующие контравариантные (лагранжевы) силы, являющиеся функциями лишь от контравариантных релятивистских значений термодинамических параметров движущегося вещества:

$$dU_{Rg} = (F_{cl} + F_{pl} + F_{gl} - F_{inl}) dl.$$

В отличие от гамильтоновых сил, лагранжевы силы сопутствуют движущемуся веществу. При нестабильности гравитермодинамических параметров движущегося вещества проекции этих сил на направление его движения определяются следующим образом:

$$F_{cl} = \left( \frac{\partial U_{Rg}}{\partial S} \right)_{V, v_c, \Gamma} \left( \frac{dS}{dl} \right) = T_{Rg} \left[ \left( \frac{\partial S}{\partial l} \right)_t + \frac{1}{v} \left( \frac{\partial S}{\partial t} \right)_l \right];$$

$$F_{pl} = \left( \frac{\partial U_{Rg}}{\partial V} \right)_{S, v_c, \Gamma} \left( \frac{dV}{dl} \right) = -p_{Rg} \left[ \left( \frac{\partial V}{\partial l} \right)_t + \frac{1}{v} \left( \frac{\partial V}{\partial t} \right)_l \right];$$

$$F_{gl} = \left( \frac{\partial U_{Rg}}{\partial v_c} \right)_{S, V, \Gamma} \left( \frac{dv_c}{dl} \right) = v_{Rq} \left( \frac{\partial P_q}{\partial v_c} \right)_{S, V} \left( \frac{dv_c}{dl} \right) = -U_{Rg} \left[ \left( \frac{\partial \ln v_c}{\partial l} \right)_t + \frac{1}{v} \left( \frac{\partial \ln v_c}{\partial t} \right)_l \right];$$

$$F_{inl} = - \left( \frac{\partial U_{Rg}}{\partial \Gamma} \right)_{S, V, v_c} \left( \frac{d\Gamma}{dl} \right) = v \cdot \left( \frac{\partial P}{\partial \Gamma} \right)_{S, V, v_c} \left( \frac{d\Gamma}{dl} \right) = U_{Rg} \left[ \left( \frac{\partial \ln \Gamma}{\partial l} \right)_t + \frac{1}{v} \left( \frac{\partial \ln \Gamma}{\partial t} \right)_l \right].$$

Согласно ковариантным уравнениям релятивистской термодинамики, участки пространства, заполненные движущимся веществом, действительно становятся как бы «горячее»<sup>37</sup> [1], чем участки пространства с таким же неподвижным веществом. Любая пара коррелированных фотонов, имеющих в сопутствующей веществу СО одинаковую энергию  $U_{c0}$  и распространяющихся в ней

<sup>36</sup> В этой используемой в ОТО СО устанавливается единое для всего вещества координатное (гравитермодинамическое [11]) время, отсчитываемое по гипотетическим часам лишь пропорционально синхронизированным в жестких СО со всеми отсчитывающими квантовое время часами.

<sup>37</sup> Вернее, «горячее» становится неувлекаемый движением физический вакуум, если, конечно, движение наблюдается в его фундаментальной СО. Ведь элементарные частицы вещества можно рассматривать как не механически самовозбужденные микросостояния физического вакуума, проявляющиеся как пространственно-временные модуляции его основных характеристик в виде самоорганизовавшихся спирально-волновых образований [14–16].

строго в противоположных направлениях, имеет в несопутствующей веществу СО суммарную энергию в  $\Gamma$  раз большую, чем в сопутствующей веществу СО:  $U_c + U'_c = 2U_{c0} \Gamma = 2U_{c0} / \Gamma^*$ .

Здесь:

$$U_c = U_{c0} \Gamma^* [1 - (v/c) \cos \varphi]^{-1} = U_{c0} \Gamma [1 + (v/c) \cos \varphi_0];$$

$$U'_c = U_{c0} \Gamma^* [1 - (v/c) \cos \varphi']^{-1} = U_{c0} \Gamma [1 + (v/c) \cos(\varphi_0 + \pi)];$$

$\varphi_0$  и  $(\varphi_0 + \pi)$  – углы в сопутствующей веществу СО между направлениями распространения фотонов и направлением движения вещества;  $\varphi$  и  $\varphi'$  – соответствующие им углы в несопутствующей движущемуся веществу СО, в которой направления распространения коррелированных фотонов в общем случае не являются взаимно параллельными.

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

## 8. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ В СМЕШАННЫХ КОВАРИАНТНО-КОНТРАВАРИАНТНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ

Дифференциальные уравнения релятивистской термодинамики могут быть сформулированы и в смешанных представлениях – в кинетоконтравариантном и гравиковариантном представлении  $\Gamma_{gR}^*) \equiv \Gamma_{0g}^* = \Gamma \Gamma_g^*$ :

$$dH_{gR}^*) = (TdS + Vdp) / \Gamma_{gR}^*) - H_{gR}^*) d \ln \Gamma_{gR}^*) = T_{gR}^*) dS + Vdp_{gR}^*) - P_q^*) dv_{qR} - (\mathbf{P}^*, d\mathbf{v}) = dH_{0g}^*) =$$

$$= (TdS + Vdp) / \Gamma_{0g}^*) - H_{0g}^*) d \ln \Gamma_{0g}^*) = T_{0g}^*) dS + Vdp_{0g}^*) - P_{0q}^*) dv_{0q}; \quad (24)$$

$$dU_{Rg}^*) = (TdS - pdV) \Gamma_{gR}^*) + U_{Rg}^*) d \ln \Gamma_{gR}^*) = T_{gR}^*) dS - p_{gR}^*) dV + v_{qR} dP_q^*) + (\mathbf{v}, d\mathbf{P}^*) = dU_{0g}^*) =$$

$$= (TdS - pdV) \Gamma_{0g}^*) + U_{0g}^*) d \ln \Gamma_{0g}^*) = T_{0g}^*) dS - p_{0g}^*) dV + v_{0q} dP_{0q}^*), \quad (25)$$

и, наоборот, в кинетоквариантном и гравиконтравариантном представлении  $\Gamma_{Rg}^*) \equiv \Gamma_{0g} = \Gamma^* \Gamma_g$ :

$$dH_{Rg}^*) = (TdS + Vdp) / \Gamma_{Rg}^*) - H_{Rg}^*) d \ln \Gamma_{Rg}^*) = T_{Rg}^*) dS + Vdp_{Rg}^*) + P_q^*) dv_{Rq}^*) + (\mathbf{P}, d\mathbf{v}^*) = dH_{0g} =$$

$$= (TdS + Vdp) / \Gamma_{0g} - H_{0g} d \ln \Gamma_{0g} = T_{0g} dS + Vdp_{0g} + P_{0q} dv_{0q}^*); \quad (26)$$

$$dU_{gR}^*) = (TdS - pdV) \Gamma_{Rg}^*) + U_{gR}^*) d \ln \Gamma_{Rg}^*) = T_{Rg}^*) dS - p_{Rg}^*) dV - v_{Rq}^*) dP_q^*) - (\mathbf{v}^*, d\mathbf{P}) = dU_{0g}^*) =$$

$$= (TdS - pdV) \Gamma_{0g} + U_{0g}^*) d \ln \Gamma_{0g} = T_{0g} dS - p_{0g} dV - v_{0q}^*) dP_{0q}. \quad (27)$$

Эти смешанные представления уравнений тождественны соответственно ковариантному<sup>38</sup> и контравариантному представлениям дифференциальных уравнений термодинамики в сопутствующих движущемуся веществу СО<sup>39</sup>. Первое из них соответствует гравитермодинамической СО [11] всего взаимно неподвижного вещества, а второе – квантовым собственным СО локальных областей этого движущегося вещества. Здесь:  $p_{0g}^*) = p / \Gamma_{0g}^*$ ,

<sup>38</sup> В случае преобразований с использованием истинного значения скорости света в веществе, нормированного по его значению в стандартных термобарических условиях мира людей, (вместо используемого в ОТО псевдовакуумного значения скорости света, нормированного по постоянной скорости света) ковариантное представление уравнений термодинамики будет соответствовать гравитермодинамической СО всего взаимно неподвижного вещества [11].

<sup>39</sup> Исключением являются лишь идеальные (вырожденные) виды движения, которые могли бы иметь место при гипотетическом отсутствии гравитационных полей. Это классическое равномерное движение, которому соответствует инерциальная СО, и строго гиперболическое движение, которому соответствует гиперболическая СО Мёллера [10]. В один и тот же момент собственного времени СО Мёллера все точки ее собственного пространства движутся с одинаковыми скоростями, как и точки собственного пространства инерциальной СО. Поэтому, имеющееся в СО Мёллера устранимое гравитационное поле задается пространственной неоднородностью не релятивистского сокращения длины, а длительности интервалов между фронтами собственного времени, соответствующими любым двум одним и тем же квантам действия.

$T_{0g}^* = T / \Gamma_{0g}^* = T v_{cst} / v_{0c}^* = T v_{0c} / v_{cst}$  и  $p_{0g} = p / \Gamma_{0g}$ ,  $T_{0g} = T / \Gamma_{0g} = T v_{cst} / v_{0c} = T v_{0c}^* / v_{cst}$  – соответственно ковариантные и контравариантные релятивистские значения давления и температуры;  $v_{0q} = \sqrt{v_q^2 + v^2}$  и  $v_{0q}^* = \sqrt{v_q^{*2} + v^{*2}}$  – результирующие значения гравитационных псевдоскоростей переносного псевдодвижения, определяемые по правилам сложения ортогональных проекций векторов;

$$H_{0g}^* \equiv H_{gR}^*) = H / \Gamma \Gamma_g^* = H \sqrt{v_c^2 - v^2} / v_{cst} = H v_{cst} / v_{0c}^* = H v_{0c} / v_{cst}$$

и:

$$H_{0g} \equiv H_{Rg}^*) = H / \Gamma^* \Gamma_g = H \sqrt{v_c^{*2} + v^{*2}} / v_{cst} = H v_{cst} / v_{0c} = H v_{0c}^* / v_{cst}$$

– соответственно ковариантное и контравариантное координатные (гравитермодинамические) значения энтальпии в физически неоднородном пространстве сопутствующей веществу СО;

$$U_{0g}^* \equiv U_{gR}^*) = U / \Gamma \Gamma_g^* = U / \Gamma_{0g}^* = U v_{cst} / v_{0c}^*$$

– полная (ковариантная) энергия движущегося вещества в сопутствующей ему СО;

$$U_{0g} \equiv U_{Rg}^*) = U / \Gamma^* \Gamma_g = U / \Gamma_{0g} = U v_{cst} / v_{0c}$$

– потенциальная (контравариантная) энергия<sup>40</sup> вещества, включающая в себя, кроме полной энергии вещества, еще и высвобожденную энергию его гравитационной связи:

$$w_{0g} = U_{0g} - U_{0g}^* = U (v_q^2 + v^2) (v_{cst}^2 - v_q^2 - v^2)^{-1/2} / v_{cst} = v_{0q}^* P_{0q} = v_{0q} P_{0q}^* = v_{Rq} P_{Rq}^* + v P^* = \Gamma w_g + w.$$

Таким образом, в сопутствующей движущемуся веществу СО его внешняя энергия (энергия переноса) входит в состав энергии гравитационной связи. Поэтому кинетическая энергия вещества является полностью высвобожденной в сопутствующей ему СО.

## 9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренное в [22] и здесь релятивистское обобщение термодинамики с лоренц-инвариантными энтропией и строго экстенсивным молярным объемом лишено многих недостатков релятивистских обобщений с лоренц-инвариантным давлением. Оно позволяет по-новому интерпретировать восприятие протекания физических процессов в движущемся веществе из не сопутствующих ему СО. Возможность же, как контравариантного, так и ковариантного представлений дифференциальных уравнений релятивистской термодинамики решает проблему наличия в ней двух альтернативных релятивистских температур – температуры Планка и температуры Отта, а также вскрывает физический смысл контравариантных и ковариантных значений и других термодинамических параметров и характеристик. Образование же контравариантным и ковариантным значениями импульса четырех-импульсов не с энтальпией, а соответственно с лагранжианом и с гамильтонианом вещества, а также отсутствие затрат энергии на релятивистское сокращение молярного объема вещества устраняют взаимное противоречие формулировок закона сохранения энергии в релятивистских обобщениях механики и термодинамики.

Следует также отметить, что предложенный здесь формализм хорошо согласуется с классической термодинамикой и позволяет учитывать в ней воздействие на вещество наведенной гравитационным полем физической неоднородности пространства без использования сложного математического аппарата ОТО. Это позволит производить в специализированной литературе по термодинамике не только качественный, но количественный анализ воздействия гравитации на вещество и не ограничиваться рассматриванием в ней лишь проблемных вопросов, возникающих на стыке термодинамики и ОТО [1].

<sup>40</sup> Потенциально возможное максимальное значение полной энергии вещества, имеющее место в его квантовой собственной СО. И, следовательно, в отличие от классической физики, не полная энергия включает в себя потенциальную а, наоборот, потенциальная энергия включает в себя реализовавшуюся полную энергию этого вещества. Конечно же, чтобы сохранить классические представления, можно условно принять, что энергия гравитационной связи является отрицательной. Однако при этом, все же, следует понимать, что физически ни какая энергия отрицательной быть не может.

## ЛИТЕРАТУРА

1. И.П. Базаров, *Термодинамика*, ВШ, Москва (1991).
2. В.А. Угаров, в сб. *Эйнштейновский сборник, 1969-1970*, Наука, Москва (1970), с. 65.
3. А. Эйнштейн, *Собр. соч.*, Наука, Москва (1965), Т. 1, с. 65.
4. F. Hasenöhr, Wien. Ber., **116**, 1391 (1907).
5. M. Planck, Berl. Ber., 542 (1907); Ann. d. Phys., **76**, 1 (1908).
6. H.Z. Ott, Phys., **175**, 70 (1963).
7. К. Мёллер, в сб. *Эйнштейновский сборник, 1969-1970*, Наука, Москва (1970), с. 11.
8. N.G. Van Kampen, Phys. Rev., **173**, 295 (1968).
9. Луи де Бройль, в сб. *Эйнштейновский сборник, 1969-1970*, Наука, Москва (1970), с. 7.
10. К. Мёллер, *Теория относительности*, Атомиздат, Москва (1975).
11. П. Даньльченко, в сб. *Введение в релятивистскую гравитермодинамику*, Нова книга, Винница (2008), с. 19, E-print: <http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/UnitedNature.html>.
12. А. Бротас, в сб. *Эйнштейновский сборник, 1969-1970*, Наука, Москва (1970), с. 86.
13. A. Brotas, Comptes rendus, **A 265**, 244 (1967).
14. П.И. Даньльченко, в сб. *Калибровочно-эволюционная интерпретация специальной и общей теорий относительности (КЭИТО)*, О. Власюк, Винница (2004), с. 3, E-print: [http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/Nature\\_Rus.html](http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/Nature_Rus.html).
15. П.И. Даньльченко, *Релятивистское сокращение длины и гравитационные волны. Сверхсветовая скорость распространения*, Наука и Техника, Киев (2005), E-print archives, <http://n-t.org/tp/ns/rsd.htm>; в сб. *КЭИТО*, Нова книга, Винница (2008), с.3, E-print: <http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/rsd.html>.
16. П. И. Даньльченко, *Основы калибровочно-эволюционной теории Мироздания*, Винница (1994); НиТ, Киев (2005), E-print archives, <http://n-t.org/tp/ns/ke.htm>; Винница (2006), E-print: [http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/Osnovy\\_Rus.html](http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/Osnovy_Rus.html).
17. Э. Нётер, в сб. *Вариационные принципы механики*, Физматгиз, Москва (1959), с. 611.
18. П.И. Даньльченко, в сб. *Тез. докл. XII Российской гравитац. конф.* (Казань, 2005), с. 39; в сб. *Введение в релятивистскую гравитермодинамику*, Нова книга, Винница (2008), с. 4; E-print: [http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/UnitedSolution\\_Rus.html](http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/UnitedSolution_Rus.html).
19. Я. Б. Зельдович, Л. П. Гришук, УФН **155**, 517 (1988).
20. А.А. Тяпкин, УФН **106**, 618 (1972).
21. Б.Б. Кадомцев, И.Ю. Кобзарев, Л.В. Келдыш, Р.З. Сагдеев, УФН **106**, 660 (1972).
22. П.И. Даньльченко, в сб. *Sententiae. Філософія і космологія*, **2**, УНІВЕРСУМ-Вінниця, Винница (2006), с. 27, E-print: <http://pavlo-danylchenko.narod.ru/docs/RTold.pdf>.