

К ТЕОРИИ АБСОЛЮТНОСТИ

Эткин В.А.

В статье обосновывается целесообразность замены принципа неразличимости процессов, лежащего в основе СТО и ОТО, на противоположный ему принцип различимости, ведущий к теории абсолютности

TO THE ABSOLUTENESS THEORY

Etkin V.A.*

It is shown, that a principle of a indistinguishability, underlying the special and general theory of a relativity, it is expedient to replace on opposite to him principle of discernability of processes that lead to the absoluteness theory

Введение. Ещё в 1632 году в книге «Диалог о двух главнейших системах мира – «птолемеевой» и «коперниковой» Г. Галилей отметил как факт, что если на движущемся прямолинейно и равномерно корабле отпустить камень с мачты, то он падает так же, как и на неподвижном корабле – к подножию мачты. В частности, в трюме корабля, плывущего равномерно и прямолинейно, никакими экспериментами невозможно обнаружить его движение относительно водной среды и суши. Это положение, получившее в механике название «принципа относительности Галилея», утверждало, что равномерное и прямолинейное движение одной системы материальных тел относительно другой совершенно не сказывается на ходе механических процессов, происходящих внутри этих материальных систем. И.Ньютон положил этот принцип в основание его 1-го закона (постулата), сформулировав его следующим образом: «всякое тело продолжает удерживаться в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние» [1]. Отсюда следовало, что никакими механическими опытами, производимыми внутри замкнутой механической системы, нельзя различить, покоится ли данное тело или движется равномерно и прямолинейно.

Первым, кто счел необходимым распространить этот принцип и на электромагнитные явления, был А. Пуанкаре, который в 1895 году писал, имея в виду отрицательные результаты опыта Майкельсона: «невозможность показать опытным путем абсолютное движение Земли представляет, по-видимому, общий закон природы; мы, естественно, приходим к тому, чтобы принять этот закон, который мы назовем *постулатом относительности*, и принять без оговорок» [2]. Согласно этому принципу, никакими механическими или электрическими опытами, производимыми внутри замкнутой системы, нельзя установить различие между состояниями покоя и равномерного прямолинейного движения. Отсюда – повышенный интерес к инерциальным системам отсчета (ИСО), а также требование, чтобы физические законы механических и электрических явлений не содержали скорость физической системы в целом v_0 , поскольку покой и равномерное прямолинейное движение всей системы должны быть неразличимы. Отсюда же и требование инвариантности любых физических законов по отношению к ИСО, т.е. записи их в такой форме, чтобы она оставалась неизменной при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.

А.Эйнштейн в 1905 году принял этот принцип относительности за исходный постулат, распространив его на все явления природы и положив в основание своей теории относительности [3]. Вслед за этим он сформулировал принцип локальной неразличимости сил тяготения и сил инерции, назвав его принципом эквивалентности инерционной и гравитационной масс и положив его в основание общей теории относительности (ОТО) [4]. Вскоре к нему присоединился принцип неразличимости ускоренного и вращательного

* Etkin V.A., D-r Sc., Prof., the adviser on the pro-rector for scientific work of Togliatty State University (Russia).

движений. Тем самым неразличимость динамических эффектов ускорения и тяготения была распространена на неинерциальные системы отсчета [4]. Постепенно принцип неразличимости стал едва ли не «краеугольным камнем» при теоретическом построении всей физики. В электродинамике это выразилось в неразличимости электрических и магнитных взаимодействий, что выразилось в утверждении о существовании единой материальной сущности – электромагнитного поля. В ядерной физике он проявился в неразличимости протона и нейтрона по отношению к сильным взаимодействиям, выразившись в требовании инвариантности уравнений теории относительно «вращений» в изотопическом пространстве; в стандартной модели элементарных частиц – в принципе неразличимости тождественных частиц, из которого вытекает существование фермионов и бозонов. В единой теории поля этот принцип проявился в утверждении о полной неразличимости при определенных условиях по крайней мере трёх из четырех его видов (электромагнитного, сильного и слабого), в теории строения материи – в неразличимости вещества и поля. В результате естествознание, до того базировавшееся на убежденности в отсутствии в природе «совершенно тождественных вещей» (Г. Лейбниц), уступило место парадигме, основанной на принципах неразличимости. Господство в физике этой парадигмы лишило науку её главной функции – объяснения явлений и сделало многие из них недоступными пониманию.

Альтернативой такому положению вещей может стать построение теории, базирующейся на противоположном **принципе различимости процессов**. Место этого принципа в системе научных знаний можно понять, если определить науку как способ познания окружающего нас мира, состоящий в различении и последующей систематизации его свойств с целью изучения причинно-следственных соотношений между ними с помощью всего арсенала экспериментальных средств. Одна из попыток положить названный принцип в основание междисциплинарной физической была названа нами для краткости энергодинамикой [5].

1. Аксиома различимости процессов. Энергодинамика представляет собой дальнейшее обобщение классической и неравновесной термодинамики на нетепловые формы энергии и нетепловые машины с целью создания единой теории процессов переноса и преобразования любых форм энергии независимо от их принадлежности к той или иной области знания. Применяя феноменологический (опирающийся на опыт) и дедуктивный (идуший от общего к частному) термодинамический метод, энергодинамика делает его пригодным для изучения нестатических (необратимых) процессов, протекающих в пространственно неоднородных средах и изолированных системах вплоть до объектов типа Вселенной. Тем самым она существенно расширяет круг процессов и систем, для которых применим этот метод, и осуществляет построение целого ряда фундаментальных дисциплин на свойственной термодинамике безгипотезной основе. Эвристическая ценность энергодинамики наиболее отчетливо проявилась в том, что она позволила получить все базовые принципы, законы и уравнения равновесной и неравновесной термодинамики, классической и квантовой механики, теории тепло-и массообмена, гидроаэродинамики и электродинамики как её логико-математические следствия без какой-либо идеализации процессов и систем в самих основаниях теории. Наряду с этим её отличает системный подход к объектам исследования, явный учет в её основных уравнениях скорости, производительности, противонаправленности и необратимости реальных процессов, а также рассмотрение всей интересующей исследователя совокупности взаимодействующих (взаимно движущихся) тел или частиц как единого неравновесного целого.

Согласно **«аксиоме различимости»**, лежащей в основе этой теории, *«существуют независимые процессы, вызывающие специфические, качественно отличимые и не сводимые к другим изменения состояния исследуемой системы»* [5]. Эта аксиома, неявным образом лежащая в основании термодинамической классификации процессов и позволяющая различать в ней изохорные, изобарные, изотермические, адиабатические и т.п. про-

цессы, распространяется энергодинамикой на другие дисциплины. Возможность различать процессы по причинам, их вызывающим, по способу их подавления или активации, а также по их последствиям позволяет находить для каждого из таких процессов его «координату», т.е. *физическую величину, изменение которой является необходимым и достаточным признаком его протекания*. Нахождение параметра, который не изменяется при одновременном протекании в тех же элементах пространства других независимых процессов, играет решающую роль в построении математического аппарата любой фундаментальной теории. В классической термодинамике эту роль сыграла, как известно, энтропия, позволившая отличать процесс теплообмена от адиабатических процессов, изучаемых в других дисциплинах. С той же различимостью было связано в ней и требование обратимости процессов, что исключало самопроизвольные изменения энтропии, не связанные с внешним теплообменом.

Основополагающее значение аксиомы различимости в энергодинамике обусловлено тем, что она позволяет доказать весьма важную для этой междисциплинарной теории теорему о числе степеней свободы исследуемой системы, согласно которой *«число независимых координат, определяющих её состояние (т.е. число её степеней свободы), равно числу феноменологически различных (независимых) процессов, протекающих в ней»*. Это положение, которое для удобства ссылки можно назвать **принципом адекватности**, позволяет избежать как «недоопределения», так и «переопределения» системы¹⁾, что является главным источником методологических и математических ошибок многих современных теорий.

Одним из следствий принципа неразличимости является «принцип относительности» Пуанкаре – Лоренца - Эйнштейна. Действительно, неразличимость состояния покоя и равномерного прямолинейного движения требует, чтобы система отсчета (СО) была выбрана так, чтобы в ней состояние покоя сменилось равномерным и прямолинейным движением. Отсюда – то значение, которое приобретает понятие ИСО в ТО как такой системы отсчета, которая движется прямолинейно и равномерно. Разумеется, никто и никогда не может гарантировать, что выбранная СО является действительно инерциальной, т.е. на неё не действуют никакие силы, поскольку человечество не знает способа изоляции от сил гравитации и воздействия потоков фотонов и нейтрино. Но обеспечить неразличимость упомянутых состояний мы можем, выбрав в качестве их координаты, например, импульс тела **P**, который в любой ИСО остается неизменным во времени ($dP/dt = 0$) для обоих этих состояний. Такая возможность исчезнет, если в соответствии с принципом адекватности ввести для каждого из этих состояний свои независимые координаты, скажем, для первого радиус-вектор центра масс тела **R** (его изменение dR/dt характеризует процесс перемещения) и импульс тела **P** (его изменение характеризует процесс ускорения). Тогда станет очевидным, что состояние покоя и равномерного прямолинейного движения различимы, поскольку они характеризуются разными параметрами. Как здесь не вспомнить механику Лагранжа, в которой состояние механической системы характеризовалось пространственными координатами и импульсами каждой её материальной точки?

Кстати, в таком случае и сам принцип относительности Галилея не нужно постулировать, поскольку он сам является следствием принципа различимости процессов. Действительно, согласно последнему, механическое состояние прямолинейно и равномерно движущейся системы тел характеризуется всего двумя параметрами **R** и **P**. В таком случае необнаружимость механических процессов обусловлена просто неизменностью этих параметров в СО, связанной с этой системой.

Еще одним примером «недоопределения» является постулирование в ОТО тождественности гравитационной и инертной массы. Первая из них характеризует свойство тел притягиваться друг к другу, вторая – свойство тела сопротивляться процессу ускорения. Отождествление этих понятий с ньютоновским понятием массы как «меры количества

¹⁾ Т.е. попыток описать состояние системы недостающим или избыточным числом координат

материи, устанавливаемой пропорционально плотности и объему ее» [1], означает отождествление явно различимых процессов изменения потенциальной и кинетической энергии тела с помощью СО типа свободно падающего лифта А.Эйнштейна. Другое дело, если применить принцип адекватности, согласно которому эти процессы имеют независимые координаты: первый – изменение положения тела в пространстве \mathbf{R} , второй – изменение импульса \mathbf{P} . К сожалению, последствия такого рода методологических ошибок бывают весьма отдаленными и признаются далеко не всеми.

2. Недостающие параметры состояния пространственно неоднородных систем.

Следующей причиной «недоопределения» объекта исследования является использование **гипотезы локального равновесия** [6]. Эта гипотеза предполагает наличие в элементах сплошной среды (неравновесного континуума) локального равновесия (несмотря на протекание в них макроскопических диссипативных процессов); возможность их описания тем же набором переменных, что и в равновесии (несмотря на фактическое использование дополнительных переменных - термодинамических сил) и применимость к ним основного уравнения термодинамики (несмотря на неизбежный переход его в неравенство в случае необратимых процессов). Стоит ли удивляться после этого, что теория, построенная на этой гипотезе, «не достигает полноты и строгости, свойственных классическому термодинамическому методу» [6]?

Энергодинамика, базирующаяся на принципе различимости процессов, указывает на недостаточность параметров равновесных систем для описания состояния неравновесных (пространственно неоднородных) сред. При этом она указывает на необходимость введения наряду с уже известными «термостатическими» координатами Θ_i типа энтропия S , объема V , числа молей k -х веществ N_k , электрического заряда Θ_e , массы M , компонент Mv_α импульса $\mathbf{P} = M\mathbf{v}$ ($\alpha = 1, 2, 3$) и т.д., дополнительных переменных – моментов их распределения \mathbf{Z}_i . Эти параметры характеризуют отклонение состояния системы от равновесного (однородного), обусловленное *перераспределением* энергоносителя Θ_i между частями (областями, фазами, компонентами) неоднородной системы как целого. Такое перераспределение связано с отклонением положения центра экстенсивной величины Θ_i (его радиус-вектора \mathbf{R}_i) от равновесного, т.е. с его смещением на величину $\Delta\mathbf{R}_i$. В результате возникают «моменты распределения» $\mathbf{Z}_i = \Theta_i\Delta\mathbf{R}_i$, характеризующие пространственную неоднородность системы в целом. Такого рода изменения состояния вызывает работа газа в потоке или векторные процессы релаксации, сопровождающиеся выравниванием температур, давлений, химических и других потенциалов системы.

Таким образом, в соответствии с принципом различимости состояние пространственно неоднородной системы характеризуется в общем случае удвоенным (по сравнению с равновесными системами) числом переменных Θ_i и \mathbf{R}_i , где i – число форм энергии системы. Это означает, что энергия такой системы E как функция её состояния имеет вид $E = E(\Theta_i, \mathbf{R}_i)$, а выражение её полного дифференциала приобретает характер тождества:

$$dE \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i - \sum_i \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{R}_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

где $\Psi_i \equiv (\partial E / \partial \Theta_i)$ – обобщенные потенциалы системы (абсолютная температура T , давление p , химический потенциал k -го вещества, его электрический, гравитационный, кинетический и т.п. потенциалы; $\mathbf{F}_j \equiv -(\partial E / \partial \mathbf{R}_j)$ – обобщенные силы в их обычном (ньютоновском) понимании.

Тождество (1) в приложении к изолированным системам ($dE_{uz} = 0$) отражает закон сохранения энергии. Согласно ему, энергия каждой независимой степени свободы системы E_i может изменяться как вследствие её переноса через границы системы (его первая сумма), так и за счет превращения в неё других, j -х форм энергии (вторая его сумма). Поэтому выражение (1) представляет собой более полную математическую формулировку закона сохранения и превращения энергии, охватывающую все (равновесные и неравновес-

ные) процессы взаимодействия объекта исследования с окружающей средой и все возможные формы энергии, присущие открытым и закрытым, замкнутым и незамкнутым, изолированным и неизолированным системам. Это позволяет придать энергии простой и ясный смысл *наиболее общей функции состояния системы, характеризующей её способность к действию* [5].

Согласно (1), энергодинамика оперирует пространством $2n$ переменных, что намного шире 4-х мерного пространства Минковского (даже если считать пространство и время независимыми понятиями). Представим себе теперь ситуацию, когда для одновременно протекающих в поливариантной системе $2n$ процессов пришлось бы искать аналог инерциальной или неинерциальной системы отсчета, в которой два и более произвольных процесса были бы неразличимыми! Тогда исследование систем со многими степенями свободы стало бы невообразимо сложным. Отсюда следует, что постулирование принципа неразличимости (и его следствия – принципа относительности), отнюдь не характеризует прогресс в естествознании, напоминая скорее «маниакальную идею» (И.Е.Тамм).

3. Необходимость перехода к абсолютным системам отсчета. Предпринятый анализ возникшей ситуации диктует целесообразность отыскания предпочтительных систем отсчета, которые позволяли бы выразить законы и соотношения параметров в исследуемом процессе в наиболее простой и легко интерпретируемой форме. Представляет интерес показать, что это возможно, и что для каждой степени свободы поливариантной системы существует единственная (абсолютная) система отсчета её параметров, гарантирующая выполнение всех законов сохранения.

Для нахождения такой СО применим метод установления условий равновесия, идея которого принадлежит Д.Гиббсу (1885) [7]. Рассмотрим изолированную в целом систему, разделенную для простоты на две части (подсистемы) перегородкой, проницаемой лишь для i -го энергоносителя Θ_i (например, теплопроницаемой перегородкой при установлении условий теплового равновесия). Так как в этом процессе энергия системы в целом E остается неизменной, условие равновесия выражается в отсутствии её вариации δE при любых вариациях энергии в подсистемах E' и E'' . При этом процессы превращения энергии, описываемые второй суммой тождества (1), прекращаются ($\mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{R}_i = 0$). Обозначая параметры Θ_i в этих подсистемах одним и двумя штрихами, на основании (1) имеем:

$$\delta E = \delta E' + \delta E'' = \Psi_i' d\Theta_i' + \Psi_i'' d\Theta_i'' = 0. \quad (2)$$

Поскольку система в целом изолирована ($\Theta_i = \text{const}$), то в состоянии равновесия возможные вариации Θ_i' и Θ_i'' в подсистемах, обусловленные динамическим характером этого равновесия, подчинены очевидному ограничению:

$$\delta \Theta_i' = \delta \Theta_i' + \delta \Theta_i'' = 0. \quad (3)$$

Рассматривая (2) совместно с уравнением наложенных связей (3), приходим к выводу, что в состоянии равновесия имеет место равенство потенциалов Ψ_i' и Ψ_i'' в обеих подсистемах:

$$\Psi_i' = \Psi_i''. \quad (4)$$

Поскольку данное условие равновесия носит общий характер и не зависит от природы вещества в подсистемах, параметры Ψ_i в любых подсистемах должны измеряться в СО, единой для всех веществ. Примером такой универсальной СО, является любая шкала температур.

Далее, равенство (4) сохраняет силу до тех пор, пока возможен обмен энергией в i -й форме между подсистемами, т.е. пока не выродилось (исчезло) полностью движение данного рода в любых подсистемах (например, когда еще возможен теплообмен между ними). Это означает, что потенциалы Ψ_i' и Ψ_i'' должны измеряться в СО, нуль которой соот-

ветствует полному «вырождению» (исчезновению) данной степени свободы системы во всех мыслимых телах и частях системы. Этим требованиям, как известно, и отвечает температурная шкала Кельвина.

Данный ход рассуждений можно повторить не только для теплообмена $dQ = TdS$, но и для любого другого процесса этого рода: работы всестороннего сжатия системы $dW_c = -pdV$, работы ввода k -го вещества с химическим потенциалом μ_k в количестве N_k молей $dW_k = \mu_k dN_k$ и т.д. Соответствующие им условия равенства давлений и химических потенциалов получили в термодинамике название условий механического и материального равновесия. Эти условия несложно распространить и на процессы обмена внешней энергией. Такова, например, работа ввода электрического заряда Θ_e в область с потенциалом ϕ ($dW_e = \phi d\Theta_e$); ввода массы M в гравитационное поле с потенциалом Ψ_g ($dW_g = \Psi_g dM$), обмена импульсом между слоями жидкости в ламинарном движении и т.п. Это делает совершенно очевидной необходимость измерения в абсолютной шкале не только температуры и давления (что известно из термодинамики), но и химического, электрического, гравитационного, кинетического и любого другого потенциала исследуемой системы.

Особо следует остановиться на процессе обмена между подсистемами (например, слоями движущейся жидкости) импульсом \mathbf{P} с компонентами P_α ($\alpha = x, y, z$) $dW_w = \sum_\alpha v_\alpha dP_\alpha$. В этом случае роль «кинетического потенциала» Ψ_w играет соответствующая компонента v_α вектора скорости \mathbf{v} . Это соответствует закону трения Ньютона, согласно которому слои движущейся жидкости обмениваются импульсом, пока существуют градиенты поперечной составляющей скорости потока. Следовательно, любые составляющие скорости также необходимо отсчитывать от абсолютного нуля, соответствующего прекращению обмена кинетической энергией и исчезновению относительного движения во всех телах исследуемой системы. С позиций энергодинамики, рассматривающей в качестве объекта исследователя такую совокупность взаимно движущихся тел или частей тела, которую с приемлемым приближением можно рассматривать как изолированную (замкнутую) систему, найти такую «абсолютную» СО для кинетического потенциала $\Psi_w = v_\alpha$ совсем несложно. Для этого необходимо только учесть, что в изолированной системе, достигшей состояния внутреннего равновесия (прекращения относительного движения макроскопических частей системы), положение центра её инерции или массы (их радиусы-векторы \mathbf{R}_w и \mathbf{R}_m) не могут быть изменены никоим образом. Поэтому их и следует положить за абсолютное (для данной системы) начало отсчета не только скорости, но и любых параметров системы. Поскольку это положение совпадает с центром объема системы, представить её себе несложно. Главное, что для этого вовсе не требуется прибегать к гипотезе неподвижного эфира.

Такая СО может служить также началом отсчета любых внутренних сил $\mathbf{F}_i \equiv -(\partial E / \partial \mathbf{R}_i)$, которые определяются в энергодинамике как производные от энергии системы E по координатам \mathbf{R}_i центра величины Θ_i . Поскольку в изолированной системе \mathbf{R}_i нельзя изменить никоим образом, эти силы в состоянии внутреннего равновесия обращаются в нуль. Чтобы найти таким путем силу \mathbf{F}_i^e , действующую извне на незамкнутую систему, последнюю следует рассматривать как часть (подсистему) так называемой «расширенной» системы (включающей в себя часть окружающей среды, взаимодействующую с системой). Для неё \mathbf{R}_w и \mathbf{R}_m будут совпадать с центром объема уже «расширенной» системы. Так можно поступать вплоть до рассмотрения в качестве объекта исследования Вселенной в целом, когда нет уверенности в том, что рассматриваемая исследователем подсистема является изолированной (замкнутой) с достаточным приближением. В таком случае мы можем гарантировать выполнение законов сохранения энергии, массы, заряда, импульса и его момента, относящихся, как известно, к изолированным системам.

Недопустимость какого-либо произвола в выборе начала отсчета интенсивных параметров Ψ_i сохраняет силу и для экстенсивных координат Θ_i , что было доказано в термодинамике (её 3-м начале) для энтропии. Рассмотрим теперь обобщенное аналитическое выражение упорядоченной работы $dW_i^e = \mathbf{F}_i \cdot d\mathbf{R}_{ii}$, входящей во вторую сумму (1). Как показа-

но в [5], этим членам удобнее придать вид $dW_i^c = \mathbf{X}_i \cdot d\mathbf{Z}_i$, принятый в термодинамике необратимых процессов, где $\mathbf{X}_i \equiv -\nabla\Psi_i$ – движущие силы процессов релаксации, $\mathbf{Z}_i = \Theta_i \Delta\mathbf{R}_i$ – моменты распределения параметров Θ_i . Поскольку в установившихся процессах $d\mathbf{Z}_i = \Theta_i d\mathbf{R}_i$ и $(d\mathbf{R}_i \cdot \nabla)\Psi_i = d\Psi_i$, то $dW_i^c = -\Theta_i d\Psi_i$. Частным случаем этого выражения является известное из термодинамики представление работы газа в потоке $dW_p^c = -Vdp$. Несложно видеть, что в этом выражении уже не имеет значения начало отсчета потенциала Ψ_i , в то время как для однозначной оценки энергетического эффекта процесса знание абсолютной величины параметра Θ_i необходимо. В противном случае баланс энергии, выраженный тождеством (1), нарушается. Можно только сожалеть, что это положение, известное из термодинамики, не стало достоянием других дисциплин, в том числе механики. Несоблюдение этого условия и является одной из главных причин отмеченного еще Д. Гильбертом нарушения в ОТО закона сохранения энергии [8]. Довольно очевидно, что если с изменением СО будет изменяться и количественная мера любой формы энергии (как это происходит с кинетической энергией в разных ИСО), энергия перестанет быть функцией состояния исключительно самого объекта исследования и будет изменяться с изменением состояния ИСО в нарушение закона сохранения энергии.

Недопустимость смены ИСО при изучении каких-либо процессов в объекте исследования следует также и из других соображений. Предположим, что мы исследуем процессы в сосуде с газом с разных ИСО, одна из которых движется с околосветовой скоростью. С точки зрения наблюдателя, находящегося в этой ИСО, хаотическое движение молекул в газе (и внутренняя тепловая энергия) будут представляться вырожденным (исчезающим), поскольку скорость самой быстрой из них может превысить скорости света. Между тем в действительности никаких изменений состояния в системе при этом не происходило – изменялось состояние не объекта исследования, а наблюдателя. Следовательно, никакая форма энергии не должна зависеть от состояния системы отсчета.

Суммируя изложенное, можно следующим образом сформулировать **принцип абсолютности**: *все параметры исследуемых систем должны измеряться в системе отсчета, не изменяющей своего состояния при любых протекающих в них процессах*. Примером такой СО, которую мы будем называть «абсолютными», является уже упомянутый центр объема исследуемой совокупности взаимодействующих тел.

4. Неприменимость ТО к абсолютным величинам. В годы, последовавшие за появлением фундаментальной работы А. Эйнштейна (1905), содержавшей формулировку специальной теории относительности (СТО), физики стремились придать физическим законам форму, инвариантную по отношению к любым инерциальным системам отсчета. В области термодинамики это осуществил впервые М. Планк (1907) [9]. Он рассмотрел тепловую машину в виде цилиндра с газом под поршнем, работающую по циклу Карно с быстродвижущимся источником тепла. После адиабатического сжатия газа и его ускорения рабочее тело машины получает тепло от движущегося теплоисточника при температуре T_r' . Затем цилиндр с газом замедляется адиабатически до состояния покоя, и температура газа становится равной T_r . После этого газ в цилиндре расширяется адиабатически до температуры теплоприемника T_x , отдает ему некоторое количество тепла Q_x при температуре T_x и вновь адиабатически сжимается до температуры T_r . Вслед за этим цилиндр с газом вновь ускоряется, и цикл повторяется.

Опираясь на известные из механики выражения для преобразования энергии и работы ускорения dW_w , он пришел к выводу, что теплоту Q и абсолютную температуру T следует преобразовывать в соответствии с выражениями $Q' = Q/\gamma$; $T' = T/\gamma$, где Q' , T' – теплота и температура в системе отсчета, движущейся относительно наблюдателя со скоростью $v = |v|$; $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ – множитель Лоренца, c – скорость света в вакууме. При этом он получил выражение термического КПД релятивистского цикла Карно в виде

$$\eta_i^K \equiv W_{\text{ц}}'/Q'_r = 1 - T_x\gamma/T_r. \quad (5)$$

Найденные М.Планком соотношения ни у кого (в том числе у А.Эйнштейна) не вызвали сомнения, пока в 1963 г. Х. Отт не обнаружил абсурдность этого результата с точки зрения термодинамики [10]. Действительно, если разогнать сам источник тепла с температурой T_r до скорости v , использовать его тепло Q_r в релятивистской машине Карно (с быстро движущимся резервуаром тепла) и затем вновь затормозить до скорости $v = 0$, то результат указанных операций должен был в точности совпадать с работой классической машины Карно. Однако этого не происходит.

Статья Х. Отта не была замечена при его жизни. Однако вскоре к такому же выводу независимо от Х. Отта пришел Х. Арзельс (1966) [11]. В отличие от Отта, он счел неправильными и формулы преобразования энергии и импульса, вытекающие из релятивистской механики упругих тел. На этот раз работа была замечена, и последовала лавина публикаций, приведших к оживленной дискуссии на международных симпозиумах в Брюсселе (1968) и Питтсбурге (1969). Эти дискуссии обнаружили такой хаос в области определения базовых понятий термодинамики, и такой разницей в релятивистских преобразованиях термодинамических величин, что Х. Арзельс вынужден был заявить о «современном кризисе термодинамики». Договариваются даже до того, что применение той или иной формулы релятивистских преобразований термодинамических величин зависит от положения термометра в пространстве [12]. Это был редкий для физики случай, когда абсурдность результатов была обнаружена лишь спустя столетия и не была разрешена удовлетворительным образом. Ведь преобразования Планка не оставляли инвариантным выражение кпд цикла Карно η_r^k (5), которое являлось одной из математических формулировок второго начала термодинамики (принципа исключенного вечного двигателя 2-го рода), и на него должно было распространяться требование инвариантности физических законов. Между тем по Планку, температура движущегося источника всегда ниже измеренной в неподвижной системе отсчета, и в соответствии с его преобразованиями кпд релятивистского цикла Карно (5) всегда меньше, чем у классического. Более того, при определенных γ этот кпд может оказаться даже отрицательным. Лишь в рамках энергодинамики удалось показать, что релятивистская машина Карно представляет собой комбинированный термически-механический двигатель, в одном цикле преобразующий тепловую и механическую энергию. Кпд такой комбинированной машины принимает промежуточное значение между кпд теплового и механического двигателя в отдельности. Эти кпд остаются инвариантными относительно преобразований Лоренца [5]. Здесь мы имеем дело с ещё одним примером «недоопределения», обусловленного неразличением двух одновременно протекающих процессов преобразования тепловой и механической энергии.

Вместе с тем предпринятое здесь рассмотрение ставит в повестку дня выяснение принципиальной возможности применения ТО к абсолютным величинам, к которым относятся все термодинамические параметры. Прежде всего, обращает на себя внимание явное противоречие релятивистских преобразований внутренней энергии U , которая по определению не зависит от движения системы как целого относительно других тел и определяется исключительно внутренним движением частиц, составляющих систему. Обычно необходимость преобразования внутренней энергии аргументируют изменением массы системы вследствие её ускорения. Между тем несложно убедиться в несовместимости этого положения с законом сохранения массы в изолированной системе. Чтобы показать это, рассмотрим в целом неподвижную систему с массой $M_0 = \text{const}$. Пусть в такой системе две произвольные её части с массой покоя $m_0 < M_0$ пришли в относительное движение. При этом в соответствии с СТО релятивистская масса этих тел m_p стала равной $m_0\gamma$, в то время как оставшаяся часть массы системы уменьшилась на величину m_0 и стала равной $M_0 - m_0$. Поскольку же суммарная масса релятивистской и нерелятивистской части системы при этом не изменилась, имеет место очевидное равенство:

$$m_0\gamma + M_0 - m_0 = M_0 . \quad (6)$$

Отсюда непосредственно следует $\gamma = 1$, что соответствует величине $v/c = 0$, т.е. отсутствию ускорения. Таким образом, подход с позиций энергодинамики изолированных систем сразу обнаруживает отсутствие в ТО законов сохранения¹⁾.

Весьма часто необходимость релятивистского преобразования внутренней энергии аргументируют изменением объема тела вследствие лоренцова сокращения размеров в направлении движения. В условиях механического равновесия с окружающей средой такое изменение объема сопровождается совершением работы объемной деформации, что якобы и обуславливает изменение внутренней энергии. Однако такая «аргументация» также не состоятельна, поскольку сокращение размеров в направлении движения легко может быть легко скомпенсировано изменением размеров в поперечном направлении, оставляющем объем тела V неизменным. Более того, указанное сокращение размеров имеет место и в вакууме, где никакой работы расширения вообще не совершается.

Столь же часто необходимость релятивистских преобразований составляющих внутренней энергии аргументируют изменением внутреннего состояния системы по мере приближения скорости системы как целого к предельной. В частности, представляется, что температура тела уменьшается по мере приближения скорости системы к скорости света потому, что она, подобно энтропии, является мерой энергии хаотического движения частиц, которое постепенно уступает место упорядоченному движению тела как целого. Однако в ТО преобразования не зависят от того, движется ли система относительно наблюдателя или наблюдатель относительно системы. Поэтому вполне допустимо рассматривать тело неподвижным (со всем присущим ему хаотическим движением), а систему отсчета – движущейся относительно неё с релятивистской скоростью. В таком случае упорядочение состояния системы для движущегося наблюдателя будет только кажущимся, а использование преобразований Лоренца будет иметь целью только приведение результатов измерений к тем, что наблюдаются в собственной системе отсчета. Та же задача решается, когда речь идет об истинной природе наблюдаемых явлений. Например, наблюдатель, движущийся вместе с постоянным магнитом относительно неподвижного проводника, в соответствии с СТО припишет причину возникновения тока в нем действию чисто магнитных сил. Напротив, при движении проводника относительно магнита он отнесет это явление к чисто электрическим [14]. Такая неоднозначность исчезнет, если исследователь будет изучать всю совокупность движущихся тел в неподвижной (собственной) системе отсчета, отвечающей состоянию равновесия рассматриваемой совокупности взаимодействующих тел. Такая (абсолютная) система отсчета, принятая в энергодинамике, позволяет установить истинную природу действующих сил. Это делает ТО со всеми её парадоксами излишней, делая энергодинамику «пробным камнем» любой физической теории. Такой подход позволяет вскрыть некоторые другие ошибки методологического характера, порождаемые принципом относительности.

5. Зависимость массы от скорости. Рассмотрим с этих позиций один из принципиальнейших вопросов ТО — вопрос о зависимости массы M от их скорости. Классическая механика, как известно, отрицала изменение массы со скоростью, считая её величиной, не изменяющейся при любых превращениях энергии. Теория же относительности А.Эйнштейна (ТО), считала более общей знаменитую формулу [4] :

$$E = Mc^2, \quad (7)$$

где E, M — энергия и масса системы, c — скорость света в вакууме.

¹⁾ Мы не принимаем здесь во внимание данное А.Эйнштейном в 1918 г. обоснование совместимости ОТО с законами сохранения [4], поскольку последующее изучение обнаружило в нем незаметную на первый взгляд ошибку [13].

Это выражение эквивалентности массы и энергии вошло в науку настолько прочно, что стало символом теории относительности и критерием её «практической значимости». Такой точки зрения придерживался не только сам А.Эйнштейн, но и другие выдающиеся физики прошлого столетия, такие, как М.Борн (1962), В.Паули (1921), Р.Толмен (1934), Р.Фейнман (1965), В.А.Фок (1955), Е.Тейлор и Дж. Уиллер (1966), не говоря уже об авторах многочисленных учебников, пособий и популярных книг на эту тему. Однако при этом, насколько нам известно, никогда не анализировался детально вопрос о том, насколько этот постулат согласуется с термодинамикой. В этой статье мы постараемся восполнить этот пробел, привлекая к решению этого вопроса термодинамику необратимых процессов (ТНП) [15] и энергодинамику как её дальнейшее обобщение на процессы полезного преобразования любых форм энергии [5].

Согласно (7), любое тело с энергией \mathcal{E} (в том числе фотон) имеет массу $M = E/c^2$, которая растет не только при увеличении скорости материальной частицы, но и её энергии покоя E_o . И наоборот, увеличение любой формы энергии системы E_i влечет за собой возрастание её массы M . В связи с этим в физику были введены понятия «релятивистской массы» M_p , «массы покоя» M_o , «инертной», «электромагнитной» и «гравитационной» массы.

Лишь в последнее время в среде не только в околонуучной среде, но и у специалистов в области ТО [16] встречается утверждение, что единственно правильным является выражение

$$E_o = Mc^2, \quad (8)$$

также встречающееся в работах А.Эйнштейна.

Согласно этому выражению, масса тела M эквивалентна энергии покоящегося тела E_o и потому не меняется при его ускорении, а фотон, движущийся со скоростью света, не имеет массы. Подходя к этому вопросу с позиций энергодинамики, следует прежде всего отметить, что в классическую термодинамику понятие массы пришло из механики вне всякой связи с тем или иным процессом изменения энергии тела. Последнее было обусловлено спецификой термодинамики, которая оперировала понятием внутренней энергии системы U . Эта функция состояния $U = U(\Theta_i)$, как и её аргументы Θ_i , являлась экстенсивной величиной, и масса M служила для всех них единым коэффициентом пропорциональности. Это предопределило рассмотрение массы как универсальной меры количества вещества, заключенного в системе. В последующем такое её понимание закрепилось при обобщении классической термодинамики на открытые системы, обменивающиеся веществом с окружающей средой. При этом масса M стала еще одним из независимых параметров состояния системы и приобрела смысл координаты процесса массообмена, т.е. экстенсивного параметра состояния, с необходимостью изменяющегося в этом процессе.

В энергодинамике, как и в термодинамике необратимых процессов [15] показывается, что i -я активная сила \mathbf{F}_i пропорциональна обобщенной скорости порожденного ею процесса, называемой в случае векторных процессов потоком $\mathbf{J}_j = d\mathbf{Z}_j/dt$:

$$\mathbf{F}_i = R_i \mathbf{J}_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) . \quad (9)$$

Таковы законы теплопроводности (Фурье), электропроводности (Ома), диффузии (Фика), фильтрации (Дарси), вязкого трения (Ньютона) и т.п. Коэффициенты пропорциональности R_i в этих уравнениях, называемые «феноменологическими», характеризуют в соответствии с принципом Ле-Шателье – Брауна сопротивление системы движущей силе. В процессе ускорения его обобщенная скорость \mathbf{J}_a выражается производной по времени t от импульса системы $d\mathbf{P}/dt = \mathbf{M}a$, так что 2-й закон Ньютона следовало бы записать в виде [17]:

$$\mathbf{F}_a = R_a d\mathbf{P}/dt, \quad (10)$$

где коэффициент R_a , характеризует «инерционность» системы по отношению к активной (результатирующей) силе \mathbf{F}_a , порождающей ускорение тела со всеми сопровождающими его побочными эффектами. Сопоставляя это выражение со 2-м законом Ньютона в его авторском виде $\mathbf{F} = d\mathbf{P}/dt$, находим, что в нем коэффициент R_a опущен, поскольку речь в нем идет о силе инерции \mathbf{F} как об одной из составляющих силы \mathbf{F}_a , являющейся силой реакции системы на процесс ускорения. Это не приводит к каким-либо противоречиям, пока законы (10) линейны. Однако в большинстве случаев коэффициенты R_i являются некоторыми функциями обобщенных скоростей $R_i = R_i(\mathbf{J}_i)$, что означает некоторую нелинейность законов (9). В таком случае не остается ничего другого, как приписать зависимость $R_i = R_i(\mathbf{J}_i)$ массе M . Ученых не смутило то обстоятельство, что масса является функцией состояния системы, в то время как коэффициенты $R_i(\mathbf{J}_i)$ – функции процесса, которые могут вообще не иметь отношения к массе системы. Скажем, в законе Ома, где \mathbf{F}_i – электродвижущая сила; \mathbf{J}_j – сила тока, а R_a – электрическое сопротивление проводника, не зависящий от его массы. В последующем это сделало «незаметной» подмену в СТО массы M как функции состояния релятивистской массой M_p как функцией процесса, что заведомо некорректно.

То обстоятельство, что между релятивистской массой M_p , и обычной массой M существует зависимость

$$M_p = M_o\gamma = MR_a(\mathbf{J}_a), \quad (11)$$

является следствием нелинейности закона Ньютона в области релятивистских скоростей и отражением зависимости $R_a = R_a(\mathbf{J}_a)$, что отнюдь не противоречит классической механике. Она не требует привлечения принципа относительности Пуанкаре–Эйнштейна и вытекающего из него преобразования Лоренца. С позиций ТНП и энергодинамики такая зависимость устанавливается только опытным путем. Более того, эту зависимость вообще нельзя объяснить возрастанием массы в ускорителях частиц, поскольку это противоречит вытекающей из энергодинамики теории тепловых и нетепловых машин. Хорошо известно, что у любой машины как преобразователя энергии существует два режима, при которых его «мощностной» КПД (соотношение выходной $N_{\text{вых}}$ и входной $N_{\text{вх}}$ мощности) обращается в нуль: режим «холостого хода» и режим «короткого замыкания» [5]. Последний отличается тем, что никакое увеличение затрат энергии ($N_{\text{вх}}$) не увеличивает полезной выходной мощности установки $N_{\text{вых}}$. Для ускорителей элементарных частиц такой режим соответствует достижению частицами предельной скорости $v/c = 1$. Если бы масса M (и импульс \mathbf{P}) возрастали со скоростью, то с приближением к режиму «короткого замыкания» КПД и полезная мощность ускорителей $N_{\text{вых}} = \mathbf{v} \cdot d\mathbf{P}/dt$ приближались бы к максимуму, а не к нулю.

Гораздо естественнее объясняется зависимость $R_a = R_a(\mathbf{J}_a)$ в рамках теории «запаздывающего потенциала» [18]. Известно, что для возникновения процесса ускорения требуется нарушение равновесия между движущимся телом и окружающей средой (полем), т.е. появление некоторой силы \mathbf{F} . Связанное с этим возмущение поля распространяется в нем с определенной скоростью v . Очевидно, что если ускоряемое тело удаляется от источника силы с той же скоростью, воздействие на него будет равно нулю, какую бы силу ни создавал её источник. Именно это и происходит в экспериментах по наблюдению за траекторией ускоряемых элементарных частиц по мере увеличения их скорости.

Таким образом, мы приходим вслед за [16] к выводу, что существует единственная масса M , являющаяся мерой количества вещества, а понятия «массы покоя», «релятивистской», «инертной», «электромагнитной», «гравитационной» и т.п. масс должны быть отброшены как излишние.

6. Эквивалентность массы и энергии. Еще более серьезное обнаруживается при анализе с позиций энергодинамики принципа эквивалентности энергии и массы, постулиро-

ванного А.Эйнштейном в 1905 году [3]. Этот принцип распространяет связь между массой тела M и энергией его излучения, найденную ранее рядом исследователей (Н. Schramm and W. Braumüller, Н.Умов, Дж.Томсон, О. Хевисайд, F. Hasenöhrl), на все формы энергии и явления природы. Согласно соотношениям (7) и (8), $\Delta M = \Delta \mathcal{E}/c^2$ и $\Delta M_o = \Delta \mathcal{E}_o/c^2$, т.е. масса тела возрастает при увеличении соответствующей составляющей энергии системы независимо от того, чем это увеличение вызвано. Очевидно также, что в системе единиц, где $c^2 = 1$, масса и энергия численно равны. В этом суть упомянутого принципа эквивалентности, который прекрасно согласуется с опытными данными, когда речь идет о превращении энергии материальных тел в энергию излучения, не обладающую массой. Однако нет никаких доказательств того, что он соблюдается при любых преобразованиях энергии из одной формы в другую. В таком случае достаточно одного удачного примера, чтобы показать несостоятельность такого постулата.

С этой целью сопоставим выражение (7) с определением полной энергии $E = Mc^2$ в ТО, представив её, как обычно, в виде:

$$E = M_p c^2 = M_o c^2 + M_o \mathbf{v}_o^2 / 2 + \dots \quad (12)$$

Согласно этому выражению, при неизменной скорости \mathbf{v}_o и массе покоя M_o полная энергия системы E не может быть изменена никоим образом ($dE = 0$). Между тем согласно тождеству (1) при $M_o, \mathbf{v}_o = \text{const}$ энергия покоя системы E_o все еще может быть изменена $2(n-1)$ способами [19]:

$$dE_o \equiv \sum_i \Psi_i d\Theta_i - \sum_j \mathbf{F}_j \cdot d\mathbf{R}_j. \quad (i, j = n-1). \quad (13)$$

Следовательно, принцип эквивалентности ведет к явному противоречию с законом сохранения и превращения энергии в форме (1). При этом речь идет не о нарушении баланса энергии в каких-то отдельных процессах, а в искажении самого смысла энергии как величины, сохраняющейся при её превращении из одной формы в другую. Действительно, принципы эквивалентности массы и энергии (7) и (8) акцентируют внимание не на их многообразии форм энергии, как это делает выражение (13), а на их неразличимости. Это еще одно свидетельство несовместимости ОТО с законом сохранения энергии [8]. Таким образом, с доказательством независимости массы покоя от скорости рушится не только принцип её эквивалентности массе E_o (7), но и сама идея различимости и взаимной превратимости всех её форм, сыгравшая непреходящую роль в познании Природы. В результате по признанию Р.Фейнмана «физике сегодняшнего дня неизвестно, что такое энергия».

Заслуживают обсуждения и другие «нестыковки», связанные с принципом эквивалентности. Прежде всего, все обобщенные потенциалы Ψ_i в выражении энергии как функции состояния (12) не имеют верхнего предела. Принцип же эквивалентности устанавливает этот предел, и, следовательно, ограничивает реальный «запас» энергии материальных тел. Поэтому говорить о «практической значимости» ТО в связи с обнаружением огромных «запасов» внутренней энергии по меньшей мере некорректно. Во-вторых, любые фундаментальные дисциплины, как и термодинамика, опираются на возможность находить для каждого независимого процесса его координату, т.е. физическую величину, которая с необходимостью изменяется при протекании данного процесса и остается неизменной в его отсутствие. ТО исключает и эту возможность, поскольку согласно ей с изменением массы при ускорении системы меняются и все другие экстенсивные параметры состояния, утрачивая тем самым свою способность быть координатой любых других процессов. В-третьих, если в энергодинамике свойство сопротивляться любому изменению состояния (инерционные свойства) в соответствии с принципом Ле Шателье-Брауна присущи любому i -му процессу, то в ТО они приписываются только процессу ускорения. В-четвертых, если в классической механике и термодинамике внутренняя энергия U не из-

меняется с увеличением скорости тел (что следует из самого определения её как той части полной энергии системы E , которая не зависит от движения системы как целого или её положения относительно других тел [12]), то в ТО она возрастет с увеличением массы покоя в той же мере, что и кинетическая энергия. Наконец, если в термодинамике и энергодинамике энергия отнюдь не отождествляется со способностью системы совершать работу (т.е. превращаться из одной формы в другую), то в ТО «запас» энергии оценивается именно её массой, а работа – убылью («дефектом») этой массы. Несовместимость всех этих положений с термодинамикой очевидна.

Таким образом, постулированный А.Эйнштейном «принцип эквивалентности массы и энергии» приводит к целому ряду противоречий с той самой классической термодинамикой, о которой А.Эйнштейн отзывался как о единственной физической теории общего содержания, в рамках применимости понятий которой она «никогда не будет опровергнута» [20].

7. Обсуждение результатов. Как следует из изложенного, эвристическая ценность концепции неразличимости состояния покоя и равномерного прямолинейного движения, а также неразличимости равномерного и ускоренного движения, лежащие в основе СТО и ОТО, весьма и весьма сомнительна. Исходя из неё, мы приходим к необходимости отыскания не существующих в действительности ИСО (поскольку никогда нет гарантии в прямолинейности и равномерности движения исследуемого реального объекта и СО по отношению к Вселенной в целом), и к тому же изобретать для каждого случая специфическую неинерциальную систему типа свободно падающего лифта Эйнштейна. Между тем для того, чтобы отличить состояние покоя и равномерного прямолинейного движения ($dv_0/dt = 0$), достаточно выйти за пределы исследуемой системы. В давние времена для этой цели моряки бросали за корму плавающий предмет, к которому была привязана веревка – лить, и измеряли скорость движения судна относительно воды, отсчитывая узлы на разматывающемся лине. Для того, чтобы различить состояние равномерного и равноускоренного движения, достаточно измерить вес тела или силу инерции. Чтобы отличить, падает ли камень на Землю или Земля на камень, достаточно измерить скорость v и энергетический эффект $v dP$ падения: если он окажется пропорциональным массе камня – падал он, если массе Земли – падала Земля. Для того, чтобы отличить вращение Земли вокруг своей оси, достаточно маятника Фуко. Для того, чтобы отличить электрические и магнитные явления, возникающие при относительном движении постоянного магнита и контура с током (пример, приведенный Р.Фейнманом), достаточно выяснить, какая из величин ΔR_i изменилась в этом процессе: если смещение претерпел центр тяжести – сила $F_i \equiv -(\partial E / \partial R_i)$ гравитационная; если это смещение центра заряда – электромагнитная. Чтобы отличить, вращается ли Солнце (звезды) вокруг Земли или Земля вокруг Солнца, достаточно оценить скорость их движения и проверить, не превышает ли в первом случае эта скорость скорость света. Иными словами, относительность движения еще не означает его неотличимости от покоя. К этому можно добавить существование для вращательного движения (преобладающего во Вселенной) предпочтительной системы отсчета, позволяющей отличить его от поступательного движения – это система центра инерции (Л. Ландау, Е. Лившиц, 1973). По отношению к вращающимся системам требование инвариантности физических законов Пуанкаре–Лоренца–Эйнштейна выглядит особенно искусственным. Столь же искусственной выглядит попытка создания единой теории поля, основанная на неразличимости сил и стремящаяся свести их всех к единой силе. В противовес этому энергодинамика выдвигает и реализует задачу выработки единого метода нахождения явно различимых сил. 24 из них приведены в [21]. Все это делает более предпочтительным отыскание абсолютных систем отсчета, позволяющих отличить одни процессы от других, записать физические законы в наиболее простой и понятной форме и составить более детальную картину изучаемых явлений. В этом отношении энергодинамику можно рассматривать как своего рода «теорию абсолютности». Она не нуждается, в отличие от ТО, в пересмотре классических представлений о пространстве и времени, и не требует геометризации физики, идущей вразрез с многовековым опытом «ветвления» единого древа науки по мере углубления наших знаний.

Изложенное подкрепляет мысль, которую высказал академик И. Тамм (1956): «Никто не может, конечно, предсказать, каким будет дальнейшее развитие физики, но одно, мне кажется, можно утверждать с несомненностью – идеи Эйнштейна, его анализ понятий пространства и времени и взаимосвязи пространственно–временных соотношений с находящейся в пространстве и времени материей могут претерпеть в дальнейшем глубокие изменения».

Литература

1. *Ньютон, И.* Математические начала натуральной философии. - М., «Наука», 1989, с. 22.
2. *Пуанкаре А.* // Избранные труды.— М.: «Наука», 1974.- С.429-433.
3. *Einstein A.*//Ann. d. Phys. 1905. Bd 18. S. 639.
4. *Эйнштейн А.* Собрание трудов в 4-х томах. – М., «Наука», 1966.-Т.1. С.652.
5. *Эткин В.А.* Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии).- СПб.: «Наука», 2008.-409 с.
6. *Пригожин И.* Введение в термодинамику необратимых процессов. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960, 128 с.
7. *Гиббс Дж.В.* Термодинамические работы. Ч.3. О равновесии гетерогенных веществ.: Пер. с англ. - М.-Л. Гостехиздат, 1950.
8. *Логунов А.А.* Лекции по теории относительности и гравитации: Современный анализ проблемы. – М.: Наука, 1987. – 272 с.
9. *Planck M.* //Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin. 1907. Bd 13. S. 542.
10. *Ott H.* //Zeitschr. Phys., 1963. – V.70. – S.75.
11. *Arzelies H.* La crise actuelle de la thermodynamique theorie // Nuovo Cimento, 1966. – 41В. – Р. 61.
12. *Базаров И.П.* Термодинамика. М.: «Высшая школа», 1994. Изд.4-е.
13. *Денисов В.И., Логунов А.А.* Современные проблемы математики. Итоги науки и техники – М., 1982. – С. 49.
14. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. – М.: Мир, 1976. Т. 5.
15. *Хаазе Р.* Термодинамика необратимых процессов.- М.: «Мир»,1974.
16. *Окунь Л.Б.* Понятие массы (масса, энергия, относительность). // УФН, 1989. Т.158, Вып.3. С.511-530.
17. *Эткин В.А.* Изменяется ли масса со скоростью? //Сетевой ресурс <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/10905.html> от 24.02.2011.
18. *Эткин В.А.* К явлению запаздывания потенциала. //Сетевой ресурс http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/ от 27/09/2009
19. *Эткин В.А.* Эквивалентны ли масса и энергия? //Сетевой ресурс http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/ от 11.05.2011.
20. *Эйнштейн А.* Творческая автобиография. // Физика и реальность.- М.: «Наука». 195.- С.131-166.
21. *Эткин В.А.* О единстве и многообразии сил в природе. //Сетевой ресурс <http://zhurnal.lib.ru/> от 01/08/2009.