

Эткин В.А.

О природе спин-спинового взаимодействия

Аннотация

Выявлена несводимость взаимодействия в системе ядерных спинов к теплообмену и необоснованность применения к средам с инверсной заселенностью уровней понятия отрицательной абсолютной температуры. Обосновано существование специфического спин-спинового взаимодействия как упорядочивающего их ориентацию и вскрыта его эфирно - солитонная природа. Предложено описание этого взаимодействия с позиций энергодинамики и показана его непротиворечивость эксперименту.

Оглавление

1. Введение.
2. Происхождение понятия отрицательной абсолютной температуры.
3. Нетепловой характер спин-спинового взаимодействия.
4. Энергодинамическое описание спиновых систем.
5. Эфирно-солитонная природа спин-спинового взаимодействия.
 - 5.1. Энергия эфира.
 - 5.2. Отсутствие в эфире вязкости.
 - 5.3. Взаимопревращение эфира и вещества.
 - 5.4. Структурная устойчивость волн эфира.
 - 5.5. Силовой характер взаимодействия эфира с веществом.
6. Обсуждение результатов.
7. Литература.

1. Введение

Изучение ядерного магнитного резонанса (ЯМР) в конденсированных средах привело в середине XX столетия к обнаружению спин-спинового взаимодействия, которое распространяет упорядоченную ориентацию собственных моментов количества движения одних ядерных частиц на другие,

приводя к установлению единой (с учетом прецессии) их ориентации [1]. Опыты, проведенные на ряде конденсированных веществ (например, на кристаллах фтористого лития LiF), обнаружили у спин-спинового взаимодействия ряд особенностей. Часть из них проявлялась в сохранении упорядоченности ядерных спинов и величины ядерной намагниченности M_j в течение довольно длительного времени после удаления кристалла из сильного внешнего поля H , и в несравненно более быстром установлении взаимной ориентации ядерных спинов (за время, много меньшее времени спин-решеточной релаксации). Самым удивительным в этих опытах явилось то, что пребывание системы в слабом магнитном поле Земли не приводило к существенному нарушению упорядоченности спиновой системы. При этом и после внесения системы в противоположно ориентированное внешнее поле взаимная ориентация спинов сохранялась.

Казалось бы, эти эксперименты свидетельствовали об обнаружении у конденсированных сред *дополнительной степени свободы, связанной с наличием ядерных спинов и присущим им особым видом спин-спинового взаимодействия*. Однако они были истолкованы совершенно иначе - как следствие установления теплового равновесия между подсистемами ядерных спинов, а также между ними и кристаллической решеткой [2]. В соответствии с этим спиновым подсистемам была приписана определенная абсолютная температура T , принимающая *отрицательное* значение в случае инверсной заселенности их энергетических уровней, т.е. для состояний, в которых преобладающее число «частиц» (ядерных спинов) в противоположность обычному состоянию находится на наивысшем энергетическом уровне по отношению к внешнему магнитному полю [1-5].

Однако вскоре обнаружилось, что подобная «подгонка под классику» приводит к конфликту с принципом исключено вечного двигателя 2-го рода и даже к необходимости его «инверсии» [6]. Особенно парадоксальным представлялось то, что вывод о неприменимости к спиновым системам этого принципа обосновывалось...на основании того же 2-го начала! В связи с этим возникает необходимость рассмотрения возникшей ситуации с позиций более общей теории, обобщающей термодинамику на нетепловые формы энергии и нестатически (протекающие с конечной скоростью) процессы [7].

2. Происхождение понятия отрицательной абсолютной температуры.

Понятие отрицательной абсолютной температуры было введено после открытия подсистем, в которых с помощью инверсии магнитного поля или высокочастотного импульса удавалось создать «инверсию заселенностей» энергетических уровней. Под ней понимается состояние, в котором преобладающее число носителей энергии (в данном случае ядерных спинов) находится, в противоположность обычному состоянию, на более высоком энергетическом уровне. Некоторые из таких подсистем обладают достаточной самостоятельностью в том смысле, что «частицы», составляющие систему ядерных спинов, весьма быстро приходят в равновесие между собой и, напротив, достаточно медленно – с остальной частью системы (кристаллической решеткой). Исследования показали, что такого рода подсистемы можно выделить в составе многих тел, в частности, в ряде кристаллов. Такова, например, система ядерных магнитов ионов лития в кристаллах фторида лития (LiF).

Первоначально понятие отрицательной спиновой температуры было введено в теоретическую физику как некое изящное представление, позволяющее «перекинуть мостик» между ядерным магнетизмом и термодинамикой. Целесообразность такого представления оценивалась исключительно возможностью интерпретации экспериментальных данных. Однако в последующем понятие температуры стало применяться и для описания спиновых систем с инверсной заселенностью, в которых температуре пришлось приписать отрицательное значение. Основанием для этого послужила статистическая трактовка понятий энтропии и абсолютной температуры. Если меру статистической вероятности состояния принять тождественной термодинамической энтропии на том основании, что обе величины аддитивны и достигают максимума в состоянии равновесия (принцип Больцмана), то, сопоставляя термодинамическое определение абсолютной температуры как производной от внутренней энергии системы U по ее энтропии S

$$T \equiv (\partial U / \partial S)_V, \quad (1)$$

с параметром распределения β в уравнении Больцмана для заселенности n_i какого-либо i -го энергетического уровня ϵ_i

$$n_i = n_0 \exp(-\beta \epsilon_i), \quad (2)$$

придем к выводу, что этот параметр связан с абсолютной температурой T простым соотношением $\beta = 1/k_B T$, где k_B –

константа Больцмана. Отсюда следует, что «заселенность» n_0 «нулевого» уровня энергии ϵ_0 соотносится с «заселенностью» n_i i -го энергетического уровня ϵ_i следующим образом:

$$n_i/n_0 = \exp [(\epsilon_0 - \epsilon_i)/k_B T]. \quad (3)$$

Если $T > 0$, то в соответствии с (3) «заселенность» более высоких энергетических уровней) убывает по экспоненциальному закону. Однако если будет получено равновесное состояние с инверсной заселенностью, когда большинство частиц находится на верхнем энергетическом уровне, то такому состоянию следует приписать отрицательное значение статистически определенной абсолютной температуры $T < 0$. Таким образом, со статистико-механических позиций применение понятия температуры (положительной и отрицательной) к спиновым подсистемам выглядит не менее обоснованным, чем, скажем, понятие электронной температуры в плазме или магнитной температуры в магнетиках [2].

Однако инверсной заселенности самой по себе еще не достаточно, чтобы говорить об отрицательной абсолютной температуре. Важно, чтобы система находилась в *равновесии* при инверсной заселенности. Для этого необходимо, во-первых, чтобы частицы, составляющие такую подсистему, приходили во внутреннее равновесие между собой значительно быстрее, чем с окружающей средой или с остальной частью системы. Во-вторых, энергетический спектр таких подсистем должен быть ограничен сверху, чтобы достижение инверсной заселенности не требовало подвода бесконечного количества энергии [6]. Первой подсистемой, удовлетворившей этим требованиям, явилась упомянутая выше система ядерных спинов ионов лития в кристаллах фторида лития (LiF) [1]. Если кристаллы LiF поместить в магнитное поле, ядерные магниты смогут занять в принципе четыре разных энергетических уровня, в том числе по направлению поля (нижний энергетический уровень), поперек поля и антипараллельно полю (верхний энергетический уровень). Если теперь быстро изменить направление внешнего поля (как это было в опытах Е. Пёрсела и Р. Паунда [1]), то ядерные магниты оказываются неспособными последовать за ним, и большая их часть окажется в верхнем энергетическом состоянии – произойдет инверсия заселенности. После небольших и быстро затухающих колебаний ядерные магниты приходят в равновесие друг с другом. Это совершается за время t_2 , много меньшее времени t_1 установления равновесия подсистемы спинов с кристаллической решеткой LiF (от 5 до 30

мин.), что позволяет говорить об известной «самостоятельности» поведения спиновой подсистемы.

В опытах было установлено также, что если кристалл LiF убрать из магнитного поля и поместить его в слабое магнитное поле Земли, а затем через несколько секунд возвратить в исходное поле, то его намагниченность окажется ненамного ниже первоначальной [1]. Е. Пёрсел и Р. Паунд повторили тот же эксперимент с подсистемой, начальная намагниченность которой была противоположна полю. При этом после помещения образца в поле Земли и возвращения его в сильное магнитное поле восстанавливалась не только величина намагниченности, но и её ориентация, противоположная полю. Наиболее удивительным здесь было то, что пребывание образца в поле, значительно более слабом, чем локальные поля в установке, не приводят к полному разрушению намагниченности. Последнее обстоятельство дало им основание для заключения о существовании двух различных типов взаимодействия: спин – спинового, приводящего к быстрому установлению внутреннего равновесия в системе ядерных магнитов, и спин – решеточного взаимодействия неизвестной природы. Это взаимодействие и было уподоблено теплообмену [2]. При этом кристаллическая решетка была принята за термостат, а процесс размагничивания системы спинов – за его «охлаждение». При такой интерпретации пришлось допустить, что состояния с отрицательной абсолютной температурой продолжают термодинамическую шкалу температур за область $T = \infty$! Более того, пришлось сделать заключение об «инверсии» в таких системах принципа исключенного вечного двигателя 2-го рода [2, 6].

Однако по мере дальнейшего изучения следствий такого представления с позиций неравновесной термодинамики поливариантных систем (со многими степенями свободы) становилось все более ясным, что понятие отрицательной абсолютной температуры (лежащей выше уровня $T = \infty$) не только лишено глубокого физического смысла термодинамической температуры, но и чаще всего вводит в заблуждение [5]. Покажем это по возможности более кратко.

3. Нетепловой характер спин-спинового взаимодействия

Одно из принципиальных противоречий трактовки спин-спинового взаимодействия как теплообмена с термодинамикой состоит в том, что определение температуры в сложных (поливариантных) системах требует постоянства не только объема

системы V , но и всех других координат Θ , работ, совершаемых помимо работы расширения:

$$T \equiv (\partial U / \partial S)_{\Theta_i}, \quad (4)$$

Согласно этому выражению, отрицательные значения термодинамической температуры могут быть достигнуты только в том случае, когда система путем обратимого теплообмена будет переведена в состояние с большей внутренней энергией U и с меньшей энтропией S . Между тем оба известных способа достижения инверсной заселенности в системе ядерных спинов (инверсия внешнего магнитного поля и воздействие радиочастотным импульсом) не удовлетворяют этим условиям. В первом способе изменение направления внешнего магнитного поля осуществляется, как это подчеркивается в [1], настолько быстро, что ядерные спины *не успевают изменить свою ориентацию*. Следовательно, внутреннее состояние системы (в том числе ее энтропия S) оставались при этом неизменными – изменялась лишь внешняя потенциальная (зеэмановская) энергия спинов в магнитном поле, входящая в гамильтониан системы наряду с энергией спин-спинового взаимодействия. Внутренняя же энергия системы U , которая по определению не зависит от положения системы как целого во внешних полях, оставалась при этом неизменной. В противном случае нарушалось бы другое условие (4), состоящее в требовании постоянства координат всех видов работы (в данном случае V и M). Что же касается другого способа инверсии заселенности, достигаемого с помощью высокочастотного (180-градусного) импульса, то и его нельзя отнести к категории теплообмена, поскольку оно также имеет направленный характер и соответствует адиабатическому процессу *совершения над системой внешней работы*.

Другое противоречие с термодинамикой состоит в том, что в случае спин-решеточного взаимодействия речь идет не о теплообмене (т.е. обмене между телами, разделенными в пространстве, внутренней тепловой энергией), а о *перераспределении энергии по механическим степеням свободы одних и тех же атомов в кристаллической решетке LiF*. То обстоятельство, что между тепловой формой движения и ориентацией спинов существует определенная связь, еще не дает оснований приписывать эту форму спиновой системе, тем более что охлаждение конденсированных сред до температур, близких к абсолютному нулю не приводит к исчезновению собственного момента вращения ядер [1].

Третье замечание касается правомерности присвоения системе ядерных спинов энтропии S в качестве координаты ее состояния. Как известно, необходимым условием в термодинамике для существования у какой-либо системы энтропии является наличие в окрестности произвольного состояния этой системы других состояний, которые не достижимы из него адиабатическим путем [8]. Смысл этого положения, известного как «аксиома адиабатической недостижимости», состоит в признании того очевидного факта, что тепловое взаимодействие приводит к таким изменениям состояния, которые не могут быть достигнуты каким-либо другим квазистатическим путем. Между тем, как показали те же опыты [1], охлаждение кристалла LiF до температуры жидкого гелия в нулевом поле дает тот же эффект, что и адиабатическое размагничивание образца. Отсутствие в данном случае «адиабатической недостижимости» исключает возможность приложения к спиновым системам основанной на этой аксиоме «математически наиболее строгой и логически последовательной системы обоснования существования энтропии» [6]. Это обстоятельство также свидетельствует о недопустимости описания спиновой системы параметрами термической степени свободы и о расхождении такого описания со вторым началом термодинамики для квазистатических процессов (принципом существования энтропии).

Еще одним подтверждением несводимости спин-спинового взаимодействия к теплообмену являются опыты по «смешению» двух систем противоположно ориентированных спиновых систем (${}^7\text{Li}$ и ${}^{19}\text{F}$) кристалла LiF [1]. Эти опыты показали, что «спиновая температура» отнюдь не подчиняется обычным для любой смеси законам сохранения вида:

$$\Psi = \frac{\sum_i C_i \Psi_i}{\sum_i C_i} \quad (5)$$

где Ψ_i – какой-либо интенсивный параметр (температура, химический, электрический, гравитационный и др. потенциал); C_i – соответствующий экстенсивный параметр (полная теплоемкость, число молей, заряд, масса и т.п.). Дело в том, что в случае спиновой системы в выражении (5) со «спиновой теплоемкостью» C_i сопряженная величина, *обратная абсолютной температуре* [2]. Отсюда следует, что законам типа (5) подчиняется не температура, а ядерная намагниченность \mathbf{M} , относящаяся к нетермической степени свободы спиновой системы.

Однако еще более весомым свидетельством «псевдотермодинамического» описания состояния спиновой

системы в [2] является вывод о необходимости замены принципа исключенного вечного двигателя 2-го рода противоположным утверждением о возможности построения в области $T < 0$ тепловой машины, работающей от одного источника тепла [2, 6]. Такой вывод был сделан на основе известного выражения термического КПД цикла Карно:

$$\eta_t = 1 - T_2/T_1 = 1 - Q_2/Q_1. \quad (6)$$

где T_1 и T_2 – абсолютные температуры источника и приемника тепла; Q_1 , Q_2 – количества подведенного и отведенного в цикле тепла.

Если такой цикл осуществить в области $T_1 < 0$ и $T_2 < 0$, где более высокому уровню энергии (горячему источнику) соответствует система с меньшей по абсолютной величине отрицательной температурой [2, 6, 9] и $T_2/T_1 > 1$, термический КПД η_t окажется меньше нуля. Это означает, что тепловая машина в области отрицательных абсолютных температур будет производить работу, если $|Q_2| > |Q_1|$, т.е. тепло будет отбираться от «холодного» источника, а теплоприемником будет служить более «горячее» тело. Поскольку же путем теплового контакта между ними все тепло Q_1 , переданное «горячему» источнику, может быть естественным путем возвращено «холодному», то в непрерывной последовательности подобных операций работа в конечном счете сможет быть произведена за счет теплоты только одного «холодного» тела, без каких-либо остаточных изменений в окружающих телах. Подобным же образом делается вывод о невозможности полного превращения теплоты в работу в области $T_1 < 0$. Так, в [6] находим: «Вечный двигатель 2-го рода, т.е. устройство, которое полностью превращало бы в работу тепло какого-либо тела (без передачи части этого тепла другим телам), невозможен..., причем это утверждение не допускает обращения в случае обычных систем и допускает обращение при $T_1 < 0$ ». Самое удивительное в этом заключении, «опрокидывающем» одно из основных положений 2-го начала термодинамики, состоит в том, что оно сделано... на основании того же 2-го начала!. Действительно, возможность полного превращения теплоты в работу означает, что само понятие КПД и его выражение (3) становятся несправедливыми. Но тогда утрачивают силу и все выводы, основанные на этом выражении! Налицо «порочный круг!».

Характерно, что в приведенных выше рассуждениях перенос энтропии при совершении полезной работы и при термической релаксации осуществляется в противоположном направлении, хотя

с позиций неравновесной термодинамики оба этих процесса порождаются одной и той же термодинамической силой – разностью температур $T_1 - T_2$ [10]. Тем самым нарушается не только принцип исключенного вечного двигателя 2-го рода, но и более фундаментальное положение 2-го начала об односторонней направленности всех естественных процессов. Достоинно сожаления, что подобные утверждения проникли на страницы учебников по термодинамике и воспроизводятся даже в лучших из них [6].

Между тем возможна совершенно иная интерпретация результатов указанных выше экспериментов [7]. Известно, что классическая термодинамика различает процессы *не по причинам, их вызывающим* (как в физической химии, которая различает обычную (концентрационную) диффузию, и термо-и бародиффузию), *и не по механизму переноса энергии* (как теория теплообмена, различающая кондуктивный, конвективный и лучистый теплообмен), *а по их последствиям, т.е. по особым, феноменологически отличимым и несводимым к другим изменениям состояния, которые они вызывают* [7]. Таковы, в частности, изохорный, изобарный, изотермический и адиабатический процессы.

Подходя с этих позиций к механическим формам движения, следует различать, например, процесс *ускорения*, состоящий в изменении модуля импульса системы mv при неизменных углах траектории тела в декартовой системе координат φ_i ($i = 1, 2, 3$), и процесс *переориентации движения*, состоящий в изменении углов φ_i при неизменном импульсе системы. Первый из этих процессов происходит под действием сил, являющихся полярными векторами, и сопровождается изменением кинетической энергии тел, второй – под действием сил, являющихся аксиальными векторами (центростремительных, кориолисовых или лоренцовых). В соответствии с законом сохранения количества движения в процессе переориентации одного тела должно измениться направление движения и импульс других тел, а также конфигурация и энергия всей совокупности взаимодействующих (взаимно движущихся) тел. Выделить «конфигурационную» составляющую потенциальной энергии в ряде случаев несложно. Рассмотрим, например, вращающиеся макрообъекты – волчки или гироскопы. Когда их моменты количества движения \mathbf{L} ориентированы в пространстве определенным (в принципе произвольным) образом, то отклонение их от этого направления требует, как известно, затраты определенной работы. Это означает, что такие объекты наряду с кинетической энергией вращения обладают

дополнительной потенциальной энергией, зависящей от ориентации оси вращения в пространстве. Величину этой энергии можно измерить, если учесть, что при наличии постоянного «возмущения» в виде приложенного к оси волчка момента сил он начинает прецессировать с определенной угловой скоростью, зависящей от соотношения приложенного момента и момента количества движения волчка относительно его оси симметрии. Величина этой дополнительной кинетической энергии прецессии и определяет величину перешедшей в нее «конфигурационной» энергии. После снятия возмущения спиновые объекты, как известно, самопроизвольно возвращаются в исходное состояние. Последнее означает, что положение устойчивого равновесия системы вращающихся тел соответствует минимуму конфигурационной (зависящей от взаимной ориентации тел или частей тела) энергии. Поскольку такие тела обладают этим свойством и в отсутствие у них собственного электрического или магнитного момента [10], следует признать существование независимой составляющей конфигурационной энергии вращающихся тел. В случае каких-либо периодических нарушений взаимной ориентации спиновых тел (например, при неоднородной прецессии) «конфигурационная» составляющая энергии претерпевает колебания, естественным следствием которых является распространение в эфире так называемых спиновых волн.

Таким образом, следуя термодинамике, необходимо наряду с кинетической энергией вращательного движения тел $E_k(\omega)$, зависящей от абсолютной величины угловой скорости вращения ω , и потенциальной энергией их положения в силовых полях (электрическом, магнитном и гравитационном) $E_n(\mathbf{r})$, зависящей от модуля радиус-вектора \mathbf{r} центра их массы, различать ориентационную составляющую полной энергии $E_n(\varphi)$. Как и любая другая форма внешней потенциальной энергии, она принадлежит всей совокупности взаимодействующих (изменяющих взаимную ориентацию) тел. В принципе, эта составляющая энергии присуща всем упорядоченным формам энергии и отлична от нуля для всех тел с несферической симметрией. Известно, например, что поляризация диэлектриков сопровождается не только разделением в пространстве положительных и отрицательных зарядов (т.е. созданием диполей), но и переориентацией по полю уже имеющихся «жестких» диполей (сохраняющих величину плеча диполя). Аналогичным образом в процессе намагничивания тел наряду с изменением плеча магнитных диполей происходит их

переориентация во внешнем магнитном поле. Не составляет исключения и гравитационная энергия. В этом легко убедиться, рассчитывая разность потенциальной энергии жесткой гантели с неизменным центром тяжести при ее горизонтальном и вертикальном расположении в гравитационном поле Земли.

Рассматривая с этих позиций описанные выше эксперименты, мы приходим к заключению, что в них обнаружен новый, неизвестный ранее вид взаимодействия вращающихся объектов. Специфика спин-спинового взаимодействия состоит в самопроизвольном установлении и поддержании единой ориентации систем ядерных магнитов. Этот вид взаимодействия не сводим не только к теплообмену, но и к электрическому или магнитному взаимодействию, поскольку, во-первых, присуще и электрически нейтральным частицам, а, во-вторых, не вызывает разупорядочивания системы электрических и магнитных диполей при ослаблении внешнего электрического или магнитного поля. В макро-и мегамире этот вид взаимодействия проявляется в возникновении гироскопического момента, удерживающего оси вращения тел в определенном положении, а также в выравнивании траекторий планет, рукав галактики и т.п. в одной плоскости. Поэтому и в данном случае нет серьезных причин сводить обнаруженное в экспериментах спин-спиновое взаимодействие к «дипольному магнитному» или «квадрупольному электрическому» взаимодействию [1].

4. Энергодинамическое описание спиновых систем

Известно, что ядерные частицы при своем вращении испытывают прецессию, т.е. движение, при котором оси их вращения образуют с вектором направления внешнего поля \mathbf{H} пространственно ориентированный угол φ_c . С термодинамической точки зрения это означает необходимость учета в ее уравнениях еще одной степени свободы, зависящей не только от суммарного собственного момента количества движения ядер исследуемых веществ \mathbf{J}_c , но и от его ориентации в пространстве (угла φ_c). В зависимости от этого угла проекция спинов \mathbf{I}_c i -х элементарных частиц на выбранное направление в пространстве (например, на направление внешнего магнитного поля \mathbf{H}) изменяется от $-\mathbf{I}_c$ до $+\mathbf{I}_c$ (что соответствует $\varphi_c=180^\circ$ и 0°). Следовательно, суммарный момент \mathbf{J}_c связан со спином \mathbf{I}_c соотношением [10]:

$$\mathbf{J}_c = \sum_i b \mathbf{I}_c \cos \varphi_c, \quad (7)$$

где b – постоянная Планка.

Наряду с этим, как известно, ядра, атомы и молекулы конденсированных веществ обладают некоторым магнитным моментом \mathbf{Z}_m , обусловленным главным образом орбитальным движением электронов вокруг ядра и их спинами. Таким образом, полная энергия конденсированных веществ \mathcal{E} зависит в общем случае не только от их температуры (или энтропии S) и от их магнитного момента \mathbf{Z}_m , но и от взаимной ориентации спинов (угла φ_c). Параметры S , \mathbf{Z}_m и φ_c являются независимыми, так что энергия \mathcal{E} как функция состояния имеет вид $\mathcal{E} = \mathcal{E}(S, \mathbf{Z}_m, \varphi_c)$, а ее полный дифференциал выражается соотношением:

$$d\mathcal{E} \equiv TdS - \mathbf{H} \cdot d\mathbf{Z}_m - \mathbf{M}_c \cdot d\varphi_c, \tag{8}$$

где $T \equiv (\partial\mathcal{E}/\partial S)$ – абсолютная температура системы; $\mathbf{H} \equiv (\partial\mathcal{E}/\partial\mathbf{Z}_m)$ – напряженность магнитного поля; $\mathbf{M}_c \equiv (\partial\mathcal{E}/\partial\mathbf{J})$ – ориентационный момент. В этом выражении член $\mathbf{M}_c \cdot d\varphi_c$ характеризует работу, связанную с ориентационной поляризацией системы ядерных спинов (подобно тому, как член $\mathbf{H} \cdot d\mathbf{M}$ определяет работу, связанную с намагничиванием системы). Отсюда на основании свойств полного дифференциала следуют дополнительные дифференциальные соотношения между модулями Z_m и H векторов \mathbf{Z}_m и \mathbf{H} вида

$$(\partial Z_m / \partial \varphi_c)_H = (\partial Z_m / \partial H)_\varphi. \tag{9}$$

Согласно этому соотношению, угол ориентационной поляризации системы ядерных спинов φ_c изменяется под влиянием внешнего магнитного поля \mathbf{H} в той же мере, что и намагниченность системы \mathbf{Z}_m – вследствие переориентации спиновой системы (изменения момент количества движения \mathbf{J}_c). Поскольку же в условиях постоянства магнитного поля \mathbf{H} изменение \mathbf{Z}_m может быть обусловлено лишь изменением ядерной намагниченности (дипольного магнитного момента ядер) $\mathbf{Z}_я$, который связан с суммарным моментом количества движения \mathbf{J}_c так называемым гиромангнитным отношением γ_c

$$\mathbf{Z}_я = \gamma \mathbf{J}_c, \tag{10}$$

то вместо (9) можно написать

$$(\partial \varphi_c / \partial H)_J = \gamma_c. \tag{11}$$

Отсюда следует, что ориентационная поляризация системы ядерных спинов под влиянием внешнего магнитного поля действительно имеет место и выражается тем же гиромангнитным отношением γ_c . Отличие от нуля левой и правой частей соотношения (11) подтверждает обоснованность учета дополнительной степени свободы, связанной с ориентацией спиновых систем. Таким образом, признание факта существования

ориентационных процессов и связанной с ней дополнительной степени свободы конденсированных веществ приводит к результатам, согласующимся с опытом. Тем самым энергодинамика устраняет паралогизм отрицательных абсолютных температур, еще раз подтверждая незыблемость законов термодинамики.

5. Эфирно-солитонная природа спин-спинового взаимодействия.

Коснемся теперь вопроса о «механизме» переноса спин-спинового взаимодействия в пространстве. С позиций классической физики энергия передается в пространстве от точки к точке с конечной скоростью. Для этого необходима *сплошная промежуточная среда, способная переносить энергию*. В качестве такой среды после Фарадея и Максвелла рассматриваются обычно различные поля, существующие предположительно независимо от их источников. За время господства полевой парадигмы были придуманы десятки полей: «сильные» и «слабые», «нуклонные» и «мезонные», «барионные» и «спинорные», «бозонные» и «микрелептонные», «тахсионные» и «торсионные», «нейтринные» и «тонкие», «биологические» и «хрональные», «морфогенетические» и «информационные», и т.д., и т.п. Большинство из них выдавалось за некую материальную среду и наделялось совокупностью свойств, не получивших экспериментального подтверждения. Это привело к обилию в физике гипотез и постулатов в ущерб ее классическому феноменологическому характеру.

При таком подходе исследователи как-то упустили из вида, что Максвелл понимал под полем среду, которая может переносить энергию «после того, как она покинула одно тело и еще не достигло другого» [11]. Между тем таким образом можно переносить только *внутреннюю* (собственную), но не *внешнюю потенциальную* энергию, поскольку последняя *по определению* зависит от взаимного положения тел с присущими им массами, зарядами и токами, т.е. принадлежит всей их совокупности и лишь условно приписывается полю как некоторой математической функции пространственных координат, чтобы избежать «дальнодействия» [12]. Понимание этого обстоятельства возвращает нас к эфиру, изгнанному из физики специальной теорией относительности (СТО) и вновь оказавшемуся востребованным в ОТО.

Известны десятки моделей эфира, наделяющие его многими свойствами вещества, в том числе корпускулярной структурой, подвижностью, температурой, теплопроводностью, вязкостью,

текучестью, сжимаемостью, инерционностью и т.п. Большинство физических моделей эфира рассматривают его как разновидность жидкости или газа, т.е. вещества [13]. Наиболее популярными были модели, основанные на предположении о вихревом движении эфира. Одну из первых «вихревых» моделей эфира предложил в 1858 году Г.Гельмгольц. Эту идею в дальнейшем развил В. Томсон, который в 1904 году предложил вихревую модель атома, подобную «пудингу с изюмом». Однако еще Коши и Стокс доказали, что любая частица идеальной жидкости не может получить вращательное движение при содействии окружающей среды, если она не обладает им в начальной точке отсчета времени. Это означало, что вихревое движение может возникнуть лишь в вязкой жидкости. В таком случае длительное существование вихрей в такой среде становится невозможным из-за диссипации энергии вихрей. Смущала исследователей также неизбежность возникновения при этом сопротивления движению твердых тел через эфир, что расходилось с наблюдавшейся неизменностью траекторий небесных тел. В результате вихревая модель эфира оказалась несостоятельной и была отвергнута.

Между тем при современном уровне развития экспериментальной техники нет никаких оснований приписывать эфиру дискретную структуру, т.е. считать его разновидностью вещества. Напротив, целесообразно весь материальный мир поделить на вещество (дискретное образование, занимающее лишь часть пространства и имеющее границы) и эфир как сплошную среду, не имеющую границ. В реальном космическом пространстве мы наблюдаем эфир, в той или иной мере «запыленный» присутствием вещества, начиная от отдельных химических элементов и кончая галактиками. Такая среда является продуктом перехода от эфира к веществу и обратно, и потому в определенной мере обладает свойствами как эфира, так и вещества. На этом и основан энергодинамический подход, для которого характерны отказ от каких-либо модельных представлений о микроскопической структуре объекта исследования и о микроскопическом механизме процессов в нем, исключение гипотез и постулатов из оснований теории и от идеализации процессов и систем вне рамок условий однозначности (задаваемых лишь при приложении теории к решению конкретных задач). Более того, энергодинамика усиливает требования реальности, дополняя термодинамику учетом скорости, производительности и необратимости реальных процессов, а также междисциплинарным подходом к изучению объекта с сохранением

всех присущих ему «системообразующих» связей. Поэтому дальнейшей задачей является краткое изложение энергодинамического подхода к эфиру на примере переноса спин-спинового взаимодействия.

5.1. Энергия эфира. Известно свойство эфира как всепроникающей светонесущей среды, колеблющейся в неограниченном диапазоне частот. Это вынуждает рассматривать его в энергодинамике как непрерывный невещественный компонент изолированной системы типа Вселенной в целом и любой материальной ее части. Из экспериментов известна также скорость света c как предельная скорость распространения поперечных колебаний среды его распространения. Этого в принципе достаточно для приложения энергодинамического метода исследования к эфиру как к одной из составляющих многокомпонентной системы.

С позиций энергодинамики, как и классической теории колебаний квадрат скорости распространения колебаний в среде определяется отношением давления среды p к ее плотности ρ [14]:

$$c^2 = p/\rho. \quad (12)$$

Отсюда следует, что эфир обладает отличной от нуля плотностью ρ и внутренней потенциальной энергией, мерой которой является давление p (Дж/м³). При колебаниях плотности эфира ρ в нем возникают волны, уносящие соответствующую часть его упорядоченной энергии E_b в форме бегущей волны. В процессе поглощения этих волн веществом возрастает его энергия покоя E_o ($dE_o = -dE_b$) и масса покоя m , так что в соответствии с законами сохранения массы и энергии $-dM = dm$ и $-dE_b = -c^2 dM = c^2 dm$. Отсюда после интегрирования находим :

$$E_o = mc^2. \quad (13)$$

К этому выражению задолго до А.Эйнштейна пришел целый ряд исследователей: Шрамм (H. Schramm), Браумюллер (W. Braumüller), Н.Умов, Дж. Томсон (J.Thomson), Хэвисайд (O. Heaviside), Пуанкаре (J.H. Poincare) и Хазенорль (F. Hasenöhr) [15]. Заметим, что к этому выводу нельзя было прийти, не допуская (хотя бы молчаливо) превращения эфира как компонента системы в вещество, в то время как перенос энергии фотонами считается «безмассовым». Поскольку же $\rho = M/V$, удельная энергия покоя эфира является вполне определенной величиной $\varepsilon_o = pV/M = c^2$. Наличие собственной энергии и делает эфир той средой, которая способна переносить энергию в пространстве.

5.2. Отсутствие в эфире вязкости. Одним из основных возражений против теории эфира явилось представление об обязательном наличии у него вязкости, о чем свидетельствовали признаки наличия «эфирного ветра» и «усталости света». Между тем оба этих экспериментальных свидетельства относились к реальной космической среде, содержащей рассеянное вещество со всеми присущими ему атрибутами, и потому не имеют отношения к «чистому» эфиру как своего рода «первоматерии». Приписывание диссипации энергии эфиру отражает лишь наивные представления прошлого о теплоте как неуничтожимом флюиде, содержащемся во всех без исключения материальных объектах. Эта точка зрения, казалось бы, подкреплялась и 3-м началом термодинамики, трактуемым как утверждение о недостижимости абсолютного нуля температуры не только путем отвода тепла (что непосредственно вытекает из 2-го начала для тепловых машин), но и никаким иным образом (вопреки доказанной в экспериментах возможности асимптотически достичь температур менее 0,001К). В случае «неуничтожимости» теплоты диссипация энергии, вызванная превращением упорядоченных форм энергии в хаотическую, становится неотъемлемым свойством любых материальных сред, поскольку перемещение тел относительно любой другой корпускулярной среды непременно сопровождается разрывом старых и образованием новых «межчастичных» связей. Первый из этих процессов требует, как известно, затраты определенной работы, второй – представляет собой релаксационный процесс, при котором работа, затраченная на разрушение связей, возвращается уже в форме тепла. Иное дело, если теплоту рассматривать с позиций энергодинамики как синтез кинетической энергии хаотического движения структурных элементов вещества и потенциальной энергии их взаимодействия. Тогда становится ясным, что теплота как специфическая форма движения возникает лишь на определенном (макроскопическом) уровне структурной организации вещества, и что такая форма энергии отнюдь не свойственна микромиру и тем более эфиру в его «чистом» виде. Это следует и из СТО, поскольку энергия покоя эфира E_0 соответствует полной его энергии $\mathcal{E} = Mc^2$. Т.о. «чистый» эфир следует рассматривать как полностью упорядоченную систему, обладающую лишь колебательной формой движения. В таком эфире процесс разрыва старых и образования новых связей обратим. Это обстоятельство и приводит к возникновению в нем

практически не затухающих автоколебаний плотности. Образующиеся при этом волны плотности могут быть как стоячими, так и бегущими (в том числе кольцевыми, двигающимися по замкнутым траекториям). Основным свойством бегущих волн является, как известно, их способность переносить энергию без переноса вещества (в данном случае эфира). Это и позволяет снять ряд противоречий, свойственных ряду его моделей.

5.3. Взаимопревращение эфира и вещества. Существуют веские основания считать вслед за А.Эйнштейном, что вещество является продуктом «конденсации» (структурной перестройки) эфира, т.е. рассматривать его как «первоматерию». Возможность такого взаимопревращения вещества и эфира становится особенно очевидной с позиций ТО, оперирующей понятием релятивистской массы M_r и выражением полной энергии $\mathcal{E} = E_0 + E_k = M_r c^2$. Из этого выражения следует, что при достижении системой скорости света, когда ее кинетическая энергия $E_k = M_r c^2$ становится равной полной энергии \mathcal{E} , энергия покоя системы E_0 обращается в нуль. Это означает, что все степени свободы системы, кроме кинетической, вырождаются (исчезают), и единственной формой движения становится волновая форма, присущая эфиру. Однако этот процесс не имеет ничего общего с аннигиляцией электрона с гипотетическим позитроном - просто те формы взаимодействия, которые ответственны за тепловые, механические, химические, ядерные и т.п. процессы в нем, по мере ускорения уступают место другим, упорядоченным формам движения. С особой ясностью это обстоятельство проявляется с позиций молекулярно-кинетической модели вещества, в которой теплота рассматривается как хаотическая форма движения частиц с некоторой среднестатистической скоростью. Если скорость центра массы материальной системы, т.е. средняя скорость ее частиц, равна предельной, то хаотическое движение в ней становится невозможным, поскольку исключены случайные отклонения от этой скорости в большую сторону. Этот вывод следует и из энергодинамики, в которой полная энергия системы \mathcal{E} представлена в виде суммы «парциальных» энергий \mathcal{E}_i всех ее степеней свободы $\mathcal{E} = \sum_i \mathcal{E}_i$. В таком случае становится очевидным, что с приближением кинетической энергии системы к предельной $M_r c^2$ вырождаются все остальные ее составляющие \mathcal{E}_i . Это и означает превращение вещества в эфир. Становится понятным и смысл и

обратного процесса «конденсации» эфира, сопровождающийся появлением у вещества новых свойств, не присущих эфиру.

5.4. Структурная устойчивость волн эфира. Немаловажно показать, что волны эфира по своим свойствам подобны солитонам (от англ. solitary wave – уединенная волна) – одиночным структурно устойчивым частицеподобным волнам. Такие волны при столкновении друг с другом не изменяют своей формы, испытывая в некоторых случаях лишь фазовый сдвиг. Убедиться в структурной устойчивости волн эфира можно, если воспользоваться классическим выражением для плотности энергии волны, единым для волн любой природы (акустических, гидравлических, электромагнитных и т.п.) [14]:

$$\rho E_b = \rho A_b^2 v^2 / 2, \quad (14)$$

где ρ , A_b , v – плотность, амплитуда и частота колебаний среды.

Введем для наглядности коэффициент формы волны K_ϕ как отношение ее амплитуды A_b к длине волны λ :

$$K_\phi = A_b / \lambda. \quad (15)$$

Тогда плотность энергии волны предстанет как величина, не зависящая от частоты и зависящая только от ее формы:

$$\rho E_b = \rho K_\phi^2 c^2 / 2 \quad (16)$$

С другой стороны плотность энергии волны может быть выражена через скорость света в вакууме $\rho E_b = \rho c^2$. Сравнивая эти выражения, легко убедиться в том, что $K_\phi = \text{const}$. Принято считать, что структурная устойчивость уединенной волны обусловлена распространением уединенной волны в нелинейной среде, где «расползание» волны вследствие диссипации ее энергии компенсируется дисперсией, т.е. возрастанием скорости волны с увеличением ее амплитуды. Однако в эфире отсутствует как дисперсия, так и диссипация волн, так что это условие соблюдается в нем всегда. Это существенно расширяет сферу применимости понятия солитона и снимает проблему дуализма «волна – частица», поскольку солитон заведомо обладает свойствами частицы. Дискретность солитона как волны дает основание для *эфирно-солитонной* концепции процесса излучения [16] и позволяет дать классическое обоснование ряду положений квантовой механики [17]. При этом фотон предстает как пакет солитонов с целочисленным количеством узлов. Признание единой неэлектромагнитной природы любых глубоко проникающих излучений, включая свет [18] и их эфирно-солитонная концепция открывает новую страницу в изучении так называемых упомянутых

выше полей, позволяя объяснить специфику свойствами эфира как «сверхпроникающей» среды.

5.5. Силовой характер взаимодействия эфира с веществом.

Рассмотрим одиночную волну эфира ρ (рис.1). Она представляет собой неоднородную систему, образованную отклонением ее плотности ρ в обе стороны от ее равновесного значения $\bar{\rho}$. Как показано в [7], это приводит к появлению некоторого «момента распределения» плотности эфира в волне, который в нашем случае определяется выражением

$$\mathbf{Z}_B = \Theta_B \Delta \mathbf{R}_B = \int [\rho(\mathbf{r}, t) - \bar{\rho}(t)] \mathbf{r} dV. \tag{17}$$

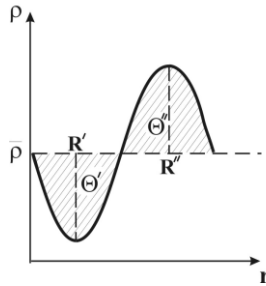


Рис.1. Волна как диполь

Разбивая для простоты объем системы V на две части V' и V'' , и обозначая через Θ' и Θ'' интегралы $\Theta' = \int [\rho(\mathbf{r}, t) - \bar{\rho}(t)] dV'$ и $\Theta'' = \int [\rho(\mathbf{r}, t) - \bar{\rho}(t)] dV''$, соответствующие отрицательной и положительной полуволне, находим, что положение их центров соответствует радиус-векторам, обозначенным на рисунке через \mathbf{R}' и \mathbf{R}'' . Т.о., энергодинамический подход к оценке неоднородности системы в целом применим и к волнам эфира, обнаруживая свойство эфирной волны как диполя с плечом $\Delta \mathbf{R}_B$.

Несложно также заметить, что универсальное определение силы в энергодинамике [7] как градиента соответствующей формы энергии $\mathbf{F}_i = -(\partial \Theta_i / \partial \mathbf{r})$ применимо и к волнам эфира, поскольку локальное отклонение плотности волны ρ от равновесной $\bar{\rho}$ меняется по пространственной координате \mathbf{r} :

$$\mathbf{F}_B = -(\partial E_B / \partial \mathbf{r}). \tag{18}$$

Таким образом, пространственная неоднородность осциллирующего эфира порождает его «поляризацию», подобно тому, как это происходит в диэлектриках. Образование «эфирных диполей» порождает возникновение в нем действующих сил подобных хорошо изученным силам, исходящим от электрических или магнитных диполей. Равнодействующая таких сил в какой-либо точке пространства \mathbf{r} от всех эфирных диполей, и создает то, что мы

называем *силовым полем*. Отсюда и понятие силового поля как области пространства, в которой обнаруживаются какие-либо силы. Как видим, поле – это просто напряженное состояние эфира. Для выяснения природы силы \mathbf{F}_b воспользуемся выражением полного дифференциала плотности энергии волны, даваемой выражением (14):

$$d(\rho E_b) = -(\rho A_b \nu) d(A_b \nu). \quad (19)$$

Сопоставляя (19) с выражением элементарной упорядоченной работы dW^x в термодинамике и энергодинамике как произведения объекта приложения силы Θ_i на вызванное ею изменение обобщенного потенциала ψ_b , находим, что в нашем случае $\psi_b = A_b \nu$ и $\rho \Theta_b = \rho A_b \nu$. Этот потенциал волны назван нами амплитудо-частотным [19]. Поскольку в стационарных условиях потенциал ψ_b является функцией пространственных координат \mathbf{r} , то его полный дифференциал имеем вид

$$d\psi_b(\mathbf{r}) = (d\mathbf{r} \cdot \nabla) \psi_b. \quad (20)$$

Это позволяет выразить работу в привычной для механических видов работы форме:

$$dW^x = \mathbf{F}_b \cdot d\mathbf{r}, \quad (21)$$

где $\mathbf{F}_b = -\Theta_b \text{grad} \psi_b$. Т.о., сила взаимодействия эфира с веществом выражается отрицательным градиентом потенциала волны, т.е. так же, как и силы другой природы. При этом выражение градиента амплитудно-частотного потенциала определяет условия энергообмена между веществом и эфиром, равно как и условия распространения лучистой энергии в поглощающей среде. Становится ясным, что распространение света а таких средах сопряжено с «распластыванием» волны, т.е. уменьшением ее амплитуды A_b и частоты ν , т.е. с «красным смещением» [19]. То же касается и вещества, затухание колебаний в котором зависит от его свойств и состояния, и к тому же изменяется при резонансе. Это нарушает равенство потенциалов ψ_b в веществе и эфире, и порождает энергообмен между ними. Это обстоятельство и предопределяет равенство частот поглощенного и отраженного излучения при равновесии эфира с веществом и, напротив, понижение частоты переизлучаемого света при диссипативном характере лучистого энергообмена. Что же касается пространства, свободного от вещества, то в нем форма волны сохраняется и энергия волны не рассеивается.

6. Обсуждение результатов.

Подводя итог, заметим, что любые процессы в веществе находят адекватное отражение в эфире, который и переносит колебания от одних тел к другим, способным к их восприятию. Благодаря этому любые взаимодействия приобретают единую природу и отличаются лишь диапазоном частот колебаний переносящего это взаимодействие эфира. Именно поэтому он способен вызывать в веществе не только фотоэффект, но и ионизацию, фотосинтез, флуоресценцию, фотоядерные реакции, структурообразование и т.п. С этих позиций свет – лишь та часть диапазона колебаний эфира, которая проявляется в телах в виде оптических эффектов. Еще более узкий диапазон этих колебаний телами рассеивается и потому называется тепловым. В рентгеновском диапазоне частот многие вещества оказываются практически прозрачными. Тогда излучение называют рентгеновским, причисляя его по ряду исторических причин к категории электромагнитных. Таким образом, эфир является *источником эффектов любой природы*. Его воздействие различается не природой поля как напряженного состояния эфира, а тем, как вещество его воспринимает. Этим же определяются и способы изоляции вещества от этих воздействий. Например, электромагнитные экраны поглощают излучение эфира в том диапазоне частот, которые способны возбуждать электроны, но значительно слабее – в рентгеновском диапазоне, и еще меньше – в диапазоне частот, соответствующих так называемым «тонким», «торсионным» и т.п. полям. Именно это, а не малая («нетепловая») интенсивность таких излучений обуславливает их глубокую проникающую способность, отнюдь не свойственную электромагнитным колебаниям. С другой стороны, эти «глубокопроникающие» излучения в ряде случаев хорошо поглощаются полимерными пленками, не представляющими практически никаких препятствий для электромагнитных волн. Таким образом, физическая природа всех взаимодействий едина – различены лишь их частоты и их проявления в веществе. Именно это и служит основанием для различения инфракрасных, тепловых, оптических, радиочастотных, рентгеновских, космических и т.п. излучений.

Таким образом, «механизм» взаимодействия эфира с телами един: колебательные процессы, происходящие в любых структурных элементах вещества, вызывают модуляцию эфира на резонансной этим процессам частоте. Частота модуляций определяется частотой колебаний структурных элементов вещества,

участвующих в этом процессе, т.е. его свойствами. Если эти колебания в веществе не изменяют положения осциллирующих элементов, они создают в эфире стоячие волны. В противном случае волны эфира становятся бегущими и переносят энергию в отсутствие перемещения самого эфира, т.е. порождают то, что мы называем взаимодействием тел на расстоянии в концепции близкодействия. Если вещество или его макроскопические части вращаются, они порождают в эфире адекватные замкнутые (кольцевые) волны. Такие волны легко представить, соединив начало и конец любого волнового пакета. В частности, если в веществе протекают замкнутые молекулярные токи, обуславливающие его магнетизм, они и в эфире порождают кольцевые волны, воспринимаемые детекторами как вихревое магнитное поле. То же самое происходит при вращении в пространстве нейтральных тел, обладающих скомпенсированным положительным и отрицательным зарядом, но отличающимся массой и соответственно частотой колебаний. Сам же эфир при этом может не обладать ни электрической, ни магнитной степенью свободы, что подтверждает неэлектромагнитную природу света [18].

Универсальное свойство эфира переносить колебания любой частоты позволяет обнаружить существование наряду со спин-спиновым и других видов взаимодействия, в частности, обусловленного зависимостью потенциальной энергии тел от их ориентации в пространстве или неоднородностью поля угловых скоростей [20]. В этом отношении спин-спиновое взаимодействие предстает как частный случай последнего, отличающимся тем, что величина спина у взаимодействующих ядерных частиц одинакова и неизменна. В таком случае взаимодействие их носит чисто *ориентационный* характер. В более общем случае вращающиеся тела порождают не только гироскопические моменты типа M_c , но и эффекты «опрокидывания», «гироскопической тяги» и «обезвешивания» [21].

Принципиально важно, что вся упомянутая выше совокупность свойств эфира найдена здесь без каких-либо дополнительных гипотез и постулатов, выходящих за рамки классической парадигмы. Это обстоятельство наряду с выдвинутой здесь эфирно-волновой концепцией любых излучений открывает новую страницу в изучении так называемых «сверхслабых» излучений неэлектромагнитной природы, позволяя объяснить их высокую проникающую способность врожденным свойством эфира как «всепроникающей» среды.

Литература

1. Pурсел E.M., Pound R.V. // Phys. Rev., 1951. V.81. P.279.
2. Ramsey N.F. Thermodynamics and Statistical mechanics by Negative Absolute Temperature. // Phys. Rev. 1956. V.103. №1. P. 279.
3. Абрагам А., Проктор У. Спиновая температура. // Проблемы современной физики. М., 1959. Вып. 1.
4. Поулз Л. Отрицательные абсолютные температуры и температуры во вращающихся системах координат. // УФН. 1964. Т. 84. Вып. 4. С. 693.
5. Гольдман М. Спиновая температура и ЯМР в твердых телах. Пер с англ. М.: Мир, 1972.
6. Базаров И.П. Термодинамика. Изд. 4-е. М.: Высшая школа, 1991.
7. Эткин В.А. Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии.- СПб, «Наука», 2008.- 409 с.
8. Caratheodory C. Untersuchungen über die Grundlagen der Thermodynamik. //Math. Ann., 1909, XVII, №3. P. 355.
9. Danming-Davies J. Negative Absolute Temperatures and Carnot Cycles. // Journ. Phys. A.: Math. And Gen. 1976. V.9. №4. P. 605.
10. Эткин В.А. Об ориентационном взаимодействии. //Вестник Дома ученых Хайфы, 2010.–Т.XXI. – С.9-13.
11. Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля: Пер. с англ.- М.: Гостехтеориздат, 1952.
12. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 6. М.: Мир, 1966.
13. Лоренц Г.А. Теории и модели эфира: Пер. с англ./ Под ред. А.К. Тимирязева. М.-Л.: ОНТИ, 1936.
14. Крауфорд Ф. Берклевский курс физики. Т.3: Волны. М.: Мир, 1965, 529 с.
15. Уиттекер Э. История теории эфира и электричества. – Москва – Ижевск, 2001.- 512 с.
16. Эткин В.А. О законе излучения Планка. //Вестник Дома ученых Хайфы, 2008. –Т.16. – С.12-17.
17. Эткин В.А. Об основаниях квантовой механики. //Вестник Дома ученых Хайфы, 2006. – Т.10. – С.19-27.
18. Эткин В.А. О неэлектромагнитной природе света. // Доклады независимых авторов. 2013. – Вып. 24. С. 160...187.
19. Эткин В.А. О потенциале и движущей силе лучистого теплообмена.//Вестник Дома ученых Хайфы, 2010.–Т.XX. –С.2-6
20. Эткин В.А. О новых видах взаимодействия. // Доклады независимых авторов. 2013. – Вып. 24. С.183...202.
21. Эткин В.А. О взаимодействии вращающихся масс //Журнал формирующихся новых направлений, 2013., № 3(1), стр.6...14.