

ПРОБЛЕМЫ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
И АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ

АТОМ КАК ОТКРЫТАЯ ДИССИПАТИВНАЯ СИСТЕМА
В БАЗОВОЙ СРЕДЕ – ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
ФИЗИЧЕСКОГО ВАКУУМА: ФЕНОМЕНОЛОГИЯ

© 2022 г. С. Ф. Тимашев^{а,*}

^аНациональный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

*e-mail: serget@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2022 г.

После доработки 18.04.2022 г.

Принята к публикации 05.05.2022 г.

Основываясь на ранее развитых автором представлениях о вакууме электромагнитного поля – ЕМ-вакууме как базовой системе отсчета и о казимировской поляризации ЕМ-вакуума в окрестности электронов и атомных ядер, показано, что генезис необратимости во времени реальных процессов – “стрелы времени” как одной из “великих проблем современной физики” (по В.Л. Гинзбургу) состоит в неизбежности диссипативных процессов на всех пространственно-временных уровнях иерархии природных систем. Диссипация сопровождает все процессы – от макроскопических процессов, в динамике которых неизбежно проявляются нерегулярности хаотической природы, до процессов на уровне атомов и атомных ядер, поскольку даже для поддержания функционально-активного состояния как электронной подсистемы атома, так и ядерной материи атомного ядра необходима “подпитка” энергией от ЕМ-вакуума, которая реализуется при неэквивалентном обмене энергией между виртуальными фотонами ЕМ-вакуума и области казимировской поляризации электронной подсистемы атома или атомного ядра. В рамках таких представлений сама Вселенная оказывается системой открытой, “питаемой” энергией от энегронасыщенной мировой среды – Прото-вакуума. Феноменологические представления о динамике Вселенной, развиваемые в данной работе, позволили естественным образом разрешить наиболее острые проблемы такой динамики, а также т.н. проблему космологической постоянной – установить связь этой постоянной, характеризующей расширение Вселенной, с плотностью энергии ЕМ-вакуума. Введенные представления открывают возможность для понимания ряда других нерешенных проблем, так или иначе связанных с определяющей ролью виртуальных фотонов в ряде оптических явлений. Был понят, в частности, загадочный феномен отсутствия рассеяния света от дальних звездных источников, наиболее ярко проявляемый в фиксируемой независимости поверхностной яркости однотипных галактик от величины красного смещения галактик, что невозможно понять на основе принципа Гюйгенса–Френеля. Показано также, что недавно установленный эффект “притяжения масс световым потоком”, обуславливается накоплением энергии виртуальных фотонов, продуцируемых интенсивным световым потоком, в приповерхностных областях массивных объектов. При этом последующее переизлучение света может определять т.н. “эффект линзирования”, который проявляется в астрофизике и обычно связывается с воздействием гравитации на световые потоки.

Ключевые слова: стрела времени, диссипативные процессы, ЕМ-вакуум, казимировская поляризация ЕМ-вакуума в окрестности атомных ядер и электронов, эффект линзирования, принцип Гюйгенса–Френеля, модель динамики Вселенной как открытой системы

DOI: 10.31857/S0044453722120287

I. ВВЕДЕНИЕ: “СТРЕЛА ВРЕМЕНИ”
КАК “ВЕЛИКАЯ ПРОБЛЕМА”
СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

В своей Нобелевской лекции В.Л. Гинзбург среди “великих проблем” современной физики, которые, с его точки зрения, надо выделять и специально обсуждать, указал, во-первых, на вопрос о необратимости реальных процессов – “стреле времени”, а во-вторых, о проблемах “интерпрета-

ции нерелятивистской квантовой механики и возможности узнать что-либо новое даже в области ее применимости” [1]. В предыдущей статье [2] было показано, что возможности понимания “нового” в квантовой механике, в том числе и релятивистской (на примере уравнения Дирака), открываются на уровне феноменологии при введении базовой абсолютной системы отсчета, связанной с вакуумом электромагнитного поля – ЕМ-вакуумом расширяющейся Вселенной, а так-

же с вводимой казимировской поляризацией ЭМ-вакуума в окрестности электронов и атомных ядер. Среди открывающегося “нового” – установление физической сущности “волны-частицы” как объекта, понимание феномена “запутанности” (“повязанности”) квантовых состояний, гравитации, процессов туннелирования.

Более того, понимание сущности квантовой механики позволяет глубже осознать механизмы формирования “стрелы времени”, то есть природу необратимости динамики реальных процессов уже на пространственно-временных масштабах атомов и ядер. Исходная идея для такого анализа восходит к “Триест-теории” [3] К.Ф. фон Вайцзеккера, согласно которой любой динамический процесс представляет собой реализующиеся дискретные последовательности необратимых во времени элементарных “шагов-событий” на всех пространственно-временных уровнях иерархии рассматриваемой системы. При этом сам факт актуализации любого такого события (если это даже происходящая во времени смена идей в нашем сознании) с неизбежностью указывает на необратимость каждого такого шага, фиксирующего переход в новое состояние системы.

Эта идея была развита автором при разработке метода фликкер-шумовой спектроскопии [4], общего феноменологического подхода к извлечению информации об особенностях динамики термодинамически открытых произвольных систем на основе оцифрованных величин динамических переменных исследуемого процесса. Каждый “шаг-событие” на фиксируемом пространственно-временном уровне иерархии динамического процесса связывается с нерегулярностями динамики (скачки, всплески, изломы производных динамических переменных), вводимыми на концах соответствующего временного интервала, и неизбежно сопровождается диссипацией на этом “элементарном” шаге рассматриваемой эволюции. Согласно [4], именно с такими интервалами следует связывать широко используемый в философской традиции термин “*now*” (“теперь”).

Введение, в соответствии с общей схемой Дж. Николиса [5], гипотезы о самоподобии эволюционной динамики реальных процессов на различных пространственно-временных масштабах позволило представлять хаотические составляющие динамики, высокоспецифические по своей сущности, как совокупность диссипативных составляющих, моделирующих “случайное блуждание” со скачкообразными изменениями величин динамической переменной, так и бездиссипативных, “всплескообразных” составляющих. При этом естественно ожидать, что в динамике каждого реального процесса наряду с хаотическими составляющими проявляются, преимущественно в

низкочастотной части спектра мощности исследуемой динамики, высокоспецифические “резонансные” составляющие. Здесь следует указать, что если иметь в виду хаотические составляющие динамики, то именно скачкообразные изменения динамических переменных, модельно представляемые при использовании дробного исчисления [6] как процесс аномальной диффузии [6, 7], определяют диссипативный характер и необратимость динамики, “стрелу времени” для реальных систем.

Поскольку абсолютно все процессы, происходящие во Вселенной, вследствие неизбежной необратимости сопряжены с диссипативными потерями энергии, то возникают вопросы компенсации энергетических потерь не только в локальных, но и в глобальных, на что впервые обратил внимание Л. Больцман, масштабах. Это тем более актуально, что обычно такие вопросы в стандартных моделях динамики Вселенной [8–10] либо не обсуждаются, либо рассматриваются на уровне гипотез, не имеющих под собой физической основы. Это относится и к проблемам поддержания общего энергосодержания Вселенной, которое возрастает в связи с ее расширением (“разбуханием”) и необходимостью соответствующего “энергетического заполнения” (“бесплатный ланч” [11]) образующегося пространства, составляющего более 10^{18} (световых лет)³/сутки (см. также [12]). При этом вся история эволюции нашей Вселенной не позволяет усомниться в реализации в ней механизмов компенсации диссипативных потерь разной сущности на всех пространственно-временных масштабах динамики Вселенной, сопровождающих любой реальный процесс. Общую долю энергосодержания Вселенной, идущего на диссипацию, оценить невозможно, но иметь информацию об основных источниках диссипативных потерь, прежде всего, обусловленных необходимостью стороннего инициирования функциональной активности каждого атома во Вселенной (раздел II), необходимо хотя бы для того, чтобы качественно осознавать масштабы как рассеиваемой энергии, так и потоков сторонней энергии, необходимой для компенсации всех необратимых потерь и расширения Вселенной.

Выяснению такой информации на уровне самых элементарных “шагов-событий”, которые для своей реализации требуют сторонней “подкачки энергии”, посвящена данная статья. При этом речь идет просто о распространении света от удаленных на космологические расстояния объектов (подразделы 2.1 и 2.2), о поддержании функциональной активности электронной подсистемы каждого атома и его атомного ядра (подразделы 2.3 и 2.5) и проявлении такой активности в ряде частных случаев, о процессах диссипации

при переизлучении света от источников, а также о пока не объясненном феномене “притяжения массы” световым потоком, на основе которого можно понять явление “гравитационного линзирования” в космологии (подраздел 2.4).

Основываясь на полученных результатах о всеобщем характере диссипативных процессов, что обуславливает необходимость стороннего инициирования функциональной активности каждого атома во Вселенной, в разделе III обсуждается гипотетический вариант формирования Вселенной как открытой системы, эволюционная динамика которой поддерживается сторонними источниками энергии. В рамках предложенной феноменологической модели динамики Вселенной естественным образом разрешается не только проблема генезиса “стрелы времени”, но и другие дискуссионные проблемы, относящиеся к динамике расширения Вселенной и к ключевой для астрофизики проблеме космологической постоянной (“проблема 120 порядков”).

II. АТОМ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ И ИСПУСКАНИИ СВЕТА

2.1. Базовые соотношения

Полагаем, следуя [2], что электромагнитная составляющая физического вакуума – ЕМ-вакуум, “привязанный” к расширяющейся (“разбухающей”) евклидовой Вселенной, материальные объекты которой оказываются открытыми системами для ЕМ-вакуума, является базовой, абсолютной системой отсчета. При этом принимается шкала глобального времени t , единого для всех точек Вселенной и отсчитываемого с момента $t = 0$, соответствующего Большому Взрыву. Электромагнитное поле рассматривается (полагаем, что электростатический потенциал $\phi = 0$) как совокупность независимых гармонических осцилляторов со всеми возможными значениями волнового вектора \vec{k} , и энергия электромагнитного поля равна

$$\varepsilon = \frac{1}{8\pi} \int (E^2 + H^2) d\vec{r} = \sum_{\vec{k}} \left(n_{\vec{k}} + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_{\vec{k}},$$

где $\vec{E}(\vec{r}, t)$ и $\vec{H}(\vec{r}, t)$ – вектора напряженности электрического и магнитного полей в точке с радиус-вектором \vec{r} в момент времени t , соответственно; $\omega_{\vec{k}}$ – частота, $n_{\vec{k}}$ – номер возбужденного состояния осциллятора с волновым вектором \vec{k} . В основном состоянии все $n_{\vec{k}} = 0$ (нет квантов) и

$$\varepsilon_V^e = \frac{1}{2} \sum_{\vec{k}} \hbar \omega_{\vec{k}}.$$

При этом, следуя [2], будем также полагать, что связь ЕМ-вакуума с материальными объектами осуществляется при формировании областей “казимировской” поляризации ЕМ-вакуума в

окрестности электронных подсистем атомов и в окрестности атомных ядер, так что между областями казимировской поляризации и виртуальными фотонами ЕМ-вакуума происходит постоянный обмен виртуальными фотонами. Согласно [2], радиус области казимировской поляризации ЕМ-вакуума в окрестности электрона как “казимировского полярона равен $a_{Ve} = 2^{1/2} \hbar / m_e c = 5.2 \times 10^{-11}$ см, а величина области казимировской поляризации в окрестности протона как “казимировского полярона оказывается равной $a_{Vp} = 2.8 \times 10^{-14}$ см, т.е. соответствует масштабу действия ядерных сил.

Мы полагаем, что проблему “привязки” возбуждения атома к электрону при поглощении энергии фотона атомом естественно связывать с локализацией возбуждения в форме виртуального фотона в области казимировской поляризации ЕМ-вакуума в окрестности рассматриваемого электрона. Для виртуальных фотонов волновой вектор \vec{k} и частота ω являются независимыми переменными, не связанными дисперсионным соотношением $\omega = kc = 2\pi c / \lambda$, справедливым для реального фотона. При заданной длине λ волны локализованного виртуального фотона его частота $\omega_{\text{eff}} = 2\pi u_{\text{eff}} / \lambda$ определяется эффективной скоростью света u_{eff} в области казимировской поляризации ЕМ-вакуума в окрестности электрона, так что виртуальному фотону с волновым числом $k = 2\pi / \lambda$ и частотой ω_{eff} , характеризующемуся энергией $\hbar \omega / 2$, следует ставить в соответствии масштабу $\Delta m_{\lambda} = \hbar (2\pi c \lambda^{-1} - \omega_{\text{eff}}) / 2c^2$. В этом случае при полной локализации виртуального фотона, когда $u_{\text{eff}} \rightarrow 0$, так что $\omega_{\text{eff}} \rightarrow 0$, имеем: $\Delta m_{\lambda} = \hbar \omega / 2c^2$. Поскольку виртуальные фотоны недоступны для непосредственного наблюдения, заключение о переходе части реальных фотонов в виртуальные (это своего рода эффект, обратный “динамическому эффекту Казимира” [13–15]) обычно связывается с уменьшением традиционного сечения рассеяния [16].

Согласно [2], при перемещениях частицы (электрона, атомного ядра) относительно базовой системы отсчета со скоростью u реализуется обмен между виртуальными фотонами ЕМ-вакуума как базовой среды и виртуальными фотонами, локализованными в области казимировской поляризации ЕМ-вакуума в окрестности частицы. При возрастании скорости перемещения до релятивистских значений локализованные виртуальные фотоны, играющие роль “смазки” при перемещениях частиц в ЕМ-вакууме, будут “выдуваться” из области казимировской поляризации, понижая уровень “смазки”. Фактически, ЕМ-вакуум начинает воздействовать как “вож-

жи” на частицу, стремящуюся вырваться из поляризующей ее оболочки, что и проявляется в релятивистском возрастании массы частицы.

При этом необходимо иметь в виду, что фотоны, как и массовые частицы – электроны и атомные ядра тоже поляризуют ЕМ-вакуум, образуя “казимировские поляроны”, и их перемещение в ЕМ-вакууме сопровождается обменом виртуальными фотонами между областью казимировской поляризации и ЕМ-вакуумом. Это следует из работы Аспекта с коллегами [17], на основе которой была окончательно отклонена идея о “локальном реализме” в квантовой механике [18] и введены представления о существовании “повязанных” (“запутанных”) [2] состояний с достаточно жесткой внутренней корреляцией: измерение над одной частицей приводит к изменению волновой функции второй частицы, даже если вторая частица находится очень далеко от первой частицы [19, 20]. Согласно [2], такая внутренняя корреляция обусловлена общей казимировской поляризацией ЕМ-вакуума частиц в “повязанном” состоянии. А в работе [17] фиксировалась именно корреляция поляризации пар фотонов при использовании анализаторов, которые переключались с темпом быстрее c/L , где c – скорость света, L – расстояние между детекторами (в условиях экспериментом величина L изменялась до 6.5 м). И было показано, что корреляции существуют в любой момент времени, и информация о проводимых измерениях не переносится никаким сигналом (см. [20], с. 123). При этом возникает вопрос: как конкретно, посредством каких полевых характеристик может осуществляться взаимодействие ЕМ-вакуума с фотонами и перемещающимися частицами, определяя, в частности, обмен виртуальными фотонами областей казимировской поляризации частиц и фотонов с ЕМ-вакуумом.

Полагаем, что в качестве такой характеристики выступает векторный потенциал $\vec{A}(\vec{r}; t)$, поскольку при движении именно в поле векторного потенциала изменяется на величину $\Delta\vec{p} = (q/c)\vec{A}$ импульс заряженной частицы (q – заряд движущейся частицы), а следовательно, динамика обмена виртуальными фотонами, между областью казимировской поляризации этой частицы и ЕМ-вакуумом.

При этом следует иметь в виду, что в ЕМ-вакууме наряду с флуктуирующими векторами $\vec{E}(\vec{r}, t)$ и $\vec{H}(\vec{r}, t)$ при равных нулю их средних значениях существуют флуктуации векторного потенциала $\vec{A}(\vec{r}; t)$ при естественном требовании равенства нулю соответствующих средних значений, $\langle \vec{A} \rangle = 0$. Это заключение следует из уравнений Максвелла в воздушной среде [21], согласно которым

векторному потенциалу $\vec{A}(\vec{r}; t)$ ставится в соответствие уравнение:

$$\text{rot rot } \vec{A} = -\Delta\vec{A} + \text{grad div } \vec{A} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где c – скорость света в вакууме и Δ – оператор Лапласа, точно такое же, как и уравнение для векторов $\vec{E}(\vec{r}, t)$ и $\vec{H}(\vec{r}, t)$. Правда, система уравнений Максвелла включает в себя еще два уравнения, которые в воздушной среде (при отсутствии зарядов и токов) имеют вид:

$$\text{div } \vec{H}(\vec{r}, t) = 0, \quad \text{div } \vec{E}(\vec{r}, t) = 0, \quad (2)$$

так что напряженности полей $\vec{E}(\vec{r}, t)$ и $\vec{H}(\vec{r}, t)$ следует рассматривать как характеристики распространяющейся в пространстве плоской световой волны, описываемой волновыми уравнениями:

$$\Delta \vec{H} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}, \quad \Delta \vec{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}. \quad (3)$$

Векторный потенциал $\vec{A}(\vec{r}; t)$ можно также рассматривать в качестве характеристики такой световой волны в воздушной среде, если для векторного потенциала оправдано использование калибровки Кулона (при относительно медленных изменениях состояния рассматриваемых систем):

$$\text{div } \vec{A}(\vec{r}, t) = 0. \quad (2a)$$

Ниже нас будут интересовать именно такие случаи. Рассмотрим, прежде всего, одну из острых проблем современной астрофизики – загадочный феномен отсутствия рассеяния света от дальних звездных источников ([22], с. 123).

2.2. Феномен идентичности поверхностной яркости ближних и далеких однотипных галактик

Загадочный феномен отсутствия рассеяния света от дальних звездных источников наиболее ярко проявляется в выявляемой идентичности поверхностной яркости ближних и далеких однотипных галактик. Как показал сравнительный анализ размера и яркости около тысячи близких и очень далеких дисковых и эллиптических галактик, результаты которого представлены в работах Э.Дж. Лернера с сотр. [23, 24], поверхностная яркость ближних и далеких галактик, определяемая как отношение видимой яркости к видимой площади галактики, оказалась постоянной.

Этот феномен трудно понять на основе принципа Гюйгенса–Френеля, который обычно привлекается для объяснения прямолинейного распространения света “из точечного источника в точку” в неограниченном однородном и изотропном пространстве. Согласно указанному принципу, каждый элемент волнового фронта распространяющейся волны можно рассматривать как

центр вторичного возмущения, порождающего вторичные сферические волны, а результирующее световое поле в каждой точке пространства будет определяться интерференцией этих волн. Вследствие такой интерференции амплитуда принимаемого детектором светового сигнала с длиной волны λ , проходящего от локализованного на произвольном, в том числе, и космологическом расстоянии L -источника, фактически формируется “первой зоной” Френеля, радиус которой $R \sim \sqrt{L\lambda}$. Поэтому степень размытия сигнала из-за неизбежных эффектов рассеяния света в межзвездной среде должна зависеть от расстояния, учитывая, что пространство не пустое: оно содержит относительно много пыли (около четверти всей массы барионной составляющей), а величина радиуса Френеля достаточно велика для звездных объектов и галактик на космологических расстояниях.

Фактически это означает, что рассматриваемый механизм отсутствия “размывания изображения” звездных объектов в расширяющейся Вселенной может реализоваться лишь для световых изображений относительно недалеких звезд, для которых характерны предельно малые красные смещения, $z \ll 1$. Здесь следует напомнить, что космологическое красное смещение z определяется через понижение частоты излучения от далеких звездных источников, связанное с удалением этих источников от нашей Галактики вследствие расширения или “разбухания” нашей Вселенной:

$$z + 1 = \frac{R(t_0)}{R(t)} = \frac{\lambda_0}{\lambda(t)} = \frac{c_0 \omega(t)}{c(t) \omega_0} \approx \frac{\omega(t)}{\omega_0}, \quad (4)$$

где $\lambda(t)$ и λ_0 , $\omega(t)$ и ω_0 — длина волны и циклическая частота света, испущенного звездным источником в момент t и полученного наблюдателем, соответственно; $R(t)$ и $R(t_0)$ — “размеры” Вселенной в моменты t и t_0 соответственно. Обычно полагается $t_0 = 13.8$ млрд лет — возраст Вселенной, а также постулируется постоянство скорости света в ЭМ-вакууме во все эпохи, то есть $c(t) \approx c_0$.

Более того, болометрическая звездная величина, показывающая полную, на всех длинах волн мощность излучения звезды, при величинах z , сопоставимых или больших единицы, должна заметно уменьшаться пропорционально множителю $1/(1+z)$ вследствие уменьшения количества фотонов, поступающих на приемник в единицу времени, из-за увеличения их длины волны. Во столько же раз должна падать и переносимая каждым фотоном энергия. Оба этих фактора должны были бы повлиять на зависимость поверхностной яркости звездных объектов, определяемой как отношение видимой яркости к видимой площади похожих объектов, от красного смещения, обу-

словливая значительное понижение поверхностной яркости однотипных объектов, для которых величина z больше [23, 24].

В рамках представлений о расширяющейся Вселенной, когда помимо указанных выше причин уменьшения болометрической яркости дальних галактик с ростом красного смещения необходимо учитывать еще дополнительный фактор $(1+z)^{-2}$, связанный с тем, что в момент испускания света звездный источник был ближе к нам в $(1+z)$ раз и имел поэтому больший видимый угловой размер, самые далекие галактики должны иметь в сотни раз меньшую поверхностную яркость, чем аналогичные близлежащие галактики. Фактически, общий фактор $(1+z)^{-4}$ должен был бы исключать возможность обнаружения самых дальних галактик с помощью современных телескопов.

Казалось бы, что этот результат следует рассматривать как неопровержимый аргумент против представлений и Большом Взрыве и последующем расширении (“разбухании”) Вселенной. И действительно, именно этот результат стал базовым для части исследователей, которые отрицают феномен Большого Взрыва как начального этапа возникновения и развития нашей Вселенной [25], полагая, что наша Вселенная — статическая и евклидова, а расстояния до звездных источников пропорциональны красному смещению z .

Мы не будем здесь приводить аргументы для обоснования процесса расширения Вселенной, возникшей в результате Большого Взрыва (частично они представлены в разделе III), рассматривая свою задачу в представлении аргументов, которые позволяют понять возможную природу феномена отсутствия рассеяния света от дальних звездных источников при базовой гипотезе расширения Вселенной. Будем исходить из того, что световой поток, исходящий от некоторого звездного источника и распространяющийся по направлению к Солнечной системе, создается в атмосфере рассматриваемого звездного источника возбужденными атомами, исходящий от которых свет более в атмосфере звезды не переизлучается другими атомами. Мысленно представим проекцию всех независимых “последних излучателей” на условную “поверхность последнего излучения”, представляемую как плоскость, расположенную в верхних слоях атмосферы звездного источника со стороны, обращенной к Солнечной системе так, чтобы все “последние излучатели” формировали набор плоских ЭМИ-волн в некотором диапазоне, испускаемых в определенном телесном угле $\delta\Omega_{\vec{n}}$ в окрестности вектора \vec{n} , нормального к “поверхности последнего излучения” и направленного на Солнечную систему.

Если полагать, что плотность фотонов, испускаемых в направлении вектора \vec{n} рассматриваемым звездным источником, настолько высока, что области поляризации ЕМ-вакуума в окрестности испускаемых фотонов могут перекрываться, то формируются “повязанные” ассоциаты фотонов. Следует указать, что в качестве фактора, объединяющего отдельные плоские волны в “повязанные” пучки волн с едиными областями казимировской поляризации ЕМ-вакуума (подобно тому, как это реализуется для электронных подсистем атома [2]), могут выступать векторные потенциалы продуцируемых “последними излучателями” излучений, осциллирующие в плоской “поверхности последнего излучения”. Естественно ожидать, что такие ассоциаты являются более устойчивыми образованиями, чем одиночные фотоны, относительно процессов поглощения и рассеяния в космической среде, рассматриваемой в [22] (с. 123). Автор полагает, что именно световые пучки волн такого генезиса, а не волны Гюйгенса–Френеля доходят до нас от удаленных галактических источников. При этом до земного наблюдателя доходит лишь малая часть излученного звездным источником света, определяемая видимым угловым размером, которому соответствует телесный угол $d\Omega_{\vec{n}}(L) \sim 1/L^2$, где L – расстояние от Земли (наблюдателя) до рассматриваемой звездной системы, так что большая часть испускаемого этой звездной системой светового потока проходит мимо Солнечной системы.

Естественно, что каждая звездная система имеет множество межзвездных связей. При этом важно подчеркнуть, что такое множество конечно, как и конечно количество “последних излучателей” на вводимой плоскости “поверхности последнего излучения” для любой из существующих звездных систем, хотя количество таких излучателей и может выражаться очень большим числом. А это означает, что общее число рассматриваемых звездных связей во всех диапазонах электромагнитного спектра для произвольного звездного источника составляет множество меры нуль. В силу конечного числа звездных объектов во Вселенной все межзвездные связи, через которые постоянно происходит передача энергии во Вселенной, рассматриваемой как единая открытая динамическая система, “питаемая сторонними источниками энергии (см. [12] и раздел III), естественным образом оказываются включенными в общий энергобаланс Вселенной.

Последний фактор может стать основой для понимания удивительного феномена Лернера [23, 24] – постоянства поверхностной яркости ближних и далеких однотипных галактик. Действительно, во Вселенной как системе открытой, в которой с неизбежностью проявляются в полной мере процессы диссипации и инерции (см.

[2, 12]), в стационарных подсистемах могут инициироваться процессы самоорганизации [26, 27], а в нестационарных процессах электромагнитной природы – процессы электромагнитной индукции и самоиндукции. Для соответствия эффекту Лернера необходимо полагать, что на межгалактических расстояниях для перемещающихся фотонов и ассоциатов фотонов, когда начинают проявляться эффекты “разбухания” Вселенной, а также эффекты Доплера из-за относительных релятивистских смещений звездных объектов, для поддержания общей квазистационарности Вселенной происходит перекачка, “подсос” имеющейся в окружающем пространстве энергии ЕМ-вакуума к перемещающимся на межгалактические расстояния каналам “межзвездной связи” – “повязанным” пучкам волн с едиными областями казимировской поляризации ЕМ-вакуума. Фактически, ЕМ-вакуум в окрестности такого оптического канала при казимировской поляризации “декорирует” этот канал, и реализуется своего рода обобщенный закон Фарадея электромагнитной индукционной связи двух систем во Вселенной – ЕМ-вакуума и системы “повязанных” [2] фотонов в канале оптической связи. Другими словами, речь идет о реализации динамического эффекта Казимира [13–15] – стабилизации величины плотности энергии, переносимой “повязанными” фотонами по каналу оптической связи за счет “подкачки” энергии ЕМ-вакуума виртуальными фотонами. Если принять такие предположения, то общая, балометрическая светимость сверхдалних звездных объектов одного типа для наблюдателя на Земле, действительно, будет зависеть только от величины телесного угла $d\Omega_{\vec{n}}(L) \sim 1/L^2$ и соответствовать наблюдениям Лернера.

При этом возникает вопрос, насколько виртуальные фотоны могут проявлять себя не только в переносе оптического сигнала, но и в других оптических явлениях. Этот вопрос рассматривается в следующем разделе.

2.3. Электронная подсистема атома в поглощении и испускании света

Обычно полагается, что в атоме при поглощении фотона с энергией $\hbar\omega$ происходит перевод электрона с основного на более высокий энергетический уровень, на котором энергия возбуждения атома может оставаться локализованной в течение некоторого короткого времени (для атома водорода это время составляет 10^{-8} – 10^{-10} с). Затем атом спонтанно (самопроизвольно) переходит в исходное состояние, испуская фотон с той же энергией $\hbar\omega$. Понимание физической сущности этих процессов поглощения фотона атомом и последующего релаксационного спонтанного излу-

чения фотона стало возможным лишь после проведения соответствующих расчетов Дираком [28, 29], который при рассмотрении уравнения Шредингера для атома осуществил еще процедуру квантования поля электромагнитного излучения с введением энергии взаимодействия между электронной подсистемой атома и электромагнитным полем. Здесь важно подчеркнуть, что вводимое при такой процедуре взаимодействие отлично от нуля даже в отсутствие реальных фотонов, когда проявлялось лишь электромагнитное поле ЭМ-вакуума. При таком подходе возбужденное состояние атома уже не являлось стационарным, как это обычно рассматривается в ортодоксальной квантовой механике, из-за возникшего взаимодействия атома с бесконечным числом мод вакуумного состояния. Вероятность такого перехода атома в единицу времени с уровня a на более низкий энергетический уровень b , сопровождаемого испусканием фотона (спонтанное излучение!) с циклической частотой $\omega = (\epsilon_a - \epsilon_b)/\hbar$, была рассчитана в 1-м порядке теории возмущения [29, 30]. Однако при этом возникает новый вопрос: как конкретно реализуется механизм “связывания” введенного в атом возбуждения с электроном на значительное (с точки зрения микроскопической науки) указанное время, тем более, что пространственные размеры атома при процессах возбуждения и спонтанного испускания света практически не изменяются. Обычно просто постулируется, что различия квантовых чисел возбужденного и основного электронных уровней являются достаточным основанием для указанной локализации возбуждения.

В рамках развиваемых представлений “привязка” возбуждения атома к электрону при поглощении атомом энергии фотона связывается с локализацией возбуждения в форме виртуального фотона в области казимировской поляризации ЭМ-вакуума в окрестности рассматриваемого электрона. При этом энергия возбуждения атома может оставаться локализованной в области казимировской поляризации ЭМ-вакуума в окрестности возбужденного электрона в течение некоторого времени, и именно воздействие нулевых колебаний ЭМ-вакуума инициирует спонтанный переход возбужденного атома в исходное, основное состояние. Механизм такого инициирования будем связывать с наличием взаимных потоков виртуальных фотонов ЭМ-вакуума в область казимировской поляризации ЭМ-вакуума в окрестности электрона и обратным потоком – из области казимировской поляризации вакуума в окрестности возбужденного электрона в ЭМ-вакуум. Фактически речь идет о формулировке граничных условий для области казимировской поляризации, связывающих эти потоки. При записи соответствующих уравнений баланса в общем случае надо учесть, помимо рассмотренных в ра-

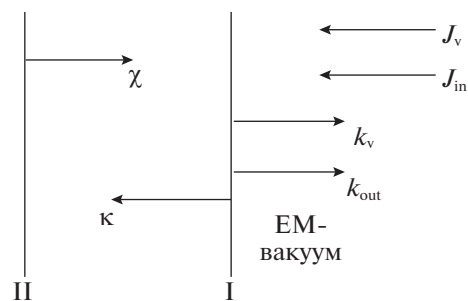


Рис. 1. Схема переходов виртуальных и реальных фотонов между состояниями ЭМ-вакуума и областью казимировской поляризации ЭМ-вакуума в окрестности электронной подсистемы атома (обозначения см. в тексте).

боте [2] (см. рис. 1 и формулы (10) и (11) этой работы) потоков J_v виртуальных фотонов, наличие потоков реальных фотонов вне области казимировской поляризации ЭМ-вакуума в окрестности электрона.

В частности, необходимо ввести потоки J_{in} фотонов, возбуждающих атомы, а также потоки J_{out} испускаемых (после возбуждения атома) свободных фотонов. Следует также учесть два состояния, характеризующих границу ЭМ-вакуума с областью казимировской поляризации ЭМ-вакуума в окрестности электронной подсистемы атома [31]. Первое из этих состояний, так называемое ад-состояние I, учитывает потоки виртуальных и реальных фотонов, падающих на границу казимировской поляризации электрона из области вне рассматриваемого атома, и соответствующие обратные потоки из ад-состояния I, а также потоки виртуальных фотонов в так называемое базовое состояние II (рис. 1).

Состояние II, как и всю область казимировской поляризации в окрестности возбужденного электрона, будем характеризовать “объемной” концентрацией C виртуальных фотонов, тогда как состояние I будем характеризовать относительной “поверхностной” концентрацией (степенью “заселенности” ξ) виртуальных фотонов. При этом остаются открытыми вопросы, относящиеся к причинам проявления специфичности возбуждаемых при поглощении фотонов различных состояний атома, характеризуемых в квантовой механике набором квантовых чисел. Будем полагать, что при поглощении фотона формируется определенное возбуждение всей электронной подсистемы атома (не одного электрона!) как единого целого с перекрывающимися областями казимировской поляризации “повязанных” электронов. При таком превращении реального фотона в виртуальный в состоянии I, т.е. при реализации своего рода “обратного динамического эффекта Казимира”, происходит возрастание

концентрации C в состоянии II. Полагаем, что обратный процесс – испускание поглощенного фотона инициируется низкоэнергетическими виртуальными фотонами и состоит в переносе образовавшегося электронного возбуждения в виде виртуального локализованного фотона из состояния II к граничному состоянию I с превращением в реальный фотон. Фактически, речь идет о реализации в этом случае динамического эффекта Казимира, при котором часть энергии поглощаемого фотона с неизбежностью расходуется на диссипацию в соответствии с законами сохранения энергии и импульса. Часть энергии связывается с ядрами отдачи, а часть энергии может быть сопряжена с некоторым возрастанием в атоме содержания виртуальных фотонов. Следует заметить, что в рамках рассматриваемой схемы возбуждения атома и испускания им излучения не исключается и возможность многофотонного возбуждения атома [32, 33].

При достижении стационарного состояния, характеризующегося концентрациями C и ξ в условиях воздействия потока возбуждающих фотонов, уравнения баланса (граничные условия 3-го рода) для рассматриваемых потоков имеют вид:

$$\frac{d\xi}{dt} = -(k_V + \kappa + k_{out})\xi + \chi C(1 - \xi) + (\alpha_V J_V + \alpha_{in} J_{in})(1 - \xi) = 0, \quad (5)$$

$$\frac{dC}{dt} = -\chi C(1 - \xi) + \kappa \xi \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) = 0. \quad (6)$$

Здесь k_V и κ – константы скорости переноса виртуальных фотонов из ад-состояния I во внешнюю среду и в состояние II, соответственно; χ – константы скорости переноса виртуальных фотонов из состояния II в ад-состояние I; J_V и α_V , J_{in} и α_{in} – потоки и нормировочные множители для характеристики воздействия на атом потоков виртуальных и реальных возбуждающих фотонов, соответственно; k_{out} – константа скорости превращения виртуального фотона в испускаемый реальный фотон (динамический эффект Казимира).

Решения системы (5), (6) имеют вид (полагаем $C \ll C_0$):

$$C = \frac{\kappa \alpha_V J_V + \alpha_{in} J_{in}}{\chi (k_V + k_{out})}, \quad (7)$$

$$\xi = \frac{\alpha_V J_V + \alpha_{in} J_{in}}{k_V + k_{out} + \alpha_V J_V + \alpha_{in} J_{in}}.$$

Уровень возбуждения атома в этом случае может быть охарактеризован изменениями ΔC и $\Delta \xi$ “темновых” (при отсутствии возбуждающего потока фотонов, $J_{in} = 0$) концентраций C_d и засе-

ленности ξ_d соответственно в состояниях II и I казимировской области возбужденного атома:

$$\Delta C = C - C_d = \frac{\kappa \alpha_{in} J_{in}}{\chi (k_V + k_{out})}, \quad \Delta \xi = \xi - \xi_d = \frac{\alpha_{in} J_{in} (k_V + k_{out})}{(\alpha_V J_V + k_V + k_{out})(\alpha_V J_V + \alpha_{in} J_{in} + k_V + k_{out})}. \quad (8)$$

Здесь

$$C_d = \frac{\kappa \alpha_{in} J_V}{\chi (k_V + k_{out})}, \quad \xi_d = \frac{\alpha_V J_V}{\alpha_V J_V + k_V + k_{out}}. \quad (8a)$$

Ниже нас будет интересовать возможность локализации в электронной подсистеме атома виртуальных фотонов, количество которых зависит как от интенсивности воздействующего на атом света, так и от индивидуальных характеристик конкретного атома – констант скоростей перехода фотонов (виртуальных и реальных) между казимировской областью поляризации электрона и ЭМ-вакуумом. Представленные зависимости (7) и (8) дают возможность проведения такого анализа при получении предварительных данных о величинах констант скоростей вводимых “элементарных” процессов. Несомненный интерес может представлять выяснение возможностей инициирования процессов переизлучения энергии, запасаемой в виде виртуальных фотонов (см. подраздел 2.4).

Здесь возникает вопрос, можно ли с воздействием нулевых колебаний ЭМ-вакуума на электронную подсистему атома связывать передачу энергии для компенсации потерь энергии на диссипацию. Естественно полагать, что такое возможно, и передача энергии может достигаться неэквивалентным по энергии обменом: виртуальные фотоны нулевых колебаний ЭМ-вакуума могут вносить в область казимировской поляризации электронной подсистемы атома большую энергию, нежели уносят выходящие в ЭМ-вакуум виртуальные фотоны. При этом имеется в виду, что при осуществлении всего многообразия такого рода диссипативных процессов ЭМ-вакуум как базовая среда Вселенной (см. раздел III) постоянно “подпитывается” сторонней энергией.

2.4. Виртуальные фотоны в процессах взаимодействия интенсивных световых потоков с поверхностью твердого тела: феномен “притяжения массы световым потоком”

Обычно процессы превращения свободных фотонов в виртуальные (обратный динамический эффект Казимира) с их локализацией и приобретением ими массы $\Delta m_\lambda = 2\pi\hbar/\lambda c$ изучаются при многократном рассеянии и перерассеянии фотонов на слабо поглощающих хаотических шероховатостях поверхности субмикрометровых мас-

штабов [34, 35]. Как указывалось выше, обычно эксперименты такого типа связывают с фиксируемым уменьшением сечения рассеяния [16]. Однако наиболее прямым доказательством самого феномена образования виртуальных фотонов, локализованных в областях казимировской поляризации ЕМ-вакуума электронных подсистем атомов, могут служить результаты экспериментальной работы [36] по обнаружению феномена “притяжения массы световым потоком”.

В этих экспериментах внутри алюминиевого ящика с размерами $1.2 \times 1.2 \times 0.2 \text{ м}^3$ были размещены люминесцентные лампы и система зеркал, которые создавали горизонтально ориентированные интенсивные световые потоки (35000 или 63000 люмен), а контейнер с тестовой массой 200 г, способной практически к свободным смещениям и связанной с чувствительным прибором, измеряющим вес этой массы, размещался либо выше, либо ниже алюминиевого ящика. Этот ящик, полностью блокирующий оптические и ИК-воздействия на исследуемую массу, отделялся от контейнера с массой еще фиброцементными листами для блокировки любых тепловых эффектов. Во время измерений температура не менялась более чем на десятую долю градуса Цельсия в контейнере, в котором находится тестовая масса. Весь аппарат размещался на бетонном полу, опираясь на 70 кубометров камней, для повышенной устойчивости.

В ходе проведенных экспериментов измерительная система однозначно фиксировала повышение “веса” исходной массы 200 г, если световой поток направлялся ниже массы, и понижение веса массы в случаях, когда световой поток направлялся выше массы. При этом наблюдаемые изменения увеличения или уменьшения весовых показателей (до тысячных долей Ньютона) происходили с характерными временами от десятков до сотни минут. В течение таких же характерных времен происходили релаксационные изменения “веса” после выключения световых потоков. Вопрос о механизме такого эффекта в работе [36] остался открытым.

Поскольку результаты работы [36] могут оказаться ключевыми для понимания как механизма взаимодействия электромагнитных (ЭМИ) излучений с веществом, так и феномена гравитации, рассмотрим экспериментальные данные этой работы подробнее. Как представляется автору, в условиях экспериментов [36] на исследуемую массу, при указанной блокировке оптических и ИК-излучений, воздействовали интенсивные потоки микроволнового и частично терагерцевого ЭМИ. Фиксируемые в экспериментах изменения ΔP веса образца однозначно указывали, что воздействующие ЭМИ эффективно поглощались массой. Более того, достаточно длительные време-

на релаксационных изменений показателей веса однозначно указывали, что процессы установления веса и его релаксационных уменьшений были связаны с процессами диффузионного переноса “локальных возбуждений” образца, которые в процессе воздействий могли формировать в образце соответствующие концентрационные профили. Полагаем, что такие локальные возбуждения наиболее естественно связывать с виртуальными фотонами, локализованными в областях казимировской поляризации электронов.

Фиксация повышенного “веса” исходного образца, если световой поток направлялся ниже его, и понижения веса образца в случаях, когда световой поток направлялся выше его, в рамках предлагаемого механизма может означать, что локализация виртуальных фотонов в приповерхностных областях образца повышает массу этих областей. В таких случаях центр масс всего образца несколько смещается в сторону светового потока в обоих рассматриваемых случаях, что в условиях эксперимента [36] с установлением специального баланса как чувствительного прибора, измеряющего вес этой массы, воспринимается как “притяжение массы к световому потоку”. Фиксируемые в условиях экспериментов [36] изменения ΔP веса образца при реализуемых ЭМИ воздействиях составляли $\Delta P \sim 10^{-4} - 10^{-3} \text{ Н}$, так что соответствующие изменения массы составляли $\Delta m = \Delta P/g \sim 10^{-4} - 10^{-5} \text{ г}$, где g – ускорение свободного падения.

Поскольку эффект возрастания массы во времени, равно как и релаксационные изменения “веса” после выключения световых потоков, достаточно продолжительны, то естественно полагать, что в условиях интенсивно действующего светового потока происходила эффективная диффузия таких “виртуальных возбуждений” от приповерхностных атомов в объем образца. А это означает, что в образце создавался градиент концентрации поглощенных виртуальных фотонов с концентрацией, убывающей в глубь образца. Поскольку в работе [36] не приведены данные о материале образца и его геометрических размерах, полагая для оценки, что молекулярная масса материала составляла 50 г/моль, а размеры приблизительно составляли $2 \times 2 \times 1 \text{ см}^3$, то при характерных временах релаксации от 30 мин до 270 мин оценки для величин соответствующих коэффициентов диффузии могли составлять $D \sim 3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$.

Можно предположить, что сама постановка эксперимента [36] связывалась с проверкой в лабораторных условиях известного эффекта искривления луча света, проходящего от далекого звездного источника вблизи Солнца ([37], с. 71). Казалось бы, что именно в условиях лаборатор-

ного эксперимента [36], когда фиксируются макроскопические эффекты при прохождении света вблизи массивного образца, следовало бы ожидать и изменений в траектории светового луча. Однако в условиях эксперимента [36] этого не происходило: природа обсуждаемого эффекта оказалась принципиально отличной от принимаемого обычно воздействия гравитации на траекторию светового луча.

Автор полагает, что причину фиксируемого поворота светового потока, проходящего вблизи массивной звезды, можно понять именно на основе результатов самой работы [36], связав эту причину не с гравитационным полем Солнца, а с превращением большей доли фотонов от звездного источника, проходящих через прилегающие к поверхности Солнца слои солнечной атмосферы, в виртуальные, невидимые наблюдателю [16]. Поскольку фиксируемый угловой размер звездного источника ($\sim 0.006''$ у Сириуса) почти на два порядка меньше углового размера ($\sim 0.4''$) фотосферы Солнца (его угловой размер 0.53°), излучение от такого источника наблюдатель может фиксировать только на некотором расстоянии от поверхности Солнца, причем интенсивность проходящих лучей возрастает по мере удаления от поверхности. Поэтому если такое изменение интенсивности светового потока от звездного источника происходит в пределах видимого углового размера, наблюдатель, вынужденно принимая эти лучи за “приповерхностные”, фиксирует поворот фронта проходящего вблизи Солнца светового потока в направлении к поверхности Солнца. Другими словами, это кажущееся изменение направления распространения светового потока может восприниматься как эффект воздействия тяготения на траекторию светового луча.

Более того, рассматриваемый феномен превращения реальных фотонов в виртуальные в приповерхностных областях звезд позволяет поновому посмотреть и на физическую сущность известного эффекта “гравитационного линзирования” в космологии [34, 38], которое обычно связывается с эффектом искривления луча света в гравитационном поле большой массы. Фактически речь может идти о системах, подобных по принципу функционирования описанной выше системе накопления энергии в виде виртуальных фотонов. Можно полагать, например, что в “линзирующих” системах в условиях мощных сторонних световых воздействиях и при относительно низких темпах переизлучения (определяются диффузионным переносом возбуждений) создаются возможности для значительного накопления энергии в виде виртуальных фотонов, а при достижении определенного уровня накопленной энергии становятся возможными последующие переизлучения энергии. Естественно, что такого

типа линзирование следовало бы определять как казимировское, а не гравитационное.

В рамках развиваемых в данной работе представлений, может быть понят и другой рассматриваемый в ОТО эффект – эффект красного смещения частоты света в сильном гравитационном поле ([37], с. 70), проявляющийся в изменении частоты испущенных некоторым источником любых электромагнитных волн по мере удаления от массивных объектов, таких как звезды и черные дыры. Обычно эффект этот наблюдается как сдвиг спектральных линий в излучении источников, близких к массивным телам, в красную часть спектра. В рамках развиваемых здесь представлений эффект этот естественно связывать с формированием градиента концентрации виртуальных фотонов вследствие процессов поглощения-испускания света атомами приповерхностного слоя массивного тела, которое “омывается” световым потоком. В данном случае имеются в виду конкретно диссипативные потери виртуальных фотонов при диффузионной (множественной) передаче возбуждений в приповерхностном слое массивного тела, что и фиксируется как красное смещение. Подчеркиваем последнее обстоятельство в связи с общим настроением данной статьи на выявление всего многообразия факторов, так или иначе связанных с диссипативными процессами на уровне самых элементарных “шагов-событий”, в которых проявляется функциональная активность либо электронных подсистем атомов, либо атомных ядер (см. следующий подраздел 2.5).

2.5. Обменные взаимодействия нуклонов в ядерной материи

В соответствии с существующими представлениями основному состоянию атомного ядра соответствует некоторое базовое состояние ядерной материи, представляемой как совокупность нуклонов, взаимодействие между которыми осуществляется при обмене виртуальными пионами. С пионными полями, продуцирующими дальнюю действующую, обменную часть ядерных сил, связываются и низкочастотные коллективные спин-изоспиновые возбужденные моды [39]. Но при этом возникают вопросы о генезисе пионных полей в ядрах, поскольку пионы в ядерной материи пока не были обнаружены даже при использовании методов высокого пространственного разрешения (рассеяния электронов), а также нет и достоверных данных об изменении размеров нуклонов в ядре (поиски пионной шубы) [40]. Как же в таком случае можно понимать реализующуюся нуклон-нуклонную связь в базовой ядерной материи? Для иллюстрации такой связи обычно представляют простейшие фейнмановские диаграммы с переносом пиона от одного нуклона к

другому, хотя речь идет не о свободных нуклонах и о виртуальном пионе. Показательно в этом смысле пояснение Р. Фейнмана [41]. В качестве иллюстрации указанного типа возможности им рассматривается квантово-механическая задача о системе двух свободных частиц — атома водорода и протона, между которыми вследствие обмена виртуальным электроном (при туннелировании) возникает сила притяжения между протонами с характерной для ядерных сил экспоненциальной зависимостью от расстояния между ними. Однако, как представляется автору, аналогия в приводимом Р. Фейнмане примере неполная. Вопрос заключается в том, насколько нуклоны в ядерной материи можно считать свободными, чтобы виртуальные переносы пионов (как отмечалось выше, реальных пионов в ядерной материи нет) приводили к реальным изменениям состояния нуклонов, в том числе, к изменению их изотопического спина. Взаимосвязи нуклонов в ядерной материи (вне зависимости от природы реализующихся межнуклонных взаимодействий) должны приводить к тому, что фейнмановские диаграммы с виртуальными пионами, скорее, следует относить к собственно-энергетическим диаграммам для рассматриваемых ядерных систем, подобно тому, как это имеет место при расчете эффекта Казимира [42] (см. также [2]) для фейнмановских диаграмм с несвободными концами.

Ниже рассмотрим возможный механизм реализации взаимосвязей между нуклонами в ядерной материи на основе развиваемых в данной статье представлений об EM-вакууме как базовой системе Вселенной и казимировской поляризации EM-вакуума в окрестности атомных ядер и электронов. Здесь, прежде всего, следует обратить внимание на относительно малый характерный размер области казимировской поляризации EM-вакуума в окрестности нуклона, составляющий около 2.8×10^{-14} см (см. раздел 2.2 в [2]), что в 5 раз меньше экспериментально выявляемого пространственного масштаба сильных ядерных взаимодействий, равного $\kappa_s^{-1} \approx 1.5 \times 10^{-13}$ см. Последнее дает основание полагать, что природа ядерных сил скорее связана со сторонними возбуждениями отдельных нуклонов в ядерной материи.

В соответствии с развиваемыми в данной работе феноменологическими представлениями все частицы, в том числе, атомные ядра, нуклоны и электроны, являются открытыми для EM-вакуума как базовой среды. Это означает, что в окрестности границ частиц как непосредственно в вакууме, так и в базовой ядерной материи формируется область казимировской поляризации EM-вакуума, зависящая от природы частиц и характеризующаяся определенной заселенностью ее виртуальными фотонами. Области казимиров-

ской поляризации EM-вакуума формируются и у кварков как динамических пространственно выделенных субъединиц нуклонов и пионов. При этом следует иметь в виду, что вследствие высокой плотности базовой ядерной материи и постулируемого взаимодействия EM-вакуума со всеми компонентами ядра формирование казимировской области поляризации EM-вакуума в окрестности кварков должно зависеть от поляризуемости базовой материи ядра в EM-вакууме и проявляться в соответствующем факторе проницаемости базовой ядерной материи для EM-вакуума. Именно вследствие ослабления воздействия EM-вакуума на кварки, локализованные в базовой ядерной материи внутри нуклонов, становится возможным формирование у кварков индивидуальных казимировских областей поляризации EM-вакуума.

Именно на такой основе можно понять с феноменологических позиций базовый для ядерной физики вопрос о природе взаимосвязанности смежных нуклонов при отсутствии пионов в ядерной материи. Будем полагать, что нуклоны в ядре, находящемся в основном, не возбужденном состоянии, обмениваются виртуальными фотонами с EM-вакуумом так, что в области казимировской поляризации каждого нуклона реализуется определенная (в среднем) заселенность виртуальными фотонами (при стороннем возбуждении ядра такая заселенность может заметно возрастать). Полагаем, что при определенном пространственном сближении двух нуклонов может происходить перенос не виртуального, а реального возбуждения от одного нуклона к другому, если на первом нуклоне оказался локализованным виртуальный фотон с энергией, превышающей некоторую пороговую величину. В качестве передающегося реального возбуждения может быть пара $d\bar{d}$ или $u\bar{u}$ реальных кварка и антикварка, в которую превращается “надпороговый” виртуальный фотон.

Фактически, речь идет о реализации в данном случае определенной разновидности динамического эффекта Казимира, который обычно связывается с превращением виртуального фотона в реальный фотон при релятивистском перемещении границы области, ограничивающей рассматриваемую систему [13–15]. Процесс этот происходит с неизбежной диссипацией энергии (части кинетической энергии перемещающейся границы области). Можно полагать, что именно величина локального возбуждения в процессе образования пары кварка и антикварка оказывается тем фактором, который определяет возможность проявления рассматриваемого типа динамического эффекта Казимира.

Рассмотрим в качестве примера пару нейтрон (назовем его “первым” нуклоном) и протон (назовем его “вторым” нуклоном). Пусть вследствие

проявления динамического эффекта Казимира виртуальный фотон, локализованный в области казимировской поляризации нейтрона, при стороннем возбуждении со стороны ЕМ-вакуума превращается в ад-состоянии I нейтрона в пару $d\bar{d}$, которая переносится через прилегающую область ядерной материи к протону и локализуется в состоянии I области его казимировской поляризации. Полагаем далее, что вследствие обмена d кварка этой пары через состояние II протона на u кварк протон (второй нуклон) превращается в нейтрон, а образовавшаяся при таком обмене в состоянии I области казимировской поляризации второго нуклона пара кварков $u\bar{d}$ переносится через прилегающую область ядерной материи в состояние I первого нуклона. При последующем обмене u кварка этой пары (обмен идет через состояние II области казимировской поляризации первого нуклона) на d кварк исходный первый нуклон (нейтрон) превращается в протон, и в состоянии I этого нуклона остается исходная пара $d\bar{d}$, которая превращается в виртуальный фотон ЕМ-вакуума с энергией, несколько меньшей энергии исходного возбуждения.

При этом в рамках развиваемой феноменологии следует полагать, что при переносе рассматриваемых пар кварк-антикварк (пары $d\bar{d}$ из состояния I первого нуклона в состояние I второго нуклона и обратного переноса пары $u\bar{d}$) происходят процессы “сольватации” и “десольватации” каждой из этих пар базовым веществом ядерной материи в такой мере, чтобы переносимая масса каждого ассоциата была близка массе пионов, обуславливая установленную величину радиуса действия ядерных сил. При этом полагаем, что пороговая величина энергии при таком переносе пар кварк-антикварк с процессами сольватации и десольватации должна определяться только массой пары кварков, $d\bar{d}$ или $u\bar{d}$.

Аналогично может быть рассмотрен процесс для пары протон (первый нуклон) и нейтрон (второй нуклон), когда вследствие проявления динамического эффекта Казимира “надпороговый” виртуальный фотон, локализованный в области казимировской поляризации протона, превращается в пару $(u\bar{u})^*$, которая переносится к нейтрону. Затем после обмена u кварка этой пары на d кварк второго нуклона и переноса образующейся пары кварков $d\bar{u}$ на первый нуклон с обменом d кварка на u кварк первого нуклона протон превращается в нейтрон, а нейтрон – в протон при образовании пары $u\bar{u}$.

Рассмотренные механизмы осуществления взаимосвязи двух рядом расположенных нуклонов формально могут восприниматься как процессы обмена нуклонов заряженными пионами,

но существо этих процессов иное – определяющую роль здесь играет обмен нуклонов одним кварком (это минимизирует требуемую энергию). В тех случаях, когда при генерации пар $d\bar{d}$ или $u\bar{u}$ происходит обмен нуклонов одинаковым кварком, d или u , соответственно, состояния изоспина каждого из нуклонов в процессе переноса пары кварк-антикварк не изменяются, что создает впечатление, что нуклоны обмениваются π^0 -пионами.

При анализе особенностей рассматриваемых процессов следует иметь в виду, что при иницировании динамического эффекта Казимира и испускании пары кварк-антикварк в казимировской оболочке исходно возбужденного нуклона образуется недостаток виртуальных фотонов (появляется “дырка”). Поэтому этот нуклон может иницировать динамический эффект Казимира у одного из соседних нуклонов, имеющего достаточный уровень возбуждения, с генерацией пары кварк-антикварк и ее переносом для заполнения указанной “дырки”. Именно при таком обмене энергии, определяемом взаимными переносами реальных пар кварк-антикварк между нуклонами, в рамках развиваемых представлений о роли казимировской поляризации нуклонов может осуществляться наиболее эффективно взаимодействие нуклонов в ядерной материи. При этом обратный перенос пары кварк-антикварк происходит не обязательно на тот же нуклон, с которого эта пара кварков перешла.

Поскольку для реализации связи между нуклонами в ядерной материи даже в случае, когда атомное ядро находится в основном состоянии, необходима постоянная подпитка энергией каждого нуклона со стороны ЕМ-вакуума, базовое состояние ядерной материи в атомном ядре следует рассматривать как стационарное. На это же обстоятельство косвенно указывает и необходимость фактически опосредованного введения “диссипативного” по своему генезису слагаемого в левую часть уравнения Пуассона (см. уравнение (13.17) в [43]) для потенциальной энергии статического взаимодействия нуклонов, приводящего к потенциалу Юкава. Здесь следует пояснить, что экранирование потенциала Казимира внутри ядра [2], для проявления которого и вводится указанное слагаемое, с превращением его в потенциал Юкава происходит из-за возможности перемещения реальных зарядов при иницирующем воздействии ЕМ-вакуума на кварки и нуклоны в целом, что неизбежно должно приводить к диссипации.

Можно полагать, что реализующийся кварковый обмен между смежными нуклонами поддерживает устойчивость основного состояния атомных ядер. В случае, когда в какой-то области

ядерной материи флуктуационно возникает зарядовая гетерогенность, она “рассасывается” при более интенсивном обмене кварками с переносами $d\tilde{d}$ и $u\tilde{u}$ или $u\tilde{u}$ и $d\tilde{d}$ пар, что определяется знаком заряда возникшей локальной флуктуации. При флуктуационном повышении или понижении локальных токов в ядерной материи, как можно ожидать, в этой области ядерной материи должна изменяться интенсивность процессов обмена нуклонов одинаковым кварком, d или u , при переносах $d\tilde{d}$ или $u\tilde{u}$ кварковых пар, соответственно.

Возможно, аналогичным образом, но уже с испусканием реальных γ -квантов, происходят процессы релаксации возбужденных атомных ядер при относительно невысоких сторонних возбуждениях (~ 20 МэВ), продуцирующих формирование локальной зарядовой гетерогенности или неоднородности в распределении локальных токов по объему ядерной материи атомных ядер. Повидимому, от характера инициируемого возбуждения зависят и квантовые характеристики возбужденных $d\tilde{d}$ или $u\tilde{u}$ кварковых пар, определяя тип (электрическое E или магнитное M) и мультипольность L электромагнитного излучения.

Анализ процессов на субнуклонном уровне позволяет в большей степени конкретизировать сущность эффекта Казимира, который проявляется как отклик при воздействии ЕМ-вакуума на Прото-заряды (на нынешнем уровне знания – кварки) в атомном ядре, а также формирующиеся Прото-токи в атомном ядре и электроны, что и обуславливает образование областей казимировской поляризации ЕМ-вакуума в окрестности атомных ядер и электронов. Именно с формированием таких ЕМ-поляронных образований может быть связана функциональная активность атомных ядер и электронов, для осуществления которой, а следовательно, для поддержания “рабочего” состояния электронно-ядерной системы атома в целом требуется подпитка атомов сторонней энергией. На необходимость постоянной подпитки энергией электронной и ядерной подсистем атома указывает и обсуждение проблем генезиса спинов электронов и нуклонов. В частности, согласно [44], спин электрона может трактоваться как циркулирующий поток энергии в волновом поле электрона, т.е. для существования спина электрона как открытой системы требуется энергия вакуума.

При установлении базовой роли ЕМ-вакуума в динамике “подкачки” энергии для обеспечения функциональной активности электронных подсистем атомов и атомных ядер как ключевого фактора в реализации генезиса “стрелы времени” необходимо понимание динамики всей Вселенной. Очевидно, что постоянный отток энергии от

ЕМ-вакуума означает, что саму Вселенную следует рассматривать как открытую систему, энергия которой должна пополняться от сторонних источников, тем более, что поступление энергии во Вселенную необходимо и для образования с соответствующим энергетическим наполнением новых объемов расширяющейся (“разбухающей”) Вселенной. Эти вопросы рассмотрим в следующем разделе (см. также препринт [12]).

III. ЕМ-ВАКУУМ В ДИНАМИКЕ ВСЕЛЕННОЙ

3.1. Стандартная модель динамики Вселенной

Для понимания комплекса проблем, которые возникают в связи с установлением генезиса “стрелы времени”, рассмотрим простейший вариант так называемой Стандартной модели динамики Вселенной [8–10, 45]. Стандартная модель динамики Вселенной основана на соотношении Хаббла:

$$\dot{a} = Ha, \quad (9)$$

которое связывает скорость изменения метрики a с постоянной Хаббла H , а также с уравнениями Фридмана общей теории относительности для пространственно-однородной и изотропной евклидовой Вселенной:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2}(\epsilon_V + \epsilon_m), \quad (10)$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3c^2}(\epsilon_m - 2\epsilon_V + 3p). \quad (11)$$

Здесь G и c – гравитационная постоянная и скорость света в вакууме, соответственно; ϵ_V и ϵ_m – плотность энергии вакуума и плотность энергии гравитационно-взаимодействующих частиц (вещества), соответственно; p – значение эффективного давления, усредненное по всем галактикам и скоплениям галактик. В стандартной модели плотность энергии вакуума ϵ_V связывается с величиной космологической постоянной Λ соотношением

$$\Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} \epsilon_V. \quad (12)$$

Космологическая постоянная Λ , играющая роль “антигравитации” и определяющая расширение (“разбухание”) Вселенной¹, была введена в уравнения динамики Вселенной А. Эйнштейном.

Различные методы, опирающиеся на разные значения постоянной Хаббла, оценивают возраст Вселенной, рожденной при Большом Взрыве, между 12 и 14.5 миллиардами лет. Так, например, по данным космического зонда НАСА WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), изучающего реликтовое излучение, этот возраст состав-

ляет 13.77 миллиарда лет, и именно это значение используется в стандартной модели космологии. В то же время, согласно [48], скорость расширения Вселенной составляет 75.1 км/(с Мпк), а возраст Вселенной — около 12.6 миллиарда лет. Поскольку нас интересует общий характер динамики Вселенной, для определенности будем ориентироваться, следуя [49], на параметры, представленные в работе [50], в соответствии с которыми $\epsilon_V \approx 0.66 \times 10^{-8}$ эрг/см³, средняя плотность энергии Вселенной $\epsilon_{\text{tot}} = \epsilon_V + \epsilon_m \approx 0.9 \times 10^{-8}$ эрг/см³, $H = 73$ км/(с Мпк) $\approx 2.36 \times 10^{-18}$ с⁻¹ для настоящей эпохи, так что Хаббловский возраст Вселенной $t = 1/H \approx 13.4$ млрд лет.

Как известно [51, 52], с соотношением (12) связывается одна из давних, но ключевых проблем космологии — проблема космологической постоянной, состоящая в том, что левая и правая части соотношения (12) различаются на 120 порядков величины, если для величины Λ использовать имеющиеся оценки на основе наблюдательных данных, $\Lambda \approx 1.37 \times 10^{-56}$ см⁻², а величину ϵ_V рассчитывать на основе существующих квантово-физических представлений. Эта проблема, определяемая иногда как “проблема 120 порядков”, воспринимается как “серьезное испытание для всей фундаментальной теории” [10] и как “одна из наиболее важных проблем современной фундаментальной физики” [8]. При этом следует иметь в виду, что величина ϵ_V оказывается очень большой величиной по сравнению со всеми иными исследуемыми и измеряемыми в современной физике энергетическими характеристиками, и поэтому она, фактически без должной физической аргументации, исключается из рассмотрения. Для выхода из этой ситуации в рамках стандартной теории динамики Вселенной величине плотности энергии ϵ_V , входящей в уравнения Фридмана, было придано другое физическое значение, а именно, значение плотности гипотетической “темной энергии”, которая равномерно распределена во Вселенной и составляет ~73% от ее общей плотности энергии ϵ_{tot} . Другими словами, в уравнения динамики Вселенной была введена новая характеристика, физическая сущность которой не ясна. Далее, величина ϵ_m была разделена на две величины: $\epsilon_m = \epsilon_b + \epsilon_{dm}$, где плотность энергии ϵ_b (~4% ϵ_{tot}) учитывает барионные ком-

поненты вещества и небарионные компоненты, такие как электроны, нейтрино и электромагнитные излучения; а плотность энергии ϵ_{dm} (~23% ϵ_{tot}) была отнесена к плотности “темной материи”. Наличие последней, физически трудно интерпретируемой субстанции, было учтено в уравнениях Фридмана для динамики Вселенной, чтобы устранить противоречие между модельно рассчитываемыми массами гравитационно связанных объектов и наблюдаемыми параметрами, а также объяснить структурную устойчивость многих галактик и галактических скоплений в расширяющейся Вселенной. Кроме того, в рамках стандартной модели было предложено, тоже без достаточных физических аргументов, характеризовать темную энергию уравнением состояния $p_V/\epsilon_V = -1$ с отрицательным давлением, поскольку именно с действием отрицательного давления в расширяющейся Вселенной можно связывать образование новой энергии в количестве, необходимом для расширения пространства.

Следует добавить, что хотя Вселенная является пространственно однородной и изотропной в больших масштабах (~150 Мпк), эволюция ее по-разному протекала в различные временные этапы. Удельная плотность наиболее мощных источников энергии, сформировавшихся на ранних этапах эволюции Вселенной, была значительно (в тысячи раз!) выше, чем плотность источников энергии, образующиеся в более поздние эпохи [53]. Ранние этапы развития Вселенной, которые соответствуют красному смещению $z \sim 1$ (~6 миллиардов световых лет) или более, породили квазары. Поэтому Вселенная должна рассматриваться как открытая система. В стандартной модели факт нестационарности и несохранения энергии в динамике Вселенной, неизбежность рассеяния энергии при диссипативных процессах, скорее, имеется в виду при рассмотрении космологического красного смещения и понижения температуры реликтового фонового излучения в разные эпохи, нежели учитывается явным образом в базовых уравнениях.

3.2. Вселенная — открытая система

Как полагает автор, из рассматриваемых в литературе модельных представлений о динамике Вселенной, которые могут быть наиболее близки к пониманию динамики Вселенной как открытой системы, постоянно получающей стороннюю энергию как для расширения (“разбухания”) Вселенной, так и для компенсации диссипативных потерь, следует выделить работу [54], авторы которой представили аргументы о нашей Вселенной как замкнутой системе, которая ограничена расширяющейся сферой. Авторы этой работы не-

¹ Впервые мысль о существовании наряду с силой Всемирного тяготения другой, всеобщей силы — “Начального толчка” или “Отталкивания” (Projection), “без которой тяготение ни к чему бы не привело, ... без которой вся вещьественность обратилась бы в одну бесформенную и инертную массу”, была высказана П.Я. Чаадаевым (1830) в 4-м Философическом письме [46], с. 370). В более ранней (1755), космологической модели И. Канта [47] вводились представления об отталкивательных взаимодействиях, но речь шла о частных примерах таких сил.

зависимо (повторно) проанализировали основной набор космологических данных [55], полученных в рамках программы “Планк” – астрономического спутника Европейского космического агентства (ЕКА), находившегося в космосе с 2009 по 2013 год, по измерениям космического микроволнового фонового излучения (СМВ), которое в нашей литературе обычно определяется как реликтовое, возникшее в эпоху первичной рекомбинации водорода и гелия (примерно 380000 лет после Большого Взрыва, когда температура плазмы была около 3000 К).

Фотоны СМВ, испущенные в то время, избежавшие рассеяния и достигающие Земли, несут информацию о состоянии границы (сферы) первичной рекомбинации – “поверхности последнего рассеяния” фотонов реликтового излучения ионизированной материей, когда замедлившиеся электроны получили возможность соединиться с замедлившимися протонами (ядрами водорода) и альфа-частицами (ядрами гелия), образуя атомы. Таким образом, из состояния плазмы, непрозрачного для большей части электромагнитного излучения, материя перешла в газообразное состояние. Именно тепловое излучение той эпохи наблюдается в виде реликтового излучения. Эта поверхность является самым удаленным объектом Вселенной, который можно наблюдать в электромагнитном спектре, так что прямой информации об областях Вселенной за этой границей нет. До этой поверхности Вселенная является, по существу, прозрачной. Проведенные к настоящему времени измерения СМВ зафиксировали высочайшую степень изотропности фонового излучения в нашу эпоху, спектр которого оказался свойственным спектру абсолютно черного тела с температурой $T_{LS} = 2.72548 \pm 0.00057$ К [56]. При этом удивляет как сам факт существования такой высокой степени температурной однородности “поверхности последнего рассеяния” на громадных пространственных масштабах, так и возможные причины формирования этого феномена.

Авторов [54], прежде всего, интересовал результат программы “Планк” по обнаружению достаточно сильного эффекта “гравитационного линзирования” источников света, расположенных за “поверхностью последнего рассеяния”, то есть образовавшихся в еще более ранние эпохи. Амплитуду линзирования реликтового излучения измеряли многие космические обсерватории, однако наиболее точный анализ был представлен станцией “Планк”. Авторы [54] на основе своего анализа показали, что наблюдаемое в [55] увеличение амплитуды линзирования в космических микроволновых фоновых спектрах мощности может быть понято (при более чем 99%-ном уровне достоверности), если представлять Вселенную ограниченной замкнутой сферой, от которой свет

может отражаться. Заключение было сделано при анализе трехмерной карты объектов Вселенной, содержащей данные более миллиона галактик и квазаров. Здесь следует также отметить, что заключение о замкнутости Вселенной не затрагивает существующих экспериментальных заключений об евклидовости всего объема исследуемой Вселенной [54]. Что касается “решительного опровержения” авторами [57] предположений авторов работы [54] о положительной пространственной кривизне границы нашей замкнутой Вселенной, то автор считает такое опровержение косвенным, недостаточно аргументированным, поскольку авторы [57] не могли иметь убедительных данных об объектах Вселенной за пределами поверхности последнего рассеяния.

Ниже будет показано, что именно представления о замкнутой расширяющейся Вселенной позволяют разрешить проблемы стандартной модели и предложить феноменологическую модель динамики Вселенной как открытой системы. При этом вводятся исходные представления о существовании энергонасыщенной (подобно “Ложному вакууму” [58] в теории инфляции) безграничной мировой среды – Прото-вакууме, плотность энергии ϵ_{pV} которого выше, чем плотность ϵ_V^e энергии электромагнитной составляющей физического вакуума нашей расширяющейся Вселенной. Полагается также, что через область межфазной границы двух вакуумов – Прото-вакуума и ЕМ-вакуума постоянно реализуются перенос энергии из Прото-вакуума в нашу Вселенную, представляемый как результат постоянно действующих источников планковской мощности $w_{pl} = c^5/2G$ [12, 49]. Вследствие действия таких источников в области межфазной границы двух вакуумов формируется сферический слой высокотемпературной плазмы определенной ширины, который при “подкачке” энергии под воздействием давления ЕМ-вакуума, увеличивая свою площадь, перемещается в энергонасыщенную среду Прото-вакуума, инициируя последующие планковские взрывы. В такой модели “поверхность последнего рассеяния” может рассматриваться как внутренняя, обращенная к нашей Вселенной и достаточно “охлажденная” граница такого расширяющегося сферического высокотемпературного плазменного слоя. И тогда становится понятным, что именно неизбежная однородность мощного высокотемпературного плазменного слоя, через который поступает в нашу Вселенную постоянный поток питающей ее энергии и толщина которого должна составлять, по-видимому, тысячи световых лет, если ориентироваться на возраст поверхности последнего рассеяния, оказывается первопричиной высокой степени температурной однородности этой поверхности.

Очевидно, что при такой общей структуре Вселенной исключаются энергетические локальные воздействия сверхмощных планковских источников на остальную часть Вселенной и формируются условия для более “мягкого”, постепенного поступления энергии во Вселенную. При этом, как полагает автор, нельзя исключать, что последствия локальных планковских взрывов, происходящих случайно в различных участках высокотемпературного плазменного слоя могут проявляться и фиксироваться при астрономических наблюдениях. В частности, одна из соответствующих гипотез (см. [49]) связывает наблюдение гамма-барстеров, фиксируемых в среднем один раз за сутки, с локальными инициирующими воздействиями планковских взрывов на массивные объекты Вселенной.

В связи с возможной защитной ролью поверхности последнего рассеяния следует указать на существование еще одного защитного экрана от мощных сторонних воздействий непосредственно у Солнечной системы. Согласно [59], Вояджер-2 (Voyager-2), межзвездный аппарат, запущенный НАСА 20 августа 1977 года в рамках программы “Вояджер” для исследований дальних планет Солнечной системы, в конце 2018 года вошел в плазменный слой, температура которого составляла около 49500°C. Этот слой, образованный и поддерживаемый солнечным ветром, формирует гигантский плазменный пузырь, окружающий нашу Солнечную систему, который также может рассматриваться как эффективный защитный барьер для сторонних воздействий. Не исключено, что такие “защитные экраны” есть и у других звезд.

3.3. Феноменологические уравнения для динамики Вселенной как открытой системы

В рамках развиваемых представлений Большой Взрыв связывается (см. также [12, 49]) с мощной флуктуацией в постулируемой мировой среде – Прото-вакууме. В этом случае, полная энергия E_{tot} , получаемая Вселенной, которая представляется как шар Хаббловского радиуса $R_H = c/H$ и объема $V_H = \frac{4}{3}\pi R_H^3$, в результате действия источника энергии с планковской мощностью в течение всего времени t , жизни Вселенной может быть записана как

$$E_{\text{tot}} = w_{\text{Pl}} t = \frac{c^5}{2GH} = \frac{4}{3}\pi R_H^3 \epsilon_{\text{tot}}, \quad (13)$$

откуда для средней плотности ϵ_{tot} энергии получаем:

$$\epsilon_{\text{tot}} = \frac{3c^2 H^2}{8\pi G}. \quad (14)$$

Как указывалось выше, в рамках нашего феноменологического анализа время t определяется как обратная величина параметра Хаббла H : $t = H^{-1} \approx 13.4$ млрд лет, а радиус Хаббла во Вселенной составляет $R_H = c/H \approx 1.27 \times 10^{28}$ см.

Выражение (14) для ϵ_{tot} на основе энергии, полученной от планковского источника Вселенной за время ее существования t , которое согласно эмпирическому уравнению Хаббла (9) описывает закон расширения Вселенной (отношение \dot{a} к масштабному коэффициенту a) может быть формально представлено в виде первого уравнения Фридмана (10) для евклидова пространства, хотя и с другими значениями включаемых параметров ϵ_V^e , ϵ_b^e и ϵ_{dm}^e :

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} (\epsilon_V^e + \epsilon_b^e + \epsilon_{dm}^e). \quad (15)$$

Здесь ϵ_V^e – плотность энергии ЕМ-вакуума; ϵ_b^e – плотность энергии всех компонентов массы Вселенной в состоянии покоя относительно ЕМ-вакуума как базовой системы отсчета (эта величина является отрицательной: $\epsilon_b^e = -|\epsilon_b^e|$); ϵ_{dm}^e – плотность энергии, также отрицательная ($\epsilon_{dm}^e = -|\epsilon_{dm}^e|$), которая характеризует рост релятивистской массы звездных скоплений и галактик, движущихся с релятивистскими скоростями относительно базовой системы отсчета (индекс “dm” обозначает динамическую массу, но не указание на “темную материю”!).

Чтобы оценить величину эффективного давления p_{eff} , усредненного по всем галактикам и скоплениям галактик, которое действует в модельной Вселенной, мы рассмотрим величину работы ΔA , затраченной на расширение пространства, так как радиус Вселенной R_H увеличивается со временем Δt . Используя соотношение (9), находим

$$\begin{aligned} \Delta A &= \frac{\epsilon_V^e}{\epsilon_{\text{tot}}} w_{\text{Pl}} \Delta t = p_{\text{eff}} \Delta V_H \Big|_{R_H} = \\ &= p_{\text{eff}} \frac{\Delta V_H}{\Delta R_H} \frac{\Delta R_H}{\Delta t} \Big|_{R_H} \Delta t = p_{\text{eff}} 3V_H H \Delta t, \end{aligned} \quad (16)$$

что дает с учетом (12)

$$p_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_V^e c^5}{8\pi \epsilon_{\text{tot}} R_H^3 HG} = \frac{1}{3} \epsilon_V^e = \frac{c^4}{24\pi G} \Lambda. \quad (17)$$

Очевидно, что выражение (16) “заменяет” второе уравнение Фридмана (11) стандартной модели, в котором давление p отрицательное, чтобы имитировать “антигравитацию”. Здесь следует пояснить, что именно величина эффективного давления p_{eff} , определяемая только плотностью энер-

гии ϵ_ν^e ЕМ-вакуума, является ключевым фактором, управляющим расширением Вселенной, которому противодействует гравитация. Традиционно за фактор антигравитации принимается космологическая постоянная Λ , которую, именно преследуя такую цель, ввел Эйнштейн.

Поскольку плотности энергии ϵ_b^e и ϵ_{dm}^e отличаются знаком от плотностей энергий ϵ_b и ϵ_{dm} , введенных в стандартной модели, а правая часть первого уравнения Фридмана в рассматриваемой нами модели открытой Вселенной принимается такой же по величине (для соответствия экспериментальным наблюдениям), как и правая часть первого уравнения Фридмана в стандартной модели, то определяемой из экспериментальных данных [50] в рамках стандартной модели величине плотности энергии вакуума $\epsilon_\nu \approx 0.66 \times 10^{-8}$ эрг/см³ в рассматриваемой нами модели соответствует величина $\epsilon_\nu^e = 1.14 \times 10^{-8}$ эрг/см³. Тогда в соответствии с выражением (15) получаем оценку для космологической постоянной в нашей модели: $\Lambda \approx 2.36 \times 10^{-56}$ см⁻². При этом для величины эффективного давления получаем: $p_{\text{eff}} \approx +3.8 \times 10^{-9}$ эрг/см³. Последнее вполне согласуется со значениями стандартной модели, принятой для отталкивающего давления. Следует также отметить, что за 24 часа объем Вселенной увеличивается на величину $\Delta V_H \approx 6.2 \times 10^{18}$ (свет. лет)³ (см. также [11]).

Развиваемые представления об индуцированном расширении (“разбухании”) Вселенной в условиях постоянно поступающей во Вселенную энергии через межфазную границу ЕМ-вакуум – Прото-вакуум позволяют непротиворечиво описать и ряд других аспектов динамики нашей Вселенной. Здесь же мы обратим внимание на возможность понимания феномена барионной асимметрии нашей Вселенной как преобладания вещества над антивеществом. Можно предположить, что сценарий с огромным преобладанием вещества мог начаться на самых ранних этапах формирования Вселенной, когда из-за первоначальной первой большой флуктуации число частиц, попавших в образовавшуюся Вселенную значительно превысило число античастиц, которые могли распространиться в направлении Прото-вакуума. При последующих планковских взрывах большая степень “сохранности” частиц с дальнейшим повышением их общего числа могли обуславливаться чисто кинетическими факторами – оттоком частиц от межфазной границы в объем образующейся Вселенной. Именно так, возможно, далеко не с первой попытки, могла возникнуть наша Вселенная с абсолютным перевесом числа частиц над античастицами.

3.4. ЕМ-вакуум в различные периоды эволюционной динамики Вселенной

Указанные выше различия в динамике Вселенной на разных этапах ее эволюции дают основания полагать, что мировые постоянные \hbar , c и G изменяются со временем. На такую возможность обращал внимание еще Дирак [60] в 1938 году, полагая, в частности, что $G \sim 1/t$. Но возникает естественный вопрос: есть ли основания для таких заключений на основе имеющихся современных экспериментальных данных? Согласно последним данным, Молд с соавторами [61] на основе анализа существующего полного (до конца 2013 года) набора данных по светимости сверхновых SNIa установили, что верхний предел скорости $\phi = |\dot{G}/G|$ относительного изменения гравитационной постоянной можно оценить как 0.1 части на миллиард в год в течение 9 млрд лет. Наиболее полная экспериментальная информация об изменениях мировых постоянных в настоящее время имеется лишь о постоянной тонкой структуры $\alpha_e = e^2/\hbar c \approx 1/137$, об ее относительных малых изменениях вплоть для областей во Вселенной, которые характеризуются красными смещениями $z \approx 0.4$ [62], когда размер Вселенной составлял $1/(1+z) \approx 0.7$ от современного размера. Согласно этим данным, фиксируемые относительные изменения величины α_e на указанном временном интервале не превышают весьма малых значений, $\sim 0.6 \times 10^{-6}$.

Таковыми изменениями мы будем пренебрегать, полагая, что отношение $e^2/\hbar c$ со временем не изменяется. Пренебрежем также изменением во времени планковской мощности $w_{\text{pl}} = c^5/2G$ и будем полагать, что значение элементарного заряда e остается постоянным во время эволюционного расширения Вселенной. Нас будет интересовать вопрос: как могут при этих условиях изменяться с течением времени другие мировые параметры?

При этом нам придется воспользоваться введенным в [2] (формула (16а)) представлением для гравитационной постоянной:

$$G = 4\pi^2 \frac{\hbar^2 H}{m_0^3 c}, \quad (18)$$

где $m_0 = E_0/c^2 \approx 3.72 \times 10^{-25}$ г – стандартная или “элементарная масса ядерной материи” [2, 12]. Внутрядерные температуры, соответствующие энергетическому эквиваленту этой массы, $E_0 = m_0 c^2 \approx 209.5$ МэВ, являются критическими для фазового перехода внутри ядра: кварки более не являются связанными в нуклонах и формируется кварк-глюонная плазма [45].

Введем безразмерную переменную $h(t) = H/H_0 = t_0/t$, где параметр Хаббла $H = t^{-1}$, t – возраст Все-

ленной, H_0 – значение параметра Хаббла для нашей эпохи, t_0 – время нашей эпохи. Функции $\hbar(t)$, $c(t)$, и $G(t)$ представим следующим образом:

$$\begin{aligned} \hbar(t) &= \hbar_0 h^{x_1}(t), & c(t) &= c_0 h^{x_2}(t), \\ G(t) &= 4\pi^2 \frac{\hbar^2(t)H(t)}{m_0^3 c(t)} \equiv G_0 h^{x_3}(t), \end{aligned} \quad (18a)$$

где \hbar_0 , c_0 , и G_0 – величины мировых констант в нашу эпоху, а x_i ($i = 1, 2, 3$) – вводимые параметры. Учитывая независимость от времени параметров α_e и $w_{\text{пл}}$, а также выше представленное выражение для $G(t)$, приходим к системе уравнений для введенных параметров x_i : $x_1 + x_2 = 0$, $5x_2 - x_3 = 0$, $x_3 = 2x_1 - x_2 + 1$. Решение этой системы дает искомые зависимости:

$$\begin{aligned} \hbar(t) &= \hbar_0 h^{-1/8}(t), & c(t) &= c_0 h^{1/8}(t), \\ G(t) &= G_0 h^{5/8}(t). \end{aligned} \quad (19)$$

Полученное соотношение для $G(t)$ уменьшается со временем несколько медленнее, чем постулировалось Дираком. В то же время, обе полученные зависимости качественно согласуются с результатами [61]. Полагая $(t_0 - t) = 9$ млрд лет и $t_0 = 13.4$ млрд лет, на основе (19) получаем оценку $\varphi \approx \frac{1}{t_0 - t} \frac{t^{-5/8} - t_0^{-5/8}}{t^{-5/8}} \approx 0.56 \times 10^{-10}$ (1/год). Постулируемая Дираком зависимость дает: $\varphi \approx 0.65 \times 10^{-10}$ (1/год).

С учетом (19) и ранее выписанного соотношения (4) для космологического красного смещения z получаем в этом случае $\omega(t) = (z + 1)\omega_0 h^{1/8}(t)$, так что

$$\hbar(t)\omega(t)(z + 1)^{-1} = \hbar_0\omega_0. \quad (20)$$

Для возрастания со временем Хаббловского радиуса Вселенной и скорости его возрастания получаем:

$$R_H(t) = c(t)/H(t) = c_0 t_0^{1/8} t^{7/8}; \quad \dot{R}_H(t) \sim t^{-1/8}. \quad (20a)$$

Как следует из (20a), скорость возрастания R_H должна уменьшаться со временем, в отличие от предсказания стандартной модели.

Поскольку общее энергосодержание Вселенной, согласно (13), возрастает линейно со временем благодаря действию Планковских источников: $E_{\text{tot}} = w_{\text{пл}} t$, то линейно со временем возрастает и общее содержание энергии EM-вакуума во Вселенной, то есть $\epsilon_V^e(t)V_U(t) \sim t$, где $V_U(t)$ – объем Вселенной. Учитывая, что $V_U(t) \sim R_H^3 \sim t^{21/8}$, получаем, что в рамках рассматриваемого феноменологического подхода к динамике Вселенной плотность энергии EM-вакуума во Вселенной

уменьшается: $\epsilon_V^e \sim t^{-13/8}$. При этом $m_Q(t) = m_{Q0} = \text{const}$.

Именно уменьшение величины ϵ_V^e со временем эволюции Вселенной следует рассматривать как причину изменения рассматриваемых мировых постоянных во времени, поскольку именно EM-вакуум продуцирует ядерные, электромагнитные и гравитационные взаимодействия во Вселенной [2, 12]. Автор полагает, что именно вследствие изменения во времени фундаментальных констант реализуется, в соответствии с соотношением (20), феномен “аномального космологического покраснения фотонов”, фиксируемый при взрывах сверхновых типа Ia в дальних галактиках, локализованных на расстояниях от 4-х до 9-ти млрд световых лет (см. [8–10]). При этом следует иметь в виду, что исходная яркость SN Ia [эрг/с], как и величина $w_{\text{пл}}$, не зависит от абсолютного времени t . Можно подчеркнуть, что именно эти данные стали ключевым аргументом для окончательного введения в динамические модели Вселенной космологической постоянной Λ . Следует также иметь в виду, что при уменьшении со временем величины ϵ_V^e возрастает постоянная Планка \hbar , что затрудняет квантовые переходы и уменьшает вероятности соответствующих ядерных процессов в нашу эпоху по сравнению с ранними эпохами Вселенной. Уменьшение со временем эффективности процессов, происходящих в звездных системах Вселенной, может связываться и с ослаблением интенсивности гравитационных взаимодействий, $G \sim t^{-5/8}$.

Происходящее со временем понижение ϵ_V^e определяет и понижение величины скорости света c в EM-вакууме, что может приводить к возрастанию массы звездных систем, скорость движения которых относительно базовой системы – EM-вакуума при достаточном уменьшении величины c окажется релятивистской. Естественно, такие эффекты могли в большей мере реализоваться при относительно малых временах, на достаточно ранних стадиях эволюции Вселенной. Очевидно, что в представлениях стандартной модели эволюции Вселенной такое релятивистское возрастание массы следует воспринимать как рождение “темной материи”. Поэтому с этой точки зрения несомненный интерес могли бы представлять количественные данные о распределении темной материи во Вселенной в различные периоды ее эволюционной динамики.

3.5. Оценка плотности энергии EM-вакуума

Принципиальное различие между феноменологической моделью динамики Вселенной и стандартной моделью состоит в введении источ-

ника энергии на межфазной границе ЕМ-вакуума с Прото-вакуумом, который продуцирует всю энергию Вселенной и обуславливает расширение Вселенной за счет поддержания давления ЕМ-вакуума. В нашей модели вся энергия изначально электромагнитная. Поскольку уравнения электромагнитного поля являются линейными, полную энергию любого электромагнитного поля можно представить как сумму энергий осцилляторов поля. Дифференциальное уравнение для энергии, усредненной по диапазону угловых частот от ω до $\omega + d\omega$, можно записать в виде [63]

$$du(\omega, \Theta) = \left(\frac{\hbar\omega}{2} + \frac{\hbar\omega}{\exp\Theta - 1} \right) dN, \quad \Theta \equiv \frac{\hbar\omega}{k_B T}. \quad (21)$$

Здесь $dN = \frac{\omega^2 V_\omega}{2\pi^2 c^3} d\omega$ — число полевых осцилляторов с частотами в указанном диапазоне, V_ω — объем поля, охватывающий осциллятор с частотой ω , k_B — постоянная Больцмана, T — температура окружающей среды. Правая часть (21) содержит два качественно различных члена. Сначала рассмотрим второй член, который связан с формулой Планка для спектрального распределения равновесного излучения черного тела и зависит от локальных условий окружающей среды и температур в различных протяженных областях Вселенной.

Можно полагать, что эти области случайно разбросаны по Вселенной и имеют разные пространственные масштабы. Следовательно, при расчете плотности энергии излучения ϵ_{SB} , представленной вторым слагаемым в (21), результат интегрирования по всему возможному частотному диапазону будет относиться к одной из этих областей. Конфигурационный объем этой области может быть представлен как постоянное значение $V_\omega = V = \text{const}$, если предположить, что в этом объеме локализовано поле, создаваемое осцилляторами со всеми возможными частотами. Очевидно, что в этом случае интегрирование может быть формально выполнено по бесконечному частотному интервалу. В результате мы получаем закон Стефана–Больцмана для плотности ϵ_{SB} энергии излучения, когда каждому волновому вектору соответствуют два состояния поляризации [63]:

$$\epsilon_{SB} = \frac{\pi^2 (k_B T)^4}{15 \hbar^3 c^3} \equiv \sigma T^4, \quad \sigma = \frac{\pi^2 k_B^4}{15 \hbar^3 c^2}. \quad (22)$$

Мы предполагаем, что энергия Прото-вакуума постоянно ассимилируется и преобразуется в энергию расширяющейся Вселенной при постоянном формировании Планковских источников энергии в области границы ЕМ-вакуума и прото-вакуума. Вся масса-энергия, произведенная источниками Планка, может излучаться в суще-

ствующую Вселенную, чему способствует высокое сродство (связывание в среде [2, 12], “замораживание”) образованных частиц материи по отношению к ЕМ-вакууму.

Полную энергию нулевых колебаний ЕМ-вакуума следует усреднять по всему объему Вселенной $V_H = 4/3\pi R_H^3$, определяемому хаббловским радиусом $R_H \sim 1.27 \times 10^{28}$ см, поскольку полагаем, что поступающая от планковских источников энергии равномерно распределяется по всей Вселенной. При этом энергия нулевых флуктуаций ЕМ-вакуума в основном обеспечивается самыми высокими частотами. В качестве нижнего предела этого диапазона выбирается частота $\omega_Q = 2\pi c/a_Q \approx 1.44 \times 10^{24} s^{-1}$, где $a_Q = 2^{1/2} \hbar/m_Q c \approx 1.3 \times 10^{-13}$ см — характерный размер, связанный с массой m_Q , “элементарной массы ядерной материи” [12]. Верхней границей диапазона самых высоких частот является Планковская частота $\omega_{Pl} = 2\pi c/a_{Pl} = 2\pi/t_{Pl} = cR_H^{1/2}/a_Q^{3/2} \approx 0.71 \times 10^{44} s^{-1}$, которой соответствует пространственный масштаб $a_{Pl} = 2\pi c/\omega_{Pl} \approx 2.64 \times 10^{-33}$ см.

Поскольку $a_Q \gg a_{Pl}$, конфигурационный объем при расчете средней плотности энергии нулевых колебаний ЕМ-вакуума может быть выбран как $V_{\omega_Q} = \frac{4}{3}\pi a_Q^3$. Проинтегрировав первое слагаемое в правой части (21) по частотному интервалу $[\omega_Q, \omega_{Pl}]$ и разделив результирующую энергию на объем V_H , а также учитывая, что каждый волновой вектор соответствует двум состояниям поляризации, мы приходим к результату [64]:

$$\epsilon_V^e = \frac{2^{1/2} m_Q c^2}{16\pi^2 a_Q^2 R_H} \approx 1.33 \times 10^{-8} \text{ эрг/см}^3, \quad (23)$$

и с учетом (12) и (20) получаем:

$$\Lambda = 8\pi G \epsilon_V^e / c^4 = 2^{1/2} \pi / R_H^2. \quad (24)$$

Легко убедиться, что из (23) и (24) следует $\epsilon_V^e \sim t^{-13/8}$, в соответствии с выше приведенным результатом, и $\Lambda \sim t^{-7/4}$.

Приведенное выше значение ϵ_V^e с учетом некоторого условного характера выбора числовых коэффициентов при введении указанных параметров довольно близко к значению $\epsilon_V^e = 1.14 \times 10^{-8}$ эрг/см³, рассчитанному при использовании значения $\epsilon_V = 0.66 \times 10^{-8}$ эрг/см³, оцененного на основе имеющихся экспериментальных данных (см. раздел 3.3). Такой результат можно рассматривать как аргумент в пользу предлагаемого сценария Большого Взрыва и рассмотрения Вселенной как системы, заключенной в расширяющуюся

сферу радиуса R_H и “питаемой” энергией, которая вкачивается через поверхность этой сферы.

Интересно сопоставить значения космологической постоянной Λ , определенной двумя способами. При использовании для нее общего выражения (12) и величины ϵ_V^e , оцененной на основе экспериментального значения ϵ_V , получаем $\Lambda \approx 2.36 \times 10^{-56} \text{ см}^{-2}$. В то же время, значение космологической постоянной, которое будем обозначать как $\Lambda_{\epsilon_V^e}$, рассчитанное по формуле (24) на основе формулы (12) и чисто модельного выражения (23) для ϵ_V^e , полученного для рассматриваемой динамики открытой ограниченной Вселенной, оказывается равным $\Lambda_{\epsilon_V^e} \approx 2.75 \times 10^{-56} \text{ см}^{-2}$. Разница между значениями Λ составляет около 15%.

На эти данные можно посмотреть и несколько иначе. Если использовать значение $\Lambda \approx 2.36 \times 10^{-56} \text{ см}^{-2}$, полученное с использованием экспериментальной величины ϵ_V , для расчета величины R_H , используя формулу (24), получим значение $R_H \sim 1.37 \times 10^{28} \text{ см}$, которое примерно на 7.5% превышает значение $R_H \sim 1.27 \times 10^{28} \text{ см}$, рассчитанное с использованием экспериментальных данных для постоянной Хаббла. Автор полагает, что приводимые оценки достаточно аргументированно поддерживают базовую идею о Вселенной как иницируемо “разбухающей” системе.

При рассмотрении традиционного, на основе стандартной модели [8–10] сценария динамики Вселенной, когда плотность ϵ_V энергии ЕМ-вакуума вычисляется на основе выражения (21) при $V_\omega = V_H$, интегрирование по всем частотам от нуля до планковской частоты $\omega_{pl} = cR_H^{1/2}/a_Q^{3/2}$ дает:

$$\epsilon_V = \frac{1}{64\pi^2(\hbar c)^5} R_H^2 (m_Q c^2)^6, \quad (23a)$$

$$\frac{\epsilon_V}{\epsilon_V^e} = \frac{1}{2^{3/2}(\hbar c)^3} R_H^3 (m_Q c^2)^3 \approx 1.1 \times 10^{123}. \quad (23b)$$

Из этих соотношений следует, что проблема космологической постоянной как проблема 120 порядков, как “одна из наиболее важных проблем современной фундаментальной физики” возникает из-за неадекватного модельного представления динамики Вселенной, которая фактически оказывается системой замкнутой и открытой, “питающейся” энергией сторонних источников.

В заключение этого раздела – небольшое замечание (без комментариев) к выражению (23) для ϵ_V^e . Чисто формальная оценка для “температуры” ЕМ-вакуума, определяемой на основе выраже-

ний (22) и (23) из равенства $\epsilon_{SB}(T_{SB}^{Ve}) = \epsilon_V^e$, дает $T_{SB}^{Ve} = 36.5 \text{ К}$. Важно подчеркнуть, что это “температура” виртуальных фотонов, которая присутствует всегда как некое материальное дополнение к температуре фотонов реальных, способное себя проявлять.

IV. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Автор понимает, что представляемые взгляды на генезис стрелы времени как следствие динамики Вселенной крайне дискуссионны, если ориентироваться на традиционную и принимаемую абсолютным большинством исследователей картину Мироздания. В то же время, автор полностью принимает мысль, высказанную А. Халлером (в пер. В. Шапошника): “Во внутренность природы не проникает ни один сотворенный дух; он уже счастлив, если она показывает хоть внешнюю скорлупу”. Именно как отражение “внешней скорлупы” нашей Вселенной следует воспринимать представленные автором в этой работе, а также в работе [2] результаты феноменологического рассмотрения базовых проблем не только “современной фундаментальной физики”, но и современной космологии – проблем “стрелы времени” и квантовой механики, проблемы космологической постоянной или “проблемы 120 порядков” с исключением из уравнений динамики Вселенной образов “темной энергии” и “темной материи”, физическая сущность которых неясна. Несмотря на то, что последние образы фактически уже приняты физическим сообществом, у автора все же остается надежда на всестороннее обсуждение всего круга поднятых в этой статье проблем и установление истины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург В.Л. // Успехи физ. наук. 2007. Т. 177 (4). С. 346.
2. Тимашев С.Ф. // Журн. физ. химии. 2022. Т. 96. № 8. С. 1093.
3. Weizsäcker C.F. von. Time – Empirical Mathematics – Quantum Theory / Editors: Harald Atmanspacher, Eva Ruhnau. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997. P. 91.
4. Тимашев С.Ф. Фликкер-шумовая спектроскопия: информация в хаотических сигналах. М.: Физматлит, 2007. 248 с.
5. Николис Дж. Динамика иерархических систем. Эволюционное представление / Пер. с англ. Ю.А. Данилова. М.: Мир, 1989. 488 с.
6. Uchaikin V.V., Sibatov R.T. Fractional Kinetics In Space: Anomalous Transport Models. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., 2018. 289 p.
7. Timashev S.F., Polyakov Yu.S., Misurkin P.I., Lakeev S.G. // Physical Rev. E. 2010. V. 81. № 4. P. 041128; <http://arxiv.org/abs/1004.0235>.

8. *Блинников С.И., Долгов А.Д.* // Успехи физ. наук. 2019. Т. 189. № 6. С. 561.
9. *Лукаш В.Н., Рубаков В.А.* // Там же. 2008. Т. 178. № 3. С. 301.
10. *Чернин А.Д.* // Там же. 2008. Т. 178. № 3. С. 267.
11. *Дэвис П.* Суперсила. Поиски единой теории природы. М.: Мир, 1989, 272 с.
12. *Timashev S.F.* Physical vacuum as a system manifesting itself on various scales – from nuclear physics to cosmology / arXiv:1107.1799v8 [physics.gen-ph].
13. *Dalvit D.A.R., Neto P.A.M., Mazzitelli F.D.* Fluctuations, dissipation and the dynamical Casimir effect. <http://arxiv.org/abs/1006.4790v2>.
14. *Wilson C.M., Johansson G., Pourkabirian A. et al.* // Nature. 2011. V. 479. P. 376; <http://arxiv.org/pdf/1105.4714v1>.
15. *Dodonov V.V., Klimov A.B., Man'ko V.I.* // Physics Letters A. 1989. V. 142. Issues 8–9. P. 511; Man'ko V.I. // J. Sov. Laser Res. 1991. V. 12. P. 383.
16. *Maksimenko V.V., Zagaynov V.A., Agranovski I.E. et al.* // Phys. Rev. A. 2013. V. 88. P. 053823.
17. *Aspect A., Grangier P., Roger J.* // Phys. Rev. Lett. 1981. V. 47. P. 460.
18. *Einstein A., Podolsky B., Rosen N.* // Phys. Rev. 1935. V. 47. P. 777.
19. *Aspect A.* // Nature. 2007. V. 446. P. 866.
20. *Кадомицев Б.Б.* Динамика и информация. М.: Ред. ж-ла “Успехи физических наук”, 1997, 400 с.
21. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. М.: Госфизматлитиздат. 1959. 400 с.
22. *Зельдович Я.В., Новиков И.Д.* Строение и эволюция Вселенной. М.: главная редакция Физматлитиздат “Наука”, 1975. 736 с.
23. *Lerner E.J.* // Monthly Notices of the Royal Astron. Soc. MNRAS. 2018. V. 477. P. 3185.
24. *Lerner E.J., Falomo R., Scarpa R.* // Int. J. Modern Physics D. 2014. V. 23. № 6. 1450058; arXiv:1405.0275v1 [astro-ph.CO].
25. <https://www.plasma-universe.com/an-open-letter-to-the-scientific-community/>.
26. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / Пер. с англ. Ю.А. Данилова. Под ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича, Ю.В. Сачкова. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 310 с.
27. *Шустер Г.* Детерминированный хаос. Введение / Пер. с англ. Ф.М. Израйлева, М.И. Малкина, А.М. Реймана; под ред. А.В. Гапонова-Грехова, М.И. Рабиновича. М.: Мир, 1988. 240 с.
28. *Dirac P.A.M.* // Proc. Roy. Soc. Ser. A. 1927. V. 114. P. 243.
29. *Fermi E.* // Rev. Mod. Phys. 1932. V. 4. P. 87.
30. *Weisskopf V.F.* // Physics Today. 1981. V. 34. № 11. P. 69.
31. *Овчинников А.А., Тимашев С.Ф., Белый А.А.* Кинетика диффузионно-контролируемых химических процессов. М.: Химия, 1986. 288 с.
32. *Делоне Н.Б., Крайнов В.П.* Атом в сильном световом поле. М.: Энергоатомиздат, 1984. 223 с.
33. *Манаков Н.Л., Мармо С.И., Свиридов С.А.* // Журн. эксперим. и теорет. физики. 2009. Т. 135. № 4. С. 639.
34. *Sheng P.* Introduction to Wave Scattering, Localization and Mesoscopic Phenomena. 2nd ed. Springer, Berlin, 2006, 333 p.
35. *Maksimenko V.V., Zagaynov V.A., Agranovski I.E. et al.* // Progr. Theor. Exp. Phys. 2015. <https://doi.org/10.1093/ptep/ptu177>
36. *Rancourt L., Tattersall P.J.* // Applied Physics Research. 2015. V. 7. № 4. P. 4.
37. *Эйнштейн А.* Сущность теории относительности / Собрание научных трудов. II. Работы по теории относительности. М.: Наука, 1966. 881 с.
38. *Захаров А.Ф.* Гравитационные линзы и микролинзы. М.: Янус-К. 1997, 330 с.
39. *Ericson T., Weise W.* // Physics Today. 1989. V. 42. № 8. P. 68.
40. *Недорезов В.Г., Мушкаренков А.Н.* Электромагнитные взаимодействия ядер. Гл. 14. Второе издание учебного пособия. Физический факультет МГУ (pdf); <http://nuclphys.sinp.msu.ru/eint/index.html>.
41. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Вып. 8–9. 2008. Квантовая механика. Гл. 8, § 2. М.: “Изд-во ЛКИ”, 528 с.
42. *Jaffe R.L.* // Phys. Rev. D. 2005. V. 72. P. 021301(R).
43. *Давыдов А.С.* Теория атомного ядра. Гос. изд-во Физматлит. 1958, 612 с.
44. *Ohanian H.C.* // American Journal of Physics. 1986. V. 54. № 6. P. 500.
45. *Кландор-Клайнротхаус Г.В., Цюбер К.* Астрофизика элементарных частиц. М.: Ред. ж-ла “Успехи физических наук”. 2000, 496 с.
46. *Чаадаев П.Я.* Полное собрание сочинений и избранные письма. Том 1. М.: Изд-во Наука, 1991, 800 с.
47. *Kant I.* Universal Natural History and Theory of the Heavens. University of Michigan Press. 1969, 182 p.; <http://elibrary.udsu.ru/xmlui/handle/123456789/4896>.
48. *Schombert J, McGaugh S., Lelli F.* // Astron. J. 2020. V. 160. № 2. P. 71.
49. *Timashev S.* // Int. J. Astrophysics and Space Science, 2014. V. 2. № 3. P. 33; <http://www.sciencepublishing-group.com/journal/paperinfo.aspx?journalid=302&doi=10.11648/j.ijass.20140203.11>.
50. *Reichardt T.* // Nature. 2003. V. 421. P. 777.
51. *Зельдович Я.Б.* // Успехи физ. наук. 1981. Т. 133. № 3. С. 479.
52. *Вайнберг С.* // Там же. 1989. Т. 158. № 4. С. 639.
53. *Burenin R.A., Bikmaev I.F., Khamitov I.M. et al.* Optical identifications of high-redshift galaxy clusters from Planck Sunyaev-Zeldovich survey // arXiv:1801.04464v1.
54. *Valentino E.Di., Melchiorri A., Silk J.* // Nature Astronomy. 2020. V. 4 (2). P. 1; arXiv:1911.02087.
55. *Aghanim N., Akrami Y., Ashdown M. et al.* [Planck Collaboration], Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters, arXiv:1807.06209.

56. *Fixsen D.J.* // The Astrophysical Journal. 2009. V. 707. P. 916; arXiv:0911.1955.
57. *Percival W.J., Beutler F, Winther H.A.* // Phys. Rev. Lett. 2020. V. 124. P. 221301.
58. *Linde A.* // Progress of Theoretical Physics Supplement 2006. V.163: P. 295; arXiv:hep-th/0503195.
59. *Richardson J.D., Belcher J.W., Garcia-Galindo P., Burlaga L.F.* // Nature Astronomy. 2019. V. 3. P. 1019.
60. *Dirac P.A.M.* // Proc. Royal Soc. London. Ser. A, Math. Phys. Sci. 1938. V. 165. Issue 921. P. 199.
61. *Mould J., Uddin S.A.* Constraining a possible variation of G with Type Ia supernovae; arXiv.org/abs/1402.1534v2 [astro-ph.CO].
62. *Chand H., Srianand R., Petitjean, Aracil B.* Probing the cosmological variation of the fine structure constant: Results based on the VLT-UVES sample; <http://arXiv:astro-ph/0401094v1>.
63. *Терлецкий Я.П.* Статистическая физика. М.: Высш. школа, 1994. 353 с.
64. *Timashev S.* // Int. J. Astroph. Space Sci. 2015. V. 3. № 4. P. 60. <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo.aspx?journalid=302&doi=10.11648/j.ijass.20150304.12>.