

РЕЗУЛЬТАТЫ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ЗОНДОВ ПИОНЕР И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ В РАМКАХ МОДЕЛИ ДУАЛЬНОЙ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ

А.Н. Малимон

ФГУП «ВНИИФТРИ», Менделеево Московской обл., amalimon@vniiftri.ru

Обсуждаются результаты траекторных измерений космических зондов Пионер, даётся их интерпретация в рамках модели дуальной волновой механики, приводится теоретическая оценка размера её констант, даётся объяснение аномального ускорения зондов Пионер, раскрывается физическая природа аномалии.

Results of trajectory measurements of Pioneer space probes are discussed. Interpretation of the results within the framework of a dual wave mechanics model is given and a theoretical estimate of the size of its constants is presented. The anomalous acceleration of the Pioneer probes is explained and the physical nature of the anomaly is elucidated.

Ключевые слова: космический зонд, квант силы, дуальная волновая механика, константы.

Введение

Высокоточные измерения способствуют прогрессу научных исследований. Особую роль в этом могут сыграть измерения времени и частоты, так как они являются самым точным видом измерений. Современный этап развития метрологии пространства и времени характеризуется не только созданием новых, более совершенных стандартов частоты микроволнового и оптического диапазонов, но и исследованиями, направленными на создание более высокоточных каналов передачи эталонных сигналов времени и частоты. Передача на большие расстояния эталонных сигналов без потери их высокого уровня точности открывает перспективу проведения прецизионных измерений в пространственно протяженных системах. Это создает экспериментальную основу как для проверки существующих фундаментальных физических теорий, так и для построения новых. В связи с этим представляется интересным рассмотрение результатов уникального эксперимента с зондами Пионер 10 и 11 - первыми космическими аппаратами, преодолевшими орбиту Плутона [1,2].

В этом выполненном НАСА эксперименте сигнал, несущий информацию о моменте времени и эталонной частоте, передавался с Земли антеннами дальней космической связи к зондам Пионер на частоте $\sim 2,11$ ГГц. Сигнал принимался космическими зондами и преобразовывался с коэффициентом 240/221, а затем переизлучался зондами обратно на частоте $\sim 2,29$ ГГц и принимался антеннами на Земле. Такое радиометрическое сопровождение

космических зондов с Земли и получение от них телеметрической информации выполнялось вплоть до расстояний ~ 70 а.е. Это расстояние столь велико, что сигнал, несущий метку о времени, после его передачи к зондам возвращался на Землю только спустя более полусуток.

Радиометрическое сопровождение зондов Пионер 10 и 11, которые имели третью космическую скорость и должны были покинуть пределы Солнечной системы, проводилось на протяжении почти тридцати лет с момента их запуска в 1972 и 1973 годах и вплоть до 2002 года. Все эти годы хранители времени на основе групп водородных мазеров в центрах дальней космической связи НАСА и данные, получаемые на основе передачи по космическому каналу эталонного сигнала к зондам «туда и обратно», позволяли экспериментально определять с высокой точностью траекторию зондов. Так, например, доплеровский сдвиг частоты сигналов, получаемых от удаляющихся зондов, давал точную информацию об их скорости, а измерения временной задержки сигналов, пробежавших туда и обратно, давали расстояние от Земли до зондов. Данные, полученные при радиометрическом сопровождении космических аппаратов Пионер, определенно показали наличие на расстояниях 20-70 а.е. небольшого дополнительного голубого доплеровского сдвига в принимаемой на Земле несущей частоте от этих аппаратов [1,2]. Такой сдвиг может быть следствием наличия у зондов немодельного, выходящего за рамки классической теории тяготения, дополнительного постоянного ускорения, направленного к Солнцу и равного

$$a_o = (8,74 \pm 1,33) \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2. \quad (1)$$

Дополнительное ускорение a_o получило название «аномалии Пионеров» (Pioneer anomaly), и, предположительно, оно могло свидетельствовать об отклонении гравитационного взаимодействия зондов и Солнца от ньютоновского закона тяготения на расстояниях больших 20 а.е.

Впервые о дополнительном ускорении зондов Пионер, а также о наличии подобного эффекта у ряда других космических аппаратов, было сообщено исследователями НАСА в 1998 году [1]. С тех пор на протяжении более пятнадцати лет специалисты в области астрометрии и физики пытаются найти объяснение аномальным результатам траекторных измерений зондов, как на основе общепринятых физических представлений, так и привлекая идеи новых теорий. Однако до сих пор аномалия Пионеров – открытый вопрос физики, на который пока не дан убедительный ответ. Не находит объяснения и так называемая пролетная аномалия (flyby anomaly), выявленная при гравитационных маневрах космических аппаратов в поле тяготения планет [3,4].

Сейчас некоторые теоретики называют аномалию Пионеров «маяком новой физики» [4]. Следует подчеркнуть, что такой «маяк» был установлен в *Альманах современной метрологии, 2016, №7*

итоге эксперимента, при проведении которого на протяжении нескольких десятилетий периодически осуществлялась передача на астрономические расстояния сигналов, несущих информацию о времени и частоте. Эти сигналы и шкала времени формировались на Земле с помощью водородных хранителей, установленных в непосредственной близости от передатчиков и антенн дальней космической связи, обеспечивавших связь с зондами Пионер 10 и 11.

I. Концепция дуальной волновой механики и ее константы

Объяснение наличия дополнительного ускорения у зондов Пионер дается в настоящей работе на основе представлений дуальной волновой механики [5-8]. В основе дуальной волновой механики лежит идея о том, что квантовый характер имеет не только действие, но и сила. Поэтому теоретическая модель дуальной волновой механики содержит две квантовые константы - постоянную Планка h с размерностью действия и константу H с размерностью силы. Константа H имеет физический смысл кванта силы.

Проведенные теоретические оценки приводят к выводу, что квант силы должен иметь величину $\sim 2 \cdot 10^{36}$ Н [5-8]. Такой величине кванта силы, действующего на один нуклон массой m_p , должен соответствовать минимальный дискретный шаг изменения ускорения нуклона $a_{min} = H/m_p \approx 10^{-9}$ м/с². Из предположения о минимальном шаге ускорения нуклонов следует, что и напряженность слабого гравитационного поля, имеющая размерность ускорения, должна изменяться дискретно с шагом a_{min} .

Квант силы H - это инверсно-симметричный аналог постоянной тяготения G классической теории. Произведение констант G и H соответствует величине

$$G \cdot H = c^4 / 4N^2, \quad (2)$$

где c - это скорость света, а N^2 - большое число, близкое количеству нуклонов во Вселенной, которое Дирак оценивал величиной $\sim 4 \cdot 10^{79}$. В рамках формализма инверсной симметрии величина $c^4 / 4N^2$ соответствует квадрату радиуса инверсии величин G и H и имеет размерность скорости в четвертой степени.

В работах [9,10] сделан вывод о том, что максимально возможная сила F_{max} во Вселенной не должна превышать величины:

$$F_{max} = c^4 / 4G = 3 \cdot 10^{43} \text{ Н}. \quad (3)$$

Представление о предельной величине силы F_{max} аналогично понятию максимальной скорости c , которая соответствует предельной групповой скорости распространения электромагнитных волн. Из (2) и (3) следует, что квант силы, который по существу соответствует понятию минимальной
Альманах современной метрологии, 2016, №7

силы F_{min} , можно представить в виде доли F_{max} , относящейся к одному нуклону Вселенной:

$$F_{min} = F_{max}/N^2 \approx \hbar . \quad (4)$$

Выражение (4) носит оценочный характер и не может быть основой для определения величины кванта силы, так как количество нуклонов во Вселенной известно с точностью не лучше порядка величины. Но для успешного развития дуальной механики необходимо достоверно знать размер кванта \hbar , опираясь на теорию и эксперимент. Отметим, что введение в теорию новой квантовой константы \hbar , инверсной по отношению к постоянной тяготения G классической теории, открывает возможность создания общего языка квантовых понятий при описании электромагнитного и слабого гравитационного поля [6].

Концепция дуальной волновой механики предполагает существование на фундаментальном физическом уровне инверсной симметрии. Одно из ее проявлений - инверсная взаимосвязь ее основных квантовых констант \hbar и \hbar , а также ряда пар вторичных констант. Вторичной константе - кванту циркуляции $\hbar/2m_e$ (m_e - масса электрона) будет соответствовать квант стремления \hbar/m_p . Квант стремления равен минимальному квантовому шагу a_{min} изменения напряженности слабого гравитационного поля $a_{min} = \hbar/m_p$ [6]. Комптоновской длине волны электрона $\hbar/m_e c$ противостоит комбинация $\hbar/2m_p c$, которая соответствует постоянной Хаббла.

Выбор массы протона при определении понятия кванта стремления \hbar/m_p объясняется тем, что сконденсированная барионная материя состоит из атомов, а их инерционные свойства определяет массивное ядро, состоящее из нуклонов. Различие между собой масс атома водорода, нейтрона и протона лежит на уровне $\sim 1 \cdot 10^{-3}$. Электронное облако в атоме сильно «привязано» кулоновской силой к ядру, оно по существу в атоме легкая динамичная часть, движение которой в гравитационном поле определяет массивное ядро. Поэтому движение не электрона, а «пробного протона», в дискретном слабом гравитационном поле соответствует поведению массы из сконденсированного вещества. В любой точке дискретного гравитационного поля его напряженность a должна быть кратна кванту стремления $a = n\hbar/m_p$, и в слабом поле квантовое число n будет меньше. Поэтому эффекты, вытекающие из квантового характера силы, должны проявиться в слабом гравитационном поле, когда действующая на «пробный протон» сила невелика, и его ускорение сопоставимо с величиной кванта стремления.

Применение концепции инверсной симметрии к логике стандартной шредингеровской волновой механики (далее будем называть ее $\hbar\omega$ -механикой), оперирующей понятием фотона с энергией $\hbar\omega$ (ω – круговая частота колебаний), приводит к необходимости дополнения языка *Альманах современной метрологии, 2016, №7*

квантовой теории представлением об инверсных квантах $\hbar x$ энергии поля. У инверсных квантов $\hbar x$ энергия должна быть пропорциональной расстоянию x между частицами [4,6].

Отметим, что предположение о квантах поля с энергией пропорциональной расстоянию между частицами не противоречит выявленным реалиям физических взаимодействий. Так, в квантовой хромодинамике существует явление конфайнмента - невылета кварков, которое отражает тот факт, что в кварковой модели адронов потенциальная энергия взаимодействия кварка и антикварка на некотором масштабе длин большем 10^{-15} м растет с расстоянием [11,12]. Можно сделать предположение, что идея о квантах $\hbar x$ может быть полезной для теоретического описания слабого гравитационного поля на языке квантовых понятий, применяемом в $\hbar\omega$ -механике.

Идея инверсной симметрии порождает образ дуальной квантово-волновой теории, которая должна объединять стандартную $\hbar\omega$ -механику микромира и новую инверсную ей волновую механику мегамира (далее будем называть ее $i\hbar x$ -механикой) с энергией кванта поля $\hbar x$ [6]. Такая дуальная теория должна оперировать двумя видами квантов энергии поля $\hbar\omega$ и $\hbar x$. В своих пределах как $\hbar\omega$ -механика, так и $i\hbar x$ -механика, должны соответствовать классической теории, основные константы которой - скорость света c и гравитационная постоянная G .

2. Физические $G\hbar c$ -теории и их константы

Каждая основополагающая физическая теория имеет свою константу. У классических теорий гравитации – это постоянная тяготения G . Константа классической электродинамики - это скорость света c . Постоянная Планка h лежит в основе квантовой электродинамики (КЭД) и волновой $\hbar\omega$ -механики Шредингера, которая, используя представление о фотоне, описывает атом на языке квантов.

Достижения науки и технологий прошлого века связаны, в первую очередь, с практическим применением квантовой теории микромира. Это обстоятельство стимулировало поиск новых подходов для описания на языке квантов слабых гравитационных полей, характерных для области пространства, осваиваемого цивилизацией. Но квантование гравитации в рамках $G\hbar c$ -теорий, которые оперируют константами G , h и c , затруднительно. Это было выяснено при первых же попытках построения фоново-независимой теории в 30-е годы М.Бронштейном [13]. Развитие направления, предложенного Пуанкаре, а практически инициированного Гейзенбергом и Паули, которое ставило своей целью создание квантовой теории гравитации на фиксированном пространственно-временном фоне, столкнулось с трудностями, и они не преодолены до сих пор [14,15].

Альманах современной метрологии, 2016, №7

Ограниченный прогресс квантовых теорий гравитации по сравнению с великими шагами КЭД требует нового осмысления гравитации. Необходим свежий взгляд на гравитацию с точки зрения результатов новых экспериментов. Такое рассмотрение требует, прежде всего, поиска нового языка для описания гравитации. На важность выбора правильного языка для развития физической теории указывалось в триалогии трех всемирно известных физиков-теоретиков Габриеле Венециано, Михаила Даффа и Льва Окуня [16]. В этой работе они обсуждали модели квантовой гравитации и обосновывали свой выбор необходимого количества размерных фундаментальных физических констант. При этом Лев Окунь заявил: «Физика состоит из измерений, формул и слов... и, адекватный язык имеет решающее значение для физики».

Основу языка физической теории создают ее константы, которыми эта теория оперирует в своих основополагающих уравнениях. Сложность квантового описания гравитации связана, в частности, с тем, что геометризация языка и аксиоматики классических теорий гравитации, к числу которых относят и общую теорию относительности, не соответствует основополагающим понятиям квантовой теории [13-15]. Размерный коэффициент G в классическом законе тяготения не связан с представлениями о квантах. В тройке констант G, \hbar, c квантовый смысл имеет только лишь постоянная Планка, являющаяся символом скачка, прерывности. Но у постоянной Планка не выявлена логически конструктивная связь с гравитацией, которая выражалась бы в достаточно простых уравнениях, что позволило бы построить достаточно эффективную логику и язык для квантового описания гравитации.

3. О необходимости дополнения языка квантовой теории понятием кванта силы

На концептуальном уровне есть существенное отличие классической механики Ньютона и квантовой $\hbar\omega$ -механики Шредингера. В ньютоновской механике используется понятие силы, а в квантовой теории сила исключена из числа основных концепций.

В квантовой теории основными являются понятия импульса и энергии. Давид Бом объяснял это тем, что соотношение Планка $E = \hbar\omega$ и де-Бройля $p = \hbar/\lambda$, лежащие в основе $\hbar\omega$ -механики, дают простую взаимосвязь между энергией E и частотой ω , а также между импульсом p и длиной волны λ . Таких простых соотношений между волновыми свойствами материи и силой в квантовой механике нет [17].

В работах [5-7] было предложено ввести в квантовую механику силу в качестве одного из основных понятий и рассмотреть логику волновой теории, оперирующую квантом силы наряду с квантом действия. Такая

Альманах современной метрологии, 2016, №7

логика, прежде всего, дает идею инверсного i -фотона, у которого энергия и импульс равны $E = \hbar\lambda_i$ и $p = \hbar T_i$, где λ_i - длина волны, которая в основном состоянии поля должна соответствовать размеру $x = \lambda_i$ осциллятора и T_i - периоду.

Необходимость рассмотрения двух квантов энергии поля – фотона $\hbar\omega$ и инверсного ему кванта $\hbar\lambda_i$ следует из требований инверсной симметрии, которым должна удовлетворять квантовая теория поля. Если квантовая механика является ее основанием, то математическая форма и соответствующие понятия квантовой теории поля, должны отражать все стороны сущности поля, а потому должны быть инверсно-симметричными.

В числе математических аксиом, определяющих такое множество, как поле, есть аксиома о существовании обратного (инверсного) элемента a^{-1} для каждого элемента a поля. Произведение двух взаимобратных элементов поля дает единичный элемент, то есть $a \cdot a^{-1} = R_i^2$, где R_i^2 - единичный элемент поля, квадрат радиуса инверсии поля. Отметим, что более простая симметрия отражения, связывающая элемент $a = (R_i + a)$ и его отражение в плоском зеркале $a^{-1} = (R_i - a)$, будет соответствовать инверсной симметрии этих элементов только в случае, если отклонение от зеркала a стремится к нулю или если бесконечен радиус инверсии R_i . Поэтому симметрия отражения, которую широко использует логика физических теорий, – это всего лишь частный случай более общей инверсной симметрии.

Если рассмотреть классическую электродинамику с точки зрения наличия в ее языке инверсно симметричных конструкций, то очевидно, что она оперирует во множестве поля. Такие основные понятия классической электродинамики, как частота ν и длина λ электромагнитной волны, инверсно-симметричны и образуют полевое множество, так как $\lambda \cdot \nu = c$. Скорость света c - это единичный элемент множества основных понятий электродинамики - квадрат радиуса инверсии понятий частоты и длины волны в ее языке.

В языке квантовой $\hbar\omega$ -механики близким аналогом инверсного отношения $a \cdot a^{-1} = R_i^2$ можно считать соотношение неопределенностей для некоммутирующих величин, если рассматривать их как взаимобратные элементы a и a^{-1} . Но для некоммутирующих величин характерно неравенство $a \cdot a^{-1} \geq \hbar/2$, которое становится равенством только в когерентном состоянии квантового осциллятора. Когерентное состояние квантового осциллятора максимально близко к классическому. В когерентном состоянии неопределённости (дисперсии) координаты и импульса принимают минимальное значение $\Delta x = x / \sqrt{2}$, $\Delta p = \hbar / \sqrt{2}x$, где x - амплитуда нулевых колебаний основного состояния, а их произведение принимает вид $\Delta x \cdot \Delta p = \hbar/2$ [18]. Итак, соотношение неопределенностей $\hbar\omega$ -

механики принимает вид инверсного отношения, когда на языке квантов в $\hbar\omega$ -механике описываются траектории наиболее близкие к классическим.

Инверсная симметрия не является атрибутом только лишь классических теорий. Поэтому в квантовой теории поля она должна иметь место, и это должно отражаться в ее языке. Но очевидно, что язык шредингерской $\hbar\omega$ -механики не содержит обратного элемента для понятия кванта энергии поля, которое определяется словом фотон. Это свидетельствует о том, что множество квантовых понятий языка $\hbar\omega$ -механики не представляет собой полевое множество и что ее аксиоматическая база, по-видимому, не полна. Затруднительно развивать квантовую теорию физических полей, используя «неполевой язык» стандартной $\hbar\omega$ -механики, если в ее аксиоматике нет симметричных математических уравнений, а в языке нет инверсно-симметричных дуальных понятий, всесторонне отражающих сущность поля.

Абстрактный язык любой глубокой теории должен быть адекватен сущности объекта ее исследований во всей его полноте. И как отмечено выше, адекватный язык имеет решающее значение. Поэтому необходим поиск оптимального дополнения языка квантовой теории инверсными понятиями, а, следовательно, и соответствующими им физическими константами.

В этой работе рассматривается вариант введения в язык квантовой теории представления о кванте силы, и это влечет за собой ряд новых смыслов. Отметим, что произведение кванта действия и силы $\hbar \cdot H$ имеет размерность произведения энергии на импульс и может быть универсальным масштабом неопределенности в фазовом пространстве дуальной механики. Произведение (1) квантов циркуляции и стремления может характеризовать объем неопределенности скорости частицы в пространстве скоростей. А произведение энергий $(H\lambda_i) \cdot (\hbar\omega)$ двух инверсно связанных квантов, у которых произведение частоты и длины волны будет соответствовать скорости света $c = \lambda_i\omega/2\pi$, дает величину $H\hbar c$ с размерностью квадрата энергии. Следовательно, инверсный радиус, вытекающий из пересечения понятий об энергиях инверсно связанных квантов, может дать универсальную фундаментальную единицу энергии квантовых полей дуальной волновой механики.

4. Квантовая механика должна быть переплетена симметриями дуальности

Любая фундаментальная теория, претендующая на глубокое отражение действительности, должна быть дуальной и основываться на представлениях о взаимодополняющих противоположностях.

Дуальность в разных формах должна быть присуща и квантовой механике, являющейся одним из оснований современной физики.

Альманах современной метрологии, 2016, №7

Необходимость создания дуальной квантовой механики была понята физиками-теоретиками в процессе перехода от различных видов струнных теорий к формулировке общей M -теории струн. Это произошло на исходе XX века в процессе второй суперструнной революции, когда была осознана важная роль дуальностей в будущей M -теории, объединяющей пять вариаций теории струн [19].

Пять вариантов суперструнных теорий связаны между собой преобразованием дуальности (S , T и U симметрией дуальности), и это означает, что каждое явление и качественное понятие из одной теории в каком-либо предельном случае имеет свой аналог в другой теории, а также имеется своеобразный «словарь» перевода из одной теории в другую. Возможен, например, переход описания движения струны по окружности крупного масштаба R к описанию движения в малом инверсном масштабе $\sim L^2/R$, где L - длина струны. Отметим, что в рамках струнных теорий понятие струны - это прообраз частицы.

Дуальности могут связывать величины, на первый взгляд, различные или даже взаимоисключающие. Ранее большие и малые масштабы, сильные и слабые константы связи считались совершенно чёткими пределами описания поведения физических систем, как в классической теории, так и в квантовой. Но в ходе второй суперструнной революции было показано, что в общей теории описание взаимодействий с большой константой связи может быть преобразовано в описание с малой константой связи. Стало ясным то, что варианты суперструнных теорий взаимосвязаны и являются различными пределами одной фундаментальной теории.

Эдвард Виттен выдвинул тезис о том, что не только M -теория, но и квантовая механика должна быть тесно переплетена симметриями дуальности. Он заявил в своем интервью, что логический статус квантовой механики скоро изменится. Кумрун Вафа, в свою очередь, заявил, что близка переформулировка квантовой механики, которая разрешит многие из ее загадок [19]. Но позже Брайан Грин в своей выдающейся книге, названной журналом *American Scientist* «хорошо написанным отчетом с переднего фронта физики», написал: «С разумным оптимизмом можно предположить, что переформулировка принципов квантовой механики в рамках теории струн может привести к более мощному формализму, но в настоящее время никто не знает, как реализовать такой подход» [19].

Такие сообщения авангарда современной теоретической физики стимулируют проверку эвристической мощности дуального инверсно-симметричного $\hbar H$ -формализма в квантовой механике, который был предложен еще до второй струнной революции [5]. Такой дуальный подход содержит в себе надежду, что имеющиеся различия в описании движения частиц в большом и малом масштабах и в теоретическом объяснении различных взаимодействий с большой и малой константами связи будут

Альманах современной метрологии, 2016, №7

устранены, опираясь на новую логику взаимосвязанностей инверсно-симметричных дуальных физических констант в будущей унифицированной теории.

Сейчас для описания тяготения классические теории используют константы, имеющие различную размерность. В ньютоновской теории используется константа G , единицей измерения которой в SI является $\text{кг}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-2}$, но в уравнениях ОТО, связавших характеристики искривленного пространства-времени с находящейся в ней материей, фигурирует эйнштейновская гравитационная постоянная $\acute{\alpha} = 8\pi G/c^4$ с единицей измерения в SI - $\text{кг}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^2$, то есть эйнштейновская константа $\acute{\alpha}$ имеет размерность, обратную размерности силы. В общепринятом виде уравнения ОТО имеют вид:

$$R_{\mu\nu} - (1/2) g_{\mu\nu}R = \acute{\alpha}T_{\mu\nu}, \quad (5)$$

где $R_{\mu\nu}$ тензор кривизны Риччи, $R = R_{\mu\nu}g^{\mu\nu}$ – скалярная кривизна, а $T_{\mu\nu}$ – тензор энергии-импульса материи. Отметим, что предсказываемые ОТО эффекты, логически вытекающие из уравнения (5), проявляются вблизи больших масс, в области сильных полей, когда кривизна пространства значительна.

Очевидно, что наряду с классическими теориями гравитации, использующими константы $\acute{\alpha}$ и G , возможно развить язык инверсной $i\hbar$ -теории на основе квантовой константы $\hbar \sim 1/\acute{\alpha}$ с размерностью силы. Такую $i\hbar$ -теорию можно применить для описания гравитации. Можно сразу же утверждать, что $i\hbar$ -теория с константой обратной эйнштейновской постоянной $\acute{\alpha}$ может найти свое эффективное применение в противоположной ОТО области - там, где поле слабое и кривизна пространства мала. Следовательно, вдали от центра тяготения в слабом поле при описании динамики малой массы возможна проверка эвристической мощности $i\hbar$ -теории, и здесь она должна выявить возможные новые эффекты гравитации.

Проверка инверсной $i\hbar$ -теории лежит в практической плоскости интерпретации результатов измерений, а потому является задачей не только фундаментальной физики, но и метрологии. Только измерения и их анализ могут подтвердить эвристический потенциал инверсной теории и перспективы ее развития. Результаты эксперимента, выявившего аномалию Пионеров, дают возможность проверки логической мощности квантового \hbar -формализма, рассматривающего дуальность действия и силы.

5. Уравнения дуальной волновой механики

В стандартной $\hbar\omega$ -механике модель квантового гармонического осциллятора дает представление о фотоне, используется при описании

атома и является основой квантовой электродинамики. Стандартное уравнение Шредингера для волновой функции $\psi(x, \omega)$ осциллятора массой m имеет вид:

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \psi = 0 . \quad (6)$$

Для масштаба атома характерен малый его пространственный размер x и большая угловая частота ω . В масштабе атома, когда $x \rightarrow 0$, квантовый характер имеет величина $m\omega x^2$, размерность которой соответствует размерности кванта действия. Спектр энергии осциллятора

$$E_N = \hbar\omega(N+1/2), \quad (7)$$

где $N = 0, 1, 2, \dots$. Из уравнения (6) следует соотношение неопределенностей - $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar/2$, где Δp и Δx - неопределенности импульса и координаты. Описываемый уравнением (6) квантовый осциллятор назовем - ω осциллятором.

Прежде чем записать волновое уравнение в рамках логики $i\hbar x$ -механики, отметим инверсную симметрию потенциальной энергии $U = m\omega^2 x^2/2$ гармонического осциллятора относительно координаты x и угловой скорости ω . Такая симметрия дает основание предполагать, что в колебательной системе, для масштаба которой характерны большой размер x и малая угловая скорость $\omega \rightarrow 0$, должна квантоваться сила $m\omega^2 x$, но не действие $m\omega x^2$. Квантованной силе должна соответствовать константа - квант силы, равный минимальному шагу \hbar изменения силы. Итак, симметрия дает основания рассмотреть уравнение с квантом силы для волновой функции $\psi_i(\omega, x)$, которая будет описывать инверсный $i\hbar x$ -осциллятор [6]:

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi_i}{d\omega^2} + \left(E - \frac{m\omega^2 x^2}{2} \right) \psi_i = 0 . \quad (8)$$

Это уравнение удовлетворяет требованиям размерности и дает разрешенные значения для энергии квантового $i\hbar x$ -осциллятора

$$E_n = \hbar x(n+1/2), \quad (9)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$. Соотношение неопределенностей для $i\hbar x$ -осциллятора - $\Delta p \cdot \Delta \omega \geq \hbar/2$, где Δp и $\Delta \omega$ - неопределенности импульса и угловой скорости.

Уравнение (8) можно соотнести гравитационному взаимодействию в астрономических и космологических системах, у которых размер x велик, а угловая скорость вращения масс вокруг центра тяготения предельно мала. В таких мегасистемах $\hbar x \gg \hbar \omega$, и в них изменение энергии будут обеспечивать инверсные $\hbar x$ -кванты. Отметим, что для атома характерно $\hbar \omega \gg \hbar x$, и скачки энергии в атоме реализуют $\hbar \omega$ -кванты.

Значения дискретного ряда энергий $i\hbar\omega$ -осциллятора пропорциональны пространственной координате x , что соответствует энергии частицы в постоянном поле. Поэтому уравнение (4) дает возможность описания квантования энергии частицы при медленном ее движении в постоянном поле. Это имеет важное методическое значение, так как с помощью волнового по форме уравнения можно описать не только медленно изменяющееся, но и статичное потенциальное поле.

Уравнения (6) и (8) могут быть основой вероятностного описания на языке волновых функций $\psi_N(x, \omega)$ и $\psi_{in}(\omega, x)$ быстрых и медленных колебаний масс в малых и больших пространственных масштабах, их статичных состояний, как в электромагнитном, так и в гравитационном поле. В основе такого вероятностного описания будет лежать представление не только о волнах де-Бройля в атоме, но также о длинных инверсных волнах вероятности с иной, чем у волн де-Бройля, дисперсией [6].

Выполненный логический переход от классической постоянной G к ее квантовому инвесно-симметричному аналогу \hbar позволил записать симметричную систему волновых уравнений дуальной механики (6) и (8). Это открывает возможность создания общего квантового языка для вероятностного описания как энергетических состояний атома, так и движения масс в больших мегаструктурах Вселенной.

В рамках стандартной $\hbar\omega$ -механики показано, что на уровне основного квантового состояния E_0 до половины энергии электромагнитных колебаний может прямо преобразовываться в механическую энергию [20]. Поля различной природы при движении масс могут прямо обмениваться энергией на уровне основного состояния. Энергия $E_0 = \hbar\omega/2$ основного (вакуумного) состояния ω -осциллятора (7) пропорциональна его размерам [20]. А так как у изолированного ω -осциллятора координата x соответствует размерам осциллирующей системы, то можно говорить, что уравнение $i\hbar$ -осциллятора (8) дает дополнительное вероятностное описание вакуумного состояния ω -осциллятора.

Известно, что на взаимодействие электрона с ядром атома оказывает влияние энергия вакуумного уровня электромагнитного поля. Это дает несколько большую энергию их взаимодействия, чем та энергия, которую задает кулоновский потенциал ядра. В атоме водорода взаимодействие его электрона с вакуумом вызывает небольшой сдвиг энергетического уровня

$5S_{1/2}$. Это приводит к лэмбовскому сдвигу уровней в атоме водорода – эффекту квантовой электродинамики, который в 1947 году экспериментально установили Лэмб и Резерфорд, а теоретически объяснил Бете. В гравитационном поле энергия $E_0 = \hbar\chi/2$ его вакуумного состояния также может дать дополнительную энергию взаимодействия пробной массы с центральным телом. В терминах дуального $\hbar\mathcal{H}$ -формализма вакуумное состояние гравитационного поля должно проявляться в виде дополнительного вакуумного ускорения малой массы в слабом гравитационном поле. Детали этого будут рассмотрены в следующем разделе статьи.

В симметричной форме системы уравнений (6) и (8) фигурирует одинаковая масса m . Но в реальных осциллирующих системах этого нет. При необходимости получения описания не только микросостояний атома водорода, но и его движения как целого, симметрия уравнений (6) и (8) относительно m нарушается. В уравнении (6), которое лежит в основе описания состояний электрона в атоме, должна фигурировать приведенная масса $m_1 = m_e m_p / (m_p + m_e)$, близкая к массе электрона m_e . В уравнении (8), которое может быть основой описания движения атома водорода в гравитационном поле, должна фигурировать масса $m_2 = (m_p + m_e)$, близкая к массе протона m_p . Это свидетельство того, что полная симметрия между массами составных частей осциллирующей системы неустойчива, а потому, в частности, массы электрона и протона в атоме водорода не равны. В процессе случайной эволюции и самоорганизации Вселенной спонтанное нарушение симметрии реализовало ассиметричные значения масс частиц. Но отметим, что произведение масс $m_1 m_2$, входящих в (6) и (8), будет инвариантом, который будет равен $m_e m_p$.

Нарушение симметрии породило не только разнообразие масс частиц, но и качественное различие физических констант, которые определяют закономерности осцилляций в электромагнитном и гравитационном полях. В дуальной волновой механике для электромагнитного поля характерна константа \hbar , качество которой определяет размерность действия, а для слабого гравитационного поля характерна константа \mathcal{H} , имеющая качество, определяемое в физике понятием силы. Для единого описания в терминах волновых функций, как внутриатомных состояний, так и участия атома в масштабном движении, задаваемом гравитацией, необходимо восстановить скрытые, но не утраченные в ходе эволюции Вселенной, симметрии. Одна из таких скрытых симметрий – это инверсная симметрия, которую отражают уравнения (6) и (8) с константами действия и силы.

Инварианту де-Бройлевских волн – кванту циркуляции $\hbar/2m_e$ и инварианту инверсных волн вероятности – кванту стремления \mathcal{H}/m_p должны соответствовать классы решений системы (6) и (8) с двумя инвариантами ωx^2 и $\omega^2 x$ [5-7]. Произведение решений с инвариантами ωx^2 и $\omega^2 x$ должно

дать третий инвариант $C_{i3} \sim \omega^3 x^3$. Инвариант C_{i3} должен быть пропорционален кубу скорости света c^3 и характеризовать минимально возможный объем неопределенности квантового состояния в пространстве скоростей. Взаимосвязи трех инвариантов можно поставить в соответствие такое соотношение комбинаций констант:

$$(k_0 c^3 / N_{D2}) = (\hbar / 2m_e) \cdot (\hbar / m_p) \quad , \quad (10)$$

где левая часть равна инварианту C_{i3} , k_0 - неопределенный безразмерный коэффициент порядка единицы, значение которого должна дать теория и подтвердить эксперимент, $N_{D2} = \alpha \hbar c / G m_e m_p$ - большое число Дирака, равное отношению кулоновской силы взаимодействия электрона и протона к их гравитационному притяжению, α - постоянная тонкой структуры, $\hbar = h / 2\pi$, $\hbar = \hbar / 2\pi$ [6]. Соотношение (10) было использовано при первых априорных теоретических оценках величины кванта силы. Оно по существу отражает инверсно-симметричную связь двух вторичных констант $\hbar / 2m_e$ и \hbar / m_p .

6. Неуниверсальная квантовая поправка ньютоновского закона тяготения

Из принципа эквивалентности следует, что движение пробного тела в поле тяготения можно равноценно описать, рассматривая движение одного протона. Классическую силу тяготения $F_{cl} = GMm_p/x^2$, действующую на массу m_p одного протона в поле большой массы M на расстоянии x от нее, можно представить в виде квантовой силы F_q , равной некоторому числу квантов силы $n\hbar = F_q$, где квантовое число $n \sim 1/x^2$. В таком случае квантовой энергии гравитационного взаимодействия $E_q = F_q x = n\hbar x$ должна соответствовать такая же классическая энергия $E_{cl} = GMm_p/x$. Представим это соответствие, как $(n\hbar x) \rightarrow (GMm_p/x)$. Но энергия квантового ix -осциллятора (8) на любом уровне имеет вакуумную добавку $\hbar x/2$, соответствующую энергии основного состояния $n=0$. Поэтому при квантовом описании энергия гравитационного взаимодействия E_q должна иметь вакуумную добавку, и ей должна соответствовать классическая энергия с такой же добавкой: $(n\hbar x + \hbar x/2) \rightarrow (GMm_p/x + \hbar x/2)$.

В пределе больших квантовых чисел $n \rightarrow \infty$, когда $x \rightarrow 0$, вакуумная добавка $\hbar x/2$ относительно мала, и величина классической энергии взаимодействия, определяемая ньютоновской теорией, практически не отличается от величины с вакуумной добавкой. Следовательно, переход к квантовому описанию движения масс на основе уравнения (8) будет удовлетворять принципу соответствия при больших значениях квантовых чисел.

При малых квантовых числах n , когда $x \rightarrow \infty$, энергия взаимодействия $n\hbar x + \hbar x/2$ сравнима с вакуумной добавкой $\hbar x/2$, и в этом случае может проявиться квантовый характер гравитационного взаимодействия. Это будет на больших расстояниях x между массами, когда поле большой массы M станет слабым. Поэтому для правильного описания слабого поля классическую силу тяготения F_{cl} , действующую на один нуклон m_p , необходимо рассматривать с вакуумной добавкой:

$$F_{cl} + \hbar/2 = GMm_p/x^2 + \hbar/2. \quad (11)$$

Из (11) следует, что и классическую напряженность поля $a_{cl} = GM/x^2$, создаваемого массой M , необходимо дополнить вакуумным ускорением $(1/2)a_g = \hbar/2m_p$, а потому пробное тело в поле массы M будет иметь ускорение:

$$a_{cl} + (1/2)a_g = GM/x^2 + \hbar/2m_p. \quad (12)$$

Предположение о квантовом характере силы приводит к выводу о большей напряженности слабого гравитационного поля на величину $(1/2)a_g = \hbar/2m_p$ по сравнению с величиной поля GM/x^2 , которое дает классическая теория тяготения.

Пробное тело, масса которого в основном формируется тем или иным количеством нуклонов, будет испытывать в слабом поле дополнительное вакуумное ускорение $(1/2)a_g$ - равное половине величины кванта стремления $a_g = \hbar/m_p$, и его можно рассматривать как имманентно присущее каждому нуклону качество, подобное спину. Вектор вакуумного ускорения нуклона $(1/2)a_g$ будет ориентироваться по градиенту гравитационного поля. Следовательно, порождаемое вакуумным уровнем гравитационного поля дополнительное ускорение малой массы будет проявляться не по отношению ко всем телам, формирующим гравитационный потенциал в месте нахождения пробной массы, а только с тем телом, которое создает доминирующее самое сильное поле. Такое доминирующее поле может создать близко расположенное тело даже с относительно малой массой или пространственно далекое тело с очень большой массой.

Подчеркнем, что ньютоновское тяготение предполагает равноценное взаимодействие пробной массы со всеми окружающими телами, оно универсально. Но дополнительное квантовое вакуумное ускорение иерархично, так как будет проявляться при взаимодействии пробной массы только с тем телом, которое создает наиболее сильное гравитационное поле в точке нахождения пробной массы.

На основе таких модельных представлений о неуниверсальности дополнительного квантового вакуумного ускорения можно строить объяснение так называемой пролетной аномалии (flybay anomaly). Так, при *Альманах современной метрологии, 2016, №7*

приближении зонда Пионер к планете и попадании в ее сферу доминирующего тяготения направление его вакуумного ускорения может переориентироваться с Солнца на планету. Поэтому, когда при движении пробный зонд входит в область доминирующего тяготения планеты, то его ускорение к планете будет больше рассчитанного по классическим моделям. Если спустя некоторое время зонд, двигаясь по гиперболической траектории, покинет эту область и снова войдет в область доминирования тяготения Солнца, то за время нахождения зонда в поле тяготения планеты он может приобрести дополнительную скорость за счет действия вакуумного ускорения, которое не учитывает классическая теория.

При описании реальных экспериментальных ситуаций перед дополнительным ускорением $(1/2)a_g$ в (12) может быть коэффициент k_{ge} порядка единицы. Его величина должна учитывать случайный характер энергии вакуумного состояния гравитационного поля, когерентность состояния ix -осциллятора и, возможно, вид траектории пробной массы. При удалении больше $20 a.e.$ для зондов Пионер доминирующий источник поля – Солнце. Как будет показано ниже, при описании движения зонда Пионер коэффициент k_{ge} будет равен $\sqrt{2}$, и теоретическая величина a_{oT} - дополнительного ускорения зонда будет соответствовать $a_{oT} = a_g / \sqrt{2}$, и оно будет направлено к Солнцу.

7. Априорная оценка величины кванта силы в рамках модели инверсной $i\hbar x$ -механики

Чтобы определить в (12) дополнительное ускорение, необходимо знать размер кванта силы. До появления сообщений об аномалии Пионеров в работе [5,6] была дана оценка кванта силы \hbar , в пределах порядка величины, а также в [6] была приведена первая оценка кванта силы $H_{[1]}$, которая предположительно рассматривалась как наиболее вероятной величины кванта силы:

$$H_{[1]} = 2Gm_p^2 m_e^2 c^2 / \alpha \hbar^2 \approx 3,4 \cdot 10^{-37} H . \quad (13)$$

Оценка (13) имела ряд оснований, в том числе вытекающих из космологических наблюдений и представлений симметрии, которые отражает соотношение инвариантов (10). Отметим, что (13) следует из инверсного соотношения (10) при $k_0 = 1$ и тогда $H_{[1]} = H$, или если в (10) $k_0 = 1/2\pi$, то тогда $H_{[1]} = \hbar$.

Соотношение (13) из семи констант при записи вытекающих из него различных пропорций имеет десятки рациональных физических смыслов. Это подтверждает универсальность комбинации. Безразмерный

коэффициент в (13) перед комбинацией констант был принят равным 2, но его точное значение необходимо было экспериментально подтвердить.

Определяемую выражением (13) столь малую силу - $3,4 \cdot 10^{-37}$ Ньютона, нельзя непосредственно измерить в эксперименте, так как она на 16 порядков меньше современных возможностей измерений силы [21]. Но косвенные измерения, например, отношения H/m_p могут дать значение кванта силы. Различные оценки, в том числе на основе данных об особенностях движения масс в коронах галактик, приводили к спектру значений кванта силы вокруг величины (13). Спектр значений охватывал порядок величины, так как сами космологические параметры известны с большой неопределенностью. Только на основе теории нельзя было априори сделать однозначный выбор о соответствии величины $H_{[1]}$ в (13) кванту H или величине $H = H/2\pi$. После ознакомления с экспериментальными данными [2] по аномалии Пионеров можно сделать вывод, что в выражении (13) $H_{[1]} = H$. Это позволяет выбрать размер кванта стремления $a_g = 2\pi H_{[1]}/m_p$ и выразить его комбинацией констант с двумя коэффициентами неопределенности $[k_r]$ и $[k_d]$:

$$a_g \approx [k_r] \cdot [k_d] \cdot 4\pi G m_p m_e^2 c^2 / \alpha \hbar^2, \quad (14)$$

где $[k_r]$ - фактор случайной непрерывной неопределенности, который может иметь значение в пределах $(1-1/2\pi) < [k_r] < (1+1/2\pi)$, а $[k_d]$ - фактор дискретной неопределенности. Фактор $[k_d]$ может иметь не одно дискретное значение. Наиболее вероятно, что $[k_d] \approx 1$, и менее вероятно, что $[k_d] \approx 1/\sqrt{2}$ либо $[k_d] \approx \sqrt{2}$.

Необходимо рассматривать предположение о существовании дискретного фактора $[k_d]$, так как возможна интерференция волновых функций ix - и ω - осцилляторов на фундаментальном уровне. Известно, что неопределенность состояния в $\hbar\omega$ -механике характеризуется не точкой в фазовом пространстве, а объемом пропорциональным \hbar . Но при совместном рассмотрении ix - и ω - осцилляторов, описывающих квантовое состояние одной частицы, объем неопределенности будет пропорционален $\hbar H$. Нельзя исключать, что в этом объеме у волновой функции $\psi(x, \omega)$ будет не один максимум. Это можно рассматривать как фундаментальную дискретную неоднозначность кванта силы и стремления. Такая неоднозначность может проявиться в виде тонкой дискретной структуры распределения случайного процесса, протекание которого в равной степени зависит от неопределенности состояний ix - и ω -осцилляторов, описывающих такой процесс.

Фактор $[k_r]$ в (14) характеризует фундаментальную случайную неопределенность измерения кванта стремления в любом эксперименте, и

он введен спекулятивно. По-видимому, есть фундаментальная случайная составляющая реакции микрочастиц на слабое поле, обусловленная случайным характером основного состояния поля, что можно представить как неопределенность кванта силы и стремления. Поэтому сила, действующая на частицу в выделенной точке поля, не будет постоянной, а будет описываться квадратом волновой функции вакуумного состояния, т.е. гауссовой кривой нормального распределения, имеющей дисперсию. Относительное среднеквадратичное отклонение значения кванта силы от номинального будет равно $\Delta H/H = \pm 1/2\pi$. Поэтому теория может предлагать более точное центральное значение кванта стремления, но в любой экспериментальной процедуре результат измерения будет находиться в пределах $a_g(1 \pm 1/2\pi)$, т.е. квант стремления не может быть измерен точнее, чем с фактором неопределенности $[k_r]$. Если такой вывод верен, то приведенная в (1) ошибка измерений $\Delta a_o = \pm 1,33 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2$, которая получена на основании многолетнего эксперимента с большой статистикой, столь же информативна, как и само среднее значение $a_o = 8,74 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2$ аномалии. Заметим, что эксперимент с зондами Пионер дал величину отношения $\Delta a_o/a_o \approx \pm 1/2\pi$.

8. Теоретические оценки размера констант дуальной волновой механики

Приведем вытекающие результаты теоретических оценок наиболее вероятных значений кванта силы H , кванта стремления a_g и вакуумного ускорения a_{oT} :

$$H \approx 4\pi G m_p^2 m_e^2 c^2 / \alpha \hbar^2 = 2,15 \cdot (1 \pm 1/2\pi) \cdot 10^{-36} \text{ Н}. \quad (15)$$

$$H \approx H/2\pi = 3,42 \cdot (1 \pm 1/2\pi) \cdot 10^{-37} \text{ Н}. \quad (15a)$$

$$a_g = H/m_p \approx (12,9 \pm 2,1) \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2. \quad (16)$$

$$a_{oT} = a_g / \sqrt{2} \approx (9,1 \pm 1,5) \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2. \quad (17)$$

При получении этих оценок было принято, что фигурирующий в (9) фактор $[k_d] = 1$. Такой выбор фактора подтверждает экспериментальный результат (1). Очевидно хорошее совпадение теоретической оценки (17) вакуумного ускорения a_{oT} массы в слабом гравитационном поле и экспериментального значения (1) для аномального ускорения a_o зондов Пионер.

Нельзя исключать, что экспериментально полученная величина аномального ускорения a_o в (1) может содержать систематическую ошибку из-за неучета некоторых факторов. К таким факторам можно отнести пространственную неравномерность теплового излучения зонда Пионер в космосе. Необходимы новые траекторные измерения аппаратов в глубоком космосе и новые экспериментальные результаты для подтверждения концепции квантового характера силы и однозначного определения величины фактора неопределенности $[k_d]$.

Отметим здесь для сравнения теоретическую оценку величины аномального ускорения $a_{o[22]}$, данную в работе [22]. В [22] было сделано предположение, что аномалия Пионеров a_o представляет собой тонкий квантовый эффект, который можно представить комбинацией констант:

$$a_{o[22]} = (\ln 2/16\pi) G m_p^3 c^2/h^2 = 8.83 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2 \quad (18)$$

В рамках своей модели автор [22] не смог провести подробный квантовый расчет, но указал, что если выбрать перед комбинацией констант в (18) безразмерный коэффициент $\ln 2/16\pi$, получается удивительное совпадение со значением аномалии Пионеров.

9. Квант силы и постоянная Хаббла

К трем вышеуказанным в разделе 7 оценкам может быть добавлена еще одна, связанная со значением постоянной Хаббла в рамках дуального $\hbar H$ -формализма. Отметим, что в логике стандартной $\hbar\omega$ -механики рассматривается упругое рассеяние фотонов с энергией $\hbar\omega$ на слабо связанном электроны. Это дает идею комптоновской длины волны электрона $\lambda_C = h/m_e c$ – вторичной константы, которая играет важную роль в квантовой электродинамике.

Рассмотрим подобный вид рассеяния в инверсной $i\hbar x$ -механике. Известно, что межзвездный газ на 90% состоит из атомов водорода в ионизованном состоянии. Такой газ в терминах гравитационного взаимодействия представляет собой газ слабо связанных микрочастиц с массой протона m_p . Если рассмотреть упругое рассеяние на таких микрочастицах инверсных квантов основного состояния (своеобразных i -фотонов) с энергией $i\hbar x/2$, тогда мы приходим к выводу, что в $i\hbar x$ -механике должна иметь место константа $\Omega_{T\hbar} = \hbar/2m_p c$ с размерностью частоты. С учетом оценки (15) для величины кванта силы \hbar константа $\Omega_{T\hbar}$ равна

$$\Omega_{T\hbar} = \hbar/2m_p c = (2,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1} \quad (19)$$

Комптоновская длина волны λ_C и частота $\Omega_{T\hbar}$ – это пример инверсно связанных вторичных констант $\hbar\omega$ - и $i\hbar x$ -механики. Роль константы $\Omega_{T\hbar}$ в Альманах современной метрологии, 2016, №7

формализме *iħx*-механики мегасистем должна быть подобна той, которую играет комптоновская длина волны λ_C в квантовой электродинамике.

Константа $\Omega_{ТГЬ}$ должна иметь аналог не только в квантовой $\hbar\omega$ -механике, но и в классической теории. Для процессов, протекающих в мегамасштабах, известна константа с размерностью обратной времени c^{-1} , то есть в герцах, – это постоянная Хаббла H_{Hubble} , но ее обычно выражают в км/с на мегапарсек. Наиболее точное значение H_{Hubble} (и соответствующее значение Ω_{Hubble}) было получено с помощью инструментов, размещенных в космосе, и ее наиболее надежная оценка, полученная на основании космологических наблюдений, соответствует [23]:

$$\begin{aligned}\Omega_{Hubble} &= (2,197 \pm 0,025) \cdot 10^{-18} \text{ Гц}, \\ H_{Hubble} &= 67,8 \pm 0,77 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}.\end{aligned}\quad (20)$$

В рамках формализма *iħx*-механики частота $\Omega_{ТГЬ}$ (19) может рассматриваться как теоретическое значение постоянной Хаббла $H_{ТГЬ}$. Используя выражение (15) и (19), можно выразить $H_{ТГЬ}$ (и соответствующее значение $\Omega_{ТГЬ}$) в виде следующей комбинации констант и выразить в км/с на мегапарсек:

$$H_{ТГЬ} = 2\pi G m_p m_e^2 c / \alpha \hbar^2 = 66,4 \pm 10,5 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпс}^{-1}.\quad (21)$$

Очевидно, что теоретическое значение величины константы $H_{ТГЬ}$, полученное формально-логически в рамках дуальной волновой механики, предполагающей квантовую природу силы, хорошо согласуется со средним значением постоянной Хаббла H_{Hubble} из космологических наблюдений.

Следует подчеркнуть, что частота $\Omega_{ТГЬ}$ в *iħx*-механике и H_{Hubble} в космологии являются константами различных теорий. Первая – характеризует рассеяние в межзвездной среде инверсных квантов вакуумного состояния, а вторая – скорость разбегания галактик. Сегодня мы можем только предполагать, что в согласии с принципом соответствия они должны быть равны. Развитие логики дуальной механики позволит создать словарь, связывающий квантовые термины *iħx*-механики и космологии. Потребуется также модификация квантовой теории измерений для анализа экспериментальных ситуаций, когда их можно равноценно объяснить в рамках как $\hbar\omega$ -, так и *iħx*-механики.

10. Объяснение аномального ускорения Пионеров

Движение зонда Пионер массой ~ 250 кг по гиперболической траектории со скоростью ~ 12 км/с при удалении от Солнца более 20 *a.e.* определяется гравитационным взаимодействием зонда и Солнца, почти не возмущенным

действием других сил. В частности, сила светового давления излучения Солнца становится незначительной [2].

Теоретически дополнительное ускорение зондов можно определить, если рассматривать движущийся в глубоком космосе зонд в качестве ix -осциллятора, который находится в когерентном состоянии. В рамках представлений рассматриваемой модели напряженность солнечного поля тяготения уменьшается дискретно с шагом $a_g = \hbar/m_p$. Сила тяготения Солнца, действующая на массу m_p одного протона в составе зонда, будет уменьшаться не непрерывно, а скачками с шагом \hbar , но в среднем изменение силы будет следовать ньютоновскому закону.

Ньютоновская напряженность поля Солнца на удалении большем 20 a.e. изменяется по мере роста расстояния очень медленно, и скачки силы тяготения, действующей на каждый нуклон зонда, несмотря на большую скорость зонда, будут происходить реже одного раза в несколько десятков секунд. А между скачками на нуклон, как и на зонд в целом, будет действовать постоянная сила. Отметим, что в стандартной $\hbar\omega$ -механике именно путем быстрого скачка с уровня на уровень реализуется способ создания в квантовой системе когерентного состояния [18].

Согласно (9) на вакуумном уровне $n=0$ ix -осциллятор массой $m = m_p$ имеет энергию $E_0 = \hbar x/2$. На любом другом уровне n ix -осциллятор, находясь в когерентном состоянии, будет иметь среднеквадратичную вакуумную добавку $\hbar x/\sqrt{2}$ к энергии E_n этого уровня [7,18]. Это эквивалентно действию дополнительной силы $\hbar/\sqrt{2}$ на массу m_p , что дает указанное выше в (17) дополнительное ускорение $a_g/\sqrt{2}$ как одному протону, так и массе зонда в целом.

Размер дополнительного ускорения можно также оценить на основе представления о суперпозиции состояний у каждого из двух взаимодействующих ix - и ω -осцилляторов. При когерентности каждого из этих осцилляторов рассмотрение их взаимодействия на любом уровне эквивалентно рассмотрению на уровне основного состояния. Пусть два таких осциллятора соответствуют одной физической системе – «плывущему в вакууме» и медленно вращающемуся зонду Пионер. При этом ix -осциллятор описывает энергию зонда в поле тяготения, а ω -осциллятор – собственную энергию медленного вращения зонда. Вблизи уровня основного состояния эти два осциллятора могут обмениваться энергией и при этом попеременно находиться на своих уровнях 0 или 1. Оценка на основе представления, что каждый осциллятор пребывает в суперпозиции своих двух состояний $\psi_0 + \psi_1$, также дает размер дополнительного ускорения (17).

Теоретическую оценку размера a_{oT} можно дать и на основе простых

представлений подобных термодинамическим. На каждую из двух осей плоскости орбиты зонда приходится среднее значение вектора вакуумного ускорения зонда $a_g/2$, что будет давать их векторную сумму $a_g/\sqrt{2}$. После выхода зонда за пределы влияния внешних планет этот вектор будет ориентирован к Солнцу и иметь размер, соответствующий (17).

11. О физической природе аномалии Пионеров

В [24,25] показано, что на основе универсальной модификации закона тяготения Ньютона для всех взаимодействующих масс, например, в виде отклонения от закона обратных квадратов по мере роста расстояния, нельзя непротиворечиво объяснить аномалию Пионеров. При таком отклонении от закона Ньютона наблюдались бы особенности в траекториях движения естественных спутников (лун) внешних планет Солнечной системы, находящихся на тех же расстояниях от Солнца, где были зонды. А эти луны не проявляют особенностей, которые наблюдались бы в случае универсального отклонения от закона Ньютона. Это дало основание автору [24] поставить вопрос: может ли иметь аномалия Пионеров гравитационную природу?

В разделе 5 показано, что наличие дополнительного вакуумного ускорения у малой пробной массы в слабом поле не приводит к универсальному изменению закона Ньютона. Дополнительное ускорение может проявиться только при взаимодействии зонда с одной из окружающих масс, которая задает самое сильное гравитационное поле в месте нахождения зонда.

Зонд Пионер, имея малую массу и размеры, последовательно пробегает квантовые ступени слабеющего поля на удалении от Солнца более 20 а.е. Зонд своей малой массой локально не искривляет пространство, а потому может «прочувствовать» квантовый характер гравитационного поля слабой напряженности и проявить связанный с этим эффект небольшой вакуумной добавки к ускорению, определяемому классическими законами. Планеты и их луны имеют большие размеры, своей значительной массой создают локально сильные поля и вносят вклад в кривизну пространства. Связанные с этим тонкие классические эффекты тяготения описываются ОТО. Поэтому взаимодействие планет и их лун с Солнцем будет соответствовать ньютоновскому закону с поправками ОТО, и особенности, вызванные вакуумным ускорением, в поведении орбит лун внешних планет не должны проявляться.

Рассмотренная модель позволяет сделать вывод о том, что гравитационная природа аномалии Пионеров не исключается. А ответ на вопрос о сущности аномалии определяется природой H_x -квантов и

вакуумной энергии. Природу \hbar -квантов можно глубже понять, используя понятия языка суперсимметрии. Выполненный же выше анализ в рамках формализма дуальной волновой механики приводит к выводу, что аномалия Пионеров имеет вакуумную квантово-механическую природу.

Заключение

Анализ результатов траекторных измерений зондов Пионер, проведенный в рамках представленной модели, позволяет выдвинуть следующие предварительные утверждения:

- напряженность слабого гравитационного поля квантована, и шаг квантования равен $a_g \approx (12,9 \pm 2,1) \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2$;

- тело малой массы в слабом гравитационном поле должно испытывать дополнительное вакуумное ускорение $a_{oT} = a_g / \sqrt{2} \approx (9,1 \pm 1,5) \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2$ по направлению к доминирующему источнику гравитационного поля;

- дополнительное аномальное ускорение a_o зондов Пионер должно быть направлено к Солнцу после того, как зонды покинули область влияния внешних планет Солнечной системы;

- теоретические выражения для кванта силы \hbar , кванта стремления $a_g = \hbar/m_p$, аномального ускорения a_{oT} зондов Пионер и постоянной Хаббла могут быть представлены в виде комбинаций фундаментальных физических констант.

Полученная в рамках рассмотренной модели теоретическая оценка дополнительного вакуумного ускорения a_{oT} пробной массы в слабом поле хорошо согласуется с экспериментальным результатом для аномального ускорения a_o зондов Пионер. Следовательно, при объяснении аномалии Пионеров логика дуальной волновой механики подтвердила свою эвристическую эффективность. Дальнейшее развитие такой логики открывает возможность для объяснения еще одной аномалии, так называемой пролетной аномалии (flyby anomaly), выявленной при гравитационных маневрах космических аппаратов в поле тяготения планет [4,3].

В начале XX века А. Пуанкаре высказал идею построения общей теории всех физических сил с учетом квантовой концепции М. Планка. В этом направлении двигалась вся физика XX века, что привело к созданию таких фундаментальных теорий, таких как КЭД, квантовая теория электрослабых взаимодействий, квантовая хромодинамика. Идея Пуанкаре не предполагала выделения гравитации в нечто исключительное по сравнению с другими физическими взаимодействиями. Он предлагал единый подход к описанию всех физических сил и взаимодействий. Пуанкаре можно считать вдохновителем развития направления, в котором гравитация рассматривается как

материальное поле в плоском пространстве-времени, подобно тому, как описывается электромагнитное поле [16,17]. Но следует отметить, что все попытки квантования гравитации в рамках Ghc -теорий, использующих одну квантовую константу \hbar и две классических константы G и c , закончились неудачей [13,14].

Рассмотренная модель дуальной волновой механики не претендует на отношение к ней, как к некоей квантовой теории гравитации. Она только лишь указывает новый отправной пункт для построения общей $\hbar c H$ -теории, в которой необходимо использовать помимо постоянной Планка \hbar новую квантовую константу силы H , обратно пропорциональную эйнштейновской гравитационной постоянной κ . Развитие $\hbar c H$ -теории с двумя квантовыми константами \hbar и H открывает реальную перспективу теоретического описания на одном квантового языке гравитации и электромагнетизма. В настоящей статье, а также в [7], в самой общей форме показано, что, оперируя понятиями $\hbar\omega$ и Hx квантов, возможно в терминах волновых функций описать особенности движения масс в слабом гравитационном поле мегасистемы. И на основе двух квантовых констант \hbar и H и одной классической константы - скорости света c возможно создать единое логическое пространство $\hbar c H$ -теории.

Ранее модель дуальной волновой механики с двумя квантовыми константами \hbar и H не имела экспериментальных оснований, а космология и метрология давали лишь нечеткие предпосылки для рассмотрения такой физической концепции. Из-за своей малой величины квант силы H – это ненаблюдаемый «логический кварк», так как он непосредственно не может быть измерен. Квантовый характер гравитационной силы могут подтвердить только косвенные измерения. Траекторные измерения, которые выявили аномалию Пионеров, - это первый эксперимент, который дал косвенные, но веские основания для использования в физике и метрологии представлений о квантовых константах H и a_g с размерностью силы и ускорения.

В завершение статьи отметим, что концепция дуальной волновой механики рассматривает квантование не только действия, но и силы. И одна из целей дуальной волновой механики – это создание нового квантового языка для физической интерпретации в терминах волновых функций особенностей движения малых масс в слабом гравитационном поле. Выдвинутое предположение, что квантовая природа силы проявилась в эксперименте, выявившем дополнительное ускорение космических зондов Пионер 10 и 11, находит свое подтверждение на этом новом языке при использовании логики, близкой той, которая была развита в процессе создания квантовой механики.

В завершение отметим, что в рамках представленной в статье концепции траекторные измерения Пионеров, выявившие их аномальное ускорение, необходимо рассматривать как отправную точку для более точного
Альманах современной метрологии, 2016, №7

определения констант силы и ускорения, которыми оперирует дуальная волновая механика.

Литература

1. Anderson J.D. at all. Indication, from Pioneer 10/11/ Galileo, and Ulysses data, of apparent anomalous, weak, long-range acceleration// Phys.Rev.Lett., vol.81, №14, 1998, p.2858. [arXiv: gr-qc/9808081].
2. Anderson J.D. at all. Study of the anomalous acceleration of Pioneer 10 and 11. [arXiv:gr-qc/0104064v5 10 Mar 2005].
3. Anderson J.D., Campbell J.K., Nieto M.M. The energy transfer process in planetary flybys// New Astronomy, vol. 12 (5), p.383. [arXiv:astro-ph/0608087 Nov 2006].
4. P. G. ten Boom. A beacon of new physics: The Pioneer anomaly modelled as a path based speed loss driven by the externalisation of aggregate non-inertial QM energy. [arXiv:gr-qc/1205.3312v2], 2012.
5. Малимон А.Н. Модель частицы инверсной фотону. Труды 5-ого Российского симпозиума «Метрология времени и пространства».- Менделеево: ВНИИФТРИ, 1994, с.309.
6. Malimon A.N. The Wave Equation for Oscillator with Planck's Constant and with a Quantum of Force// Phys.Chem.Earth (A), vol.24, №8. 1999, p.721.
7. Малимон А.Н. Логика и язык дуальной волновой механики, рассматривающей квантовый характер не только действия, но и силы// Законодательная и прикладная метрология, т.120, № 5, 2012, с.58.
8. Малимон А.Н. Объяснение аномальных результатов траекторных измерений космических зондов Пионер 10 и 11 в рамках модели дуальной волновой механики. Материалы 6-ого Международного симпозиума «Метрология времени и пространства». - Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 17-19 сентября 2012, с.254.
9. Schiller C. General relativity and cosmology derived from principle of maximum power or force [arXiv:physics/0607090v1 Jul 2006].
10. Gibbons G.W. The Maximum Tension Principle in General Relativity. [arXiv:hep-th/0210109v1 11 Oct 2002].
11. Намбу И. Почему нет свободных кварков // УФН, 1978, т. 124, с. 146.
12. Славатинский С.А. Фундаментальные частицы.
<http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1184530&uri=text3.html>.
13. Горелик Г.Е. Матвей Бронштейн и квантовая гравитация. К 70-летию нерешенной проблемы// УФН, 2005, т.175(10), с.1093.
14. Барышев Ю.В. Полевая теория гравитации: желаемое и действительное// Гравитация, 1998, т.2, вып.2, с. 5.
15. Smolin Lee. The trouble with physics: the rise of string theory, the fall of a science, and what comes next. Penguin Book, London, 2007; ISBN.

Альманах современной метрологии, 2016, №7

-
- Ли. Неприятности с физикой: Взлет теории струн, упадок науки и что за этим следует. www.rodon.org/sl/nsfvtsunichzes/
16. Duff M.J., Okun L.B., Veneziano G. Dialogue on the number of fundamental constants// *JHEP03*, 2002, 023. arXiv:physics/0110060v3 13 Sep 2002.
 17. Bohm D. Quantum theory, Prentice-Hall., Inc. New York, 1952.
 18. Schleich W.P. Quantum Optics in Phase Space, Wiley, 2001. Шляйх В.П. Квантовая оптика в фазовом пространстве.- М.: Физматлит. 2005.
 19. Green B.R. The Elegant Universe. Superstrings, Hidden Dimensions and the Quest for the Ultimate Theory. W.W. Norton & Company Inc., N.Y. 2003. Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. Едиториал УРСС, часть V, 2004. [www.scorcher.ru/art/theory/Briyan_Grin/Briyan_Grin.php]
 20. Брагинский В.Б., Халили Ф.Я. Взаимодействие электромагнитных и механических колебаний на уровне основного квантового состояния// *УФН*, 1993, т.163(6), с.107.
 21. Воронцов Ю.И. Стандартные квантовые пределы погрешностей измерений и методы их преодоления// *УФН*, 1994, т.164(1), с.89.
 22. Makela J. Pioneer Effect: An Interesting Numerical Coincidence. [arxiv:0710.5460v1 29 Oct 2007].
 23. Ade P.A.R. et al. (Planck Collaboration) (22 March 2013). «Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results»// *Astronomy and Astrophysics*, **1303**: 5062. 2013arXiv1303.5062p.
 24. Tangen K. Could the Pioneer anomaly have a gravitational origin? [arXiv:gr-qc/0602089v4 23 Aug 2007].
 25. Iorio Lorenzo. Does the Neptunian system of satellites challenge a gravitational origin for the Pioneer anomaly? [arxiv.org/abs/0912.2947v1 15 Dec 2009].