

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В МИКРОСИСТЕМАХ С ПОМОЩЬЮ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Юденков Алексей Витальевич,
ФГБОУ ВО "СГУС", г. Смоленск, Россия,
aleks-ydenkov@mail.ru

Володченко Александр Михайлович,
Смоленский филиал РЭУ им. Г.В.Плеханова;
ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, г. Смоленск, Россия,
alexm2012@yandex.ru

Римская Лилия Павловна,
Смоленский филиал РЭУ им. Г.В.Плеханова,
г. Смоленск, Россия, lilirimska@yandex.ru

DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-10-12-18

Manuscript received 10 August 2022;
Accepted 14 September 2022

Ключевые слова: постоянная тонкой структуры, гравитон, марковский процесс, фазовое пространство

Для решения важных задач, связанных с излучением в микросистемах успешно используются методы квантовой электродинамики. В то же время остается ряд проблем (энергия вакуума, расходимость при локальном взаимодействии, физический смысл постоянной тонкой структуры), которые не разрешимы в рамках этой теории. Поэтому актуальной задачей является разработка альтернативных математических моделей, которые можно дополнительно использовать для исследования процесса излучения в микросистемах. В работе для моделирования процесса излучения в микросистемах используются марковские процессы с непрерывным временем и дискретными состояниями. Математическая модель основана на принципах неопределенности Гейзенберга и законах сохранения. Основным математическим аппаратом являются графы Колмогорова и соответствующие им системы уравнений. Ключевая идея состоит в том, что фазовое пространство частицы является дискретным. Модель дискретного фазового пространства отличается сравнительной простотой и эффективностью, позволяет применять к исследуемым явлениям хорошо развитую теорию марковских процессов. Масштаб модели и ее дискретная структура позволяют избежать неустраняемых сингулярностей. В статье представлены: оригинальная физическая интерпретация постоянной тонкой структуры, стохастический аналог закона красного смещения и величины гравитационного радиуса Шварцшильда, предложена стохастическая интерпретация постоянной тонкой структуры гравитационного поля. Проведен сравнительный анализ постоянных тонкой структуры для гравитационного и электромагнитного поля.

Информация об авторах:

Юденков Алексей Витальевич, ФГБОУ ВО "СГУС", г. Смоленск, заведующий кафедрой менеджмента и естественно-научных дисциплин, д.ф.-м.н., профессор

Володченко Александр Михайлович, Смоленский филиал РЭУ им. Г.В.Плеханова, г. Смоленск, заведующий кафедрой естественнонаучных и гуманитарных дисциплин; ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, г. Смоленск, доцент кафедры механизации к.ф.-м.н., доцент

Римская Лилия Павловна, Смоленский филиал РЭУ им. Г.В.Плеханова, г. Смоленск, доцент кафедры менеджмента и таможенного дела, к.ф.-м.н., доцент

Для цитирования:

Юденков А.В., Володченко А.М., Римская Л.П. Моделирование излучения в микросистемах с помощью цепей Маркова // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Том 16. №10. С. 12-18.

For citation:

Yudencov A.V., Volodchenkov A.M., Rimska L.P. (2022) Simulation of radiation in microsystems using Markov chains. T-Comm, vol. 16, no.10, pp. 12-18. (in Russian)

Введение

Работа является логическим развитием результатов, полученных в статьях [11], [12], [13]. В работе рассматривается математическая модель дискретного фазового пространства, основанная на принципе неопределенностей Гейзенберга и законах сохранения. Данная модель применяется излучение фотона свободной частицей (постоянная тонкой структуры), взаимодействие фотона с внешним гравитационным полем. Часть из этих явлений относятся к разделу квантовой оптики. Для их решения успешно используется теория квантовой электродинамики (КЭД). В то же время, существуют другие модели, которые в отдельных случаях оказываются проще, удобнее, следовательно, эффективнее. Например, для изучения вынужденного излучения можно использовать полуклассическую модель взаимодействия микросистемы и макроскопической системы. Также существует ряд нерешенных проблем электродинамики, которые можно или объяснить, или полностью избежать, используя альтернативные математические модели.

Математическая модель дискретного фазового пространства относится к полуклассическим моделям или квазиклассическим. Основное назначение модели – работа на квазиклассическом уровне с гравитационным полем. Однако, при ее использовании к изучению взаимодействия света с веществом и другими полями можно получить ряд интересных результатов.

В данной работе в рамках модели мы постараемся ответить, почему энергия вакуума конечна, дать оригинальную физическую интерпретацию постоянной тонкой структуры и постоянную тонкой структуры для гравитационного поля, получить на квазиклассическом уровне закон красного смещения и стохастическую интерпретацию горизонта событий.

Обзор литературы

Квантовая электродинамика является базовой теорией для изучения явлений, связанных с взаимодействием квантов электромагнитного поля с веществом. В работе [3] изложение теории основывается на «точке зрения» фотона, что в основном совпадает с логикой представленной работы. Понятие фотона можно ввести, используя классические уравнения Максвелла. Векторный потенциал A электромагнитного поля, входящий в уравнения Максвелла [5], можно представить в следующем виде:

$$A = \sum_k (a_k e^{ikr} + a_k^+ e^{-ikr}). \quad (1)$$

Здесь $a_k \sim e^{\omega_k t}$, $\omega = ck$.

Уравнение (1) описывает распространение в пространстве набора бегущих волн с определёнными импульсами и энергией. Можно показать, что эти волны поперечные и имеют две поляризации ($\alpha=1,2$). С учётом поляризации уравнения для векторного потенциала и гамильтониана имеют вид.

$$A = \sum_{k\alpha} (a_{k\alpha} e^{ikr} + a_{k\alpha}^+ e^{-ikr}), \quad (2)$$

$$H = \sum_{k\alpha} \frac{\hbar \omega}{2} (a_{k\alpha} a_{k\alpha}^+ + a_{k\alpha}^+ a_{k\alpha}). \quad (3)$$

Соответствующий гамильтониану (3) квантовый оператор.

$$\hat{H} = \sum_{k\alpha} \frac{\hbar \omega}{2} (\hat{c}_{k\alpha} \hat{c}_{k\alpha}^+ + \hat{c}_{k\alpha}^+ \hat{c}_{k\alpha}). \quad (4)$$

Матричные коэффициенты в уравнении (4) совпадают с коэффициентами в выражении (3) с точностью до множителя.

Для коэффициентов $\hat{c}_{k\alpha}, \hat{c}_{k\alpha}^+$ выполняется условие коммутации.

$$\hat{c}_{k\alpha} \hat{c}_{k\alpha}^+ - \hat{c}_{k\alpha}^+ \hat{c}_{k\alpha} = 1. \quad (5)$$

Оператор (4) формально совпадает с оператором Гамильтона для линейного осциллятора ([6] с.90). Соответствующие собственные значения энергии и импульса определяются формулами.

$$E = \sum_k \hbar \omega_k (n_{k\alpha} + 1/2), \quad (6)$$

$$P = \sum_k k (n_{k\alpha} + 1/2). \quad (7)$$

$n_{k\alpha}$ – целые числа.

Интерпретируя операторы $\hat{c}_{k\alpha}, \hat{c}_{k\alpha}^+$, как операторы уничтожения и рождения частиц соответственно, приходим к дискретности электромагнитного поля на микроуровне. Квантами электромагнитного поля являются векторные релятивистские частицы с определенной энергией и импульсом (фотоны). Фотон – релятивистская, нейтральная частица с линейным дисперсионным законом. Поскольку нельзя выделить его собственный момент (спин), то спин фотона связывают с его поляризацией. Поляризация фотона принимает два значения $\pm \hbar$.

Проанализируем формулу (6). При нулевых колебаниях энергия электромагнитного поля принимает значение

$$E = \sum_k \hbar \omega_k / 2).$$

При суммировании по бесконечному числу осцилляторов значение энергии электромагнитного поля стремится к бесконечности. Такой вывод Л.Д. Ландау связывал с отсутствием «полной логической замкнутости существующей теории» ([2] с 25).

Базовым процессом для построения теории квантовой электродинамики является излучение электроном единичного фотона.

Важно, что вероятность излучения фотона равна $\alpha = \frac{1}{137}$. Постоянная тонкой структуры в системе СИ имеет

$$\text{вид } \alpha = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 \hbar c}.$$

Одной из интересных проблем является выяснение физического смысла постоянной тонкой структуры ([4], [10], [17]). Напомним, что первоначально постоянная тонкой структуры определялась, как отношения скорости электрона на первой боровской орбите к скорости света. На сегодняшний день существует много оригинальных подходов к определению α , в том числе с использованием таких теорий, как теория струн. В рамках модели дискретного фазового пространства также можно получить физическую интерпретацию постоянной тонкой структуры, которая, на наш взгляд, заслуживает внимания.

Модель дискретного фазового пространства также пригодна для описания рассеяния фотона на электроне. Кроме этого, можно рассмотреть гипотетический процесс излучения и рассеяния на электроне гравитона.

Действие гравитационного поля на электромагнитные излучения на классическом уровне приводит, к так называемому, красному смещению [5]. Взаимодействие сильного гравитационного поля и электромагнитного поля на квантовом уровне приводит к гипотетическому излучению черной дыры ([15], [16]). Постараемся дать в рамках модели дискретного фазового пространства оригинальную интерпретацию излучения Хокинга и понятию гравитационного радиуса.

Результаты

Сформулируем основные положения, на которых базируется модель.

1. Частица и её поле являются единой физической системой. Система эволюционирует в фазовом пространстве.

2. В силу принципа неопределённости Гейзенберга фазовое пространство является дискретным. Объем элементарной ячейки фазового пространства h^s . Здесь s – число степеней свободы.

3. В дискретном фазовом пространстве можно ввести симплектическую структуру [1].

В данном случае симплектическая структура будет дискретной. То есть,

$$h \sim \Delta\omega^2 = \Delta p_1 \wedge \Delta q_1 + \dots + \Delta p_s \wedge \Delta q_s. \quad (8)$$

Из соотношения (8) следует, что минимальное значение псевдовектора сопоставимо с постоянному Планка.

4. Эволюция частицы в фазовом пространстве происходит за счет флуктуации энергии ΔE (следствие принципа неопределённости Гейзенберга) и представляет собой дискретный марковский процесс с непрерывным временем.

Вводя дискретную структуру в дискретное фазовое пространство, мы сразу убираем неустранимую сингулярность, которая возникает при описании гравитационного поля на планковских расстояниях и промежутках времени. С другой стороны, в предлагаемой модели теряют своё значения такие понятия как определенный момент времени, определённые координаты и т.д.

Замечание. Одним из эффективных и наглядных инструментов решения задач в КЭД являются диаграммы Фейнмана. В предлагаемой модели с учетом дискретности фазового пространства, будем использовать графы Колмогорова.

Эволюция дискретного фазового пространства частицы

Положим, что в результате облучения макроскопический наблюдатель обнаружил элементарную частицу (электрон). На рисунке 1 изображен граф эволюции фазового пространства свободного электрона.

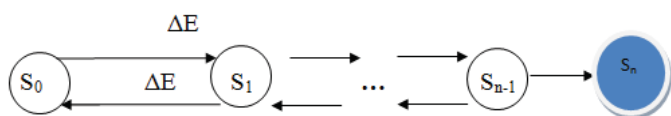


Рис. 1. Эволюция фазового пространства свободного электрона

Фазовое пространство можно разделить на две части.

1. Внешняя часть S_n является безмассовой. Движение границы фазового пространства детерминированное. В случае электрона границу фазового пространства можно отождествить с фотоном, излучённым электроном.

2. Внутренняя часть фазового пространства (массовая). Эволюция внутренней части происходит в результате броуновского движения частицы. Стохастичность изменения фазового пространства является следствием наличия у частицы массы (инерции).

В работах [11], [13] высказано предположение, что движение частицы, связанное с увеличением ее фазового пространства связано с электромагнитным полем. Движение частицы, приводящие к уменьшению фазового пространства, связано с действием гравитационного поля. Свободный фотон в рамках модели дискретного фазового пространства занимает одну элементарную ячейку. Собственное фазовое пространство фотона не эволюционирует. Его собственное время равно нулю. Поэтому движение фотона относительно электрона является детерминированным. Скорость роста фазового пространства электрона определяется энергией фотона. Энергия фотона связана с импульсом линейным законом

$$p = \frac{E}{c}.$$

В силу детерминированности движения фотона в фазовом пространстве направление этого движения не меняется. Это соответствует свойству фотона иметь две проекции спина h и $-h$. Все перечисленные свойства фотона совпадают с его свойствами, известными из КЭД.

При эволюции внутренней части фазового пространства может возникнуть случай, когда элементарная частица, находящаяся в момент времени t_1 в элементарной ячейке S_1 , в момент времени $t_1 + \Delta t$ останется в той же ячейке (рис. 2). В этом случае фазовое пространство не меняется. Не изменяется и энтропия системы «частица + фазовое пространство». Такое явление можно трактовать как массовый виртуальный фотон. Его импульс отличен от нуля в силу неопределенности Гейзенберга. Энергию фотона, поскольку не происходит изменения фазового пространства, можно считать равной нулю.

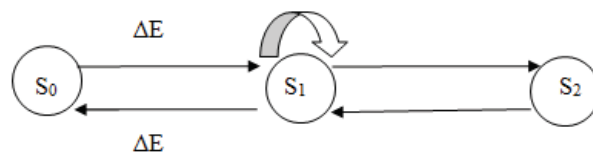


Рис. 2. Иллюстрация виртуального фотона во внутренней части фазового пространства

Постоянная тонкой структуры

Рассмотрим внутреннюю часть фазового пространства, достаточно удаленную от границы (рис. 3).

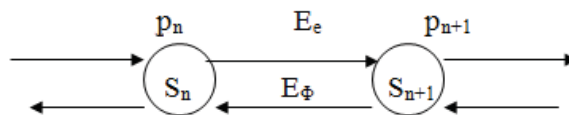


Рис. 3. Участок фазового пространства электрона, удалённый от границы

Если на электрон не действует внешнее поле, то распределение вероятностей электрона во внутренней части фазового пространства является равномерным.

$$\dots \approx p_n \approx p_{n+1} \approx \dots$$

То есть заряд электрона равномерно распределён по фазовому пространству. Можно сказать, что фазовое пространство электрона поддерживается силами электростатического взаимодействия.

Пусть электрон излучает фотон с энергией $E_\Phi = h\nu$ из ячейки S_{n+1} (рис. 4). Сразу отметим, что при излучении фотона с положительной энергией система «электрон + фазовое пространство» уменьшает свою энтропию, что связано с интенсивностью перехода E_Φ из ячейки S_{n+1} в ячейку S_n .

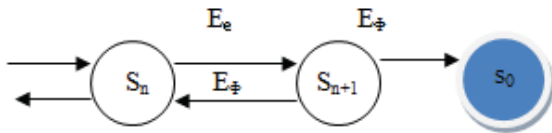


Рис. 4. Излучение фотона свободным электроном

Известная энергия фотона и принцип неопределённости Гейзенберга позволяют оценить расстояние между «виртуальными» электронами из ячеек при процессе излучения. Время процесса излучения $T = 1/\nu$. Линейные размеры ячейки $l \sim cT$.

Поскольку на электрон не действуют внешние силы, выбранная ячейка находится далеко от границы фазового пространства. Расстояние между ячейками можно оценить следующим образом:

$$r \sim \frac{cT}{2\pi}.$$

Запишем условия равновесия для ячеек S_n и S_{n+1} .

$$p_{n+1}E_\Phi = p_nE_e.$$

Отсюда

$$\alpha = \frac{p_{n+1}}{p_n} = \frac{1}{2\varepsilon_0} \frac{e^2}{hc}. \quad (9)$$

Схожие рассуждения по оценке постоянной тонкой структуры были использованы в работе [3]. Однако, при этом не использовалось понятие дискретного фазового пространства.

Так же постоянной тонкой структуры можно дать следующую интересную интерпретацию: α есть вероятность того, что массовая внутренняя ячейка дискретного фазового пространства превратится в граничную безмассовую волновую ячейку.

Постоянная тонкой структуры гравитационного поля

Постараемся перенести результаты, полученные при работе с электромагнитным полем на случай гравитационного поля. Для этого дадим определения гравитона в рамках предлагаемой модели. Гравитон является квантом гравитационных волн [14].

Гравитон релятивистская безмассовая частица. С одной стороны, гравитон должен двигаться вместе с фазовой границей. С другой стороны, гравитон должен выполнять основную функцию гравитационного поля: уменьшать фазовое

пространство. Поэтому гравитон должен иметь более сложное строение по сравнению с фотоном.

Положим, что гравитон состоит из двух элементарных ячеек.

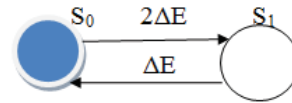


Рис. 5. Схематичное изображение гравитона

Ячейка S_0 является внешней, S_1 – внутренней. Модель. Представленную на рисунке 5 можно трактовать, как минимально возможную черную дыру.

Внутренняя часть гравитона имеет отрицательную энергию относительно частицы, которая его испустила. Из-за фазовой границы S_0 внутренняя часть гравитона является недоступной для частицы. Спин гравитона равен или 2 или -2, поскольку его фазовое пространство состоит из двух ячеек.

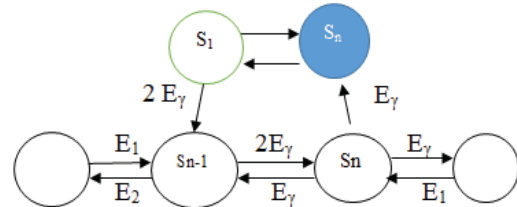


Рис. 6. Излучение гравитона электроном

На рисунке 6 изображен граф излучения гравитона из внутренней части фазового пространства электрона. Опишем процесс, изображенный на графе 8.

Пусть общая энергия гравитона, излучаемого свободным электроном $E_\gamma = h\nu$. Для получения внутренней части гравитона массовая часть из ячейки S_1 должна перейти в ячейку S_{n-1} с интенсивностью $2E_\gamma$. Ячейка S_0 получает энергию E_γ из ячейки S_n . Взаимодействие между ячейками S_{n-1} и S_n замыкает измененное фазовое пространство электрона, отделяя от него гравитон (S_0, S_1).

Поскольку гравитон уносит с собой отрицательную энергию, то интенсивность роста фазового пространства электрона увеличивается.

Гипотетический процесс роста фазового пространства свободного электрона при излучении изображен на графе 7.

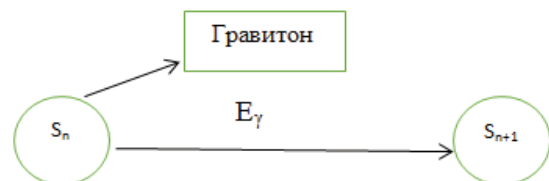


Рис. 7. Рост фазового пространства электрона при излучении гравитона

Проведем оценку вероятности такого процесса или оценку гравитационной постоянной тонкой структуры для электрона.

Для излучения гравитона, согласно предложенной модели, необходим последовательный отрыв двух внутренних ячеек S_0 и S_1 . Между ячейками Отрыв световой ячейки S_0

совпадает по механизму с излучением фотона. Вероятность такого процесса – α .

Оценим теперь вероятность отрыва внутренней ячейки S_1 .

Расстояние между вдвоенными ячейками оценим следующим образом:

$$r \sim \frac{c}{\pi \nu}.$$

Если энергия гравитона небольшая, то энергия взаимодействия между вдвоенной ячейкой $S_n + S_{n+1}$ и ячейкой $S_{n+2} + S_{n+3}$ равна:

$$E_m = -\frac{2\pi\nu G m_e^2}{c}.$$

Отсюда следует:

$$\frac{p_{n,n+1}}{p_{n+1,n+2}} = \frac{2\pi G m_e^2}{hc}.$$

Теперь можно дать оценку постоянной тонкой структуры гравитационного поля для электрона.

$$\alpha_{ge} = \alpha \frac{2\pi G m_e^2}{hc}. \quad (10)$$

В системе СИ $\alpha_{ge} \sim 10^{-47}$.

Вероятность такого процесса чрезвычайно мала, что делает практически невозможным его лабораторное исследование [8].

Значение постоянной тонкой структуры гравитационного поля в отличие от значения постоянной тонкой структуры электромагнитного поля не является по сути фундаментальной постоянной. Во-первых, она связана с массой элементарной частицы. Так для мюона значение постоянной тонкой структуры при достаточно малых энергиях можно оценить следующим значением $\alpha_{\mu} \sim 4 \cdot 10^{-42}$.

Уравнение (10) позволяет оценить условие, при котором в рамках модели дискретного фазового пространства постоянные тонкой структуры для электромагнитного и гравитационного полей равны ($\alpha = \alpha_g$).

$$m \sim \sqrt{\frac{hc}{2\pi G}}. \quad (11)$$

Выражение (11) совпадает со значением планковской массы. То есть для электрона и любой известной элементарной частицы постоянные тонкой структуры для электромагнитного поля и гравитационного поля существенно различны.

Красное смещение

Рассмотрим движение фотона в гравитационном поле. Будем считать, что фотон движется в сторону увеличения модуля потенциала гравитационного поля (рис. 8).

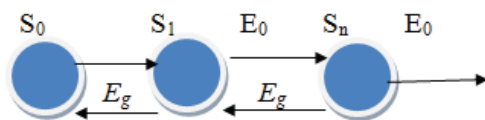


Рис. 8. Движение фотона в гравитационном поле

Вначале рассмотрим случай, когда гравитационное поле достаточно слабое.

Замечание. В каком случае можно считать гравитационное поле достаточно слабым? Для данного процесса необходимо выполнение двух основных условий.

1. Поток, уменьшающий фазовое пространство, можно с достаточной точностью линеаризовать.

2. Энергия фотона должен быть намного больше энергии гравитационного поля. Это условие обеспечивает непрерывное и детерминированное движение фотона в направлении возрастания фазового пространства. Это в свою очередь даст возможность перейти от стохастического взаимодействия фотона и гравитационного поля к детерминированному взаимодействию соответствующих средних значений.

За время T фотон увеличит фазовое пространство элементарной частицы на $S_0 = E_0 T \sim \frac{mc^2}{2} T$. Гравитационное поле за тот же промежуток времени «втянет» в себя часть фазового пространства $E(S_g) = \frac{m\varphi}{2} T$. Здесь $E(\cdot)$ – математическое ожидание. Таким образом, рост фазового пространства определяется по формуле:

$$E(\Delta S) = S_0 - E(S_g).$$

Отсюда,

$$\hbar\omega = \hbar\omega_0(1 - \frac{\varphi}{c^2}). \quad (12)$$

Формула (12) совпадает с законом красного смещения ([5] с.471).

Формулу (12) можно преобразовать к следующему виду:

$$\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{c^2}. \quad (13)$$

Здесь φ_1 – потенциал гравитационного поля в точке излучения, φ_2 – потенциал гравитационного поля в точке наблюдения, λ_1 и λ_2 длины волны фотона в соответствующих точках гравитационного поля.

Пусть теперь гравитационное поле достаточно сильное, чтобы два указанных требования не выполнялись. Известно, что в этом случае соотношения (12) и (13) не выполняются. Такая ситуация возникает вблизи сверхплотных космических объектов (нейтронные звезды, черные дыры и т.д.).

Итак, если $E_g \approx E$ (смотри рисунок 8) движение фотона уже нельзя считать детерминированным. Его движение перейдет в броуновское движение, характерное массовым частицам.

Можно приписать фотону массу $m_\phi = \frac{h\nu}{2c^2}$. При $E_g = E$ получим квадратичный дисперсионный закон:

$$E = \frac{p^2}{2m_\phi}. \quad (14)$$

Из уравнения (14) следует, что закон красного смещения примет вид:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}}.$$

или для сферически симметричного гравитационного поля

$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{1 - \frac{R_g}{R}},$$

Здесь R_g – гравитационный радиус Шварцшильда.

Полученный результат совпадает с результатами, полученными методами ОТО [9].

Рассмотрим предельный случай.

Горизонт событий

Рассмотрим предельный случай, когда гравитационное поле становится настолько сильным, что выполняется условие $E_g = 2E$.

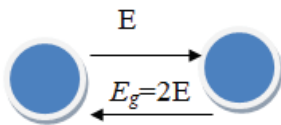


Рис. 9. Горизонт событий

На рисунке 9 изображен граф процесса, при котором фотон из-за воздействия сильного гравитационного поля не может увеличить свое фазовое пространство. Если использовать соотношения для математических ожиданий в случае броуновского процесса [7], получим:

$$\frac{mc^2}{2} = \frac{mMG}{R_g}.$$

Отсюда

$$R_g = \frac{MG}{c^2}. \quad (15)$$

Значение R_g совпадает с известной формулой для гравитационного радиуса черной дыры.

Расходимость при нулевых колебаниях

Одним из противоречий, возникающих в КЭД, о которой упоминалось в обзоре литературы, является расходимость энергии электромагнитного поля при нулевых колебаниях. В рамках модели дискретного фазового пространства данное противоречие разрешается следующим образом. Каждое колебание вида $\frac{1}{2}h\nu$ связано с определенной элементарной частицей. Число же элементарных частиц конечно.

Заключение

В работе представлена математическая модель дискретного фазового пространства элементарной частицы (электрона). Данная модель основана на принципе неопределенности Гейзенберга и законах сохранения. Модель занимает промежуточное положение между классическими моделями и квантовыми. В работе такой уровень относится к квазиклассическим моделям.

В результате применения модели дискретного фазового пространства к основным процессам квантовой оптики получены следующие результаты.

1. Дана оригинальная физическая интерпретация постоянной тонкой структуры электромагнитного поля.
2. На основе математической модели дискретного фазового пространства описан гипотетический процесс излучения гравитона.
3. Получены условия совпадения постоянных тонких структур.
4. Получен оригинальный вывод закона красного смещения и значения гравитационного радиуса при различных интенсивностях гравитационного поля.

Литература

1. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. 3-е изд. М.: Наука, 1989. 472 с.
2. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика. Издание 4-е, исправленное. М.: Физматлит, Т. IV. Квантовая электродинамика. 2002. 720 с.
3. Грибов В.Н. (Квантовая электродинамика. Ижевск: РХД, 2001, 288 с.
4. Мигдал А.Б. Качественные методы в квантовой теории. М.: Книга по требованию, 2013. 336 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика т.2. Теория поля. М. Наука, 1988.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая механика т.3. Квантовая механика. М.: Наука, 1988. 768 с.
7. Оксендаль Б. Стохастические дифференциальные уравнения. М.: Мир, «Издательство АСТ», 2003. 408 с.
8. Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1988. 272 с.
9. Окунь Л. Б., Селиванов К. Г., Телегди В. Л. Гравитация, фотоны, часы // УФН, том 169, № 10, 1999. С. 1141-1147.
10. Ольчак А.С. О возможной связи фундаментальных констант физики: постоянной тонкой структуры и постоянной Фейнбаума. — Естественные и технические науки. 2009. № 2. С. 19-22.
11. Юденков А. В., Володченко А. М., Римская Л. П. Математическое моделирование на основе теории потенциала. М.: Автономная некоммерческая организация «Издательство физико-математической литературы», 2020. 152 с.
12. Юденков А. В., Володченко А. М., Римская Л. П. Дискретная модель эволюции фазового пространства дробно размерных микросистем // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. С. 14-20.
13. Yudenkov A.V., Volodchenkov A. M., Rimskaia L. P. Transition and evolution of information at the microscopic level // T-Comm. 2021. Vol. 15. No 5. P. 62-66.
14. Abbott B. P. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration) et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger (англ.) // Physical Review Letters : journal. 2016. Vol. 116, no. 6.
15. DeWitt B. S. Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory. Phys. Rev. 1967. 160 (5), pp. 1113-1148. Bibcode: 1967PhRv..160.1113D
16. Hawking S. W. Particle creation by black holes // Communications in Mathematical Physics. 1975. Vol. 43. P. 199-220.
17. Jentschura U. D., Nándori I. Attempts at a determination of the fine-structure constant from first principles: a brief historical overview // European Physical Journal H. 2014. Vol. 39, pp. 591-613.

SIMULATION OF RADIATION IN MICROSYSTEMS USING MARKOV CHAINS

Aleksey V. Yudenkov, FSSFEE HE "SSUS", Smolensk, Russia, aleks-ydenkov@mail.ru

Aleksandr M. Volodchenkov, Smolensk Branch of Plekhanov Russian University of Economics, Smolensk, Russia;

FSBEI HE Smolensk SAA, Smolensk, Russia, alexmw2012@yandex.ru

Liliya P. Rimskaya, Smolensk Branch of Plekhanov Russian University of Economics, Smolensk, Russia, lilirimska@yandex.ru

Abstract

To solve important problems related to radiation in microsystems, the methods of quantum electrodynamics are successfully used. At the same time, a number of problems remain (vacuum energy, divergence in local interaction, the physical meaning of the fine structure constant) that cannot be resolved within the framework of this theory. Therefore, an urgent task is to develop alternative mathematical models that can be additionally used to study the radiation process in microsystems. In this work, to model the radiation process in microsystems, Markov processes with continuous time and discrete states are used. The mathematical model is based on Heisenberg's uncertainty principles and conservation laws. The main mathematical tools are Kolmogorov graphs and their corresponding systems of equations. The key idea is that the phase space of a particle is discrete. The model of the discrete phase space is distinguished by its comparative simplicity and efficiency, and allows applying the well-developed theory of Markov processes to the phenomena under study. The scale of the model and its discrete structure make it possible to avoid irremovable singularities. The article presents: an original physical interpretation of the fine structure constant, a stochastic analogue of the redshift law and the magnitude of the Schwarzschild gravitational radius, a stochastic interpretation of the fine structure constant of the gravitational field is proposed. A comparative analysis of the fine structure constants for the gravitational and electromagnetic fields has been carried out.

Keywords: fine structure constant, graviton, Markov process, phase space.

References

1. V.I. Arnold (1989) Mathematical methods of classical mechanics. 3rd ed. Moscow: Nauka, 472 p.
2. V.B. Berestetsky, E.M. Lifshits, L.P. Pitaevsky (2002) Theoretical Physics. 4th edition, revised. Moscow: Fizmatlit, Vol. IV. Quantum electrodynamics, 720 p.
3. V.N. Gribov (2001). Quantum electrodynamics. Izhevsk: RHD. 288 p.
4. A.B. Migdal (2013). Qualitative methods in quantum theory. Moscow: Book on demand, 336 p.
5. L.D. Landau, E.M. Lifshitz (1988). Theoretical Physics v.2. Field theory. Moscow: Science.
6. L.D. Landau, E.M. Lifshitz (1989). Theoretical mechanics v.3. Quantum mechanics. Moscow: Nauka, 768 p.
7. B. Oksendal (2003). Stochastic differential equations. Moscow: Mir, AST Publishing House, 408 p.
8. L.B. Okun (1988). Physics of elementary particles. 2nd ed., revised. and additional. Moscow: Nauka, 272 p.
9. L.B. Okun, K.G. Selivanov, V.L. Telegdi (1999). Gravity, photons, clocks // *UFN*, vol. 169, no. 10, pp. 1141-1147.
10. A.S. Olchak (2009). On a possible connection between the fundamental constants of physics: the fine structure constant and the Feigenbaum constant. *Natural and technical sciences*. No. 2, pp. 19-22.
11. A.V. Yudenkov, A.M. Volodchenkov, L.P. Rimskaya (2020). Mathematical modeling based on potential theory. Moscow: Autonomous non-profit organization "Publishing house of physical and mathematical literature", 152 p.
12. A.V. Yudenkov, A.M. Volodchenkov, L.P. Rimskaya (2022). Discrete model of phase space evolution of fractional microsystems. *T-Comm*. Vol. 16. No. 4, pp. 14-20.
13. A.V. Yudenkov, A.M. Volodchenkov, L.P. Rimskaya (2021). Transition and evolution of information at the microscopic level. *T-Comm*. Vol. 15. No 5, pp. 62-66.
14. B.P. Abbott (2016). (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration) et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger (English). *Physical Review Letters*. Vol. 116, no. 6.
15. B.S. DeWitt (1967). "Quantum Theory of Gravity. I. The Canonical Theory". *Phys. Rev.* no. 160(5), pp. 1113-1148. Bibcode: 1967PhRv..160.1113D
16. S.W. Hawking (1975). Particle creation by black holes. *Communications in Mathematical Physics*. Vol. 43, pp. 199-220.
17. U.D. Jentschura, I. Nandori (2014). Attempts at a determination of the fine-structure constant from first principles: a brief historical overview. *European Physical Journal H*. Vol. 39, pp. 591-613.