УДК 539.12, 530.2, 53.02

КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ СОЛИТОНОВ

Черницкий А. А.[a,b,1]

[a] НОЦ Физ.-Мат. Наук и Циф. Технологий, ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России, ул. Проф. Попова 14, Санкт-Петербург, 197022, Россия.
[b] Лаб. Теор. Физики им. А. А. Фридмана, Санкт-Петербург, Россия.

Рассматриваются солитоны. Приведены два их определения: физическое и математическое. Рассматриваются досветовые осциллирующие солитоны релятивистки инвариантных полевых моделей. Показано кинематическое соответствие между такими солитонами и массивными релятивистскими частицами. Обсуждается квантово-волновое поведение осциллирующих солитонов. Рассмотрена концепция единого поля, обсуждается детерминизм и стохастичность в природе. Кратко рассмотрена полевая модель пространственно-временной плёнки.

Ключевые слова: корпускулярно-волновой дуализм, солитон, элементарная частица, теория единого поля, детерминизм и стохастичность, пространственно-временная плёнка.

WAVE-PARTICLE DUALISM OF SOLITONS

Chernitskii A. A.[a,b,1]

[a] St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University,
Prof. Popov str. 14, St. Petersburg, 197022, Russia.
[b] A. Friedmann Laboratory for Theoretical Physics, St.-Petersburg, Russia.

Solitons are considered. Two definitions of them are given: physical and mathematical. Sublight oscillating solitons of relativistically invariant field models are considered. A kinematic correspondence between such solitons and massive relativistic particles is shown. The quantum-wave behavior of oscillating solitons is discussed. The concept of a unified field is considered, determinism and stochasticity in nature are discussed. A field model of a space-time film is briefly considered.

Keywords: wave-particle dualism, soliton, elementary particle, unified field theory, determinism and stochasticity, space-time film.

PACS: 12.10.Dm, 12.10.-g,12.60.-i
DOI: 10.17238/issn2226-8812.2025.4.131-141

Введение

Существует мнение, что корпускулярно-волновой дуализм элементарных частиц невозможно понять и объяснить исходя из каких-либо наглядных представлений. Далее полагается, что надо разделять так называемую классическую физику и так называемую квантовую. Причем, если для первой существует наглядная пространственно-временная картина, то для второй говорить о ней нельзя в принципе. Согласно другой точке зрения субатомные частицы надо рассматривать как солитоны некоторой единой нелинейной полевой модели. При этом пространственно-временная динамика солитонов описывает реальную динамику субатомных частиц. В рамках такого подхода

[1]E-mail: AAChernitskii@mail.ru

автором были получены определённые результаты для полевой модели нелинейной электродинамики [1]. Также были получены результаты для скалярной модели пространственно-временной плёнки [2], которая представляется более адекватной реальности. Среди немногочисленных направлений исследования, посвящённых солитонной концепции субатомных частиц, можно также упомянуть направление, представленное в работе [3]. Солитоны являются весьма примечательными физико-математическими объектами, свойства которых, однако, исследованы ещё не достаточно хорошо. В настоящей работе, с привлечением нового понятия слабого солитона, показано, что именно представление элементарных частиц солитонами единого поля позволяет понять квантовое поведение и не рассматривать квантовую физику как что-то невообразимое. Рассмотрена также концепция единого поля и кратко модель пространственно-временной плёнки, претендующая на единую полевую модель.

1. Определения Солитона

Можно рассматривать два определения солитона: физическое и математическое. Физическое определение солитона гласит:

Солитоном называется уединённая или пространственно-локализованная волна.

Здесь часто добавляют «..., распространяющаяся в нелинейной среде». Однако, это добавление можно не делать, поскольку любая физическая субстанция нелинейна, а линейной может быть только её приближённая математическая модель. Математическое определение солитона:

Солитоном называется решение нелинейной полевой модели в виде уединённой или пространственно-локализованной волны.

Здесь нелинейность модели существенна.

Далее мы будем рассматривать полевые модели, инвариантные относительно пространственно-временного поворота или обладающие релятивистской инвариантностью. Под временным поворотом понимается преобразование Лоренца. Необходимо также дать определение релятивистского солитона:

Релятивистским солитоном называется солитон релятивистки инвариантной полевой модели.

Из инвариантности модели относительно некоторого преобразования следует, что из одного решения могут быть получены другие посредством этого преобразования. В релятивистки инвариантных полевых моделях солитоны разделяются на световые и досветовые. Световые солитоны движутся со скоростью света. Досветовые солитоны движутся с досветовыми скоростями или покоятся как целое. Каждый досветовой солитон представляет целый класс решений, которые связаны между собой пространственно-временным поворотом. Пусть имеется скалярная релятивистки инвариантная полевая модель и её некоторое локализованное в пространстве решение $\tilde{\Phi}(\underset{.}{x}_0, \underset{.}{x}_1, \underset{.}{x}_2, \underset{.}{x}_3)$. Здесь и далее точкой под символом обозначается собственная система координат релятивистского досветового солитона, то есть система, в которой солитон покоится как целое, $\underset{.}{x}_0 = c\,\underset{.}{t}$ – временная координата, c – скорость света. В силу релятивистской инвариантности решением также будет функция $\tilde{\Phi}(\{\underset{.}{x}_\mu\})$ с заменой координат $\{\underset{.}{x}_\mu\}$:

$$\underset{.}{x}_\mu = \textstyle\sum_{\nu=0}^{3} L_{\mu\nu}\, x_\nu \ , \tag{1}$$

где $L_{\mu\nu}$ – матрица пространственно-временного поворота. Функция $\tilde{\Phi}(\{\underset{.}{x}_\mu(x_\nu)\})$ – это движущийся в системе координат $\{x_\nu\}$ досветовой солитон.

Временной поворот вдоль одной оси имеет один параметр скорости V $(0 \leqslant V < 1)$. Тогда связь между координатами:

$$\underset{.}{x}_0 = \frac{x_0 - V\,x_1}{\sqrt{1 - V^2}}\ , \quad \underset{.}{x}_1 = \frac{x_1 - V\,x_0}{\sqrt{1 - V^2}}\ , \quad \underset{.}{x}_2 = x_2\ , \quad \underset{.}{x}_3 = x_3\ . \tag{2}$$

В качестве примера досветового солитона рассмотрим сферически симметричное в собственной системе координат статическое решение уравнения пространственно-временной плёнки [2]. Это солитонное решение представляет элементарный электрический заряд [4]. Будем называть его сфероном. Класс решений движущегося сферона задаётся формулой

$$\Phi = \begin{cases} \dfrac{\bar{q}}{\underset{.}{r}}\, F_{\frac{1}{4};\frac{1}{2};\frac{5}{4}}\!\left(\dfrac{\bar{r}^4}{\underset{.}{r}^4}\right), & \underset{.}{r} \geqslant \bar{r} \\ \dfrac{\bar{q}}{\bar{r}}\, F_{\frac{1}{4};\frac{1}{2};\frac{5}{4}}(1)\,, & 0 \leqslant \underset{.}{r} < \bar{r} \end{cases} \quad , \quad \underset{.}{r} = \sqrt{\frac{(x_0 - V\,x_1)^2}{1-V^2} + x_2^2 + x_3^2}\;, \tag{3}$$

где $\underset{.}{r}$ – сферический радиус собственной системы координат, $F_{\alpha;\beta;\gamma}(z)$ – гипергеометрическая функция, $\bar{r} \doteqdot \sqrt{|\bar{q}\,\chi|}$, $\bar{q}$ – величина заряда, χ – размерная константа нелинейности уравнения.

В общем случае солитонное решение в собственной системе координат может иметь также временную зависимость, в частности, периодическую. Дадим следующее определение:

Осциллирующие релятивистские досветовые солитоны – солитоны с периодическую зависимость от времени в собственной системе координат.

Введём безразмерную фазу периодической функции осциллирующего солитона такую, что период по фазе равен 2π:

$$\mathcal{S} = \underset{.}{\omega}\, \underset{.}{x}_0\ . \tag{4}$$

Тогда $\underset{.}{\omega}$ – круговая частота, а решение представлено в собственной системе координат некоторой функцией:

$$\Phi = \tilde{\Phi}(\mathcal{S}, \underset{.}{x}_1, \underset{.}{x}_2, \underset{.}{x}_3)\ . \tag{5}$$

Применим к решению (5) операцию временного поворота по одной оси (2). Получаем новое решение в виде движущегося солитона. Тогда фаза решения:

$$\mathcal{S} = \underset{.}{\omega}\, \frac{x_0 - V\,x_1}{\sqrt{1-V^2}} = \frac{\underset{.}{\omega}}{\sqrt{1-V^2}}\, x_0 - \frac{\underset{.}{\omega}\, V}{\sqrt{1-V^2}}\, x_1\ . \tag{6}$$

У движущегося солитона изменилась частота и появилось волновое число:

$$\omega = \frac{\underset{.}{\omega}}{\sqrt{1-V^2}}\,, \quad k = \frac{\underset{.}{\omega}\, V}{\sqrt{1-V^2}}\ . \tag{7}$$

Новая частота ω и волновое число k, очевидно, связаны соотношением

$$\omega^2 - k^2 = \underset{.}{\omega}^2\ . \tag{8}$$

При произвольном направлении временного поворота вместо волнового числа k появляется пространственный волновой вектор $\mathbf{k}$. Частота и волновой вектор связаны соотношением

$$\omega^2 - \mathbf{k}^2 = \underset{.}{\omega}^2\ . \tag{9}$$

Это соотношение аналогично дисперсионному соотношению для плоских волн постоянной амплитуды линейных моделей. Однако дисперсии, то есть расплывания, здесь нет. Будем называть соотношение между частотой и волновым вектором осциллирующего солитона *частотно-волновым.*

Компоненты волнового вектора движущегося досветового солитона для произвольного пространственно-временного поворота с компонентами скорости V_i выражаются формулой:

$$k_i = \frac{\underset{.}{\omega}\, V_i}{\sqrt{1-V^2}}\ . \tag{10}$$

Латинские индексы принимают значения $1, 2, 3$. Считая, что частотно-волновое соотношение (9) задаёт неявно функцию $\omega = W(\mathbf{k})$ и дифференцируя соотношение (9) по компонентам волнового вектора, с учётом (10) получаем:

$$V_i = \frac{\partial W}{\partial k_i}\ . \tag{11}$$

Как видно, это выражение совпадает с определением групповой скорости для диспергирующих волн.

Фазовой скоростью называется скорость движения поверхности постоянной фазы. Обозначим её компоненты через $\bar{V}_i$. Пусть фаза для временного поворота по одной оси (см. (2), (7)) равна константе $\mathcal{C}$:

$$\mathcal{S} = \omega\, x_0 - k\, x_1 = \mathcal{C} \quad \Longrightarrow \quad x_1 = \frac{\omega}{k}\, x_0 - \frac{\mathcal{C}}{k} \quad \Longrightarrow \quad \bar{V} = \frac{\omega}{k} = \frac{1}{V} \ . \tag{12}$$

Таким образом фазовая скорость оказывается сверхсветовой. Для произвольного направления пространственно-временного поворота имеем

$$\bar{V}_i = \frac{\omega\, k_i}{\mathbf{k}^2} \ , \quad \mathbf{V} \cdot \bar{\mathbf{V}} = 1 \ . \tag{13}$$

Пространственной локализацией могут обладать решения также и линейных полевых моделей. В связи с этим возникла необходимость сформулировать следующее определение слабого солитона:

> *Слабым солитоном называется решение линейной полевой модели в виде пространственно-локализованной или уединённой волны.*

Такое определение оправдано вследствие того, что амплитуда слабого солитона может быть сколь угодно малой. Последнее обстоятельство представляет собой существенное отличие слабого солитона от солитона, амплитуда которого определена решением.

2. Слабые Сферические Солитоны

Рассмотрим элементарные решения линейного волнового уравнения в сферических координатах. Волновое уравнение для функции $\Phi(\underset{\cdot}{x}_0, \underset{\cdot}{r}, \underset{\cdot}{\vartheta}, \varphi)$ в собственных сферических координатах $\{\underset{\cdot}{r}, \underset{\cdot}{\vartheta}, \varphi\}$ можно записать в виде:

$$\underset{\cdot}{\bar{\Delta}}\Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \underset{\cdot}{x}_0^2} = 0 \ . \tag{14}$$

где $\bar{\Delta}$ – оператор Лапласа.

Известны [1, 5, 6] всюду регулярные его решения, представляющие собой стоячие радиальные волны и при $m \neq 0$ вращающиеся кольцевые волны:

$$\Phi_{lm} = j_l(\underset{\cdot}{\omega}\, \underset{\cdot}{r})\, P_l^m(\cos \underset{\cdot}{\vartheta})\, \sin(m\, \varphi - \underset{\cdot}{\omega}\, \underset{\cdot}{x}_0) \ , \tag{15}$$

где j_l – сферические функции Бесселя первого рода, P_l^m – присоединённые функции Лежандра, $-l \leqslant m \leqslant l$.

Простейшее решение вида (15) имеем при $l = m = 0$ (вращения нет):

$$\Phi_{00} = \frac{\sin(\underset{\cdot}{\omega}\, \underset{\cdot}{r})}{\underset{\cdot}{\omega}\, \underset{\cdot}{r}}\, \sin(\underset{\cdot}{\omega}\, \underset{\cdot}{x}_0) \ , \tag{16}$$

Пространственная зависимость (амплитуда гармонической временной функции) решения (16) на линии, проходящей через центр, показана на Рис. 1. На Рис. 2 показан слабый сферический солитон нулевого порядка в собственной системе координат на сечении, проходящем через центр солитона.

Посредством временного поворота из решения (16) получается движущийся слабый досветовой солитон в системе координат $\{x_\mu\}$. Соответствующая подстановка собственных координат $\underset{\cdot}{x}_0$ и $\underset{\cdot}{r}$ в формулу (16) берётся из формул (2) и (3) соответственно. На Рис. 3 показан движущийся слабый сферический солитон нулевого порядка на сечении, проходящем через центр солитона. Видно, что вдали от центра солитона бегущая волна, соответствующая волновому числу k из формулы (7), близка к плоской.

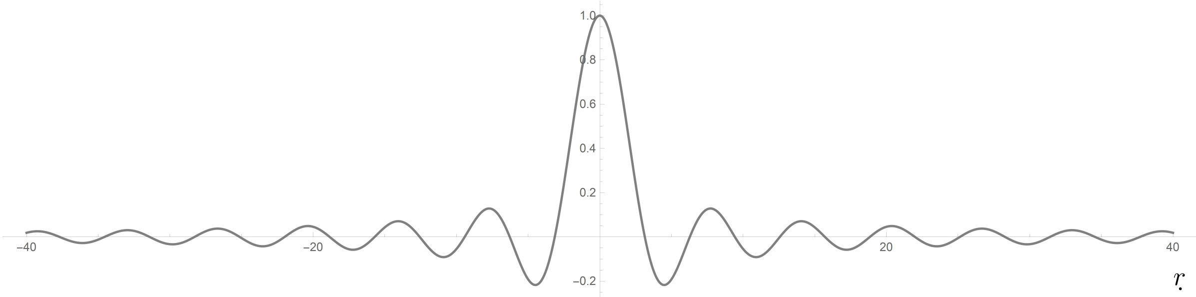

Рис. 1. Амплитуда гармонической временной функции решения (16) на линии, проходящей через центр, при $\omega = 1$.

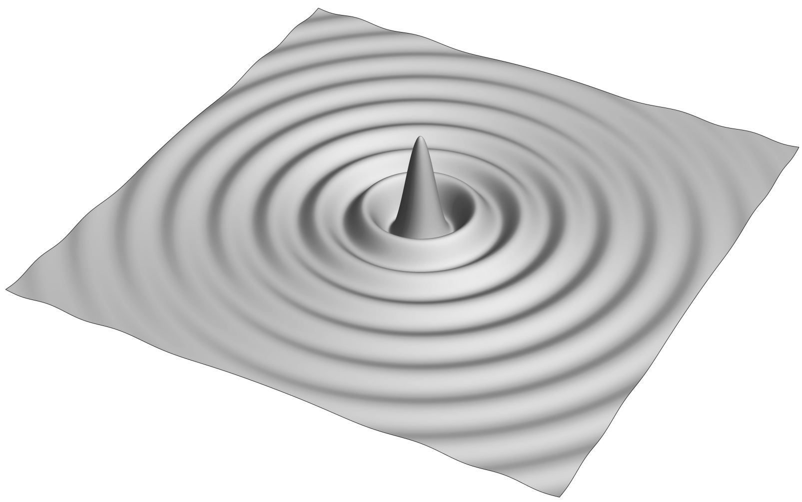

Рис. 2. Слабый сферический солитон нулевого порядка в собственной системе координат на сечении, проходящем через центр солитона.

3. Механико-Солитонное Соответствие и Квантово-Волновое Поведение

Сравним частотно-волновое соотношение $\omega(\mathbf{k})$ для осциллирующего досветового солитона (9) с релятивистским соотношением между энергией E и импульсом $\mathbf{p}$ массивной частицы:

$$E^2 - \mathbf{p}^2 = m^2 \, , \tag{17}$$

где m – масса покоя частицы. Эмпирические соотношения $E = \hbar\omega$ и $\mathbf{p} = \hbar\mathbf{k}$ приводят к соотношению между массой покоя частицы и собственной частотой солитона:

$$m = \hbar\omega \, . \tag{18}$$

Таким образом устанавливается механико-солитонное соответствие. Как правило для любой нелинейной полевой модели имеет смысл соответствующая линеаризованная, которая может иметь слабые солитонные решения. Естественно допустить, что при удалении от области локализации солитонное решение может переходить в слабое солитонное. Это тем более правдоподобно для многосолитонного решения. Взаимодействие солитонов будет порождать межсолитонный волновой фон, который вблизи каждого солитона будет близок к некоторому слабому солитонному решению. Энергия слабых солитонов может расходится на бесконечности, как это имеет место для слабых

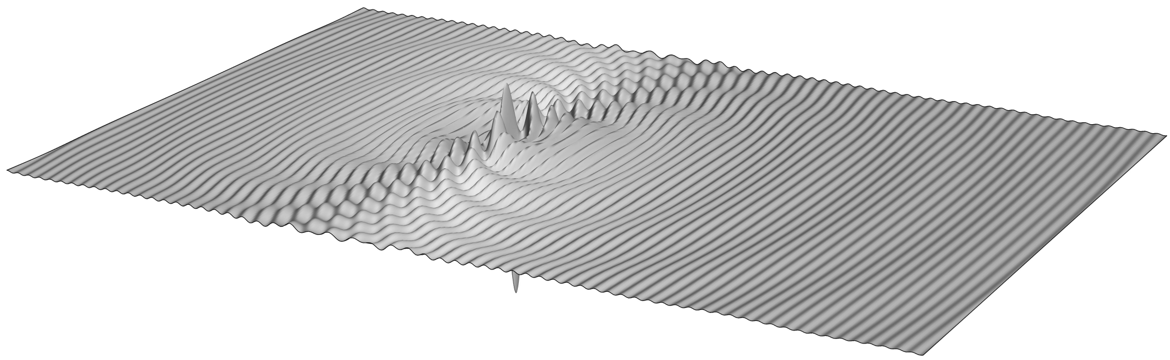

Рис. 3. Движущийся со скоростью $0.8\,c$ слабый сферический солитон нулевого порядка на сечении, проходящем через центр солитона.

сферических солитонов. Однако это нельзя считать трудностью модели. Поле слабых солитонов переходит в общий волновой фон, энергия которого очень велика, но конечна. Рассмотрим совокупность солитона и слабого солитона в многосолитонной системе. Мы видели, что движущиеся слабые досветовые солитоны представляют собой сложную бегущую волну. Для таких волн, естественно, характерны все волновые эффекты, такие как интерференция и дифракция. С другой стороны на движение истинного солитона будет очевидно влиять его слабо-солитонное окружение. При этом истинный солитон, обладающий структурной устойчивостью, будет двигаться по некоторой траектории. Таким образом солитон попадёт, например, в определённую точку экрана, поставленного после щели, на которой происходит дифракция. В случае двухщелевого эксперимента солитон вместе со своим слабослитонным окружением проходит через обе щели, при этом существенно деформируясь. Однако после щели солитон может как бы опять собраться постольку поскольку имеется соответствующее точное структурно устойчивое солитонное решение. Квантование частоты волны при наличии границ области пространства, в которой волна существует, хорошо известно. Отражение волн от границы порождает стоячие волны. Частоты этих волн принимают дискретный ряд значений, определяемый размером и формой ограниченной области. Это и является квантованием. Для квантования не обязательно наличие резких границ. Граница может быть как бы размыта, например, при непрерывном, но достаточно быстром изменении параметра скорости волны в среде. Аналогичным образом появляется дискретный спектр частот в решениях уравнений Шрёдингера и Дирака. Всё это и есть квантово-волновое поведение частиц-солитонов.

4. Уравнения Квантовой Механики

Поле движущегося осциллирующего солитона, представляющего некоторую частицу, может быть разложено по плоским волнам:

$$\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi(\omega', \mathbf{k}')\, \mathrm{e}^{\mathrm{i}\left(\mathbf{k}'\cdot\mathbf{r} - \omega'\, t\right)}\, \mathrm{d}\omega'\, (\mathrm{d}k')^3 \ , \tag{19}$$

где $\Psi(\omega', \mathbf{k}')$ – образ Фурье солитона в пространстве частот ω' и волновых векторов $\mathbf{k}'$.

Частота ω и волновой вектор $\mathbf{k}$ релятивистского осциллирующего досветового солитона, входящие в его частотно-волновое соотношение (9), представляют собой соответствующие главные модальные значения[1] образа Фурье $\Psi(\omega', \mathbf{k}')$. Сам же солитон рассматриваемого типа является

[1] В собственной системе координат временной частотный спектр солитона является дискретным эквидистантным с частотой основной гармоники $\underset{\smile}{\omega}$ (4). Для движущегося солитона временной спектр является непрерывным, также

так называемым солитоном огибающей. Его также можно считать волновым пакетом. Из известного математического соотношения между характерной шириной волнового пакета Δx_1 и шириной спектра Δk_1, с учётом гипотезы де Бройля $p_1 = \hbar\, k_1$, следует соотношение неопределённости Гейзенберга:

$$\Delta k_1\, \Delta x_1 \sim 2\pi \quad \Longrightarrow \quad \Delta p_1\, \Delta x_1 \sim 2\pi\, \hbar\ . \tag{20}$$

Вывод уравнений квантовой механики, которые существенно линейны, основан на представлении солитона-частицы квази-плоской диспергирующей волной постоянной амплитуды, то есть безграничной, с частотой ω и волновым вектором $\mathbf{k}$.

Для получения уравнения Шрёдингера за основу берётся нерелятивистское выражение для полной механической энергии частицы в поле консервативных сил и соответствующее дисперсионное соотношение:

$$\left.\begin{array}{l} E = \dfrac{\mathbf{p}^2}{2\,m} + U \\ E = \hbar\,\omega\ , \quad \mathbf{p} = \hbar\,\mathbf{k} \end{array}\right\} \quad \Longrightarrow \quad \left\{\begin{array}{l} \psi = a\,\mathrm{e}^{\mathrm{i}(\mathbf{k}\cdot\mathbf{r} - \omega\, t)} \\ \hbar\,\omega = \hbar^2\,\dfrac{\mathbf{k}^2}{2\,m} + U \end{array}\right. \quad \Longrightarrow \quad \mathrm{i}\,\hbar\,\frac{\partial\psi}{\partial t} + \frac{\hbar^2}{2\,m}\,\bar{\Delta}\psi - U\,\psi = 0\ . \tag{21}$$

В данном случае, чтобы реализовать дисперсионное соотношение, необходимо рассматривать комплексную гармоническую волну.

Уравнение Дирака для частицы в электромагнитном поле получается из релятивистского соотношения между энергией и импульсом, включающем электромагнитный потенциал. Дополнительно накладывается требование, чтобы уравнение было первого порядка по производным. В результате коэффициенты уравнения становятся матрицами $\{\gamma^\mu\}$, а представляющая волну комплексная функция четырёхкомпонентной:

$$\left.\begin{array}{l} (E + e\,\varphi)^2 - c^2\,(\mathbf{p} - \dfrac{e}{c}\,\mathbf{A})^2 = c^4\,m^2 \\ E = \hbar\,\omega\ , \quad \mathbf{p} = \hbar\,\mathbf{k} \end{array}\right\} \quad \Longrightarrow \quad \sum_{\mu=0}^{3} \gamma^\mu \left(\mathrm{i}\,\hbar\,\partial_\mu - \frac{e}{c}\,A_\mu\right)\psi = m\,c^2\,\psi\ . \tag{22}$$

Надо отметить, что известное релятивистское уравнение второго порядка Фока – Клейна – Гордона, получающееся аналогичным образом, не даёт наблюдаемый спектр атома водорода, как уравнение Шрёдингера. Также известно, что Э. Шрёдингер сначала получил именно это уравнение, но результат не опубликовал. Всё вышесказанное свидетельствует о том, что уравнения квантовой механики являются специфическими линейными приближениями некоторой более фундаментальной нелинейной полевой модели.

5. Программа Создания Теории Единого Поля

Согласно концепции единого поля весь материальный мир рассматривается как некоторое весьма сложное решение единой нелинейной полевой модели. В концепции единого поля

- *Все элементарные частицы представлены пространственно-локализованными решениями или солитонами этой модели.*
- *Все взаимодействия материальных объектов, в том числе, конечно, элементарных частиц-солитонов, являются следствием нелинейности модели.*

Таким образом концепция единого поля соответствует объединительной тенденции в физике.

В рамках программы создания теории единого поля можно рассматривать частную проблему объединения гравитации и электромагнетизма. Гравитация и электромагнетизм – два известных в настоящее время дальних взаимодействия материальных тел.

Наверное наиболее известная попытка такого объединения связана с именами Калуцы и Клейна. Теория Калуцы – Клейна вызывала значительный интерес в двадцатых годах двадцатого века.

как и пространственный. Здесь под главными модальными значениями подразумеваются значения, соответствующее основной гармонике в спектре покоящегося солитона.

В настоящее время она не рассматривается как реалистичная теория. Остановимся на нелинейных обобщениях электродинамики. Первое нелинейное обобщение электродинамики в качестве теории единого поля осуществил Г. Ми в работе «Основы теории материи». Материальные частицы Ми считает полевыми образованиями, то есть речь идёт о солитонах. Далее М. Борн, следуя нелинейно-электромагнитной концепции материи Ми, рассматривает другую полевую модель. Затем М. Борн и Л. Инфельд в работе «Основы новой теории поля» рассмотрели уточнённую модель. Имеется серия работ Э. Шрёдингера по электродинамике Борна – Инфельда. Более подробно с этим направлением можно познакомиться по книге автора [1]. А. Эйнштейн рассматривал единые полевые модели, обобщающие созданную им в рамках общей теории относительности нелинейную модель гравитационного поля. В своих работах он ориентировался прежде всего на решение проблемы объединения гравитации и электромагнетизма. Однако, каких-то существенных результатов в этом направлении ему получить не удалось.

В связи с концепцией единого поля естественно возникает вопрос об отношении детерминизма и стохастичности. По своему смыслу теория единого поля должна быть детерминистической, то есть принципиально допускать однозначные предсказания при определённых начальных условиях. Стохастичность или вероятностность, наблюдаемая в природе, возникает из-за неточности в определении начальных условий эксперимента или неучтённых влияниях на его результат. В этой связи можно вспомнить известный спор А. Эйнштейн – Н. Бор: «Бог не играет в кости» – «Эйнштейн, не учите Бога, что ему делать». Известна критика Э. Шрёдингером вероятностной интерпретации квантовой механики, где он обсуждает «суперпозицию» живой и мёртвой кошки. Резюмируя можно сказать, что Бог то ли играет в кости, то ли нет. Кот Шрёдингера то ли жив, то ли мёртв. Но кто точно играет в кости, так это Дьявол, который при этом ни жив, ни мёртв. Остановимся на проблемах, которые должна решать теория единого поля. В рамках теории единого поля должны иметь решение следующие фундаментальные проблемы физики:

- *Вывод пропорциональности частоты и энергии частиц-солитонов с коэффициентом в виде постоянной Планка.*
- *Объединение электромагнитного и гравитационного взаимодействий.*
- *Расчёт спектра масс элементарных частиц, в частности, заряженных лептонов – электрона, мюона, тау-лептона.*
- *Расчёт фундаментальных физических постоянных, в частности, постоянной тонкой структуры.*

Отсутствие быстрого прогресса в развитии теории единого поля связано с исключительной математической сложностью рассматриваемых задач.

6. Пространственно-Временная Плёнка

Модель пространственно-временной плёнки рассматривается в качестве единой полевой модели. Понятие пространственно-временной плёнки [2] обобщает представление о тонкой плёнке в пространстве нашего повседневного опыта. Тонкая плёнка может быть натянута на некоторый каркас сложной пространственной формы. Форма поверхности натянутой плёнки будет соответствовать её минимальной площади. Математическая модель пространственно-временной плёнки обобщает известную модель тонкой двумерной плёнки на четырёхмерное пространство-время. Формулировка этой модели имеет относительно простую и геометрически ясную форму.

Уравнение пространственно временной плёнки удовлетворяет требованию общей ковариантности, введённому в общей теории относительности. Общековариантность означает инвариантность вариационной формулировки модели относительно произвольных преобразований координат. При этом получающиеся из вариационного (экстремального) принципа уравнения инвариантны относительно пространственно-временного поворота, а общей ковариантностью не обладают.

Свойством общековариантности обладает также модель нелинейной электродинамики Борна – Инфельда. Можно встретить упоминание о рассматриваемой модели как о скалярной модели Борна – Инфельда, хотя М. Борн и Л. Инфельд о ней не писали.

Объединение электромагнитного и гравитационного взаимодействий ранее рассматривалось автором в рамках нелинейной электродинамики типа Борна – Инфельда. В нелинейной электродинамике имеется два типа взаимодействия солитонов на больших расстояниях, которые можно назвать силовым и метрическим. Силовое соответствует электромагнитному взаимодействию заряженных частиц-солитонов, а метрическое – гравитационному взаимодействию любых солитонов-частиц [1, 7, 8]. Силовое и метрическое взаимодействия солитонов-частиц характерны для любых релятивистки инвариантных полевых моделей, в том числе и для скалярной [9]. Таким образом в модели пространственно-временной плёнки реализуется объединение электромагнетизма и гравитации [10]. В теории пространственно-временной плёнки предложено решение так называемой проблемы тёмной материи [11]. При этом объясняется спиральная структура галактик, притяжение к её плоскости и свойство чётности количества её рукавов. Скалярная полевая функция в теории пространственно-временной плёнки имеет смысл и размерность электростатического потенциала. В формулу для силового взаимодействия солитонов в качестве силы входит интеграл по двумерной поверхности, окружающей пробную частицу. Из трансформационных свойств такого интеграла при временном повороте следует существование шестивектора электромагнитного поля. При этом временная компонента электромагнитного потенциала получается как интеграл по поверхности от скалярного поля пробной частицы в её собственной системе координат. Компоненты векторного потенциала возникают при временном повороте всей полевой конфигурации. Как указывалось, элементарный заряд в теории пространственно-временной плёнки представлен сфероидальным солитоном или сфероном (3) [4]. Энергия этого решения конечна. Силовое взаимодействие между сферонами тождественно электромагнитному взаимодействию точечных зарядов. В работе [2] были найдены точные решения уравнения пространственно-временной плёнки в виде световых солитонов. Подкласс этих солитонных решений сопоставляется фотонам. Другие решения найденного класса световых солитонов могут соответствовать различным типам нейтрино.

Показано, что при определённых допущениях

- *Имеется пропорциональность частоты и энергии найденных световых солитонов.*
- *Их момент импульса или спин направлен по или против направления движения и может феноменологически положен равным постоянной Планка.*
- *Распределение спектральной плотности энергии идеального газа солитонов-фотонов совпадает с распределением Планка для излучения абсолютно чёрного тела.*

В качестве досветовых солитонов со спином в рамках модели пространственно-временной плёнки исследовались тороидальные вращающиеся полевые конфигурации [12]. Получена пропорциональность энергии и частоты солитона. Также в указанной работе получена формула, которая позволит вычислить постоянную тонкой структуры, когда будет найдено либо точное решение, соответствующее электрону, либо достаточно хорошее его приближение. Численный расчёт интегральных характеристик некоторого начального приближения показывает, что существует область значений его параметров, для которой имеется соответствие порядка величин характеристикам электрона.

Заключение

Итак в настоящей работе мы рассмотрели в общих чертах квантово-волновое поведение солитонов, которые могут представлять элементарные частицы. Получено строгое кинематическое соответствие релятивистской частицы и осциллирующего релятивистского досветового солитона. При демонстрации волновых свойств солитона существенным нововведением является использование понятия слабого солитона. Дальнейшие исследования в этом направлении должны содержать расчёты и визуализации для конкретных решений конкретной модели единого поля. В настоящее время наиболее перспективной такой моделью представляется модель пространственно-временной плёнки. Как указывалось, задачи такого рода являются математически исключительно сложными. Однако прогресс компьютерной техники и развитие символьно-математического программного обеспечения вселяют определённый оптимизм.

Список литературы

1. Черницкий А. А. *Нелинейная электродинамика: сингулярные солитоны и их взаимодействия.* СПб: ИНЖЭКОН, 2012, 360 с.

2. Chernitskii A. A. Lightlike shell solitons of extremal space-time film. *J. Phys. Commun.*, 2018, vol. 2, 105013.

3. Рыбаков Ю. П. Солитоны в киральной модели Скирма – Фаддеева и квантовая механика. *Пространство, время и фундаментальные взаисодействия.* 2025. № 1. С. 140–144.

4. Chernitskii A. A. About long-range interaction of spheroidal solitons in scalar feld nonlinear model. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, vol. 938, 012029.

5. Морс Ф. М., Фешбах Г. *Методы теоретической физики, Т. 2.* М: ИЛ, 1960. С. 430–434.

6. Абрамовиц М., Стиган И., ред. *Справочник по специальным функциям.* М: Наука, 1979. С. 256–257.

7. Chernitskii A. A. Dyons and interactions in nonlinear (Born-Infeld) electrodynamics. *J. High Energy Phys.*, 1999, vol. 1999, no 12, 10.

8. Chernitskii A. A. Born-Infeld equations. *Encyclopedia of Nonlinear Science, ed. Scott A.* N.Y.& London: Routledge, 2005, pp. 67–69.

9. Chernitskii A. A. Induced gravitation in nonlinear field models. *Int. J. Mod. Phys. Conf. Ser.*, 2016, vol. 41, 1660119, 7 p.

10. Chernitskii A. A. Gravitation in unified scalar field theory. *Universe*, 2021. vol. 7, 11, 10 p.

11. Chernitskii A. A. Gravitation in theory of space-time film and galactic soliton. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2021, vol. 2081, 012016, 6 p.

12. Черницкий А. А. О лептонах в теории пространственно-временной плёнки. *ЭЧАЯ.* 2023. Т. 54. № 4б С. 824–838.

References

1. Chernitskii A. A. Nonlinear Electrodynamics: Singular Solitons and their Interactions. Saint-Petersburg: ENGECON, 2012. 360 p. (in Russian).

2. Chernitskii A. A. Lightlike shell solitons of extremal space-time film. *J. Phys. Commun.*, 2018, vol. 2, 105013.

3. Rybakov Yu. P. Solitons in the Skirme – Faddeev chiral model and quantum mechanics. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2025, no. 1, pp. 140–144.

4. Chernitskii A. A. About long-range interaction of spheroidal solitons in scalar feld nonlinear model. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, vol. 938, 012029.

5. Morse P. M., Feshbach H. *Methods of Theoretical Physics, V. 2.* New York Toronto London: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1953.

6. Abramowitz M., Stegun I. A., ed. *Handbook of Mathematical Functions.* N.Y.: Dover, 1964.

7. Chernitskii A. A. Dyons and interactions in nonlinear (Born-Infeld) electrodynamics. *J. High Energy Phys.*, 1999, vol. 1999, no 12, 10.

8. Chernitskii A. A. Born-Infeld equations. *Encyclopedia of Nonlinear Science, ed. Scott A.* N.Y.& London: Routledge, 2005, pp. 67–69.

9. Chernitskii A. A. Induced gravitation in nonlinear field models. *Int. J. Mod. Phys. Conf. Ser.*, 2016, vol. 41, 1660119, 7 p.

10. Chernitskii A. A. Gravitation in unified scalar field theory. *Universe*, 2021. vol. 7, 11, 10 p.

11. Chernitskii A. A. Gravitation in theory of space-time film and galactic soliton. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2021, vol. 2081, 012016, 6 p.

12. Chernitskii A. A. On leptons in the theory of space-time films. *Physics of Particles and Nuclei*, 2023. vol. 54, no. 4, pp. 824–838.

Авторы

Черницкий Александр Александрович, к.ф.-м.н., доцент, Государственный Химико-Фармацевтический Университет, ул. Проф. Попова 14, Санкт-Петербург, 197022, Россия.
E-mail: AAChernitskii@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Черницкий А. А. Корпускулярно-волновой дуализм солитонов. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия.* 2025. № 4. С. 131—141.

Authors

Chernitskii Alexander Aleksandrovich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Prof. Popov str. 14, St. Petersburg, 197022, Russia.
E-mail: AAChernitskii@mail.ru

Please cite this article in English as:

Chernitskii A. A. Wave-particle dualism of solitons. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2025, no. 4, pp. 131–141.