

О. Г. ВЕРИН

**ДИНАМИКА ВАКУУМА И СОЛИТОННАЯ
ТЕОРИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

**Москва
РТ-Пресс
2002г.**

*Маме, Вериной Марии Константиновне,
и моему другу, Радиковичу Петру Ивановичу,
ПОСВЯЩАЕТСЯ*

УДК 539.12

ББК 22.382

В32

Верин О.Г.

Динамика вакуума и солитонная теория элементарных частиц.
М.: РТ Пресс, 2002. — 102 с., ил.

ISBN 5-7861-0055-3

В работе изложена точка зрения автора по широкому кругу вопросов фундаментальной физики. Анализ явлений микромира основан на исследовании динамики вакуума с использованием модели Максвелла.

Показано, что расслоение вакуума является ключевым механизмом образования структур элементарных частиц. Теоретический расчет постоянной тонкой структуры, проведенный в рамках развиваемой концепции электромагнитного солитона, подтвердил важнейшую роль этой мировой константы в явлениях микромира. Предложена новая физическая трактовка ароматов кварков. Установлена связь «странных» свойств микромира, описываемых квантовой теорией, со свойствами электромагнитных солитонов.

Проведенное исследование выявило закономерности, определяющие наблюдаемый ряд масс элементарных частиц. Выяснены причины своеобразной симметрии в классе лептонов, связанной с нейтрино. Приведены обоснования наличия конкретной структуры у нейтрино и вычислены их массы покоя, согласующиеся с имеющимися экспериментальными данными.

Развиваемая автором концепция коренным образом меняет сложившиеся представления о микромире и, несомненно, будет интересна как специалистам в области фундаментальной физики, инженерам, студентам, так и широкому кругу читателей, интересующихся современными проблемами науки.

ОБ АВТОРЕ

Автор этой работы, Верин Олег Гаврилович, родился в Москве в 1948 году, кандидат технических наук. В 1970 году закончил с отличием Московский институт электронного машиностроения. Работал на предприятиях электронной и атомной промышленности. Специалист в области электроники сверхвысоких частот. Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук в 1984 году.

С 1986 года увлекся исследованием проблем фундаментальной физики. Предложил нестандартный подход к изучению свойств микромира, основанный на солитонном представлении об элементарных частицах. Краткое изложение концепции было опубликовано в научно-популярном журнале в 1991 году.

За прошедшие годы концепция приобрела законченный вид и предлагается читателям, интересующимся современными проблемами науки, как отдельное небольшое издание.

О Г Л А В Л Е Н И Е

| | |
|--|----|
| 1. Введение | 5 |
| 2. Расслоение вакуума..... | 11 |
| 3. Электрон и позитрон..... | 20 |
| 4. Нелинейная электродинамика солитона..... | 28 |
| 5. Радиальные колебания..... | 37 |
| 6. Постоянная тонкой структуры..... | 43 |
| 7. Пульсирующий неизлучающий электрон..... | 49 |
| 8. Квантовая теория и электронный солитон..... | 55 |
| 9. Ароматы кварков..... | 65 |
| 10. Главная частота Вселенной..... | 75 |
| 11. Лептоны, виртуальные частицы и стоячие волны..... | 84 |
| 12. Заключение..... | 88 |
| Список литературы..... | 94 |

1. Введение

В течение нескольких последних десятилетий физика, являющаяся центральной наукой о Природе, приобретала все более формальный характер. Физические теории в большей степени напоминают разделы математики (например, группы симметрии $SU(2)$, $SU(3)$ и т. д., калибровочные поля, используемые при классификации элементарных частиц и описании взаимодействий). Некоторые квантовые числа, характеризующие элементарные частицы, вообще не имеют никакого физического смысла и вводятся абсолютно формально («странность», «очарование», «прелесть» и тому подобное) [1].

В свою очередь, математический формализм физических теорий строится на исходных постулатах квантовой механики, которые не укладываются в рамки обычного «здравого смысла» и даже не имеют, фактически, никакого разумного объяснения. Они вводятся в теорию на основании опыта как некоторые таинственные свойства микромира (волновые свойства микрочастиц вещества, вероятностный характер их движения и т. д.) [2]. Р. Фейнман сравнил такое положение дел в физике со знаниями жрецов индейцев майя. Они владели методиками расчета астрономических явлений (тоже основанными на опыте) и получали результаты, совпадавшие с фактическими событиями, не имея при этом представления об истинном устройстве Солнечной системы [3].

Эти особенности развития современной физики привели к двум диаметрально противоположным результатам.

С одной стороны, формализм в физике обеспечил успешное развитие многих теорий (квантовая электродинамика и квантовая хромодинамика, единая теория слабого и электромагнитного взаимодействий, классификация элементарных частиц и т. д.). Такие очевидные и впечатляющие успехи в значительной степени оправдывают формализм современной физики как метод познания.

С другой стороны, все более проявляется негативная тенденция подмены физической сущности явлений методами их расчета (наподобие жрецов индейцев майя). Эта тенденция и дальше укрепляется по вполне понятным причинам:

1. Грандиозность и математическая стройность методов расчета столь впечатляющи, а следующие из них выводы зачастую имеют настолько общий и даже философский характер, что они невольно начинают отождествляться с физической сущностью процессов или явлений.
2. Физики за многие десятилетия настолько привыкли к формализму и отсутствию «здорового смысла» в современной теории, что считают такое положение не только приемлемым, но и рассматривают его как весомое свидетельство бесспорной «научности».

Исторически такая ситуация в физике не нова и порождается тем простым фактом, что сначала исследования затрагивают лишь внешние проявления физических процессов, и эти процессы через какое-то время кажутся достаточно изученными. Но затем вскрываются глубинные внутренние механизмы явлений, и изучение (а главное, понимание) их физической сущности происходит как бы повторно с новой, более глубокой и более общей точки зрения. Например, молекулярная физика позволила совершенно по-новому взглянуть на известные свойства газов.

Поэтому современное состояние физики можно охарактеризовать как затянувшийся этап внешнего, описательного исследования микромира перед очередным качественным изменением в понимании сущности явлений.

Отмеченная выше ошибочная тенденция отождествления математического аппарата и методик расчета с физической сущностью тормозит поиски других точек зрения и может существенно отодвинуть по времени наступление нового этапа в понимании закономерностей микромира. Насколько трудно было в начале прошлого века воспринять «абсурдные» представления, входившие в науку, настолько же трудно теперь взглянуть на них критически и перейти к исследованию причин этого «абсурда».

Стержневая теория современной физики - квантовая

электродинамика проверена на опыте с колоссальной точностью. Однако это свидетельствует лишь о том, что в этой теории используется правильное математическое разложение реальных процессов на некоторые составляющие. Можно с невероятной точностью (до двадцатого или пятидесятого знака) проверить адекватность разложения реальной зависимости в ряд Фурье, но из этого не следует, что Природа действует или устроена в соответствии с придуманным нами математическим приемом.

Квантовая электродинамика обладает всеми признаками такого математического приема. Диаграммы Фейнмана, фактически, являются элементами разложения на базовые составляющие, включая самые невероятные, но оправданные с точки зрения математического формализма варианты (например, излучение и последующее поглощение фотона электроном, или варианты с отрицательным направлением времени) [4].

Дальнейшее продвижение по пути математического формализма в анализе явлений микромира становится все более затруднительным. Говоря о нерешенных вопросах, Р. Фейнман отмечает [3]: «Стивен Вайнберг и Абдус Салам попробовали объединить в единую квантовую теорию квантовую электродинамику и так называемые «слабые взаимодействия» (взаимодействия через W - бозоны). И они это сделали. Но даже просто посмотрев на полученные ими результаты, вы, так сказать, увидите белые нитки. Совершенно очевидно, что фотон и три W - бозона каким-то образом связаны, но на современном уровне понимания эта связь явно не видна: все еще мешают «швы» в теориях». Аналогичным образом обстоят дела и в глюонной теории, которая формально не сильно отличается от квантовой электродинамики. «Причина, по которой мы ничего не можем посчитать с приличной точностью, заключается в том, что константа связи для глюонов g значительно превосходит константу связи для электронов. Диаграммы с двумя, четырьмя и даже шестью взаимодействиями не просто маленькие поправки к основной амплитуде - они вносят существенный вклад, которым нельзя пренебречь». Далее Р. Фейнман констатирует, что «...не существует теории адекватно объясняющей величины наблюдаемых масс частиц, m . Мы пользуемся этими числами во всех наших теориях, но

не понимаем их - что они собой представляют или откуда они берутся. Я считаю, что с фундаментальной точки зрения это очень интересная и важная проблема». Похожая ситуация и с константой связи фотона и электрона, выражаемой через постоянную тонкой структуры. «Это одна из *величайших* проклятых тайн физики: *магическое число*, которое дано нам и которого человек совсем не понимает. Можно было бы сказать, что это число написала «рука Бога», и «мы не знаем, что двигало Его карандашом». Мы знаем, что надо делать, чтобы экспериментально измерить это число с очень большой точностью, но мы не знаем, что делать, чтобы получить это число на компьютере - не вводя его туда тайно!»

Таким образом, элементарные состояния природы и их характеристики, по которым в квантовой электродинамике и других аналогичных теориях осуществляется разложение и анализ физических явлений, являются проблемой, требующей отдельного решения.

Возможно ли решение этой проблемы в рамках самой квантовой теории? Квантовая механика и квантовая электродинамика оперируют с «заданными» на основе эксперимента характеристиками объектов, и было бы нелогично ожидать, что они «могут познать сами себя». Поэтому попытки такого рода дают либо бессмысленные результаты в виде бесконечностей, либо приводят к необходимости искусственных ограничений и перенормировок. Возникающее при этом понятие точечного электрона (и других истинно элементарных частиц) не выдерживает никакой критики и поддается только математическому определению, не имеющему физического смысла.

Познание базовых состояний - объектов Природы и их характеристик еще только предстоит и может быть осуществлено на совершенно новой, нестандартной основе, которая как раз не должна исходить из формализма квантовой электродинамики и других аналогичных теорий.

Предлагаемая в этой работе концепция направлена на поиск новых подходов к решению назревших проблем физики. Несомненно, что реальность сложнее, чем шедевры аппарата КЭД, КХД, различного рода симметрий и калибровочных полей. Пожалуй, она в большей степени напоминает турбулентное движение воды. В

работе показано, что поток электромагнитной энергии в вакууме, также как и движение воды, может образовывать вихревые структуры. Основу этих структур составляют вращающиеся одиночные волны, сходные с обычными солитонами [5,6,7]. Впервые основная идея концепции очень кратко была изложена автором в научно-популярном журнале [8].

Таким образом, элементарные вращающиеся структуры создают новую среду, встроенную в первичную среду - вакуум. Свойства каждой новой среды существенно отличаются от свойств первичной среды, в которую она встроена и на свойствах которой она базируется. Например, вращающиеся воронки в воде приобретают свойства самостоятельных объектов и, в зависимости от направления их вращения, притягиваются или отталкиваются друг от друга, совершают сложные движения. Такие же замысловатые «танцы» друг относительно друга совершают воронки торнадо. Многоступенчатая картина встроенных друг в друга и вырастающих друг из друга объектов Природы и сред простирается от первичной среды - вакуума до объектов Солнечной системы и Вселенной, подчиняющихся в своем движении закону всемирного тяготения. Таким образом, свойства вакуума лежат в основе всей этой колоссальной надстройки, вплоть до истоков закона всемирного тяготения. Именно этим определяется важность изучения свойств «первичной среды» и ее элементарных состояний.

Естественно, квантовая теория сохранит и в будущем центральное место в науке (она надежно подтверждена экспериментами). Но для того, чтобы двигаться дальше, необходимо отказаться от раздельного введения в теорию независимых объектов (квантовая электродинамика, например, базируется на уравнениях электромагнитного поля Максвелла и уравнении Дирака для электрона). Единство Природы является неоспоримым фактом, и поэтому мы должны вывести или, по крайней мере, постараться понять все явления от микро- до макромира, включая закон всемирного тяготения, основываясь на изучении динамики вакуума.

Исходя из этого, в данной работе элементарные возбуждения вакуума (солитоны) рассматриваются в качестве основы строения элементарных частиц. Разделы 2 - 7 посвящены теоретическому исследованию свойств собственно

электромагнитного солитона (роль постоянной тонкой структуры, особенности внутренних и внешних электромагнитных полей). В разделе 8 показана связь свойств электромагнитных солитонов с закономерностями микромира, описываемыми квантовой теорией. Последние разделы посвящены теории ароматов в структурах элементарных частиц и установлению закономерностей, определяющих ряд масс элементарных частиц. Обосновано также наличие внутренней структуры у нейтрино и вычислены их массы покоя.

2. Расслоение вакуума

То, что когда-то считалось пустым пространством, предстает перед современной наукой как одна из величайших тайн. Что такое вакуум мы, вероятно, еще долго не узнаем, однако изучить и понять его свойства вполне реально. Успешное развитие квантовой электродинамики в последние десятилетия существенно расширило наши представления о вакууме и позволило сделать вывод о том, что «...вакуум – это не пустота, а «живой» вакуум, своеобразная физическая среда, которая проявляется в целом ряде эффектов.» [4]. Проблема вакуума стала теперь едва ли не самой главной для дальнейшего развития фундаментальной физики.

Джеймс Клерк Максвелл был первым, кто еще полтора столетия назад начал исследовать вакуум, создал его модель и на ее основе получил уравнения электромагнитного поля [9]. Таким образом, *уравнения Максвелла рассматривались их автором как описание свойств вакуума.* Однако в дальнейшем модель вакуума была отвергнута и, фактически, забыта. Победило представление о вакууме, как о пустом пространстве, а *уравнения Максвелла стали рассматривать, как математическое описание свойств электромагнитного поля.* Р. Фейнман констатировал этот факт следующим образом: «Сейчас мы лучше понимаем, что дело в самих уравнениях, а не в модели, с помощью которой они были получены... Если мы отбросим все строительные леса, которыми пользовался Максвелл, чтобы построить уравнения, мы придем к заключению, что прекрасное здание, созданное Максвеллом, держится само по себе.» [10].

Произошедшая подмена понятий казалась очень удобной и удачной. С уравнениями, описывающими некоторое поле, можно совершать любые математические операции, не обременяя себя лишней размышлениями о физическом смысле тех или иных преобразований. Такой подход действительно был весьма продуктивным, и все было бы хорошо, если бы проблема вакуума вновь не заявила о себе.

В поисках решения этой проблемы логично воспользоваться

максвелловской моделью вакуума именно потому, что она адекватно описывает его свойства. На ее основе получены уравнения, которые в течение полутора столетий сохранились практически в неизменном виде и составляют сердцевину современной физики. Модель важна как методологический инструмент, позволяющий получить наглядное представление о возможных процессах в вакууме. Необходимо также выявить новые возможности самой модели и понять, каким образом могут быть представлены с помощью модели вакуума известные факты современной физики. Поэтому нам приходится возвращаться на полтора столетия назад и с благодарностью вспоминать то, что было сделано Максвеллом.

В результате долгих раздумий (по собственному признанию Максвелла) он предложил модель свойств вакуума как «своеобразной физической среды». Согласно модели Максвелла все пространство заполнено так называемыми «молекулярными вихрями» (будем называть их просто вихрями), вращательное движение между которыми передается через очень малые частицы, находящиеся между этими вихрями. Таким образом, каждый вихрь заставляет вращаться соседние вихри в том же направлении.

Перечислим некоторые свойства этой двухкомпонентной модели (рис.1).

- Линейные размеры вихрей не сказываются (как показал Максвелл) на свойствах динамической модели.
- Масса и размеры промежуточных частиц (между вихрями) полагаются пренебрежимо малыми.
- Объем и форма вихрей не поддаются деформации – деформация тангенциальна к поверхности вихря, то есть, вихри можно представить себе как пузырьки, у которых может вращаться и подвергаться деформации только оболочка, но не содержимое.
- Величины деформаций полагаются достаточно малыми, что обеспечивает линейность зависимости силы от величины деформации.
- Частицы, заполняющие промежутки между вихрями, ведут себя (в совокупности) как несжимаемая жидкость.

- Трение и какие-либо другие потери энергии отсутствуют.

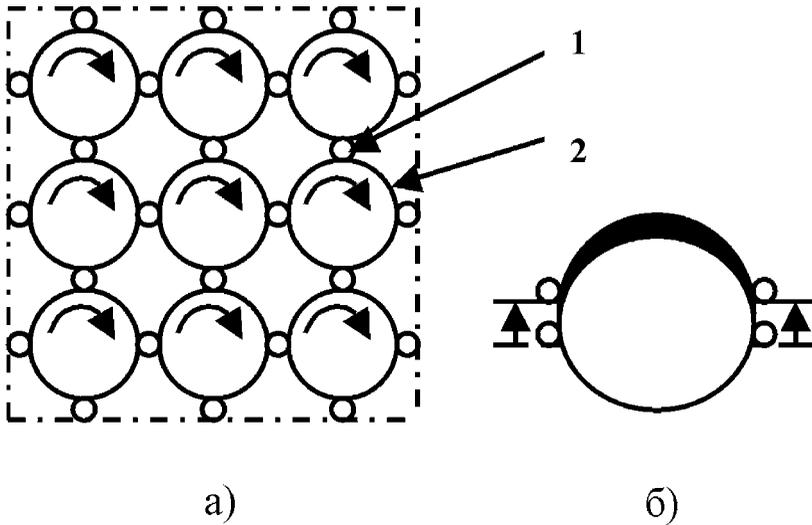


Рис. 1.
Двухкомпонентная модель вакуума.

- а) – динамическая модель вакуума (стрелками показано направление вращения вихрей),
б) – тангенциальная деформация вихря (деформация условно показана утолщением линии в верхней части вихря, испытывающей деформацию сжатия).

- 1 – промежуточные частицы,
2 – вихри Максвелла.

Сам Максвелл рассматривал модель как рабочий инструмент и по мере надобности вносил в нее изменения, позволявшие наиболее оптимальным образом решать конкретные задачи. Поэтому максимально упростим модель и будем считать, что вихрь занимает единичный объем. Тогда масса вихря μ , полностью сосредоточенная на его поверхности, будет являться аналогом магнитной проницаемости вакуума. Скорость H вращательного движения поверхности вихря положим всюду одинаковой (поверхность вихря представим в форме цилиндра, ось которого совпадает с осью

вращения). Тогда скорость вращательного движения может рассматриваться как аналог напряженности магнитного поля, а кинетическая энергия вращения вихря $\mu H^2/2$, таким образом, является аналогом плотности энергии магнитного поля. Следуя этой аналогии, диэлектрическая проницаемость вакуума ε соответствует обратной величине коэффициента упругости поверхности вихря при возникновении ее тангенциальной деформации. Степень деформации характеризуется величиной смещения D (аналог вектора электрического смещения). Потенциальная энергия деформации в единице объема равна $D^2/2\varepsilon$ и соответствует плотности энергии электрического поля.

Таким образом, в рассуждениях мы можем использовать применительно к модели все обозначения, традиционно используемые для описания электромагнитного поля.

Для иллюстрации модели рассмотрим электростатическое поле заряда q :

$$D_3 = q/4\pi r^2, \quad (2.1)$$

где r – расстояние от заряда.

Несжимаемость «жидкости частиц» выражается в том, что объем смещения (назовем его так) одинаков на поверхности сферы любого радиуса, окружающей заряд, и равен величине заряда ($D_3 \cdot 4\pi r^2$). Жидкость частиц как бы продавливается сквозь зазоры между вихрями, вызывая тангенциальную деформацию поверхностей вихрей. Это свойство, очевидно, соответствует теореме Остроградского – Гаусса.

Самым замечательным свойством двухкомпонентной модели Максвелла является то, что она допускает «расслоение» вакуума. На рис. 2 условно изображен фрагмент пространства, в котором распространяется электромагнитное поле. Расслоение вакуума приводит к тому, что поле структурируется в пространстве, и поток электромагнитной энергии как бы канализируется в некоторой области.

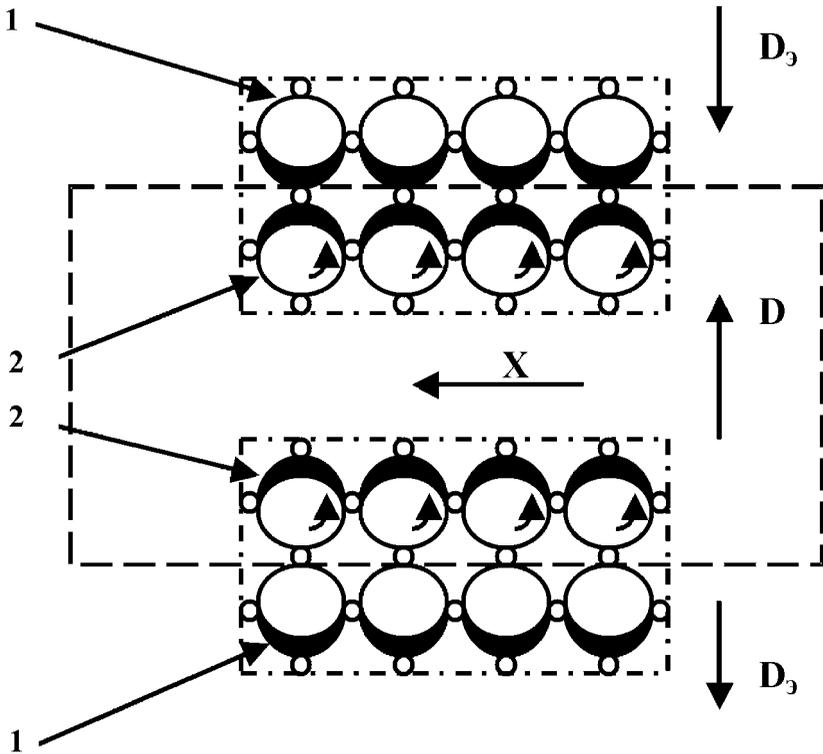


Рис. 2.

Модель распространения электромагнитного поля в вакууме.

- 1 – неподвижные вихри вне активной области,
 2 – вращающиеся вихри в активной области (утолщениями условно показана тангенциальная деформация вихрей, в результате которой одна из сторон испытывает деформацию сжатия),
 D – динамическое смещение в активной области,
 D_0 – статическое смещение вне активной области,
 X – направление распространения электромагнитного поля.

 - активная (динамическая) область распространения электромагнитного поля.

Вследствие этого, неизбежно возникают динамическая (активная) область (слой), в которой локализуется поток электромагнитной энергии, и внешняя (статическая) область, испытывающая на себе воздействие динамической области. Из-за такого расслоения, на границах активной и статической областей промежуточные частицы, помимо вращения, имеют и поступательное движение. На верхней границе они «катятся» налево, а на нижней – направо. Такое направленное движение слоя «жидкости частиц» соответствует, как показал Максвелл, наличию электрического тока.

В результате расслоения вакуума обнаруживаются две разновидности электрического смещения, которые в теории электромагнитного поля отдельно не рассматриваются, но существование которых логически вытекает из модели Максвелла. Это связано с тем, что причины деформации вихрей в динамической и в статической областях принципиально отличаются друг от друга. Динамическое смещение возникает не в результате смещения «жидкости частиц», как в случае электростатического поля, а в результате динамического воздействия вращающихся вихрей друг на друга.

Рассмотрим вращательное движение вихрей в динамической области. Пусть Ψ – положение какой-либо точки на поверхности вихря (координата отсчитывается по поверхности и может рассматриваться как фаза вращения). Будем считать, что положение этой точки одинаково для всех вихрей в невозмущенном вакууме. Тогда уравнение движения вихрей можно записать в следующем виде:

$$\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \mu \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}, \quad (2.2)$$

или

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2}, \quad (2.3)$$

выражающем второй закон Ньютона (c – скорость света). Так как мы считаем всю массу вихря сосредоточенной на его поверхности, то вращение описывается как линейное движение. Действительно, правая сторона уравнения (2.2) представляет собой произведение

массы вихря на ускорение, а левая сторона – это разность сил, действующих на него слева и справа. Последнее утверждение можно пояснить следующим образом. Вихрь заставляет вращаться разность сил, действующих со стороны соседних вихрей:

$$F_2 - F_1 = \left(\frac{D_2}{\varepsilon} - \frac{D_1}{\varepsilon} \right) = \frac{\Delta D}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial D}{\partial x} \cdot l = \text{rot}E. \quad (2.4)$$

Здесь введены обозначения: E – напряженность электрического поля, численно равная силе F , а также l – размер вихря, ранее принятый нами за единицу. Изменение параметра Ψ между соседними вихрями вызвано и определяется степенью деформации, то есть, динамическим смещением. Приняв это определение, получим:

$$\Delta\Psi = \frac{\partial\Psi}{\partial x} \cdot l = \frac{\partial\Psi}{\partial x} = D. \quad (2.5)$$

$$F_2 - F_1 = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2}. \quad (2.6)$$

Таким образом, удобство использования модели Максвелла заключается в данном случае в том, что непосредственно из уравнения движения вихря мы получаем не только волновое уравнение, но и уравнение Максвелла:

$$\frac{\partial B}{\partial t} = -\text{rot}E. \quad (2.7)$$

Левая часть этого уравнения является производной по времени от величины импульса вращательного движения вихря $B = \mu H$ (магнитная индукция). Знак минус соответствует принятым в теории электромагнитного поля положительным направлениям полей.

В дальнейшем мы еще будем возвращаться к определению

динамического электрического смещения, как характеристики пространственного изменения фазы вихрей. Исходя из такого определения, не менее наглядно можно получить и выражение, связывающее между собой величины H и D . Так как

$$\Delta\Psi = D \cdot \Delta x, \quad (2.8)$$

то после дифференцирования получаем:

$$\frac{\partial\Psi}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial x}{\partial t}, \quad (2.9)$$

$$H = D \cdot c, \quad \left(\frac{\partial x}{\partial t} = c \right). \quad (2.10)$$

Возведя в квадрат левую и правую части равенства (2.10), получаем, что при распространении электромагнитного поля плотности энергий электрического и магнитного полей равны друг другу.

Рассмотрим с точки зрения модели, каким образом образуется поток электромагнитной энергии (вектор Умова-

$$\Pi = E \cdot H = \frac{D}{\varepsilon} \cdot H. \quad (2.11)$$

Пойнтинга):

Смысл этого выражения очевиден. Произведение силы, действующей на поверхность вихря, на скорость движения поверхности является величиной механической работы за единицу времени. Частицы между двумя соседними вихрями (рис. 2) действуют на них с силой, которая для вихря, находящегося с правой стороны, направлена против скорости его вращения, а для вихря с левой стороны совпадает с направлением скорости вращения. Этим и определяется направление потока энергии справа налево. Мы не акцентируем внимание на положительных направлениях полей в модели, так как все вычисления мы будем производить, исходя из принятых положительных направлений полей в теории электромагнитного поля.

С формальной точки зрения модель Максвелла сопоставляет

каждой точке пространства осциллятор, характеризуемый единственным параметром - фазой ψ .

Невозмущенный вакуум (пустота) характеризуется неизменностью во времени и в пространстве фазы осцилляторов: $\psi \equiv 0$.

Магнитная индукция определяется как производная по времени $\partial\psi/\partial t$ с коэффициентом пропорциональности μ .

Напряженность электрического поля пропорциональна пространственному изменению фазы осцилляторов $\partial\psi/\partial x$ (коэффициент пропорциональности $1/\varepsilon$).

Несомненно, что во многих случаях это формализованное представление может оказаться удобным и более предпочтительным (например, для создания компьютерных моделей).

Такой подход, в частности, делает обоснованным предположение о наличии дополнительной характеристики электростатического смещения - своеобразной дополнительной поляризации (не путать с поляризацией фотона!). Направление этой поляризации определяется тем, что разность фаз осцилляторов имеет выделенное направление в пространстве, совпадающее с направлением распространения энергии в динамической области. Так как электростатическое поле порождается полем динамической области и уравнивает его, то электрическое поле в обеих областях должно иметь аналогичную поляризацию (характер деформации вихрей). Только при наложении произвольно ориентированных полей от большого количества источников, образующих макрочаряд, электростатическое электрическое смещение в окружающем пространстве может в среднем рассматриваться как равномерное (неполяризованное).

Таким образом, даже краткое знакомство со свойствами модели показывает, что, несмотря на ее кажущуюся простоту, она является эффективным методологическим инструментом. Фактически, мы уже подошли к пониманию того, что уравнения электромагнитного поля описывают лишь частный случай из всего многообразия возможных состояний вакуума.

3. Электрон и позитрон

Представим себе динамическую область в виде кольца, по которому распространяется поток электромагнитной энергии. Такая структура в вакууме не только возможна, но и логически следует из рассмотренного выше свойства вакуума, которое мы определили как расслоение. Этот своеобразный резонатор, или резонанс вакуума, является ключом к познанию самой простой (элементарной) частицы вещества. В следующем разделе будут рассмотрены условия, при которых реализуется вращательное движение электромагнитного поля, однако даже путем простых вычислений можно осуществить как бы первичную проверку этой идеи.

Наиболее информативным процессом для анализа является рождение электрон-позитронной пары из кванта электромагнитной энергии. Электрон и его античастица - позитрон имеют противоположные электрические заряды и магнитные моменты. Поэтому образование электрон-позитронной пары можно представить себе как резонансное накопление электромагнитной энергии кванта одновременно в двух резонаторах с противоположными направлениями полей (рис. 3). Определим радиус этих кольцевых резонаторов, исходя из того, что энергия исходного кванта (a , следовательно, и его длина волны, полагаемая равной длине окружности резонаторов) должна определяться суммарной массой электрона и позитрона, то есть, удвоенной массой электрона:

$$2m_e c^2 = \hbar \omega, \quad (3.1)$$

$$2\pi r_e = \lambda = 2\pi \frac{c}{\omega}, \quad (3.2)$$

где m_e - масса электрона,
 r_e - радиус кольцевого резонатора,

λ, ω - длина волны и круговая частота кванта,
 $\hbar = 2\pi\hbar$ – постоянная Планка.

Отсюда имеем:

$$r_e = \frac{c}{\omega} = \frac{\hbar}{2m_e c}, \quad 2r_e = \frac{\hbar}{m_e c} = \lambda_k = 3,86 \cdot 10^{-13} \text{ м.} \quad (3.3)$$

Диаметры резонаторов, таким образом, оказываются равными так называемой комптоновской длине волны электрона.

Соответственно для спина электрона (и позитрона) получим:

$$s = \frac{\hbar\omega}{2c} \cdot r_e = \frac{\hbar}{2}, \quad (3.4)$$

что подтверждает резонансную природу образования электрон-позитронной пары ($\hbar\omega/2c$ – импульс вращающегося электромагнитного поля).

Таким образом, электрон и позитрон представляют собой одиночные, или уединенные, волны (полуволны с полями противоположных направлений), вращающиеся по кольцу с длиной окружности, равной длине волны исходного кванта. Такие уединенные волны известны и называются солитонами. В качестве примера чаще всего называют уединенную волну, которая может образовываться в воде (в частности, цунами).

Вращающиеся полуволны в структурах электрона и позитрона, таким образом, очень напоминают уединенные волны солитонов. Основываясь на этом сходстве, будем называть их электромагнитными солитонами. Насколько удачно такое название и какова на самом деле форма этих полуволн покажут дальнейшие исследования.

В связи с этим, приведем самые общие сведения о солитоне. «СОЛИТОН, структурно устойчивая уединенная волна,

распространяющаяся в нелинейной среде. Солитоны ведут себя подобно частицам (частицеподобная волна): при взаимодействии друг с другом или с некоторыми другими возмущениями они не разрушаются,

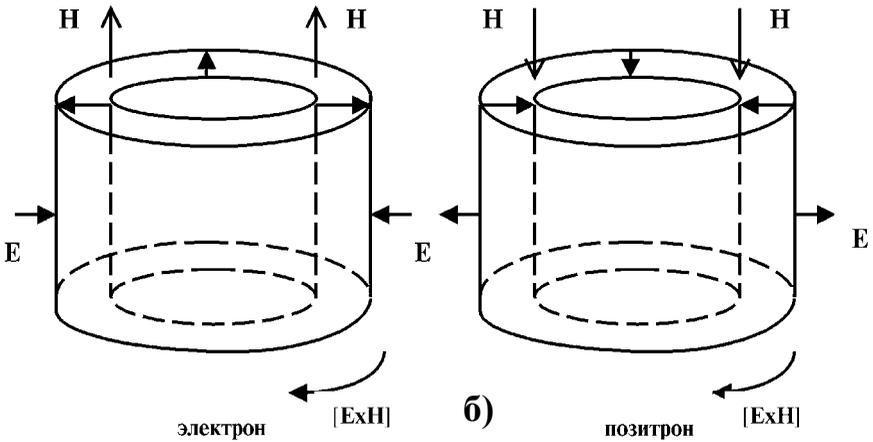
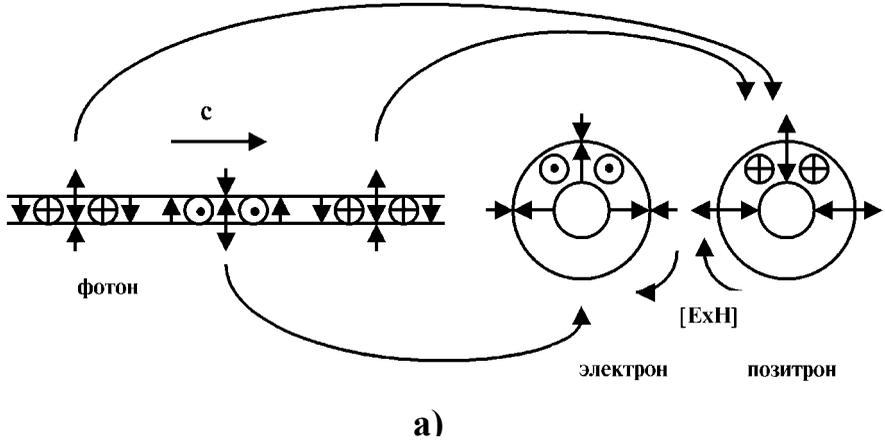


Рис. 3.
Схема образования электрон-позитронной пары (а),
направления полей в структурах электрона и позитрона (б).

а расходятся, сохраняя свою структуру неизменной. Существуют солитоны различной природы: солитоны на поверхности жидкости,

ионозвуковые и магнитозвуковые солитоны в плазме, гравитационные солитоны в слоистой жидкости, солитоны в виде коротких световых импульсов в активной среде лазера и др.» («Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия 2000», 1999 г.)

Высота динамической области резонатора определяется «сшиванием» полей сферической (электростатической) и цилиндрической (динамической) областей. Так как на поверхности, образующей границу этих областей, величина электростатического поля и соответствующий поток электрического смещения в целом не должны претерпевать скачков, то следует определить высоту цилиндра, исходя из равенства площадей боковой поверхности цилиндра и поверхности соответствующей сферы. Такое равенство площадей достигается при высоте цилиндра, равной его диаметру.

Толщину Δ динамической области (расстояние между внутренним и внешним цилиндрами, ограничивающими динамическую область) определим исходя из известной величины магнитного момента электрона. Отношение этой толщины к диаметру солитона (как электрона, так и позитрона) обозначим через α :

$$\alpha = \frac{\Delta}{2r_e}. \quad (3.5)$$

Магнитный момент электрона, как известно, равен магнетону Бора и, исходя из рассматриваемой структуры электрона, определяется как произведение величины электрического тока на площадь, пронизываемую магнитным полем. Как было установлено в предыдущем разделе, электрический ток протекает по поверхностям раздела динамической и статической областей, то есть, в нашем случае это кольцевые токи по внутреннему и внешнему цилиндрам структуры:

$$I = 2r_e \cdot H, \quad (3.6)$$

где H – напряженность усредненного магнитного поля (равная плотности поверхностного кольцевого тока),

I – величина кольцевых токов цилиндров (произведение плотности поверхностного тока на высоту

цилиндров).

Площадь, пронизываемая магнитным полем, определяется величиной зазора между цилиндрами:

$$\sigma = 2\pi r_e \cdot \Delta \quad (3.7)$$

Величину усредненного магнитного поля приближенно определим, исходя из того, что практически вся электромагнитная энергия солитона сосредоточена в объеме между цилиндрами структуры (краевыми эффектами пренебрегаем), а магнитная и электрическая энергии в целом равны друг другу и равномерно распределены в динамической области:

$$\frac{\hbar\omega}{2} = \mu H^2 \cdot 4\pi r_e^2 \Delta. \quad (3.8)$$

Подставив полученные значения в уравнение для магнитного момента электрона:

$$\frac{e\hbar}{2m_e} = I\sigma, \quad (3.9)$$

имеем:

$$\alpha = \frac{\mu e^2 c}{2\hbar}. \quad (3.10)$$

В уравнении масса электрона также была выражена через энергию:

$$m_e = \frac{\hbar\omega}{2c^2}. \quad (3.11)$$

Таким образом, отношение толщины динамической области электрона к ее среднему диаметру оказывается равным фундаментальной физической константе – постоянной тонкой структуры (3.10).

Оценим другие количественные характеристики структуры электрона. (Очевидно, что те же величины являются и характеристиками позитрона.)

За «поперечный» размер электрона можно считать толщину Δ вращающегося пульсирующего слоя электромагнитного поля

(видимо близкого к форме полуволны, если вспомнить резонансную природу образования солитона):

$$\Delta = \alpha \lambda_k = \frac{\mu c e^2}{2\hbar} \cdot \frac{\hbar}{m_e c} = \frac{\mu e^2}{4\pi m_e} \approx 2,82 \cdot 10^{-15} \text{ м}, \quad (3.12)$$

что совпадает с одним из определений величины так называемого классического радиуса электрона [11].

Зная величину α , можно получить не известные ранее средние значения полей в динамической области электрона:

$$H = \frac{\hbar}{2\mu e r_e^2} \quad (3.13)$$

$$E = \frac{\hbar c}{2e r_e^2} \quad (3.14)$$

Соответственно кольцевые токи в структуре электрона (3.6) имеют впечатляющую величину: $I \approx 2,8 \cdot 10^3 \text{ А}$. Это позволяет наглядно представить себе величины полей в этой микроструктуре.

Зная величину динамического электрического поля, оценим заряды (или точнее - квазизаряды), сосредоточенные на каждой из цилиндрических поверхностей, обрамляющих динамическую область:

$$q \approx \varepsilon E \cdot 4\pi r_e^2 = \frac{e}{2\alpha} \approx 68,5e. \quad (3.15)$$

Разность потенциалов между этими цилиндрами приблизительно равна напряженности электрического поля, умноженной на расстояние между цилиндрами:

$$\varphi = \frac{\hbar c}{2e r_e^2} \cdot \frac{e^2}{2\hbar c \varepsilon} \cdot 2r_e = \frac{e}{4\pi \varepsilon r_e}, \quad (3.16)$$

и, как легко заметить, совпадает с величиной потенциала во внешней статической области электрона. Это совпадение еще раз

подтверждает правильность вывода, сделанного на основе модели Максвелла. «Опираясь» на внешнюю статическую область, динамическая область электрона оказывает на нее пульсирующее и некоторое среднее воздействие, являющееся, таким образом, причиной статического заряда у электрона.

Можно отметить еще некоторые интересные особенности полученных характеристик электрона.

Часть общей массы электрона, связанная с энергией его внешнего электростатического поля, оказывается равной постоянной тонкой структуры:

$$\frac{W_{эл}}{W} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon r_e} \div \frac{\hbar c}{2r_e} = \frac{e^2}{2hc\epsilon} = \alpha. \quad (3.17)$$

Соответственно отношение максимальной величины внешнего электрического поля электрона (при $r = r_e$) к величине поля в динамической области равно:

$$\frac{E_{эл}}{E} \approx \frac{e}{4\pi\epsilon r_e^2} \div \frac{\hbar c}{2er_e^2} = 2\alpha. \quad (3.18)$$

Зная величины полей и структуру электрона, можно определить не известную ранее величину магнитного потока электрона:

$$\Phi = B\sigma = \frac{\hbar}{2er_e^2} \cdot \alpha 4\pi r_e^2 = \frac{\alpha h}{e} = 2\alpha\Phi_0, \quad (3.19)$$

где Φ_0 – квант магнитного поля.

Введенный в предыдущем разделе параметр Ψ , приобретает особый смысл при описании свойств солитона. Значение этого параметра, равное $\Psi_0 = 2Dr_e$, можно сопоставить с некоторым потенциалом, который мы назовем динамическим потенциалом солитона (Ψ_0/ϵ). Полная энергия электронного солитона выражается

через его заряд и динамический потенциал:

$$W = \frac{1}{2} \frac{\Psi_0}{\varepsilon} \cdot e = E \cdot r_e \cdot e = \frac{\hbar c}{2r_e}. \quad (3.20)$$

Величина динамического потенциала солитона может рассматриваться как характеристика своеобразной «фазовой дислокации» в вакууме. Интересно, что винтовые дислокации разных направлений (знаков) в металлах, также как электрон и позитрон, могут аннигилировать, а движение винтовых дислокаций удовлетворяет преобразованиям Лоренца [12].

Электромагнитные солитоны рассмотренных двух видов с противоположными направлениями полей (соответствующие электрону и его античастице - позитрону) являются двумя базовыми структурами, определяющими строение элементарных частиц вещества. Именно эти две разновидности солитонов, как будет показано ниже, составляют основу строения мезонов и барионов.

Кроме того, структуры электромагнитных солитонов могут рассматриваться как электрические контуры с токами, создающие вокруг себя переменное электромагнитное поле. Поэтому между солитонами происходит обмен энергией, а величины полей устанавливаются в соответствии с принципом взаимности.

Рассмотренная структура солитона, очевидно, требует теоретического и экспериментального подтверждения. С этой точки зрения все последующие разделы отвечают этому требованию и полностью подтверждают предварительные расчеты модели электрона и позитрона.

4. Нелинейная электродинамика солитона

Универсальное свойство электромагнитного поля совершать вращательное движение и образовывать, таким образом, структуры элементарных частиц является чрезвычайно важным для построения теории. Поэтому в дополнение к первичным расчетам параметров и структуры электрона (и позитрона), проведенным в предыдущем разделе, рассмотрим подробнее электродинамику солитона.

Вращательное движение солитона, как целого, характеризуется существенной нелинейностью процесса распространения электромагнитной энергии, проявляющейся в отличной от нуля дивергенции электрического поля. Электродинамика солитона усложняется и в результате отмеченного в п.2 «зарождения» электростатического поля в динамической области (смещение «жидкости частиц» в процессе взаимного уравнивания потенциалов электрических полей динамической и статической областей наподобие перетягивания каната). Смысл и причины возникновения всех этих особенностей электродинамики солитона станут понятным по мере дальнейшего анализа специфических напряжений в вакууме, сопровождающих вращательное движение поля.

Так как относительная толщина динамической области солитона мала и характеризуется (как было установлено в п.3) постоянной тонкой структуры, то в первом приближении положим, что величина магнитного поля в этой области не изменяется при изменении координаты по радиусу. Кроме того, мысленно разобьем динамическую область на множество концентрических слоев и будем сначала считать, что потоки электромагнитной энергии в каждом из них направлены по окружности и не пересекаются друг с другом.

С учетом этих условий в любом произвольном поперечном сечении динамической области для обеспечения вращения солитона, как целого, необходимо, чтобы эффективное значение напряженности динамического электрического поля было пропорционально радиусу. Соответственно поток энергии и скорость распространения электромагнитного поля также будут

увеличиваться пропорционально расстоянию от центра вращения солитона.

Набег фазы вихря в динамической области определяется суммарной величиной динамического и статического смещений и равен $D + D_{эл} = D_0 r_0 / r$ (r_0 - значение радиуса, при котором скорость распространения равна скорости света; D_0 - значение электрического смещения, соответствующее общей плотности электрической энергии, связанной с данной точкой динамической области; D , $D_{эл}$ - динамическое и статическое смещения). Так как скорость распространения поля равна $c(r/r_0)$, то набег фазы соответствует принятому условию постоянства величины магнитного поля при изменении радиуса в динамической области $H = c(r/r_0)(D + D_{эл}) = cD_0$.

Запишем уравнение, выражающее равенство плотностей электрического и магнитного полей в процессе распространения электромагнитного поля:

$$\frac{D_0^2}{2\varepsilon} = \frac{D^2}{2\varepsilon} - \frac{1}{2} \varphi \operatorname{div} D + \frac{1}{2} D_0 \frac{r}{\varepsilon r_0} \cdot \left(D_0 \frac{r_0}{r} - D \right), \quad (4.1)$$

$$D_{эл} = D_0 \frac{r_0}{r} - D, \quad \varphi = \int_{r_1}^r D_0 \frac{r}{\varepsilon r_0} dr = \frac{D_0 (r^2 - r_0^2)}{2\varepsilon}.$$

Здесь учтено, что эффективное значение напряженности электрического поля в динамической области пропорционально радиусу $E_{эфф} = D_0 r / \varepsilon r_0$, а φ - соответствующий этой напряженности потенциал; r_1 - внутренняя граница динамической области.

В левой части уравнения записано значение плотности магнитного поля, выраженное через величину D_0 .

Правая часть уравнения содержит три составляющих плотности энергии электрического поля, связанных с данной точкой динамической области. Первая составляющая является обычной плотностью энергии электрического поля, определяемой величиной динамического электрического смещения. Вторая и третья составляющие связаны с образованием электростатического поля солитона. Они вызваны отличной от нуля дивергенцией электрического поля и работой, совершаемой при смещении частиц,

то есть электростатическим электрическим смещением (против эффективной напряженности электрического поля). Знак минус перед второй составляющей показывает на затраты энергии при образовании отличной от нуля дивергенции поля. Множитель $1/2$ перед третьей составляющей отражает общее свойство бинарных характеристик динамических систем (оба параметра возникают и изменяются во времени одновременно). Например, энергия деформации пружины определяется произведением силы на перемещение, которые возникают одновременно в начале процесса сжатия пружины и изменяются синхронно. Аналогично этому плотность электрической энергии в модели Максвелла определяется как энергия деформации вихря, то есть $1/2$ от произведения силы упругости на смещение $w = (1/2)ED = (1/2)(D/\varepsilon)D$.

Из уравнения (4.1) получаем:

$$E_{эфф} = D_0 \frac{r}{r_0 \varepsilon} = \frac{D^2 - \varphi \varepsilon \cdot \text{div} D}{D \varepsilon} = \frac{D}{\varepsilon} - \frac{\varphi \cdot \text{div} D}{D}. \quad (4.2)$$

Это выражение для эффективной напряженности электрического поля в динамической области можно наглядно интерпретировать. Так как напряженность электрического поля может быть выражена через плотность электрической энергии $E = 2w/D$, то (4.2) означает, что сила упругости вихрей (напряженность электрического поля) изменяется за счет дополнительной составляющей в энергии деформации, связанной с отличной от нуля дивергенцией поля в данной точке динамической области. Третья составляющая (4.1) не сказывается на жесткости вихрей, так как ее возникновение не связано непосредственно с данной точкой динамической области.

«Нарушение» правила о несжимаемости жидкости частиц, происходящее при отличной от нуля дивергенции электрического поля, объясняется не только дополнительными затратами энергии, но и особым механизмом этого явления. При внимательном рассмотрении модели Максвелла становится очевидным, что это происходит при возникновении динамических напряжений между вихрями, когда степень сжатия стенки одного из контактирующих вихрей не соответствует степени расширения стенки другого соседнего вихря. При этом плотность частиц между этими стенками

вихрей будет отличаться от средней, и в вакууме возникнет заряд (точнее - квазизаряд, так как он не связан с частицей вещества). Подробнее механизм этого явления в солитоне будет рассмотрен ниже.

Ввиду важности уравнения (4.2) для описания свойств солитона получим его еще одним способом. Будем исходить из энергетических соображений, не прибегая к модели Максвелла. С целью упрощения написания формул мы будем, как правило, вести анализ применительно к части структуры солитона единичной высоты и опускать множители 2π в тех случаях, когда они заведомо сокращаются.

Выделим мысленно в динамической области цилиндрическую поверхность радиуса r . Запишем выражение для величины удельной (приходящейся на единицу этой поверхности) энергии электростатического поля, исходящего из цилиндра:

$$w_{эл} = \frac{1}{2} \varphi(r) D_{эл}(r) = \frac{1}{r} \int_{r_1}^r \frac{D_0^2 - D^2}{2\varepsilon} \cdot r dr. \quad (4.3)$$

Интеграл в правой части равенства показывает часть энергии, идущей на образование электростатического поля, отнесенную к единице площади цилиндрической поверхности. Учитывая, что

$$D_{эл}(r) = D_0 \frac{r_0}{r} - D, \quad (4.4)$$

имеем:

$$\varphi(r) = \frac{1}{D_0 r_0 - Dr} \int_{r_1}^r \frac{(D_0^2 - D^2)}{\varepsilon} \cdot r dr. \quad (4.5)$$

Продифференцируем это выражение:

$$\frac{d\varphi}{dr} = D_0 \frac{r}{\varepsilon r} = \frac{(D_0^2 - D^2) r}{(D_0 r_0 - Dr) \varepsilon} + \frac{D + r \frac{dD}{dr}}{(D_0 r_0 - Dr)^2} \int_{r_1}^r \frac{(D_0^2 - D^2)}{\varepsilon} \cdot r dr. \quad (4.6)$$

Легко заметить, что это уравнение может быть преобразовано к виду:

$$D_0 \frac{r}{r_0} = D - \frac{\varepsilon \varphi \operatorname{div} D}{D}, \quad (4.7)$$

что совпадает с (4.2).

Переходим к решению дифференциального уравнения для электрического поля в динамической области, записав его в следующем виде:

$$D^2 - \frac{D_0}{2r_1} (r^2 - r_1^2) \left(\frac{D}{r} + \frac{dD}{dr} \right) - DD_0 \frac{r}{r_0} = 0. \quad (4.8)$$

После введения упрощающих обозначений имеем:

$$D^2 - a(r)D - b(r) \frac{dD}{dr} = 0, \quad (4.9)$$

$$a(r) = \frac{D_0 (r^2 - r_1^2)}{2r_0 r} + D_0 \frac{r}{r_0}, \quad (4.10)$$

$$b(r) = \frac{D_0 (r^2 - r_1^2)}{2r_0}. \quad (4.11)$$

Положим $D = u v$. Тогда уравнение приобретает следующий вид:

$$u^2 v^2 - uva(r) - ub(r) \frac{dv}{dr} - vb(r) \frac{du}{dr} = 0. \quad (4.12)$$

Это уравнение разбивается на два уравнения:

$$va(r) + b(r) \frac{dv}{dr} = 0, \quad (4.13)$$

$$u^2 v - b(r) \frac{du}{dr} = 0.$$

Решение первого из них:

$$v = \frac{\beta}{r(r^2 - r_1^2)}, \quad (4.15)$$

где β – константа интегрирования, подставляем во второе уравнение и получаем:

$$\frac{du}{u^2} = \frac{2\beta r_0 dr}{D_0 r (r^2 - r_1^2)^2}. \quad (4.16)$$

После интегрирования получаем решение этого уравнения:

$$\frac{1}{u} = \frac{2\beta r_0}{D_0} \left[\frac{1}{2r_1^2 (r^2 - r_1^2)} - \frac{1}{2r_1^4} \ln \frac{r^2}{r^2 - r_1^2} + \gamma \right], \quad (4.17)$$

$$u = \frac{D_0}{2\beta r_0 \left[\frac{1}{2r_1^2 (r^2 - r_1^2)} - \frac{1}{2r_1^4} \ln \frac{r^2}{r^2 - r_1^2} + \gamma \right]}, \quad (4.18)$$

где γ – константа интегрирования.

Умножив друг на друга полученные решения, получаем решение первоначального дифференциального уравнения:

$$D = uv = D_0 \frac{r_1^2}{r_0 r \left[1 - \frac{r^2 - r_1^2}{r_1^2} \ln \frac{r^2}{r^2 - r_1^2} + \gamma \frac{r^2 - r_1^2}{r_1^2} \right]}. \quad (4.19)$$

Константа γ определяется из граничных условий на внешней цилиндрической поверхности ($r = r_2$) динамической области солитона:

$$D_0 \frac{r_0}{r_2} = D(r_2) + D_{zn}(r_2). \quad (4.20)$$

Величину электростатического поля на внешней поверхности солитона найдем исходя из условия «сшивания» полей цилиндрической и сферической областей, зная величину потенциала на этой поверхности:

$$\varepsilon\varphi(r_2) = \frac{q}{4\pi r_2} = D_{эл} r_2, \quad (4.21)$$

$$q = 4\pi r_2^2 \cdot D_{эл}. \quad (4.22)$$

Таким образом, уравнение для константы γ приобретает следующий вид:

$$\frac{r_1^2}{r_0 r_2 \left[1 - \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_1^2} \ln \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + \gamma \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_1^2} \right]} = \frac{r_0}{r_2} - \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_0 r_2}. \quad (4.23)$$

Отсюда

$$\gamma = \ln \frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2 - 2r_0^2}{2r_0^2 - r_2^2 + r_1^2}. \quad (4.24)$$

На рис.4 приведена полученная зависимость динамического электрического поля от величины радиуса внутри динамической области солитона. Эта зависимость описывает усредненную картину распространения электромагнитного поля. Для удобства вычислений при построении зависимости на рис.4 и в дальнейшем изложении полагаем $r_0=1$, $D_0=1$. Кроме того, пределы изменения радиуса на графике соответствуют величине постоянной тонкой структуры, как это было установлено в предыдущем пункте.

Зависимость $D(r)$ обладает одновременно несколькими важными свойствами.

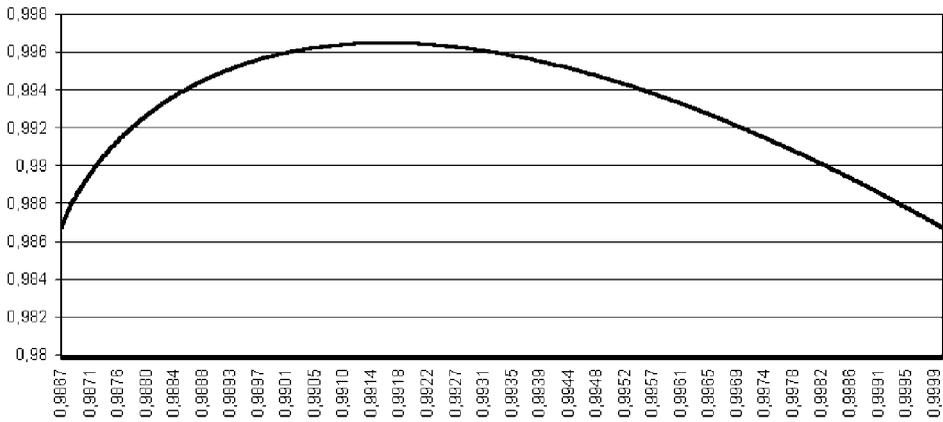


Рис. 4.
Зависимость динамического электрического смещения от радиуса (усредненный вариант решения).

Обеспечивается непрерывность (сшивание) потенциалов и электростатических полей на стыке динамической и статической областей.

Эффективная диэлектрическая проницаемость в динамической области (за счет отличной от нуля $divD$) такова, что скорость распространения поля оказывается пропорциональной радиусу, обеспечивая движение солитона, как целого.

Неопределенность в знаменателе формулы типа $0 \cdot \infty$ при $r \rightarrow r_1$ не вызывает разрыва функции и динамическое электрическое поле на внутренней границе динамической области при любых условиях оказывается равным $Do \cdot r_1 / r_0$, что соответствует скорости распространения cr / r_0 .

Суммарная энергия электрического поля в динамической и статической областях равна энергии магнитного поля солитона.

Естественно, что отличная от нуля дивергенция электрического поля приводит как бы к перераспределению эффективной напряженности электрического поля, однако общая величина разности потенциалов в динамической области равна «обычной» разности потенциалов:

$$\varepsilon\varphi(r_2) = D_0 \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_0} = \int_{r_1}^{r_2} D(r) dr. \quad (4.25)$$

и обеспечивает общую величину потока электромагнитной энергии солитона.

Равенство (4.25) имеет место при $r_2 \approx r_0$, то есть, при внешнем радиусе динамической области, соответствующем невозмущенному значению скорости света. Таким образом, динамическая область смещена внутрь (средняя скорость распространения в динамической области оказывается замедленной из-за возникновения внешнего электростатического поля). Именно такое расположение динамической области показано на рис. 4.

Полученное решение отвечает на многие вопросы и дает согласованную усредненную картину полей, что подтверждает состоятельность идеи электромагнитного солитона. Однако оно не отвечает на вопрос о том, каким образом солитон связывается в единое целое (каким образом осуществляется синхронизация распространения электромагнитного поля и соответствующая связь между разными концентрическими слоями динамической области).

Роль такого связующего звена, напоминающего «трение» между слоями динамической области, выполняет особый вид радиальных (продольных, то есть, вдоль направления электрического поля) электромагнитных колебаний. При этом возникает специфический вид напряженности электрического поля, приводящий к отличной от нуля дивергенции электрического поля. Таким образом, механизм этих колебаний, который мы рассмотрим в следующем разделе, даст возможность понять, каким образом получается только что рассмотренная усредненная картина полей в динамической области.

5. Радиальные колебания

Как и раньше, будем исходить из принципа равенства плотностей магнитной энергии и суммарной электрической энергии в каждой точке динамической области солитона. Составим уравнение, аналогичное уравнению (4.1), но в отличие от него, вместо эффективного значения напряженности электрического поля используем «обычную» величину напряженности D/ε . Такая замена связана с необходимостью учета динамических напряжений, которые приводят к возникновению отличной от нуля дивергенции поля. Эти напряжения между концентрическими слоями динамической области напоминают «трение» между слоями и порождают силы между вихрями, направленные не в радиальном, а в азимутальном направлении. Отметим, что так же, как и уравнение для усредненного поля (4.5) это уравнение можно получить из энергетических соображений, произведя замену эффективной напряженности электрического поля на «обычную» напряженность динамического электрического поля:

$$\frac{D_0^2}{2\varepsilon} = \frac{D^2}{2\varepsilon} - \frac{1}{2}\varphi \operatorname{div}D + \frac{D}{2\varepsilon} \cdot \left(D_0 \frac{r_0}{r} - D \right), \quad (5.1)$$

$$D_{\text{эл}} = D_0 \frac{r_0}{r} - D, \quad \varphi = \frac{1}{\varepsilon} \int_{r_1}^r D(r) dr.$$

Преобразуем уравнение (5.1) и запишем его в следующем виде:

$$\frac{D_0}{2\varepsilon r_0} = \frac{D}{2\varepsilon r} - \frac{\varphi}{2D_0 r_0} \cdot \operatorname{div}D. \quad (5.2)$$

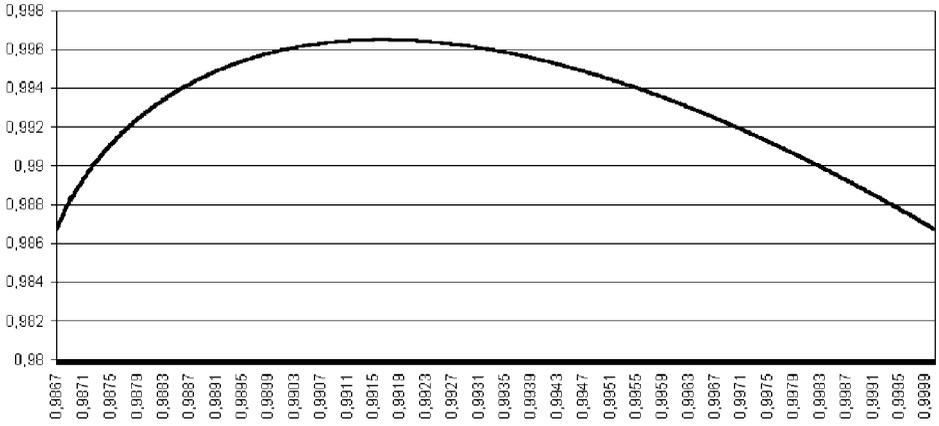


Рис. 5.
Зависимость динамического электрического смещения от радиуса (колебательный вариант).

Зависимость $D(r)$, полученная методом численного интегрирования этого дифференциального уравнения (рис.5), практически совпадает с полученной ранее зависимостью для усредненного решения (рис.4).

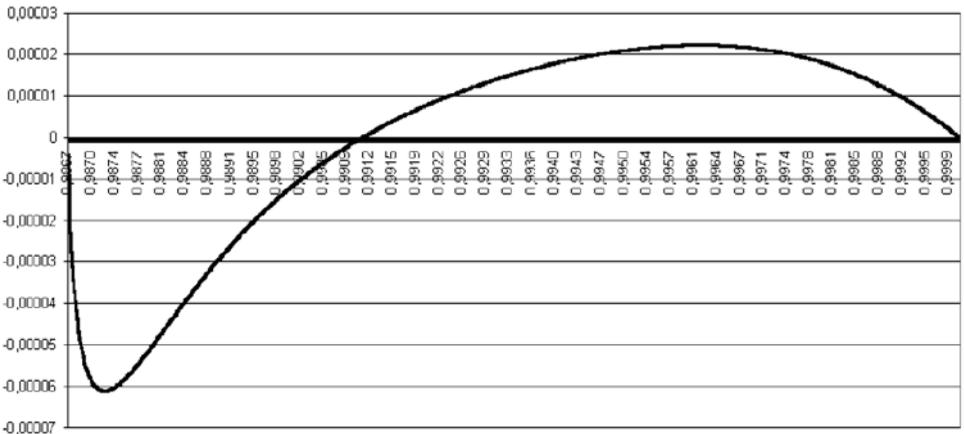


Рис. 6.
Радиальные колебания электрического поля в динамической области.

На рис.6 показан результат вычитания усредненного варианта из полученного решения. Для максимально возможного исключения так называемой ошибки усечения при получении результата вычитания оба дифференциальных уравнения (5.2) и (4.2) были решены одним и тем же численным методом Эйлера.

Форма записи уравнения (5.2) дает возможность понять, о каких динамических напряжениях между слоями идет речь и каким образом возникает отличная от нуля дивергенция поля. На рис.7 близкая к полупериоду синусоиды форма солитона (п.3) аппроксимирована равнобедренным треугольником (развертка по длине пути вращения солитона). В этом случае ротор напряженности электрического поля для произвольного значения радиуса численно равен наклону переднего и заднего фронтов солитона: $\pm D/2\epsilon r$ и может значительно отличаться (рис.5) от величины $\pm D_0/2\epsilon r_0$, необходимой для получения однородной величины магнитного поля (одинаковой для всех значений радиуса). Таким образом, вторая составляющая ротора в правой стороне уравнения «сглаживает» неоднородность ротора электрического поля на переднем и заднем фронтах солитона. Это означает, что вихри, испытывающие воздействие более крутого фронта передают усилия вихрям из соседнего слоя с меньшей крутизной фронта (как и силы трения, они направлены вдоль условной границы между слоями, то есть, совпадают с азимутальным направлением).

Энергия, связанная с отличной от нуля дивергенцией электрического поля, может быть выражена, исходя из выражения (5.2), следующим образом:

$$\frac{1}{2} \cdot \varphi \operatorname{div} D = \left(\frac{D_0}{2\epsilon r_0} - \frac{D}{2\epsilon r} \right) D_0 r_0. \quad (5.3)$$

Величина $2D_0 r_0$ равна динамическому потенциалу солитона (п.3) и соответствует набегу фазы (или величине пути, пробегаемого точкой поверхности вращающегося вихря) при прохождении солитона. Она делится поровну между задним и передним фронтами (по $D_0 r_0$). Поэтому энергия аккумулируется за счет дивергенции

электрического поля и равна работе сил, действующих со стороны вихрей соседних слоев. Силы умножаются на путь, который проходит

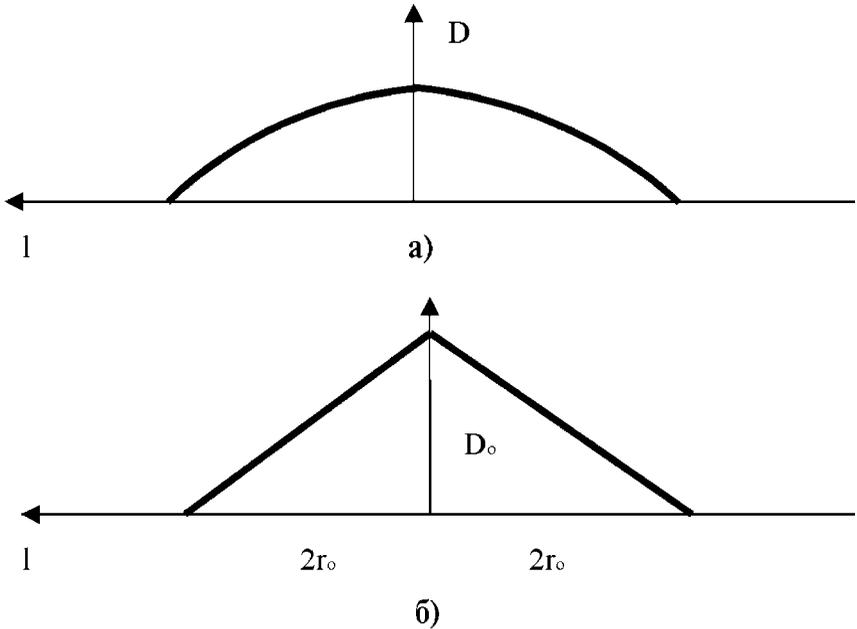


Рис.7

Развертка азимутального изменения электрического смещения в динамической области солитона.

а - реальная (предполагаемая) форма одиночной волны солитона,

б - аппроксимация волны солитона,

l – развертка траектории вращательного движения солитона.

$\text{rot}E = \pm D_0 / 2r_0$ имеет противоположные знаки на переднем и заднем фронтах солитона и соответствует крутизне этих фронтов нижней схеме.

поверхность вихря за время переднего фронта, или (что равноценно) берется произведение ротора этих сил на набег фазы. При прохождении заднего фронта солитона знаки роторов сил меняются на противоположные, и эта энергия расходуется на то, чтобы

притормозить (или ускорить) вращение вихрей в соседнем слое динамической области, в котором ротор электрического поля отличается от среднего значения.

Таким образом, эти процессы лежат в основе возникновения радиальных колебаний в динамической области, так как поток энергии приобретает радиальную составляющую. Однако эти отклонения незначительны, о чем свидетельствует малое отличие решения уравнения (5.2) от решения уравнения (4.2), показанное на рис. 6.

Радиальные колебания характеризуются своеобразным условием резонанса:

$$\int_{r_1}^{r_2} \varphi \operatorname{div} D \cdot r dr = 0, \quad (5.4)$$

то есть, энергия, связанная с дивергенцией поля в динамической области, в целом должна быть равна нулю. Действительно, после интегрирования интеграла (5.4) по частям получаем:

$$\int_{r_1}^{r_2} (\varphi \operatorname{div} D) r dr = (\varphi Dr)_{r_2} - (\varphi Dr)_{r_1} - \int_{r_1}^{r_2} Dr \frac{d\varphi}{dr} dr. \quad (5.5)$$

Так как потенциал на внутренней границе динамической области равен нулю, то (5.4) принимает следующий вид:

$$\varphi_2 D_2 r_2 - \int_{r_1}^{r_2} Dr \frac{D}{\varepsilon} dr = 0, \quad (5.6)$$

$$\varphi_2 \left(D_0 \frac{r_0}{r_2} - D_e \right) r_2 - \int_{r_1}^{r_2} \frac{D^2}{\varepsilon} r dr = 0, \quad (5.7)$$

$$\frac{D_0^2}{2\varepsilon} \frac{r_2^2 - r_1^2}{2} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{D^2}{2\varepsilon} r dr + \frac{1}{2} \varphi_2 (D_e r_2). \quad (5.8)$$

Здесь учтено выражение (4.25) для потенциала на внешней границе динамической области. Следовательно, (5.4) равносильно

очевидному равенству общей электрической энергии (левая сторона (5.8)) сумме энергий в динамической и электростатической областях (правая часть уравнения (5.8)).

Условие (5.4) следует и непосредственно из уравнения (5.3), если его умножить на $2r$ и проинтегрировать. В результате интегрирования мы получим, что искомым интеграл равен разности между значениями потенциала на внешней границе динамической области для усредненного варианта и для решения с учетом радиальных колебаний. Однако оба эти варианта должны давать одинаковые потоки энергии в азимутальном направлении, описывая движение солитона, как целого, и поэтому потенциал φ_2 для этих двух вариантов должен быть одинаковым:

$$\varphi_2 = \frac{1}{\varepsilon} \int_{r_1}^{r_2} D dr = D_0 \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_0}. \quad (5.9)$$

Отметим, что колебания, показанные на рис. 6, названы радиальными колебаниями в связи с тем, что они являются результатом вычитания усредненного поля (со строго азимутальным направлением распространения) из общей картины поля с учетом радиальных колебаний.

6. Постоянная тонкой структуры

Подводя промежуточный итог двух предыдущих разделов, можно отметить, что рассмотренное в п.4 решение уравнения (4.1) описывает усредненную картину поля в динамической области, а решение уравнения (5.1) п.5 показывает, каким образом такая картина полей получается. При этом ключевым механизмом, определяющим процесс распространения электромагнитного поля в динамической области, являются радиальные колебания. Они выполняют функцию своеобразного «трения» между концентрическими слоями солитона, связывая колебательный процесс в единое целое.

Исходя из этого, универсальная физическая константа - постоянная тонкой структуры, фактически, определяется свойствами радиальных колебаний, от которых зависит относительная толщина динамической области солитона. Этот вывод подтверждается и результатами анализа, который мы проведем, исходя из следующих условий.

Во-первых, длительности колебательных процессов в радиальном и азимутальном направлениях должны совпадать друг с другом. (Так как солитон является одиночной волной, то речь идет именно о длительностях процессов, а не о периодах или частотах, характеризующих периодические процессы.) Другими словами, толщина динамической области солитона будет зависеть от соотношения скоростей распространения процессов в азимутальном и радиальном направлениях.

Во-вторых, вариант усредненного решения должен соответствовать свойству радиальных колебаний, которое можно охарактеризовать, как условие резонанса (5.4). Это условие означает, что из всех возможных решений уравнения (4.1) необходимо выбрать такое, которое удовлетворяет требованию равенства нулю в целом по динамической области энергии, связанной с дивергенцией электрического поля.

Начнем с вопроса о том, каковы принципиальные

физические причины столь малой относительной величины динамического слоя (порядка постоянной тонкой структуры $\sim 1/137$). Зависимость, представленная на рис.6 (разность поля с учетом радиальных колебаний и усредненного поля), напоминает колебания подвешенной цепи. Это сходство радиальных колебаний с колебаниями подвешенной цепи не является только внешним. Проведем сравнение физических механизмов этих колебаний, в результате которого станет ясна причина малой скорости распространения радиальных колебаний.

Так как, наряду с «основными» азимутальными колебаниями, в динамической области солитона имеют место радиальные колебания, то динамический потенциал Ψ должен иметь две составляющих - азимутальную и радиальную:

$$\Psi_0 = 2D_0 r_0 = \Psi + \Psi_s = 2Dr + 2D_s r. \quad (6.1)$$

Это выражение следует из того, что (см. (4.1))

$$D_s = D_0 \frac{r_0}{r} - D. \quad (6.2)$$

Ротор электрического поля, вызванный радиальными колебаниями (5.2)

$$\text{rot}E = -\frac{\varphi}{2D_0 r_0} \text{div}D_s \quad (6.3)$$

определяет соответствующее волновое уравнение для динамического потенциала Ψ_s (п.2). При составлении уравнения необходимо, как и при выводе уравнения (2.2), учесть ротор сил (6.3) и рассматривать не весь динамический потенциал Ψ_s солитона, а только его изменение в пределах одного вихря. Поэтому с учетом (6.1) и (6.2) имеем:

$$D_s = \frac{\partial \Psi_s}{\partial r}, \quad \text{div}D = -\text{div}D_s. \quad (6.4)$$

Принимая во внимание эти условия, волновое уравнение для

радиальных колебаний запишем в следующем виде:

$$\mu \frac{\partial^2 \Psi_s}{\partial t^2} = \frac{\varphi}{2D_0 r_0} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi_s}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Psi_s}{\partial r^2} \right). \quad (6.5)$$

В скобках уравнения (6.5) записано выражение для дивергенции поля.

Вспомним теперь хорошо знакомые колебания подвешенной цепи (гибкой нити). Их описывают, используя второй закон Ньютона для малого участка длины цепи:

$$\frac{\partial F_y}{\partial x} \cdot \Delta x = m \Delta x \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}, \quad (6.6)$$

$$F_y = T \cdot \frac{\partial y}{\partial x}, \quad T = mgx, \quad (6.7)$$

где T – натяжение цепи;

F_y - поперечная составляющая силы натяжения цепи;

m - масса погонного метра цепи;

g - ускорение свободного падения;

x - расстояние от нижнего конца цепи.

Отсюда получаем дифференциальное уравнение для колебаний цепи:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = g \frac{\partial y}{\partial x} + gx \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (6.8)$$

По своей структуре это уравнение можно рассматривать как волновое уравнение, описывающее распространение сигнала с переменной амплитудой и скоростью, зависящей от координаты:

$$v \approx \sqrt{gx}. \quad (6.9)$$

На рис.8 видно, что равенство (6.9) выполняется с высокой

точностью. Форма собственных колебаний цепи определяется функциями Бесселя, но узловые точки колебаний с хорошей точностью могут быть определены по времени распространения сигнала, измеряемому в полупериодах (или в единицах π). На рисунке показаны колебания цепи и соответствующее время распространения сигнала, отсчитываемое от точки подвеса (первого нуля функции).

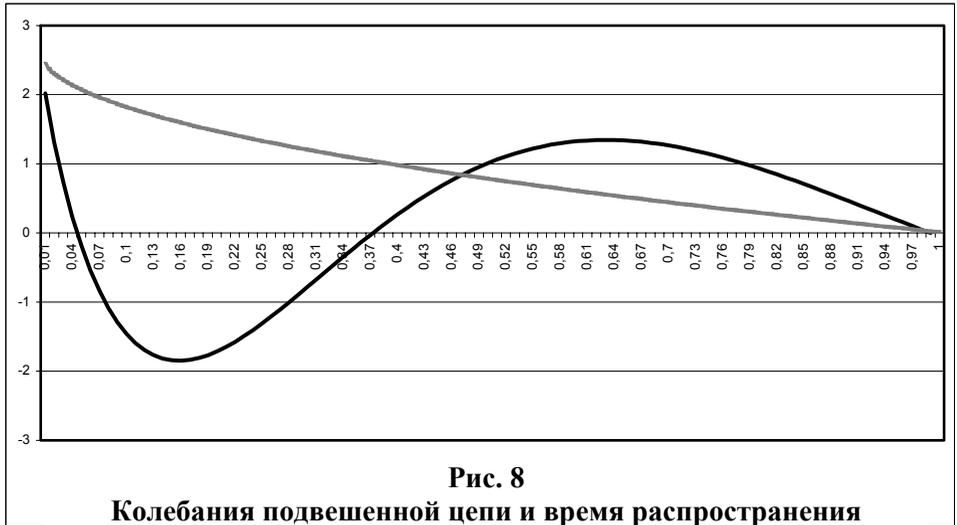


Рис. 8
Колебания подвешенной цепи и время распространения колебаний (наклонная кривая)

В уравнении (6.5) роль силы натяжения играет потенциал, увеличивающийся также почти линейно с увеличением расстояния от внутренней границы динамической области. При этом скорость распространения, аналогично колебаниям подвешенной цепи, увеличивается по мере увеличения расстояния от границы динамической области (конца цепи) и возрастания потенциала (натяжения цепи). Таким образом, скорость радиальных колебаний, исходя из (6.5), должна быть пропорциональна корню квадратному из потенциала φ , который почти линейно увеличивается с увеличением $(r-r_1)$:

$$v_r \sim c\sqrt{\varphi}, \quad \varepsilon\varphi \approx D_0(r-r_1). \quad (6.10)$$

Расчет времени распространения радиальных колебаний усложняется тем, что потенциал изменяется не только при изменении радиуса, но и за время прохождения одиночной волны солитона. То есть, потенциал в любой точке динамической области сначала (на переднем фронте волны) увеличивается до некоторого максимального значения, соответствующего вершине волны, а затем уменьшается (на заднем фронте волны).

Чтобы оценить порядок величины времени распространения радиальных колебаний, ограничимся областью вершины волны, где потенциал меняется незначительно. Если принять, что вся протяженность переднего фронта $\pi r_0/2$, то эту область определим как r_0 . Кроме того, положим $D = D_0$.

Исходя из этого и учитывая (6.5), скорость распространения равна:

$$v_r = c \sqrt{\frac{(r - r_1)}{2r_0}}. \quad (6.11)$$

Время распространения сигнала в радиальном направлении динамической области получим в результате интегрирования от r_1 до r_2 :

$$dt = \frac{dr}{v_r}, \quad t = \frac{2}{c} \sqrt{2r_0(r_2 - r_1)} = \frac{4r_0 \sqrt{\alpha}}{c} \approx 0,34 \frac{r_0}{c} = 0,34\tau_0. \quad (6.12)$$

Таким образом, за время τ_0 волна в азимутальном направлении проходит расстояние r_0 , а в радиальном направлении колебания за это же время проходят соответственно очень малое расстояние около $6r_0/137$. Тем не менее, этот результат оказывается завышенным в три раза по сравнению с тем, что должно быть на самом деле. Но не будем забывать, что оценка времени распространения была проведена при максимальном значении потенциала на вершине одиночной волны. Если учитывать медленное изменение поля на фронтах солитона, то общий результат будет ближе к фактическому значению. Нам важно было оценить

порядки величин и убедиться в том, что радиальные колебания действительно имеют очень малую скорость распространения. Мы не только в этом убедились, но и выяснили качественную картину колебаний, определяющих величину постоянной тонкой структуры.

Более точную оценку постоянной тонкой структуры можно провести основываясь на решении уравнения (4.1) с учетом условия резонанса радиальных колебаний (5.2).

Как мы видели, усредненный вариант решения выражается через элементарные математические функции, однако аналитические вычисления оказываются громоздкими. Поэтому расчеты проводились с использованием приближенных численных методов.

Для расчетов в программе Microsoft EXCEL интервал интегрирования был разбит на 1000 равных частей. На первом этапе для каждого из выбранных с определенным интервалом значений r_1 подбиралось соответствующее значение r_2 , при котором выполняется условие (4.25) для общей величины потенциала. Для полученной пары значений r_1 и r_2 фиксировалось значение интеграла (5.2). На втором этапе осуществлялся последовательный подбор пары значений r_1 и r_2 , при которых выполняется условие (5.2), то есть значение интеграла максимально приближается к нулю.

Таким методом была достигнута относительная величина разности левой и правой частей уравнения (4.25) $-2,3 \cdot 10^{-10}$, а величина интеграла (5.3) $-9 \cdot 10^{-9}$. Дальнейшие приближения уже практически не сказывались на результате.

Были получены следующие значения:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,9867 \\ r_2 &= 1,000023 \\ \alpha &\approx \frac{r_2 - r_1}{2r_0} \approx 0,0067. \end{aligned} \tag{6.13}$$

Учитывая, что изначально была использована довольно упрощенная модель, полученный результат можно считать удовлетворительным приближением к фактической величине (порядка 0,0073).

7. Пульсирующий неизлучающий электрон

В предыдущем изложении поле в электростатической (внешней) области электрона рассматривалось в упрощенном виде. На самом деле оно представляет собой очень сложную картину наложения электростатического и магнитного полей, а также переменного электромагнитного поля. Попробуем проанализировать некоторые особенности переменного электромагнитного поля электрона, так как свойства именно этой составляющей его внешнего поля фактически не известны и представляют наибольший интерес.

Описание сферических волн от точечного источника имеется, например, у Р. Фейнмана [10]. Потенциалы электромагнитного поля точечного источника удовлетворяют трехмерному волновому уравнению вида:

$$\nabla^2 \psi(r, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi(r, t) = 0. \quad (7.1)$$

Решением этого уравнения являются сходящиеся и расходящиеся волны:

$$\psi(r, t) = \frac{f(t - r/c)}{r} \quad \text{и} \quad \psi(r, t) = \frac{f(t + r/c)}{r}. \quad (7.2)$$

Внешнее поле вращающейся одиночной волны электромагнитного солитона можно тоже рассматривать, как сферические волны. Но прежде, чем приступить к анализу, кратко суммируем имеющиеся сведения о внешнем поле электрона, используя полученные в предыдущих разделах результаты, и сформулируем на этой основе необходимые исходные положения.

Во-первых, поле имеет пульсирующий характер. Однако фундаментальное свойство постоянства электрического заряда электрона при этом не нарушается, подобно тому, как световой поток вращающегося источника света проблескового маячка имеет постоянную величину, но производит на наблюдателя впечатление пульсирующего источника света.

Во-вторых, точная форма одиночной волны солитона не известна (можно только предполагать, что она напоминает форму полуволны). Поэтому не известно, в какой мере во внешнем поле представлены различные гармонические составляющие. Этот вопрос, как мы увидим позднее, имеет особое значение при анализе взаимодействия элементарных частиц. Однако первая гармоника, во всяком случае, является основной и должна иметь максимальную интенсивность. Поэтому анализ внешнего поля электрона проведем по этой основной гармонике.

В третьих, направление колебаний (направление распространения электромагнитной энергии), как было показано в предыдущем разделе, совпадает с соответствующим направлением перемещения частиц (по модели Максвелла). Радиальные колебания в динамической области сопровождаются радиальными перемещениями частиц, что соответствует образованию и изменению во времени электростатического смещения. Соответственно, азимутальные колебания сопровождаются также азимутальными перемещениями частиц в виде тока вдоль границ динамической области. Поэтому при описании радиальных колебаний в электростатической области электрона будем полагать направление векторного потенциала поля также радиальным.

В четвертых, принимая во внимание введенную ранее дополнительную поляризацию электрического смещения (п.2), определяемую направлением распространения энергии в динамической области, можно сделать вывод о направлении магнитного поля в электростатической области. Оно должно быть направлено по координате θ (широта), если центр сферической системы координат расположить в центре солитона на оси, совпадающей с осью вращения электромагнитного поля.

Кроме того, переменное поле в электростатической области излучается без участия токов - только за счет переменного электростатического смещения, исходящего из динамической области солитона. Поэтому внешнее электромагнитное поле будем определять, используя скалярный потенциал.

С учетом перечисленных условий скалярный потенциал внешнего переменного поля электрона (главной гармонической составляющей) запишем в следующем виде:

$$\varphi = \frac{D_3 r_0^2}{\varepsilon r} \sin\left(\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \gamma\right) \sin \theta, \quad (7.3)$$

где ω_0 - частота колебаний,

D_3 – амплитуда первой гармоники на внешней границе динамической области,

θ - широта в сферической системе координат,

γ - азимутальная координата (долгота),

r - расстояние от центра вращения солитона.

Здесь также учтено, что радиус внешней границы динамической области приблизительно равен $r_2 \approx r_0$ (см. п.6). Условия сопряжения сферической и цилиндрической областей внешнего поля электрона рассмотрены в п.3.

Выражение (7.3) описывает эффект вращения поля, а также традиционно учитывает только уходящую волну в радиальном направлении. Приравняв константе фазу колебаний и продифференцировав по времени, получим:

$$\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \gamma = \Phi, \quad \frac{\partial r}{\partial t} = \omega_0 r_0 = c. \quad (7.4)$$

Векторный потенциал поля определим из соотношения (калибровка Лоренца):

$$\nabla A = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = -\frac{D_3 r_0}{\varepsilon r} \sin\left(\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \gamma\right) \sin \theta. \quad (7.5)$$

Полагая модуль A равным производной некоторой функции, имеем:

$$A_r = \frac{\partial f}{\partial r}, \quad \nabla A = \frac{2}{r} \frac{\partial f}{\partial r} + \frac{\partial^2 f}{\partial r^2} = \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} (rf). \quad (7.6)$$

Следовательно

$$\frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} (rf) = -\frac{D_3 r_0}{\varepsilon r} \sin\left(\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \gamma\right) \sin \theta. \quad (7.7)$$

После интегрирования получаем:

$$f = \frac{D_3 r_0^3}{\varepsilon r} \cos(\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \gamma) \sin \theta + C_1 + \frac{C_2}{r}, \quad (7.8)$$

$$A_r = \frac{\partial f}{\partial r} = \frac{D_3 r_0^2}{\varepsilon r} \sin(\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \gamma) \sin \theta - \frac{D_3 r_0^3}{\varepsilon r^2} \cos(\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \gamma) \sin \theta - \frac{C_2}{r^2}, \quad (7.9)$$

где C_1, C_2 - константы интегрирования.

Из (7.9) получаем выражение для магнитного поля:

$$B = B_\theta = \text{rot}_\theta A = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial A_r}{\partial \gamma} = \frac{D_3 r_0^2}{\varepsilon r^2} \cos(\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \gamma) + \frac{D_3 r_0^3}{\varepsilon r^3} \sin(\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \gamma). \quad (7.10)$$

В (7.10) отсутствуют члены, пропорциональные $(1/r)$, что свидетельствует о том, что поле не излучается, и наряду с расходящейся волной должна быть и сходящаяся волна. Таким образом, внешнее переменное поле электрона является стоячей волной.

С учетом этого скалярный потенциал поля (7.3) запишем в виде:

$$\varphi = \frac{D_3 r_0^2}{2 \varepsilon r} \sin(\omega_0 t - \frac{r}{r_0} + \beta) \sin \theta + \frac{D_3 r_0^2}{2 \varepsilon r} \sin(\omega_0 t + \frac{r}{r_0} + \delta) \sin \theta. \quad (7.11)$$

Здесь β, δ - произвольные фазы.

$$\varphi = \frac{D_3 r_0^2}{\varepsilon r} \sin\left(\omega_0 t + \frac{\beta + \delta}{2}\right) \cos\left(\frac{\beta - \delta}{2} - \frac{r}{r_0}\right). \quad (7.12)$$

Преобразуем это выражение к более удобному виду:

Так как потенциал имеет максимум на внешней границе динамической области, то из (7.12) подбором произвольных фаз

получаем:

Векторный потенциал (7.9) принимает следующий вид:

$$A_r = -\frac{D_3 r_0^2}{\varepsilon r} \cos(\omega_0 t + \gamma) \sin\left(\frac{r}{r_0} - 1\right) \sin\theta - \frac{D_3 r_0^3}{\varepsilon r^2} \cos(\omega_0 t + \gamma) \cos\left(\frac{r}{r_0} - 1\right) \sin\theta - \frac{C_2}{r^2}. \quad (7.14)$$

Аналогично тому, как было получено выражение (7.10), имеем:

$$B = B_\theta = \frac{D_3 r_0^2}{\varepsilon r^2} \sin(\omega_0 t + \gamma) \sin\left(\frac{r}{r_0} - 1\right) + \frac{D_3 r_0^3}{\varepsilon r^3} \sin(\omega_0 t + \gamma) \cos\left(\frac{r}{r_0} - 1\right). \quad (7.15)$$

Зная скалярный и векторный потенциалы, получим напряженность электрического поля:

$$E = -\nabla\varphi - \frac{\partial A}{\partial t} = 0. \quad (7.16)$$

Этот странный на первый взгляд результат объясняется тем, что направление распространения колебаний совпадает с направлением электростатического поля, то есть, также как и радиальные колебания в динамической области они являются продольными. При этом динамические силы между вихрями направлены ортогонально к направлению распространения колебаний, а, следовательно, и к направлению деформации вихрей. Поэтому произошедшая компенсация напряженности электрического поля от скалярного потенциала ее составляющей от векторного потенциала не исключает наличия деформации вихрей, а, следовательно, и накопления энергии электрического поля. Более

того, как было показано в п.2, изменение во времени фазы вихрей, характеризующее наличие магнитного поля, возникает в результате соответствующей деформации вихрей.

Поэтому, по крайней мере, для дальней зоны динамическое смещение, характеризующее плотность энергии электрического поля этих колебаний, исходя из (7.15), можно записать в следующем виде:

$$D = \frac{D_3 r_0^2}{r^2} \sin\left(\omega_0 t + \gamma + \frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{r}{r_0} - 1\right). \quad (7.17)$$

Несомненно, что в ходе будущих исследований теоретическое описание электромагнитных колебаний внешнего поля электрона будет уточняться. В нашу задачу входило хотя бы на самой простой модели выявить отличительные особенности этого неизвестного свойства электрона.

Принципиальное значение имеет то, что колебания внешнего электромагнитного поля электрона являются стоячими и содержат в себе как расходящиеся, так и сходящиеся волны. Именно это свойство электромагнитных солитонов, определяет характер и интенсивность взаимодействий элементарных частиц.

8. Квантовая теория и электромагнитный солитон

Завершив рассмотрение структуры, а также внутренних и внешних полей электрона (что в равной степени относится к любому электромагнитному солитону), то есть, его свойств как обособленного «неподвижного» объекта, перейдем к анализу явлений, связанных с движением солитонов и их взаимодействием друг с другом.

Понятие покоящегося электрона, вообще говоря, не имеет смысла, так как в структуре солитона пульсирующее электромагнитное поле одиночной волны вращается, совершая сложные колебательные процессы и постоянно изменяя направление импульса. При этом минимальная энергия электрона, подобно квантовому осциллятору, равна $\hbar\omega_0/2$.

Принципиальное значение имеет также то, что структура солитона соответствует соотношениям неопределенностей Гейзенберга. Действительно, умножая диаметр электронного солитона (пространственное ограничение) на величину вращающегося импульса электромагнитного поля, получаем:

$$2r_e \cdot \hbar\omega_0 / 2c = \hbar. \quad (8.1)$$

Эти свойства структуры и характеристик солитонов являются лишь наиболее простыми внешними проявлениями «странных» закономерностей, присущих микромиру и возникающих в результате многообразных процессов взаимодействия между солитонами.

В нашу задачу не входит вывод квантовой теории из свойств электромагнитных солитонов, но показать эту взаимосвязь можно, и мы попытаемся это сделать, исходя из полученных результатов.

Рассмотрим сначала движение солитона (на примере электрона). При поступательном движении электрона, или, что то же самое, при наблюдении электрона из системы координат, движущейся относительно него со скоростью v , в структуре

электрона сочетается поступательное и поперечное распространение электромагнитного поля. Эта ситуация принципиально не отличается от того, что происходит в аналогичных условиях с электромагнитным полем, ограниченным некоторым замкнутым объемом. Поэтому проведем простой мысленный эксперимент.

Предположим, что в некотором объеме, вдоль которого наша система координат перемещается со скоростью v , имеется два фотона с одинаковой энергией $\hbar\omega$ (рис.9). Пусть эти фотоны движутся в поперечном (по отношению к скорости v) направлении, а при достижении стенок, ограничивающих объем, полностью отражаются.

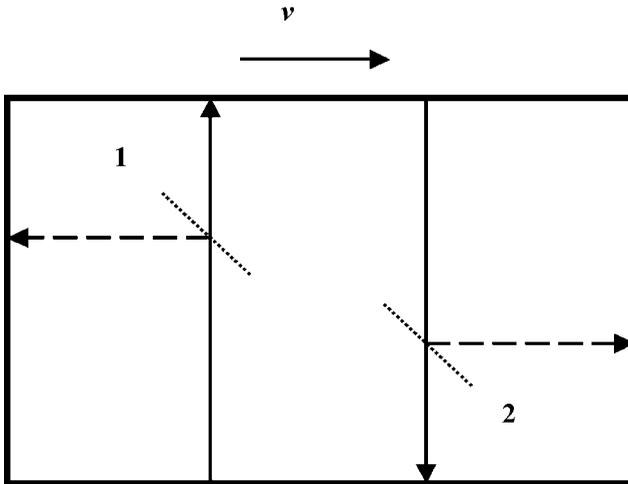


Рис. 9
Электромагнитные волны в замкнутом объеме.

- 1, 2 - зеркала,
- v - относительная скорость системы координат наблюдателя.

Полагая суммарную энергию фотонов равной W , запишем выражение для суммарного импульса такой системы, обозначив через p его направленную составляющую, связанную с поступательным движением:

$$\left(\frac{W}{c}\right)^2 = \left(\frac{W_0}{c}\right)^2 + p^2, \quad W^2 = W_0^2 + p^2 c^2, \quad (8.2)$$

$$p = \left(\frac{W}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right). \quad (8.3)$$

Здесь $W_0 = 2\hbar\omega_0$ - энергия поля в неподвижной системе координат ($W = 2\hbar\omega$ - энергия в движущейся системе координат). Импульс поля в движущемся объеме, таким образом, увеличивается, и его направленная составляющая определяется формулой (8.3).

Отсюда получаем:

$$W = \frac{W_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (8.4)$$

$$p = \frac{W_0 v}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (8.5)$$

Энергия и частота каждого из фотонов, таким образом, равны:

$$W_1 = W_2 = \hbar\omega = \frac{W}{2} = \frac{\hbar\omega_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad \omega = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (8.6)$$

Далее, постановкой специальных зеркал переведем одновременно движение двух фотонов в продольное, противоположное друг другу направление движения. При этом, очевидно, никакого изменения суммарной энергии и импульса системы не произойдет. Поэтому, обозначив новые значения энергии фотонов в движущейся системе координат через W_1 и W_2 , имеем:

$$W_1 + W_2 = W = \frac{W_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (8.7)$$

$$\frac{W_1}{c} - \frac{W_2}{c} = p = \frac{W_0 v}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (8.8)$$

Решая совместно эти уравнения, получаем:

$$W_1 = \frac{W_0}{2} \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} = \hbar \omega_0 \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}, \quad (8.9)$$

$$W_2 = \frac{W_0}{2} \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} = \hbar \omega_0 \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}, \quad (8.10)$$

что соответствует релятивистскому эффекту Доплера.

Таким образом, электромагнитное поле в замкнутом объеме при любом его направлении движения подчиняется обычным релятивистским соотношениям для движущегося материального тела.

Поэтому энергия движущегося электрона с учетом (8.4) равна:

$$W = \frac{W_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\hbar \omega_0}{2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (8.11)$$

Соответственно импульс движущегося электрона, учитывая (8.5.), равен:

$$p = \frac{W_0 v}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_e v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\hbar \omega_0 v}{2c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (8.12)$$

Напомним, что в этой и других формулах двойки в знаменателе относятся не к частоте вращения поля в солитоне, а к величине энергии.

Принимая во внимание, что с учетом (8.6)

$$k = \frac{\omega}{c} \cdot \frac{v}{c} = \frac{\omega_0 v}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8.13)$$

является проекцией волнового коэффициента на направление поступательного движения, то (8.12) можно записать в виде:

Так как
$$p = k\hbar/2. \quad (8.14)$$

$$W_0 = \frac{\hbar\omega_0}{2} = \frac{\hbar c}{2r_e}, \quad (8.15)$$

то с учетом (8.6), (8.11), (8.14) уравнение (8.2) принимает следующий вид:

$$\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 = \left(\frac{1}{r_e}\right)^2 + k^2 = \frac{4m_e^2 c^2}{\hbar^2} + k^2. \quad (8.16)$$

Выражение (8.16) является законом дисперсии, устанавливающим связь между частотой движущегося электрона и волновым коэффициентом. Отличие (8.16) от известной формулы закона дисперсии (множитель 4 в числителе первого члена в правой части уравнения) вызвано тем, что традиционно энергия электрона полагается равной $\hbar\omega_0$, а не $\hbar\omega_0/2$, как это следует из принятого нами резонансного характера образования электрон-позитронной пары (п.3).

Волновой коэффициент может быть записан, исходя из (8.16), следующим образом:

$$k = \sqrt{\left(\frac{\omega}{c}\right)^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}, \quad (8.17)$$

60

где величина a подобна длине большой стороны волновода прямоугольного сечения и равна пути, который электромагнитное поле в солитоне проходит между крайними точками в поперечном направлении:

$$a = \pi r_e. \quad (8.18)$$

Эта интересная аналогия упоминается Р. Фейнманом [10] и, как видим, она имеет глубокий физический смысл, являясь следствием внутренней структуры электрона.

Соотношение между групповой и фазовой скоростями электрона такое же, как для волны в волноводе:

$$v_{gp} = v = \frac{c^2}{v_{фаз}}. \quad (8.19)$$

Способом существования микромира является постоянный обмен энергией, происходящий между элементарными частицами. Это является следствием самой природы электромагнитного солитона, составляющего основу строения элементарных частиц. Фактически, он представляет собой подвижный резонатор (резонанс вакуума), имеющий в своей структуре токи и поля (внутри структуры - одиночная бегущая волна, снаружи - стоячие продольные электромагнитные волны). Поэтому взаимодействие неподвижных электронов, имеющих одинаковую частоту, может быть описано, например, в соответствии с леммой Лоренца, используемой, в частности, при расчете антенных устройств [13]. Таким образом, неподвижный электрон взаимодействует одновременно со стоячими волнами всех существующих электронов (относительно которых он неподвижен).

Следовательно, длина волны де Бройля неподвижного электрона, являющаяся фазовой характеристикой, равна бесконечности. Соответственно фазовая скорость электрона в этом случае также равна бесконечности. Постоянно обмениваясь энергией, идентичные электроны как бы растворяются друг в друге.

Если один электрон движется относительно другого электрона, то возникают биения, вызываемые различием частот

взаимодействующих между собой движущегося и неподвижного электронов. В зависимости от относительной фазы колебаний энергия перекачивается то от движущегося электрона к неподвижному электрону, то наоборот. Изменение этой относительной фазы колебаний, очевидно, происходит пропорционально разности частот колебаний. Частота движущегося электрона определяется формулой (8.6) и при малых скоростях приближенно может быть определена как

$$\omega = \omega_0 \left(1 + \frac{v^2}{2c^2} \right). \quad (8.20)$$

Таким образом, взаимодействие этой частоты с частотой неподвижного электрона ω_0 создает низкочастотные биения

$$\omega_n = \omega - \omega_0 = \omega_0 \frac{v^2}{2c^2} = \frac{m_e v^2}{\hbar}, \quad \left(\omega_0 = \frac{2m_e c^2}{\hbar} \right). \quad (8.21)$$

Именно этим процессом взаимодействия электронов друг с другом определяется частота волны де Бройля (разностью частот взаимодействующих электронов), а не характеристиками самого движущегося электрона (8.16) вне взаимодействия с другими электронами.

Определение частоты волны де Бройля (8.21) соответствует известной формуле для длины волны де Бройля:

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad v = \frac{v}{\lambda} = \frac{m_e v^2}{h}, \quad \omega_n = 2\pi v = \frac{m_e v^2}{\hbar}. \quad (8.22)$$

В действительности, движущийся электрон взаимодействует не с одним, а сразу со многими электронами. Поэтому возникает очень сложная интерференционная картина взаимодействий. При движении электрона относительно дифракционных решеток или кристаллов возникают направления, в которых фазы взаимодействия совпадают для большого количества электронов. Возникающая

интерференционная картина может быть образно определена, как фазовые струи. Электрон не может долго находиться в минимумах стоячих волн других электронов из-за происходящей при этом потери энергии. Поэтому электрон движется по этим фазовым струям, следуя интерференционной картине.

Из-за постоянно происходящего обмена энергией с другими электронами само понятие движения электрона становится условным, так как он «перекачивается» из одного места в другое, и «помогают» ему в этом окружающие электроны. Этот процесс сложения амплитуд вероятностей прекрасно описан Р. Фейнманом [3]. В основе всех этих процессов на самом деле, как мы видим, лежит взаимная перекачка энергии между всеми электронами. Кроме того, каждая точка пространства потенциально может быть резонатором, то есть, в ней может образоваться электромагнитный солитон любой частоты в зависимости от складывающихся условий.

Если электрон движется с ускорением, то на характер движения начинает оказывать воздействие его собственное внешнее поле. В частности, можно предположить, что вращение электрона вокруг ядра атома сопровождается образованием особой конфигурации продольного (неизлучающего) электромагнитного поля вокруг атома. При движении вокруг ядра электрон обменивается энергией с этим полем, симметрия которого, грубо говоря, соответствует целому количеству длин волн де Бройля укладываемых вдоль траектории движения электрона. Образование этого поля, в частности, может приводить к эффекту, называемому принципом запрета Паули. Действительно, если два электрона будут находиться в одинаковом состоянии, то их внешние поля будут иметь удвоенную амплитуду, что означает увеличение энергии этого поля в четыре раза. Такая ситуация энергетически не может реализоваться.

Те, кто знаком с явлениями взаимодействия волн в электромагнитных резонаторах, не могли не заметить поразительное их сходство с тем, что происходит при наличии нескольких возможных состояний в квантовых системах. При наличии в резонаторе одновременно нескольких видов колебаний электрическое и магнитное поля записывают в виде суперпозиции

полей [14]:

$$E = \Sigma e_m E_m, \quad H = \Sigma h_m H_m. \quad (8.23)$$

Здесь E_m и H_m - конфигурации полей, соответствующие системе собственных векторных функций резонатора.

Коэффициенты рассчитываются интегрированием по объему резонатора в соответствии с формулами, следующими из условий нормировки и ортогональности:

$$e_m = \frac{1}{V} \int_V E E_m dV, \quad h_m = \frac{1}{V} \int_V H H_m dV, \quad (8.24)$$

$$\int_V E_m E_n dV = \int_V H_m H_n dV = 0. \quad (8.25)$$

Рассмотрим влияние малой неоднородности в резонаторе (возмущения) при наличии в резонаторе одновременно только двух видов колебаний α и β . В этом случае возникает межвидовая связь, характеризуемая коэффициентом межвидовой связи

$$\gamma_{\alpha\beta} = \frac{1}{V} \int_{\Delta V} (H_\alpha H_\beta - E_\alpha E_\beta) dV. \quad (8.26)$$

Интегрирование в (8.26) ведется по объему неоднородности в виде малой выпуклости или вогнутости стенки резонатора. При $\alpha = \beta$ этот коэффициент характеризует относительный сдвиг резонансных частот исходных видов колебаний, новые значения которых по сравнению с невозмущенными будем обозначать штрихами ω'_α и ω'_β .

Система уравнений для собственных функций связанных видов колебаний совершенно аналогична уравнениям для квантовой системы с двумя возможными состояниями [15]:

$$\begin{aligned} (\omega'^2_\alpha - \omega^2) h'_\alpha - \gamma_{\alpha\beta} \omega^2_\alpha h'_\beta &= 0 \\ (\omega'^2_\beta - \omega^2) h'_\beta - \gamma_{\alpha\beta} \omega^2_\beta h'_\alpha &= 0. \end{aligned} \quad (8.27)$$

Также как и в квантовых системах (при наличии связи между состояниями) возникают так называемые верхняя и нижняя частоты, являющиеся решениями этих уравнений:

$$\frac{\omega_+ - \omega'_\alpha}{\omega_\gamma} \approx \frac{l}{2} + \Omega, \quad \frac{\omega_- - \omega'_\alpha}{\omega_\gamma} \approx \frac{l}{2} - \Omega, \quad (8.28)$$

$$\omega_\gamma = \sqrt{\omega_\alpha \omega_\beta}, \quad l = \frac{\omega'_\beta - \omega'_\alpha}{\omega_\gamma}, \quad \Omega = \frac{\sqrt{l^2 + \gamma_{\alpha\beta}^2}}{2}.$$

Таким образом, даже при равенстве частот $\omega'_\alpha = \omega'_\beta$ неоднородность приводит к снятию вырождения и образованию новой системы собственных функций электромагнитного резонатора, которые также как и в квантовых системах связаны со старыми функциями выражениями:

$$H_{l=0}^+ = \frac{1}{\sqrt{2}}(H_\beta - H_\alpha), \quad (8.29)$$

$$H_{l=0}^- = \frac{1}{\sqrt{2}}(H_\beta + H_\alpha).$$

Для электрических полей преобразования аналогичны (8.29).

Так называемые явления совпадения в круглых цилиндрических резонаторах приводят к возникновению поляризационно-вырожденных векторных функций. При внесении малой неоднородности новые векторные функции в результате снятия вырождения ориентируются так, что изменения собственных частот экстремальны. Новые гибридные собственные функции не связаны между собой, то есть, $\gamma_{\alpha\beta} = 0$.

Эти особенности электромагнитных колебаний, как мы увидим, находят также свое отражение в закономерностях, свойственных элементарным частицам.

9. Ароматы кварков

Хотя истинно элементарными (фундаментальными) частицами считаются фотоны, лептоны и кварки, не являющиеся составными частицами, по традиции к разряду элементарных частиц относят также и мезоны (состоящие из двух кварков), и барионы (состоящие из трех кварков), а также большое количество чрезвычайно короткоживущих частиц, называемых резонансами. Поэтому общее количество известных элементарных частиц (вместе с античастицами) превышает четыре сотни. Мезоны и барионы, состоящие из кварков, имеют также общее название - адроны.

Напомним, что ароматами кварков в фундаментальной физике называют сорта кварков, вводимые для того, чтобы можно было объяснить некоторые особенности взаимодействия (взаимопревращения) элементарных частиц, состоящих из кварков. Различие кварков по ароматам позволило ввести соответствующие квантовые числа, сохраняющиеся при реакциях взаимодействия частиц, и каким-то образом классифицировать частицы по этому признаку.

Перечислим эти формально введенные признаки кварков или ароматы: верхний (u), нижний (d), странный (S), очарованный (c), прелестный (b), истинный (t). Исходя из этого адроны, в состав которых входят кварки с такими ароматами, стали называть странными, прелестными, очарованными странными и т. д.

Но для того, чтобы объяснить силы, удерживающие кварки в составе адронов, физики вынуждены были ввести дополнительный вид частиц - глюоны, обмен которыми как раз и обеспечивает эти силы. Обмен кварков глюонами происходит по специальным правилам, согласно которым кваркам был присвоен специальный вид поляризации, названный цветом. Кварк может находиться в одном из трех состояний по этому виду поляризации - красном, зеленом или синем. Цвет кварка может измениться при поглощении или испускании глюонов. Соответственно глюоны также делятся на различные сорта, в зависимости от того, какие цвета они связывают. Например, если красный кварк испускает, а зеленый кварк поглощает красно-антизеленый глюон, то они обмениваются

цветами - красный кварк становится зеленым, а зеленый - красным и т. д.

Кроме того, глюоны могут взаимодействовать между собой, также изменяя свои цвета. Например, зелено-антисиний глюон после взаимодействия с красно-антизеленым превращается в красно-антисиний глюон. Такая возможность взаимодействия глюонов между собой позволила объяснить так называемую асимптотическую свободу кварков в составе адронов.

Формально глюонная теория (квантовая хромодинамика) не сильно отличается от квантовой электродинамики и позволяет многое объяснить во взаимодействиях между кварками. Однако, все возрастающий формализм теории и все усиливающийся ее отход от поиска истинных физических механизмов явлений не может не вызывать беспокойства. За всеми этими ароматами и цветами должна скрываться определенная физическая основа.

Попробуем взглянуть на эти проблемы с другой точки зрения. На рассмотренном примере электрона и позитрона стала совершенно очевидной природа различий между частицей и античастицей вещества, как двух видов электромагнитных солитонов, отличающихся друг от друга только направлениями полей. С точки зрения свойств электромагнитного солитона нет ничего удивительного и в том, что могут быть получены более тяжелые частицы, обладающие теми же свойствами, что и электрон (мюон с массой около 106 МэВ, тау с массой около 1784 МэВ). Это просто солитоны имеющие меньшие размеры и соответственно большую частоту вращения, а идентичность их остальных свойств объясняется постоянством относительной толщины динамического слоя (которая, как было показано, имеет величину порядка постоянной тонкой структуры). Что касается масс элементарных частиц, то этот вопрос будет рассмотрен в следующем разделе.

Итак, два вида солитонов с единичными положительным и отрицательным зарядами, фактически, должны составлять все существующие материальные объекты природы. На первый взгляд это представляется совершенно невозможным. В этом случае частицы, состоящие из трех солитонов (барионы) должны в любом случае иметь либо положительный, либо отрицательный заряды. Существование же нейтрона с нулевым зарядом представляется

совершенно не объяснимым. Тем не менее, попытаемся «сконструировать» адроны из электромагнитных солитонов и понять на этой основе внутреннюю физическую логику строения и свойств элементарных частиц.

Начнем с наиболее распространенных и хорошо изученных элементарных частиц - протона и нейтрона. Каждый из них должен содержать по три солитона. Близкое расположение солитонов друг к другу приводит к тому, что они начинают интенсивно взаимодействовать между собой. Не будем забывать, что солитоны являются своеобразными резонаторами с переменными электромагнитными полями. Поэтому в структурах солитонов появляются возмущения или небольшая «рябь» - волны с существенно меньшими амплитудами, чем основные одиночные вращающиеся волны солитонов. Эти малые волны, следуя традиции (и чтобы не придумывать новые названия), будем называть ароматом. Так как ароматы, естественно, имеют ту же частоту, что и образующие солитоны, то и радиусы их вращения совпадают.

На рис.10 схематически показано строение протона и нейтрона. Основные (образующие) солитоны ориентируются друг относительно друга наиболее выгодным (с точки зрения минимума энергии) способом - электрические заряды крайних солитонов противоположны заряду солитона, находящегося посередине между ними. Направления магнитных моментов в этой цепочке также чередуются. Суммарное поле в структурах протона и нейтрона определяется наложением (суперпозицией) полей образующих солитонов и полей ароматов, которые и далее во избежание путаницы будем изображать отдельно. Поляризованное вырождение (по взаимному расположению полуволен) снимается согласно общему принципу (п.8) вдоль естественным образом выделенного направления соединения солитонов между собой.

Так как потери в колебательной системе солитона отсутствуют, то амплитуды волн в его составе (в том числе и амплитуды ароматов) определяются только условиями взаимного обмена энергией между солитонами.

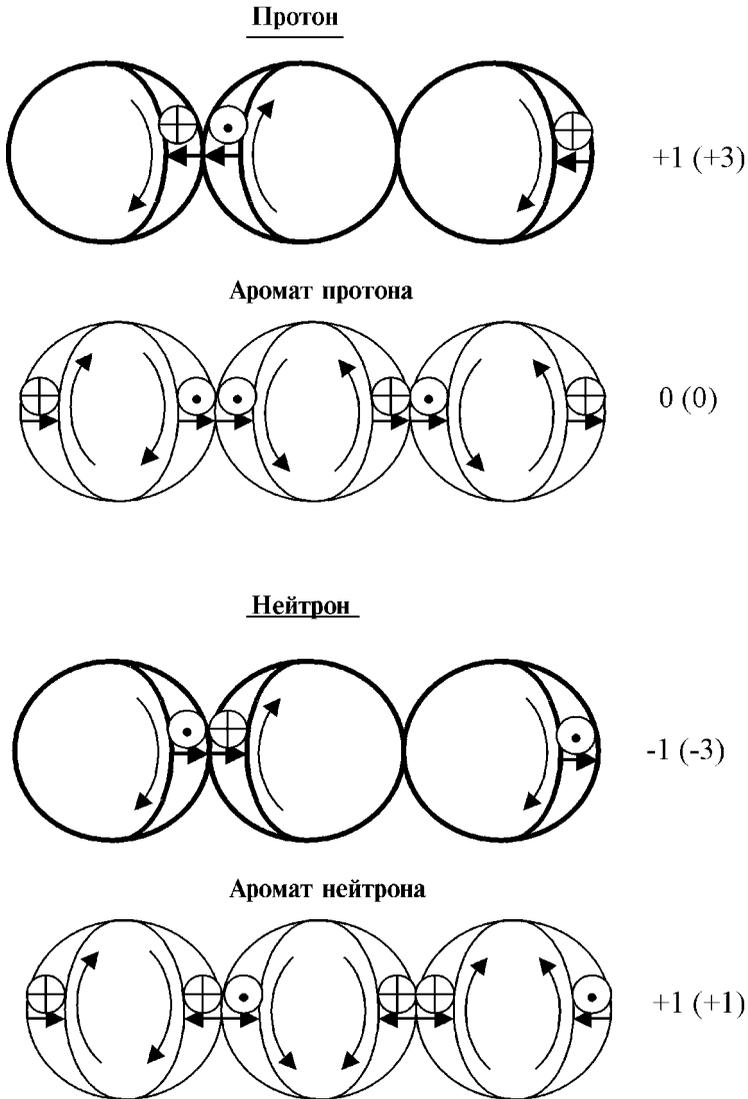


Рис. 10.

Схемы структур протона и нейтрона.

Жирными линиями показаны основные солитоны. Суммарное поле определяется наложением полей основных солитонов и ароматов. Показаны направления внутренних электрических и магнитных полей и направления вращения одиночных волн солитонов и ароматов. Заряды и магнитные моменты (в скобках) солитонов и ароматов указаны в условных единицах.

Из-за сильной связи всех волн, входящих в структуры протона и нейтрона, они имеют как бы общий баланс энергии во взаимодействии со всем окружающим миром. В результате этого постоянного процесса обмена энергией, который будет предметом более подробного обсуждения в следующем разделе, одновременно устанавливаются не только определенные равновесные массы частиц, но и их заряды (это происходит из-за того, что амплитуды переменных полей, или гармоник, пропорциональны величинам электростатических полей солитонов). Поэтому ароматы также имеют целочисленные величины зарядов, а амплитуды каждой из шести одиночных волн, входящих в аромат, соответственно равны $1/6$ от величины амплитуды волны образующего солитона.

Таким образом, ароматы (малые волны) не являются отдельной квантовой характеристикой, а воздействуют сразу на все параметры и свойства бариона - заряд, магнитный момент, момент количества движения, частоту вращения солитонов, массу кварков и частицы в целом и, что немаловажно - на свойства симметрии.

Следует особо остановиться на эффекте, который вызывается влиянием ароматов и который выражается в несоответствии массы частицы амплитудам полей, а также массы частицы частоте вращения волн в ее структуре. Механизм этого эффекта основан на том, что при сложении амплитуд полей солитонов и ароматов результат сложения зависит от того, движутся ли накладывающиеся друг на друга волны в одном и том же направлении, или они вращаются в противоположных направлениях. Например, в структурах протона и нейтрона, изображенных на рис.10, в крайнем слева кварке одна из двух волн аромата накладывается на волну образующего солитона и движется с ним в одном и том же направлении. Если принять за единицу амплитуду волны в солитоне, то суммарная амплитуда (как электрического, так и магнитного полей) будет $(1-1/6)$. Соответственно энергия поля будет равна квадрату этой амплитуды $(1-1/3+1/36)$, что на $1/3$ меньше, чем в случае встречного или отдельного движения волн солитона и аромата. Если же направления полей аромата и солитона совпадали бы, то в аналогичной ситуации суммарная энергия превысила бы на $1/3$ соответствующую энергию при отдельном или встречном движении

волн. В первом случае

мы будем говорить об избытке массы, а во втором случае - о недостатке массы.

Поиск соответствия тех или иных свойств частиц, основанных на влиянии ароматов (малых волн), традиционным квантовым характеристикам (странность, очарование и т. д.), несомненно, потребует отдельного исследования, и мы не будем углубляться в этот вопрос.

Посмотрим, каково общее относительное несоответствие масс рассматриваемых частиц величинам полей в их структурах (рис.10). Принимая за η условную амплитуду полей в образующих солитонах, проведем суммирование энергии по всем трем кваркам:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\eta}{6}\right)^2 + \left(\eta - \frac{\eta}{6}\right)^2 + \left(\frac{\eta}{6}\right)^2 + \eta^2 + \left(\frac{\eta}{6}\right)^2 + \left(\frac{\eta}{6}\right)^2 + \left(\frac{\eta}{6}\right)^2 + \eta^2 = \\ & = 3\eta^2 - \frac{1}{6}\eta^2 = m_p, \quad \eta^2 = \frac{6}{17}m_p. \end{aligned}$$

Таким образом, влияние аромата выразилось в том, что эффективная масса образующего солитона превышает одну треть массы протона в 18/17 раз. Если бы протон состоял только из трех солитонов, то их масса была бы равна одной трети массы протона, а магнитный момент каждого солитона (по абсолютной величине) и протона в целом был бы равен соответственно трем ядерным магнетонам, то есть, $3\mu_{яд}$. Отмеченное превышение эффективной массы приводит к тому, что приблизительно в такой же пропорции уменьшаются величины магнитных моментов в составе частицы (так как магнитный момент обратно пропорционален массе). В результате, суммарный магнитный момент протона должен быть приблизительно равен $3 \cdot (17/18) \mu_{яд} = 2,833 \mu_{яд}$. Полученное значение оказывается достаточно близким к фактической величине ($2,793 \mu_{яд}$). У нейтрона, как следует из схемы его структуры, магнитный момент на 1/3 меньше, чем у протона, и имеет противоположное направление - $(2/3) \cdot 2,833 \mu_{яд} = -1,888 \mu_{яд}$, что также достаточно

близко к фактическому значению (-1,913 $\mu\text{яд}$).

Следует особо подчеркнуть, что речь идет об увеличении или уменьшении именно эффективных масс кварков и частиц в целом. Эти изменения эффективных масс приводят к соответствующему изменению амплитуд полей и, далее, через установление нового равновесия путем обмена энергией - к изменению частот (и обратно пропорциональному изменению размеров и магнитных моментов). Однако, как станет ясно из дальнейшего анализа, в результате внешних взаимодействий реальные массы частиц претерпевают изменения противоположного знака по сравнению с изменениями их эффективных масс.

Согласно приведенным схемам структур массы протона и нейтрона должны быть одинаковыми. Фактически масса нейтрона превосходит массу протона, хотя и менее чем на 0,14%. Вполне возможно, что это отличие связано с частичным перекрытием фронтов одиночных волн. Истинная форма одиночных волн не известна, и мы предполагали, что она близка к форме полуволны. Впрочем, малое отличие прогнозируемых величин от фактических говорит о том, что мы были не очень далеки от истины.

Наличие ароматов (малых волн) в структурах протонов и нейтронов является следствием близкого расположения кварков друг к другу (кварками будем считать солитоны с малыми волнами). Это соответствует существующей теории асимптотической свободы кварков в составе адронов [1]. Косвенным подтверждением такой природы ароматов можно считать и безуспешность экспериментов, направленных на то, чтобы получить кварки в свободном состоянии. Очевидно, что попытки разъединить кварки приводят к резкой перестройке всей внутренней и внешней организации взаимодействий кварков и входящих в них ароматов. Вследствие этого происходят изменения таких важнейших параметров, как заряды, соотношение частот и масс. Поэтому взаимодействие кварков между собой относится к разряду самых сильных взаимодействий в природе. Находясь вплотную друг к другу, кварки почти не испытывают на себе воздействия сил, однако при малейшем удалении возникают колоссальные силы притяжения, чем собственно и характеризуется понятие асимптотической свободы.

Есть все основания полагать, что в составе ядра кварки ведут себя почти также, как и в составе протона и нейтрона (в соответствии с принципом асимптотической свободы). Протоны и нейтроны в ядре располагаются вплотную друг к другу также, как и кварки в их составе. Это подтверждается, в частности, следующими соображениями.

Протон и нейтрон состоят из трех кварков. Поэтому, полагая их массу поделенной поровну между кварками, получим ориентировочные величины радиусов кварков $r_k = \hbar/2m_k c \approx 3,3 \cdot 10^{-16}$ м и радиусов протона и нейтрона $r_p \approx 3 \hbar/2m_k c \approx 1 \cdot 10^{-15}$ м. Эта величина хорошо согласуется с экспериментальным ее значением, определенным по среднеквадратичному распределению заряда и магнитного момента [11] $r_p \approx 0,8 \cdot 10^{-15}$ м.

Поэтому эмпирическая формула для расчета радиуса ядра

$$R = R_0 A^{1/3}, \quad R_0 = (1,3 \div 1,7) \cdot 10^{-15} \text{ м}$$

может быть истолкована как пропорциональность объема ядра числу нуклонов A при размещении их вплотную друг к другу.

В пользу такого вывода говорит и тот факт, что энергия связи самых прочных ядер равна ориентировочно 8,7 МэВ/нуклон. Это составляет приблизительно 1/108 от массы нуклона, что довольно близко к величине постоянной тонкой структуры (около 1/137), характеризующей энергию связи зарядов и магнитных моментов солитонов, а в данном случае - кварков, находящихся вплотную друг к другу.

В связи с этим возникает вопрос о том, почему при такой плотной упаковке кварков не нарушается пропорция кварков, соответствующая количеству протонов и нейтронов, входящих в ядро. Объяснение этому факту, пожалуй, можно найти только в свойствах ароматов, так как нарушение указанной пропорции привело бы к разрушению ароматов со всеми вытекающими отсюда последствиями (изменения зарядов, масс, частот). По этим же причинам из ядра могут быть выбиты только тройки кварков, соответствующие протону или нейтрону, либо группы нуклонов.

Таким образом, энергия связи кварков зависит от того, нарушается ли при делении система ароматов.

Обратимся теперь к мезонам, то есть к адронам, состоящим из двух кварков. Также как и в барионах, образующие (основные) солитоны мезонов соединяются между собой наиболее выгодным способом (солитоны имеют противоположные знаки зарядов, а их магнитные моменты антипараллельны друг другу). Вместе с образующимися малыми волнами (ароматом) солитоны составляют единую систему. В результате внешнего взаимодействия, также как и в случае барионов, одновременно устанавливаются равновесные значения массы и заряда. Поэтому аромат мезона, как и бариона, имеет целочисленное значение заряда. Следовательно, каждая из четырех одиночных волн аромата мезона имеет амплитуду поля в четыре раза меньше амплитуды поля одиночной волны образующего солитона.

Таким образом, ароматы мезонов имеют в полтора раза большие амплитуды ($1/4$) по сравнению с ароматами барионов ($1/6$). Вследствие этого, влияние ароматов на все параметры в мезонах должно быть сильнее, чем в барионах, хотя принцип этого влияния практически не отличается от рассмотренного нами в случае протона и нейтрона.

Проанализируем возможные варианты влияния ароматов на избыток (или недостаток) эффективных масс барионов и мезонов. Одиночные волны ароматов и образующих солитонов могут накладываться друг на друга и вращаться в одном и том же направлении не только в одном кварке, как это показано на рис.10, но и в двух, и в трех (в барионах) одновременно. Кроме того, направления полей накладывающихся друг на друга волн могут либо совпадать (складываться), либо не совпадать (вычитаться). Поэтому возникает несколько различных возможностей, включая и случаи со «скрытыми» изменениями масс кварков. Последние характеризуются тем, что в двух кварках, входящих в адрон, происходят компенсирующие друг друга противоположные по знаку изменения эффективной массы.

Такие скрытые изменения масс кварков в составе частиц, не влияя на их общую массу, естественно, сказываются на характере взаимодействия этих частиц с другими частицами.

Сведем в таблицу возможные относительные увеличения и уменьшения эффективных масс мезонов и барионов, происходящие в результате влияния ароматов.

Таблица 9.1.

| Б а р и о н ы | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Количество кварков с измененной массой | 1 | 2 | 3 |
| Относительное общее увеличение эффективной массы | 18/17 ($\approx 1,059$) | 6/5 ($= 1,2$) | 18/13 ($\approx 1,385$) |
| Относительное общее уменьшение эффективной массы | 6/7 ($\approx 0,857$) | 18/23 ($\approx 0,783$) | 18/25 ($\approx 0,72$) |
| М е з о н ы | | | |
| Количество кварков с измененной массой | 1 | | 2 |
| Относительное общее увеличение эффективной массы | 8/7 ($\approx 1,143$) | | 8/5 ($= 1,6$) |
| Относительное общее уменьшение эффективной массы | 8/11 ($\approx 0,727$) | | 8/13 ($\approx 0,615$) |

В таблице приняты во внимание только расчетные изменения масс кварков, приводящие к изменению общей массы частицы (без скрытых изменений масс кварков).

Из приведенной таблицы видно, что большинство структур ароматов по степени их влияния на эффективную массу нельзя отнести к разряду малых возмущений. Поэтому идеализированное равномерное распределение амплитуд волн ароматов реализуется с приемлемой степенью точности лишь в ограниченном числе случаев. Кроме того, из-за деформаций ароматов и неравномерности распределения его амплитуд по кваркам в дальнейшем мы будем говорить не о количестве кварков с измененной энергией, а о количестве соответствующих изменений эффективной массы частицы. Более подробно на конкретных примерах этот вопрос будет

рассмотрен в следующем разделе. Станет более ясным и энергетический смысл возникновения ароматов, и соответствующих изменений масс кварков и частиц в целом, как единой системы.

10. Главная частота Вселенной

Переходя к анализу происхождения ряда масс элементарных частиц, перечислим наиболее важные свойства электромагнитных солитонов, которые помогают понять основные принципы устройства и закономерности микромира.

- Постоянный обмен энергией между элементарными частицами (фактически состоящими из солитонов) приводит к установлению равновесных масс, зарядов и других параметров частиц.
- Одиночная волна электромагнитного солитона, в отличие от синусоидальных волн, имеет множество гармонических составляющих. В сочетании с отсутствием потерь это делает возможным взаимодействие не только между солитонами с одинаковыми частотами, но и между солитонами с кратными и соизмеримыми частотами вращения.
- Резонансная частота электромагнитного солитона определяется его энергией. В этом состоит одно из важнейших его свойств как своеобразного резонанса вакуума. (Поэтому отсутствие потерь в солитонах обеспечивает реализацию первых двух свойств).

В известной нам части Вселенной практически вся масса сосредоточена в протонах и нейтронах. Следовательно, главная частота Вселенной определяется именно этими частицами. С учетом избытка эффективной массы в протонах и нейтронах (п.9) главная частота оказывается несколько увеличенной по сравнению с величиной, определяемой их реальной массой. Исходя из величин магнитных моментов протона и нейтрона, методом усреднения приближенно определим величину этой частоты:

$$\Omega = \frac{c}{r_k} \approx 1,0598 \cdot \frac{2m_p c^2}{3\hbar} = \frac{2m_\Omega c^2}{\hbar}, \quad m_\Omega \approx 332 \text{ МэВ} / c^2.$$

Коэффициент 1,0598 достаточно близок к расчетной величине (табл. 9.1) и равен относительному уменьшению радиуса кварков из-за избытка эффективной массы, определяемому по

средней величине изменений магнитного момента протона $3/2,793 \approx 1,0741$ и абсолютной величины магнитного момента нейтрона $2/1,913 \approx 1,0455$. Дана также эффективная масса кварка, соответствующая этой частоте, так как ее использование практически более удобно.

В таблице 10.1 приведены результаты расчета частот, соответствующих основным наиболее изученным барионам (в единицах эффективной массы кварков протонов и нейтронов). Из таблицы видно, что массы барионов хорошо укладываются в сетку кратных и соизмеримых частот главной частоты Вселенной. При этом наиболее близкие к расчетным результаты получаются для барионов, в которых ароматы создают меньшие возмущения (изменения эффективной массы). Все барионы, приведенные в таблице, имеют избыток эффективной массы. Примеры структур показаны на рис.11 и 12.

Наиболее информативным параметром для определения структуры ароматов частиц является магнитный момент, так как он дает возможность помимо расчетов по величине массы производить параллельную проверку по отклонению магнитного момента от соответствующего целочисленного значения. Для этих расчетов величины магнитных моментов должны быть выражены в магнетонах самой частицы, то есть, через ее массу. К сожалению, данные о магнитных моментах многих частиц отсутствуют.

Дополнительную информацию при определении частоты бариона (эффективной массы его кварка) дает также отношение его реальной массы к массам других барионов. Если массы барионов с большой точностью кратны друг другу, а остальные их свойства аналогичны, то есть основания полагать, что они имеют сходную структуру ароматов. Кроме того, близкие по структуре ароматов барионы значительно чаще фигурируют вместе в реакциях взаимопревращения частиц (например, один из них наиболее часто получается в результате распада другого) [16].

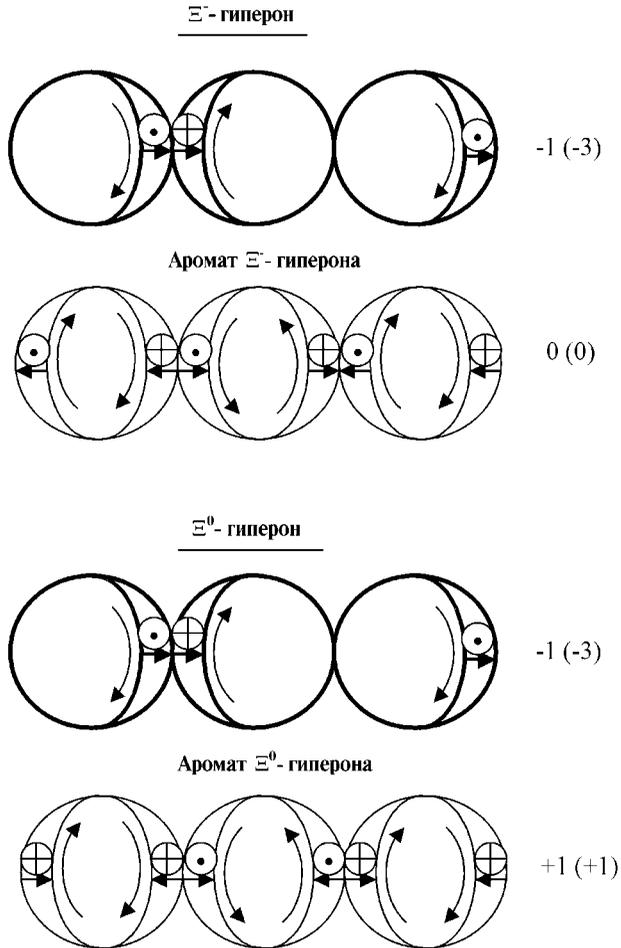


Рис. 11.
Схемы структур Ξ^- -гиперона и Ξ^0 -гиперона.

Суммарное поле определяется наложением полей образующих (основных) солитонов, изображенных жирными линиями, и ароматов. Крайний слева и крайний справа кварки - с измененной массой. Заряды и магнитные моменты (в скобках) указаны в условных единицах.

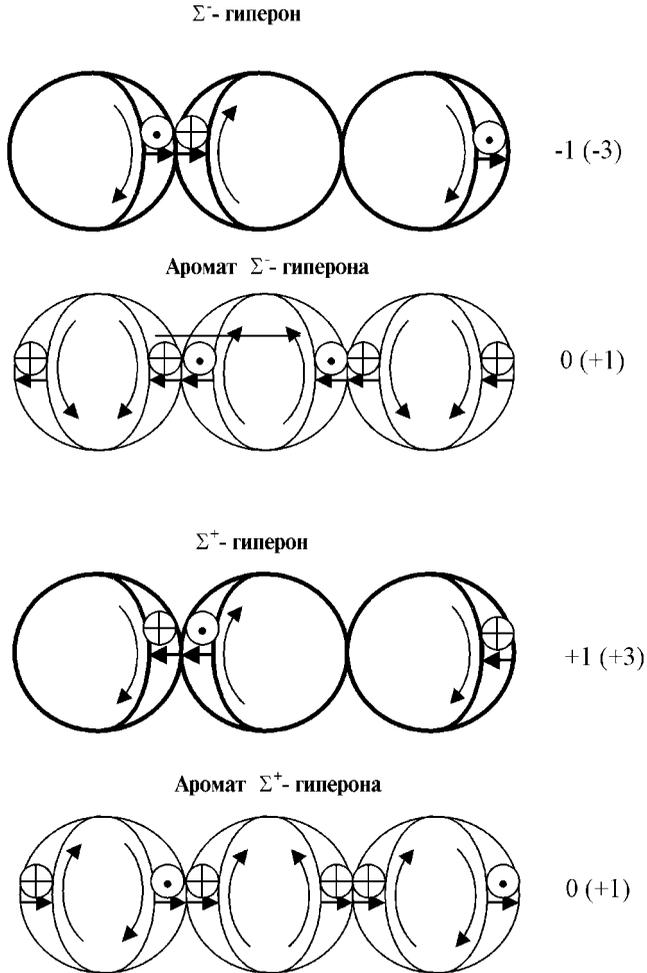


Рис. 12.

Схемы структур Σ^- - гиперона и Σ^+ - гиперона.

Суммарное поле определяется наложением полей образующих (основных) солитонов, изображенных жирными линиями, и ароматов. Все три кварка - с измененной массой. Заряды и магнитные моменты (в скобках) указаны в условных единицах.

В таблице 10.1 для барионов, имеющих трехкратное изменение эффективной массы, в качестве расчетного коэффициента в скобках дана еще одна цифра, происхождение которой необходимо обсудить подробнее.

Естественно что, такие большие (трехкратные) изменения эффективной массы не могут рассматриваться как малое возмущение, и поэтому наблюдается отклонение от идеализированной симметричной картины. В результате такой «деформации» ароматов одиночные волны отклоняются от идеально выстроенного азимутального расположения вдоль направления соединения кварков.

Однако имеется и еще более важное обстоятельство, определяющее структуру ароматов. Отсутствие среди барионов и мезонов частиц с отрицательным изменением эффективной массы не является случайным фактом. Как мы видели, положительное изменение эффективной массы приводит к повышенным значениям полей в структуре частицы, в результате чего размеры ее уменьшаются (для достижения баланса в обмене энергией) и, таким образом, устанавливается более высокая частота при меньшей реальной массе. Это реальное уменьшение массы частицы фактически характеризует энергию связи кварков в ее составе, то есть, структура аромата оказывается энергетически выгодной. Соответственно частицы с отрицательным изменением эффективной массы будут иметь увеличенную реальную массу (энергию), а кварки в ее составе будут отталкиваться друг от друга, и поэтому такая частица либо не реализуется, либо сразу распадется. Относительные величины изменения масс частиц, как следует из приведенной таблицы, в десятки раз превосходят константу электромагнитного взаимодействия и, таким образом, свидетельствуют о силе взаимодействия кварков в составе адронов. Кроме того, константа связи не является одинаковой для разных барионов.

Исходя из этого, структура аромата, например Σ^0 - гиперона, принципиально не может быть равномерно распределенной по кваркам. Действительно, наложение одиночной волны аромата на образующий солитон среднего кварка привело бы к увеличению реальной массы этой частицы и оказалось бы энергетически не

ВЫГОДНЫМ.

Таблица 10.1

| Барions масса, МэВ; магнитный момент, в магнетонах частицы | Частота барions, в ед. главной частоты | Коэффициент изменения эффективной массы барions | | Коэффициент изменения эффективной массы барions по магн. моменту | Количество изменений эффективной массы |
|--|--|---|-----------------------|---|---|
| | | Фактическое значение | Расчетное значение | | |
| P Π 938,28; $\mu=+2,793\mu_N$ 939,57; $\mu=-1,913\mu_N$ | 1 (332) | 1,06 (3-332/ m_p) | 1,059 | 1,0741 = 3/2,793 1,0455 = 2/1,913 | 1 (+) |
| Ξ^- Ξ^0 1321,32; $\mu=-2,593\mu_N$ 1314,9; $\mu=-1,752\mu_N$ | 1,5 (498) | 1,133 (3-498/ m_Ξ) | 1,2 | 1,157=3/2,593 1,142=2/1,752 | 2 (+) |
| Σ^+ Σ^- 1189,36; $\mu=-3,016\mu_N$ 1197,34; $\mu=-1,404\mu_N$ | 8/5 (531) | 1,335 (3-531/ m_Σ) | 1,385 (1,35) | 1,326=4/3,016 1,424=2/1,404 | 3 (+) |
| Λ^0 1115,6; $\mu=-0,729\mu_N$ | 1,5 (498) | 1,339 (3-498/ m_Λ) | 1,385 (1,35) | 1,372=1/0,729 | 3 (+) |
| Ω^- 1672,45 | 2,25 (747) | 1,340 (3-747/ m_Ω) | 1,385 (1,35) | Отношение масс $m_\Omega/1,5m_\Lambda = 0,999$ | 3 (+) |
| Λ_c^+ 2282,2 | 3 (996) | 1,309 (3-996/ m_{Λ_c}) | 1,385 (1,35) | Отношение масс $m_{\Lambda_c}/2m_\Lambda = 1,023$ | 3 (+) |

Обозначение массы барions m_Ω в таблице, очевидно, не имеет никакого отношения к эффективной массе кварка протона.

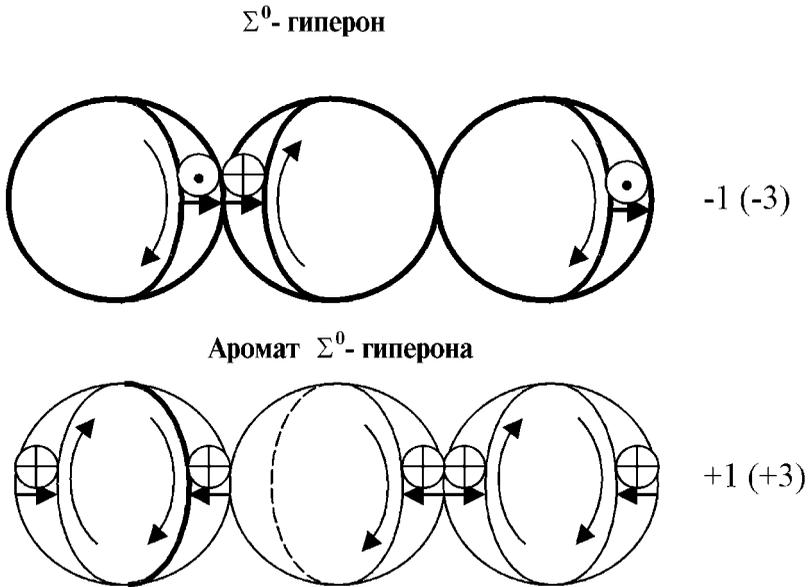


Рис. 13.
Схема структуры Σ^0 - гиперона с асимметричным ароматом.

Одиночная волна аромата в левой стороне среднего кварка отсутствует, а с правой стороны левого кварка - имеет удвоенную амплитуду (отмечена жирной линией). Коэффициент изменения эффективной массы в такой структуре равен 1,35. Заряды и магнитные моменты (в скобках) указаны в условных единицах.

Поэтому поле аромата этой частицы перемещается в крайние кварки (рис.13). Расчетный коэффициент изменения эффективной массы при такой структуре - 1,35.

Результаты расчетов частот основных мезонов представлены

в таблице 10.2. В отличие от барионов коэффициент изменения эффективной массы мезонов рассчитывается делением удвоенной (вместо утроенной) эффективной массы кварка, соизмеримой с эффективной массой протона (нейтрона), на фактическую массу мезона. Как видно из таблицы, большинство мезонов не имеют изменений эффективной массы.

Коэффициенты изменения эффективной массы мезонов оказываются существенно меньшими, чем этого можно было бы ожидать из расчетов, и практически совпадают с аналогичными величинами для барионов. Это свидетельствует о том, что амплитуды ароматов мезонов ($1/4$ от амплитуды образующих солитонов) не могут рассматриваться как малое возмущение, и снятие азимутального вырождения колебаний (п.9) не приводит к выстраиванию волн вдоль линии, соединяющей кварки. Кроме того, само это направление в мезонах, состоящих из двух кварков, не так сильно выделено, как в барионах, состоящих из трех кварков. Это предположение косвенно подтверждается тем, что относительная разница масс заряженных и нейтральных мезонов оказывается существенно большей, чем у заряженных и нейтральных барионов. В обоих случаях она, вероятно, связана с перекрытием «хвостов» одиночных волн (кроме «естественного» перекрытия - и из-за указанного азимутального смещения).

В качестве дополнительных факторов при определении частот мезонов, также как и для барионов, служат особенности их свойств. В частности, распад ряда нейтральных мезонов на кванты служит косвенным подтверждением отсутствия у них изменений эффективных масс. Таким же веским подтверждением правильности определения частоты является кратность масс частиц при сходстве их свойств.

Таблица 10.2

| Мезоны масса, МэВ | Частота мезона, в ед. главной частоты | Коэффициент изменения эфф. массы мезона | Количество изменений эффективной массы | Примечания |
|------------------------------------|---|--|--|--|
| π^\pm 139,57 π^0 134,96 | 1/5 (66,4) | 0,951 (66,4·2/139,57) 0,984 (66,4·2/134,96) | 0 | Распад π^0 на фотоны косвенно подтверждает отсутствие изменения эффективной массы. |
| η^0 548,8 | 5/6 (276,7) | 1,008 (276,7·2/548,8) | 0 | То же. |
| K^\pm 493,67 K^0 497,67 | 3/4 (249) | 1,009 (249·2/493,67) 1,001 (249·2/497,67) | 0 | То же, после осцилляций. |
| D^\pm 1869,4 D^0 1864,7 | 3 (996) | 1,066 (996·2/1869,4) 1,068 (996·2/1864,7) | 1 (+) | Совпадает с удвоенной массой протона (0,996). Распады на фотоны отсутствуют. |
| F^\pm 1971 | 3 (996) | 1,011 (996·2/1971) | 0 | Распадается на η^0 и π^\pm . |
| B^\pm 5270,8 B^0 5274,2 | 9 (2988) | 1,134 (2988·2/5270,8) 1,133 (2988·2/5274,2) | 2 (+) | Отношение 6 масс протона к массе B^\pm 1,068 свидетельствует о большем измен. массы B^\pm . B^0 чаще распадается на D^0 , чем на остальное. |

11. Лептоны, виртуальные частицы и стоячие волны

Теперь, когда с другой точки зрения рассмотрены основные принципы устройства микромира, они, бесспорно, стали более понятными, а картина природы в целом стала более ясной и объемной. Поэтому вполне уместно, суммируя полученные результаты, остановиться на нерешенных проблемах и кратко обсудить наиболее интересные вопросы.

Лептоны - электрон, мюон и тау, как представители истинно элементарных частиц, должны иметь частоты в точности кратные главной частоте. Для мюона (105,66 МэВ) и тау (1784,2 МэВ), кратные (или соизмеримые) частоты которых не слишком далеки от главной частоты, это сравнение, исходя из величин масс, дает следующие результаты:

$$332/(3 \cdot 105,66) = 1,047 \text{ - для мюона,}$$

$$(5 \cdot 332)/1784,2 = 0,930 \text{ и } (6 \cdot 332)/1784,2 = 1,116 \text{ - для тау.}$$

Таким образом, мюон имеет частоту 1/3 от главной частоты, а расчетная частота тау оказалась между 5 и 6 гармониками основной частоты. Так как свойства мюона и тау аналогичны, то отношение должно быть больше единицы, и следует отдать предпочтение шестой гармонике. Кроме того, массы мезона V^0 (5274,2 МэВ - 9 гармоника) и тау кратны друг другу $(3 \cdot 1784,2)/5274,2 = 1,015$, что также говорит в пользу 6 гармонике. Тем не менее, складывается впечатление, что эти лептоны по непонятным причинам имеют несколько заниженную массу. Эти отклонения могут быть связаны с присутствием каких-то малых возмущений в солитонах этих частиц (наподобие ароматов в кварках), делающих взаимодействие этих частиц с кратной частотой более эффективным.

Что касается электрона, то его частота настолько мала по сравнению с главной частотой, что их сравнение оказывается практически невозможным. Даже мюон и наиболее легкий из мезонов - π -мезон в сотни раз превышают электрон по массе. Поэтому логично предположить, что такая распространенность и устойчивость электрона связана с возможными низкочастотными биениями, возникающими из-за малой разницы в массах (1,2933 МэВ) между нейтроном и протоном. Две с половиной массы электрона с точностью до одного процента оказываются равными этой разнице:

$$1,2933/(2,5 \cdot 0,511) = 1,012.$$

Также как мюон и тау, электрон оказывается несколько легче, чем можно было бы предположить. Поэтому проведем расчет амплитуд малых волн, которые могли бы вызвать такое изменение эффективной массы лептонов без изменения их заряда (то есть, малые волны имеют амплитуды противоположных знаков). Аналогично тому, как мы это делали для барионов и мезонов положим амплитуду поля основного солитона равной η , а амплитуду малых волн примем равной $x\eta$. Тогда выражение для эффективной массы солитона, выраженное через эти условные амплитуды, будет иметь следующий вид:

$$\eta^2(1-x)^2 + \eta^2 x^2 = m, \quad \eta^2 = \frac{m}{1-2x} \approx m(1+2x).$$

Так как x мало, то приближенное выражение для эффективной массы оказывается вполне приемлемым. Таким образом, из полученных выше соотношений получаем, что амплитуды малых волн приближенно равны: для электрона - 0,006, для мюона - 0,023, а для тау - 0,058 от амплитуды основного солитона.

Эти слишком малые волны, входящие в структуру лептонов, «не вписываются» в реакции взаимопревращения частиц и вынуждены «самостоятельно», то есть, уже вне структуры лептонов сопровождать их во всех реакциях. Зная амплитуды этих малых

волн, определим массы электронного, мюонного и таонного нейтрино как удвоенную массу полуволны:

$$m_\nu \approx 2x^2m.$$

Здесь x и m амплитуды и массы для каждого вида лептонов в отдельности.

Сведем результаты расчетов в небольшую таблицу.

Таблица 11.1

| Массы нейтрино | | | |
|--|---------------------------------------|------------------|------------------|
| | Электронное нейтрино | Мюонное нейтрино | Таонное нейтрино |
| Результат расчета массы, МэВ | $3,7 \cdot 10^{-5}$ | 0,1 | 12 |
| Экспериментальные данные [16], МэВ | меньше $4,6 \cdot 10^{-5}$ | меньше 0,5 | меньше 164 |
| Частоты лептонов, в ед. главной частоты (кроме электрона) | | | |
| | Электрон | Мюон | Таон |
| Частота | $2/5$ от $(m_n - m_p)$ (0,517 МэВ) | $1/3$ (110,7) | 6 (1992) |

Таким образом, можно с большой долей уверенности сказать, что нейтрино действительно имеют массу покоя. Более того, нейтрино имеют структуру в виде вращающейся полной волны (две полуволны разных знаков). Поэтому у нейтрино нет заряда и магнитного момента, а спин отличен от нуля.

Когда нейтрино открыли, эта частица «помогла выстоять» закону сохранения энергии. Теперь мы должны быть признательны этой частице за то, что она «поставила на место» частоты лептонов. Но сейчас она сделала еще больше, раскрыв свою структуру и массу покоя. Стало понятно, почему лептон появляется в реакциях

совместно именно с антинейтрино. Фактически, антинейтрино рождается одновременно с нейтрино, которое, условно говоря, находится и вращается в составе лептона. Поэтому их спиральности имеют вполне определенные и противоположные друг другу направления. И это еще не все. Такое проявление свойств нейтрино стало подтверждением наличия низкочастотных колебаний (осцилляций), посредством которых протоны и нейтроны взаимодействуют с электронами. Несомненно, что это взаимодействие определяет механизм бета-распада.

Таким образом, нейтрино действительно является «слепком» с соответствующего («своего») лептона, или его тенью, чем и определяются его избирательные свойства. Можно только догадываться, сколько же этих неуловимых нейтрино накопилось и какую роль играют они в макромире.

В целом можно сказать, что теория ароматов частиц, одной из наиболее универсальных основ устройства микромира, потребует еще много усилий исследователей, прежде, чем будет достигнуто ее удовлетворительное развитие.

Кратко упомянем еще некоторые «загадочные» частицы. В квантовой электродинамике различают реальные фотоны и так называемые виртуальные фотоны. Последние, вероятно, можно отождествить с продольными стоячими электромагнитными волнами, осуществляющими обмен энергией между всеми частицами. Ранее мы, фактически, только попытались их описать, что не соответствует той, несомненно, важной роли, которую они играют в микро- и макромире. То же самое можно сказать и об электронно-позитронном поле и о других аналогичных полях. Как мы видели, принципиальным свойством вакуума является его способность оказаться резонансом с любой частотой и в любой точке пространства. Такое наполнение вакуума огромным количеством потенциальных резонансов в сочетании со сложнейшей интерференционной картиной продольных электромагнитных колебаний, вполне возможно, создает эффект гравитации.

12. Заключение

Возможность проанализировать любую проблему с совершенно новой, нестандартной точки зрения, по словам Р. Фейнмана, сама по себе всегда интересна и полезна [17]. Проведенный анализ назревших вопросов фундаментальной физики с точки зрения теории электромагнитного солитона превзошел все ожидания. Полученные результаты меняют сложившиеся представления об элементарных частицах, принципах устройства микромира, а, следовательно, и макромира.

Природа предстает перед нами в виде саморегулирующейся, взаимосвязанной, чрезвычайно сложной и многообразной системы. В ней действуют механизмы, устанавливающие и поддерживающие равновесие. Но она же создает параллельно развивающиеся процессы долговременного характера, которые подготавливают и приближают события катастрофического разрушения временного равновесия и перехода к новому миру.

Несомненно, что изложенная концепция строения и свойств микромира будет способствовать изучению этих закономерностей природы. Уже первые результаты, полученные в самом начале развития солитонной теории элементарных частиц, имеют принципиальное значение для развития фундаментальной физики, и мы попытаемся их кратко суммировать.

Все элементарные частицы имеют внутреннюю структуру и внешние переменные электромагнитные поля, посредством которых устанавливается равновесие и взаимная связь между всеми объектами природы. Основой строения элементарных частиц являются одиночные вращающиеся электромагнитные волны (электромагнитные солитоны). Принципиальное значение имеет тот факт, что одиночные вращающиеся волны, в отличие от синусоидальных, создают колебания не только на основной частоте, но и на кратных частотах.

Точечных частиц в природе не существует, и это следует подчеркнуть особо. Доводы физиков-теоретиков, отстаивающих точечный характер, например, электронов, основываются на результатах экспериментов, не обнаруживающих их структуры. Но эти эксперименты свидетельствуют лишь об особых свойствах солитонов, которые, как известно, даже при прямом столкновении могут проникать сквозь друг друга (вернее - образуются заново) без изменения структуры. Кроме того, понятие точечного электрона ближе математике и чуждо физике. Оно вызывает очевидные трудности в теории, так как энергия такого объекта должна быть бесконечной.

Расслоение вакуума создает условия для образования электромагнитных солитонов и приводит к тому, что в структурах частиц, наряду с электромагнитным полем, возникают электрические токи, формирующие поверхности раздела различных областей структур. В результате этого возникает механизм взаимодействия всех элементарных частиц друг с другом, как на одинаковых, так и на соизмеримых частотах. Устанавливаемое на принципе взаимности равновесие может быть описано, в том числе, и с помощью леммы Лоренца. Отклонения от установившихся частот, происходящие при движении частиц друг относительно друга, приводят к биениям и возникновению особых волновых свойств частиц, описываемых квантовой теорией. Длина волны де Бройля, описывающая волновые свойства микрочастиц вещества, определяется именно этой частотой биений.

Проведенный анализ строения элементарных частиц показывает, что широко используемое в фундаментальной физике понятие кварка может рассматриваться как весьма условное. Отсюда в физике возникло такое обилие сортов кварков, характеризующихся различными квантовыми характеристиками. На самом деле все многообразие свойств элементарных частиц определяется только «дополнительными» одиночными волнами, имеющими значительно меньшие амплитуды, чем образующие (основные) солитоны двух типов, составляющие «костяк» структур элементарных частиц.

Малые волны в структурах частиц мы назвали (чтобы не вводить новых названий) ароматами. Этим экономным средством природа решила все проблемы строения и свойств элементарных

частиц. Ароматы, в новом их понимании, влияют и на суммарный заряд, и на магнитный момент, и на массу частиц, и на характер их взаимодействий (взаимопревращений), в том числе и на свойства симметрии.

Сверхмалые волны («ароматики») имеются даже в структурах электронов, мюонов и таонов, являющихся истинно элементарными частицами. Следствием этого стало возникновение нейтрино, неотступно сопровождающих эти частицы во всех взаимодействиях и создающих эту своеобразную симметрию в классе лептонов. Обнаружение сверхмалых волн позволило сделать вывод о наличии массы покоя и структуры у нейтрино. Нейтрино представляет собой электромагнитный солитон с полной вращающейся волной (две полуволны с противоположными направлениями полей). Этот вывод подтвердился и проведенными расчетами масс нейтрино, результаты которых согласуются с имеющимися экспериментальными данными.

Одним из наиболее важных результатов исследования стало установление сетки частот, соответствующих массам элементарных частиц. Таинственный ряд масс элементарных частиц, который производит впечатление бессистемного или, во всяком случае, непонятного, имеет вполне объяснимые закономерности. Обнаружение этой закономерности затруднялось сдвигом частот, соответствующих элементарным частицам, в результате влияния ароматов, из-за чего частоты оказались не пропорциональными реальным массам частиц. Именно обнаружение такого сдвига частот у лептонов позволило нам определить структуру и массы всех нейтрино.

Одновременно было установлено, что существуют колебания довольно низкой частоты (биения) из-за разности масс нейтрона и протона, обеспечивающие эффективный обмен энергией этих частиц с электроном. Две с половиной частоты электрона в точности соответствуют указанной разности масс. Следствием этого резонансного взаимодействия, вероятно, является такая устойчивость и распространенность электронов в природе. Кроме того, на интенсивность бета-распада также должен влиять резонансный характер захвата (и испускания) электрона нуклонами.

Таким образом, из-за нелинейности солитонов Вселенная

оказывается буквально заполненной колебаниями различных частот. (Не зря, видимо, философы и поэты говорят о гармонии природы.) Но самой интенсивной - главной частотой Вселенной является частота, связанная с нуклонами - протонами и нейтронами, в которых сосредоточена практически вся масса Вселенной. Расчеты подтвердили, что взаимодействие на этой частоте и соизмеримых частотах определяет ряд масс элементарных частиц. Частота солитона зависит от его энергии, и поэтому она устанавливается на тех значениях, на которых обеспечивается эффективный обмен энергией. Продольные стоячие электромагнитные колебания, заполняющие буквально все пространство, в прямом смысле объединяют Вселенную и делают ее единым организмом.

Следствием установившегося равновесия является вся система мировых констант, характеризующих закономерности микромира. Удивительная универсальность заряда электрона в природе отражает тот простой факт, что электростатическое поле и гармонические составляющие переменного поля солитона пропорциональны друг другу, и при установлении энергетического равновесия между солитонами одновременно происходит автоматическое выравнивание их электростатических зарядов.

Теоретический анализ природы электромагнитных солитонов, несомненно, явился совершенно необходимым элементом концепции. Он позволил понять сущность этого явления. Особенно важное, принципиальное значение имеет качественное и количественное описание медленных радиальных волн в солитоне, лежащих в основе параметра, характеризующего постоянной тонкой структуры.

В этой связи мы должны с благодарностью еще раз вспомнить имя великого Джеймса Клерка Максвелла. Будучи сам математиком, он устоял под напором приверженцев чисто математических методов описания электромагнитного поля и в большинстве своих работ, наряду с уравнениями, оставил нам наглядную физическую модель вакуума (и показал примеры ее применения). Через полтора столетия «строительные леса» электромагнитной теории помогли нам понять основы совершенно новой электродинамики - динамики вакуума с отличными от нуля электрическими токами и дивергенцией электрического поля.

Естественно, теория электромагнитного солитона находится лишь в самом начале развития, и первые результаты имеют в значительной степени качественный, приближенный характер. Кроме того, по ходу работы могли возникнуть отдельные неточности и даже ошибки, за которые автор заранее приносит свои извинения. Но они не имеют принципиального характера. Полученные результаты неоспоримо свидетельствуют о правильности и плодотворности принятой концепции. Поэтому нет сомнений в том, что эти чрезвычайно важные и интересные вопросы развития электродинамики будут восприняты и станут в самое ближайшее время предметом тщательной разработки.

В завершение позволим себе несколько общих замечаний по поводу возможных космологических следствий из изложенных результатов.

Происхождение мировых констант можно представить себе следующим образом. Одна из основных констант физики - постоянная Планка сформировалась в далеком прошлом - во времена Большого Взрыва. Взрыв породил мощную турбулентность электромагнитного поля. В этом хаосе зародилось первичное соотношение между количеством центров турбулентности и общим количеством энергии этого бурлящего электромагнитного поля. Дальнейший процесс установления равновесия и выравнивания энергий, приходящихся на каждый центр турбулентности (солитон), привел к той величине, которая почти в неизменном виде дошла до наших дней в виде постоянной Планка. Одновременно с этим произошло формирование и остальных констант (заряд электрона, магнетон Бора и т. д.).

Пожалуй, единственной мировой константой (наряду с характеристиками самого вакуума), которая не зависит даже от Большого Взрыва, является постоянная тонкой структуры. Это действительно истинная константа, потому что она характеризует универсальное свойство электромагнитных солитонов - отношение толщины динамического слоя к диаметру солитона. Остальные константы могут изменяться после каждого Большого Взрыва, или устанавливаться на разных уровнях в разных частях Вселенной, если эти части находятся так далеко друг от друга, что между ними нет взаимодействия.

Определенной гарантией (и причиной) стабильности сформировавшейся Вселенной, мира, в котором мы живем, является его асимметричность. Именно эта асимметрия (включая зарядовую асимметрию, дефицит масс протона и нейтрона в сравнении с их частотой и другие нарушения симметрии, вносимые ароматами) препятствует аннигиляции солитонов. Симметричный мир существовать не может. (Символично, что многие традиции и древние философии считают симметрию символом смерти). Возможно, что гравитационный коллапс, предшествующий Большому Взрыву, собирает все разлетевшиеся «осколки», недостающие для воссоздания симметрии. В этом смысле нейтрино с их сравнительно незаметной нынешней ролью могут оказаться детонатором Большого Взрыва.

Воистину, изобретательность и философская глубина Природы не имеют пределов!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А х и е з е р А. И., Р е к а л о М. П. Элементарные частицы. Гл. ред. физ.-мат. литературы. - М.: Наука, 1986, С. 256.
2. Ш п о л ь с к и й Э. В. Атомная физика, т. 2: Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. Учебное пособие. - 5-е изд. Гл. ред. физ.-мат. литературы. - М.: Наука, 1984, С. 438.
3. Ф е й н м а н Р. КЭД странная теория света и вещества. Гл. ред. физ.-мат. литературы. - М.: Наука, 1988, С. 144.
4. А х и е з е р А. И., Б е р е с т е ц к и й В. В. Квантовая электродинамика. Гл. ред. физ.-мат. литературы. - М.: Наука, 1969, С. 555.
5. Б у л л а ф Р., В а д а т и М., Г и б б с Х. и др. Солитоны. Перевод с англ. Под редакцией С. П. Новикова. - М.: Мир, 1983.
6. М и у р а Р., М о з е с Г., Г е р м а н Р. и др. Солитоны в действии. Под редакцией Лонгрена, Э. Скотта; пер. с англ. под редакцией А. В. Гапонова. - М.: Мир, 1981.
7. Д о д д Р., Э й л б е к Дж., Г и б б о н Дж., М о р р и с Х.. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. Пер. с англ. В. П. Гурария, В. И. Мацаева; под редакцией А. Б. Шабота. - М.: Мир, 1988.
8. В е р и н О. Г. Загадка электрона. Научно-популярный журнал фонда «Потенциал» Еретик. №1, М.: 1991.
9. М а к с в е л л Д. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. Перевод под редакцией П. С. Кудрявцева. - М.: Государственное изд.

техничко-теоретической литературы, 1952.

10. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т.6. - М.: Мир, 1966.
11. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. Главная редакция физ.-мат. литературы. - М.: Наука, 1985, С.468.
12. Коттрелл А. Теория дислокаций. Перевод с английского под редакцией А. Л. Ройтбурда. -М.: Мир, 1969.
13. Корбанский И. Н. Антенны. Учебное пособие для вузов. - М.: Энергия, 1973. С. 336.
14. Штейншлейгер В. Б. Явления взаимодействия волн в электромагнитных резонаторах. - М.: Гостехиздат, 1955. С 114.
15. Шпольский Э. В. Атомная физика, т. 1: Введение в атомную физику. Учебное пособие. - 7-е изд. исправл. Гл. ред. физ.- мат. литературы. - М.: Наука, 1984, С. 552.
16. Физические величины. Справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; под. ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. - М.: Энергоатомиздат, 1991. С 1232.
17. Фейнман Р. Характер физических законов. Пер. с английского под ред. Я. А. Смородинского. - М.: Мир, 1968. С. 232.

Олег Гаврилович Верин

**Динамика вакуума и солитонная теория
элементарных частиц**

Компьютерная верстка — Л.Н. Коршунова

Подп. в печать 27.12.02. Формат 60х90/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. 6,5 усл. печ. л.

Издательский дом «РТ-Пресс»
103460, Зеленоград, Панфиловский пр., д. 10.