



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 97-39

ОЭФ

В порядке обсуждения

М.Ю.Боголюбский, А.П.Мещанин

К ЕДИНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОСТАВЛЕННОСТИ МЮОНА, ПРОТОНА И НЕЙТРОНА

(Часть первая. Электрон-позитронная концепция)

Протвино 1997

Аннотация

Боголюбский М.Ю., Мещанин А.П. К единой электромагнитной составленности мюона, протона и нейтрона. (Часть первая. Электрон-позитронная концепция): Препринт ИФВЭ 97-39. – Протвино, 1997. – 29 с., 4 рис., 2 табл., библиогр.: 35.

В работе предпринята попытка создания электромагнитной модели мюона и нуклонов на основе концепции силового узла частиц из экстремально сильного магнитного поля и электрон-позитронного “атомарного” комплекса, в которой заряд имеет сверхсильную суперлокализацию. В такой модели носителем барионного заряда является силовой магнитный узел нуклона, и решается проблема конфайнмента цветовых объектов, а также имеет место естественное объяснение возникновения электрического заряда, спина, магнитного момента и масс частиц. Модель также обеспечивает принцип взаимопревращаемости элементарных частиц через аннигиляционный процесс $e^+e^- \rightarrow \text{частицы}$. В работе указывается направление продвижения к единой электромагнитной составленности элементарных частиц и к пониманию природы единого взаимодействия с одной универсальной мировой константой.

Abstract

Bogolyubsky M.Yu. and Meschanin A.P. To the Universal Electromagnetic Muon, Proton and Neutron Composition: IHEP Preprint 97-39. – Protvino, 1997. – p. 29, figs. 4, tables 2, refs.: 35.

In this work an attempt has been undertaken to create an electromagnetic model of muon and nucleons on the base of a conception of the forth knot from extremely strong magnetic field and electron-positron “atomic” complex, in which charge has strong superlocalization. In such model the forth magnetic knot of nucleon is a carrier of baryon number and it is solved the confinement problem and the generation of electrical charge, spin, magnetic moment and mass of particles has a natural solution. It ensures also the intertransformation principle of fundamental particles through the annihilation process $e^+e^- \rightarrow \text{particles}$. In this work the direction of promotion to the universal electromagnetic composition of fundamental particles and the understanding of the nature of the unified interaction with one universal world constant has been pointed out.

Содержание

Введение	3
1. Основные идеи предлагаемой концепции	8
2. Экстремально сильное магнитное поле	11
3. О природе механизма адронизации	14
4. К полному абсолютному электрическому заряду протона через паулиевское электронейтральное нейтрино	16
5. О силовом узле нуклонов	18
6. Из чего состоят кварки?	19
7. Мюон — циклотронный электрон	21
8. Попытка построения полностью электромагнитной модели протона и нейтрона	22
Заключение	27
Список литературы	28

Отношение Санкт-Петербургской Академии

19 Августа 1832 г. по инициативе Лобачевского совет Казанского университета направил его сочинение “О началах геометрии” в императорскую Санкт-Петербургскую Академию наук. В свою очередь, Академия передала это сочинение на рассмотрение академику М.В.Остроградскому. Последний 7 ноября 1832 г. ответил, что сочинение не заслуживает внимания Академии [1].

Введение

Уже давно обнаружено, что в NN -соударениях и процессе e^+e^- -аннигиляции в адроны при $\sqrt{s} \rightarrow \infty$ в событиях с асимптотической множественностью происходят сильное увеличение электрического заряда, когда после осуществления всей цепочки слабых распадов сумма по модулю зарядов конечного состояния сильно превышает аналогичную сумму для начального, а также значительное увеличение магнитного момента, спина, масс частиц и количества нейтрино. Указанные факты совместно с концепцией бесконечной электромагнитной энергии физического вакуума [2] не исключают возможности того, что в природе, в действительности, реализована электромагнитная структура частиц при неограниченном распространении во Вселенной электромагнетизма во всех его формах. (Во избежание недоразумений, отметим, что плотность полной энергии вакуума при этом отнюдь не является бесконечной за счет механизма взаимокompенсации вкладов бозонных и лептонных форм материи [2]).

В настоящее время для объяснения структуры нуклонов наиболее принятой является концепция Квантовой Хромодинамики (КХД), оперирующая с цветовым взаимодействием. На рис. 1 (а, б, в, и г) показано различие между электромагнитным и цветовым взаимодействиями. Из всеобщей взаимопревращаемости частиц следует, что каждая элементарная частица в какой-то мере построена из всех остальных, т.е. все они, в сущности, состоят из какой-то единой первоматерии. Возможно, что физика сумеет определить эту первоматерию и построить из нее все известные частицы. Какую же роль при этом отведут электромагнетизму?

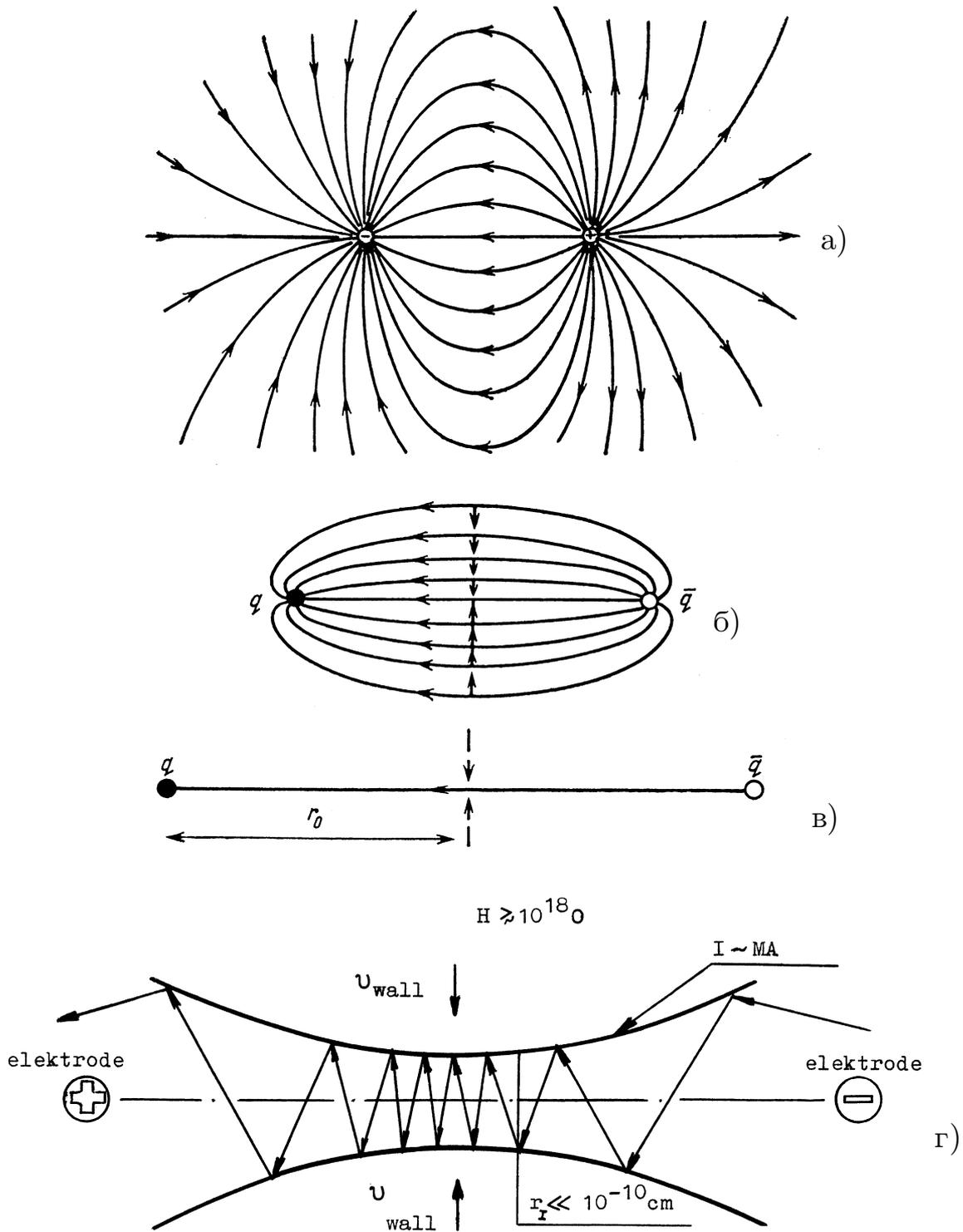


Рис. 1. Диаграмма, иллюстрирующая механизм действия различных полей: а) силовые линии между электрическими зарядами; в) силовые линии цветных зарядов; г) сформированная цветная струна; д) магнитное поле тока пинчевой системы, сжимающее разряд, — это цилиндрический поршень, схлопывающийся к оси (заимствовано из работы [11]).

В работе Л.Д.Фаддеева “Адроны из лептонов?” [3] обсуждается возможность появления адронов в качестве возбуждений системы слабозаимодействующих полей. Указанный механизм, позволяет описывать сильно взаимодействующие частицы как коллективные возбуждения в системе слабозаимодействующих полей, в качестве фундаментальных объектов достаточно взять лептоны и векторные поля, переносящие их взаимодействия. Адроны при этом должны появиться как солитоны или их связанные состояния, причем заряд солитонов должен играть роль барионного числа. Так как классические уравнения движения модели допускают стационарные решения, в которых энергия обратно пропорциональна константе слабого взаимодействия, то в реальном четырехмерном случае это влечет за собой также решения, сосредоточенные вокруг конечного замкнутого контура (струны), испытывающего периодические нелинейные колебания. В качестве такого контура авторы работы [4] ввели электромагнитный коллапсирующий пинч-механизм адронизации (рис.2г), который формирует частицы с их силовыми узлами и спиновой структурой, механизмом слабого распада, обеспечивающим рождение нейтрино с его крайне малой массой ($m_{\nu_e} < 4,35 \text{ эВ}/c^2$). Все это говорит о том, что в теории лептонов возможны возбуждения, обладающие большими массами, нетривиальными квантовыми числами и сильными взаимодействиями.

В связи с вышесказанным укажем на статью Дж.Швингера “Магнитная модель материи” [6]. В этой работе постулируется существование наряду с электрическим также и магнитного заряда, а адронное вещество рассматривается как магнитно-нейтральное образование фундаментальных дуально заряженных частиц — дионов. Элементарный чисто магнитный заряд g_0 имеет довольно большое значение (такое, что $g_0^2/\hbar c \simeq 36 \cdot 137$), и интенсивность взаимодействий между магнитными зарядами оказывается сильнее ядерных сил (для последних константа взаимодействия — порядка 10).

Существует значительное количество публикаций, посвященных так называемому “Дармштадскому эффекту” (см., например, работу [7]), когда сверхсильное электромагнитное поле при столкновении очень тяжелых ионов может вызвать фазовый переход в вакууме КЭД с электромагнитной константой связи в этой фазе $\alpha_f \sim 1$. При этом появляется возможность образования многоэлектронных компактных “атомарных” комплексов $2e^+e^-$ и $2e^-e^+$ из-за релятивистского сжатия кулоновских орбит позитрона и электрона вблизи ядер с $Z_1 + Z_2 > 150$. В экспериментах на TRISTAN (Япония) достигнуто сближение электронов и позитронов до расстояний $\sim 2 \cdot 10^{-16}$ см. Как и ожидалось теоретически, константа электромагнитного взаимодействия при сближении частиц возрастает (см. работу [8]).

Занимающая доминирующее положение в современной адронной физике жестких процессов КХД оперирует огромным количеством параметров ~ 100 и все равно сталкивается с рядом вопросов, не находящих решения в ее рамках. К таковым относятся: конфайнмент цветовых объектов, повторяемость лептон-кварковых поколений и количество последних, механизм генерации масс частиц и многое другое. Отметим также, что до сих пор не удалось экспериментально наблюдать кварк-глюонную плазму, существование которой следует из КХД несмотря на то, что

достигнутые энергии соответствуют уже величинам до ~ 200 ГэВ/нуклон. Это может служить указанием на то, что такая плазма вообще не существует в природе.

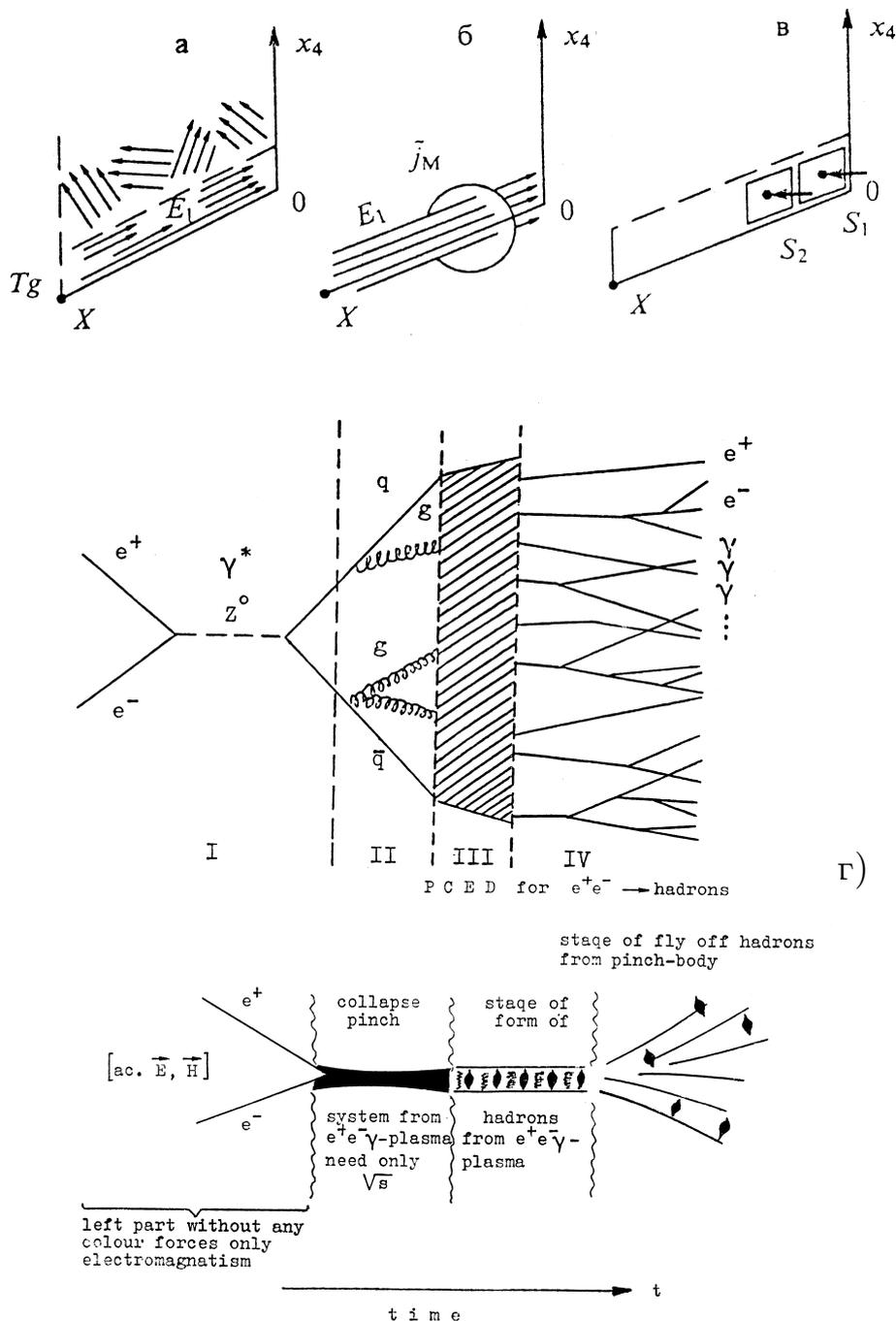


Рис. 2. Картина образования струны нерелятивистским кварком и тяжелым антикварком, рассматриваемая в рамках трех различных подходов: а) в формализме корреляторов полей; б) дуальной сверхпроводимости; в) модели стохастического распределения потоков (заимствовано из [20]); г) динамика процесса e^+e^- -аннигиляции в адроны в рамках двух подходов: современной КХД и электромагнитной пинчевой коллапсирующей электродинамики ЭПКЭД (заимствовано из [4]).

Одной из центральных проблем современной физики элементарных частиц является вопрос о релятивистском, квантовом описании структуры нуклонов и малонуклонных систем. Выделение элементарных составляющих материи представляют собой трудную проблему. Для описания системы ядро-электроны была создана квантовая механика (Шредингер, Гейзенберг, Дирак и др.), в рамках которой можно рассмотреть все явления окружающего мира до расстояний порядка 10^{-12} см. Напомним, что квантовая электродинамика была сформулирована на основе экспериментального изучения явлений в области масштабов $\sim 10^{-8}$ см, а оказалась справедливой вплоть до расстояний $\sim 10^{-17}$ см. Вместе с тем уже давно стало ясно, что у электродинамики Максвелла-Дирака существует “естественный предел применимости” при больших передаваемых импульсах или при малых расстояниях, а также в явлениях в области малых передаваемых импульсов, но рассматриваемых на высоком уровне точности, где начнут сказываться сильные взаимодействия с их неопределенностью механизма адронизации.

Электродинамика, рассматривающая только электроны и фотоны, при этом, очевидно, может нарушаться. Учет влияния электромагнитных взаимодействий на сильные взаимодействия до последнего времени представляется очень неясным в связи с отсутствием самосогласованной теории протона. Очевидно только, что электромагнитные свойства адронов должны играть определенную роль. По нашему мнению, за “естественным пределом” электродинамики Фарадея-Максвелла-Дирака ($r \leq 10^{-16}$ см) физика экстремально сильного электромагнетизма сливается с физикой сильных взаимодействий в рамках механизма, основанного на образовании электрон-позитронных комплексов в магнитном поле коллапсирующего пинч-механизма адронизации (см. рис. 2г, детали — в работе [4]). В пользу этого утверждения может говорить тот факт, что ядерные размеры нуклона ($r_N \simeq 0,8 \text{ Фм}$) оказываются приблизительно равными его электромагнитному радиусу, а плотность электромагнитной энергии вокруг движущихся электронов (позитронов) становится соизмеримой с адронной плотностью при расстояниях $\leq 1 \text{ Фм}$ и скоростях, стремящихся к скорости света.

Перечислим вкратце основные экзотические свойства мюонов и нуклонов, не вдаваясь в их детальный анализ (более подробно см. работу [18]):

- Ненормально странные значения магнитных моментов нуклонов, который отличен от нуля для нейтрального нейтрона и слишком велик для протона (измерения дают соответственно для протона и нейтрона $\mu_p = 2,793 \mu_{яд}$ и $\mu_n = -1,913 \mu_{яд}$, где $\mu_{яд}$ — ядерный магнетон).
- Примерное равенство аномальных частей магнитных моментов протона и нейтрона ($\mu_p - 1 \simeq |\mu_n - 0|$), а также (и это наиболее удивительно) аномальных магнитных моментов нуклонов и электронов (последнее с точностью только $\sim 19\%$), что свидетельствует об одинаковости главных механизмов их возникновения¹.

¹Первоначальное представление о структуре нуклонов возникло именно в связи с обнаружением у них аномальных магнитных моментов. Простейшее объяснение этого эффекта было дано Ферми,

- Возможность наличия у нейтрона очень малого электрического заряда (экспериментальное ограничение дает $Q_n = (4, 3 \pm 7, 1) \cdot 10^{-21}|e|$).
- Возможность наличия у нейтрона так же небольшой поляризуемости (из экспериментальных данных $\alpha_p < 2 \cdot 10^{-3}$ Фм³), что будет нарушать СР-инвариантность.
- Распад нейтрона с нарушением сохранения барионного числа ($\Delta B = 1$) $n \rightarrow e^+\pi^-$ при $\tau_n^{\Delta B=1} > 10^{32}$ лет (для протона теория дает оценку времени жизни $\sim 10^{32}-10^{33}$ лет).
- Возможность нейтрон-антинейтронных осцилляций ($\Delta B = 2$) с верхней границей теоретических оценок $\tau_{os} = 10^{37}$ с.
- Отличие мюона от электрона не проявляется ни в чем, кроме значения массы ($m_\mu \simeq 207 m$) при совпадении всех остальных квантовых параметров.
- Существование в природе только заряженных форм электрона и мюона и отсутствие их нейтральных форм.

И в заключение этого раздела отметим, что самый существенный недостаток всех опубликованных до настоящего времени работ, рассматривающих структуру протона, заключается в том, что в них не было введено понятие силового узла протона и не определена его природа.

1. Основные идеи предлагаемой концепции

Кажется вполне возможным, что указанные во введении проблемы могут найти естественное решение методами современной ультраквантовой физики (УКФ) с точки зрения электромагнитной концепции строения адронов, что может оказаться альтернативой современной кварк-глюонной модели в рамках КХД. В УКФ возможно построение адронов из многоэлектронных комплексов с силовым узлом из сверхсильного магнитного поля, ввиду отсутствия принципиальных ограничений на величину магнитного поля сверху (подробно квантовые эффекты в экстремально сильном магнитном поле изложены в обширном обзоре И.М.Тернова и О.Е.Дорофеева [5]).

В предлагаемой нами модели электромагнитного строения мюонов и нуклонов в качестве фейнмановских партонных выступают электроны и позитроны, находящиеся в экстремально сильном магнитном поле силового узла частицы, а магнитная система из фотонов экстремально сильного магнитного поля от вращающихся электрона и/или позитрона отождествляется с глюоном.

который стал рассматривать нуклон как сложную систему, состоящую из “голого” нуклона с нормальным значением магнитного момента (т.е. ноль и один $\mu_{яд}$ для “голых” нейтрона и протона соответственно) и π -мезонного облака, ответственного за наблюдаемую аномалию. В этой схеме протон и нуклон должны обладать распределенным электрическим зарядом и магнитным моментом, что можно измерить экспериментально при рассеянии на нуклонах быстрых электронов (см., например, обзор [18]). Отметим, что наша концепция в некотором смысле близка к идее Ферми, но с той разницей, что его π -мезонное облако заменено на электрон-позитронный комплекс.

Электромагнитное поле имеет тензор энергии-импульса T^{ij} (выражение для него через вектора \vec{E} и \vec{H} электрического и магнитного полей можно найти в [9]), который обладает рядом специфических и тонких свойств. Его пространственные компоненты образуют максвелловский тензор напряжения $\sigma_{\alpha\beta}$:

$$\sigma_{\alpha\beta} = (1/4\pi) \cdot [-E_\alpha E_\beta - H_\alpha H_\beta + (1/2) \cdot (E^2 + H^2)\delta_{\alpha\beta}], \quad \alpha, \beta = 1, 2, 3.$$

Матрица тензора Максвелла имеет вид (мы опускаем общий множитель $1/4\pi$ и в силу симметрии $\sigma_{\alpha\beta}$ указываем только матричные элементы при $\beta \geq \alpha$)

$-(E_1^2 + H_1^2)/2$	$-E_1 E_2 - H_1 H_2$	$-E_1 E_3 - H_1 H_3$
...	$-(E_2^2 + H_2^2)/2$	$-E_2 E_3 - H_2 H_3$
...	...	$-(E_3^2 + H_3^2)/2$

Отсюда видно, что возможны конфигурации полей, при которых становятся отрицательными диагональные элементы тензора Максвелла. И как было отмечено еще в работе [2], это приводит к тому, что магнитное поле имеет натяжение вдоль силовой линии и давление поперек. Поэтому движение, которое растягивает продольные размеры и сжимает поперечные, приводит к накачке энергии и возникновению сил, растущих с увеличением растяжения и, соответственно, уменьшающихся на малых расстояниях, т.е. воспроизводится фундаментальное свойство сил, действующих между кварками и приводящих к так называемой асимптотической свободе.

Предлагаемая нами концепция основана на использовании электромагнитного коллапсирующего пинч-механизма адронизации [4] (рис.2г) и опирается на следующие основные положения:

- Бесконечность электромагнитной энергии во Вселенной (более подробно см. работу [2]) при непрерывном изменении ее масштабов от МТэВ до мэВ (см. рис. 3).
- Консервативность магнитного поля, которое не имеет принципиальных ограничений на свою величину сверху (в отличие от электрического поля, где при достаточно больших напряженностях происходит пробой вакуума за счет спонтанного рождения e^+e^- -пар), в силу чего возможно существование экстремально сильного магнитного поля (например, на расстояниях $\ll 0,01 A^0$ от движущегося точечного электрического заряда e при его скорости $v \rightarrow c$).
- Высокая степень пространственной локализации заряженной частицы в экстремально сильном магнитном поле и существование в таком поле стационарных орбит за счет механизмов, приводящих к постулатам Бора (одна из возможных формулировок последних — длина орбиты кратна де'бройлевской волне частицы).

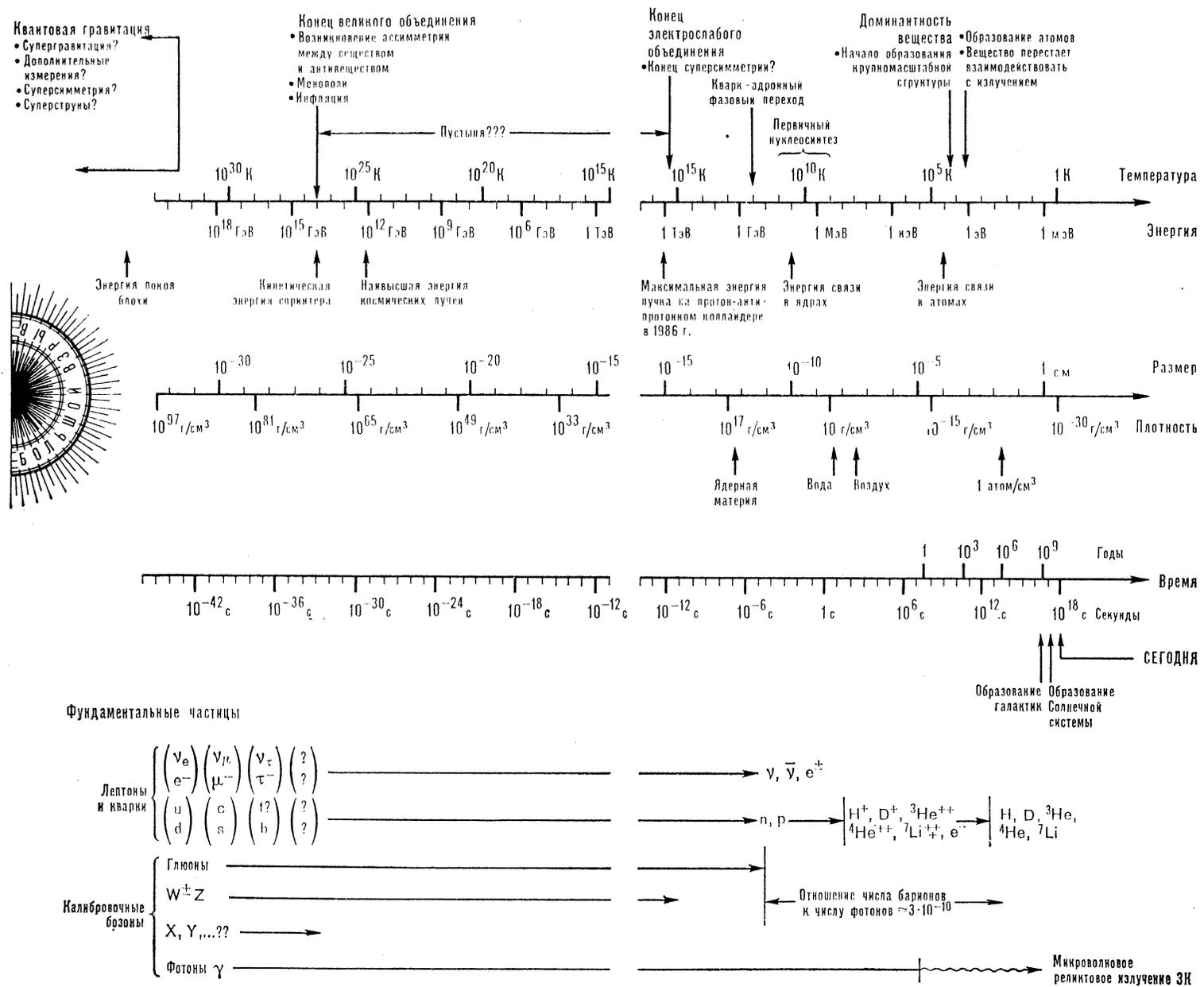


Рис. 3. Схема эволюции Вселенной и энергетическая шкала [33].

- Чрезвычайно малый структурный радиус электрона $\sim 10^{-20}$ см и существование “дармштадских” электрон-позитронных атомарных комплексов te^-ne^+ .
- Способность системы фермионов при низких температурах ($\sim 300^0 K$) переходить в сверхпроводящее состояние при наличии сколь угодно слабого притяжения между ними (подробнее см. в работе [11]).
- Сверхтекучесть квантовой жидкости из бозе-частиц.
- Увеличение электрического заряда, магнитного момента, масс частиц и количества нейтрино в процессе e^+e^- - аннигиляции в адроны при $\sqrt{s} \rightarrow \infty$.
- Возможность превращения как Z^0 -бозона, так и протона в электроны и позитроны (по современным данным $B(Z \rightarrow e^+e^-) \simeq 3,37\%$ [12]), а распад протона по каналам $p \rightarrow e^+(\mu^+) \pi^0$ требуется в моделях Великого Объединения).
- Бросающееся в глаза подобие между электроном, позитроном, фотоном, легкими кварками и глюонами (см. табл. 1).

Таблица 1.

Тип частицы	Спин	Радиус (см)	Заряд ($ e $)	Масса
Лептоны e^+, e^-	1/2	$\sim 10^{-20}$	± 1	0,511 МэВ
Легкие кварки u, d	1/2	$< 5 \cdot 10^{-17}$	2/3, -1/3	2–8 МэВ, 5–15 МэВ
Фотоны γ	1	$\sim 10^{-15}$	0	$< 10^{-41}$ Г
Глюоны g	1		0	

Примечания:

- В научных публикациях встречаются кварки как с дробным зарядом, так и с целочисленным (последнее, например, в моделях Хана-Намбу [34]).
- Значения масс кварков являются модельно-зависимыми, и из-за отсутствия самосогласованной модели протона не могут быть определены однозначно.
- Точечность электрона и позитрона проверена совпадением экспериментальных результатов с квантово-электродинамическими расчетами до расстояний порядка 10^{-17} см. Наличие у электрона некоторого электрон-позитронного облака радиусом $r \sim \lambda_e \simeq 3,86 \cdot 10^{-11}$ см не меняет существа дела, ввиду малой его плотности порядка $\alpha = 1/137$.

2. Экстремально сильное магнитное поле

Остановимся кратко на понятии экстремального критического магнитного поля. Существует критическое значение магнитного поля, когда энергия вращения

электрона $\hbar\Omega$ ($\Omega = eH/mc$ — циклотронная частота) оказывается равной энергии покоя электрона mc^2 . В результате для критического значения поля получаем: $H_c = m^2c^3/e\hbar = 4,413 \cdot 10^{13}$ Э [5], где e и m — соответственно заряд и масса электрона, а c и \hbar — стандартные обозначения для скорости света и постоянной Планка.

Вследствие гиромагнитных свойств, магнитное поле не производит работу (сила Лоренца перпендикулярна к траектории частицы). В силу этого обстоятельства вакуум даже в условиях воздействия на него критического поля остается устойчивым, что представляет особый интерес для исследований процессов в таком экстремальном поле, где наступает область ультраквантовой физики.

В последнее время проблема возникновения экстремально сильного магнитного поля обсуждается также в связи с возможными физическими процессами, которые могут иметь место на встречных протон-антипротонных пучках в коллайдерах нового поколения типа ЛНС. Здесь возникающее в процессе соударения поле может достигать значений H_W , при которых нижний энергетический уровень электрона в магнитном поле $\sim \hbar\Omega$ достигнет массы M_{W^\pm} -бозона (откуда $H_W = M_{W^\pm}^2c^3/e\hbar = 10^{24}$ Э), что создает условия для образования W^\pm - и Z^0 -бозонного конденсата, распадающегося далее на лептоны.

Если представить себе, что масса протона набирается за счет магнитного поля \bar{H} внутри его, то для среднего значения $\langle \bar{H}^2 \rangle$ можно получить оценку из соотношения

$$(\langle \bar{H}^2 \rangle / 8\pi) \cdot (4/3)\pi r^3 = m_p c^2,$$

где m_p и $r = 0,8$ Фм — соответственно масса и радиус протона. Отсюда $\sqrt{\langle \bar{H}^2 \rangle} \simeq 5 \cdot 10^{18}$ Э (что соответствует $\sqrt{\langle \bar{H}^2 \rangle} / H_c \sim 10^5$).

Электрон, находящийся под действием экстремально сильного магнитного поля, сильно локализован в направлении, перпендикулярном полю. Степень локализации характеризуется радиусом [5]

$$r = \lambda_e \cdot \sqrt{H_c/H}, \quad (1)$$

где $\lambda_e = \hbar/mc \simeq 3,86 \cdot 10^{-11}$ см — комптоновская длина волны электрона. Отсюда видно, что при $H \sim 5 \cdot 10^{18}$ Э (что соответствует $H/H_c \sim 10^5$) $r \sim 0,8$ Фм, т.е. уменьшается до адронных размеров.

Электрон,двигающийся со скоростью v по окружности радиуса r , в свою очередь, образует виток тока, который генерирует вокруг себя магнитное поле дипольного типа. Величина магнитного поля в центре круга вращения составляет

$$H = (v/c) \cdot (e/R^2) = \alpha \cdot (v/c) \cdot (\lambda_e/r)^2 \cdot H_c, \quad (2)$$

где $\alpha = e^2/\hbar c \simeq 1/137$.

Для дальнейших справок отметим также, что магнитный момент витка тока с радиусом r , образованного движущейся со скоростью v заряженной частицей с массой M , равен

$$\mu = (v/c) \cdot (r/\lambda_M) \cdot (e\hbar/Mc), \quad (3)$$

где $\lambda_M = \hbar/Mc$ — комптоновская длина волны рассматриваемой частицы.

Движение электрона в сильном магнитном поле можно представить в виде быстрого вращения по циклотронному кругу радиуса r (см. формулу (1)), ведущий центр которого испытывает сравнительно медленный дрейф вдоль магнитной силовой линии за счет неоднородности магнитного поля. Эффект дрейфа существует как для релятивистских так и для нерелятивистских частиц. Нам не удалось найти в литературе аналитический ответ для релятивистского случая, в нерелятивистском приближении скорость дрейфа определяется выражением (задача Н.Аlfve, ее решение см., например, в работе [9]):

$$\bar{v}_d = (1/\Omega R) \cdot (v_L^2 + v_T^2/2) \cdot [\bar{v} \bar{n}], \quad (4)$$

где Ω — циклотронная частота; R — радиус кривизны магнитной силовой линии; v_L и v_T — соответственно параллельная и трансверсальная компоненты скорости относительно вектора магнитного поля \bar{H} , $\bar{v} = \bar{H}/|\bar{H}|$ и \bar{n} — единичный вектор, “смотрящий” из центра кривизны силовой линии на частицу.

Очень важно для понимания проблемы конфайнмента, что заряженная частица, двигаясь в неоднородном магнитном поле, может быть заперта в нем. Основано это на сохранении так называемых адиабатических инвариантов [9], являющихся циркуляциями обобщенного импульса $\bar{P}_T = \bar{p}_T + (e/c) \cdot \bar{A}$ по замкнутому контуру, получающемуся за полный период движения

$$I = (1/2\pi) \cdot \oint \bar{P}_T \cdot d\bar{l} = 3cp_T^2/(2eH), \quad (5)$$

где \bar{p}_T и \bar{A} — соответственно трансверсальная (относительно силовой линии) компонента обычного импульса и векторный потенциал поля.

Из (5) следует, что величина поперечного импульса растет вместе с ростом поля как $p_T \sim \sqrt{H}$, но вместе с тем магнитное поле консервативно и, энергия (а с нею и квадрат импульса p^2) остается постоянной. Отсюда следует, что проникновение в область достаточно сильного поля запрещено, при достижении p_T максимально возможного значения происходит отражение от этих областей поля, при этом направление дрейфа частицы изменяется на обратное, а направление вращения вокруг силовой линии поля остается прежним.

Отметим, что простой магнитный диполь (легко реализуемый вращающимся электроном или связанным состоянием монополь-антимонополь, где монополь — гипотетический магнитный заряд), по-видимому, может выполнить роль такого капкана. Заряженная частица, если она попадает в конус захвата, будет совершать быстрое циклотронное вращение вокруг силовой линии и медленные дрейфовые колебания между полюсами диполя, каждый раз отражаясь от них.

3. О природе механизма адронизации

Чтобы понять динамику механизма адронизации, обратимся к процессу e^+e^- -аннигиляции в адроны при $\sqrt{s} \rightarrow \infty$. В 1975 г. на накопительном кольце SPEAR (Станфорд, США) наблюдалась струйная структура в рождении адронов при e^+e^- -аннигиляции. Запуск e^+e^- -коллайдера LEP в ЦЕРНе дал возможность получить распределения по множественности заряженных адронов e^+e^- -аннигиляции в области Z^0 -бозона при $\sqrt{s} \sim 91$ ГэВ. Среднее значение этой множественности составило $n^{ch} = 20,9 \pm 0,2$ (более подробно о распределениях по множественности смотри в прекрасном обзоре [23]). Полученная величина n^{ch} удивительно мала, если сравнить ее с максимально возможной, так называемой, асимптотической множественностью, разрешенной законом сохранения энергии, которая при таких \sqrt{s} будет $n_{ch}^{as} = \sqrt{s}/m_\pi \sim 600$.

Обозначим через m и e соответственно массу и заряд электрона. Если сравнить в e^+e^- -аннигиляции начальное состояние (электрон и позитрон с суммарной массой $2m$ и суммой модулей зарядов $2|e|$) и конечное (после всех распадов: электроны, позитроны, γ -кванты и нейтрино), то впечатляющим эффектом является большое *увеличение электрического заряда* (по модулю), *магнитного момента, массы и количества нейтрино*.

Но наиболее замечательным эффектом является обнаружение подобия основных закономерностей в развитии и последующей адронизации кварк-партоновых ливней в процессах образования адронов в $e^+e^- \rightarrow h\dots h$ и в адронных реакциях, т.е. механизм адронизации имеет единую природу.

Как известно, в кварк-партоновой модели элементарных частиц адроны рождаются в e^+e^- -аннигиляции последовательным превращением пары e^+e^- в виртуальный фотон, фотона — в кварк-антикварковую пару с последующей фрагментацией каждого кварка в отдельную струю адронов (см. рис.2г). В обзоре [26], посвященном изучению термодинамических свойств ядерной материи в окрестности фазовых переходов 1-го рода кварк-глюонной плазмы, отмечается также важность привлечения, наряду с методами КХД, альтернативных представлений, дополняющих друг друга.

Изначально в процессе e^+e^- -аннигиляции мы имеем ускорение e^+ и e^- (таких же фундаментальных, как кварки, или фотоны...) через поглощение электромагнитной энергии в ВЧ-резонаторах e^+e^- -коллайдера без каких-либо цветовых взаимодействий (см. рис. 2г). Не имеется никаких принципиальных запретов на то, чтобы рассматривать возможность существования нового виртуального нейтрального состояния вместо общепринятых на сегодня виртуального γ^* -кванта или Z^0 -бозона.

Новое, предлагаемое вместо γ^* и Z^0 естественное виртуальное состояние, исходя из подобия кварковых и глюонных струй, должно обладать суперсилой, эквивалентной по силе цветовому взаимодействию современной КХД и содержать электромагнитную часть (заряды, магнитные моменты и др.). Такими параметрами обладает только реально существующая в природе релятивистская коллапсирующая пинчевая система зарядомагнитнофотонной электронейтральной плазмы ($\delta Q = 0$), т.е.

вместо виртуального γ^* -кванта в процессе e^+e^- -аннигиляции можно рассматривать коллапсирующую пинчевую систему (рис.2г).

Действительно, единица электрического заряда есть универсальная постоянная. Электрические заряды всех заряженных частиц с фантастической точностью оказываются кратными друг другу, какими бы характеристиками они не обладали. Какой же неизвестный общий принцип здесь действует? Именно здесь следует отметить, что в КЭД хорошо известен метод эквивалентных фотонов (МЭФ), согласно которому состояние виртуального γ^* -кванта в процессе $e^+e^- \rightarrow h...h$ эквивалентно состоянию из энергетически разрешенной суммы реальных γ -квантов. Эта аналогия не случайна, а является проявлением глубокой связи между процессами с участием виртуальных и реальных фотонов, обусловленной, в свою очередь, тем, что электромагнитное поле быстрой заряженной частицы близко по своим свойствам к полю световой волны. Этот общий принцип сегодня можно понять, если учесть то, что при движении ультрарелятивистской заряженной частицы (электрон и позитрон) вокруг нее создается экстремально сильное магнитное поле $\geq 10^{20}$ Э. В процессе $e^+e^- \rightarrow h...h$ электрон, попадая в экстремально сильное магнитное поле позитрона, начинает испускать спектр высокоэнергетичных γ -квантов, которые в этом же магнитном поле превращаются в e^+e^- -пары, т.е. действие ультрарелятивистского электрона эквивалентно действию спектра реальных фотонов. В свою очередь, рожденные e^+e^- -пары в таком поле могут превратиться в γ -кванты (см. детали в работе [5]).

Аналогичный процесс сопровождает ультрарелятивистский позитрон, но уже в экстремально сильном магнитном поле электрона. Таким образом, развивается каскадный процесс с образованием $(e^+e^-\gamma)$ -плазмы, являющейся альтернативой кварк-глюонной плазме, которая превращается в процессе e^+e^- -аннигиляции в адроны в электромагнитную коллапсирующую пинчевую систему с экстремально сильным квантующим магнитным полем. Природа общего принципа состоит в том, что в коллапсирующей пинчевой системе магнитное поле “вморожено” в зарядовую жидкость, и заряд имеет сверхсильную замагниченность (суперлокализация). В таком электромагнитном подходе решается проблема конфаймента, а также имеет место естественное объяснение возникновения электрического заряда, спина, магнитного момента и масс частиц.

Итак, учитывая явление конфаймента, взаимопревращение элементарных частиц, одновременность рождения частиц ($\sim 10^{-24}$ сек), ненаблюдение признаков кварк-глюонной плазмы в экспериментах с энергией до 200 ГэВ/нуклон², неподтверждение пока хиггсовского механизма возникновения массы, кратность электрического заряда элементарных частиц заряду электрона, кратность их спина величине 1/2 (спину электрона), *увеличение электрического заряда (по модулю), магнитного момента, массы и количества нейтрино* в событиях e^+e^- -аннигиляции в адроны, возможность образования $(e^+e^-\gamma)$ -плазмы в режиме

²В настоящее время теоретики часто отдают предпочтение модели независимых соударений нуклонов в АА-соударениях с образованием фазы “адронный газ”, перед фазой кварк-глюонной плазмы.

коллапсирующей пинчевой системы вместо кварк-глюонной плазмы и бесконечное значение электромагнитной энергии физического вакуума, то естественно предположить, что вместо виртуального фотона γ^* или Z^0 -бозона ($\sqrt{s} = 90$ ГэВ) в e^+e^- -аннигиляции в адроны мы имеем дело с коллективной релятивистской электромагнитной коллапсирующей пинчевой системой из электронейтральной ($\delta Q = 0$) зарядомагнитнофотонной плазмы, в которой возможен фазовый адронный переход в экстремально сильном магнитном поле $H > 10^{20}$ Э с силовым “замораживанием”.

При этом просматриваются два возможных механизма адронизации: при первом из них [4] происходит образование адронных микропинчей с перетяжками и их саморазлет (рис. 2г), а при втором сценарии (который нам кажется более предпочтительным) в схлопывающейся магнитной стенке пинча возникают электронные и позитронные суперлокализованные токовые петли в экстремально сильном магнитном поле пинча ($\gamma + H \rightarrow e^+e^-, \mu^+\mu^-, \dots$), которые могут образовывать многоэлектронные комплексы адронов с их силовым центром. Не исключаются и другие сценарии, особенно с ростом энергии.

Электромагнитная коллапсирующая пинчевая система наиболее эффективно включает в процессе e^+e^- -аннигиляции в адроны термодинамику, гидродинамику и электродинамику и соответствует моделям гидродинамической теории множественных процессов Ландау, Померанчука, Ферми и Гейзенберга. Это — “микрогорячая Вселенная” в лабораторных условиях при условии, что пинч имеет длину ~ 1 Фм при диаметре $\sim 10^{-18}$ см.

На сегодняшний день механизмы адронизации и конфайнмента неизвестны и являются предметом рассмотрения в разнообразных теоретических моделях. Это и есть главная причина неопределенностей, связанных с описанием адронных взаимодействий.

Известные модели конфайнмента так или иначе сводятся к образованию цветовой струны с круговым током монополей (см. рис. 2 а-в) [20]. По нашему мнению, все они могут быть представлены в виде одного обобщенного механизма, опирающегося на существование когерентных областей распределения поля размером T_g (порядка диаметра струны), за пределами которого поля уже независимы и стохастичны. По-видимому, этой физической концепции наиболее полно отвечает по своим свойствам электромагнитный коллапсирующий пинч-механизм при $r \rightarrow 0$ (r — радиус пинча в направлении, перпендикулярном вектору индукции магнитного поля) и не апеллирующий к объектам типа монополя (диона).

Подчеркнем, что адронизация идет таким образом, что переход сверхсильно возбужденной материи в адроны формирует в них спиновую структуру и динамику механизма слабого распада (для пионов, каонов и др.), который обеспечивает отквантование крайне малой массы нейтрино ($m_{\nu_e} < 4,35$ эВ/ c^2).

4. К полному абсолютному электрическому заряду протона через паулиевское электронейтральное нейтрино

Единица электрического заряда есть универсальная постоянная. Заряды всех частиц (какими бы свойствами они не обладали) с фантастической точностью

оказываются кратными заряду электрона e . Экспериментально надежно установлено равенство абсолютных значений зарядов лептонов и адронов $|Q_{\mu^\pm}| = |Q_{p^\pm}| = |Q_{\pi^\pm}| = |Q_{K^\pm}| = |e|$ с относительной точностью лучше, чем 10^{-17} . При этом спины всех частиц также кратны $1/2$ вне зависимости от их свойств и любых характеристик (массы, заряда и пр.). Вместе с тем массы и магнитные моменты (см. табл. 2) не имеют признаков (даже сильно нарушенных) кратности, т.е. соответствующие им кванты отсутствуют. Какой неизвестный принцип здесь действует?

Таблица 2.

Частица	Магнитный момент (кварковая модель)	Вычисленное значение, $\mu_{яд}$	Эксперимент, $\mu_{яд}$
p	$(4/3)\mu_u - \mu_d$	2,79	2,793
n	$(4/3)\mu_d - \mu_u$	-1,86	-1,913
Λ	μ_s	-0,58	$-0,6 \pm 0,01$
Σ^+	$(4/3)\mu_u - (1/3)\mu_s$	1,86	-1,913
Σ^0	$(2/3)(\mu_u + \mu_d) - (1/3)\mu_s$	0,82	-
Σ^-	$(4/3)(\mu_d - (1/3)\mu_s)$	-1,05	$-1,41 \pm 0,25$
Ξ^0	$(4/3)\mu_s - (1/3)\mu_u$	-1,40	$-1,20 \pm 0,06$
Ξ^-	$(4/3)\mu_s - (1/3)\mu_d$	-0,47	$-1,85 \pm 0,75$

Рассмотрим вначале современную ситуацию с зарядом нейтрино — частицы которая проявляет себя только в слабых взаимодействиях. Как пишет Л.Б.Окунь в книге “Лептоны и кварки” [10], интерес к слабому взаимодействию связан в основном с тем, что его исследование открывает путь к построению единой теории элементарных частиц и взаимодействий между ними. Кажется естественным, что нейтрино не содержат внутри себя электрический заряд, потому что они проходят без взаимодействия чрезвычайно огромные слои вещества ($L \sim M \text{ парсек}$) и при этом не испытывают сколь угодно малых ионизационных потерь энергии, не инициируют ни электромагнитного ливня, ни адронного каскада (и имеют крайне малую массу при исчезающе малом значении магнитного момента $\mu_\nu \ll 10^{-9} \mu_B$, где μ_B — магнетон Бора).

Из астрофизических данных, основанных на анализе потерь энергии в центральных областях звезд типа нашего Солнца за счет эмиссии нейтрино в ходе термоядерного цикла, получено следующее ограничение на заряд нейтрино: $Q(\nu_e) < 10^{-13} e$ [13]. Из имеющихся в настоящее время данных для верхней границы сечения упругого рассеяния реакторных нейтрино на электронах можно получить при учете закона сохранения заряда $Q(\nu_e) < 3 \cdot 10^{-10} e$ [14]. И, наконец, наилучшая оценка $Q(\nu_e)$ может быть получена при анализе результатов опытов по β -распаду нейтрона также при учете закона сохранения заряда: $Q(\nu_e) < 3 \cdot 10^{-19} e$ [15].

Хорошо известно, что полный электрический заряд атома водорода $Q_H = 0$. Но мы сегодня точно знаем, что рассматриваемый атом содержит один электрон и один протон, т.е. сумма абсолютных значений электрических зарядов $Q_H^{abs} = 2|e|$. На сегодня достоверно установлено, что протон состоит из партонов (кварков) при его заряде $Q_p = |e|$. Но тогда естественно возникает вопрос: сколько в абсолютном может быть электрического заряда в протоне подобно атому водорода, $Q_p^{abs} = ?$

Для дальнейшего прояснения проблемы полного абсолютного электрического заряда протона рассмотрим процесс $p\bar{p}$ -аннигиляции. С точки зрения термодинамических моделей, в процессе ядерной аннигиляции происходит диссипация энергии, равновероятно распределяемой на все вторичные частицы, т.е. имеем статистическое рождение. И в самом деле, оказалось, что энергетическое распределение вторичных частиц и распределения по множественности не противоречат этой модели ($n^\pm \sim s^{1/4}$, [16]).

Для наших целей важно проанализировать ядерную аннигиляцию в покое (подающуюся более трудному описанию в рамках КХД), где при $\sqrt{s} \simeq 1,88$ ГэВ происходит 100%-ое уничтожение барионного заряда и образование пионного продукта при максимуме партон-партонных взаимодействий. В двух основных экспериментах, осуществленных с помощью 80-см пузырьковых камер ЦЕРНа и ФНАЛ была набрана большая статистика $1,6 \cdot 10^6$ соб. в ЦЕРНе и $7,5 \cdot 10^5$ соб. — во ФНАЛ [16]. Для среднего числа образовавшихся при аннигиляции пионов и соответствующих дисперсий экспериментально были получены следующие результаты: $\langle n_\pi \rangle = 5,01$; $D_\pi^2 = \langle n_\pi^2 \rangle - \langle n_\pi \rangle^2 = 1,04$ при некотором избытке π^0 -мезонов над π^\pm -мезонами $\langle n_{\pi^\pm} \rangle - \langle n_{\pi^0} \rangle = (0,44 \pm 0,23)$.

Анализ распределения по множественности вторичных пионов [17] показал, что оно хорошо фитируется функцией Гаусса со средним значением $\langle n_\pi \rangle = 5$ и дисперсией $D_\pi^2 = 0,9^2$. Интересно, что распределение практически обнуляется при множественностях, превышающих предельное значение $n^{max} = 9$, хотя по закону сохранения энергии разрешенными являются конечные состояния с числом пионов вплоть до $2m_p/m_\pi \sim 13$.

При определении абсолютного электрического заряда протона очень остро встает вопрос об электрическом заряде нейтрино, который мы в соответствии с вышеизложенным примем равным нулю. Теперь возьмем в качестве постулата утверждение, что абсолютный электрический заряд протона должен определяться максимальным абсолютным зарядом конечного продукта от слабого распада мезонов, образовавшихся в $\bar{p}p$ -аннигиляции в покое, тогда получаем для него величину $Q_p^{abs} = n^{max} \cdot |e| = 9|e|$.

5. О силовом узле нуклонов

Роль силового узла в физике, в частности в физике высоких энергий, детально проанализирована в обзоре [20], где на большом экспериментальном и теоретическом материале показано, что вращательное движение и силовой узел являются неразделимыми параметрами квантовых объектов. Поэтому основополагающим мо-

ментом в нашем подходе является установление природы силового узла нуклонов и адронов вообще при размерах составляющих их партонов $< 10^{-16}$ см, т.е. меньше одной тысячной от размера протона.

Так как электрический заряд нейтрино можно считать равным нулю при его крайне малой массе $m_{\nu_e} \ll 4\text{эВ}/c^2$, то они, по-видимому, не будут входить в силовой узел нуклона, который может быть построен только из экстремально сильного магнитного поля. В принципе, если механизм адронизации имеет природу электромагнитного коллапсирующего пинч-механизма [4], то возможны два варианта:

- Первый вариант состоит в том, что протон, по-прежнему, рассматривается, как и в аддитивной кварковой модели, состоящим из трех валентных кварков, два из которых построены из “дармштадских” многоэлектронных компактных комплексов $2e^+e^-$, а один — из аналогичного комплекса $2e^-e^+$.
- Второй вариант сводится к альтернативной концепции, когда равный единице электрический заряд протона образован с помощью пяти позитронов и четырех электронов, находящихся в поле силового узла протона. Отметим, что суммарное количество необходимых электронов и позитронов в обоих вариантах одинаково и равно девяти, а сами электроны и позитроны отождествляются с партонами.

В работе [16] предполагается, что между нуклонами и мезонами есть более глубокое различие, чем отличие в числе кварков, а именно, в барионах существует “струнный узел (*string junction*)”, где сливаются три цветные струны, исходящие из каждого кварка. Согласно работе [20] образование струны между цветными зарядами требует кругового тока монополей или дионов (см. рис.2), однако на сегодня они не обнаружены ни в одном из многочисленных экспериментов, проводимых по их поиску еще со времен Хэвисайда. Разрушение бариона означает исчезновение “струнного узла” или барионного заряда, как, например, в реакции аннигиляции барионов $B + \bar{B} \rightarrow \text{мезоны}$. Так как носителем барионного заряда является “струнный узел”, то аннигиляция сводится к взаимному уничтожению узла и антиузла. Детальное изучение аннигиляции и событий с большой асимптотической множественностью при неупругости $K \rightarrow 1$ и $\Delta Q \gg 1$ позволит более глубоко понять различие мезонов и нуклонов, структуру силового узла, а также улучшить понимание механизма адронизации. Существующие экспериментальные данные не противоречат гипотезе исчезновения в аннигиляции именно струнного узла. Так, например, среднее значение заряда испущенных в переднюю полусферу вторичных мезонов существенно отлично от нуля [21], что свидетельствует о сохранении кварков (по крайней мере частичном) в ходе аннигиляции.

6. Из чего состоят кварки?

Что стоит за большим числом кварков, лептонов и других частиц? Являются ли они действительно элементарными, представляющими различные компоненты одной суперчастицы, или подобно предыдущим структурам (таким как молекулы,

атомы, адроны) построены из каких-то еще более элементарных объектов? Этот вопрос поставлен уже довольно давно (см., например, книгу Л.Б.Окуня [10]), и сторонники картины строения материи в виде вложенных в друг-друга матрешек уже заготовили названия для таких гипотетических объектов: преоны, субкварки, протокварки и др. Однако эта ветвь ведет к тому, что масса такого экзотического объекта может стать в n -ом поколении равной массе вещества во всей Вселенной ($\sim 10^{50}$ тонн [30]) при его радиусе $\ll 10^{-20}$ см. Такой путь в энергетическом аспекте кажется бесперспективным. Сегодня, когда так популярна идея невылетания кварков, вполне возможно думать о субкварках как о легких и даже безмассовых частицах, запертых на малых расстояниях в силовом узле частицы, что соответствует нашей идее о единой электромагнитной составленности мюонов и нуклонов.

Конечно, ответ на поставленный вопрос в настоящее время является в значительной степени открытым как с теоретической, так и с экспериментальной точек зрения. Проблема, по-видимому, будет решена при изучении столкновений при супервысоких энергиях, аналогично тому, как в начале века опыты Резерфорда по рассеянию α -частиц доказали наличие в атоме жесткого остова — ядра, как сравнительно недавние данные из экспериментов по глубоконеупругим процессам открыли и сами кварки-партоны.

Имеющиеся сейчас некоторые экспериментальные результаты можно интерпретировать как свидетельство в пользу составной картины строения кварков. Во ФНАЛ при столкновении протонов и антипротонов было найдено, что если поперечная энергия достаточно велика $E_T > 200$ ГэВ, то количество регистрируемых струй значительно превышает ожидаемое из КХД, аналогичные явления обнаружены и на LEP [23]. Наблюдаемое превышение можно объяснить, если предположить, что рассеяние происходит на каких-то более элементарных и более компактных (с радиусом $r \ll 10^{-17}$ см) чем кварк объектах — субкварках. Хотя следует отметить, что в настоящее время повторная, более корректная обработка данных во ФНАЛ, возможно, все же не подтверждает ранее декларированное превышение. Недавно появилась информация [24] о наблюдении похожих эффектов в экспериментах на ускорителе HERA (Гамбург, Германия) по глубоконеупругим столкновениям позитронов и протонов с энергиями соответственно 820 и 27,5 ГэВ/с. По данным двух независимых детекторов ZEUS и H1 число зарегистрированных событий в несколько раз превышает предсказание стандартной модели, что может указывать о наличии нового взаимодействия между кварками и лептонами или о существовании новой элементарной частицы лептокварка с массой 200 ГэВ.

Авторы данной работы впервые сделали предположение, что в качестве субкварков в рамках ультраквантового электромагнетизма могут выступать электроны и позитроны (более подробно см. табл.1), образующие комплексы ne^+me^- (n и m — целые числа) — аналоги кварков в современной КХД. При этом понятие “цвета” сводится к гипотезе, давно высказанной А.А.Тяпкиным [22], в рамках которой это квантовое число интерпретируется с точки зрения пребывания электронных комплексов в трех различных собственных зарядовых состояниях, каждое из ко-

торых характеризуется вполне определенным и притом целочисленным значением электрического заряда. Дробный электрический заряд кварка возникает как эффективная величина за счет усреднения для суперпозиции цветовых состояний. В нашей модели роль глюона играет экстремально сильное магнитное поле от токового витка вращающегося электрона (позитрона), которое формирует магнитные диполи с двумя полюсами — северным и южным. Существенное отличие нашей гипотезы от гипотезы Дж.Швингера [6] состоит в том, что последний дополнительно постулирует существование магнитных зарядов (дионы Швингера). Отметим, что эксперимент не подтверждает существование магнитных дионов.

7. Мюон — циклотронный электрон

Сравнение всех свойств электрона и мюона показывает их полную идентичность за исключением единственной характеристики — массы, у мюона масса $m_\mu \simeq 105,6$ МэВ, что примерно в 207 раз больше, чем у электрона. Этим оправдывается часто встречающееся утверждение, что мюон — тяжелый электрон. Действительно, мюоны и электроны имеют одинаковые электрические заряды и спины, равные соответственно ± 1 и $1/2$, а также нулевые барионные числа. И те и другие одинаково участвуют в слабых взаимодействиях со всеми его особенностями (малое сечение, нарушение пространственной четности и т.п.) и не участвуют в сильных. Они обладают одинаковыми электромагнитными взаимодействиями. Например, отрицательные мюоны подобно электронам могут входить в так называемый μ -атом, энергетические переходы мюона в котором также сопровождаются испусканием электромагнитного излучения.

Возможно, что решение вопроса о массе заряженных лептонов будет получено в развивающихся сейчас единых теориях слабых и электромагнитных сил, в которых постулируется существование “массообразующих” бозонов Хигса с ожидаемой массой ~ 1 ТэВ, ждущих еще своего открытия в будущем.

В работе [4] авторы рассматривают природу адронизации в рамках процесса аннигиляции $e^+e^- \rightarrow$ адроны при $\sqrt{s} \rightarrow \infty$, обеспечивающей суперлокализацию заряда, предлагают рассматривать мюон как электрон, “вращающийся” в экстремально сильном магнитном поле. Радиус локализации r_μ определяется формулой (1). Если учесть точечноподобность мюона и принять его радиус $r_\mu = 10^{-16}$ см, то тогда в соответствии с формулой (2) при $v = c$ (ибо в экстремально сильном магнитном поле движение носит ультрарелятивистский характер) получаем $H \simeq 0,3 \cdot 10^{23}$ Э, а для запасенной в объеме мюона магнитной энергии имеем

$$m_0 = (H^2/8\pi) \cdot (4/3)\pi r_\mu^3 \simeq 105 \text{ МэВ}, \quad (6)$$

что совпадает с массой мюона. Итак, по-видимому, мюон представляет собой циклотронную частицу, т.е электрон, вращающийся практически со скоростью света в экстремально сильном магнитном поле, которое и дает основной вклад в массу, а суммарный вклад от его кинетической и потенциальной энергий в поле сравнительно невелик.

Учитывая, что мюон — простейший одноэлектронный комплекс e^- , связанный в сильном магнитном поле, то можно написать для массы мюона эмпирическую формулу (полезность которой станет ясной в дальнейшем)

$$m_\mu = n \cdot m_0, \quad (7)$$

где $n = 1$ — число электронов в комплексе.

Так как в соответствии с формулой (3) магнитный момент от витка тока релятивистского электрона чрезвычайно мал и равен $\sim 2,5 \cdot 10^{-6} \mu_B$, то магнитный момент мюона почти полностью определяется магнитным моментом электрона μ_e . Но сам электрон находится в области сверхсильного внутреннего магнитного поля, что приводит к резкому уменьшению воздействия внешнего поля. Поэтому для внешнего поля видимый эффективный магнитный момент электрона значительно подавляется. Для оценок примем, что коэффициент подавления равен отношению масс $k = m/m_\mu$. В результате для магнитного момента мюона имеем $\mu_\mu = k \cdot \mu_e = (m/m_\mu)\mu_B$.

Заметим, что из уравнения Дирака при рассмотрении мюона как бесструктурной точечной частицы следует, что $\mu_\mu = e\hbar/(2m_\mu c) = (m/m_\mu) \cdot e\hbar/(2mc) = (m/m_\mu) \mu_B \simeq 5 \cdot 10^{-3} \mu_B$.

Отсутствие нейтральных форм электрона и мюона и существование лишь заряженных форм является сильным аргументом в пользу концепции, что мюон представляет из себя циклотронный электрон с массой $\sim 207 m$, как запасенной энергией магнитного поля токового витка.

8. Попытка построения полностью электромагнитной модели протона и нейтрона

Еще в 1920 г. Резерфорд высказал предположение, что наряду с протоном должно существовать простейшее нейтральное ядро — нейтрон в виде сильно связанного состояния протона и электрона, и предсказал его основные свойства: нулевой электрический заряд, высокую проникающую способность и сильные взаимодействия с ядрами (см., например, [18]).

По современным представлениям, нейтрон состоит из одного u - и двух d -кварков. В предлагаемой нами модели рассматривается более фундаментальный уровень строения материи, в которой предполагается считать электроны и позитроны в качестве субкварков, т.е. искомых более элементарных, чем кварк, объектов. Как уже указывалось выше, анализируются два варианта структуры адронов. В первом из них адрон состоит из составных кварков, которые, в свою очередь, построены из “дармштадских” многоэлектронных комплексов $2e^+e^-$ и $2e^-e^+$. Кварки (здесь подразумеваются кварки, одетые шубой виртуальных КХД-взаимодействий) имеют значительную массу $\sim 300 \text{ МэВ}/c^2$, намного превосходящую массы e^\pm . Из этого следует, что электроны и позитроны заперты экстремально сильным магнитным полем, и масса кварка образована не статическим сложением масс образующих его

частиц (электронов и позитронов), а имеет динамическое происхождение как полная энергия (сумма кинетической и потенциальной энергий) движения последних плюс энергия поля, получаемая интегрированием плотности магнитной энергии $|H|^2/8\pi$ по всему объему кварка.

Интересно, что для m_q мы имеем следующее эмпирическое соотношение (по аналогии с написанной ранее формулой для массы мюона)

$$m_q = n \cdot m_\mu \simeq 315 \text{ МэВ}, \quad (8)$$

в котором m_μ — масса мюона, а $n = 3$ — общее число электронов и позитронов комплекса, из которых образуется кварк. Рассматриваемая формула находится в хорошем согласии с массами u - и d -кварков в аддитивной кварковой модели (из масс-спектроскопии барионов $m_u = m_d = 363 \text{ МэВ}$; из мезонной спектроскопии $m_u \simeq m_d = 308 \text{ МэВ}$ [27]).

Во втором варианте нашей модели подобно тому, как ранее партоны были отождествлены с кварками, предлагается отождествить электроны и позитроны с партонами нуклонов (тем более, что, как следует из табл.1, нет существенной разницы между параметрами u - и d -кварков, с одной стороны, и электронами и позитронами, с другой) и построить протон из пяти позитронов и четырех электронов, а нейтрон — из пяти электронов и пяти позитронов плюс антинейтрино. При этом электроны и позитроны вращаются навстречу друг-другу в экстремально сильном магнитном поле силового узла нуклона. В последнем варианте заряд и спин протона естественно определяется зарядом и спином нескомпенсированного пятого позитрона (вспомним замечания Дж.Швингера по поводу удивительного равенства электрических зарядов мюона, протона, пионов и т.п.). Теперь остается для демонстрации полного понимания структуры нуклонов объяснить механизм возникновения их массы и магнитных моментов.

Посмотрим вначале как магнитные моменты объясняются в рамках модели составляющих кварков. Вычисленные в рамках аддитивной кварковой модели магнитные моменты барионов представлены в табл.2 [27]. Например в протоне $|uud\rangle$ два u -кварка должны находиться в симметричном состоянии, d -кварк — в состоянии с z -проекцией спина $S_z = +1/2$, а для полной волновой функции протона $J = 1/2$. Поэтому, используя коэффициенты Клебша-Гордона, получаем магнитный момент протона $\mu_p = (2/3) \cdot (2\mu_u - \mu_d) + 1/3\mu_d = (4/3) \cdot \mu_u - (1/3) \cdot \mu_d$, где дираковский магнитный момент кварка $\mu_q = e_q \hbar / 2m_q c$. Тогда $\mu_u = (2/3) \cdot (e\hbar/2m_p c)(m_p/m_u) = (2/3) \cdot (m_p/m_u)\mu_{яд}$ и $m_d = -(1/3) \cdot (m_p/m_d)\mu_{яд}$ (где $\mu_{яд}$ — ядерный магнетон). Для нейтрона, очевидно, нужно переставить u - и d -кварки местами. Если считать, что $m_u = m_d$, то $\mu_p/\mu_n = 3/2$, а эксперимент дает значение $\mu_p/\mu_n \simeq 1,46$. Как отмечается в [27], хотя достижения наивной кварковой модели в вычислениях магнитных моментов весьма ограничены, и она по своей научной значимости уступает современной КХД, тем не менее ее применение часто полезно и весьма наглядно, и имеется в общем удовлетворительное, а иногда и очень хорошее согласие предсказаний с экспериментом. Например, $SU(3)$ -симметрия

предсказывает следующие соотношения между магнитными моментами барионов: $\mu_p = \mu_{\Sigma^\pm}$; $\mu_{\Sigma^\pm} = \mu_\Xi = -(\mu_p + \mu_n)$; $\mu_n = \mu_{\Xi^0} = 2\mu_\Lambda = -2\mu_{\Sigma^0}$.

Однако в настоящее время магнитные моменты барионов измерены, и они не согласуются с этими предсказаниями. Несмотря на некоторые успехи, наивная кварковая модель подвергается серьезной критике во многих работах. Ее удается использовать в расчетах лишь на феноменологическом уровне, а предсказания носят скорее качественный характер. В такой ситуации авторы считают, что в рамках современной КХД проблема вычисления магнитных моментов и спинов нуклонов остается нерешенной и открытой для дальнейших исследований.

Магнитный момент может быть качественно объяснен с точки зрения существования заряженной мезонной “шубы”, вращающейся вокруг нуклона и индуцирующей таким образом ток. Токовая модель магнитного момента нейтрона впервые была предложена еще в 1937 г. Дж.Швингером [18]. Конкурирующая гипотеза была высказана Ф.Блохом, который ввел в свою теорию точечный магнитный диполь [18]. Однако эксперименты по изучению магнитного рассеяния нейтронов не подтвердили существование таких точечных диполей и находятся в согласии с токовой концепцией Швингера.

В предлагаемой нами электромагнитной модели протона и нейтрона их магнитные моменты и спиновая структура имеют естественное происхождение. В экстремально сильном магнитном поле вероятность спонтанных переходов не зависит от ориентации спина электронов и позитронов, т.е. переходы с изменением ориентации спина происходят с той же вероятностью, что и без поворота спина:

$$W = 0,421/T_0 \cdot (E/m^2), \quad T_0 = \hbar^2/mce^2 = 1,7 \cdot 10^{-19} \text{ с}, \quad (9)$$

где E — энергия частицы. Таким образом, электроны и позитроны очень быстро выстраивают в поле соответствующим образом свои спины, и электрон-позитронный комплекс нуклона должен состоять из двух подсистем: электронов ($\xi = -1, n \neq 0$) и позитронов ($\xi = +1, n \neq 0$), где через ξ обозначен знак проекции спина на направление вектора магнитного поля, а n — главное квантовое число [5].

В экстремально сильном магнитном поле аномальный магнитный момент (АММ) электрона и позитрона ярко проявляет свою динамическую природу, являясь нелинейной функцией энергии частицы и напряженности магнитного поля [5]. Для нас важно, что его значение резко уменьшается с ростом поля. Это легко понять, если учесть, что и реальные, и виртуальные состояния в сверхсильном магнитном поле являются сильно локализованными в поперечном к магнитному полю направлении и ограничены площадью окружности πr^2 , где для r справедливо выражение (1). Однако АММ пропорционален произведению виртуального тока на указанную площадь круга, которая в свою очередь пропорциональна $\sim 1/H$, т.е. величина АММ стремится к нулю при увеличении поля. Поэтому в расчетах аномальный магнитный момент должен приниматься в виде, умноженном на соответствующий коэффициент подавления.

Последнее правило справедливо и для нормального (дираковского) магнитного момента, который также должен учитываться с дополнительным коэффициентом

подавления, если электрон (позитрон) находится в области сверхсильного внутреннего магнитного поля нуклона, что приводит к резкому уменьшению воздействия внешнего поля и падению эффективного значения магнитного момента.

В силу вышесказанного, магнитный момент протона определяется суммой орбитальных магнитных моментов электронов и позитронов (см. рис.4), вращающихся по окружности радиуса r в силовом магнитном узле, и магнитными моментами (дираковским и аномальным) неспаренного позитрона:

$$\mu_p = \xi \sum_{i=1}^N \mu_{e_{\pm}}^{L_i} + k_1 \cdot \mu_{e^+} + k_2 \cdot \mu_{e^+}^{an}, \quad (10)$$

где $N = 9$; $\xi = +1$ — знак проекции спина неспаренного позитрона на направление вектора магнитного поля; $\mu_{e_{\pm}}^{L_i}$ — орбитальный магнитный момент i -го электрона или позитрона; μ_{e^+} , $\mu_{e^+}^{an}$, k_1 и k_2 — дираковский и аномальный магнитные моменты неспаренного позитрона и соответствующие им коэффициенты подавления, принимающие очень малые значения ввиду его “вмороженности” в экстремально сильное внутреннее магнитное поле нуклона.

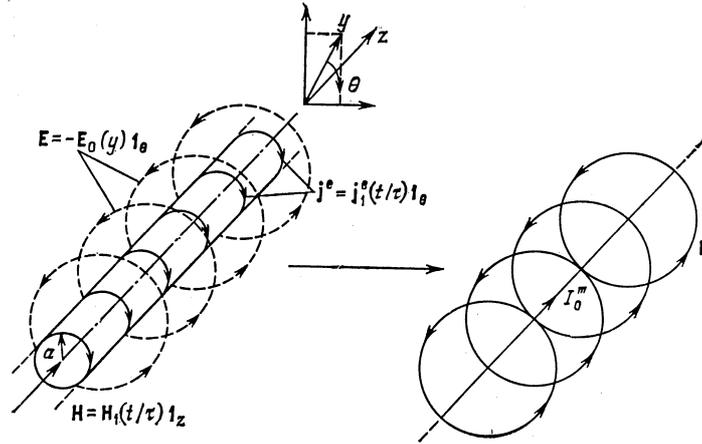


Рис. 4. Схематическое представление идеи электромагнитной составленности нуклонов в виде идеального селеноида, по которому текут кольцевые чисто поперечные токи. Это простейший пример очистки внешней области от магнитного поля \bar{H} , снаружи при $r > a$ остается только одно электрическое поле $E_\theta = -(a^2/4c\tau) \cdot H_1$ (подробно см. [31]).

Далее учтем, что аномальный магнитный момент вычисляется в рамках квантовой электродинамики (впервые это сделал Швингер, детали можно найти, например, в работе [35]), с точностью до членов порядка α включительно он равен в магнетонах Бора $\mu_{e^+}^{an} = \alpha/2\pi$. Для конкретных оценок примем $k_1 = m/m_p$ и $k_2 = 0,033$, где m_p — масса протона, а $r = 3,8 \cdot 10^{-15}$ см. Теперь помня, что в экстремально сильном магнитном поле движение носит ультрарелятивистский характер ($v \simeq c$), то в соответствии с формулой (3) имеем в среднем для магнитного момента одного витка тока $\mu \simeq 0,19\mu_{яд}$. В результате для магнитного момента протона получаем $\mu_p = 0,19 \cdot 9\mu_{яд} + k_1 \cdot \mu_{e^+} + k_2 \cdot \mu_{e^+}^{an} = 2,8\mu_{яд}$.

Спин протона определяется только спином неспаренного позитрона, т.к. вклад от электромагнитного комплекса протона равен нулю из-за взаимной компенсации спинов электронов и позитронов, ибо они в силовом узле сориентированы в противоположных направлениях. Следует также особо отметить, что такая электромагнитная структура протона сверхстабильна³, и она, возможно, обеспечивает его время жизни $\tau_p > 10^{33}$ лет.

Итак, в рамках модели экстремально сильного магнитного поля с электрон-позитронным комплексом $5e^+4e^-$ удастся определить все квантовые числа протона, а именно: а) заряд $+e$; б) спин $1/2$; в) масса ~ 945 МэВ (в первом приближении как утроенная масса кварка из (8)); г) магнитный момент $\sim 2,8 \mu_{яд}$ без привлечения цветовых сил и объектов.

Обратимся теперь к построению модели нейтрона. В связи с этим вспомним, как предлагал еще Резерфорд рассматривать его в виде электронейтрального протон-электронного комплекса pe^- , что в нашей модели эквивалентно $5e^+5e^-$. Однако такое представление не является убедительным, так как не удастся воспроизвести спин нейтрона (равный $1/2$), а кроме того, в этом случае нейтрон не мог бы образоваться в период до начала эры нуклеосинтеза ранней Вселенной из-за невозможности электрону войти в область экстремально сильного поля силового узла протона (постулаты Бора, сохранение лептонного числа и т.п.). Поэтому естественно возникает вопрос о механизме происхождения нейтрона (не в рамках КХД).

В период ранней Вселенной могли возникать в больших количествах (из-за наличия антинейтрино и электронов) бесспиновые комплексы, состоящие из электрона и антинейтрино $e^-\bar{\nu}_e$ (суммарные лептонный заряд и спин равны нулю). Так, если нейтрино обладает малым магнитным моментом (который должен при этом быть не более чем $\sim 10^{-9}$ от магнитного момента электрона), то, начиная с расстояний между электроном и нейтрино $r \sim 10^{-15}$ см, действующий потенциал (эффекты действующих электромагнитных потенциалов для нуклеосинтеза подробно рассмотрены в [28]) взаимодействия магнитных моментов пропорциональный $\sim r^{-3}$ будет превышать энергию нейтрино $E_\nu \sim 3$ МэВ. То есть в начале ранней Вселенной должны были бы образовываться стабильные $e^-\bar{\nu}_e$ -комплексы со спином ноль ($e^-\bar{\nu}_e$ -“котел”) и обладающие электромагнитным взаимодействием, потому что они имеют электрический заряд и магнитный момент электрона.

Теперь видно, что нейтроны в виде комплексов $pe^-\bar{\nu}_e$ могут быть образованы в период ранней Вселенной до эры нуклеосинтеза, из-за существования двух электромагнитных действующих потенциалов $V^m \sim r^{-3}$ и $V^c \sim r^{-1}$, возникающих соответственно от взаимодействия магнитных моментов протона и $e^-\bar{\nu}_e$ -комплекса и от их же кулоновского взаимодействия. В этот период жизни Вселенной было $\sim 10^9 \bar{\nu}_e$ на один электрон, т.е. такая электромагнитная составленность нейтрона обеспечена наличием необходимого количества электронов и антинейтрино в

³Например, уменьшение магнитного поля силового узла порождает круговое вихревое электрическое поле, ускоряющее электроны, что увеличивает магнитное поле и восстанавливает его изначальное значение.

ранней горячей Вселенной. Заметим, однако, что механизм рождения электронов и позитронов, а также нейтрино и антинейтрино до начала эры нуклеосинтеза все еще ждет своего решения [29].

Итак, в рамках предлагаемой нами модели нейтрон рассматривается в виде электронейтрального комплекса $5e^+5e^-\bar{\nu}_e$. Так как магнитные моменты и спины электронов и позитронов взаимнокомпенсированы в экстремально сильном магнитном поле силового узла нейтрона, то его магнитный момент определяется только суммой орбитальных магнитных моментов по предложенной выше формуле (10), в которой $N = 10$, $\xi = -1$ есть знак проекции спина $\bar{\nu}_e$ на направление вектора магнитного поля (для этого достаточно предположить наличие у $\bar{\nu}_e$ очень малого, но отрицательного по знаку магнитного момента), а $k_1 = k_2 = 0$, так как в данном случае неспаренного позитрона нет, а абсолютное значение магнитного момента $\bar{\nu}_e$ пренебрежимо мало. В результате для магнитного момента нейтрона имеем $\mu_n = -1 \cdot 10 \cdot 0,19 \mu_{яд} = -1,9 \mu_{яд}$. Спин нейтрона равен требуемому значению $1/2$ за счет присутствия в комплексе $\bar{\nu}_e$.

Что касается массы нейтрона, то она будет определяться главным образом массой электрон-позитронного комплекса $5e^+4e^-$ (т.е. массой протона) плюс массы дополнительного пятого электрона m и антинейтрино $m_{\bar{\nu}_e} \simeq 0$ и небольшая добавка от их запасенной энергии.

Заключение

В заключение работы отметим, что идея чисто электромагнитной составленности мюонов и нуклонов навеяна суперсилой современной КХД [30], токовой электродинамикой Е.Миллера [31] и книгой С.Д.Дрелла и Ф.Захариязена “Электромагнитная структура нуклонов” [32], а также фактом бесконечности электромагнитной энергии в нашей Вселенной [2]. В работе намечены общие рамки направления единой составленности мюонов и нуклонов на базе концепции магнитного силового узла с ультраквантовым полем и суперлокализованного в нем электрон-позитронного комплекса me^-ne^+ (m, n — целые числа). В рамках такой электромагнитной картины решается проблема конфайнмента и, естественно, получаются квантовые числа мюонов и нуклонов (заряд, масса, спин, магнитный момент) без привлечения цветных или каких-либо иных экзотических сил, кроме электромагнитных.

Авторам кажется, что отождествление электронов и позитронов с преонами на уровне масштаба 10^{-20} см это — действительно естественная и реалистическая преонная модель строения вещества, о которой так страстно мечтает Л.Б.Окунь в его широко известной книге “Физика элементарных частиц” (стр. 138) [33]. Что касается проблем спектроскопии, то они требуют отдельного специального рассмотрения, выходящего за рамки данной публикации, в которой излагаются только общие принципы предлагаемой модели (мы предполагаем сделать это в другой работе).

Список литературы

- [1] Остроградский М.В. Рапорт в Императорскую Академию Наук” (1832) (см. Модзалевский Л.Б. Материалы для биографии Н.И.Лобачевского. М.-Л.: изд. АН СССР, 1948).
- [2] Зельдович Я.Б. Проблемы физического вакуума. // УФН, 1981, т.133, вып. 3, с.479.
- [3] Фаддеев Л.Д. // Письма в ЖЭТФ, 1975, т. 21, вып. 2, с.141-144.
- [4] Мещанин А.П. и Ногац Л.В. К магнитной модели нейтрино. // ОНТИ ИФВЭ, Протвино (рукопись).
- [5] Тернов И.М., Дорофеев О.Е. // ЭЧАЯ, 1994, т.25, вып.1, с.6.
- [6] Schwinger J. A magnetic Model of Matter. // Science 165, 1969, 3895, p.757 (есть перевод на русский язык: // УФН, 1971, т. 103, вып. 2, с. 355).
- [7] Покотиловский Ю.Н. // ЭЧАЯ, 1993, т.24, с.5-80.
- [8] Ярошенко. // УФН, 1997, т.167, 2, с.237.
- [9] Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М. Теория поля. // Курс теоретической физики. Т.2. — М.: Физ.-мат.-издат., 1973.
- [10] Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. — Москва: гл. ред. физ.-мат. лит., 1981.
- [11] Мейерович Б.Э. // УФН. 1986, т. 149, вып. 2, с.221.
- [12] “Review of particle properties”. // Phys. Rev. D., 1994, 50, Part 1, 3.
- [13] Bernstein J. et al. // Phys. Rev. 1963, 132, p. 1227-1233.
- [14] Hurr H.S. et al. // Phys. Rev. Lett. 1969, 22, p. 1263-1265.
- [15] Ахиезер А.И., Рыкало М.П. Электродинамика адронов. — Киев: “Наукова думка”, 1977, с. 15.
- [16] Барц Х.Я. и др. // ЭЧАЯ, 1988, т. 18, вып. 6, с.1274.
- [17] Weise W. // Nucl. Phys., 1993, A558, p. 219c-234c.
- [18] Мостовой Ю.А. и др. // УФН, 1966, т. 166, вып. 9, с.1014.
- [19] Гареев Ф.А. и др. // ЭЧАЯ, 1996, т. 27, вып. 1, с.97.
- [20] Симонов Ю.А. // УФН, 1996, т. 166, вып. 4, с.360.
- [21] Боголюбский М.Ю. и др. // ЯФ, 1987, т. 45, с.1667.
- [22] Тяпкин А.А. // ЯФ, 1977, т. 26, с.1271–1276.
- [23] Шляпников П.Ф. // УФН, 1992, т. 162, вып. 1, с.12.

- [24] Семенов А.В. // УФН, 1997, т. 167, вып. 7, с.775.
- [25] Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Релятивистская квантовая теория. Часть 1. — М.: Наука, 1968.
- [26] Бойко В.Г., Енковский Л.Л., Сысоев В.М. // ЭЧАЯ, 1991, т. 22, вып. 8, с.675.
- [27] Мурзин В.С., Сарычева Л.И. Физика адронных процессов. — М.: Энергоатомиздат, 1986, с.49.
- [28] Пупышев В.В., Соловцова О.П. // ЭЧАЯ, 1966, т. 27, вып. 4, с.860.
- [29] Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. // УФН, 1981, т. 135, вып. 1, с.45.
- [30] Дэвис П. Суперсила. — М.: Мир, 1989.
- [31] Миллер М.А. // УФН, 1984, т. 142, вып. 1, с.149.
- [32] Дрелл С.Д. и Захариазен Ф. Электромагнитная структура нуклонов. — М.: ИЛ, 1962.
- [33] Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. — Москва: гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
- [34] Исаев П.С. Квантовая электродинамика в области высоких энергий. — М.: Энергоатомиздат, 1984.
- [35] Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Релятивистская квантовая теория. Часть 2. — М.: Наука, 1971.

Рукопись поступила 17 июня 1997 г.

М.Ю.Боголюбский, А.П.Мещанин.

К единой электромагнитной составленности мюона, протона и нейтрона (Часть первая. Электрон-позитронная концепция).

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 18.06.97. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.

Печ.л. 3,6. Уч.-изд.л. 2,78. Тираж 200. Заказ 1047. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

