

ФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

Перспективы физики частиц: август 1981 года¹

Л.Б. Окунь

От редакции. Впервые публикуется перевод на русский язык доклада "Particle physics prospects: August 1981" Л.Б. Окуня на 10-м международном симпозиуме по взаимодействию лептонов и фотонов при высоких энергиях (24–29 августа 1981 г., Бонн).

PACS numbers: 01.10.Fv, 12.15.-y, 12.60.-i, 14.80.-j

DOI: 10.3367/UFNr.0182.201210b.1026

Содержание

1. Что является проблемой № 1? (1026).
2. Один элементарный скаляр (1027).
3. Несколько элементарных скаляров (1027).
4. Техни цвет (1028).
5. Компенсации и суперчастицы (1028).
6. Суперсимметрия и Объединение (1029).
7. Поиск скаляров (1029).
8. Литература (1030).
9. Обсуждение (1030).

Список литературы (1031).

Вместо представления общего обзора перспектив я решил выбрать и обсудить в деталях лишь одну проблему, которая может считаться проблемой № 1 в физике частиц. Для того чтобы иметь первый номер, эта проблема должна быть теоретически перспективной и срочной, а кроме того, проверяемой экспериментально.

1. Что является проблемой № 1?

Имеется несколько претендентов на это название.

Конечно, проблема конфайнмента является фундаментальной. Необходимо понять структуру вакуума квантовой хромодинамики (КХД) с его конденсатами кварков и глюонов. Однако, по-видимому, пик КХД, несмотря на большое количество нерешённых важных задач, уже пройден: её лагранжиан известен.

Если в ближайшем будущем в ЦЕРНе не будут найдены электрослабые калибровочные бозоны, то это станет проблемой № 1. Но я надеюсь, что такие бозоны будут обнаружены и они будут обладать теоретически предсказанными массами.

Л.Б. Окунь. Государственный научный центр Российской Федерации "Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова", ул. Б. Черёмушкинская 25, 117218 Москва, Российская Федерация E-mail: okun@itep.ru

Перевод статьи на русский язык поступил 4 сентября 2012 г.

Теории Великого объединения очень интересны, но пока они почти не связаны с той физикой частиц, которой мы занимаемся каждый день. Время жизни протона может быть так велико, что обнаружить его распад экспериментально не удастся, а достоверной оценки количества магнитных монополей на Земле, Луне, других планетах и в космических лучах не существует.

Включающее в себя гравитацию суперобъединение восхитительно, но мы пока даже не мечтаем об экспериментах на ускорителе с планковской энергией. Ситуация резко изменится, если будут найдены очень тяжёлые магнитные монополи. Их аннигиляция подведёт нас к экспериментам на планковских энергиях. Но пока супергравитация не похожа на проблему № 1 экспериментальной физики.

Известно, что многие физики главной считают проблему так называемых преонов (имеющих и другие наименования), из которых состоят кварки и лептоны. Когда преоны будут открыты (если такое открытие состоится), это станет важным шагом в понимании природы материи. Однако концепция преонов представляется недостаточно разработанной.

Мне кажется, что проблема № 1 физики высоких энергий — это скалярные частицы. Поиск таких частиц исключительно важен ввиду их значительной роли в нарушении симметрии. Весь мир состоит из двух взаимодополняющих, как инь и ян, частей, введённых в квантовую физику Нильсом Бором по другому поводу (рис. 1).

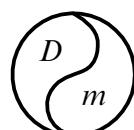


Рис. 1.

Здесь ян представляет принципы локальной симметрии, символизируемые знаком ковариантной производ-

¹ Перевёл на русский язык М.И. Высоцкий.

ной D . Он описывает кинетические члены лагранжиана и взаимодействия с калибровочными полями, включая их самодействие. Не менее важен инь, описывающий нарушение симметрии и наделяющий массами m различные частицы, включая калибровочные бозоны.

Представляется, что путь к пониманию нарушения симметрии необходимо должен проходить через страну скаляров — скалярландию. Скаляры делают теорию перенормируемой, уменьшая возрастание сечений и, следовательно, расходимость петель. Они дают массы всем частицам.

Они нарушают CP -чётность и даже, может быть, P -чётность. Имеются теоретические модели без фундаментальных скаляров. Однако в таких моделях неизбежно появляются сильно связанные состояния с нулевым спином.

В данный момент скалярландия существует только в мыслях теоретиков, описывающих её разными далёкими от самосогласованности способами. Цель этого доклада — поторопить экспериментаторов и ускорительщиков объединить усилия и открыть эту страну, лежащую в области энергий, меньших и ненамного больших, чем 1 ТэВ.

2. Один элементарный скаляр

Как известно, простейший способ нарушить электрослабую симметрию — это ввести дублет скалярных "тахионов" с мнимой массой. Калибровочные взаимодействия этих скаляров дают массы и продольные компоненты W - и Z -бозонам. Юковские взаимодействия наделяют массами кварки и лептоны и приводят к слабым углам смешивания. Оставшаяся скалярная частица H^0 является нейтральной и имеет вещественную массу m_H . Эта "тахионная" модель описывается хорошо известным потенциалом $V(\varphi) = \lambda(|\varphi|^2 - \eta^2/2)^2$, где λ — безразмерная константа самодействия, $\eta/\sqrt{2}$ — вакуумное среднее поля φ :

$$\eta = [\sqrt{2G}]^{-1/2} \approx 250 \text{ ГэВ}, \quad m_H = \sqrt{2\lambda}\eta.$$

Хотя число теоретических работ, посвящённых этому механизму, достигает нескольких тысяч, в модели Хиггса до сих пор остаются нерешённые проблемы.

1. *Проблема масштаба.* Непонятно, почему $\eta \approx 1/4$ ТэВ. В перенормируемых теориях, каковыми являются стандартная электрослабая модель и КХД, естественная величина η равна массе Планка. Поэтому проблема масштаба может быть сформулирована в виде вопроса: почему постоянная Ферми G_F отличается от постоянной Ньютона G_N ? Возможные ответы на этот вопрос ведут к очень интересным физическим предсказаниям.

2. *Проблема самодействия.* Мы не знаем значения λ , и нет физического или математического принципа, позволяющего предсказать его. Величина λ определяет массу H^0 . Если H^0 гораздо тяжелее W , то λ велико и на энергиях, превышающих η , нас ждёт новое сильное взаимодействие, которое проявит себя в сильном рассеянии W -бозонов. В случае лёгкого хиггса WW -рассеяние подавляется за счёт обмена хиггсовским бозоном. В случае очень тяжёлого хиггса это рассеяние возрастает и становится сильным при $\sqrt{s} \gg 2m_W$.

С другой стороны, проявления тяжёлого хиггса в низкоэнергетических процессах пренебрежимо малы: порядка $\alpha \ln(m_H/m_W)$ с малым численным сомножителем.

3. *Проблема юковских констант связи.* Вызовом теоретикам является большое количество произвольных юковских констант связи. Проблема особенно усложняется, если нейтрино имеют электронвольтные массы. Высказывались предложения объяснить малость масс некоторых夸克ов и лептонов с помощью механизма радиационных поправок. Согласно этой идеи, юковские константы некоторых лёгких частиц равняются нулю и их массы выводятся из масс тяжёлых частиц с помощью радиационных поправок. Например, нумерологически: $m_e \sim \alpha m_\mu$, $m_u \sim \alpha^2 m_t$.

Небольшая примесь очень тяжёлых нейтральных фермионов может объяснить малые, но конечные массы нейтрино.

Особенно важно объяснение масс лептонов и夸克ов с точки зрения так называемого антропного принципа. Наиболее "антропны" массы легчайших лептонов и夸克ов: e , ν , u , d . Достаточно упомянуть, что масса нейтрино может определять формирование галактик и судьбу Вселенной, а при $m_p + m_e - m_n > 0$ водород нестабилен. Выполнение последнего неравенства критическим образом зависит от соотношения масс u - и d -夸克ов.

Нарушающий симметрию на древесном уровне "тахионный" механизм представляется слишком надуманным. Гораздо более привлекательна идея о том, что нарушающий симметрию потенциал имеет вид $\varphi^4 \ln \varphi$ и он обусловлен петлями векторных, спинорных и скалярных частиц (рис. 2).

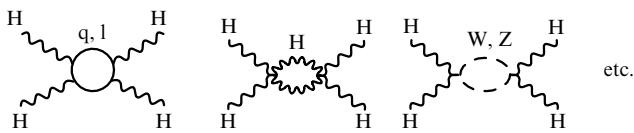


Рис. 2.

Этот петлевой механизм приводит к нижнему пределу для m_H (порядка 7 ГэВ). В теории с более лёгким бозоном Хиггса вакуум нестабилен.

Стабильность вакуума в рамках однопетлевого приближения приводит к верхним пределам масс夸克ов и лептонов ~ 70 ГэВ и ~ 100 ГэВ соответственно. Эти ограничения могут нарушаться в неминимальных хиггсовских моделях.

3. Несколько элементарных скаляров

Простейшим расширением модели с одним хиггсовским дублетом является модель с несколькими хиггсовскими дублетами. Её главное достоинство, с экспериментальной точки зрения, — это существование заряженных скалярных частиц H^\pm , легко обнаруживаемых при прохождении порога их рождения (например, в реакции $e^+e^- \rightarrow H^+H^-$). С теоретической точки зрения, модель не решает ни одной из вышеупомянутых проблем, но добавляет новые. В этой модели должны быть предприняты специальные усилия для избавления от меняющих аромат нейтральных токов (flavor changing neutral cur-

rents — FCNC), которые приводят к слишком сильным $K \rightarrow \bar{K}$ -переходам, а также к распадам наподобие $K^0 \rightarrow \mu^+ e^-$ или $\mu \rightarrow e\gamma$.

Модель с тремя дублетами хиггсов допускает спонтанное CP -нарушение. Такой механизм требует лёгких H^\pm -бозонов со значениями масс, не превышающими энергетического диапазона ускорителей PETRA² и PEP³. Предсказывается также большой электрический дипольный момент нейтрона $d_n \sim 10^{-25}e$ см (экспериментальный верхний предел $6 \times 10^{-25}e$ см) и сильное (около 6 %) отклонение от предсказанных сверхслабой моделью амплитуд распадов $K_L \rightarrow 2\pi^0$ и $\pi^+\pi^-$ (экспериментальное отклонение $3 \pm 4\%$).

Здесь следует отметить, что в рамках минимальной модели с одним дублетом хиггсов CP может нарушаться только явно — посредством комплексных юкавских констант связи в массовой матрице кварков, переходящих в матрицу слабых заряженных токов. Такое явное CP -нарушение обусловливает неизмеримо малый дипольный момент нейтрона (порядка $10^{-33}e$ см) и

$$\frac{|\eta_{+-} - \eta_{00}|}{|\eta_{+-}|} \sim 1\%.$$

В теории Большого взрыва спонтанное CP -нарушение предсказывает доменную структуру вакуума: домены с $\text{Im} \langle \varphi \rangle = +\eta$ и $\text{Im} \langle \varphi \rangle = -\eta$. Такой, подобный шахматной доске, вакуум кажется исключённым изотропией реликтового излучения. Все эти нежелательные явления могут быть устранены сочетанием спонтанного и явного "мягкого" CP -нарушения. Однако, на мой взгляд, ничего привлекательного в таком сочетании нет. Что касается существования нескольких скалярных дублетов, то причиной этому может служить суперсимметрия, которая будет обсуждаться ниже.

4. Техни цвет

Динамическое нарушение симметрии, известное под названием техни цвет (TC), было изобретено для решения проблемы масштабов. Предполагается, что элементарных скаляров не существует и фермиевская шкала возникает из планковской посредством нового калибровочного взаимодействия. А именно, предполагается, что массы W - и Z -бозонов генерируются специальным набором частиц: техникварками и техниглюонами, взаимодействие между которыми имеет радиус конфайнмента $\sim 10^{-16} - 10^{-17}$ см. Техникварки образуют техниадроны с массами $\gtrsim 1$ ТэВ. Однако нарушение киральной симметрии в TC-секторе порождает безмассовые голдстоуновские бозоны (GB) и лёгкие псевдоголдстоуновские бозоны (PGB). Голдстоуны поглощаются W - и Z -бозонами и служат их третьими компонентами; псевдоголдстоуны должны наблюдаться как относительно лёгкие бесспиновые бозоны. Таким образом, бесспиновые бозоны появляются опять, но уже как составные и псевдоскалярные частицы (элементарный бозон Хиггса — скаляр). В реалистических TC-моделях ожидаемое число псевдоголдстоунов очень велико из-за большого числа техникварков. Рассмотрим в качестве примера простую модель одной семьи, содержащей

восемь технифермионов: U, D, E, N , где U и D — цветные триплеты, а E и N — цветные синглеты. С калибровочной группой $SU(N)_{\text{TC}}$ эта модель обладает глобальной $SU(8)_L \times SU(8)_R$ -симметрией. TC-конфайнмент нарушает эту симметрию, порождая 60 псевдоскалярных PGB:

- 4 цветных октета с массами $M \sim 240$ ГэВ;
- 4 цветных триплета + 4 антитриплета с $M \sim 160$ ГэВ;
- 4 бесцветных синглета с $M \sim$ несколько ГэВ.

Два из четырёх последних заряжены: P^+ и P^- , а два нейтральны: P^0 и P^3 . Заряженные должны наблюдаться на PETRA и PEP: $e^+e^- \rightarrow P^+P^-$.

Вполне вероятно, что в реалистичной TC-теории число PGB гораздо больше из-за большего числа техникварков. Ожидаемое размножение техникварков имеет следующую причину: в TC-моделях нет произвольных юкавских констант связи. Любая неуниверсальность масс кварков и лептонов и их углов смешивания (а там нет и следов универсальности) имеет одну из двух причин. Это либо разница в мультиплетах расширенного техни цвета (ETC), содержащих как наши фермионы, так и технифермионы, либо радиационные поправки. Возникающая структура должна быть достаточно сложной.

Локальная ETC-симметрия включает в себя, кроме глюонов и техниглюонов, калибровочные бозоны, переводящие фермионы в технифермионы. Эти калибровочные ETC-бозоны с массами порядка 100 ТэВ участвуют в механизме, наделяющем массами наши фермионы. Локальная ETC-симметрия также имеет калибровочные бозоны, переводящие фермионы одного поколения в фермионы другого поколения, например, d в s или μ в e . Обмены ETC-бозонами описанных видов вызывают меняющие аромат нейтральные токи (FCNC), что приводит TC-модель к опасному противоречию с экспериментом. Я никогда не видел адекватной TC-модели, дающей реалистические массы фермионов и слабые углы смешивания и естественным образом объясняющей отсутствие или малость FCNC. Для того чтобы TC-модель стала более или менее реалистичной, может понадобиться такое большое число лёгких технифермионов, что конфайнмент в TC-секторе исчезнет: экранирование преодолеет антиэкранирование.

Тем не менее некоторые TC-идеи могут оказаться правильными и плодотворными.

5. Компенсации и суперчастицы

Можно попытаться решить проблему масштабов в теории с элементарными скалярами. Однако тогда появляется очень много новых частиц с массами менее 1 ТэВ и очень необычными комбинациями квантовых чисел. Идея такого, основанного на фермион-бозонной симметрии, подхода многообещающа.

Рассмотрим квадратично расходящиеся петли (рис. 3). Волнистые линии на рисунке отвечают частицам со спином нуль, сплошные — со спином 1/2, штриховые — со спином 1. Это и есть квадратично расходящиеся

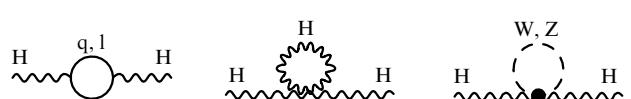


Рис. 3.

² Positron-Electron Tandem Ring. (Примеч. ред.)

³ Positron Electron Project. (Примеч. ред.)

диаграммы, которые "сдвигают" электрослабую теорию в область планковских масс.

Размерная регуляризация позволяет обойти расходимости, но она не решает проблемы масштабов. В некоторых аспектах иерархия масштабов напоминает существовавшую в 1960-х годах проблему малой разницы масс нейтральных каонов, которая была решена благодаря открытию чармония.

Чтобы решить проблему масштабов, необходимо компенсировать квадратичные расходимости. Возможность такой компенсации возникает благодаря тому, что знак первой петли отрицателен, а знаки двух других положительны. (Отрицательный знак связан с отрицательным морем Дирака.) Конечно, компенсация может иметь случайный характер, однако такая случайная компенсация с точностью 10^{-34} (в квадратах массы бозона Хиггса) представляется очень странной. Гораздо естественнее считать, что компенсация связана с наличием у каждой частицы суперпартнёра (или суперпартнёров) с определяемыми суперсимметрией константами связи. Присвоим названия этим партнёрам, используя суффикс "ино":

голдстоун (0)	— голдстин (1/2),
хиггс (0)	— хиггин (1/2),
лептон (1/2)	— лептин (0),
кварк (1/2)	— кваркин (0),
фотон (1)	— фотин (1/2),
глюон (1)	— глюин (1/2),
W (1)	— вин (1/2),
Z (1)	— зин (1/2).

Терминология здесь ещё не установилась. Например, иногда используют термин "нуино" для различных нейтральных нейтриноподобных спинорных частиц. В соответствии с нашими обозначениями, нуино, мюино и электрино относятся к бесспиновым партнёрам нейтрино, мюона и электрона соответственно.

Для того чтобы масса бозона Хиггса была не более 1 ТэВ, "ины" в петлях должны иметь массу, меньшую, чем 1 ТэВ. Таким образом, если низкоэнергетическая суперсимметрия "стоит на страже" низкой шкалы Ферми, то суперзоопарк новых экзотических созданий ожидает нас где-то поблизости.

Сейчас нельзя исключить, что некоторые из этих суперчастиц очень легки. Например, масса глюино может быть немногим более 5 ГэВ. Не исключено, что нижние кваркин могут быть обнаружены на PETRA и PEP. Цветные глюино и кваркин в комбинациях с обычными глюонами и кварками образуют бесцветные суперадроны. Время жизни этих частиц определяется нарушением суперсимметрии. В некоторых моделях суперчастицы рождаются парами и легчайшая из них стабильна.

Удовлетворительный теоретический механизм нарушения суперсимметрии до сих пор не найден. При спонтанном нарушении появляется безмассовое голдстин и в древесном приближении кваркин и лептин недопустимо легки (половина из них легче кварков и лептонов).

Можно нарушить суперсимметрию явным "мягким" способом, "вручную" вводя в лагранжиан массовые члены младших партнёров по супермультиплету: спиноров из калибровочных мультиплетов (1, 1/2) и скаляров из киральных мультиплетов (1/2, 0). К сожалению, эта процедура допускает слишком много произвола, и

величина постоянной Ферми G_F остаётся необъяснённой.

6. Суперсимметрия и Объединение

Суперсимметрия на фермиевском масштабе изменяет стандартные оценки времени жизни протона. Глюино уменьшают антиэкранирование цветного заряда, увеличивая массу Великого объединения и приближая её к массе Планка. С другой стороны, хиггин дают вклад в экранирование электрического заряда, уменьшая массу Великого объединения. С двумя мультиплетами хиггин $\sin^2 \theta_W \sim 0,23$ и ожидаемая величина M_{GU} порядка 10^{17} ГэВ, что приводит к ненаблюдаемому большому времени жизни протона ($\sim 10^{37}$ лет). С четырьмя мультиплетами хиггин $m_{GU} \sim 10^{15}$ ГэВ, $\tau_p \sim 10^{31}$ лет, но $\sin^2 \theta_W \sim 0,25$, что тоже слишком велико.

Интересно, что, подавляя обычный механизм распада протона, модели с ранней суперсимметрией содержат в себе другой механизм, который без специальных предосторожностей может привести к мгновенному распаду протона. В этом отношении опасны нижние антикваркино. Эти частицы могут быть связаны с дикварковым каналом (ud). Если, кроме того, они связаны с антикварк-антителтонным каналом ($\bar{u}e^+$), то это вызовет очень быстрый распад протона, если соответствующие константы связи не очень малы. Это рассмотрение делает ещё более интересными эксперименты по поиску распада протона.

Вышеупомянутое возрастание массы объединения и её приближение к массе Планка может рассматриваться как указание на то, что суперобъединение охватывает не только электрослабые и сильные взаимодействия, но и гравитацию.

С другой стороны, обсуждавшаяся выше суперсимметрия — это простейшая ($N = 1$)-суперсимметрия. В настоящее время неясно, как вложить ($N = 1$)-модель в теории с большим N , среди которых особенно симметричны и красивы ($N = 4$)- и ($N = 8$)-теории. Хорошо известно, что первая из них, возможно, является конформной. Вторая — это максимально расширенная теория супергравитации, рассматриваемая как основа суперобъединения.

Обсуждая перспективы суперсимметрии, нельзя не упомянуть знаменитую проблему космологического члена: почему плотность энергии вакуума равна нулю? Другое направление мысли — это дополнительные (компактные) пространственные размерности; они естественны в расширенной супергравитации. Но вернёмся к скалярам.

7. Поиск скаляров

Я намеренно воздерживаюсь от обсуждения скаляров в теориях Великого объединения. Эти скаляры связаны с такими завораживающими объектами, как магнитные монополи. Распады скаляров Великого объединения могут являться причиной барионной асимметрии Вселенной. Даже сакральная масса Планка может быть всего лишь вторичным проявлением их конденсатов.

Всё это грандиозно и сверхграндиозно, но действительно великими являются обычные лёгкие скаляры. Особенно привлекательным представляется то, что, наряду со скалярами единых теорий, должна существовать

вать богатая новыми явлениями область скаляров с массами ниже и вблизи 1 ТэВ. Обычные скаляры являются ключевым звеном, которое позволит нам найти всю цепь. Открытие скаляров — критический эксперимент для квантовой теории поля.

Скаляры — эпицентр физики частиц. Теоретическое цунами, извержение и крушение бесчисленных теорий предвещают рождение нового континента физики.

Очевидно, что наше представление о природе масс частиц лишено важной составляющей — новой идеи, нового принципа. Маловероятно, что этот принцип может быть открыт чисто теоретически без нового экспериментального прорыва.

Кропотливый поиск лёгких скаляров должен считаться высшим приоритетом для таких ускорителей, как CESR⁴, PETRA, PEP и рр-коллайдер в ЦЕРНе, и тем более для ускорителей следующего поколения, таких как LEP⁵, Тэватрон, УНК⁶ и HERA⁷. Особенно перспективен проект линейного e^+e^- -коллайдера, рассчитанного на очень высокие энергии. Будущее теоретической физики зависит от энергии и светимости этих установок.

В течение последних 50 лет физики решают проблемы, изобретая гипотетические частицы, которые в конце концов оказываются существующими и реальными. 14 лет потребовалось для открытия первой гипотетической бессpinовой частицы — пиона. Сейчас как раз прошло 14 лет, как мы живём с новым типом гипотетических бессpinовых бозонов. Так не пора ли их открыть?

8. Литература

Следующие ссылки приводятся для того, чтобы помочь читателю ориентироваться в литературе по предмету доклада, содержащей тысячи статей.

Обсуждение различных аспектов физики бозона Хиггса, а также библиографию см. в следующих работах:

M.K. Gaillard, *Comments Nucl. Part. Phys.* **8**, No. 2, 31 (1978) [2]; A.I. Вайнштейн, В.И. Захаров, М.А. Шифман, УФН **131**, 537 (1980) [3].

Недавнее обсуждение спонтанного CP -нарушения смотри в работах:

А.А. Ансельм, Н.Г. Уральцев, ЯФ **30**, 465 (1979) [4]; G. Senjanović, in *Proceedings of the XX HEP Conference, Madison, 1980* (Eds L. Durand, L.G. Pondrom), p. 524 [5].

Детальное обсуждение очень тяжёлого бозона Хиггса дано Т. Аппельквистом в лекциях на 21-й Шотландской летней школе, Сент-Эндрю, 1980 [6].

Очень ясный обзор техникума дан К.Д. Лейном и М.Е. Пескиным в "Электрослабых взаимодействиях и единых теориях", Труды 15 конференции "Встречи в Морионе" (Тран Тан Ван) 1980, т. 2, с. 469 [7] (см. также недавние работы по FCNC и PGB: S. Dimopoulos, J. Ellis, *Nucl. Phys. B* **182**, 505 (1981) [8]); J. Ellis, M.K. Gaillard, D.V. Nanopoulos, P. Sikivie, *Nucl. Phys. B* **182**, 529 (1981) [9]; A. Ali, M.A. Beg, DESY 80/98, October 1980 [10].

Роль цветных и электрослабых радиационных поправок в качестве источника масс夸克ов и глюонов

⁴ Cornell Electron Storage Ring. (Примеч. ред.)

⁵ Large Electron-Positron Collider. (Примеч. ред.)

⁶ Ускорительно-накопительный комплекс в Протвино, строительство которого было заморожено в 1990-е годы. (Примеч. ред.)

⁷ Hadron-Electron Ring Accelerator. (Примеч. ред.)

обсуждается С. Вайнбергом, *Phys. Lett.* **102 B**, 401 (1981) [11].

Обзоры по суперсимметрии:

R. Fayet, S. Ferrara, *Physics Reports* **32C**, No. 5, 249 (1977) [12]; P. van Nieuwenhuizen, *Physics Reports* **68**, No. 4, 189 (1981) [13].

Феноменология лёгких суперсимметричных частиц обсуждается в препринтах:

G. Barbiellini et al., DESY 79/67, October 1979 [14]; R. Fayet, TH 2864-CERN, May 1980 [15].

Проблема масштаба с точки зрения суперсимметрии анализируется в недавних препринтах:

S. Dimopoulos, S. Raby, Supercolor, SLAC-PUB-2719, March 1981 [16]; M. Dine, W. Fischer, M. Srednicki, "Supersymmetric technicolor", Inst. Adv. Study preprint, Princeton 1981 [17]; S. Dimopoulos, S. Raby, F. Wilczek, "Supersymmetry and the scale of unification", University of California, Santa Barbara, NSF - ITP-81-31, April 81 [18]; S. Dimopoulos, H. Georgi, "Softly broken supersymmetry and SU(5)", Harvard University preprint HUTP-81/A022, May 1981 [19]; E. Witten, "Dynamical breaking of supersymmetry", Princeton University preprint, 1981 [20]; E. Witten, "Mass hierarchies in supersymmetric theories", preprint ICTP, IC/81/106 Trieste, July 1981 [21].

О недавних экспериментальных поисках бозона Хиггса, ТС, РГВ и лептино см. доклады Дж. Бургера и А. Сильвермана на этом симпозиуме [22, 23]. Результаты поиска очень лёгких скалярных частиц, распадающихся на два фотона, были представлены на этом симпозиуме Х. Файнером [24].

9. Обсуждение

Х. Файнер, ТН Аахен: Двухфотонные события, о которых я рассказывал вчера, являются очевидными кандидатами в продукты распада не только аксионов, но и других восьми скаляров, упомянутых профессором Окунем: лептино, кваркино и лёгких техничастиц. Сравнивая количество двухфотонных и однофотонных событий, мы ясно видим, что эти частицы распадаются на два фотона (не на три или четыре и не на один фотон плюс что-то ещё). Одно это доказывает, что они не являются частицами со спином 1. Относительно их свойств мы знаем, что они проходят от 10 до 20 м экранирующего материала в экспериментах при высоких и средних энергиях, т.е. их взаимодействие слабее, чем сильное или электромагнитное взаимодействие. Определение их массы на реакторе в Юлихе (≈ 50 км отсюда), хотя и неточное, является, тем не менее, независимым от теории прямым измерением $m_{\gamma\gamma}$ и даёт $m_{\gamma\gamma} \approx m_e/2$.

Цу-Хиен Чан, Пекин: Как китаец, я глубоко благодарен введению китайской философии в Ваш доклад. Я хочу использовать эту возможность и призвать аудиторию переименовать бозон Голдстоуна в бозон Намбу — Голдстоуна, как это сделал Гелл-Ман. В связи с реакцией $e^+e^- \rightarrow H^+H^-$ я хотел бы спросить, производились ли кем-либо поиски распадов хиггсов на лептоны.

Дж. Брансон, МИТ: В докладе Бургера и моём докладе представлены отрицательные результаты поиска на детекторе JADE техниционов или H^\pm , распадающихся с испусканием нейтрино и имеющих массу от 5 до 14 ГэВ. Это относится к наиболее разумным вероятностям распадов.

Список литературы⁸

1. Okun L B, in *Proc. of the 1981 Intern. Symp. on Lepton and Photon Interactions at High Energy, 24–29 August, 1981, Bonn, Germany* (Ed. W Pfeil) (Bonn: Bonn Univ., Phys. Inst., 1981) p. 1018; <http://lss.fnal.gov/conf/C810824/p1018.pdf>
2. Gaiard M K *Comments Nucl. Part. Phys.* **8** (2) 31 (1978)
3. Вайнштейн А И, Захаров В И, Шифман М А УФН **131** 537 (1980) [Vainshtein A I, Zakharov V I, Shifman M A Sov. Phys. Usp. **23** 429 (1980)]
4. Ансельм А А, Уральцев Н Г ЯФ **30** 465 (1979) [Anselm A A, Uraltsev N G Sov. J. Nucl. Phys. **30** 240 (1979)]
5. Senjanović G *AIP Conf. Proc.* **68** 524 (1981)
6. Appelquist T, in *Proc., Gauge Theories and Experiments At High Energies, St. Andrews, 1980*, p. 385
7. Lane K D, Peskin M E, in *Electroweak Interactions and Unified Theories, Proc. of the XV Rencontre de Moriond, 1980, France Vol. 2* (Ed. J Tran Thanh Van) (Derux: Frontières Editions, 1980) p. 469
8. Dimopoulos S, Ellis J *Nucl. Phys. B* **182** 505 (1981)
9. Ellis J, Gaillard M K, Nanopoulos D V, Sikivie P *Nucl. Phys. B* **182** 529 (1981)
10. Ali A, Bégl M A B *Phys. Lett. B* **103** 376 (1981); in *Dynamical Gauge Symmetry Breaking* (Eds E Farhi, R Jackiw) (Singapore: World Scientific, 1982) p. 237; DESY 80/98, October (1980)
11. Weinberg S *Phys. Lett. B* **102** 401 (1981)
12. Fayet P, Ferrara S *Phys. Rep.* **32** 249 (1977)
13. van Nieuwenhuizen P *Phys. Rep.* **68** 189 (1981)
14. Barbieri G et al., DESY 79/67, October (1979); <http://cdsweb.cern.ch/cgi-bin/img/allpdf?197911373>
15. Fayet P, in *Unification of the Fundamental Interactions. Proc. (Ettore Majorana International Science Series: Physical Science, Vol. 7, Eds S Ferrara, J Ellis, P van Nieuwenhuizen)* (New York: Plenum Press, 1980) p. 587; CERN-TH-2864, May (1980)
16. Dimopoulos S, Raby S *Nucl. Phys. B* **192** 353 (1981); SLAC-PUB-2719, March (1981)
17. Dine M, Fischler W, Srednicki M "Supersymmetric technicolor" *Nucl. Phys. B* **189** 575 (1981); Preprint (Princeton: Inst. Adv. Study, 1981)
18. Dimopoulos S, Raby S, Wilczek F "Supersymmetry and the scale of unification" *Phys. Rev. D* **24** 1681 (1981); NSF-ITP-81-31, April (Santa Barbara: Univ. of California, 1981)
19. Dimopoulos S, Georgi H "Softly broken supersymmetry and SU(5)" *Nucl. Phys. B* **193** 150 (1981); Preprint HUTP-81/A022, May (Cambridge, MA: Harvard Univ., 1981)
20. Witten E "Dynamical breaking of supersymmetry" *Nucl. Phys. B* **188** 513 (1981); Preprint (Princeton: Princeton Univ., 1981)
21. Witten E, "Mass hierarchies in supersymmetric theories" *Phys. Lett. B* **105** 267 (1981); Preprint IC/81/106, July (Trieste: ICTP, 1981)
22. Bürger J, in *Proc. of the 1981 Intern. Symp. on Lepton and Photon Interactions at High Energy, 24–29 August, 1981, Bonn, Germany* (Ed. W Pfeil) (Bonn: Bonn Univ., Phys. Inst., 1981) p. 115; <http://lss.fnal.gov/conf/C810824/p115.pdf>
23. Silverman A, in *Proc. of the 1981 Intern. Symp. on Lepton and Photon Interactions at High Energy, 24–29 August, 1981, Bonn, Germany* (Ed. W Pfeil) (Bonn: Bonn Univ., Phys. Inst., 1981) p. 138; <http://lss.fnal.gov/conf/C810824/p138.pdf>
24. Faissner H, in *Proc. of the 1981 Intern. Symp. on Lepton and Photon Interactions at High Energy, 24–29 August, 1981, Bonn, Germany*

⁸ Список литературы, составленный в соответствии с правилами УФН, добавлен при редактировании. (Примеч. ред.)

Particle physics prospects: August 1981

L.B. Okun

Russian Federation State Scientific Center "A.I. Alikhanov Institute for Theoretical and Experimental Physics", ul. B. Cheremushkinskaya 25, 117218 Moscow, Russian Federation. E-mail: okun@itep.ru

From the Editorial Board. This is the first presentation in Russian of the author's talk given at the 10th International Symposium on the Interaction of Leptons and Photons at High Energies (24–29 August 1981, Bonn, Germany).

PACS numbers: 01.10.Fv, 12.15.–y, 12.60.–i, 14.80.–j

Bibliography — 24 references

Uspekhi Fizicheskikh Nauk **182** (10) 1026–1031 (2012)

DOI: 10.3367/UFNr.0182.201210b.1026

Russian translation was received on 4 September 2012

Physics – Uspekhi **55** (10) (2012)

Послесловие к открытию частицы, "похожей на бозон Хиггса": август 2012*

Л.Б. Окунь

PACS numbers: 01.30.Ww, 01.65.+g, 12.10.–g, 12.60.–i

DOI: 10.3367/UFNr.0182.201210c.1031

1. Мэдисон 1980 — Бонн 1981

В 1980 году я был приглашён сделать заключительный доклад в Мэдисоне (США) на XX Международной

Л.Б. Окунь. Государственный научный центр Российской Федерации "Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова", ул. Б. Черёмушкинская 25, 117218 Москва, Российская Федерация
E-mail: okun@itep.ru

Статья поступила 10 сентября 2012 г.

конференции по физике высоких энергий, но не смог принять в ней участие, так как был исключён из состава советской делегации накануне её отлёта. Расширенный текст этого доклада был опубликован в мае 1981 года в УФН [1]. В разделе доклада, названном "Скаляры", было сказано: "Экспериментальные поиски скалярных частиц являются первоочередной задачей".

* Эта заметка, написанная по предложению редколлегии журнала *Успехи физических наук*, содержит краткие пояснения к тексту моего доклада 1981 года в Бонне и к тому, как он воспринимается сегодня.