

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

539.12.01(063)

**VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ПО ПРОБЛЕМАМ ФИЗИКИ
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ: МУЛЬТИКВАРКОВЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
И КВАНТОВАЯ ХРОМОДИНАМИКА**

Первый дубненский семинар этой серии, организованный в 1969 г., был посвящен векторным мезонам и включал значительное число докладов, содержащих попытки создания теории калибровочных полей: вопросы квантования полей Янга — Миллса, их геометрической интерпретации, попытки феноменологических применений этих теорий для описания экспериментов. Это было первое крупное совещание, посвященное тогда еще не очень популярному, а ныне главному направлению теории элементарных частиц (см. УФН, 1970, т. 101, вып. 3, с. 557).

Перелом научного общественного мнения произошел в 70-х годах под давлением экспериментальных открытий и ряда важных теоретических работ. В результате получил развитие единый подход ко всем классам взаимодействий: симметрии формулируются на основе принципа локальной калибровочной инвариантности, и это полностью определяет структуру динамической теории.

Вторая половина 70-х годов прошла под подавляющим влиянием квантовой хромодинамики (КХД), реализующей применение принципа локальной калибровочной инвариантности к симметриям, описывающим кварки. Сейчас имеются серьезные экспериментальные основания для этой красивой калибровочной теории.

КХД претендует на возможность вычисления всех аспектов адронных взаимодействий из первых принципов, в том числе параметров ядерной физики и свойств ядерной материи. Однако нерешенные проблемы описания заточения (невыветания) кварков оказались настолько сложны, что эти претензии, по-видимому, еще долго будут оставаться только претензиями. Не исключено, что чисто дедуктивное развитие теории окажется не основным, а главное слово опять скажет эксперимент. В этой связи помимо изучения жестких процессов (или малых расстояний, порядка 10^{-14} см или меньше), для которых КХД претендует на количественное описание эксперимента, особое значение приобретает хромодинамика «больших» расстояний, т. е. расстояний порядка 10^{-13} см.

В свете вышесказанного становится понятным, почему основными темами обсуждения настоящего семинара наряду с общими вопросами КХД были такие проблемы, как феноменологическое описание удержания кварков, поиски кварковой экзотики, кварк-глюонная плазма, реакции с большими передачами импульса, релятивистская ядерная физика, вопросы построения современной теории ядра на основе квантовой хромодинамики.

Решению проблем пертурбативной КХД был посвящен доклад А. В. Радюшкина. Одна из таких проблем связана с выбором импульсного параметра, характеризующего величину эффективной константы взаимодействия, убывание которой с ростом передачи импульса позволяет использовать при вычислении сечений жестких процессов аппарат теории возмущений. Пока не найдено единого критерия выбора этого параметра, единственным выходом остается вычисление достаточно большого числа поправочных членов по α_s и их минимизации. В некоторых важных случаях эти поправки оказываются настолько велики, что это ставит под сомнение применимость теории возмущений.

Второй проблемой КХД является учет поправок от младших степеней передачи импульса, так называемых высших твистов. В отдельных случаях учет таких поправок удается провести и получить интересные результаты. Так, в докладе Д. В. Ширкова было показано, как учет массы тяжелых кварков в ренормированном уравнении позволяет получить инвариантный заряд, который автоматически учитывает изменения, происходящие на порогах включения тяжелых кварков. Эти эффекты существенны и приводят к уменьшению параметра Λ в подпороговой области.

В. И. Захаров изложил метод учета поправок, связанных с глюонным и кварковым конденсатом вакуума, и особенно остановился на их влиянии на свойства гипотетического глюония. Одним из таких следствий является довольно большой интервал дуальности глюония (3—4 ГэВ).

Проблема удержания кварков — одна из наиболее сложных в КХД. Один из путей ее решения — формулировки КХД в терминах калибровочно-инвариантных объектов, так называемых интегралов по петлям. Успехам в этом направлении был посвящен доклад А. А. Славнова. Им был предложен новый метод линеаризации КХД с помощью коллективных глюонных переменных. Другой способ исследования полученных уравнений состоит в переходе к дискретному решетчатому пространству и решении их с помощью ЭВМ. Результатам таких расчетов для четырехмерной абелевой модели Хиггса было посвящено сообщение Й. Рафт (ГДР). В сообщении В. Н. Первупина обращено внимание на неприменимость обычных методов квантования к уравнениям Янга — Миллса из-за наличия сингулярных решений. Выделение регулярной части и ее квантование с учетом требования стабильности и конечной энергии вакуума приводят к уравнениям для сингулярной части, решения которых имеют вид запирающего потенциала для квантов регулярной части поля. Механизм удержания цвета сказывается и на развитии адронных струй. В частности, в докладе И. М. Дремينا предлагалось экспериментально определять скорость этого развития путем измерения спектра мюонных пар в кварк-глюонных струях.

Ряд докладов был посвящен жестким процессам на ядрах. Так, в докладе Л. А. Слепченко было дано обобщение правил кваркового счета в процессах с большими p_T и учетом аномальной размерности функции распределения.

Особый интерес представляет использование ядра как анализатора кварковых состояний, в частности прибора для измерения длины формирования адронного пучка. Изучение процессов с большими p_T на ядрах по мнению авторов показало (доклад В. В. Абрамова), что длина формирования растет с импульсом, однако гораздо медленнее, чем это следовало ожидать просто из γ -фактора.

Много неожиданностей приносили и продолжают приносить спиновые явления в жестких процессах. Они до сих пор остаются камнем преткновения для многих моделей. Одна из неожиданностей — растущая с ростом p_T поляризация Λ -частиц в протон-протонных и протон-ядерных соударениях, попыткам объяснения которой был посвящен доклад Л. Пандрома (США). По сути дела она сводится к поляризации s -кварка, однако механизм возникновения этой поляризации пока остается загадкой. Другая неожиданность — спиновая зависимость в pp -рассеянии (доклад А. Криша, США). Сейчас нет даже никаких попыток ее объяснения.

Феноменологическое описание хромодинамики больших расстояний (мешки, струны, мультикварковые системы, скрытый цвет, кварк-глюонная плазма и т. д.) занимает в программах последних семинаров основное место. На настоящий семинар были представлены, в частности, доклады, посвященные проблемам и успехам феноменологических моделей с удерживающим потенциалом в описании статических свойств как обычных адронов, так и адронов с новыми ароматами и суперъядер. В докладе С. Б. Герасимова было показано, что вариационный подход в релятивистской потенциальной модели позволяет в ряде случаев заметно улучшить согласие между теоретическими расчетами и экспериментом. Для барионов с новыми ароматами на основе модели типа модели Венециано предсказывается уменьшение адронных и радиационных ширин с ростом массы кварков (доклад К. Иги, Япония). Что же касается суперъядер, то было отмечено, что наиболее вероятны ядра с Λ_c и Λ_b , однако даже их образование сильно подавлено кинематикой (доклад В. А. Царева). P -нечетным эффектом в ядрах и так называемому «цветовому усилению» их был посвящен доклад В. М. Дубовика.

Одной из главных тем семинара было обсуждение проблемы экзотических и многобарионных резонансов. Существование таких резонансов предсказывается многими моделями хромодинамики больших расстояний. Сведения о дибарионных резонансах получены из трех источников: поляризационных измерений в упругом pp -рассеянии, фоторасщепления поляризованного дейтона поляризованным пучком и лд-взаимодействий. Имеется, по крайней мере, два кандидата в pp -системе и два — в (pn) . Однако каждый из этих источников связан с проведением фазового анализа на неполном наборе экспериментальных данных и поэтому неоднозначен (доклады М. М. Макарова и Н. Хошизаки, Япония).

Существуют, однако, экспериментальные аргументы в пользу дибарионных резонансов с участием странного кварка в (Ap) - и $(A\pi)$ -системах (доклад Б. А. Шахбазяна). К сожалению, статистика не позволяет здесь провести фазовый анализ событий.

Как отмечалось в докладе де Сварта (Нидерланды), основная трудность состоит в большом числе предсказываемых резонансов и малом сечении их рождения. В этом смысле наиболее предпочтителен резонанс в системе $(\Lambda\Lambda)$, который, как ожидается, относительно стабилен.

Что же касается многокварковых состояний, то на семинаре были доложены (Ю. А. Троян) экспериментальные результаты по обнаружению пиков в системе $(\pi\Delta)$

с изоспином $5/2$ (т. е. типа $qqqq\bar{q}$), массами 1425 и 1510 МэВ и малой шириной. Выполнение этой работы стало возможным благодаря уникальному нейтронному пучку с энергией 4—5 ГэВ и малым энергетическим разбросом, полученному на дубненском синхрофазотроне путем обдирания ускоренных релятивистских ядер дейтерия.

В этих же системах существуют, по-видимому, и более тяжелые резонансы с массами 1690 и 1850 МэВ. Еще раньше необходимость в такого типа резонансах ощущалась при анализе дисперсионных правил сумм (доклад А. А. Григоряна). Есть основания думать, что некоторые из хорошо установленных сейчас резонансов (ϵ , s , δ) также являются на самом деле четырехкварковыми (доклад Н. Н. Ачасова).

Интересное объяснение аномально больших тяжелых фрагментов, обнаруженных в космических лучах и на ускорителе в Беркли, предложил С. Фредериксон (Швеция). Он считает их проявлением шестикварковых «дейтонов» в состоянии 0^- с массой 2 ГэВ, образующихся при соударении частиц с ядрами.

Теоретические аспекты мультикварковых состояний в ядрах обсуждались во многих докладах и сообщениях (В. А. Матвеев, Ю. А. Сямонов, В. Г. Неудачин, В. В. Буров, И. Т. Обуховский). В частности, примесь шестикваркового состояния в дейтоне оценивалась этими авторами от 1 до 14%.

Присутствие в ядрах многокварковых состояний должно проявляться в реакциях элементарных частиц и ядер с ядрами. Одним из таких проявлений может быть довольно большая величина электромагнитного формфактора ядер, степень спадаения которого с ростом передачи импульса определяется числом точечных составляющих (доклады В. А. Матвеева и А. И. Титова).

Другим ярким проявлением является кумулятивный эффект — рождение на ядре вторичной частицы за пределами кинематической области, допустимой при соударении с одним покоящимся нуклоном ядра. Это направление исследований традиционно нашло широкое отражение в программе семинара, что неудивительно, поскольку дубненские физики были первыми среди исследователей кумулятивного эффекта, а Дубна по-прежнему остается ведущим центром экспериментальных и теоретических исследований этого явления. Особый интерес вызвал доклад И. А. Савина о глубоко-неупругом рассеянии мюонов на углероде в кумулятивной области Бёркеновской переменной $x > 1$. Этот результат является прямым подтверждением существования кумулятивного эффекта на флуктонах типа флюктонов Блохинцева и хорошо согласуется с данными исследования предельной фрагментации ядер в релятивистских ядерных столкновениях (доклады В. В. Бузова и Л. А. Франкфурта).

На семинар были также представлены новые экспериментальные данные по рождению кумулятивных адронов в протонных и γ -пучках (В. С. Ставинский, Г. А. Лексин, К. Ш. Егиян). В общем они подтверждают и уточняют открытые ранее свойства кумулятивных сечений: ядерный скейлинг, универсальность спектра по переменной $x = (e - p \cos \theta)/m$ и др., однако имеется и ряд новых черт. Прежде всего это — специфическая A -зависимость. Для тяжелых ядер она выходит на поведение $1/A$, причем гораздо раньше для кумулятивных мезонов (при $A \approx 30$), чем для протонов ($A \approx 100$). Для легких ядер наблюдается более сильная A -зависимость, которая, по всей вероятности, связана с влиянием поверхности ядра. На существенное влияние ядра указывают также и разные величины продольного и поперечного размеров области образования кумулятивного протона (доклад Г. А. Лексина).

Весьма интересной оказывается зависимость сечения рождения на 90° , нормированного на сечение при 180° при тех же значениях x , от поперечного импульса. По всей вероятности (доклад А. В. Ефремова), это свидетельствует о разных механизмах рождения: реджевской диссоциации флюктонов в области малых p_T и жестком рассеянии — в области больших p_T .

Большое количество новых результатов по рождению кумулятивных частиц в широкой области углов на пучках релятивистских ядер в Беркли представил А. Садовал (США).

Существование в ядре многокварковых флуктуаций проявляется не только в кумулятивных процессах. В докладе М. Г. Мешерякова были представлены результаты прецизионных измерений когерентного образования быстрых пионов в процессах $d + p \rightarrow d + \pi + X$ и $d + d \rightarrow \pi + X$. Проведенное сравнение полученных спектров с моделью ядерного каскада подтвердило недостаточность этого механизма и необходимость более тяжелых, чем нуклон, объектов в ядре. По-видимому, та же самая картина лежит и в основе наблюдаемого на ISR эффекта: сечение рождения пионов с большими p_T в αp - и $\alpha\alpha$ -соударениях оказывается заметно большим, чем соответственно $4\sigma_{NN}$ и $16\sigma_{NN}$ (доклад В. Виллиса, ЦЕРН).

Кварковая структура нуклонов, КХД и многокварковые состояния в ядре заставляют по-новому взглянуть и на природу внутриядерных сил. Кварковым аспектам ядерных сил на семинаре был посвящен доклад Т. И. Копалейшвили.

Осуществление программы ускорения ядер до релятивистских скоростей позволяет думать, что при соударении таких ядер могут образовываться состояния с достаточно большим числом кварков и глюонов, которые можно рассматривать как кварк-глюонную плазму. Сейчас, по-видимому, трудно сказать, в какой степени справедлива такая

картина. По мнению одних (доклад Э. В. Шурыка), плазменная фаза уже сейчас проявляется в процессах с большими p_T в виде плато в эффективной температуре. По мнению же других, она не может проявляться вплоть до соударения тяжелых ионов с энергией ≈ 30 ГэВ/ N (доклад Х. Миеттинена, Финляндия). Поэтому основной целью исследований в этом направлении являются поиски достаточно хорошего индикатора плазменного состояния материи. В качестве таковых указываются тяжелые фэйрболы в событиях с предельно большой множественностью либо аномально большое количество тяжелых мюонных пар или прямых фотонов.

Ряд докладов на семинаре был посвящен особенностям кварковой картины фрагментации адрона на ядре (Б. З. Копелиович, Н. Н. Николаев, С. Б. Нурушев, И. Я. Часников, К. Киношита).

Таким образом, проблема кварк-глюонных степеней свободы в атомных ядрах получила в последние годы новое развитие и сейчас, несомненно, составляет главную перспективу фундаментальных исследований в области ядерной физики. Семинар позволил подвести итоги за прошедшие три года и наметить пути дальнейших исследований. Труды семинара опубликованы (Дубна, ОИЯИ 01,2-81-728).

А. М. Балдин, А. В. Ефремов, Н. П. Зотов