1983 г. Декабрь *Том 141, вып. 4*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

539.12.0(049.3)

КВАРКИ И ЯДРА

Quarks and Nuclei: Proceedings of the International School on Nuclear Physics. Erice, Italy, 21—30 April 1981/Ed. by D. Wilkinson, F.R.S.— Oxford; New York; Toronto; Sydney; Paris; Frankfurt: Pergamon Press, 1982.— (Topics in Particle and Nuclear Physics. V.8).

Предисловие к сборнику написал Д. Вилкинсон, отметивший актуальность и важность кварковых эффектов в современной ядерной физике. Им специально отмечено оригинальное направление дубненской группы теоретиков, использующих представления о флуктонах в ядерном веществе.

Лекция: Р. Далитц (R. H. Dalitz). «Кварки и легкие адроны». Автор вводит понятие о точечных кварках и их квантовых числах. Далее приводятся аргументы в пользу существования «цветных» степеней свободы кварков. Кратко обсуждаются свойства и следствия квантовой хромодинамики, такие, как перенормируемость, асимптотическая свобода, проявление киральной симметрии и SU (N)-ароматной» симметрии. Рассмотрены ситуации, когда две последние симметрии нарушаются. На примере векторной кварк-антикварковой системы подчеркивается роль релятивистских эффектов. Обсуждение свойств адронных резонансов приводит автора к важному выводу о том, что в природе реализуется не зависящее от ароматов взаимодействие между кварками.

Лекция: К. Готтфрид (K. Gottfried). Вначале дается краткое введение в нелинейные калибровочные теории типа Янга—Миллса. Затем излагается простая потенциальная модель $c\bar{c}$- и $l\bar{l}$-систем. Наконец заканчивается лекция двумя примерами рассмотрения тех же систем, но с учетом большего числа степеней свободы. В первом примере представлена $Q\bar{Q}$-спектроскопия при энергиях выше «ароматного» порога, т.е учтено влияние переходов $Q\bar{Q} \to \bar{Q}q + Q\bar{q}$, где q — легкий кварк. Во втором примере рассматриваются каскадные переходы между связанными состояниями $Q\bar{Q}$-системы.

Лекция: Г. Бейм (G. Beym) «Удержание и освобождение кварков в ядерной материи». Автор суммирует современные представления о кварковой материи и переходах из адронной в кварковую фазу. В лекции содержится также обзор элементарных моделей удержания кварков. Кратко обсуждаются различные возможности экспериментальной регистрации кварковой материи.

М. Ро (Mannque Rho) представил цикл из трех лекций, объединенных общим названием «Пионы и киральный мешок». В первой лекции автор исходит из модели адрона как мешка с внутренней частью и внешним окружением. Излагаются эвристические аргументы в пользу структуры адронов. В терминах некоторого эффективного поля вводится киральная структура окружения мешка. Во второй лекции обсуждаются эксперименты на ядрах, проведение которых смогло бы наложить ограничения на структуру вышеупомянутого эффективного поля, окружающего адрон. К числу таких экспериментов автор относит вклады от обменных пионных токов в некоторые электромагнитные и слабые переходы в ядрах. Наконец в последней лекции результаты, полученные в предыдущих лекциях, используются для построения системы уравнений (с граничными условиями), описывающих адроны из u- и d-кварков. В уравнениях учитываются возможности: а) асимптотической свободы внутри мешка; б) удержания кварков и глюонов; в) спонтанного нарушения киральной симметрии во внешней области. Эта система уравнений решена для двух частных случаев, когда киральные эффекты рассматриваются: 1) по теории возмущений, 2) в предположении сферически-симметричной формы мешка.

Лекция: Дж. Браун (G. E. Brown) «Влияние мешков, кварков и обмена бозонами на нуклон-нуклонные силы». Автор развивает две возможные реализации концепции киральной симметрии в КХД: первая, в которой фермионы являются безмас-

совыми (вигнеровская мода), и вторая, в которой фермионы приобретают массу благодаря спонтанному нарушению симметрии (голдстоуновская мода). Первая концепция используется для описания кварков в области удорожания (конфайнмента), вторая — для описания внешней области, в которой в рамках феноменологического подхода пионы и Σ-мезоны являются соответствующими степенями свободы. Анализ взаимодействия, порождаемого кварк-глюонным обменом в пертурбативной (первой) области, приводит автора к заключению о том, что в рамках примитивной формы теории возмущений КХД мало что можно сказать о нуклон-нуклонных силах. По крайней мере невозможно воспроизвести эмпирические факты, такие, как знак спин-орбитального взаимодействия и зависимость отталкивания на малых расстояниях от энергии. Далее, стартуя с модели массачусетсского мешка, автор развивает киральную модель мешка, вводя взаимодействие мешка с пионным полем таким образом, чтобы обеспечить сохранение аксиального тока. Подобный подход активно развивается и в работах ряда советских физиков. Рассмотрение непертурбативного решения рассматриваемой модели указывает на возможность построения нерелятивистской модели конституэнтных кварков. Автор подчеркивает, что возникающий в этой модели так называемый «маленький мешок» должен быть сильно деформирован.

Лекция: С. Б. Герасимов. «Эффективные взаимодействия кварков и статические свойства адронов». В этой лекции на основе простого вариационного подхода дается описание статических свойств адронов, таких, как массы, радиусы и магнитные моменты. Взаимодействие кварков вводится в рамках релятивистской потенциальной картины. Результаты этого подхода для масс и магнитных моментов большого числа адронов удивительно хорошо согласуются с экспериментальными данными. Очень хорошее согласие теории с экспериментом обнаружено также для радиационных ширин целого ряда мезонов. Расхождение результатов теории с экспериментом для среднеквадратичных радиусов адронов автор предлагает устранять введением размеров для валентных кварков.

Лекция: Ч. Вонг (Chun wa Wong) «Кварковые эффекты в ядерной физике». Автор рассматривает роль валентных кварков, «морских» кварков и валентных антикварков. Основой описания является модель МИТ-мешка и различные потенциальные модели. При оценке эффектов валентных кварков автор обнаруживает возможность коллапса кварковой материи. Коллапс является следствием специального вида корреляций спиновых, цветных и пространственных степеней свободы. Этот результат является модельно-зависящим. Модельно-зависящими оказались также в данном рассмотрении массы мультикварковых состояний. Влияние «морских» кварков осуществляется посредством учета $q\bar{q}$-флуктуаций. Оказалось, что эти флуктуации сильно сказываются на свойствах нуклона, а также на величине мезон-нуклонных констант связи. Константа πNN, найденная в данном подходе, получилась весьма близкой к экспериментальному значению, в то время как константа ρNN в несколько раз отличается от наблюдаемой величины. Роль валентных антикварков обсуждается на примере спектра системы $q^2\bar{q}^2$. Резюмируя, автор приходит к выводу о том, что изложенный полуфеноменологический подход можно рассматривать только как весьма грубый слепок с реальной картины.

Лекция: Д. Робсона (D. Robson) «Использование кварков в микроскопическом подходе к адронам и ядрам». Основные темы лекции: 1) спектроскопия мезонов и барионов, 2) нуклон-нуклонное взаимодействие, 3) структура легких ядер. Расчет свойств мезонов и барионов в лекции проводится на основе полуфеноменологического кварк-кваркового гамильтониана, учитывающего цветные степени свободы. Релятивистские эффекты учтены только в кинетической энергии кварков. Решение осуществляется диагонализацией гамильтониана по осцилляторному базису. Параметры qq-потенциала фиксируются по мезонным данным. Получающиеся массы барионов значительно превышают экспериментальные. Учет π-мезонного канала во втором порядке теории возмущений существенно улучшает теоретические значения масс барионов. Нуклон-нуклонное взаимодействие автор находит, применяя одноканальный метод резонирующих групп к гамильтониану, описанному выше, учитывая обмен одним кварком. В результате он приходит к выводу о том, что необходимо провести новые, более детальные расчеты, прежде чем кварковые модели могут быть использованы для получения фаз NN-рассеяния. В связи с этим автор высказывает мысль о том, что в шестикварковой системе состоянием с наименьшей энергией может оказаться многоцентровая конфигурация решеточного типа. Далее, при рассмотрении электромагнитной структуры легких ядер автор априорным образом вводит равновесные нуклонные конфигурации — треугольную для ^{3}He и тетраэдральную для ^{4}He. Волновая функция системы предполагается, как обычно, имеющей форму $\psi = \psi_N + \psi_q$, где ψ_q — кварковая компонента, по предположению дающая основной вклад в формфактор при $q^2 \geqslant 15\ M^{-2}$. Эти же идеи автор применяет (и порой не без успеха!) к исследованию неупругого рассеяния на ядрах до ^{20}Ne и анализу спектра и электромагнитных переходов в ядре ^{16}O.

Лекция: Ч. Хонг-Мо (Chan Hong-Mo) «Взаимодействия кварков и цветная химия». Автор детально обсуждает свойства многокварковых конфигураций, порож-

денных цветомагнитным притяжением и имеющих структуру, сходную со структурой атомов и молекул в электродинамике. В качестве одного из примеров рассматриваются конфигурации типа бариония. В лекции подчеркивается, что существующая экспериментальная ситуация с барионями является противоречивой и нет возможности прийти к определенному заключению о природе бариония.

Лекция: Б. Повх (B. Povh) «Кварки и ядра: точка зрения экспериментатора». Так же как и во многих своих докладах на международных конференциях, в этой лекции автор обсуждает возможности проявления кварковой структуры во взаимодействии адронов при низких энергиях. При этом обращается внимание на два примера. В первом из них автор пытается сделать заключения о кварковой структуре адронов, анализируя величины спин-орбитального расщепления в гиперядрах (в частности, в Σ-гиперядрах). Также хорошим кандидатом для изучения кварковой структуры автор считает систему K^+N из-за экстремально малой протяженности взаимодействия ($\sim 0{,}5$ Фм) в этой системе. Второй пример — это система $N\bar{N}$, которую автор детально обсуждает в связи с ожидаемым в ближайшее время запуском в ЦЕРНе установки по накоплению антипротонов низких энергий (LEAR). В заключении кратко обсуждается роль глубоконеупругого рассеяния электронов на ядрах также с точки зрения изучения кварковой структуры ядер.

Лекция: А. В. Ефремов «Кварк-партонная картина кумулятивного рождения». Автор обсуждает различные теоретические попытки объяснить эксперименты по кумулятивному рождению мезонов. Детально исследуются следствия гипотезы флуктонов в ядерном веществе. Результаты, изложенные в этой лекции, широко публиковались в отечественных научных журналах.

Лекция: Б. Т. Чертоок (B. T. Chertok) «Электромагнитная структура ядер ^{2}H, ^{3}He и ^{4}He при больших переданных импульсах». Основное внимание уделяется феноменологическому анализу упругого и неупругого рассеяния электронов, основанному на кварк-партонных представлениях. Анализ проводится в области переданных импульсов $Q^2 \gtrsim 1$ (ГэВ/c)^2. Неполнота анализа связана с отсутствием непрерывного перехода в область нерелятивистской ядерной физики, т. е. в область $Q^2 \to 0$. Наиболее впечатляющим (однако не вполне надежным) выводом кварк-партонной модели автор считает весьма простое поведение упругих и неупругих структурных функций легчайших ядер при учете всех возможных степеней свободы ядра в области больших Q^2.

Лекция: Л. Д. Млодинов (D. Mlodinov) «Разложение при больших N: полуклассическая теория возмущений в квантовой механике». В этой лекции, носящей методический характер, речь идет о разложениях различных квантовомеханических характеристик системы (таких, как собственные значения и собственные функции) по степеням $1/N$, где N — размерность пространства. Автор дает интересный пример применения этой техники к проблеме гейзенберговского ферромагнетика. При этом случаи ферро- и антиферромагнетизма рассматриваются с единой точки зрения.

Лекция: Э. Реками (E. Recami) «Конфайнмент и адрон-адронные взаимодействия в рамках методов общей теории относительности». Лекция содержит изложение нетрадиционного подхода к структуре элементарных частиц и их взаимодействий. Перечислим заголовки разделов лекции, полностью отражающих ее содержание. 1. Адроны как микровселенные. 2. Иерархии «вселенных». 3. Структура адронов. 4. Конфайнмент. 5. Сильные черные дыры и др.

С коротким замечанием выступил M. Harvey в попытке объяснить возникновение отталкивания в NN-потенциале на малых расстояниях. Его выступление называлось: «Принцип исключения по цвету? Возможная причина отталкивания между нуклонами на малых расстояниях».

Группа авторов: M. Rosina, M. Cvetic-Krivec, B. Golli, N. Mankoc-Borstnik — изложила свои результаты в лекции под названием «Нуклон-нуклонный потенциал в кластерной модели с шестью кварками». Авторы рассмотрели две схемы адиабатического приближения для нахождения NN-потенциала: одна начинается с метода генераторной координаты и возникающих здесь уравнений Хилла — Уилера; вторая основывается на методе резонирующих групп. Шестикварковый гамильтониан берется в нерелятивистской форме с массой кварков $m = 310$ МэВ.

Наконец, последняя лекция, прочитанная снова К. Коттфридом, не имела уже совсем никакого отношения к кваркам в ядрах и называлась «Букварь по великому объединению». В лекции автор дает введение в некоторые аспекты теории. Значительное место уделяется вычислению электрослабого угла смешивания θ_W.

В целом сборник дает довольно полное представление об имеющихся попытках феноменологического учета кварковых степеней свободы в адронах и ядрах.

В. Б. Беляев