



*Проблемы методологии и логики
научного познания*

**ТЕОРИЯ СУБАТОМНЫХ И СУБЪЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
Философско-методологический и теоретический анализ**

В.Ф.Гершанский

Философско-методологический анализ теории атомного ядра и адрон-ядерных реакций (субатомных и субъядерных взаимодействий) чрезвычайно поучителен и представляет несомненный интерес для научного познания. На наш взгляд, именно на примере становления этой теории можно выявить общие закономерности формирования новой фундаментальной научной теории. Однако ввиду того, что процесс развития основных теоретических принципов субатомных и субъядерных взаимодействий находится на стадии осмысления отдельных идей и моделей, его философско-методологический анализ имеет свою глубокую специфику. Как правило, такой анализ применяется к уже сформировавшимся теориям, ставшим фундаментальными (квантовая механика, теория относительности и др.), т.е. к теориям, становление которых в определенной предметной области завершено. Здесь можно опираться на надежные, установленные принципы. В случае же формирующейся новой физической теории таких принципов либо еще нет, либо они находятся на уровне гипотетического осмысления. Поэтому ее философско-методологический анализ связан с большими трудностями и даже риском. Однако только в такой ситуации и проявляются селективные и эвристические функции философских оснований. В случае же законченной теории философские основания служат для осмысления уже полученных результатов и потому представляются порой чем-то отвлеченным, второстепенным [1].

Селективная функция проявляется в выборе наиболее приемлемых вариантов теоретического представления, а эвристическая – в конструктивном значении. Кроме того, селективная функция способствует осуществлению поиска новых идей и принципов для данной теории и, таким образом, может оказать обратное влияние на сам процесс формирования новой физической теории и на получение тех или иных результатов. Именно в этом смысле теория атомного ядра, находящаяся в процессе формирования, когда постоянно появляются новые идеи, гипотезы, модели и т.д., является исключительно благодатным объектом для философско-методологического исследования. Она дает чрезвычайно богатый материал и выявляет возможности эффективного применения философии (философских оснований). Проблема эвристической роли философских оснований в процессе формирования и становления физической теории детерминирована в понимании природы физической теории и природы философских принципов, закономерностей их генезиса и восприятия (интерпретации). Эвристичность философско-методологического анализа проявляется прежде всего в выдвижении новых фундаментальных понятий и основанных на них принципов, которые открывают широкие возможности для формирования и развития теории атомного ядра.

В настоящее время все попытки создать теорию атомного ядра, в которой структура ядра и ядерные реакции, т.е. субатомные и субъядерные взаимодействия, рассматривались бы на основе нуклонных степеней свободы, имеют своим результатом развитие феноменологических методов, что в конечном счете сводится к появлению различных видов моделей. Главная проблема, которая стоит перед данной научной теорией, заключается в познании строения ядерной материи и изучении взаимодействий “элементарных” частиц в ядре и в процессах ядерных реакций. Эта проблема имеет исключительное значение для научного познания, ибо именно в ядре имеют место три вида фундаментальных взаимодействий: электромагнитное (кулоновские силы, магнитные моменты), слабое (распад ядра, адронов – сильновзаимодействующих частиц) и, наконец, главное – сильное (внутриядерное). Четвертым фундаментальным взаимодействием является гравитационное, присущее всем физическим телам, однако оно, как и все остальные, имеет границу своего осуществления и, как правило, применительно к микромиру не учитывается. Необходимым условием решения указанной проблемы выступает создание теории “Великого объединения” – единого описания электрослабого (квантовая флავодинамика) и сильного (квантовая хромодинамика) взаимодействий. Кроме того, именно в ядре находится организующее “начало” формиро-

вания самого глубинного уровня вещества, в основе которого лежат взаимопревращения субэлементарных частиц и “элементарных” частиц, составляющих ядро.

Теория атомного ядра дает представление о закономерностях организации ядерной материи и динамики движения составляющих ее элементов, а также о характере изменений факторов и движущих сил материального субстрата. Основой такой теории могут служить представления теории цветных кварков и глюонов – квантовой хромодинамики (КХД). Главная проблема здесь состоит в том, чтобы объяснить природу и основные закономерности ядерных сил исходя из фундаментальных хромодинамических взаимодействий кварков и глюонов. В таком приближении теорию атомного ядра в качестве предмета исследования следует рассматривать как ядерную хромодинамику [2]. Сущность формирующейся теории, тенденции ее дальнейшего развития не могут быть раскрыты в отрыве от истории ее развития, поскольку процесс познания глубоко диалектичен, он есть органическое единство исторического и логического. Между тем следует констатировать, что на сегодняшний день исследования философских и методологических аспектов процесса формирования теории атомного ядра как ядерной хромодинамики в отечественной и зарубежной литературе практически отсутствуют.

Теоретическая ядерная физика начала развиваться после открытия нейтрона, установления нейтрон-протонного состава ядра и создания мезодинамики Х.Юкавы, в которой взаимодействие между нуклонами (N) рассматривается через обмен квантами сильного поля – π -мезонами. Построение теории ядра наталкивается на две основные трудности онтологического характера: во-первых, силы взаимодействия между нуклонами весьма сложны; во-вторых, даже для простого вида сил возникают значительные трудности при изучении свойств системы, состоящей из большого, но конечного числа сильновзаимодействующих частиц. Особенно следует подчеркнуть, что в рассматриваемой системе не имеется малого параметра, разложением по которому можно было бы решить ядерную задачу многих тел методом теории возмущений. В связи с этим развитие теории ядра шло по линии поиска простых моделей феноменологического типа.

В начальный период развития ядерной физики ядро представляли в виде модели типа заряженной жидкой капли или вырожденного ферми-газа. В дальнейшем термин “модель” стал пониматься в более широком смысле, моделью стали называть любую совокупность упрощающих предположений, как физических, так и математических, с помощью

которых можно с некоторой точностью рассчитать характеристики ядерной системы. Таким образом, при изучении структуры ядра задача сводилась к построению такой модели, которая описывает реальную систему с наибольшей точностью и в то же время допускает математическую трактовку. Если модель принимают для объяснения экспериментальных данных, то выбирают такие данные, в которых определенный выделенный аспект играет преобладающую роль [3]. Однако основной особенностью таких подходов было то, что они носили явно феноменологический характер. Кроме того, все попытки теоретического обоснования при построении этих моделей имели номиналистический статус.

Когда в ядерной физике говорится о модели, имеется в виду приближенный метод, используемый для рассмотрения ограниченного круга свойств ряда ядер. При изучении определенных свойств ядер или ядерных процессов учитываются те силы, которые при этом имеют определяющее значение, и не учитываются совсем или учитываются грубо другие силы. Развитие моделей ядерной структуры проходило по двум основным направлениям: первое – это модели с сильным взаимодействием, в которых ядро рассматривается как система сильно-связанных частиц, второе – модели независимых частиц, в которых предполагается, что нуклоны движутся приблизительно свободно в усредненном поле ядра. В начальный период изучения строения ядра было установлено два экспериментальных факта: энергия связи, приходящаяся на одну частицу, приблизительно одинакова для всех ядер (кроме самых легких); объем ядра пропорционален числу находящихся в нем нуклонов. Из этих фактов был сделан вывод, что протоны и нейтроны распределены с одинаковой для всех ядер плотностью. В то же время было установлено, что взаимодействие свободных нуклонов является сильным, а силы имеют короткий радиус действия. Поэтому возникла модель феноменологического типа с сильным взаимодействием, в которой длина свободного пробега нуклона в ядерном веществе мала по сравнению с размером ядра.

Подробный обзор моделей ядер и ядерных реакций в нуклонных степенях свободы в рамках квантово-механического подхода дается в целом ряде работ [4].

Отсутствие фундаментальной теории сильных взаимодействий не позволяет последовательно описать взаимодействие между двумя нуклонами. Кроме того, надо отметить, что нуклоны часто “перекрываются”, а если это так, то следует вопрос: не изменяются ли свойства нуклонов настолько, что само представление о нуклонах как о составляющих ядра

становится сомнительным [5]? Тем не менее нерелятивистская теория ядра позволила рассчитать основные характеристики ядер в разумном согласии. Однако теоретическое исследование атомного ядра в терминах нуклонов не дает ответа на целый ряд фундаментальных вопросов гносеологического и онтологического порядка: в какой степени ядра могут быть описаны как системы из нуклонов, каково происхождение ядерных сил и т.д. В значительной степени это обусловлено необходимостью учета внутренней структуры нуклонов, поскольку межнуклонные расстояния в ядре сравнимы с радиусом нуклона. В рамках мезонной теории ядерных сил эта задача, по-видимому, неразрешима вследствие так называемой проблемы “нуля заряда” [6].

Успехи квантовой хромодинамики в описании свойств и структуры адронов порождают надежды на то, что использование ее представлений позволит найти ответы на основные вопросы, связанные с построением теории атомного ядра. Однако вследствие невозможности обойти не решенную пока проблему конфайнмента (удержания) кварков и глюонов для теоретического анализа явлений в атомном ядре в настоящее время удается использовать только общие свойства КХД [7]. И это уже немало, так как на часть теоретических проблем, возникающих при построении теории ядра, КХД дает ответ. В частности, спонтанное нарушение киральной симметрии в КХД (π -мезон – голдстоун) ответственно за доминирование барионных степеней свободы в волновой функции ядра. На основе КХД удастся понять, каким образом надо учитывать релятивистское движение нуклонов в ядрах, отдачу и запаздывание во взаимодействии быстрых частиц с ядрами и т.д.

Необходимо отметить, что известные сегодня мезонные модели квантовой теории поля качественно не согласуются с КХД, так как вместо асимптотической свободы на малых расстояниях в этих моделях инвариантный заряд растет с уменьшением расстояний. В то же время теоретико-полевое взаимодействие векторных мезонов даже в “древесном” (борновском) приближении нарушает унитарность. КХД автоматически устранила, казалось бы, неизбежные онтологические и гносеологические трудности мезодинамики. Вместо представления о “нуль-заряде” в квантовой хромодинамике справедливо представление об асимптотической свободе. Более того, в отличие от мезонных теоретико-полевых моделей в КХД более простым является теоретическое описание процессов, происходящих за короткие промежутки времени. Здесь применима теория возмущений (вследствие асимптотической свободы в КХД), и, следовательно, можно описывать процесс рассеяния в терминах квар-

ков и глюонов. Именно в таких явлениях в первую очередь и проверяются сегодня предсказания КХД.

Нам представляется, что ядерная хромодинамика, построенная на основе теории кварков и глюонов, как содержательная эвристическая теория исследует сильные взаимодействия на основе фундаментальных представлений и является более сущностной по отношению к мезодинамике Х.Юкавы, которая, в силу принципа соответствия, есть частный случай ядерной хромодинамики применительно к низким энергиям.

Однако лобовые попытки построить количественную теорию ядерных сил на основе КХД наталкиваются на очевидные трудности методологического и методического порядка. Построение теории атомного ядра “из первых принципов” КХД, когда в компьютер “закладывается” лагранжиан и находятся масса и спектры возбуждений системы с барионным зарядом $B = A$, где A – атомная масса ядра, и электрическим зарядом Z , является задачей практически неразрешимой. Кроме того, даже если бы можно было найти на компьютере спектры и массы ядер, это не привело бы к пониманию физической природы ядерных процессов, причинно-следственных отношений в них. Несравненно более простая задача о структуре одного нуклона или мезона пока далека не только от решения, но даже от качественного понимания. Существующие феноменологические модели адронов не выводятся из КХД и объясняют только какую-то часть явлений. В частности, остается без объяснения линейный ход траекторий Редже. Другой, более реалистичский, путь построения теории атомного ядра “из первых принципов” состоит в том, чтобы выразить ядерные процессы через массы и амплитуды рассеяния свободных нуклонов. В результате такая теория сведется к первым принципам после определения масс и амплитуд рассеяния свободных нуклонов на основе уравнений КХД, но это задача будущего [8].

И здесь необходимо сказать о том, что при исследовании ядерной материи при помощи хромодинамических представлений приходится иметь дело, как правило, с концептуальными моделями этих объектов. Эвристическая функция такого моделирования заключается в том, что оно позволяет ввести представление о механизме материального взаимодействия, ибо моделирование всегда вводит структурные элементы объекта вместе с предположением об их взаимосвязи, взаимодействии.

В формировании и развитии фундаментальной теории ядерной материи на основе концептуального моделирования имеет место как порождающее моделирование, которое определяет истоки возникновения и формирования фундаментальной теории, так и интерпретирующее мо-

делирование, которое способствует расширению теории сферы своего применения [9]. Порождающим моделированием является представление о нуклонной структуре ядра и обменном характере взаимодействий между нуклонами через кванты сильного взаимодействия – π -мезоны, составляющие основу мезодинамики Х.Юкавы. При низких энергиях иницирующих частиц такое модельное представление является, правда с большой натяжкой, достаточным для перехода от эмпирических представлений к основным положениям теории мезодинамики. Однако при высоких энергиях иницирующих частиц становится ясно, что в основе ядерной материи лежат кварк-глюонные степени свободы, которые выступают основой интерпретирующего моделирования в виде кварковых “мешков”, кварков на решетке, кварк-глюонных струн и, наконец, представляющей особый интерес модели “цветных” (кварковых) кластеров. Порождающее моделирование играет важную роль при переходе от эмпирического знания к знанию теоретическому, выполняет функцию своеобразного моста, связывающего эмпирию и теорию. Задача по внесению в ядро кварк-глюонных степеней свободы остается пока нерешенной. Это демонстрирует эвристичность интерпретирующего моделирования.

Концептуальное моделирование всегда выполняет одновременно обе функции: интерпретирующую, поскольку строится на основе какой-либо фундаментальной теории, и порождающую, так как дает начало новому подходу. При этом необходимы гармоничное и эффективное сочетание указанных видов моделирования, их дополнительность, предполагающая формирование новых содержательных понятий и принципов научной теории.

Таким образом, представление о кварк-глюонном происхождении ядерных сил стимулирует постановку новых философско-методологических и теоретических вопросов: в каких ядерных явлениях проявляются кварковые и глюонные степени свободы, в чем состоит их эвристическая роль в формировании глубинных представлений о ядерной материи, какова пространственно-временная организация и т.д. Сложность решения этих вопросов обусловлена тесной связью теоретических и методологических проблем неклассической физики [10].

По современным представлениям, нуклон – это трехкварковая система среднего радиуса. Кварки движутся с создаваемым ими глюонным полем. Внутренняя структура нуклона сказывается только на расстояниях между нуклонами порядка R_c (радиус конфайнмента), т.е. либо при очень больших плотностях ядерного вещества, либо при соударениях с малыми прицельными параметрами. В этих условиях взаимодействие

между нуклонами происходит на малых расстояниях, т.е. можно учитывать феноменологически так называемые мультикварковые конфигурации, которые описываются как корреляционные эффекты. Методологически введение мультикварковых конфигураций одновременно с MN -взаимодействием на малых расстояниях означает двойной учет одного и того же явления. Однако на сегодняшний день не существует последовательной нефеноменологической модели нуклона, которая вытекала бы из КХД.

Гносеологически свойство конфинмента кварковых и глюонных полей означает, что изолированно могут наблюдаться только частицы, находящиеся в синглетном по цветовым индексам состоянии (“белые” частицы). При расстояниях $R > R_c$ взаимодействие адронов определяется обменом “белыми” частицами. На малых расстояниях взаимодействие между кварками кулоновское с логарифмически растущим квадратом “заряда” $a_r(R)$, т.е. находятся в рамках известной парадигмальности. При $R = R_c$ функция $a_r(R)$ начинает круто нарастать, кулоновское решение делается неустойчивым и образуется струноподобное распределение глюонного поля между кварками, что обуславливает стремление такого описания к обобщающей парадигмальности. Так, одинаковый наклон мезонных и барионных траекторий Редже можно объяснить только на основе эвристической модели, предположив, что в барионе два кварка расположены вблизи одного конца струны, а третий кварк – вблизи другого конца. Два кварка (“дикварк”) как источник глюонного поля строго эквивалентны одному антикварку, и поэтому глюонные поля, а значит, и натяжение барионной струны, совпадают с натяжением мезонной струны (на концах расположены кварк и антикварк). Энергия взаимодействия не позволяет кваркам разлетаться, т.е. приводит к конфинменту кварков.

В связи с этим следует отметить, что для описания реальных физических процессов и систем в микромире недостаточно линейных уравнений и требуется учет нелинейности, как собственно физической, так и геометрической. Физическая нелинейность проявляется в сильных взаимодействиях, например при конфинменте, без изменения метрики и топологии. Геометрическая нелинейность проявляется в неизменности физических свойств микрообъектов с изменением их метрических и топологических характеристик. Включение в ядерную хромодинамику представлений о нелинейности позволяет раскрыть новое, более глубокое содержание взаимодействий в микромире.

Необходимость описания нелинейных физических явлений в микромире обусловила введение новых физических представлений и понятий, таких как понятия солитона и инстантона. Нелинейное взаимодействие

в квантовой хромодинамике можно рассматривать как появление и исчезновение инстантонов, а их, в свою очередь, можно использовать для создания модели, объясняющей ненаблюдаемость кварков в свободном состоянии. Струнная модель адронов – наиболее популярная ныне модель. В ней мезон – это “цветная” трубка, на концах которой находятся кварк и антикварк, а барион – “цветная” трубка, на концах которой находятся кварк и диокварк. Такая модель позволяет применять линейные подходы для решения нелинейных уравнений, т.е. сводить различные нелинейные задачи к линейным. Именно нелинейность уравнений глюонных полей и связанное с ней самодействие ответственны за вылет кварков из адронов.

Кварки и глюоны обладают физической реальностью, но о них можно судить только на основе косвенных наблюдений в эксперименте. Согласно критерию принципиальной наблюдаемости не должно существовать принципиальных ограничений для прямого и косвенного наблюдения объектов, претендующих на статус объективно реальных. При этом допускается существование практически ненаблюдаемых (на данном этапе развития науки) объектов, но исключается существование принципиально ненаблюдаемых, т.е. ненаблюдаемых в любых мыслимых практических ситуациях. Проблема наблюдаемости кварков и глюонов является актуальной и требует глубокого философско-теоретического анализа. Данная проблема актуальна не сама по себе, а в аспекте поиска более адекватного теоретического описания микрообъектов. Принцип наблюдаемости приобретает значение при сопоставлении двух теорий – старой и новой, более адекватной, в плане их отношения к эксперименту.

Таким образом, формирование и развитие теории субъядерных и субатомных взаимодействий осуществляются на основе представления о том, что взаимодействия в ядерной материи являют собой самосогласованное действие, которое определяет их нелинейное рассмотрение.

Следует также отметить, что в метрическом диапазоне зоны действия сильных взаимодействий в форме хромодинамической взаимосвязи оказываются более общими и универсальными, чем простая причинность, основанная на временной последовательности причины и следствия. При этом, опираясь на статистическую (вероятностную) закономерность, можно только с определенной степенью вероятности предсказать поведение хромодинамической системы (адрон, ядро), состоящей из множества объектов (кварков и глюонов). Вероятность и причинность не исключают друг друга, а наоборот, вероятность предполагает существование причинно-следственных цепей хромодинамических взаимодействий.

Причинность характеризуется как генетическая связь между отдельными состояниями частиц, ядра и кварк-глюонной материи в процессах их движения и развития, в которых и осуществляется воздействие причины на следствие.

В квантово-полевом подходе ядерная хромодинамика относится к статистическим (вероятностным) теориям. Статистический (вероятностный) детерминизм определяет сочетание одно- и многозначных причинно-следственных связей в ядерной хромодинамике. По мере углубления в область малых пространственно-временных структур в кварк-глюонных представлениях теории субатомных и субъядерных взаимодействий приходится использовать образы все большей информативной емкости. При этом возрастает роль случайного фактора, и вся картина хромодинамических представлений адрон-ядерных взаимодействий меняется в сторону более сложных вероятностных построений. Данные тенденции органически связаны между собой, а вероятностный элемент проявляется как мера, характеризующая множество значений новых степеней свободы (в ядре это кроме нуклонных и пионных также кварковые, кластерные – как квазичастицы, дельта-изобарные – как кластеры), возникающих по мере увеличения информативной емкости рассматриваемых процессов, что и приводит к представлению о микропричинности – вероятностной причинности микромира.

На первый взгляд, в ядре имеет место четкая оппозиция между случайным движением “элементарных” частиц и детерминированным движением материальных точек классической механики. Однако ситуация окажется далеко не столь однозначной, если обратиться к рассмотрению математических моделей ядерной хромодинамики. В самом деле, в соответствии с этими моделями в рамках квантово-механического подхода описываются не частицы, а волновые функции, определенные в фазовом пространстве и подчиняющиеся дифференциальным уравнениям, подобно тому как дифференциальными уравнениями описывается поведение материальных точек в классической механике. Поэтому и ядерная хромодинамика оказывается на менее детерминистской, нежели классическая и квантовая механика. Теория вероятностей и случайность устранены, таким образом, из внутреннего функционирования математических моделей ядерной хромодинамики. Они имеют место лишь на уровне интерпретации. Интерпретация волновой функции в терминах вероятности присутствия частицы является научным постулатом, подтверждаемым опытом и позволяющим делать столь точные предсказания, что, в свою очередь, приводит к детерминизму.

Что же касается проблемы интерпретации теории субатомных и субъядерных взаимодействий, то следует отметить, что существующие виды физической (количественной) интерпретации: квантово-полевая (это означает создание ядерной хромодинамики как теории и равносильно усовершенствованию математической структуры квантовой теории поля), групповая (означает построение теории субатомных и субъядерных взаимодействий как теории фундаментальной группы феноменологической симметрии), аналитическая (означает построение аналитической теории S -матрицы применительно к ядерной хромодинамике как теории), нелинейная (когда проблема сводится к построению единого нелинейного квантового поля ядерной материи), нелокальная (означает, что задача эквивалентна построению теории микроскопического пространства-времени) – с необходимостью подлежат качественной интерпретации, т.е. философскому осмыслению. При этом объединение количественной интерпретации с качественной предполагает их диалектическое единство.

Количественная интерпретация, имеющая в своем составе математический аппарат (здесь необходимо следовать критерию оптимального формализма), является необходимым звеном философского осмысления. Достаточным критерием будет служить качественная интерпретация, опосредованная философскими основаниями. Истинные закономерности имеют довольно простую интерпретацию (как качественную, так и количественную), а построение теории микромира должно основываться на формулах, отражающих гармонию материального мира. Поэтому для формирования теории атомного ядра в хромодинамических представлениях необходимо применение всех видов интерпретаций.

Этап интерпретации в структурном построении ядерной хромодинамики является наиболее существенным и важным и связан с содержательным логико-гносеологическим способом конкретизации придания идеализированным и формализованным структурным компонентам реального физического значения. Категория симметрии, выступающая в качестве методологического принципа разрешения реальных противоречий, придает идеализированным и формализованным структурным компонентам ядерной хромодинамики как теории конкретное содержание и значение. Однако главная методологическая функция интерпретации состоит в формировании категориального синтеза в мышлении. В ядерной хромодинамике эту методологическую функцию осуществляет принцип цветовой симметрии.

Субатомные и субъядерные взаимодействия являются статистически (вероятностно) детерминированными, они подчиняются причинно-

следственному принципу, при этом протекание кварк-глюонных взаимодействий в ядре и адрон-ядерных реакций имеют свою специфику, что дополняет и расширяет положения и проблематику детерминизма и причинности в физике микромира.

Так, кварковая физика поставила вопрос о детерминации шестикварковых конфигураций в дейтроне (ядро дейтона), где кварки, принадлежащие протону и нейтрону, перемешаны. Это проявляется при поглощении γ -квантов и медленных π -мезонов ядрами на основе двухнуклонного механизма в полной аналогии с реакцией квазиупругого выбивания дейтронов быстрыми протонами. Однако, как отметил Р.Фейнман, любое “белое” состояние может быть детерминировано в терминах как адронных, так и кварк-глюонных степеней свободы. Возникает методологическая проблема выбора: какое описание является более простым? Если цветные кластеры пространственно не разделены, то описание в терминах “белых” адронных степеней свободы столь же удобно. Напротив, если в дейтроне существуют пространственно разделенные цветные группы из трех кварков, то такое состояние удобнее описывать в терминах кварковых степеней свободы. Использование одновременно обоих описаний имеет явные преимущества [11].

В отношении развития проблемы части и целого (части не менее сложны, чем целое) следует заметить, что в различных ядерных реакциях и при распаде ядра наблюдаются с заметной вероятностью не только нуклоны, но и составные частицы – дейтроны, тритоны, α -частицы и другие легкие ядра, отличные по составу и свойствам от исходного ядра, которые суть частный случай более широкого явления, называемого кластером. Под кластерами понимаются различные компактные структуры, состоящие из двух или большего числа частиц (нуклоны, кварки, мезоны и другие “элементарные” частицы), которые могут формироваться внутри ядра. Наличие в ядрах кварковых цветных кластеров открывает путь к решению проблемы части и целого (уход от классических представлений) при исследовании принципиально нового состояния в природе – кварковой материи.

Развитие представлений теории атомного ядра на хромодинамической основе не противоречит диалектическому пониманию проблемы взаимоотношения целого и частей, а напротив, углубляет его и, более того, дает основания для дальнейшего развития физического принципа целостности, который является основой для отличия собственно физически определенного объекта от механического, что свидетельствует о конечной физической неразложимости мира.

Из соотношения понятий части и целого, сложного и простого вытекает проблема “элементарности” и “фундаментальности” по отношению к кваркам и глюонам как “элементарным” частицам. Понятие “элементарности” приводит к определенному парадоксу. С одной стороны, взаимопревращения микрочастиц исключают применение к ним классического понятия структуры, а с другой стороны, с классической точки зрения для объяснения превращений требуется использование этого понятия. Таким образом, с классической точки зрения если частицы “элементарны” (бесструктурны), то они не могут быть “изменчивыми”, т.е. не могут быть “элементарными”. Взаимопревращения частиц одновременно и требуют “элементарности”, и исключают ее (проблема “элементарности”). Это ведет к представлению об адронном бутстрапе и переходит к представлению о кварк-глюонном бутстрапе. При этом ни один из адронов, ни один из кварков и глюонов не может быть признан более “фундаментальным”, чем остальные. Бутстрап-теория (гипотеза) предполагает понимание кварк-глюонной материи не в терминах “элементарных” объектов (традиционное представление), а посредством идеи взаимосогласованности, подразумевающей, что все хромодинамические взаимодействия взаимосвязаны и частицы превращаются друг в друга. Избранных “истинно элементарных” (в классическом смысле) частиц не существует, так как все “элементарные” частицы “истинно элементарны”. Другими словами, так называемая “ядерная аристократия” должна уступить место “ядерной демократии”. Сказанное равносильно тому, что все частицы “фундаментальны”, а все “фундаментальные” частицы изменчивы. Отсюда ясно, что “ядерная аристократия” есть закономерный и неизбежный итог макроскопизации “ядерной демократии” [12].

Проблема взаимодействия составных ядерных частиц-кластеров является одной из центральных в адрон-ядерной физике малых и средних энергий. Методы теории кластеров начинают все глубже проникать в такую область, как физика реакций с тяжелыми ионами, а также успешно применяются при рассмотрении кварковой структуры “элементарных” частиц и атомных ядер. В основе этой теории лежит относящееся к микроскопическому уровню представление о том, что ни иницирующие частицы, ни ядро-мишень не являются бесструктурными единицами, а представляют собой связанные нуклонные группировки – кластеры. Конечно, такой подход (метод резонирующих групп и его обобщение) влечет за собой массу осложнений: взаимодействия между частицами и ядрами оказываются нелокальными, весьма важную роль приобретает связь разных каналов и т.п. Тем не менее в рамках этого подхода была развита

формальная схема теории и накоплено много примеров ее физической реализации. Органическая общность между теорией реакций с участием кластеров и теорией кластерной структуры ядер онтологически дает возможность строить содержательную теорию атомного ядра с единых позиций обобщающей парадигмальности. В этой теории полностью учитывается принцип Паули и используются только трансляционно-инвариантные волновые функции. Такое достижение представляет собой этап в развитии данной теории [13].

В продолжение темы следует отметить, что атомное ядро можно одновременно рассматривать и как систему нуклонов, и как “резервуар”, содержащий различные по составу и свойствам кластеры (как нуклонные, так и цветные кварковые), число которых может заметно превосходить число традиционных нуклонов в ядре (это опять уход от классических представлений о части и целом) [14]. Перспективным видится дальнейшее исследование цветных кластеров многокварковой природы в ядрах и их проявления в жестких и мягких процессах для получения информации о свойствах ядра и кварковой материи. Так, при промежуточных энергиях ядро представляется нам как система связанных “цветных” кварковых группировок – кластеров, динамику взаимодействия которых следует рассматривать по принципу последовательных вложений – “матрешки” с выходом на каскадное представление в масштабах всего ядра в целом. При этом с использованием кварково-спиновой комбинаторики и метода квазичастиц через гриновские функции фейнмановских диаграмм, с поэтапным представлением взаимодействия внутри ядра в квазидейтронном приближении, с учетом изобарных степеней свободы ведется расчет статвесов реакции в целом, отдельных видов реакций (поглощения, неупругого взаимодействия, перезарядки) и отдельных каналов каждого вида реакций в конечном состоянии [15]. В случае более высоких энергий (выше порога мезонообразования и образования множественности – адронизации, пионизации) модель кварковых кластеров автоматически переходит в модель кварк-глюонных струн. Основные свойства множественности процессов могут быть описаны теорией Редже с использованием дуальной модели, которая, в принципе, имеет в своей основе модель кварк-глюонных струн. Далее применительно к более высоким энергиям работает партонная модель (глубоко неупругие процессы).

В рамках такого представления можно предложить модель пространственно-временной организации процессов ядерной хромодинамики для исследования адрон-ядерных реакций и ядерной материи при

движении от инфракрасной (низкие энергии) области через красную (промежуточные энергии) и далее в зеленую (средние энергии) область к ультрафиолетовой (высокие энергии). В инфракрасной области пространственно-временная организация субатомных и субъядерных взаимодействий характеризуется конфинментом кварков на струнах с мерностью, меньшей, чем $3+1$. В красной области такая организация представляет собой кварково-кластерное образование ядерной материи, которая может носить характер, приближенный к реалистическому описанию адрон-ядерных процессов $3+1$ -мерности. Далее при переходе в зеленую область пространство-время являет собой дуальную картину на основе кварк-глюонных струн большей мерности много-связной топологии. Процессы здесь характеризуются фрагментацией, пионизацией и, как следствие, множественностью. Затем при движении к фиолетовой области пространственно-временная организация глубоко неупругих реакций приобретает вид точечных (партонных) микрочастиц, которые уже в ультрафиолетовой области обретают асимптотическую свободу.

С открытием неевклидовых геометрий проблема соотношения материи, пространства-времени и других ее атрибутов стала приобретать характер геометродинамических построений (проблема геометризации). Построение “воображаемых” геометрий, отказ от гносеологии рационализма означали постановку вопроса о новом обосновании геометрии. Это находит отражение в применении более общих представлений, в которые известные подходы калибровочных полей и геометрии включены органически как их составные части. К примеру, можно применить известное финслерово пространство, являющееся непосредственным обобщением риманова.

Такой подход дает возможность единого геометродинамического описания различных калибровочных полей и ядерной хромодинамики. Гравитационное и сильное взаимодействия объединяются согласно формуле: риманова метрическая структура + изотопическая инвариантность = финслерова метрическая структура с индикатрисой нулевой кривизны. Теорию финслеровой геометрии можно рассматривать и в соответствии с принципом взаимности, который определяет, что любой физический закон в x -пространстве имеет “инверсный образ” в импульсном p -пространстве. Этот принцип приводит к требованию введения нетривиальной метрики в p -пространстве, что опять же непротиворечивым и единым образом может быть описано только финслеровой геометрией. Этот принцип автоматически приводит к представлению

о конечности микрочастиц, к принципу квантования, указывает на физический смысл конечности планковского действия h [16].

Количественный анализ применимости обобщенных геометрий в ядерной хромодинамике требует специальной физико-математической проработки и представляет собой сложный исследовательский механизм, изложение которого выходит за рамки данной работы. Однако качественный анализ дает основание для оптимистической оценки применимости принципов, лежащих в основе теорий обобщенных геометрий, к процессам, составляющим содержание ядерной хромодинамики на этапе развития основных ее идей.

Философско-теоретическое осмысление формирующейся ядерной хромодинамики позволяет сделать определенные теоретико-познавательные выводы. Во-первых, теория сильных взаимодействий не является только формальным алгоритмом для предсказания непосредственно наблюдаемого. Она имеет собственное физическое содержание, состоящее в отражении внутренней структуры организации материи, ее существенных связей и отношений, которые лишь проявляются внешне в наблюдаемых процессах. Во-вторых, основные положения квантовой хромодинамики и ядерной хромодинамики не выводятся из описания непосредственно наблюдаемых фактов, но также не являются произвольно устанавливаемыми положениями. Они рождаются как творчески конструируемые гипотезы, критериями проверки которых на достоверность отражения объективной реальности выступают комплексные требования внутренней самосогласованности и согласованности с эмпирическими данными (чаще всего – косвенными). Теоретические представления отражают объективную реальность и потому могут проверяться и оцениваться по качеству этого отражения. Таким образом, квантовая хромодинамика как основа теории атомного ядра описывает потенциальные возможности адрон-ядерных и кварк-глюонных переходов, ее элементов (адроны и ядра, кварки и глюоны), которые органически входят в объективную модель реальности, обогащая ее внутреннее содержание.

Кроме того, проведенный философско-методологический и теоретический анализ показывает, что теоретическая ядерная физика в своем генезисе опирается в основном на модельное представление феноменологического типа о структуре ядерной материи и ядерных реакциях на уровне нуклонных степеней свободы. Такой подход не дает возможности выполнить главную задачу – создать единую теорию процессов, происходящих как в ядре, так и при адрон-ядерных взаимодействиях. Эвристичность кварк-глюонных представлений (внесение кварковых и глюон-

ных степеней свободы) заключается именно в том, что на основе хромодинамики, развивающей и совершенствующей свои представления в синтезе квантово-полевых и релятивистских принципов, можно создать единую теорию таких процессов. Необходимым условием этой эвристичности является следующее: качественный анализ должен допускать принципиальную количественную проверку, так как объективная реальность обладает мерой, т.е. является единством качественных и количественных аспектов. По этой причине чисто качественная проверка не позволяет однозначно подтвердить или опровергнуть те или иные методологические предсказания, следовательно, философско-методологический анализ новой формирующейся теории должен проводиться с использованием физико-математических методов в тесной связи с различными аспектами философских оснований [17]. Базовые положения и содержание формирующейся теории атомного ядра в онтологическом, гносеологическом и методологическом аспектах вносят существенный вклад в понимание физических процессов, протекающих в микромире на уровне кварк-глюонных представлений о материальном мире. Это дает философии ценный материал для углубленного исследования многих проблем мировоззренческого, теоретико-познавательного и методологического уровней, для применения диалектики.

Наконец, следует отметить, что диалектическое понимание перспективы формирования и развития теории субатомных и субъядерных взаимодействий как составной части теоретической физики, научного знания вообще тесно связано с осмыслением глубинных представлений об организации движущейся материи. Познание материи осуществляется через изучение особенностей форм ее движения, качественно различных структурных форм ее организации, исследование которых напрямую зависит от успешного развития науки. Поэтому философское рассмотрение представлений о механизме обозначенных взаимодействий способствует конкретизации и обогащению категориального аппарата философии, и прежде всего философии науки. В дальнейшем необходимо более глубокое философско-теоретическое осмысление процессов субатомных и субъядерных взаимодействий, ибо научное познание все более приближается к воспроизведению многогранной сущности ядерных процессов, вырабатывая соответствующие исследовательские средства. Таким образом, имеет место глубоко диалектический процесс перехода от хорошо обоснованных концепций к формированию достоверного знания, подтверждаемого развивающейся практикой.

Примечания

1. См.: *Бранский В.П.* Теория элементарных частиц как объект методологического исследования. – Л., 1989. – С. 9.
2. См.: *Гершанский В.Ф.* Ядерная хромодинамика // MOST. – 2002. – № 52. – С. 64, 65.
3. См.: *Барков Л.М.* Роль эксперимента в современной физике // *Философия науки.* – 2001. – № 3 (11). – С. 152.
4. См.: *Айзенберг И.* Микроскопическая теория ядра. – М.: Атомиздат, 1976; *Соловьев В.Г.* Теория атомного ядра: ядерные модели. – М.: Энергоатомиздат, 1981; *Бете Г.* Теория ядерной материи. – М.: Мир, 1987; *Бопп Ф.* Введение в физику ядра, адронов и элементарных частиц. – М.: Мир, 1999.
5. См.: *Вайзе В., Эрикссон Т.* Пионы и ядра. – М.: Наука, 1991. – С. 16.
6. См.: *Слив Л.А. и др.* Проблемы построения микроскопической теории ядра и квантовая хромодинамика // *Успехи физ. наук.* – 1985. – Т. 145, вып. 4. – С. 553.
7. См.: *Индурайн Ф.* Квантовая хромодинамика. – М.: Мир, 1986. – С. 14.
8. См.: *Мигдал А.Б.* Пионные степени свободы в ядерной материи. – М.: Наука, 1991. – С. 7.
9. См.: *Методы научного познания и физика.* – М.: Наука, 1985. – С. 48.
10. См.: *Симанов А.Л.* Методологические и теоретические проблемы неклассической физики // *Гуманитарные науки в Сибири.* – 1994. – № 1. – С. 9.
11. См.: *Фейнман Р.* Взаимодействие фотонов с адронами. – М.: Иностран. лит., 1975. – С. 56.
12. См.: *Бранский В.П.* Философские основания проблемы синтеза релятивистских и квантовых принципов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1973. – С. 145.
13. См.: *Вильдермут К., Тан Я.* Единая теория ядра. – М.: Мир, 1980. – С. 20.
14. См.: *Кадменский С.Г.* Кластеры в ядрах // *Ядерная физика.* – 1999. – Т. 62, № 7. – С. 1181.
15. См.: *Гершанский В.Ф., Ланцев И. А.* Релятивистская ядерная физика и квантовая хромодинамика. – Дубна: ОИЯИ РАН, 1996. – С. 80; *Они же.* Однуклонное пион-ядерное поглощение при промежуточных энергиях в кварковой модели // Сб. тезисов 48-й Международной конференции по физике ядра (16–18 июня 1998 г.). – Обнинск: ИАТЭ РАН, 1998. – С. 178; *Они же.* Новый подход к загадке (3,3) резонанса // Сб. тезисов 49-й Международной конференции по физике ядра (21–24 апреля 1999 г.). – Дубна: ОИЯИ РАН, 1999. – С. 123; *Гершанский В.Ф.* Изобары и кварковые кластеры в ядрах // *Вестник Новгород. гос. ун-та. Сер. Естественные науки.* – В. Новгород. – 2001. – № 17. – С. 91–92.
16. См.: *Блохинцев Д.И.* Труды по методологическим проблемам физики. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – С. 176; *Философские проблемы классической и неклассической физики.* – М.: Изд-во ИФ РАН, 1998. – С. 158.
17. См.: *Гершанский В.Ф.* Философские основания теории субатомных и субъядерных взаимодействий. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001.

Новгородский государственный университет
им. Ярослава Мудрого, г. Новгород

Gershanskii, V.F. Sub-atomic and sub-nuclear interaction theory: philosophical-methodological and theoretical analysis

The paper deals with the process of the development of the atomic nucleus theory as nuclear chromodynamics, the issue of the heuristic role of philosophical bases as fundamental principles being crucial. The author shows that such a process is to be considered as a special model of philosophical-methodological and theoretical analysis. It makes possible to comprehend the essence of natural development and self-motion of matter elements. Thus, such an approach contributes to making scientific knowledge more rich.