

## БИБЛИОГРАФИЯ

## Концептуальные основания квантовой теории поля

PACS numbers: 01.30.Vv, 01.70.+w, 03.70.+k

**Conceptual foundations of Quantum Field Theory** (Ed. Tian Yu Cao) (Cambridge: Cambridge University Press, 1999) 399 pp.

Рецензируемая книга представляет собой материалы симпозиума, посвященного концептуальным основаниям квантовой теории поля (КТП), состоявшегося 1–3 марта 1996 г. в Бостонском университете. Цель симпозиума заключалась в том, чтобы дать возможность физикам, занимающим лидирующее положение в области КТП, представить свои взгляды на основания этой теории и вместе с философами обсудить исторические и философские проблемы, связанные с анализом этих оснований.

Нужно оговориться сразу: диалог оказался нелегким. Как показывают материалы симпозиума, отношения между физиками и философами были довольно напряженными. Главный организатор конференции философ науки Тянь Ю Цао (Tian Yu Cao, Department of Philosophy, Boston University, Boston, USA) отметил, что некоторые физики с подозрением отнеслись к вторжению философов в физические проблемы КТП, в то время как некоторые философы были разочарованы тем, что современные физики избегают рассмотрения глубоких метафизических проблем, уровня тех, которые поднимались Эйнштейном и Бором, и целиком посвятили себя разрешению чисто технических проблем теории. Многие участники конференции (М. Рэдхед (M. Redhead, Cambridge University, UK), Т. Цао, К. Ровелли (C. Rovelli, University of Pittsburgh, USA)) полагают, что философы вполне могут внести вклад в прояснение концептуальных основ КТП, однако они согласны и с мнением тех физиков (С. Колеман (S. Coleman, Harvard University, Cambridge, USA), М. Фишер (M. Fisher, University of Maryland at College Park, USA) и др.), которые говорят, что для этого философы должны вначале хорошо изучить физику.

То, что такого знания оказывается недостаточно, бросается в глаза при знакомстве с материалами симпозиума. Со стороны философов в дискуссиях принимали участие исследователи, великолепно ориентирующиеся в современной физике, о чем свидетельствуют сделанные ими доклады. Выступили уже упоминавшиеся Т. Цао и М. Рэдхед, обсуждавшие философские аспекты КТП и обнаружившие глубокое понимание физической стороны квантовой теории поля; Р. Хилэй (R. Healey, University of Arizona, USA), сделавший доклад "Является ли эффект Ааронова–Бома локальным?"; П. Теллер (Paul Teller, University of California, USA), выступивший с докладом "Неустранимое классическое лицо квантово-полевой

теории"; Н. Хартет (N. Huggett, University of Illinois at Chicago, USA) и Р. Вайнгарт (R. Weingard, Rutgers University, USA), сделавшие совместный доклад "Калибровочные поля, гравитация и теория Бома"; С. Френч (S. French, University of Leeds, Leeds, UK), выступивший совместно с математиком Д. Краузе (D. Krause, Federal University of Parana, Brazil) с докладом "Логика кванта" и др. При этом физиками в адрес философов не было сделано ни одного сколько-нибудь серьезного замечания, касающегося чисто физического содержания проблемы. Философы говорили с физиками "на равных".

Тем не менее напряжение существовало. По-видимому, оно имеет какие-то другие, — возможно, цеховые и психологические — причины. Недаром один из физиков — К. Ровелли упрекнул своих собратьев по цеху в том, что некоторые из них становятся по отношению к философам в позу лектора, и призвал их серьезно отнестись к тем философским вопросам, которые возникают в современной физике (с. 286). "Нельзя, — сказал он, — с порога отвергать философские термины такие, например, как "инструментализм" или "онтология", только потому, что они вам неизвестны или не имеют строго очерченных границ". Он призвал физиков более откровенно говорить о тех нерешенных проблемах, которые существуют в современном физическом знании, поскольку они могут быть решены только на пути открытых дискуссий. В том числе и с грамотными философами науки.

В этой связи хотелось бы сделать одно замечание, в известной степени предваряющее рассмотрение материалов конференции. Оно касается той оценки, которая была дана конференции некоторыми ее участниками. Так Т. Цао отметил, что для того, чтобы продуктивный диалог *мог* состояться, обе стороны (физики и философы) должны переступить порог собственных амбиций. Мы, однако, более оптимистичны в оценке результатов конференции: диалог не только *мог бы* состояться, он *состоялся* даже вопреки субъективным намерениям некоторых его участников. Оказалось, что обсуждение физических проблем неизбежно предполагает выход в область философии, эпистемологии и метафизики, а философское обсуждение предполагает, требует обращения к материалу самой физики.

Со стороны физиков в конференции принял участие ряд выдающихся представителей современной науки. Среди них лауреаты Нобелевской премии С. Вайнберг (S. Weinberg, University of Texas at Austin, USA) и Ш. Глэшоу (S. Glashow, Harvard University, Cambridge, USA), а также такие известные физики, как Б. де Витт (B. DeWitt, University of Texas at Austin), Д. Гросс

(D. Gross, Princeton University, Princeton, USA), Р. Джакви (R. Jackiw, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA), С. Колеман, А. Джаффе (A. Jaffe, Harvard University, Cambridge, USA), А. Вайтман (A. Wightman, Princeton University, Princeton, USA), Ф. Рорлих (F. Rohrlich, Syracuse University, USA), К. Ровелли, М. Фишер. Участие этих ученых обеспечило высокий теоретический уровень обсуждения оснований КТП, в том числе исторических, философских и метафизических аспектов этой теории.

Известно, что КТП является теоретической парадигмой современной фундаментальной физики: физики элементарных частиц и космологии. Наибольшего успеха она достигла в начале 70-х, когда была создана так называемая стандартная модель (СМ), способная описать фундаментальные взаимодействия природы в рамках единой теоретической структуры — неабелевой калибровочной теории. Однако после создания СМ последовал длительный период застоя: кроме детализированного экспериментального подтверждения теории ничего сколько-нибудь значительного в концептуальном отношении сделано не было.

Как отмечает в своем докладе Т. Цао, эта ситуация получает различную оценку в зависимости от той перспективы, которую разделяет тот или иной исследователь. Апологеты стандартной модели настаивают на том, что физика может считаться завершенной. Они считают, что все основные законы уже открыты и систематизированы в стандартную модель. Их лозунг — "никакой новой физики!".

Другие исследователи не приемлют такой точки зрения. Они указывают на недостатки стандартной модели. Заостряя ситуацию, Ш. Глэшоу высказал даже мнение, что "КТП просто неверна!" (с. 77). Верная теория должна включать в себя квантовую гравитацию (ведь квантовая теория является всеобъемлющей!). Но КТП не приблизилась к решению этой задачи. Кроме того существует много других проблем. Одна из них — проблема расходимостей. "Для таких светил как Швингер и Дирак появление расходимостей делало КТП неприемлемой в качестве некоторой окончательной теории", — отметил Глэшоу (с. 77). Эти проблемы могут быть решены, когда (и если только) СМ сможет быть выведена из теории суперструн. Источник расходимостей — точечность основных объектов и локальность их взаимодействий в КТП — устраняется в теории струн. Кроме того, теория струн включает гравитацию. "Но, — напоминает Глэшоу, — никто еще не получил из теории струн каких-либо проверяемых предсказаний".

В докладах многих выступавших отмечались и другие, широко известные трудности и проблемы, с которыми сталкивается СМ. Существует слишком много эмпирических параметров, которые не могут быть вычислены из основных принципов модели и вводятся "руками". Достигнутое в рамках СМ объединение взаимодействий является только частичным: для кварк-глюонных взаимодействий даже теория электрослабого взаимодействия и квантовая хромодинамика остаются разъединенными, не говоря уже о гравитации. Критики СМ убеждены, что стагнация теории есть лишь затишье перед бурей: грядет новая концептуальная революция, которая не обязательно будет связана с идеями теории струн, но в любом случае будет означать радикальный пересмотр основных допущений и принципов КТП.

Такую точку зрения высказал Д. Гросс в докладе "Триумф и границы КТП". Он отметил, что СМ с высокой степенью точности описывает экспериментальные данные. В квантовой электродинамике согласие достигается до десятой значащей цифры, в слабых взаимодействиях — до четвертой значащей цифры, в сильных — до второй. В отдельных экспериментах по квантовой электродинамике теория проверена до расстояний  $10^{-18}$  см. Гросс проанализировал проблемы, стоящие перед этой теорией, подразделив их на те, которые могут быть решены в ее рамках, и те, которые указывают на границы применимости КТП и требуют обязательного выхода за ее пределы. В числе последних — проблемы унификации взаимодействий, иерархия масс, вопрос о происхождении лептон-кварковых семейств; объяснение параметров стандартной модели и малой величины космологической постоянной, проблема реконструкции ранней истории Вселенной и т.д. По мнению Гросса, физика стоит на пороге научной революции: слишком многим базисным принципам физики брошен вызов, и слишком многие базисные понятия нуждаются в пересмотре. Он полагает, что дальнейшее развитие физики будет связано с разработкой теории струн.

В известном смысле защитником СМ выступил С. Трейман (S. Treiman, Princeton University, Princeton, USA). В комментариях к докладу Гросса он заметил, что критикуя СМ, следует не упускать из вида ее гибкости. Она может быть обобщена в такой степени, чтобы разрешить существование конечных масс нейтрино, дополнительных хиггсовских частиц и даже новых семейств частиц, если они нам понадобятся. Она может быть развита в такой степени, чтобы позволить объединение электрослабых и сильных взаимодействий, и даже включить в себя идеи суперсимметрии. Однако, признал Трейман, в критическом отношении Гросса к СМ есть рациональное зерно: эта модель далека от того, чтобы быть "экономной". Совершаемый на ее основе выбор часто оказывается произвольным. Так, в КХД мы не можем объяснить, почему калибровочной группой является SU(3), а не какая-то другая группа симметрии; есть проблемы с иерархией масс, а также с большим числом вводимых параметров и т.п. Но наиболее несомненной трудностью для СМ является проблема квантовой гравитации. Широко распространенным является убеждение, что квантовая гравитация не "сочетается браком" с КТП. И Д. Гросс имеет основания верить, что такой "брак" возможен в рамках теории струн. Однако, полагает Трейман, какая бы теория не пришла на смену КТП, уже очевидно, что при масштабах ниже планковских (в энергетическом отношении) она обратится в КТП.

И, наконец, математически ориентированные физики полагают, что разрешение трудных проблем КТП возможно только на пути использования более строгих и точных математических схем. Эту позицию разделяет, в частности, А. Вайтман, заложивший в свое время основания аксиоматизации КТП. Вайтман полагает, что ученые, работающие на переднем крае науки, часто не осознают, что именно они делают, поскольку доступные экспериментальные данные являются, как правило, неполными и двусмысленными, а используемые теоретические понятия — не получившими пока точной формулировки. В связи с этим он аргументировал

необходимость уточнения и усовершенствования теоретической схемы в плане придания ей возможно большей математической строгости и точности, даже если при этом придется примириться с некоторыми ее недостатками с точки зрения физики.

О роли математических методов в современной физике говорил А. Джаффе, отметивший новую тенденцию во взаимоотношении этих двух областей человеческого знания. Традиционно математика считалась языком физики. На современном этапе развития науки можно, полагает он, перевернуть известное изречение Е. Вигнера о "непостижимой эффективности математики в естественных науках". Пришла пора говорить о непостижимой эффективности теоретической физики в математике. Появилось много работ, в которых физика служит источником новых математических идей. Начиная с 80–90 гг. становится ясно, что не только математика является языком физики, но и физика становится языком математики.

Вообще, вигнеровское изречение оказалось очень популярным на конференции. О "непостижимой эффективности КТП" говорил в одноименном докладе Р. Джаквив, пришедший к парадоксальному выводу, что бесконечности локальной КТП, обычно рассматриваемые в качестве недостатков теории, на самом деле являются источником ее эффективности, ее способности описывать и объяснять физические явления. Это же выражение использовал Глэшоу, говоря о необычайной, фантастической эффективности КТП как вычислительного инструмента. И опять-таки о "непостижимой эффективности", на этот раз интуиции физиков, говорил в своем выступлении Ф. Рорлих.

И философами, и физиками обсуждались метафизические и эпистемологические вопросы физики. Среди метафизических — вопрос о картине мира, рисуемой современной физикой. Является ли мир непрерывным или он дискретен по своей природе; каков смысл понятий волны и частицы в субатомном мире; какова природа вакуума и вакуумных флуктуаций; является ли мир однородным или он имеет иерархическую структуру; если верно последнее, каковы механизмы взаимодействия между различными уровнями иерархии: можно ли охарактеризовать их в терминах редукционизма или же мы должны признать, что они в принципе не сводимы друг к другу?

Среди эпистемологических — на первом месте стоит вопрос о природе физических понятий. Правы ли те, кто трактует их в чисто инструменталистском духе, полагая, что роль теории состоит лишь в том, чтобы описывать наблюдаемые явления и предсказывать новые экспериментальные результаты; или правы реалисты, утверждающие, что по крайней мере некоторые из этих понятий имеют отношение к реальности. Для реалиста важнейшим является вопрос о базисной онтологии теории, т.е. о тех концептуальных элементах в логической структуре теории, которые несводимы к более простым. Предполагается, что в отличие от эпифеноменов или эвристических и конвенциональных компонентов теории, ее базисная онтология описывает саму реальность.

Прежде чем приступить к рассмотрению дискуссий вокруг метафизических вопросов, остановимся на докладе Глэшоу, поставившего вопрос о природе самих метафизических вопросов ("метавопросов", в его терминологии). Что представляют собой метавопросы, каково

их значение для культуры и общества? Вопреки названию своего доклада "Нуждается ли КТП в обосновании?", в котором как будто бы выражается сомнение в необходимости обсуждения философских оснований КТП, автор доклада подошел к этой проблеме с действительно философских позиций. Он выделил четыре типа вопросов, которые могут возникать по отношению к той или иной научной теории. *Внутренние* вопросы — они могут быть решены в рамках теории. *Эмергентные* (здесь в смысле непредвидимые, качественно новые) вопросы, которые требуют дальнейшего развития теории, поскольку ставят новые проблемы. *Эмпирические* вопросы, которые могут быть решены на экспериментальном уровне и не требуют обращения к теории. И *метавопросы*, которые не могут быть решены в контексте теории. Часть вопросов, которые были для КТП метавопросами, в настоящее время получили статус внутренних вопросов и на них уже получены ответы. Но есть и такие, которые пока остаются метавопросами. Среди них дираковская "проблема больших чисел". Почему массы различных фермионов отличаются на пять порядков величины? Почему они так малы по сравнению с планковской массой? И т.п. Почему взаимодействия в мире элементарных частиц описываются калибровочными симметриями? Какова природа самих калибровочных симметрий? Что является источником сил? Почему равны гравитационная и инертная массы? Есть ли внутренняя структура у электрона? И т.д.

С точки зрения Глэшоу подлинные метавопросы остались в настоящее время только в физике элементарных частиц и космологии. Существует много научных дисциплин, которые претендуют на статус фундаментальных: физика конденсированных сред, химия, молекулярная биология и т.д. Но Глэшоу полагает, что в известном смысле это не так, поскольку они почти лишены метавопросов. Однако ценностный статус самих метавопросов, полагает Глэшоу, в настоящее время изменился. Если раньше получение ответов на них вело к крупным технологическим достижениям, то в настоящее время метавопросы стали социально менее значимыми. Ответы на них уже, похоже, не влияют на жизнь обычных людей. Они не вносят вклада в экономический прогресс и повышение уровня благосостояния людей. Никогда не будет получено практического приложения  $\tau$ -лептонов или  $W$ -бозонов. Каоны были открыты полвека назад, но до сих пор не были использованы в человеческой практике. Достоинство науки, работающей на переднем крае, состоит в стимулировании интеллектуальной, культурной деятельности людей, но не в практических приложениях (с. 80).

Проблеме онтологии КТП (т.е. вопросу о том, что представляют собой базисные сущности, описываемые теорией) были посвящены доклады С. Вайнберга, Ф. Рорлиха, С. Френча и Д. Краузе, Д. Кайзера (D. Kaiser, Department of History of Science, Harvard University, Cambridge, USA) и Т. Цао.

С. Вайнберг в докладе "Что такое КТП и что мы о ней думали?" дал беглый анализ пути развития КТП и основных ее положений. Долгое время физики считали, что мир состоит из полей и частиц: электроны являются частицами, а электромагнитное поле есть поле, хотя фотоны и вели себя как частицы. В настоящее время старый дуализм, согласно которому фотоны являются чем-то совершенно иным по сравнению с электронами,

полностью преодолен. С позиции зрелой КТП квантовые поля являются базисными ингредиентами универсума, в то время как частицы являются просто проявлениями полей. Таким образом, КТП ведет к более унифицированной картине природы по сравнению со старой дуалистической картиной частиц и полей. Тем не менее, замечает Вайнберг, по иронии судьбы многие вычисления в КТП оказываются проще, если их осуществлять в рамках старых представлений, следуя мировым линиям частиц, а не эволюции полей во времени.

На вопрос о том, что такое элементарная частица, физики нередко удовлетворяются чисто феноменологическим ответом: это частица, поле которой появляется в лагранжиане. Не имеет значения, является ли она стабильной или нет, легкая она или тяжелая; если ее поле появляется в лагранжиане — она элементарная, если нет — составная. Сам Вайнберг, по его словам, уже не удовлетворяется таким ответом. Длительный опыт преподавания убедил его, что физика должна не просто описывать мир; ее задача — объяснить его. Рациональное оправдание для формализма теории Вайнберг видит в том, что это единственный путь к тому, чтобы удовлетворить синтезу принципов — лоренц-инвариантности, квантовой механики и кластерному разложению. Принцип кластерного разложения С. Вайнберг определяет как требование, согласно которому "результаты удаленных друг от друга экспериментов не должны быть коррелируемыми" (с. 243). Весь формализм полей, частиц и античастиц КТП является, по-видимому, неизбежным следствием этих принципов. Любая квантовая теория, которая для достаточно низких энергий и больших расстояний является лоренц-инвариантной и удовлетворяет принципу кластерного разложения, будет выглядеть подобной КТП.

КТП хорошо описывает экспериментальные данные для мягких пионов — до ГэВ-ных энергий; для сверхпроводимости — до дебаевских частот; для СМ — до  $10^{15}$  ГэВ; для гравитации — до  $10^{18}$  ГэВ. Что произойдет с эффективной полевой теорией, когда будут получены энергии выше, чем  $10^{15}$  ГэВ? Вайнберг видит два возможных варианта развития. Первый может состоять в том, что в рамках КТП возникнут проблемы математического обоснования фиксированной точки ренормгрупповых уравнений. Пока нет путей решения этой проблемы. Более вероятен второй путь: при очень высоких энергиях мы уйдем в новую физику, не описываемую КТП. Она может быть чем-то вроде теории струн.

Ф. Рорлих в докладе "Об онтологии КТП" акцентировал внимание на том, как меняется смысл понятий "частица" и "поле" при переходе от классической к квантовой физике и к КТП. Классическая дихотомия между полями и частицами в квантовой механике (КМ) оказывается смешанной: частицы описываются здесь волновой функцией, которая зависит от пространства — времени и является, таким образом, линейным полем, а линейное электромагнитное поле классической физики приобретает черты частиц (фотонов). Дальнейшие изменения происходят при переходе от КМ к КТП. В операторной формулировке поля фактически "берут верх" и приходится делать усилия, чтобы дать соответствующее описание в терминах "частиц". Теория формулируется в терминах полей и их взаимодействий, поля являются предметом преимущественного интереса теоретиков. В то же время экспериментаторы наблюдают

только частицы. На ускорителях фиксируются частицы и их свойства. В этом нет противоречия, поскольку теоретики знают, как выделить частицу из поля. Но при этом возникают математические трудности, поскольку фоковское представление, с помощью которого от поля переходят к частице, законно лишь при определенных условиях. Это не значит, что нельзя перейти от полей к частицам на теоретическом уровне, просто это значит, что такой переход является нетривиальным. И если онтологический статус элементарной частицы вызывает мало сомнений (они доступны эмпирической фиксации), вопрос о том, какие еще компоненты теории имеют онтологический статус, является значительно более проблематичным.

С. Френч и Д. Краузе посвятили свой доклад проблеме различения и идентификации квантов. В отличие от классической физики, в которой объекты могут быть различимы, пересчитаны и упорядочены, в квантовой физике это оказывается невозможным. В основе квантовой статистики лежит постулат неразличимости. Классические теории рядов не являются адекватными для решения проблемы идентификации квантов, поскольку они предполагают различимость частиц. Как напоминают докладчики, согласно знаменитому определению Кантора ряд есть "собрание (collection) в единое целое определенных, различимых объектов..." (с. 324). Понимание природы кванта и лежащей в основе этого понятия метафизики требует, утверждали авторы доклада, разработки нового логического аппарата. В качестве одного из подходов к решению проблемы они считают возможным использовать некое особое понятие "ряда", согласно которому ряд есть набор хотя и индивидуальных, но неразличимых объектов. Объекты такого "ряда" имеют "кардинальность" (мы можем указать их число), но не имеют "ординальности" (мы не можем пересчитать или упорядочить их).

Обсуждению проблемы пространства — времени в КТП была посвящена работа специальной секции. Со своеобразным введением в проблематику выступил Дж. Стэчел (J. Stachel, Department of Physics, Boston University, Boston, USA). Свой доклад он посвятил истории попыток создания теории квантовой гравитации. Особое внимание в докладе было уделено работам отечественного физика М.П.Бронштейна, размышлявшего над проблемой с начала 30-х годов, вплоть до своей трагической гибели в 1938 г. Как утверждает Дж. Стэчел, М.П. Бронштейну удалось внести заметный вклад в обсуждение проблемы. Разрабатывая идею квантования гравитационного поля, разделяемую в то время большинством физиков-теоретиков, М.П. Бронштейн пришел к выводу, что существующий формализм квантования поля не совместим с нелинейной теорией гравитации, и для создания адекватной теории квантовой гравитации необходим радикально новый подход. С точки зрения Дж. Стэчела, в настоящее время мнение о том, что проблема квантовой гравитации нуждается в нестандартном подходе, становится преобладающим (с. 235).

Дальнейшее обсуждение проблемы пространства — времени было продолжено в докладах Б. де Витта "КТП и пространство — время — формализм и реальность"; в совместном докладе А. Аштекара (A. Ashtekar, Penn State University, University Park, USA) и Е. Левандовского (J. Lewandowski, University of Warsaw,

Poland) "КТП геометрии" и докладе К. Ровелли "Локализация в КТП: как много в КТП того, что совместимо с тем, что мы знаем о пространстве – времени?"

К. Ровелли отметил, что современная картина мира, построенная на представлениях КТП, оставляет открытыми такие важные вопросы, как: что такое время, пространство, причинность, материя. Общая теория относительности Эйнштейна (ОТО) изменила наши представления о пространстве и времени, то же сделала квантовая механика с понятиями материи и причинности. До сих пор не решена проблема объединения квантовой механики и ОТО и на сегодняшний день мы не имеем согласованной картины физического мира. Если пространственно-временной континуум нарушается в единицах времени на уровне  $10^{-40}$  с, как это фиксируется при всех попытках объединения ОТО с квантовой механикой, то оказывается невозможным мыслить мир как развивающийся во времени. Исчезновение времени драматически очевидно в математическом формализме теории: и в "невозмущенной" канонической гравитации и в "невозмущенной" теории струн. В обеих теориях фундаментальные уравнения не содержат временного параметра. Квантовая механика, с одной стороны, и ОТО, с другой, разрушила понятия, на которых более чем три столетия базировался великий синтез картезианско-ньютоновской картины мира. Но нового синтеза у нас нет. У нас есть впечатляющие куски фрагментарного знания, но нет общей картины. Мы не знаем, что мы должны думать о пространстве, времени и материи так, чтобы это было совместимо со всем тем, что нам уже известно. И, как полагает Ровелли, в поисках ответа на все эти вопросы большую роль может сыграть философия с ее нацеленностью на анализ оснований формирующейся в физике новой парадигмы.

О соотношении математического формализма и реальности в интерпретации пространства – времени говорил Б. де Витт. С момента введения в физику понятия поля физики задавались вопросом: является ли поле чисто математическим описанием более глубокой реальности или оно само является физической сущностью, заполняющей абсолютное пространство Ньютона. Максвелл считал электромагнитное поле физической реальностью, но не желал приписывать ему независимое существование в качестве некой "немеханической сущности". Эйнштейн предложил считать гравитационное поле кривизной самого пространства и пытался развить геометрическую теорию даже электромагнитного поля. На самом деле, математическая концепция поля используется в самых различных контекстах и различные концепции поля являются нашими единственными окнами в реальность.

Что мы делали до сих пор? Мы начинали с полей — скалярного, векторного, спинорного — в обычном пространстве времени. Затем перешли к полям (шрёдингеровским полям) в пространстве  $3 + 1$  измерений. Сегодня мы ищем поля на бесконечномерном пространстве. Де Витт обращает внимание на ряд структурно нетривиальных бесконечномерных пространств: гильбертово пространство, фоковское пространство. Существуют также высшие конечно-мерные пространства, которые можно обнаружить в теории Калуцы – Клейна, супергравитации и теории струн. В каких из этих полей заключена реальность? С точки зрения де Витта, было бы преждевременным утверждать, что реальность заключена в

целостной математической структуре (мы еще не имеем теории всего сущего); вернее сказать, что наше понимание реальности, каким бы несовершенным оно пока не было, требует целостной математической структуры. Мы должны всегда стремиться развить математический формализм физической теории и его внутреннюю логику до некоторого окончательного результата. Мы должны позволить логике вести нас до конца, не теряя при этом из вида коррекцию со стороны экспериментальной физики. В конечном итоге мы не обязательно достигнем точного описания реальности, но мы получим наилучшее ее описание из тех, которые мы можем получить (с. 182).

Пожалуй, наиболее острые дискуссии развернулись по проблеме редукционизма-антиредукционизма в теоретической реконструкции микрореальности. Остановится ли физика на программе эффективных теорий или она будет обязательно искать окончательную теорию? Допущение, что программа эффективных теорий является единственно верной стратегией научного познания, означает признание того, что мир организован иерархически, существуют различные уровни этой иерархии, различающиеся между собой масштабом длин и энергий. Хотя эти уровни и связаны между собой, каждый из них является квазиавтономным. Поведение микрообъектов, "населяющих" его, подчиняется своим собственным законам. Согласно программе эффективных теорий от мечтаний о какой-либо окончательной теории нужно отказаться. В отличие от стратегии окончательной теории программа эффективных теорий является антиредукционистской.

Антиредукционистскую точку зрения занял уже упоминавшийся Ф. Рорлих. Долгое время существовало требование, чтобы теории "более низкого уровня" (более фундаментальные) служили основанием для теорий "более высокого уровня". Это требование редукционизма. Но оно, как утверждает Рорлих, в последние годы многократно обнаруживало свою несостоятельность. Теории более высокого уровня содержат понятия, которые не имеют смысла на фундаментальном уровне. Они не могут быть выведены логическим путем из понятий нижнего уровня. Они должны быть изобретены. Против редукционизма, считает Рорлих, свидетельствует хотя бы такой факт: теория конденсированных сред фактически не использует понятий фундаментального уровня, таких как кварки и лептоны, однако она очень успешно развивается в последние годы. Антиредукционизм означает признание научного плюрализма. И это ведет к значимым следствиям для самого понятия истины. Утверждать в науке, что нечто является истинным, без ссылки на то, о каком когнитивном уровне идет речь, является бессмысленным. "Научная истина не обязательно является осмысленной вне ее собственного когнитивного уровня", — утверждает Рорлих (с. 358 – 359).

С антиредукционистских позиций выступили также Д. Нэльсон (D. Nelson, Harvard University, Cambridge, USA) и Р. Шанкар (R. Shankar, Yale University, New Haven, USA). Оба докладчика отстаивали плодотворность стратегии эффективных теорий. Они утверждали, что прогресс в физике часто достигается отходом от поиска фундаментальной теории и переходом к эффективной и так же, как Рорлих, ссылались при этом на физику конденсированных сред. Физика элементарных частиц стремится достигнуть столь малых масштабов длин и столь высоких энергий, что ее выводы, оставаясь

красивыми, оказываются несущественными для физики того мира, который окружает нас, утверждал, в частности, Д. Нэльсон. Он привел слова Д. Мэрмина (David N. Mermin), который сравнил эксперименты на ускорителях нового поколения с археологическими раскопками в чрезвычайно удаленной от нас ранней истории Вселенной. "Связь этих "раскопок" с космологией, конечно, волнующа, — заметил Нэльсон, — но они имеют такое же отношение к тому, как ведет себя материя сегодня, какое имеют новые открытия в шумерской поэзии к следующим президентским выборам" (с. 265).

Против антиредукционистской позиции Рорлиха выступил С. Вайнберг. "Я не думаю, что это правильно — утверждать, что если некоторые понятия того или иного уровня не существуют на более фундаментальном уровне, законы, которым эти понятия подчиняются, не могут быть выведены из законов более фундаментального уровня ... Хотя понятия температуры не существует на уровне физики частиц, уяснить, почему существует такое понятие и как оно работает, мы можем только в терминах более низкого уровня" (с. 261).

Вайнберг отстаивал возможность и необходимость создания окончательной теории. Такую же позицию занял Д. Гросс. Оба ученых полагают, что все эффективные полевые теории являются лишь приближениями, полученными для энергий низкого уровня, к более глубокой теории, которая вскоре будет получена из этих приближений некоторым систематическим путем. Однако оба они полагают, что эта более глубокая или окончательная теория будет не полевой, а будет подобна теории струн или какой-либо другой теории, радикально отличной от КТП.

С редукционистских позиций выступил и философ науки М. Рэдхед. Он отметил, что ни антиредукционизм, ассоциирующийся с уходящей в бесконечность "башней" эффективных теорий, ни редукционизм, предполагающий окончательную теорию типа "Теории всего сущего", не могут быть обоснованы экспериментально раз и навсегда так же, как не могут быть обоснованы окончательно восходящие к античности идеи атомизма (Демокрит) и континуальности (Аристотель). Все эти идеи являются по своему характеру метафизическими; поскольку, говоря словами Канта, они выходят за пределы всякого возможного опыта. Вместе с тем, идея атомизма и связанная с нею идея окончательной фундаментальной теории являются важнейшими регулятивными принципами познавательного процесса. Они направляют познавательную деятельность ученого на поиски единства знания. Поиски характеризующегося простотой и симметрией порядка, лежащего за видимой сложностью мира явлений, представляют собой постоянно воспроизводящуюся тенденцию в методологии науки. С точки зрения Рэдхеда подписаться под новой программой

эффективных теорий, — значит, отбросить эти стремления и вернуться на позицию, которая является более прагматичной, более осторожной, более близкой к экспериментальной практике, но вместе с тем значительно менее волнующей в интеллектуальном плане (с. 40).

Отвечая на вызов редукционистов, Т. Цао заметил, что антиредукционизм и программа эффективных теорий отнюдь не означают отказа от идеи фундаментальной теории и победу чисто феноменологического подхода в исследовании субатомного мира. Стратегия эффективных теорий, отрицающая монофундаментализм, совместима с полифундаментализмом, с признанием существования многих уровней, каждый из которых является фундаментальным, и ни один из них не может считаться более фундаментальным, чем другие. Исследователь каждого из таких уровней может пытаться найти лежащие в основаниях явлений этого уровня закон и порядок, наслаждаться красотой достигнутых обобщений, даже если он и осознает, что его фундаментальная теория имеет ограниченную область применимости. И это не должно обескураживать его. Ведь даже наиболее последовательный монофундаменталист в физике элементарных частиц понимает, что его теория имеет ограниченную область приложимости и не может быть использована, скажем, в экономике или поэзии.

И, наконец, на антиредукционистской точке зрения стоит Глэшоу, называющий себя принципиальным феноменологом. В основе феноменологизма Глэшоу лежит определенная гносеологическая позиция. Он сомневается в осмысленности самих понятий "финальная" теория или "Теория Всего Сущего". И хотя он и согласен с тем, что идеал окончательной теории играет положительную роль в познании, поскольку стимулирует величайшие интеллектуальные усилия по построению этой теории, сама цель является иллюзорной. Он не верит в то, что ученые когда-либо смогут достичь ее. "Тем не менее, — элегически замечает он, — само путешествие великолепно, а ландшафт захватывает дыхание!" (с. 82)

На этих прекрасных словах, под которыми, несомненно, подпишется любой настоящий ученый, мы и закончим наш по необходимости беглый обзор этого интереснейшего форума ученых. В заключение хотелось бы добавить, что книгу читать не только полезно, но и приятно: в ней много ссылок на отечественных физиков — В.А. Фока, Л.Д. Ландау, В.Л. Гинзбурга, Н.Н. Боголюбова, Д.И. Блохинцева, Ю.И. Манина, М.П. Бронштейна и др., внесших неоценимый вклад в развитие теоретической физики.

*П.С. Исаев, Е.А. Мамчур*